



مروری بر

LTE

VoLTE, SAE, LTE-Advanced

و نسل چهارم سیستم های مخابراتی موبایل

نویسنده: کریستوفر کاکس

مترجمین: علی نیک فال، جبرائیل توفیقی

ویراست دوم

مروری بر

LTE

VoLTE, SAE, LTE-Advanced

و نسل چهارم سیستم های مخابراتی موبایل

نویسنده: کریستوفر کاکس

مترجمین: علی نیک فال، جبرائیل توفیقی



AN INTRODUCTION TO LTE

LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications

در پی استقبال عمومی از ویرایش اول کتاب **LTE**، که در مارس 2012 منتشر شده بود ویرایش دوم آن در سال 2014 به رشته تحریر در آمد و توضیحات جامع و کاملی را درباره **LTE** و چگونگی کارکرد آن ارائه می دهد. محتوای کتاب در سطوح مختلف سیستم بیان شده و به مخاطبین فرصت های مناسبی برای درک ویژگی های کلیدی که **LTE** را به عنوان بحث داغ روز در سطح جهانی تبدیل کرده است، ارائه می دهد. در این کتاب فرض شده، که مخاطب زمینه مطالعه قبلی درباره سیستم های مخابراتی موبایل ندارد. علاوه بر این، مخاطبین نیز تئوری به دانستن مایل و روابط پیچیده ریاضیاتی که در **LTE** به کار می رود، ندارند.

ویرایش دوم این کتاب، موارد جدیدی از کاربردهای صنعتی **LTE** در زمینه موارد مطرح شده در نسخه پازده و دوازده **3GPP** را دربرمی گیرد، بویژه درباره انتقال چند نقطه هماهنگ و سرویس های مجاورتی. راه کارهای کوتاه مدت و بلند مدت برای برقراری تماس های صوتی بر روی **LTE** به ویژه بازگشت به سرویسینگ مداری و زیر سیستم های چندرسانه ای **IP**، اطلاعاتی درباره وضعیت بازار فعلی و آتی **LTE** در این کتاب بیان می شود. در این ویرایش برخی از مفاهیم ویرایش اول مثلا تعامل با فناوری های دیگری مثل **GSM** و **UMTS**، شبکه های بی سیم دسترسی محلی و **cdma2000** یا جزئیات بیشتر و جدیدتر تشریح شده است.

ویژگی های اضافه شده به **LTE** پشرفته بویژه شبکه های ناهمگن، رهاسازی ترافیک، انتقال داده در **FPC**، تخمین پوشش و ظرفیت برای شبکه **LTE** و مدولاسیون، مدولاسیون و **OFDMA** یا جزئیات و دقت بیشتری پوشش داده شده است. نویسنده کتاب را به بخش هایی تقسیم نموده است تا معماری معرفی شده برای **LTE**، توضیح روش های به کار رفته برای مخابره اطلاعات، توصیف کلی سیستم و جمع بندی بیشتر به همراه مباحث ویژه مثل تماس های صوتی بر روی **LTE** در مشخصات **3GPP** اخیر به خوبی بیان شود. این نوع دوبگرد باعث می شود تا خواننده ضمن این که با مشخصات آن آشنا می شود، به اعتماد به نفس بالایی هم دست پیدا کند.

درباره نویسنده:

پروفسور کریستوفر کاکس از اساتید و مشاوران برجسته حوزه موبایل بوده و به عنوان فردی صاحب نظر در زمینه های فنی و طراحی شبکه های رادیویی **UMTS** و **LTE** مطرح هستند. به همین جهت سالانه دوره های آموزشی منظم و پیشرفته ای را برای تولید کنندگان تجهیزات، اپراتورهای موبایل و مشاوران آنها در سراسر دنیا برگزار می کنند. مدرک تحصیلی ایشان فیزیک بوده و دکترای تخصصی (Ph.D) خود را در رشته اخترشناسی رادیویی از دانشگاه کمبریج دریافت کرده اند و بیش از بیست سال سابقه تدریس، مشاوره های علمی و پژوهشی در زمینه های مختلف مخابرات در کارنامه خود دارند.



مروری بر LTE

VoLTE، SAE، LTE-Advanced و نسل چهارم

سیستم‌های مخابراتی موبایل

نویسنده:

کریستوفر کاکس

مترجمین:

علی نیک‌فال

جبرائیل توفیقی



تقدیر و تشکر

برخود لازم می‌دانیم که از تمام کسانی که در تمام مراحل ترجمه و چاپ این کتاب ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی نماییم. از استاتید محترم دانشکده‌های کامپیوتر و برق دانشگاه علم و صنعت ایران که راهنمای ما بودند، از آقایان مهندس محبوب حمیدنژاد و مهندس مهدی ژاله‌چین که از مشوقین ما در ترجمه این کتاب بودند، از سرکار خانم مهندس عاطفه ترابی‌ان به جهت کمک‌های ارزشمندشان و همچنین از تمام همکاران ارجمند مان در زیر مجموعه شرکت ارتباطات سیار (همراه اول) و شرکت نقش اول کیفیت به خصوص بخش عملیات شبکه آن شرکت که به هر نحوی ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد. ضمناً از جناب آقای مهندس احسان شاه‌محمدی که طراحی جلد کتاب را تقبل کردند، تقدیر و تشکر می‌شود.

از معلمان و اساتید بزرگواری چون آقایان دکتر علیرضا بهشتی شیرازی، دکتر مسعود موحد، سرکار خانم دکتر شیما طبیبیان، دکتر سید علی علویان، مهندس حسنعلی امامی، بهرام دژبرد، عباداله روحی و دکتر محمد محمدزاده تشکر و قدردانی می‌گردد.

در پایان از جناب آقای مهندس محمد مهدی عباس‌خانی مدیر عامل محترم شرکت نقش اول کیفیت و اعضای هیئت مدیره محترم آن شرکت به جهت حمایت‌های معنوی‌شان تشکر و قدردانی می‌نماییم.

تقدیم بہ پدران و مادران بزرگوار

و خانواده عزیزان

مقدمه مؤلف

این کتاب درباره چهارمین نسل از ارتباط موبایل یعنی LTE است. هدف من از نگارش این کتاب ارایه دیدگاه تخصصی از سیستمی است که LTE استفاده می‌کند. کتاب کل آن سیستم را پوشش می‌دهد، یعنی هر دو فناوری که هم برای ارتباط بین ایستگاه پایه و موبایل استفاده می‌شود و هم فناوری‌هایی که برای انتقال داده و پیام‌های در سراسر شبکه به کار می‌روند. در اینجا سعی شده که خیلی به جزئیات پرداخته نشود، این جزئیات برای مطالعات فردی مناسب می‌باشند و می‌توان از مشخصات فنی 3GPP آنها را استخراج کرد؛ در عوض، امیدوارم که خواننده پس از خواندن این کتاب یک دید کلی از این سیستم را داشته باشد، به طوری که بتواند خود را درگیر موارد مختلف آن کند. در نتیجه خواننده کتاب قادر خواهد بود کتاب‌های پیشرفته‌تری را در این زمینه بهتر درک کند و با اعتماد به نفس بالا مشخصات 3GPP را فرا بگیرد.

در این کتاب مخاطبان هدف دو دسته‌اند:

۱. مهندسانی که بر روی LTE کار می‌کنند و امیدوارم این کتاب برای آنها سودمند واقع شود، مخصوصاً مهندسانی که از سایر فناوری‌های دیگر مثل GSM، UMTS و cdma2000 به LTE مهاجرت کرده‌اند. این افراد انسان‌های خبره‌ای هستند که در بخشی از LTE توانمند می‌باشند اما می‌خواهند کلیات سیستم را درک کنند.
۲. افرادی هستند که در حوزه فنی موبایل ناآشنا هستند. این کتاب باید دیدی ارزشمند به افرادی که در حوزه غیر فناوری فعال هستند، مثل مدیران پروژه‌ها، مدیران بازاریابی و مشاوران مالکیت معنوی ارایه بدهد.

از لحاظ ساختاری، کتاب دارای چهار بخش است: بخش اول، مفاهیم اصلی را پوشش می‌دهد و خواننده را ملزم به درک آن‌ها می‌کند و او را برای ادامه کتاب آماده می‌سازد. فصل اول مقدمه‌ای برای ارتباط LTE با سیستم‌های قبلی است و ویژگی‌های کلیدی این فناوری و نیازمندی‌های آن را بیان می‌کند. فصل دوم معماری سیستم را پوشش می‌دهد به خصوص اجزاء سخت‌افزاری و پروتکل‌های ارتباطی را که در LTE هستند و برای طیف رادیویی به کار می‌روند. فصل سوم فناوری‌های انتقال رادیویی را که LTE از سیستم‌های ارتباطات موبایل قبلی به ارث برده است، را معرفی می‌کند. فصل چهارم و پنجم جزئیات بیشتری از آخرین فناوری‌های دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد و آنتن‌های چند ورودی و چند خروجی را تشریح می‌نماید.

بخش دوم واسط هوایی LTE را در برمی گیرد. فصل ششم نگاهی به معماری سطح بالای واسط هوایی انداخته است. در حالی که فصل هفتم به فرایندهای سطح پایینی می پردازد، که یک موبایل هنگامی که روشن می شود آنها را به کار می گیرد تا ایستگاه های پایه ای که در مجاورت آن هستند، را پیدا کند. فصل هشتم فرایندهای سطح پایینی را که ایستگاه پایه و موبایل برای ارسال دریافت اطلاعات به کار می روند، را بیان می کند، در حالی که فصل نهم فرایند دسترسی تصادفی را تشریح می کند، که توسط آن، موبایل می تواند با یک ایستگاه پایه بدون زمانبندی قبلی ارتباط برقرار کند. فصل دهم بخش های سطوح بالای واسط هوایی LTE یعنی کنترل دسترسی رسانه، کنترل لینک رادیویی و پروتکل های همگرایی داده بسته را پوشش می دهد.

بخش سوم فرایندهای را پوشش می دهد، که رفتارهای یک موبایل را تشریح می کنند. در فصل یازدهم ما فرایندهای سطح بالایی را که یک موبایل وقتی روشن می شود تا خود را در یک شبکه ثبت نام کند و ارتباط خود را با جهان خارج برقرار کند، را بررسی می کنیم. فصل دوازدهم فرایندهای امنیتی به کار رفته LTE را پوشش می دهد. فصل سیزدهم، فرایندهایی را که در کیفیت سرویس و شاخص های شارژینگ یک جریان داده به کار می رود، را مورد بررسی قرار می دهد. فصل چهاردهم فرایندهای مربوط به مدیریت قابلیت تحرک را که شبکه برای حفظ ردیابی موقعیت موبایل استفاده می کند، در بر می گیرد.

فصل پانزدهم چگونگی تعامل LTE با فناوری های 3GPP پیش از خود یعنی GSM و UMTS را توصیف می کند، در حالی که فصل شانزدهم تعامل LTE با سایر فناوری ها مثل شبکه های دسترسی محلی بی سیم و cdma2000 را پوشش می دهد. فصل هفدهم قابلیت های LTE برای خود پیکربندی و خود بهینه سازی را تشریح می نماید.

بخش پایانی، موضوعات تخصصی را با جزئیات بیشتر بررسی می کند. فصل های هیجدهم، نوزدهم و بیستم بهبودهایی را که در نسخه های اخیر LTE روی مشخصات آن اتفاق افتاده است، را پوشش می دهد. مخصوصاً نسخه بهبود یافته ای از LTE را که به عنوان LTE-Advanced شناخته می شود با جزئیات بیشتر تشریح می کند. فصل های بیست و یکم و بیست و دوم دو راهکار بسیار مهمی که برای تحویل تماس های صوتی به تجهیزات LTE به کار می روند، یعنی بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری و زیر سیستم چند رسانه ای IP را بررسی می کنند. در نهایت فصل بیست و سوم مروری بر عمل کرد LTE کرده و درباره روش های به کار رفته برای تخمین پوشش و ظرفیت شبکه را بیان می کند.

LTE کلمات اختصاری زیادی دارد و بدون استفاده از آنها، صحبت درباره آن بسیار سخت است. با این حال، پرداختن به موضوعات آن غیر ضروری است و برای افرادی که تازه به این حوزه وارد شده‌اند، ناآشنا به نظر می‌رسند. بنابراین، هدف من آن بوده است، که کمتر از این اختصارات استفاده نمایم و ترجیح دادم، که از نام کامل آنها یا یک نام محاوره‌ای ملموس‌تر استفاده کنم. در انتهای این کتاب لیستی از اختصارات وجود دارد و کلمات جدیدی که برای اولین بار معرفی می‌شوند، به صورت **مشخص** در متن آورده شده است. همچنین سعی کرده‌ام که در این کتاب تا جایی که امکان‌پذیر است، برای یادگیری سیستم، از روابط ریاضی کمتری استفاده کنم. واسطه هوایی LTE توأم با اعداد مختلط، تبدیل‌های فوریه و ماتریس‌های جبری می‌باشد، اما خوانندگان این کتاب نیازی به دانش اولیه برای درک این روابط در کتاب ندارند. ما مجبور به استفاده محدود از اعداد مختلط در فصل‌های سوم و چهارم برای یاد دادن مباحث مدولاسیون، معرفی تبدیل فوریه و ماتریس‌ها در ادامه فصل‌های چهارم و پنجم بودیم تا مشخصات پیشرفته‌تری از دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد و آنتن‌های چندگانه را پوشش دهیم. خوانندگان گرامی می‌توانند این بخش‌ها را رها کرده و به سراغ فصل بعد بروند، بدون آن که در درک فصل‌های بعدی با مشکل برخورد کنند.

مقدمه مترجمین

مَنّت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربتست و به شکر اندرش مزید نعمت هر نفسی که فرو می رود ممدّ حیاتست و چون بر می آید مفرّح ذات پس در هر نفسی دو نعمت موجودست و بر هر نعمت شکری واجب. (گلستان سعدی)

این کتاب هم اکنون پر فروش ترین کتاب در زمینه LTE و سیستم های موبایل نسل چهارم در دنیا می باشد و ویرایش دوم آن برای ترجمه انتخاب شده است. چنانچه در مقدمه مؤلف نیز اشاره شد، زبان کتاب بسیار ساده و روان بوده و به دور از روابط پیچیده ریاضیات است. بنابراین مناسب مهندسان فعال در حوزه های مختلف سیستم های ارتباطی موبایل، دانشجویانی که علاقه مند ورود به این حوزه هستند، مشاوران سیستم های مخابراتی، اپراتورهای شبکه های موبایل نسل چهارم و فعالان حوزه کسب و کار است. علاوه براین، این اثر یک مرجع بسیار مفیدی برای بهینه سازی سیستم های LTE می باشد.

با توجه به این که مطالعه زبان اصلی کتاب برای همگان میسر نبود و رسالتی که برای اشاعه و ترویج علوم جدید در کشور احساس می شد، مترجمین اقدام به برگرداندن این کتاب به زبان فارسی کردند. در ترجمه این کتاب سعی شده تا مطالب به ساده ترین شکل بیان شود و از کلمات پرکاربرد در زبان فارسی استفاده شود.

هم چنین سعی شده تا از کلمات پیشنهادی فرهنگستان زبان فارسی یا کلمات رایج، در ترجمه مستقیم مطالب استفاده شود، ضمن این که بعضی از کلمات و عباراتی که در گذشته به اشتباه به فارسی برگردان شده اند، در این جا تصحیح شده و به جای آنها عبارات مناسب تری به کار رفته است. در بعضی از موارد، برای اولین بار عباراتی در ترجمه آوردیم که هنوز معادلی برای برگردان آن در فارسی وجود ندارد، در نتیجه از عبارات مناسب و ابتکاری در برگردان آنها استفاده کرده ایم. به عنوان مثال می توان به کلمه "Offloading" اشاره کرد، که معادلی در زبان فارسی ندارد، در نتیجه ما عبارت «رهاسازی» را به جای آن استفاده کردیم یا به جای عبارت "Circuit Switched Fallback" عبارت فارسی «بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری» را به کار بردیم. روالی که در کتاب اصلی استفاده شده، این است که عبارات یا کلماتی که برای اولین بار ارایه می شود، را به صورت مشخص آورده شده، لذا ما سعی کردیم که برگردان فارسی آن را در صورت وجود، مخفف آن به صورت مشخص در متن آورده و عبارت زبان اصلی آن را به

صورت پاورقی در انتهای صفحه مربوطه ذکر کنیم. این کار باعث می‌شود که متن فارسی مرتب‌تر به نظر بیاید و پیوستگی مطالب در ذهن خواننده حفظ شود.

مترجمین این کتاب هر دو چندین سال است، که در زیر مجموعه مخابرات کشور فعال می‌باشند: **علی نیک‌فال** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات امن از دانشگاه علم و صنعت ایران است، که بیش از ده سال در حوزه‌های مختلف شبکه‌های مخابراتی به صورت تخصصی فعالیت کرده است و با توجه به مهارتی که در این زمینه کسب نموده، برخی از شبکه‌ها مثل UMTS، GSM و WiMAX را در قالب نرم‌افزارهای شبیه‌ساز حرفه‌ای بهینه‌سازی کرده و در برخی از این حوزه‌ها راه کارهایی را برای افزایش کیفیت این شبکه‌ها ارائه نموده است. وی هم اکنون در نگهداری شبکه همراه اول در شرکت نقش اول کیفیت مشغول می‌باشد. **جبرائیل توفیقی** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات از دانشگاه تربیت مدرس می‌باشد، که در سطوح مختلف سیستم‌های مخابراتی کشور و شرکت ارتباطات سیار ایران فعالیت داشته و راه‌کارهایی را در زمینه‌های مختلف شبکه همراه اول ارائه داده است. وی هم اکنون در شرکت نقش اول کیفیت از شرکت‌های زیرمجموعه شرکت ارتباطات سیار ایران مشغول است.

در پایان لازم به ذکر است، که هیچ اثر علمی فارغ از اشکال و نقص نیست، و از خوانندگان گرامی، درخواست می‌شود که اشکالات احتمالی و نظرات خودشان را به ایمیلی که در ذیل ذکر شده است، ارسال فرمایند. مترجمین این کتاب در پایان امیدوارند که بتوانند با برگردان این اثر علمی قدمی هرچند کوچک در اعتلاء علم و دانش کشور بردارند و دین خویش را به جامعه علمی کشور اداء نمایند.

این کتاب به صورت آنلاین از طریق وب گاه زیر به فروش می‌رسد، لذا کسانی که مایل به تهیه این کتاب هستند، می‌توانند به آدرس www.ictpro.ir/LTEBOOK مراجعه نموده و سفارشات خود را در آن سامانه ثبت نمایند.

Ltebook1395@gmail.com

جبرائیل توفیقی

علی نیک فال

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۳	۱-۱-۱ معماری سطح بالا
۵	۲-۱-۱ معماری شبکه دسترسی رادیویی
۸	۳-۱-۱ معماری شبکه هسته
۹	۴-۱-۱ پروتکل‌های ارتباطی
۱۲	۲-۱ تاریخچه‌ای از سیستم‌های مخابراتی موبایل
۱۲	۱-۲-۱ از نسل اول (1G) تا نسل سوم (3G)
۱۴	۲-۲-۱ سیستم‌های نسل سوم
۱۵	۳-۱ نیاز به LTE
۱۵	۱-۳-۱ رشد داده موبایل
۱۷	۲-۳-۱ ظرفیت یک سیستم مخابراتی موبایل
۱۸	۳-۳-۱ افزایش ظرفیت سیستم
۱۹	۴-۳-۱ انگیزه‌های مضاعف
۲۰	۴-۱ از UMTS به LTE
۲۰	۱-۴-۱ معماری سطح بالای LTE
۲۱	۲-۴-۱ تکامل بلند مدت
۲۳	۳-۴-۱ تکامل معماری سیستم (SAE)
۲۴	۴-۴-۱ تماس صوتی LTE
۲۵	۵-۴-۱ رشد LTE
۲۶	۵-۱ از LTE به LTE پیشرفته
۲۶	۱-۵-۱ ملزومات ITU برای نسل چهارم (4G)
۲۷	۲-۵-۱ ملزومات LTE پیشرفته
۲۷	۳-۵-۱ سیستم‌های ارتباطی نسل چهارم (4G)
۲۸	۴-۵-۱ معنای نسل 4G
۲۸	۶-۱ مشخصات 3GPP برای LTE

فصل دوم: تکامل معماری سیستم (SAE)

۳۷	۱-۲ معماری سطح بالای LTE
۳۸	۲-۲ تجهیزات کاربران
۳۸	۱-۲-۲ معماری UE
۳۹	۲-۲-۲ قابلیت‌های UE
۴۰	۳-۲ تجهیزات زمینی شبکه دسترسی رادیویی UMTS تکامل یافته
۴۰	۱-۳-۲ معماری E-UTRAN
۴۱	۲-۳-۲ شبکه انتقال
۴۲	۳-۳-۲ سلول‌های کوچک و eNB خانگی
۴۳	۴-۲ هسته بسته‌ای تکامل یافته (EPC)
۴۳	۱-۴-۲ معماری EPC
۴۵	۲-۴-۲ معماری رومینگ
۴۷	۳-۴-۲ نواحی شبکه
۴۸	۴-۴-۲ شماره‌گذاری، آدرس‌دهی و شناسایی
۵۱	۵-۲ پروتکل‌های ارتباطی
۵۱	۱-۵-۲ مدل پروتکل
۵۲	۲-۵-۲ پروتکل‌های انتقال واسط هوایی
۵۳	۳-۵-۲ پروتکل‌های انتقال شبکه ثابت
۵۴	۴-۵-۲ پروتکل‌های سطح کاربر
۵۵	۵-۵-۲ پروتکل‌های سیگنالینگ
۵۸	۶-۲ مثال‌هایی از جریان‌های سیگنالینگ
۵۸	۱-۶-۲ سیگنالینگ قشر دسترسی (AS)
۵۹	۲-۶-۲ سیگنال‌های قشر بدون دسترسی (NAS)
۶۱	۷-۲ مدیریت حامل
۶۱	۱-۷-۲ حامل EPS
۶۲	۲-۷-۲ حامل‌های اختصاصی و پیش‌فرض
۶۳	۳-۷-۲ پیاده‌سازی یک حامل با استفاده از GTP
۶۵	۴-۷-۲ اجرای حامل با استفاده از GRE و PMIP
۶۵	۵-۷-۲ حامل‌های سیگنالینگ رادیویی
۶۶	۸-۲ دیگرام‌های حالت
۶۶	۱-۸-۲ مدیریت تحرک EPS
۶۷	۲-۸-۲ مدیریت اتصال EPS

۶۹	۳-۸-۲ کنترل منابع رادیویی
۷۱	۹-۲ تخصیص طیف

فصل سوم: ارتباطات دیجیتال بی سیم

۸۳	۱-۳ ارسال و دریافت رادیویی
۸۳	۱-۱-۳ سیگنال حامل
۸۴	۲-۱-۳ روشهای مدولاسیون
۸۶	۳-۱-۳ پردازش مدولاسیون
۸۹	۴-۱-۳ پردازش دمدولاسیون
۹۱	۵-۱-۳ تخمین کانال
۹۱	۶-۱-۳ پهنای باند سیگنال مدوله شده
۹۲	۲-۳ انتقال رادیویی در یک شبکه موبایل سلولی
۹۲	۱-۲-۳ روشهای دسترسی چندگانه
۹۴	۲-۲-۳ روشهای TDD و FDD
۹۶	۳-۳ اختلال در سیگنال دریافتی
۹۶	۱-۳-۳ افت مسیر
۹۷	۲-۳-۳ نویز و تداخل
۹۸	۳-۳-۳ چند مسیری و محو شدگی
۱۰۰	۴-۳-۳ تداخل بین سمبلی
۱۰۲	۴-۳ مدیریت خطا
۱۰۲	۱-۴-۳ تصحیح خطای ارسالی
۱۰۳	۲-۴-۳ درخواست تکرار خودکار
۱۰۵	۳-۴-۳ ARQ ترکیبی

فصل چهارم: دسترسی چندگانه به روش تقسیم فرکانسهای

متعامد (OFDMA)

۱۱۱	۱-۴ مفاهیم OFDMA
۱۱۱	۱-۱-۴ زیر حاملها
۱۱۳	۲-۱-۴ فرستنده OFDM
۱۱۴	۳-۱-۴ گیرنده OFDM
۱۱۵	۴-۱-۴ تبدیل فوریه سریع

۱۱۶	۵-۱-۴ بلوک دیاگرام OFDMA
۱۱۸	۶-۱-۴ جزئیاتی از تبدیل فوریه
۱۲۰	۲-۴ مزایا و ویژگی‌های اضافی OFDMA
۱۲۰	۱-۲-۴ زیر حامل‌های متعامد
۱۲۱	۲-۲-۴ انتخاب فاصله زیر حامل
۱۲۲	۳-۲-۴ زمان‌بندی فرکانس‌های خاص
۱۲۳	۴-۲-۴ کاهش تداخل بین سمبلی
۱۲۴	۵-۲-۴ درج پیشوند چرخشی
۱۲۷	۶-۲-۴ انتخاب دوره سمبل
۱۲۷	۷-۲-۴ استفاده مجدد جزئی از فرکانس
۱۲۹	۳-۴ دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس حامل منفرد (SC-FDMA)
۱۲۹	۱-۳-۴ تغییرات قدرت OFDMA
۱۳۰	۲-۳-۴ بلاک دیاگرام SC-FDMA

فصل پنجم: روش‌های آنتن‌های چندگانه

۱۳۷	۱-۵ پردازش چندگانگی
۱۳۷	۱-۱-۵ چندگانگی دریافت
۱۳۹	۲-۱-۵ چندگانگی ارسال حلقه بسته
۱۴۰	۳-۱-۵ چندگانگی انتقال حلقه باز
۱۴۱	۲-۵ مالتی پلکسینگ فضایی
۱۴۱	۱-۲-۵ مفاهیم کاربردی
۱۴۴	۲-۲-۵ مالتی پلکسینگ فضایی حلقه باز
۱۴۶	۳-۲-۵ مالتی پلکسینگ فضایی حلقه بسته
۱۴۸	۴-۲-۵ ماتریس نمایش
۱۵۲	۵-۲-۵ مسائل اجرایی
۱۵۳	۶-۲-۵ MIMO چند کاربردی
۱۵۵	۳-۵ شکل‌دهی پرتو
۱۵۵	۱-۳-۵ مفاهیم کاربردی
۱۵۷	۲-۳-۵ هدایت طیف
۱۵۸	۳-۳-۵ MIMO چند کاربردی لینک فروسو بازبینی شده

فصل ششم: معماری واسط هوایی LTE

۱۶۵	۱-۶ پشته پروتکلی واسط هوایی LTE
۱۶۷	۲-۶ کانال‌های منطقی، انتقال و فیزیکی
۱۶۷	۱-۲-۶ کانال‌های منطقی
۱۶۹	۲-۲-۶ کانال‌های انتقالی
۱۷۰	۳-۲-۶ کانال‌های داده فیزیکی
۱۷۱	۴-۲-۶ اطلاعات کنترلی
۱۷۳	۵-۲-۶ کانال‌های کنترل فیزیکی
۱۷۴	۶-۲-۶ سیگنال‌های فیزیکی
۱۷۵	۷-۲-۶ جریان‌های اطلاعاتی
۱۷۶	۳-۶ منبع مشبک
۱۷۶	۱-۳-۶ ساختارشیار
۱۷۷	۲-۳-۶ ساختار فریم
۱۷۹	۳-۳-۶ تنظیم پیش برد زمانی لینک فراسو
۱۸۰	۴-۳-۶ ساختار منبع مشبک
۱۸۲	۵-۳-۶ گزینه‌های پهنای باند
۱۸۳	۴-۶ انتقال آنتن‌های چندگانه
۱۸۳	۱-۴-۶ پورت‌های آنتن لینک فراسو
۱۸۴	۲-۴-۶ روش‌های انتقال لینک فراسو
۱۸۴	۵-۶ نگاشت عناصر منبع
۱۸۴	۱-۵-۶ نگاشت عناصر منبع لینک فراسو
۱۸۶	۲-۵-۶ نگاشت عناصر منبع در لینک فراسو

فصل هفتم: تملک سلول

۱۹۳	۱-۷ روش تملک
۱۹۴	۲-۷ سیگنال‌های همزمانی
۱۹۴	۱-۲-۷ شناسه فیزیکی سلول
۱۹۵	۲-۲-۷ سیگنال‌های همزمانی اولیه (PSS)
۱۹۷	۳-۲-۷ سیگنال همزمانی ثانویه
۱۹۷	۳-۷ سیگنال‌های مرجع لینک فراسو
۱۹۹	۴-۷ کانال پخش سراسری فیزیکی
۲۰۱	۵-۷ کانال‌های شاخص قالب کنترل فیزیکی

۲۰۲	۶-۷ اطلاعات سیستمی
۲۰۲	۱-۶-۷ سازماندهی اطلاعات سیستمی
۲۰۴	۲-۶-۷ انتقال و دریافت اطلاعات سیستمی
۲۰۵	۷-۷ فرایندهای بعد از تملک سلول

فصل هشتم: انتقال و دریافت داده

۲۱۱	۱-۸ فرایندهای انتقال داده
۲۱۱	۱-۱-۸ انتقال و دریافت لینک فروسو
۲۱۳	۲-۱-۸ انتقال و دریافت لینک فراسو
۲۱۶	۳-۱-۸ زمان بندی نیمه پایدار
۲۱۷	۲-۸ انتقال پیام های زمان بندی PDCCH
۲۱۷	۱-۲-۸ اطلاعات کنترلی لینک فروسو
۲۱۹	۲-۲-۸ تخصیص منبع
۲۲۰	۳-۲-۸ DCI قالب ۱
۲۲۱	۴-۲-۸ شناسه های موقت شبکه رادیویی
۲۲۳	۵-۲-۸ انتقال و دریافت PDCCH
۲۲۵	۳-۸ انتقال داده روی PDCCH و PUSCH
۲۲۵	۱-۳-۸ پردازش کانال انتقال
۲۲۶	۲-۳-۸ پردازش کانال فیزیکی
۲۲۸	۴-۸ انتقال نشانگرهای HARQ روی PHICH
۲۲۸	۱-۴-۸ مقدمه
۲۲۹	۲-۴-۸ نگاشت عناصر منبع PHICH
۲۳۰	۳-۴-۸ پردازش کانال فیزیکی PHICH
۲۳۰	۵-۸ اطلاعات کنترلی لینک فراسو
۲۳۰	۱-۵-۸ تصدیق های ARQ ترکیبی
۲۳۱	۲-۵-۸ شاخص کیفیت کانال
۲۳۳	۳-۵-۸ شاخص رتبه بندی
۲۳۳	۴-۵-۸ شاخص ماتریس پیش کد کننده
۲۳۴	۵-۵-۸ مکانیزم های گزارش دهی وضعیت کانال
۲۳۵	۶-۵-۸ درخواست های زمان بندی
۲۳۵	۶-۸ انتقال اطلاعات کنترلی روی PUCCH
۲۳۵	۱-۶-۸ قالب های PUCCH

۲۳۷	۲-۶-۸ منابع PUCCH
۲۳۸	۳-۶-۸ پردازش کانال فیزیکی PUCCH
۲۳۹	۷-۸ سیگنال‌های مرجع لینک فراسو
۲۳۹	۱-۷-۸ سیگنال مرجع دمدولاسیون
۲۴۰	۲-۷-۸ سیگنال مرجع صداگذاری
۲۴۲	۸-۸ کنترل توان
۲۴۲	۱-۸-۸ محاسبه توان لینک فراسو
۲۴۳	۲-۸-۸ دستورات کنترل توان لینک فراسو
۲۴۴	۳-۸-۸ کنترل توان لینک فرسو
۲۴۵	۹-۸ دریافت گسسته
۲۴۵	۱-۹-۸ دریافت گسسته و فراخوانی در RRC_IDLE
۲۴۶	۲-۹-۸ دریافت گسسته در RRC_CONNECTED

فصل نهم: دسترسی تصادفی

۲۵۵	۱-۹ انتقال آغازگرهای دسترسی تصادفی روی PRACH
۲۵۵	۱-۱-۹ نگاشت عناصر منبع
۲۵۸	۲-۱-۹ تولید دنباله آغازگر
۲۵۹	۳-۱-۹ انتقال سیگنال
۲۶۰	۲-۹ فرآیند مبتنی بر بدون رقابت
۲۶۲	۳-۹ فرآیند مبتنی بر رقابت

فصل دهم: واسط هوایی لایه دو

۲۶۹	۱-۱۰ پروتکل کنترل دسترسی رسانه
۲۶۹	۱-۱-۱۰ معماری پروتکل
۲۷۱	۲-۱-۱۰ دستورات تنظیم پیشبرد زمانی
۲۷۲	۳-۱-۱۰ گزارش‌گیری وضعیت بافر
۲۷۲	۴-۱-۱۰ گزارش سقف توان
۲۷۳	۵-۱-۱۰ مالتی پلکسینگ و دمالتی پلکسینگ
۲۷۴	۶-۱-۱۰ اولویت‌بندی کانال منطقی
۲۷۵	۷-۱-۱۰ زمان‌بندی انتقال‌ها در واسط هوایی
۲۷۷	۲-۱۰ پروتکل کنترل لینک دسترسی رسانه
۲۷۷	۱-۲-۱۰ معماری پروتکل

۲۷۸	۱۰-۲-۲ حالت شفاف
۲۷۹	۱۰-۲-۳ حالت تصدیق نشده
۲۸۰	۱۰-۲-۴ حالت تصدیق شده
۲۸۲	۱۰-۳ پروتکل همگرایی داده بسته
۲۸۲	۱۰-۳-۱ معماری پروتکل
۲۸۳	۱۰-۳-۲ فشرده سازی سرایند
۲۸۴	۱۰-۳-۳ جلوگیری از دست رفتن بسته در طول فرایند دست به دست کردن

فصل یازدهم: فرایندهای فعال سازی و غیرفعال سازی توان

۲۸۹	۱۱-۱ ترتیب فعال سازی توان
۲۹۱	۱۱-۲ انتخاب شبکه و سلول
۲۹۱	۱۱-۲-۱ انتخاب شبکه
۲۹۲	۱۱-۲-۲ انتخاب گروه مشترکین محرمانه
۲۹۳	۱۱-۲-۳ انتخاب سلول
۲۹۵	۱۱-۳ برقراری اتصال RRC
۲۹۵	۱۱-۳-۱ فرایند پایه ای
۲۹۷	۱۱-۳-۲ ارتباط با سایر فرایندها
۲۹۸	۱۱-۴ فرایند اتصال به شبکه
۲۹۸	۱۱-۴-۱ تخصیص آدرس IP
۲۹۹	۱۱-۴-۲ مروری بر فرایند برقراری اتصال به شبکه
۳۰۰	۱۱-۴-۳ درخواست اتصال به شبکه
۳۰۲	۱۱-۴-۴ شناسایی و روش های امنیتی
۳۰۴	۱۱-۴-۵ به روزرسانی موقعیت
۳۰۶	۱۱-۴-۶ ایجاد حامل پیش فرض
۳۰۷	۱۱-۴-۷ پذیرش اتصال به شبکه
۳۰۹	۱۱-۴-۸ به روزرسانی حامل پیش فرض
۳۱۱	۱۱-۵ فرایند قطع اتصال از شبکه

فصل دوازدهم: فرایندهای امنیتی

۳۱۷	۱۲-۱ امنیت شبکه دسترسی
۳۱۷	۱۲-۱-۱ معماری امنیتی
۳۱۹	۱۲-۱-۲ سلسله مراتب کلید

۳۲۰	۳-۱-۱۲ تصدیق هویت و توافق کلید
۳۲۲	۴-۱-۱۲ فعال‌سازی امنیت
۳۲۵	۵-۱-۱۲ رمزنگاری
۳۲۶	۶-۱-۱۲ حفاظت از جامعیت
۳۲۷	۲-۱۲ امنیت حوزه شبکه
۳۲۷	۱-۲-۱۲ پروتکل‌های امنیتی
۳۲۸	۲-۲-۱۲ امنیت در EPC
۳۲۹	۳-۲-۱۲ امنیت در شبکه دسترسی رادیویی

فصل سیزدهم: کیفیت سرویس، سیاست‌گذاری و شارژینگ

۳۳۵	۱-۱۳ سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ
۳۳۵	۱-۱-۱۳ پارامترهای کیفیت سرویس
۳۳۸	۲-۱-۱۳ سرویس جریان‌های داده
۳۴۰	۳-۱-۱۳ پارامترهای شارژینگ
۳۴۱	۴-۱-۱۳ سیاست‌گذاری و قوانین کنترل شارژینگ
۳۴۱	۲-۱۳ معماری سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ
۳۴۱	۱-۲-۱۳ معماری اولیه PCC
۳۴۳	۲-۲-۱۳ معماری اتصالات محلی
۳۴۴	۳-۲-۱۳ معماری شارژینگ با استفاده از یک PMIP برپایه S5/S8
۳۴۵	۴-۲-۱۳ پروتکل‌های نرم‌افزاری
۳۴۵	۳-۱۳ لایه‌های مدیریت نشست
۳۴۵	۱-۳-۱۳ برقراری نشست IP-CAN
۳۴۷	۲-۳-۱۳ برقراری SDF آغازی از سوی موبایل
۳۴۹	۳-۳-۱۳ برقراری SDF آغازی از سوی سرور
۳۵۱	۴-۳-۱۳ برقراری حامل اختصاصی
۳۵۲	۵-۳-۱۳ برقراری ارتباط PDN
۳۵۴	۶-۳-۱۳ سایر فرایندهای مدیریت نشست
۳۵۵	۴-۱۳ انتقال داده در EPC
۳۵۵	۱-۴-۱۳ کنترل بسته‌ها در دروازه PDN
۳۵۵	۲-۴-۱۳ انتقال داده با استفاده از GTP
۳۵۷	۳-۴-۱۳ سرویس‌های تفاضلی
۳۵۸	۴-۴-۱۳ سوئیچینگ مبتنی بر برچسب چند لایه‌ای

۳۵۹	۱۳-۴-۵ انتقال داده با استفاده GRE و PMIP
۳۶۰	۱۳-۵ شارژینگ و صدور صورتحساب
۳۶۰	۱۳-۵-۱ معماری سطح بالا
۳۶۱	۱۳-۵-۲ شارژینگ آفلاین
۳۶۲	۱۳-۵-۳ شارژینگ آنلاین

فصل چهاردهم: مدیریت قابلیت تحرک

۳۷۱	۱۴-۱ تراکنش‌های بین وضعیت‌های مدیریت قابلیت تحرک
۳۷۱	۱۴-۱-۱ فرایند قطع S1
۳۷۳	۱۴-۱-۲ فرایند فراخوانی
۳۷۵	۱۴-۱-۳ فرایند درخواست سرویس
۳۷۷	۱۴-۲ انتخاب مجدد سلول در حالت RRC_IDLE
۳۷۷	۱۴-۲-۱ اهداف
۳۷۷	۱۴-۲-۲ راه‌اندازی اندازه‌گیری بر روی باند فرکانسی LTE یکسان
۳۷۹	۱۴-۲-۳ انتخاب مجدد سلول برای باند فرکانسی LTE یکسان
۳۸۰	۱۴-۲-۴ اندازه‌گیری راه‌انداز روی یک فرکانس LTE متفاوت
۳۸۱	۱۴-۲-۵ انتخاب مجدد سلول روی یک فرکانس LTE متفاوت
۳۸۲	۱۴-۲-۶ موبایل‌هایی با تحرک بالا
۳۸۳	۱۴-۲-۷ فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی
۳۸۵	۱۴-۲-۸ انتخاب مجدد شبکه
۳۸۵	۱۴-۳ اندازه‌گیری‌های RRC_CONNECTED
۳۸۵	۱۴-۳-۱ اهداف
۳۸۶	۱۴-۳-۲ فرایند اندازه‌گیری
۳۸۷	۱۴-۳-۳ گزارش اندازه‌گیری
۳۹۰	۱۴-۳-۴ اندازه‌گیری شکاف‌ها
۳۹۱	۱۴-۴ دست به دست کردن در وضعیت RRC_CONNECTED
۳۹۱	۱۴-۴-۱ فرایند دست به دست کردن برپایه X2
۳۹۵	۱۴-۴-۲ انواع دست به دست کردن

فصل پانزدهم: تعامل GSM و UMTS

۴۰۲	۱۵-۱ معماری سیستم
۴۰۲	۱۵-۱-۱ معماری ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای 2G/3G

۴۰۴	۲-۱-۱۵ معماری تعاملی برپایه S3/S4
۴۰۶	۳-۱-۱۵ معماری تعاملی برپایه Gn/Gp
۴۰۷	۲-۱۵ فرآیندهای فعال‌سازی توان
۴۰۸	۳-۱۵ مدیریت قابلیت تحرک در حالت RRC_IDLE
۴۰۸	۱-۳-۱۵ انتخاب مجدد سلول
۴۰۸	۲-۳-۱۵ فرایند به روزرسانی ناحیه مسیریابی
۴۱۱	۳-۳-۱۵ کاهش سیگنالینگ حالت بیکار
۴۱۲	۴-۱۵ مدیریت قابلیت تحرک در حالت RRC_CONNECTED
۴۱۲	۱-۴-۱۵ قطع ارتباط RRC با تغییر جهت
۴۱۴	۲-۴-۱۵ فرایندهای اندازه‌گیری
۴۱۶	۳-۴-۱۵ دست به دست کردن بهینه‌سازی شده

فصل شانزدهم: تعامل با فناوری‌های غیر 3GPP

۴۲۶	۱-۱۶ معماری کل سیستم
۴۲۶	۱-۱-۱۶ معماری قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه
۴۲۸	۲-۱-۱۶ معماری قابلیت تحرک مبتنی بر میزبان
۴۲۹	۳-۱-۱۶ تابع کشف و انتخاب شبکه دسترسی
۴۳۱	۲-۱۶ فرایندهای عمومی سیگنالینگ
۴۳۱	۱-۲-۱۶ مروری بر فرایند اتصال به شبکه
۴۳۲	۲-۲-۱۶ توافق کلید و تصدیق هویت
۴۳۵	۳-۲-۱۶ برقراری ارتباط PDN
۴۳۸	۴-۲-۱۶ انتخاب مجدد شبکه دسترسی رادیویی
۴۳۹	۳-۱۶ تعامل با cdma2000 HRRD
۴۳۹	۱-۳-۱۶ معماری سیستم
۴۴۰	۲-۳-۱۶ پیش ثبت‌نام با cdma2000
۴۴۱	۳-۳-۱۶ انتخاب مجدد سلول در حالت RRC_IDLE
۴۴۲	۴-۳-۱۶ اندازه‌گیری‌ها و دست به دست کردن در حالت RRC_CONNECTED

فصل هفدهم: شبکه‌های خود بهینه‌سازی

۴۵۳	۱-۱۷ خود پیکربندی یک eNB
۴۵۳	۱-۱-۱۷ پیکربندی خودکار شناسه فیزیکی سلول
۴۵۴	۲-۱-۱۷ روابط همسایگی خودکار

۴۵۶	۳-۱-۱۷ بهینه‌سازی کانال دسترسی تصادفی
۴۵۷	۲-۱۷ هماهنگی تداخل بین سلولی
۴۵۸	۳-۱۷ مدیریت قابلیت تحرک
۴۵۸	۱-۳-۱۷ توازن بار قابلیت تحرک
۴۵۹	۲-۳-۱۷ بهینه‌سازی پایدار قابلیت تحرک
۴۶۳	۳-۳-۱۷ صرفه‌جویی در انرژی
۴۶۳	۴-۱۷ مدیریت اطلاعات شبکه دسترسی رادیویی
۴۶۳	۱-۴-۱۷ مقدمه
۴۶۴	۲-۴-۱۷ انتقال اطلاعات سیستمی
۴۶۶	۳-۴-۱۷ انتقال داده خود بهینه‌سازی
۴۶۶	۵-۱۷ کمینه‌سازی درایو تست

فصل هجدهم: بهبودها در نسخه نهم

۴۷۳	۱-۱۸ سرویس چند رسانه‌ای پخش سراسری / چند پخش (MBMS)
۴۷۳	۱-۱-۱۸ مقدمه
۴۷۴	۲-۱-۱۸ چند پخش / پخش سراسری روی یک شبکه تک فرکانسی
۴۷۵	۳-۱-۱۸ پیاده‌سازی MBSFN در LTE
۴۷۸	۴-۱-۱۸ معماری MBMS
۴۷۹	۵-۱-۱۸ عملکرد MBMS
۴۸۰	۲-۱۸ سرویس‌های موقعیتی
۴۸۰	۱-۲-۱۸ مقدمه
۴۸۱	۲-۲-۱۸ روش‌های تعیین موقعیت
۴۸۲	۳-۲-۱۸ معماری سرویس تعیین موقعیت
۴۸۴	۴-۲-۱۸ فرایندهای سرویس تعیین موقعیت
۴۸۶	۳-۱۸ سایر بهبودها در نسخه نهم
۴۸۶	۱-۳-۱۸ شکل‌دهی پرتو دو لایه
۴۸۷	۲-۳-۱۸ سیستم هشدار تجاری موبایل

فصل نوزدهم: LTE پیشرفته و نسخه دهم

۴۹۱	۱-۱۹ تجمیع حامل
۴۹۱	۱-۱-۱۹ اصول کارکردی
۴۹۳	۲-۱-۱۹ قابلیت‌های UE

۴۹۵	۳-۱-۱۹ زمان بندی
۴۹۶	۴-۱-۱۹ انتقال و دریافت داده
۴۹۶	۵-۱-۱۹ بازخورد لینک فراسو و لینک فروسو
۴۹۷	۶-۱-۱۹ سایر فرایندهای لایه فیزیکی و MAC
۴۹۷	۷-۱-۱۹ فرایندهای RRC
۴۹۸	۲-۱۹ MIMO پیشرفته لینک فروسو
۴۹۸	۱-۲-۱۹ اهداف
۴۹۹	۲-۲-۱۹ سیگنال های مرجع لینک فروسو
۵۰۲	۳-۲-۱۹ بازخورد و انتقال لینک فراسو
۵۰۳	۳-۱۹ MIMO پیشرفته لینک فراسو
۵۰۳	۱-۳-۱۹ اهداف
۵۰۴	۲-۳-۱۹ پیاده سازی
۵۰۵	۴-۱۹ باز پخش کننده ها
۵۰۵	۱-۴-۱۹ مفاهیم کاربردی
۵۰۶	۲-۴-۱۹ معماری باز پخش کنندگی
۵۰۸	۳-۴-۱۹ پیشرفت های روی واسط هوایی
۵۰۹	۵-۱۹ شبکه های ناهمگن
۵۰۹	۱-۵-۱۹ مقدمه
۵۱۰	۲-۵-۱۹ هماهنگی تداخل بین سلولی تکامل یافته
۵۱۱	۳-۵-۱۹ پیشرفت های انجام شده روی شبکه های خود بهینه سازی
۵۱۲	۶-۱۹ روش های رهاسازی ترافیک
۵۱۲	۱-۶-۱۹ دسترسی IP محلی
۵۱۴	۲-۶-۱۹ آزادسازی ترافیک IP انتخابی
۵۱۵	۳-۶-۱۹ دسترسی چندگانه ارتباطی PDN
۵۱۶	۴-۶-۱۹ قابلیت تحرک جریان IP
۵۱۸	۷-۱۹ کنترل سرریز برای ارتباطات از نوع ماشین

فصل بیستم: نسخه های یازدهم و دوازدهم

۵۲۷	۱-۲۰ انتقال و دریافت چند نقطه هماهنگ
۵۲۷	۱-۱-۲۰ اهداف
۵۲۸	۲-۱-۲۰ سناریوها
۵۳۰	۳-۱-۲۰ روش های CoMP

۵۳۱	۴-۱-۲۰ استانداردسازی
۵۳۳	۵-۱-۲۰ کارایی
۵۳۳	۲-۲۰ کانال کنترل فیزیکی ارتقاء یافته لینک فروسو
۵۳۵	۳-۲۰ اجتناب از تداخل برای همزیستی تجهیزات
۵۳۶	۴-۲۰ ارتباطات نوع ماشین
۵۳۶	۱-۴-۲۰ راه اندازی تجهیزات
۵۳۸	۲-۴-۲۰ شماره گذاری، آدرس دهی و شناسایی
۵۳۸	۵-۲۰ برنامه های کاربردی داده ی موبایل
۵۳۹	۶-۲۰ ویژگی های جدید در نسخه دوازده
۵۳۹	۱-۶-۲۰ سرویس های مجاورتی و ارتباطات دستگاه به دستگاه
۵۴۲	۲-۶-۲۰ انطباق پویای پیکربندی TDD
۵۴۴	۳-۶-۲۰ پیشرفت های انجام گرفته برای ارتباطات نوع ماشین و داده موبایل
۵۴۶	۴-۶-۲۰ پیشرفت های رها سازی ترافیک
۵۴۶	۷-۲۰ مطالعات نسخه دوازده
۵۴۶	۱-۷-۲۰ پیشرفت های انجام گرفته برای سلول های کوچک و شبکه های ناهمگن
۵۴۸	۲-۷-۲۰ ارتقاء شکل دهی پرتو و MIMO ابعاد کامل

فصل بیست و یکم: بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری

۵۵۶	۱-۲۱ تحویل تماس های صوتی و پیام های متنی روی LTE
۵۵۶	۱-۱-۲۱ درآمد تماس های صوتی و SMS
۵۵۷	۲-۱-۲۱ سرویس صوت روی IP تأمین کنندگان ثالث
۵۵۸	۳-۱-۲۱ زیر سیستم چند رسانه ای IP
۵۵۹	۴-۱-۲۱ VoLGA
۵۶۰	۵-۱-۲۱ تجهیزات رادیویی دوگانه
۵۶۰	۶-۱-۲۱ بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری
۵۶۱	۲-۲۱ معماری سیستم
۵۶۱	۱-۲-۲۱ معماری ناحیه سوئیچینگ مداری 2G/3G
۵۶۳	۲-۲-۲۱ معماری بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری
۵۶۴	۳-۲۱ فرایند اتصال به شبکه
۵۶۴	۱-۳-۲۱ فرایند اتصال به شبکه ترکیبی EPS/IMSI
۵۶۶	۲-۳-۲۱ اولویت حوزه صوت و تنظیم کاربرد UE
۵۶۸	۴-۲۱ مدیریت قابلیت تحرک

۵۶۸	۲۱-۴-۱ فرایند ردیابی ناحیه/ به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی ترکیبی
۵۶۸	۲۱-۴-۲ تنظیم نواحی ردیابی و حوزه های موقعیت مکانی
۵۷۰	۲۱-۴-۳ انتخاب مجدد سلول UMTS یا GSM
۵۷۱	۲۱-۵ برقراری تماس
۵۷۱	۲۱-۵-۱ برقراری تماس از سمت موبایل با استفاده از قطع ارتباط RRC
۵۷۴	۲۱-۵-۲ برقراری تماس با منشأ موبایل با استفاده از دست به دست کردن
۵۷۶	۲۱-۵-۳ پیام های سیگنالینگ در ناحیه سوئیچینگ مداری
۵۷۷	۲۱-۵-۴ برقراری تماس منتهی به موبایل
۵۷۹	۲۱-۵-۵ بازگشت به LTE
۵۸۰	۲۱-۶ پیام کوتاه (SMS) روی SGs
۵۸۰	۲۱-۶-۱ معماری سیستم
۵۸۱	۲۱-۶-۲ تحویل SMS
۵۸۳	۲۱-۷ بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری cdma2000 1×RTT
۵۸۴	۲۱-۸ عملکرد بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری

فصل بیست و دوم: VoLTE و زیر سیستم چند رسانه ای IP

۵۹۱	۲۲-۱ مقدمه
۵۹۱	۲۲-۱-۱ زیر سیستم چند رسانه ای IP
۵۹۲	۲۲-۱-۲ VoLTE
۵۹۴	۲۲-۱-۳ سرویس ارتباطی غنی
۵۹۵	۲۲-۲ معماری سخت افزاری IMS
۵۹۵	۲۲-۲-۱ معماری سطح بالا
۵۹۶	۲۲-۲-۲ توابع کنترل نشست تماس
۵۹۶	۲۲-۲-۳ سرویس های برنامه های کاربردی
۵۹۷	۲۲-۲-۴ سرور خانگی مشترکین
۵۹۸	۲۲-۲-۵ تجهیزات کاربران
۵۹۹	۲۲-۲-۶ ارتباط با LTE
۶۰۱	۲۲-۲-۷ توابع کنترل محدوده
۶۰۲	۲۲-۲-۸ توابع دروازه رسانه
۶۰۳	۲۲-۲-۹ توابع منبع چند رسانه ای
۶۰۴	۲۲-۲-۱۰ معماری امنیتی
۶۰۵	۲۲-۲-۱۱ معماری شارژینگ

۶۰۵	۳-۲۲ پروتکل سیگنالینگ
۶۰۵	۱-۳-۲۲ پروتکل آغاز کننده نشست
۶۰۷	۲-۳-۲۲ پروتکل توصیف کننده نشست
۶۰۷	۳-۳-۲۲ سایر پروتکل های
۶۰۸	۴-۲۲ ارایه سرویس در IMS
۶۰۸	۱-۴-۲۲ پروفایل های سرویس
۶۰۹	۲-۴-۲۲ برچسب های خصوصیات رسانه
۶۱۰	۳-۴-۲۲ سرویس تلفن چند رسانه ای برای IMS
۶۱۱	۵-۲۲ فرایند ثبت نام VoLTE
۶۱۱	۱-۵-۲۲ مقدمه
۶۱۲	۲-۵-۲۲ فرایندهای LTE
۶۱۳	۳-۵-۲۲ محتویات درخواست REGISTER
۶۱۵	۴-۵-۲۲ فرایند ثبت نام IMS
۶۱۷	۵-۵-۲۲ درخواست ها و پاسخ های مسیریابی SIP
۶۱۸	۶-۵-۲۲ ثبت نام بخش ثالث با سروورهای برنامه های کاربردی
۶۱۹	۷-۵-۲۲ مشارکت برای لغو ثبت نام از سوی شبکه
۶۲۰	۶-۲۲ برقراری و برچیدن تماس
۶۲۰	۱-۶-۲۲ محتویات درخواست INVITE
۶۲۲	۲-۶-۲۲ آغاز درخواست و پاسخ INVITE
۶۲۵	۳-۶-۲۲ پذیرش INVITE آغازی
۶۲۷	۴-۶-۲۲ برقراری تماس با شبکه سوئیچینگ مداری
۶۲۷	۵-۶-۲۲ قطع تماس
۶۲۸	۷-۲۲ انتخاب حوزه دسترسی
۶۲۸	۱-۷-۲۲ تماس های آغازی از سوی موبایل
۶۳۰	۲-۷-۲۲ تماس های منتهی به موبایل
۶۳۱	۸-۲۲ SRVCC
۶۳۱	۱-۸-۲۲ مقدمه
۶۳۱	۲-۸-۲۲ معماری SRVCC
۶۳۲	۳-۸-۲۲ فرایندهای اتصال به شبکه، ثبت نام و برقراری تماس
۶۳۳	۴-۸-۲۲ آماده سازی دست به دست کردن
۶۳۵	۵-۸-۲۲ به روزرسانی بخش راه دور
۶۳۶	۶-۸-۲۲ آزادسازی بخش مبدأ
۶۳۷	۷-۸-۲۲ اجرا و اتمام دست به دست کردن

۶۳۸	۲۲-۸-۴ سیر تکامل SRVCC
۶۴۰	۲۲-۹ سرویس‌های متمرکز IMS
۶۴۱	۲۲-۱۰ سرویس‌های اضطراری IMS
۶۴۱	۲۲-۱۰-۱ معماری تماس اضطراری
۶۴۳	۲۲-۱۰-۲ فرایند برقراری تماس اضطراری
۶۴۵	۲۲-۱۱ تحویل پیام‌های SMS بروی IMS
۶۴۵	۲۲-۱۱-۱ معماری SMS
۶۴۶	۲۲-۱۱-۲ انتخاب حوزه دسترسی

فصل بیست و سوم: عملکرد

۶۵۷	۲۳-۱ نرخ‌های بسته حداکثر لحظه‌ای LTE و LTE-Advanced
۶۵۷	۲۳-۱-۱ افزایش نرخ داده حداکثر لحظه‌ای
۶۵۹	۲۳-۱-۲ محدودیت‌های نرخ داده حداکثر لحظه‌ای
۶۶۰	۲۳-۲ پوشش یک سلول LTE
۶۶۰	۲۳-۲-۱ بودجه لینک فراسو
۶۶۵	۲۳-۲-۲ بودجه لینک فروسو
۶۶۷	۲۳-۲-۳ مدل‌سازی انتشار
۶۶۸	۲۳-۲-۴ تخمین پوشش
۶۶۹	۲۳-۳ ظرفیت یک سلول LTE
۶۶۹	۲۳-۳-۱ تخمین ظرفیت
۶۷۰	۲۳-۳-۲ شبیه‌سازی‌های ظرفیت سلول
۶۷۳	۲۳-۴ عملکرد صوت روی IP
۶۷۳	۲۳-۴-۱ حالت‌های کد کننده AMR
۶۷۵	۲۳-۴-۲ انتقال فریم‌های AMR بر روی واسط هوایی
۶۷۷	۲۳-۴-۳ انتقال فریم‌های AMR در یک شبکه ثابت

فصل اول: مقدمه

در این فصل مروری بر پیشینه LTE خواهیم داشت و از بیان مشخصات فنی آن دوری خواهیم کرد. این فصل را با توپولوژی شبکه‌های GSM و UMTS شروع می‌کنیم و برخی از واژگانی^۱ که در این سیستم به کار برده شده را معرفی می‌نماییم. سپس خلاصه‌ای از تاریخ سیستم‌های مخابراتی موبایل، مباحثی که در توسعه شبکه‌های مخابراتی ایجاد شد تا به LET و سپس به LTE پیشرفته^۲ رسید، را بیان خواهیم کرد. این فصل با رویکرد نزدیک به روش استانداردسازی برای LTE ارائه می‌شود.

۱-۱ مروری بر معماری GSM و UMTS

۱-۱-۱ معماری سطح بالا

LTE از طریق همکاری سازمان‌ها و ملیت‌های مختلفی در قالب پروژه 3GPP^۳ طراحی گردید [۱] و یک سیستم کاملاً مبتنی بر توسعه بلند مدت^۴ در 3GPP شناخته می‌شود. LTE یک پروژه تکامل یافته سیستم قدیمی‌تری از گروه 3GPP به نام UMTS^۵ بود که خود نیز از سیستم‌های موبایل نسل دوم به نام GSM^۶ حاصل شده بود. برای ورود به محتوای LTE ما ابتدا معماری UMTS و GSM را مروری کرده و واژگان مهم آن را معرفی می‌کنیم.

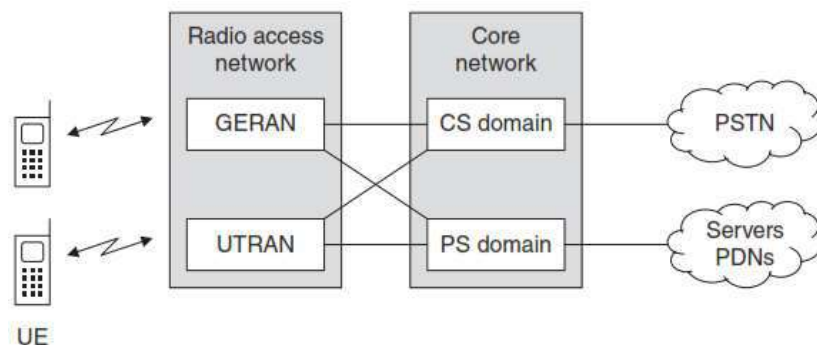
یک شبکه موبایل به طور رسمی با نام شبکه موبایل زمینی عمومی^۷ شناخته می‌شود و توسط اپراتورهای مخابراتی نظیر Vodaphone یا Verizon ارائه می‌شود. GSM و UMTS یک معماری عمومی و مشترکی را ارائه می‌دهد، که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود. این شبکه دارای سه جزء اصلی به نام‌های شبکه هسته^۸، شبکه دسترسی و دستگاه موبایل می‌باشد.

شبکه هسته (CN) دارای دو حوزه می‌باشد، ناحیه سوئیچینگ مدار^۹ (CS)، که انتقال تماس‌های تلفنی سراسر یک ناحیه جغرافی را بر عهده دارد و توسط اپراتور آن شبکه پوشش

-
1. Terminology
 2. LTE- Advanced
 3. Third Generation Partnership Project
 4. Long Term Evolution
 5. Universal Mobile Telecommunication System
 6. Global System For Mobile Communications
 7. Public Land Mobile Network
 8. Core Network
 9. Circuit Switched

داده می‌شود، به عبارت دیگر همان شبکه تلفن قدیمی می‌باشد. این شبکه می‌تواند از طریق خطوط زمینی با شبکه تلفن عمومی *مداری (PSTN)*^۱ ارتباط برقرار نماید، بنابراین کاربران آن می‌توانند با شبکه‌های خارج از سوئیچینگ *مداری* در تماس باشند. سوئیچینگ بسته‌ای (PS)^۲ ناحیه یا منطقه‌ای از شبکه است، که انتقال جریان داده، نظیر صفحات وب و ایمیل بین کاربران و ارتباط با خارج از شبکه داده بسته (PDN)^۳ مثل اینترنت را برقرار می‌کند.

هر دو ناحیه انتقال از روش‌های انتقال کاملاً متفاوتی استفاده می‌کنند. ناحیه CS از روشی به نام سوئیچینگ *مداری* بهره می‌برد که قبل از تماس، یک مسیر اختصاصی برای دو نقطه تماس تخصیص داده می‌شود، در نتیجه تأخیر بسیار ناچیز و نرخ مخابرات ثابت می‌باشد. این روش بسیار مؤثر و مقرون به صرفه نیست. این ارتباط ظرفیت لازم برای برقراری برترین سناریویی را ایجاد می‌کند که دو کاربر معمولاً در حین مکالمه بیش از اندازه هستند و باعث هدر رفتن بیش از اندازه ظرفیت شبکه می‌شود. در نتیجه برای ارتباطات داده‌ای نامناسب است، چرا که نرخ انتقال داده می‌تواند بسیار متفاوت باشد.



شکل ۱-۱ معماری سیستم سطح بالای GSM و UMTS

برای حل این مشکل، ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای از یک روش دیگر بهره می‌برد که به نام سوئیچینگ بسته‌ای می‌باشد. در این روش جریان داده به بسته‌هایی تقسیم می‌شوند و هر یک از آنها با آدرس مقصد بر چسب‌گذاری می‌شوند. در داخل این شبکه، مسیریاب‌ها^۴ آدرس‌های موجود در برچسب‌ها را خوانده و آنها را به آدرس مقصد مربوط به آن هدایت می‌کنند. منابع این

1. Public Switched Telephone Network
2. Packet Switched
3. Packet Data Network
4. Routers

شبکه به طور عمومی بین تمامی کاربران به اشتراک گذاشته می‌شوند، به این ترتیب این روش، بسیار مقرون به صرفه‌تر از سویچینگ مداری است، اما تأخیرات ناشی از تلاش تجهیزات به صورت همزمان برای برقراری تماس، زیاد می‌باشد، به عنوان مثال، اتفاقی که در یک شبکه بزرگ مثل اینترنت رخ می‌دهد.

شبکه دسترسی رادیویی^۱، ارتباط شبکه هسته (CS) را با کاربران برقرار می‌کند. با توجه به شکل ۱-۱ دو نوع شبکه رادیویی مجزا وجود دارند، که به نام‌های شبکه دسترسی لبه^۲ *GSM (GERAN)* و شبکه رادیویی تجهیزات زمینی *UMTS (UTRAN)*^۳ می‌باشند. این شبکه‌ها، روش‌های ارتباط رادیویی متفاوت‌تری از GSM و UMTS را به کار می‌برند، اما یک شبکه هسته عمومی بین آنها به طور مشترک قرار دارد.

دستگاه‌های ارتباطی کاربران به طور رسمی به نام *تجهیزات کاربران (UE)*^۴ شناخته می‌شوند و در بین مردم به نام Mobile معروف است. UE به وسیله واسطه هوایی^۵ با شبکه رادیویی دسترسی در ارتباط می‌باشد. واسطه هوایی به واسطه رادیویی نیز مشهور است. جهت ارتباط شبکه با موبایل به نام مسیر فرورو (DL)^۶ یا Forward link و جهت ارتباط موبایل با شبکه به نام لینک فراسو (UL)^۷ یا لینک معکوس^۸ است.

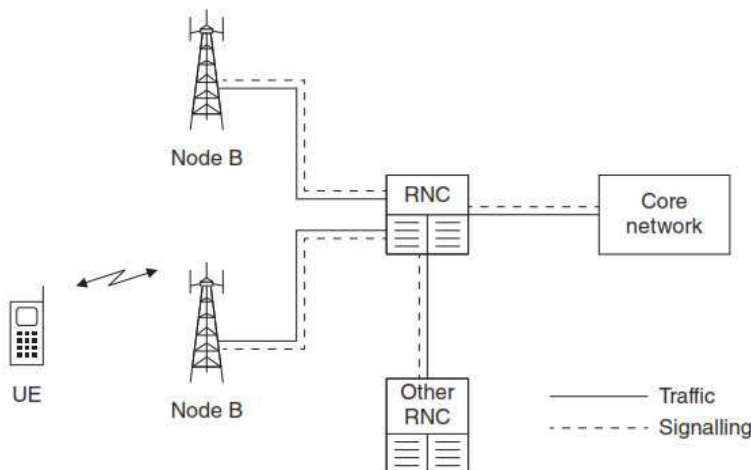
یک موبایل می‌تواند در خارج از محدوده اپراتور خود با استفاده از منابع دو شبکه PLMN کار کند: شبکه ملاقات شونده^۹: جایی است که موبایل در آن حضور دارد و با شبکه خانگی^{۱۰} خود در ارتباط است. این وضعیت به نام *Roaming* شناخته می‌شود.

۱-۱-۲ معماری شبکه دسترسی رادیویی

شکل ۱-۲ نمایی از شبکه دسترسی رادیویی UMTS را نشان می‌دهد. مهم‌ترین جزء این شبکه ایستگاه پایه می‌باشد، که در UMTS به نام *Node B* شناخته می‌شود. هر ایستگاه پایه دارای یک یا

1. Radio Access Network
2. GSM Edge Radio Access Network
3. UMTS Terrestrial Radio Access Network
4. User Equipment
5. Air Interface
6. Downlink
7. Uplink
8. Reverse Link
9. Visited Network
10. Home Network

چند آنتن است، که آنها با موبایل‌های کاربران در یک یا چند سکتور در ارتباط هستند. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، هر ایستگاه پایه به طور معمول دارای سه آنتن است که هر کدام برای کنترل یک سکتور می‌باشد، فاصله فضایی این آنتن‌ها 120 درجه است. در یک کشور متوسطی مثل بریتانیا، شبکه موبایل به طور معمول دارای چندین هزار ایستگاه پایه است.



شکل ۱-۲ معماری تجهیزات زمینی شبکه دسترسی رادیویی

کلمه سلول (Cell) می‌تواند دو معنی مختلف داشته باشد [۲]. در اروپا یک سلول همان Sector است، اما در ایالات متحده گروهی از سکتورها توسط یک ایستگاه پایه کنترل می‌شوند، ما در این کتاب از روش نامگذاری اروپایی استفاده خواهیم کرد. بنابراین از دیدگاه این کتاب کلمه سلول و سکتور دارای معانی یکسانی به هم هستند.

هر سلول دارای اندازه محدودی است، که اندازه آن، حداکثر توان دریافتی ایستگاه گیرنده (موبایل) است که می‌تواند از فرستنده دریافت کند. علاوه بر آن هر سلول دارای ظرفیت محدود می‌باشد، ظرفیت مجموع، نرخ مخابراتی است که موبایل‌های یک سلول معمولاً می‌توانند از آن استفاده کنند. این محدودیت‌ها، انواع سلول‌ها را معین می‌کنند. *Macro cell* یک محدوده وسیعی را در ناحیه روستایی یا حومه شهری پوشش می‌دهد و می‌تواند چندین کیلومتر وسعت داشته باشد. *Micro cell* ها محدوده پوششی در حد چند صد متری دارند و دارای ظرفیت بالاتری بوده و برای جمعیت شهری با تراکم بالا و حومه شهری مناسب می‌باشند. *Picocell* ها در محیط‌های داخلی بزرگ به کار می‌روند، که ده متر وسعت دارند نظیر ادارات، فروشگاه‌ها. نهایتاً مشتریان

می‌توانند *Home base station* ها را از اپراتورها خریداری نمایند و در خانه‌های خودشان نصب نمایند، آنها دارای چندین متر هستند و *Femtocell* ها را کنترل می‌کنند.

با نگاهی نزدیک‌تر به واسط هوایی، هر ایستگاه پایه و موبایل بر روی یک فرکانس رادیویی اقدام به ارسال می‌کنند، که فرکانس حامل^۱ نامیده می‌شود. محدوده فرکانسی حامل، با طیف فرکانسی مشخص اشغال شده است که به نام پهنای باند^۲ شناخته می‌شود. به عنوان مثال یک موبایل می‌تواند در فرکانس حامل ۱۹۶۰ هرتز و پهنای باند ۱۰ مگاهرتز کار کند. به عبارت دیگر این موبایل می‌تواند محدود فرکانسی از ۱۹۵۵ تا ۱۹۶۵ مگاهرتز را برای انتقال داده خود اشغال کند.

واسط هوایی باید انتقال ایستگاه پایه را از موبایل‌های آن جدا کند، تا مطمئن شود که روی واسط آنها قرار ندارد و تداخل ایجاد نمی‌کند. UMTS این کار را به دو روش می‌تواند انجام دهد: زمانی که از *FDD*^۳ با تقسیم فرکانسی دو طرفه استفاده می‌کند، ایستگاه پایه اطلاعات خود را بر روی یک فرکانس حامل انتقال می‌دهد و موبایل‌ها نیز از حامل دیگری استفاده می‌کند. زمانی که از *TDD*^۴ یا تقسیم زمانی دو طرفه بهره می‌برد، ایستگاه پایه و موبایل‌ها از یک حامل فرکانسی یکسان برای مخابره استفاده می‌کنند، علاوه بر آن، واسط هوایی باید ایستگاه‌های پایه مختلف و موبایل مختلف را از هم جدا کند، این روش‌ها را در فصل‌های سوم و چهارم خواهیم دید.

وقتی یک موبایل از یک بخش شبکه به جای دیگر شبکه منتقل می‌شود، باید ارتباط خود را از سلولی که قبلاً در آن بوده قطع کند و آن را با سلولی که الان در آن هست آغاز نماید. این فرایند با استفاده از دو روش مختلف انجام می‌گیرد که به نام دست به دست کردن^۵ شناخته می‌شود. دست به دست کردن ارتباط موبایل با شبکه را فعال نگه می‌دارد و انتخاب دوباره سلول^۶ در حالت آماده به کار^۷ موبایل اتفاق می‌افتد. در UMTS یک موبایل فعال می‌تواند در آن واحد با چندین ایستگاه پایه در ارتباط باشد و به آن دست به دست کردن نرم^۸ گفته می‌شود.

-
1. Carrier Frequency
 2. Bandwidth
 3. Frequency Division Duplexing
 4. Time Division Duplexing
 5. Handover
 6. Cell Reselection
 7. Standby
 8. Soft Handover

ایستگاه‌های پایه با وسیله‌ای که به نام کنترل کننده شبکه رادیویی یا RNC^1 شناخته شده گروه‌بندی می‌شوند. RNC ها دو وظیفه مهم دارند. نخست، آنها باید داده‌های کاربران اعم از صوت و داده را از ایستگاه پایه به شبکه هسته منتقل نمایند. دوم، آنها ارتباط رادیویی کاربران را با پیام‌هایی سیگنالیگی کنترل می‌کنند؛ این پیام‌های سیگنالیگی از دید کاربران پنهان می‌باشند، مثلاً فرمان انجام دست به دست کردن موبایل از یک سلول به سلول دیگر. به طور معمول هر شبکه ممکن است ده‌ها کنترل کننده شبکه رادیویی (RNC) داشته باشد و هر کدام از RNC ها نیز صدها ایستگاه پایه را کنترل کنند.

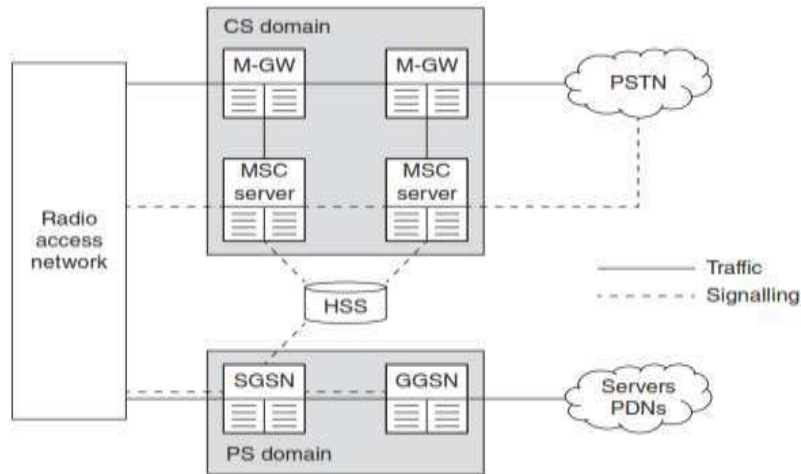
شبکه دسترسی رادیویی GSM نیز طراحی مشابهی دارد، به گونه‌ای که ایستگاه پایه با نام BTS^2 یا ایستگاه انتقال پایه شناخته می‌شوند و به وسیله BSC^3 یا کنترل کننده ایستگاه پایه کنترل می‌شود. اگر یک دستگاه موبایل از هر دو شبکه GSM و UMTS پشتیبانی کند، شبکه می‌تواند آن را بین دو شبکه یاد شده دست به دست (هندور) کند. این روش به نام دست به دست کردن داخل سیستمی^۴ شناخته می‌شود. این نوع دست به دست کردن زمانی که مشترک از محدوده پوششی شبکه UMTS خارج می‌شود، انجام نمی‌گیرد و در این محدوده تنها توسط شبکه GSM پوشش داده می‌شود.

ما در شکل ۱-۲، ترافیک کاربران را به صورت خط پیوسته و پیام‌های را به شکل خط چین نمایش دادیم. این روش را در کل کتاب به کار خواهیم گرفت.

۱-۱-۳ معماری شبکه هسته

شکل ۱-۳ معماری داخلی شبکه هسته (CN) را نشان می‌دهد. در ناحیه سوئیچینگ مداری شبکه، دروازه‌های رسانه (MGW)^۵ تماس‌های تلفنی را از یک بخش در شبکه به بخش دیگر مسیریابی می‌کنند؛ در حالی که سرورهای مرکزی سوئیچینگ موبایل^۶ یا MSC پیام‌های را منتقل می‌کنند که آنها مدیریت و قطع تماس‌ها را انجام می‌دهند.

-
1. Radio Access Controller
 2. Base Transfer Station
 3. Base Station Controller
 4. Inter – System Handover
 5. Media Gateways
 6. Mobile Switching Center



شکل ۳-۱ معماری شبکه هسته UMTS و GSM

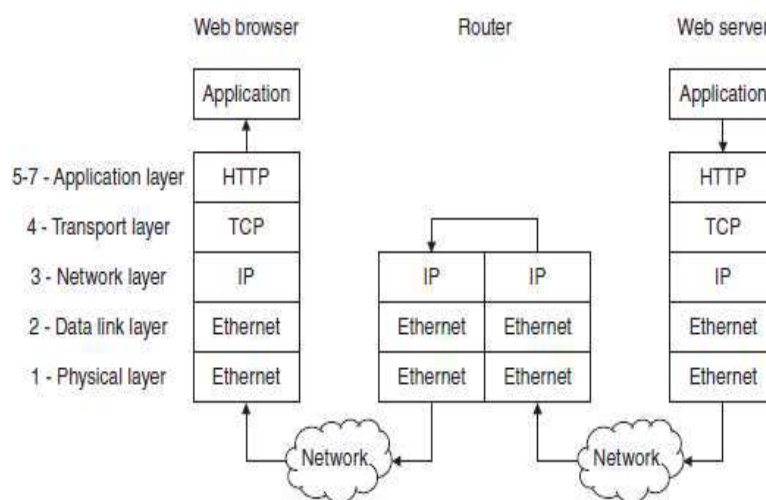
تجهیزات قبلی که به این ترتیب عملیات و ترافیکی تجهیزات موبایل را انجام می‌دهند، به نام‌های مرکز سوئیچینگ موبایل (MSC) و ثبت موقعیت ملاقات (VLR)^۱ شناخته می‌شوند. هر شبکه به طور معمول دارای چندین عدد MSC و VLR می‌باشند. در ناحیه سوئیچینگ مداری، گره‌های GGSN^۲ به عنوان یک واسطه بین سرورها و داده‌های بسته‌ای شبکه موبایل با یک شبکه خارجی عمل می‌کنند. SGSN^۳، مسیریابی داده‌ها بین ایستگاه‌های پایه و GGSN انجام می‌شود. یک بار دیگر هر شبکه موبایل می‌تواند چندین SGSN و GGSN داشته باشد. سرور خانگی مشترکین (HSS)^۴ پایگاه داده‌ای است که اطلاعات تمامی کاربران شبکه یک اپراتور را در خود نگه می‌دارد و در هر دو ناحیه شبکه به اشتراک گذاشته می‌شود. HSS عملیات دو عنصر قبلی به نام‌های HLR^۵ و AuC^۶ را ترکیب کرده و انجام می‌دهد.

۴-۱-۱ پروتکل‌های ارتباطی

در ارتباط با شبکه‌های ارتباطی دیگر، شبکه GSM و UMTS انتقال اطلاعات خود را از طریق پروتکل‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری انجام می‌دهند. بهترین راه برای نشان دادن این واقعیت،

1. Visited Location Register
2. Gateway GPRS Register
3. Serving GPRS Support
4. Home Subscriber Server
5. Home Location Register
6. Authentication Center

استفاده اینترنت از پروتکل‌ها می‌باشد. این پروتکل‌ها توسط کارگروه مهندسی اینترنت (IETF)^۱ طراحی شده است و در گروه‌های مختلف معروف به لایه‌ها گنجانده شده است. هر کدام از این لایه‌ها جنبه‌های انتقال و دریافت اطلاعات را انجام می‌دهند. معروف‌ترین گروه‌بندی، مدل هفت لایه‌ای است که مدل OSI^۲ شناخته می‌شود.

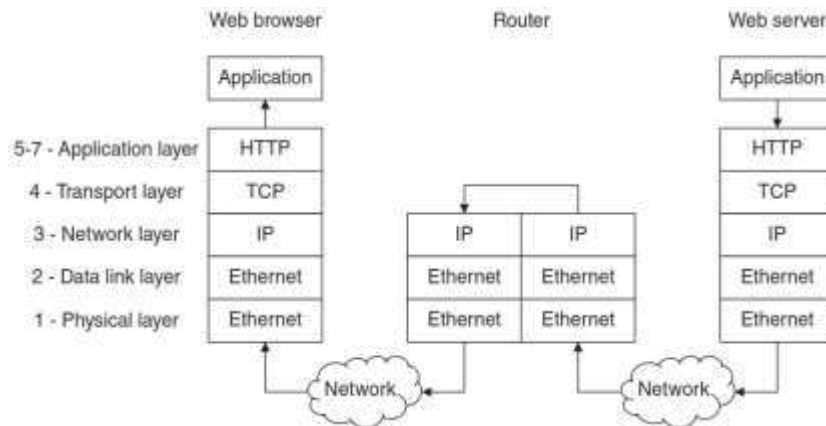


شکل ۴-۱ مثالی از کاربرد پروتکل‌های ارتباطی که اینترنت به کار می‌برد،

نگاشت آنها در مدل OSI نمایش داده می‌شود

به عنوان مثال (شکل ۴-۱ را مشاهده کنید) فرض کنید، یک سرویس دهنده وب اطلاعات خود را از طریق یک مرورگر به کاربران ارسال می‌کند، در اولین مرحله یک پروتکل لایه کاربرد^۳ در این مثال *HTTP*^۴، اطلاعات را از طریق نرم‌افزار کاربردی دریافت می‌کند و آن را به لایه بعدی که یک سطح پایین‌تر می‌باشد، منتقل می‌کند. این کار را به گونه‌ای انجام می‌دهد که لایه کاربرد بتواند آن را بفهمد. از پروتکل‌های دیگر لایه کاربرد می‌توان به *FTP*^۵ و *SMTP*^۶ اشاره کرد.

-
1. Internet Engineering Task Force
 2. Open System Interconnection
 3. Application
 4. Hypertext Transfer Protocol
 5. File Transfer Protocol
 6. Simple Mail Transfer Protocol



شکل ۴-۱ منالی از پروتکل‌های ارتباطی که توسط اینترنت استفاده می‌شود.

نگاشت این پروتکل‌ها در لایه OSI نشان داده می‌شود

لایه انتقال^۱ مدیریت نشست انتقال‌های کاربران انتهایی^۲ را انجام می‌دهد. در این لایه دو پروتکل معروف وجود دارند: پروتکل کنترل انتقال یا TCP^۳، بسته‌هایی که از ایستگاه‌های انتهایی به همدیگر نمی‌رسد را دوباره تکرار می‌کند و برای انتقال داده‌های بسته‌ای نظیر صفحات وب و ایمیل‌ها مناسب می‌باشد، این نوع داده‌ها باید به شکل درستی در مقصد دریافت گردند. پروتکل UDP^۴، بسته‌ها را بدون انتقال دوباره (در صورت خرابی) ارسال می‌کند، و برای داده‌های بلادرنگ^۵ نظیر صوت و تصویر که باید به موقع به مقصد برسند مناسب می‌باشند.

در لایه شبکه^۶، بسته‌ها در مسیرهای صحیحی از فرستنده به گیرنده ارسال می‌شوند و برای این کار از پروتکل اینترنت (IP) استفاده می‌کنند. پروتکل IP سیستم‌ها را در مسیر درست با استفاده از آدرس IP به مقصد می‌فرستد. همه این عملیات به وسیله مسیریاب‌های میانی انجام می‌گیرد. مسیریاب‌ها با اضافه کردن پشته، کار مسیریابی را انجام می‌دهند، این کار فقط در لایه پایینی انجام می‌گیرد. لایه پیوند داده^۷، انتقال بسته‌ها از یک دستگاه به دستگاه بعدی را انجام می‌دهد. به عنوان مثال، در صورتی که یک بسته در یک واسطه به طور صحیحی منتقل نشده باشد آن را دوباره

-
1. Transport Layer
 2. End To End
 3. Transmission Control Protocol
 4. User Datagram Protocol
 5. Real Time
 6. Network Layer
 7. Data Link

منتقل می‌کند و نهایتاً لایه فیزیکی در واقع با جزئیات انتقال فیزیکی درگیر می‌شود. به عنوان مثال، با تنظیم ولتاژ سیگنال‌های انتقالی، اینترنت می‌تواند هر پروتکل مناسب برای لایه‌های فیزیکی و پیوند داده مثل Ethernet را استفاده کند.

در هر سطح از پشته فرستنده، یک پروتکل بسته‌ها را از پروتکل لایه بالایی در قالب واحد داده سرویس^۱ دریافت می‌کند. این پروتکل، یک فرایندی که توصیف کننده آن پردازش است، به بسته انتقالی اضافی می‌کند و نتیجه خروجی واحد داده پروتکل (PDU)^۲ می‌باشد. PDU فوراً از واحد داده سرویس (SDU) به پروتکل پایین‌تر می‌رسد. این روش تا زمانی که بسته به پایین‌ترین پشته پروتکل برسد، انجام می‌گیرد که در آن نقطه، ارسال می‌شود. در گیرنده نیز عکس این عملیات با استفاده از سرایندهای افزوده شده انجام می‌گیرند و تأثیرات فرایند انتقال با کمک آن سرایندها، مشخص می‌شود.

این روش در سراسر شبکه GSM و UMTS، از شبکه دسترسی رادیویی گرفته تا شبکه هسته انجام می‌گیرد. ما جزئیات روش انجام این مراحل را پوشش نخواهیم داد؛ در عوض مستقیماً پروتکل‌هایی که توسط LTE به کار گرفته می‌شود، را در فصل دوم شرح خواهیم داد.

۲-۱ تاریخچه‌ای از سیستم‌های مخابراتی موبایل

۱-۲-۱ از نسل اول (1G) تا نسل سوم (3G)

سیستم‌های مخابراتی موبایل اولین بار در اوایل دهه ۱۹۸۰ معرفی شدند. اولین نسل سیستم‌های مخابراتی از روش آنالوگ استفاده می‌کرد، که روش آنالوگ در سیستم‌های قدیمی استفاده می‌شد. سلول‌های منفرد هر چند بزرگ بودند، ولی سیستم‌ها از طیف‌های رادیویی موجود به صورت مؤثر و بهینه‌ای استفاده نمی‌کردند، بنابراین ظرفیت آنها در مقایسه با سیستم‌های امروزی بسیار ناچیز بود. دستگاه‌های موبایل بسیار بزرگ و گران‌قیمت بودند و برای کاربران خاص و تجار در دسترس بودند، چرا که به دلیل گرانی نبودن، کاربران معمولی نمی‌توانستند آنها را در اختیار داشته باشند.

ارتباطات موبایل با معرفی نسل دوم سیستم‌های موبایل (2G) که در اوایل دهه ۱۹۹۰ معرفی شد و یک رویکرد اقتصادی و دید مصرفی را ارائه داد، وارد مرحله تازه‌ای شد. این سیستم‌ها اولین سیستم‌هایی بودند که از فناوری دیجیتال بهره می‌بردند و اجازه بهره‌برداری

1. Service Data Unit

2. Protocol Data Unit

مناسب از منابع رادیویی را فراهم نمود و مقدمه‌ای بر تولید تجهیزات و دستگاه‌های کوچک‌تر و ارزان‌تر شدند. این سیستم ابتدا به صورت انحصاری برای صوت طراحی شده بودند، اما بعداً به پشتیبانی از پیام‌های متنی ^۱ SMS مجهز گردیدند. محبوب‌ترین سیستم 2G، ارتباطات GSM بود، که یک فناوری اروپایی محسوب می‌شد. اما بعداً در سراسر دنیا رواج یافت. علاوه بر این IS-95 که به نام *CdmaOne* نیز شناخته می‌شد، از سیستم‌های مهمی بود، که توسط Qualcomm طراحی شده و غالباً به عنوان سیستم نسل دوم در ایالت متحده به کار گرفته می‌شود.

همزمان با موفقیت نسل دوم ارتباطات موبایل، اینترنت نیز رشد می‌کرد. بنابراین طبیعی بود که اپراتورها از هر دوی این امکانات برخوردار باشند و بتوانند به کاربران خود اجازه دهند تا داده‌ها را از موبایل خود دانلود کنند.

برای انجام این کار، ایده نسل دوم و نیم (۲.۵) بر روی 2G مطرح شد. این کار به وسیله تغییرات اعمال شده در اواسط هوایی برای انتقال داده‌های شبکه هسته سوئیچینگ بسته‌ای انجام شد، بنابراین این سیستم‌ها داده را مثل صوت انتقال دادند. ^۲ GPRS، روش یاد شده را در GSM ترکیب کرد، در حالی که IS-95 در قالب IS-95B توسعه داده شده بود.

در همین لحظه، نرخ بیت‌های در دسترس بر روی اینترنت به تدریج رشد می‌کرد. در مقابل، طراحان ابتدا کارایی سیستم‌های GSM را با استفاده از روشی موسوم به ^۳ EDGE ارتقاء دادند. سپس سیستم‌های نسبتاً قدرتمند نسل سوم (3G) را اواخر سال ۲۰۰۰ معرفی کردند. سیستم‌های 3G روش‌های متفاوت‌تری برای انتقال/ دریافت رادیویی نسبت 2G ارائه داد، که نرخ داده/کثر لحظه‌ای^۴ را افزایش داد، با استفاده از طیف رادیویی موجود، بهره‌وری نیز طیفی افزایش یافت.

متأسفانه، در اوایل، درباره سیستم‌های نسل سوم بیش اندازه اغراق شده بود و نتوانست انتظارات اولیه را برآورد کند. به همین دلیل، در همین ابتدای بکارگیری به نسخه ۳.۵ در سال ۲۰۰۵ ارتقاء داده شد. در این سیستم‌ها، در واسط رادیویی بهینه‌سازی بیشتری اعمال گردید، که برای اهداف داده‌های کاربردی انجام می‌گرفت که باعث افزایش میانگین نرخ داده شد، که کاربر می‌توانست اطلاعات را دانلود یا آپلود کند، میزان نرخ بیت افزایش یافت و زمان رسیدن داده‌ها به مقصد بهبود پیدا کرد.

-
1. Short Message Service
 2. General Packet Radio Service
 3. Enhanced Data For GSM Evolution
 4. Peak

۱-۲-۲ سیستم‌های نسل سوم

سیستم غالب نسل سوم در کل دنیا، UMTS می‌باشد. UMTS با تغییرات کلی که در واسط هوایی GSM داده شد، تعریف گردید. چنانچه هسته شبکه غالباً بدون تغییر مانده است. UMTS سپس برای کاربردی‌های داده ارتقاء داده شد و به نام نسل سوم و نیم (3.5G) تغییر نام داد، که با استفاده از فناوری دسترسی به داده‌های سرعت بالا در مسیر فراسو (HSDPA)^۱ و فناوری دسترسی به داده‌های سرعت بالا در مسیر فراسو (HSUPA)^۲ که به طور خلاصه HSPA^۳ نامیده می‌شود، این کار انجام گرفت.

پیاده‌سازی واسط هوایی UMTS دو تفاوت جزئی دارد: نخست، WCDMA^۴ نسخه‌ای بود که در ابتدا مشخص شده بود و دیگر این که توسط اکثر جهان استفاده می‌شود. TD-SCDMA^۵ مشتقی از WCDMA می‌باشد و نیز به عنوان روش انتخاب نرخ Cheap پایین شناخته می‌شود، TD-SCDMA در چین توسعه داده شد، که در جهت کاهش وابستگی به فناوری غرب انجام گرفت و نیز برای دوری از پرداخت هزینه حق اختراع به شرکت‌های غربی تعریف شد و توسط China Mobile یکی از سه اپراتور 3G کشور چین توسعه داده شد.

در این فناوری دو تفاوت پیاده‌سازی وجود داشت. نخست، WCDMA معمولاً انتقال‌های ایستگاه‌های پایه و موبایل را با استفاده از FDD جدا می‌کرد، در حالی که TD-SCDMA از روش TDD بهره می‌برد و دوم، WCDMA از یک پهنای باند گسترده 5MHz استفاده می‌کرد، در حالی که TD-SCDMA پهنای باند کوچکتر 1.6 MHz را به کار می‌برد.

Cdma 2000، از روی IS-95 توسعه داده شده بود و عموماً در آمریکای شمالی استفاده می‌شد و فناوری نسل دوم ابتدایی به نام 1xRTT^۶ شناخته می‌شد. متعاقباً با دو نام مختلف به نسل ۳.۵ ارتقاء پیدا کرد. HRPD^۷ یا EV-DO^۸ فناوری‌های یکسانی را برای دسترسی بسته‌های نرخ بالا به کار می‌بردند. این مشخصات برای cdma2000 و IS-95 به وسیله یک گروه همکاری مشابه 3GPP که 3GPP2^۹ نامیده می‌شد، توسعه یافت [۳].

-
1. High Speed Downlink Packet Access
 2. High Speed Uplink Packet Access
 3. High Speed Packet Access
 4. Wideband Code Division Multiple Access
 5. Time Division – Synchronous Code Division Multiple Access
 6. Cdma 2000 1x Radio Transmission Technology
 7. High Rate Packet Data
 8. Evolution Data Optimized
 9. Third Generation Partnership Project 2

سه تفاوت در اواسط هوایی cdma2000 و UMTS وجود دارد. اولین تفاوت این است، که cdma 2000 یک پهنای باند 1.25MHz استفاده می‌کند. دومین تفاوت، مطابقت cdma2000 با IS-95 قدیمی است، به این معنی که موبایل‌های IS-95 می‌توانند با ایستگاه‌های پایه cdma2000 ارتباط برقرار کنند و برعکس، در حالی که UMTS با سیستم قبلی خود، یعنی GSM تطبیق ندارد. سومین تفاوت این است، که cdma2000 صوت و داده بهبود داده شده را جدا کرده و در فرکانس‌های حامل مختلف قرار می‌دهد. در حالی که UMTS اجازه می‌دهد صوت و داده از فرکانس حامل مشترک استفاده نمایند. دو مورد اول جلوی نفوذ WCDMA در آمریکای شمالی را گرفت، که در آنجا نسخه‌های مختلفی از تخصیص پهنای باند مثل 5MHz وجود نداشت و جایی بود که میراث دار تجهیزات IS-95 می‌باشد.

آخرین فناوری نسل سوم WiMAX^۱ می‌باشد، که توسط مؤسسه IEEE^۲ و تحت استاندارد IEEE 802.16 تعریف شد، تاریخچه کاملاً متفاوتی نسبت به سایر سیستم‌های نسل سوم دارد. ابتدایی ترین مشخصات فنی IEEE 802.16 (IEEE 802.16-2001) سیستمی را معرفی کرد، که تحویل داده را از طریق ماکروویو نقطه به نقطه به جای کال‌های ثابت انجام می‌داد. یک نسخه بازبینی شده از آن به نام WiMAX^۳ ثابت (IEEE 802.16-2004) یاد می‌شود، فقط از ارتباط «یک به چند نقطه» بین یک ایستگاه پایه همه جهته^۴ و تعداد تجهیزات ثابت پشتیبانی می‌کند. با اعمال تغییرات بیشتر در آن، WiMAX موبایل (IEEE2016e) تعریف شد و اجازه می‌داد که تجهیزات کاربران تحرک داشته باشد و بتوانند از یک ایستگاه پایه به ایستگاه پایه دیگر هندور داشته باشند (دست به دست شوند). هنگامی این قابلیت ارایه شد، WiMAX نیز مثل سایر سیستم‌های ارتباطی نسل سوم شد، اگرچه از همان ابتدا برای انتقال داده بهینه شده بود.

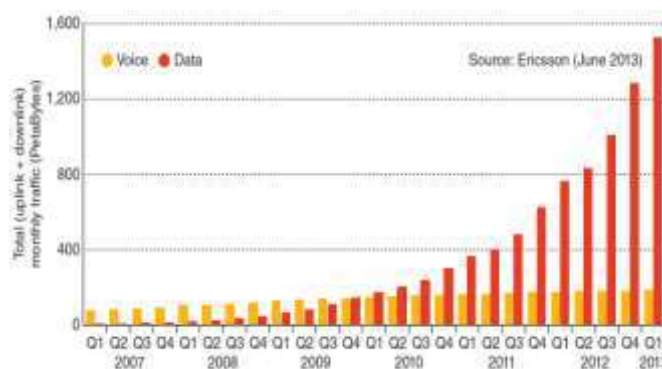
۳-۱ نیاز به LTE

۱-۳-۱ رشد داده موبایل

سالیان زیادی تماس‌های صوتی غالب ترافیک شبکه‌های ارتباطی موبایل را به خود اختصاص داده بودند. رشد داده‌های موبایل ابتدا آهسته بود، اما در سال‌های منتهی به ۲۰۱۰ رشد آن به شکل چشم‌گیری آغاز شد. شکل ۱-۵ که داده‌های آن توسط Ericsson اندازه‌گیری شده است، مجموع

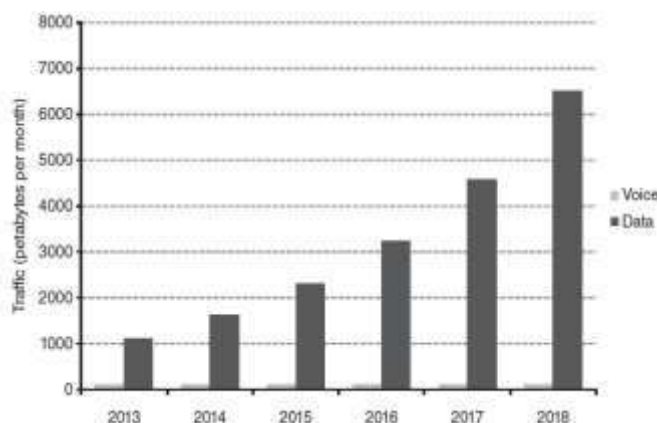
-
1. Worldwide Interoperability For Microwave Access
 2. Institute Of Electrical And Electronics Engineers
 3. Fixed WiMAX
 4. Omni Directional

ترافیک به کار گرفته شده در کل جهان در هر ماه درواحد پتابایت (میلیون گیگابایت) از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد [۴]، که در این دوره رشد ترافیک داده بیش از ۵۰۰ برابر افزایش پیدا کرده است.



شکل ۱-۵ اندازه‌گیری ترافیک صوت و داده در سراسر جهان در شبکه‌های مخابراتی موبایل

در دوره از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ منبع: Ericsson mobility report ژانویه ۲۰۱۳



شکل ۱-۶ پیش‌بینی ترافیک صدا و داده در ارتباطات موبایل جهان در یک دوره از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸.

داده‌ها توسط Analys Mason انجام گرفته است.

این روند پیش‌بینی می‌شود که ادامه داشته باشد، برای مثال شکل ۱-۶ به وسیله تحلیل Mason رشد ترافیک موبایل را در یک دوره از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ پیش‌بینی می‌کند. به اندازه تفاوت محور عمودی در دو نمودار توجه شود.

این تغییرات رشد، با افزایش قابلیت دسترسی در فناوری‌های ارتباطی نسل ۳.۵ انجام شد و مهم‌تر این که معرفی گوشی iPhone اپل در سال ۲۰۰۷ باعث افزایش بیشتری گردید و در ادامه

این رشد، تجهیزاتی با سیستم عامل گوگل یعنی Andorid در سال ۲۰۰۸ به بعد ارایه شدند. تلفن‌های هوشمند بسیار جذاب و کاربر پسندتر از اجدادشان بودند و برای پشتیبانی از ایجاد برنامه‌های کاربردی توسط سایر تولید کنندگان طراحی شده بودند، که دست توسعه‌دهندگان را برای تولید برنامه‌های کاربردی باز گذاشته بودند، در نهایت باعث رشد استفاده از موبایل‌ها و در قبال آن برنامه‌ها گردید. به عنوان یک عامل مؤثر، اپراتورهای شبکه‌ها قبلاً تلاش‌هایی در جهت رشد داده موبایل نظیر تعریف تعرفه‌های مسطح و پایین برای دانلود نامحدود ارایه دادند، که باعث شد تا توسعه‌دهندگان و کاربران علاقه‌ای برای کاهش مصرف داده‌های خود نداشته باشند. به عنوان یک نتیجه از این بحث، شبکه‌های نسل دوم و سوم در اواخر ۲۰۱۰ با ازدحام عظیمی روبرو شدند، که بهانه‌ای برای افزایش ظرفیت شبکه شد. در بخش بعدی، مروری بر محدودیت ظرفیت در یک سیستم مخابراتی خواهیم کرد و نشان خواهیم داد که تا چه حدی می‌توان به افزایش ظرفیت در این شبکه‌ها دست پیدا کرد.

۱-۳-۲ ظرفیت یک سیستم مخابراتی موبایل

Claude shanon در سال ۱۹۸۴ به یک محدودیت تئوریک روی نرخ داده که در هر سیستم مخابراتی وجود دارد، دست یافت [۵]. ما آن را به ساده‌ترین شکل خود در زیر می‌آوریم:

$$C = B \log_2(1 + \text{SINR}) \quad (1-1)$$

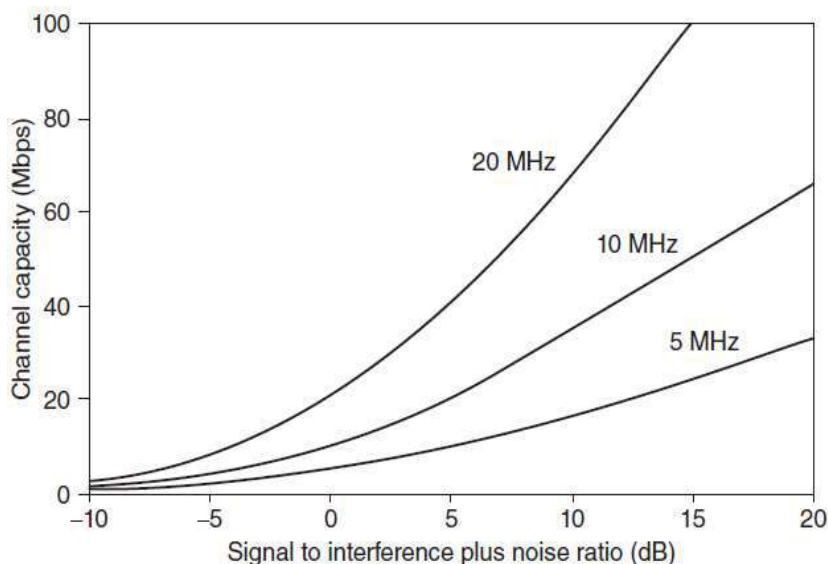
در این رابطه SINR، نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویز^۱ می‌باشد؛ به عبارت دیگر توانی که گیرنده دریافت می‌کند، وابسته به سیگنالی می‌باشد که به دو عامل نویز و تداخل وابسته است. B پهنای باند سیستم مخابراتی در واحد هرتز (Hz) و C ظرفیت یک کانال دوبیتی بر S^{-1} است. اگر نرخ ارسال کمتر از ظرفیت کانال باشد، به طور تئوری امکان پذیر است، که برای یک سیستم ارتباطی ارسال داده از یک فروستنده به گیرنده بدون هرگونه خطایی باشد. در یک سیستم ارتباطی موبایل، C بیشترین نرخ داده‌ای است که یک سلول می‌توان آن را انتقال دهد و ترکیبی از نرخ همه موبایل‌ها در داخل یک سلول می‌باشد.

نتایج ظرفیت کانال در شکل ۱-۷ با استفاده از پهنای باندهای ۵، ۱۰ و ۲۰ مگاهرتز نشان داده شده است. محور عمودی نشان دهنده ظرفیت در مگابیت بر ثانیه (Mbps) و محور افقی نیز نشان‌دهنده نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویز در واحد دسیبل (dB) است:

1. Interference

$$\text{SINR (dB)} = 10\log_{10} (\text{SINR})$$

(۲-۱)



شکل ۱-۷ ظرفیت شاتون، برای یک سیستم مخابراتی از پهنای باندهای ۵، ۱۰ و ۲۰ مگاهرتز

۳-۳-۱ افزایش ظرفیت سیستم

سه روش برای افزایش ظرفیت یک سیستم ارتباطی موبایل وجود دارد، که با لحاظ رابطه (۱-۱) و شکل ۱-۷ می‌توانیم بهتر آن را درک کنیم. اولین و مهم‌ترین روش، استفاده از سلول‌های کوچکتر می‌باشد، در یک شبکه سلولی، ظرفیت کانال بیشترین نرخ داده‌ای است که یک سلول می‌تواند آن را منتقل کند. با ساختن ایستگاه‌های پایه اضافه و کاهش اندازه هر سلول‌ها، می‌توانیم ظرفیت یک شبکه را افزایش دهیم. اساساً به وسیله رونوشت‌های زیادی از رابطه (۱-۱) این کار را انجام می‌گیرد. دومین روش افزایش ظرفیت، افزایش پهنای باند است. مدیریت طیف توسط ITU^۱ و به وسیله سازمان‌های تنظیم مقررات رادیویی (رگلاتوری) محلی و ملی انجام می‌گیرد. افزایش ظرفیت ارتباطات موبایل منوط به افزایش تخصیص طیف برای سیستم‌های نسل دوم و سوم از سوی ریگلاتوری‌هاست. اما در اینجا فقط مقدار محدودی از طیف رادیویی دسترس وجود دارد. علاوه بر آن، تقاضاهای مختلفی از کاربردهای مختلف، نظیر ارتباطات نظامی و نجوم از طیف‌های رادیویی وجود دارند. در نتیجه، با این همه محدودیت‌ها، این روش تا چه حد می‌تواند مؤثر باشد.

1. International Telecommunication Union

سومین روش افزایش ظرفیت، بهبود فناوری ارتباطی است که ما آن را به کار می‌بریم. این کار مزایای مختلفی دارد: این کار به ما اجازه می‌دهد تا حد بسیار نزدیکی به ظرفیت کانال نزدیک شویم و به ما اجازه می‌دهد تا از SNIR بالاتری بهره‌برداری کنیم و پهنای بیشتری در اثر روش‌هایی که در دسترس قرار می‌گیرند در اختیار داشته باشیم. این بهبود تدریجی در فناوری ارتباطی بوده است، که زمینه‌های تجاری از توسعه شبکه‌های ارتباطی موبایل را در اختیار ما قرار داده است و مهم‌ترین دلیل برای معرفی LTE است.

۱-۳-۴ انگیزه‌های مضاعف

سه دلیل دیگر برای حرکت به LTE وجود دارد. نخست، اپراتورهای نسل دوم یا سوم اجباراً از دو شبکه هسته نگهداری می‌کنند: ناحیه سوئیچینگ مداری برای صوت و ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای برای داده. به شرطی که شبکه بیش از حد ازدحام نداشته باشد، این امکان وجود دارد که تماس‌های صوتی را در شبکه‌های سوئیچینگ بسته‌ای با استفاده از VoIP^۱ انتقال داد. با این کار اپراتورها می‌توانند همه چیز را به شبکه سوئیچینگ بسته‌ای منتقل کنند و بتوانند هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری خود را کاهش دهند.

در همین رابطه، شبکه‌های 3G تأخیرهایی در حدود 100 ms را برای کاربردهای داده که بین عناصر شبکه و سراسر واسطه هوایی منتقل می‌شود، را در نظر گرفته‌اند. این تأخیر به سختی برای یک سرویس صوتی قابل قبول می‌باشد و باعث ایجاد مشکلات بزرگتری برای کاربردهایی که نیازمند تأخیرات کمتر هستند، مثل بازی‌های تعاملی بلادرنگ می‌شود. بنابراین انتقال به LTE دومین دلیل برای کاهش تأخیر انتها به انتها یا تأخیر کلی^۲ در شبکه است.

سومین دلیل این است، که مشخصات شبکه‌های GSM و UMTS در طول سالیان زیادی پیچیدگی زیادی پیدا کرده‌اند. به همین دلیل افزودن یک ویژگی جدید نیازمند توانمندسازی سیستم به پشتیبانی از تجهیزات قدیم است. در حالی که یک طرح نو، می‌تواند کار طراحان را برای بهبود عملکرد سیستم، بدون آن که نیاز به پشتیبانی از تجهیزات قدیمی را دارد، آسان‌تر کند.

1. Voice Over IP

2. Latency

۱-۴ از UMTS به LTE

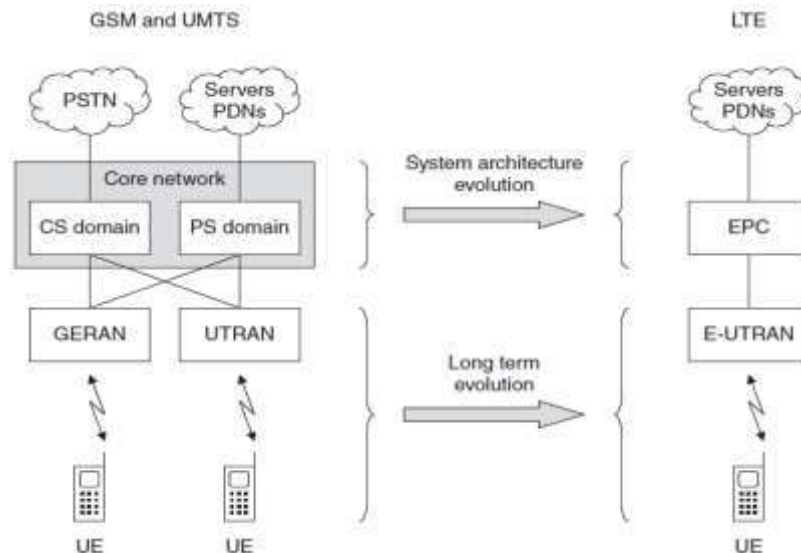
۱-۴-۱ معماری سطح بالای LTE

در سال ۲۰۰۴، 3GPP کار مطالعه بر روی توسعه بلندمدتی^۱ را از UMTS شروع کرد. این مطالعه باعث شد که ارتباطات موبایل 3GPP در محدوده زمانی بیش از ده سال بر همه رقیبان چیره شود، که با در اختیار گذاشتن نرخ بیت بالا و تأخیر کمتر به ترافیک کاربران صورت می‌گیرد. شکل ۱-۸ معماری حاصله از توسعه بلند مدت بر روی UMTS را نشان می‌دهد.

در معماری جدید، EPC^۲ مستقیماً جای ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای در GSM و UMTS را گرفته است. در این معماری هیچ‌گونه جایی برای شبکه سوئیچینگ مدار در نظر گرفته نشده است، بلکه LTE اجازه می‌دهد تا یک روش بهینه‌سازی داده‌ای برای انتقال Voice (صوت) با استفاده از روش‌های دیگر انجام می‌گیرد که در ادامه توضیح داده می‌شود. شبکه دسترسی رادیویی تجهیزات زمینی توسعه یافته UMTS (E-UTRAN)^۳ ارتباطات رادیویی EPC را به دستگاه موبایل منتقل می‌کند؛ بنابراین یک جایگزینی مستقیم به جای UTRAN است، دستگاه موبایل همچنان به عنوان تجهیزات کاربران (UE)^۴ شناخته می‌شود، اگرچه دارای عملیات داخلی کاملاً متفاوت با قبل است.

معماری جدید دارای دو بخش است، که از سوی 3GPP ارایه شده است، به نام تکامل معماری سیستم (SAE)^۵، شبکه هسته را پوشش می‌دهد و تکامل بلند مدت (LTE) شبکه دسترسی رادیویی، واسطه هوایی و موبایل را در بر می‌گیرد. به طور رسمی، کل این سیستم به نام هسته بسته توسعه یافته (EPS)^۶ است؛ در حالی که کلمه LTE مخفف تکامل واسطه هوایی است. با وجود این نام رسمی، LTE یک نام جامع برای کل این سیستم در نظر گرفته شد، که توسط 3GPP انتخاب شد. در سراسر این کتاب از نام LTE برای شبکه مذکور (EPC و LTE) استفاده خواهیم کرد.

-
1. Long Term Evolution
 2. Evolved Packet Core
 3. Evolved UTRAN
 4. User Equipment
 5. System Architecture Evolution
 6. Evolved Packet System



شکل ۱-۸ تکامل سیستم‌ها از GSM و UMTS به LTE

۱-۴-۲ تکامل بلند مدت

مهم‌ترین خروجی مطالعه طولانی مدت توسعه یافته، تهیه مشخصات برای واسط هوایی بود [۶]، که در آن مهم‌ترین مشخصات به صورت زیر می‌باشد.

LTE برای ارایه نرخ بیت حداکثر لحظه‌ای 100 Mbps در مسیر فراسو و 50 Mbps در مسیر فراسو در نظر گرفته شده بود. این نیازمندی در سیستم نهایی بیش از این در نظر گرفته شد، به طوریکه احتمال داده شد نرخ ارسال حداکثر تا 300 Mbps در مسیر فراسو و 75 Mbps در مسیر فراسو را فراهم کند و درمقایسه باید گفت که حداکثر نرخ بیت در WCDMA نسخه^۱ شش از پروژه 3GPP، که در آن نرخ ارسال مسیر فراسو 14 Mbps و 5.7 Mbps در مسیر فراسو بود (ما درباره مشخصات نسخه‌های مختلف در پایان این فصل بحث خواهیم کرد).

روی این نرخ بیت نمی‌شود زیاد اعتماد داشت؛ چرا که این نرخ ارسال حداکثر لحظه‌ای در شرایط ایده‌آل می‌باشد و در غیر از این حالت، در عمل دست یافتنی نیست. یک اندازه‌گیری بهتر، بازدهی طیفی^۲ است که ظرفیت عمومی از یک سلول را در واحد پهنای باند نشان می‌دهد. LTE نیازمند پشتیبانی از بازدهی طیفی سه تا چهار برابر بزرگتر از نسخه شش WCDM در مسیر فراسو و دو تا سه برابر بهتر از آن در مسیر فراسو است.

1. Release

2. Spectral Efficiency

تأخیر موضوع مهم دیگری است، مخصوصاً زمانی که صحبت از کاربردهای حساسیت بالایی به تأخیر دارند، می‌شود مثل صوت و بازی‌های تعاملی و دارای دو جنبه می‌باشد: اولین جنبه آن، در حالتی است که زمان بکار رفته برای انتقال داده بین دستگاه موبایل و شبکه ثابت باید کمتر از ۵ میلی ثانیه باشد و به شرطی اتفاق می‌افتد که واسطه هوایی دارای ازدحام نباشد. دومین جنبه که ما در فصل دوم آن را خواهیم دید، این است که موبایل‌ها در دو حالت کار می‌کنند یک وضعیت فعال^۱ که موبایل با شبکه در حال ارتباط است و دیگری یک حالت کم توان در حال آماده^۲ به کار. در حالت دوم، موبایل نیاز دارد که از حالت آماده به کار به حالت فعال تغییر وضعیت بدهد، بعد از دخالت کاربر تا 100ms زمان می‌برد.

همچنین نیاز به تحرک و پوشش وجود دارد. LTE برای اندازه سلول‌هایی تا حداکثر 5 KM بهینه‌سازی شده است و با افت کیفیت و بازدهی تا 30 KM کار می‌کند و حتی با کم شدن کارایی تا 100 KM را می‌تواند پشتیبانی کند. همچنین برای سرعت‌های تحرک 15 KM/h (کیلومتر بر ساعت) تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت با حداکثر کارایی بهینه‌سازی شده است و حتی می‌تواند تا سرعت ۳۵۰ کیلومتر بر ساعت را تحمل نماید و در نهایت LTE برای محدوده وسیعی از پهنای باند از 1.4 MHz تا 20 MHz را در بر می‌گیرد.

در نتیجه خصوصیات مورد نیاز یک طراحی با جزئیاتی را برای واسطه هوایی LTE فراهم می‌کند که ما در فصل سه تا ده آن را بیان خواهیم کرد. برای کسانی که با شبکه‌های دیگر آشنایی دارند می‌توانند خلاصه‌ای از ویژگی‌های کلیدی از WCDMA و LTE را در جدول ۱-۱ مشاهده نمایند.

جدول ۱-۱ خصوصیات کلیدی واسطه هوایی WCDMA و LTE

Feature	WCDMA	LTE	Chapter
Multiple access scheme	WCDMA	OFDMA and SC-FDMA	4
Frequency re-use	100%	Flexible	4
Use of MIMO antennas	From Release 7	Yes	5
Bandwidth	5 MHz	1.4, 3, 5, 10, 15 or 20 MHz	6
Frame duration	10 ms	10 ms	6
Transmission time interval	2 or 10 ms	1 ms	6
Modes of operation	FDD and TDD	FDD and TDD	6
Uplink timing advance	Not required	Required	6
Transport channels	Dedicated and shared	Shared	6
Uplink power control	Fast	Slow	8

1. Active State

2. Low – Power Standby State

۱-۴-۳ تکامل معماری سیستم (SAE)

مهم‌ترین خروجی حاصل از تکامل معماری سیستم، مشخصات مورد نیاز برای شبکه ثابت بود [۷]، که مهم‌ترین الزامات آن به صورت زیر می‌باشد.

EPC مسیریابی بسته‌ها را با استفاده از پروتکل IP و با پشتیبانی از تجهیزاتی که از IP_{v4} و IP_{v6} یا در مواردی که از هر دو پشته آنها پشتیبانی می‌کند، را انجام می‌دهد. به عبارت دیگر EPC، این امکان را برای کاربران فراهم می‌کند، که همواره با جهان خارج در حال ارتباط باشند و با برپایی یک تنظیم IP اولیه بر روی دستگاه موبایل خود، چه در زمانی که در حال اتصال به شبکه هستند و چه در زمانی که دستگاه‌های خود را خاموش می‌کنند، ارتباط آنها برقرار باقی می‌ماند. این رفتار LTE متفاوت‌تر از GSM و UMTS می‌باشد، در آنها تنها زمانی که یک IP اتصال تنظیم می‌شد برقرار بوده و با قطع ارتباط، اتصال آن در مدت کوتاهی برچیده می‌شد.

بر خلاف اینترنت، EPC دارای مکانیزم‌هایی برای مشخص کردن و کنترل نرخ داده، نرخ خطا و تأخیر جریان داده‌ای که دریافت می‌شود، است. در اینجا هیچ الزامات مشخصی بر روی حداکثر زمان مورد نیاز برای انتقال داده‌ها در EPC وجود ندارد، اما با توجه به مشخصه پیشنهادی پلان کاربری^۱ تأخیر 10ms برای یک موبایل بدون رومینگ در نظر گرفته می‌شود و در سناریوهایی که از رومینگ بهره می‌برد تا 50ms می‌تواند تأخیر به همراه داشته باشد [۸]. برای محاسبه تأخیر کلی، ما مجبور هستیم تأخیرهای قبلی را در واسطه هوایی به آن اضافه نمائیم، به این ترتیب تأخیر به کار رفته در یک سناریوی بدون رومینگ در حدود ۲۰ میلی ثانیه می‌باشد.

علاوه بر این، EPC نیازمند پشتیبانی از دست به دست کردن داخل سیستمی بین سیستم‌های قبلی نظیر نسل دوم و نسل سوم می‌باشد. این سیستم‌ها محدود به GSM و UMTS نیستند، سیستم‌های غیر از پروژه 3GPP نظیر WiMAX و cdma 2000 نیز می‌توانند از دست به دست کردن بین سیستمی با LTE بهره‌مند می‌شوند.

جداول ۱-۲ و ۱-۳ خلاصه‌ای از ویژگی‌های کلیدی شبکه دسترسی رادیویی و EPC را نشان می‌دهد و آنها را با ویژگی‌های مربوط به UMTS مقایسه می‌کند. ما مشخصات معماری شبکه ثابت را در فصل دوم پوشش خواهیم داد و جنبه‌های عملیاتی آن را از فصل یازده تا هفده پوشش خواهیم داد.

جدول ۲-۱ خلاصه‌ای مشخصات کلیدی شبکه دسترسی رادیویی UMTS و LTE

Feature	UMTS	LTE	Chapter
Radio access network components	Node B, RNC	eNB	2
RRC protocol states	CELL_DCH, CELL_FACH, CELL_PCH, URA_PCH, RRC_IDLE	RRC_CONNECTED, RRC_IDLE	2
Handovers	Soft and hard	Hard	14
Neighbour lists	Always required	Not required	14

جدول ۳-۱ مشخصات کلیدی خصوصیات هسته UMTS و LTE

Feature	UMTS	LTE	Chapter
IP version support	IPv4 and IPv6	IPv4 and IPv6	2
USIM version support	Release 99 USIM onwards	Release 99 USIM onwards	2
Transport mechanisms	Circuit & packet switching	Packet switching	2
CS domain components	MSC server, MGW	n/a	2
PS domain components	SGSN, GGSN	MME, S-GW, P-GW	2
IP connectivity	After registration	During registration	11
Voice and SMS applications	Included	External	21, 22

۴-۱-۴ تماس صوتی LTE

EPC به طور ساده برای انتقال داده و اطلاعات به کاربران و یا از کاربران طراحی شده و محتوای اطلاعات یا کاربرد را در نظر نمی‌گیرد؛ عملکرد آن مشابه رفتار اینترنت است. در آن، بسته‌های انتقالی را از هر مسیری، بدون در نظر گرفتن نرم‌افزار کاربردی، منتقل می‌کند، در حالی که این روش متفاوت‌تر از شبکه سوئیچینگ مداری سنتی بود، که سرویس‌های صوتی به عنوان بخش جدایی ناپذیر در آن یکپارچه‌سازی شده بودند.

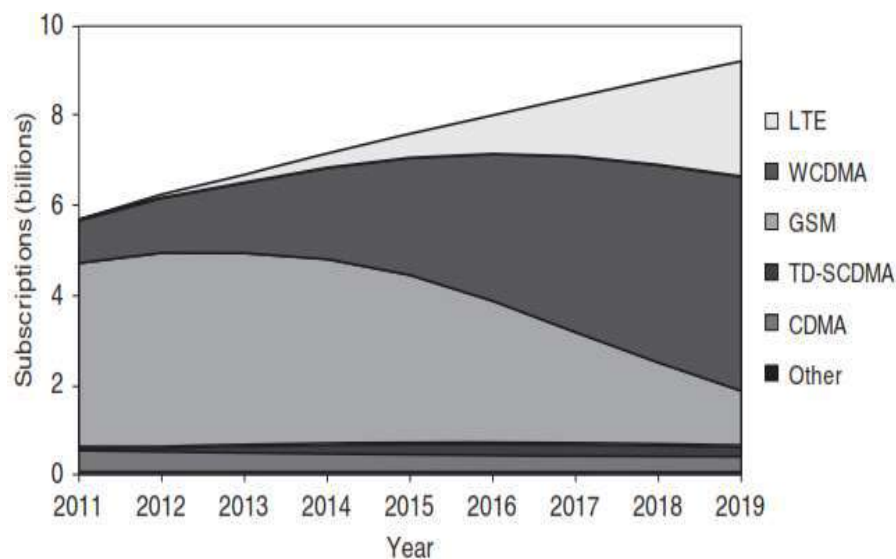
به همین منظور، سرویس‌های صوتی به عنوان بخشی از این سیستم در شبکه LTE یکپارچه نشده‌اند. اما یک موبایل LTE می‌تواند همچنان تماس صوتی داشته باشد که از دو روش برای این کار استفاده می‌کند: اولین روش به نام بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری^۱ است که در آن

1. Circuit Switched Fall Back

شبکه، موبایل را به سلول‌های شبکه قدیمی 2G یا 3G منتقل می‌کند و موبایل می‌تواند در ناحیه سوئیچینگ مداری شبکه‌های 2G/3G تماس صوتی داشته باشد. دومین روش، استفاده از زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMS)^۱ است، که یک شبکه خارجی به همراه عملیات مورد نیاز برای برقراری مدیریت و قطع تماس سرویس صوت بر روی IP (Volp) است. ما این دو روش را دو فصل‌های بیست و یکم و بیست و دوم مطالعه خواهیم کرد.

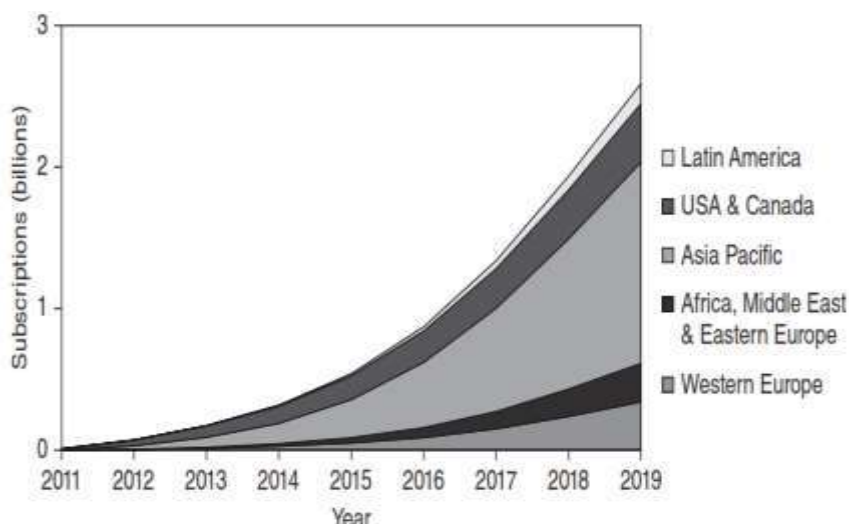
۱-۴-۵ رشد LTE

اولین شبکه‌های LTE در نروژ و سوئد و در اواخر سال ۲۰۰۹ پیاده‌سازی شدند. برای بررسی رشد کاربران فناوری‌های مهم در شبکه‌های ارتباطی موبایل از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹، می‌توان به شبکه ۹-۱ مراجعه کرد. در حالیکه در شکل ۱-۱۰ میزان رشد منطقه‌ای LTE را نشان می‌دهد. این اطلاعات از سوی Ericsson ارائه شده است [۹] و تاریخچه رشد داده را تا ۲۰۱۳ و پیش‌بینی رشد آن را تا انتهای سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد، و پیش‌بینی رشد LTE را تا ۲/۵ میلیارد مشتری در این سال را برآورد می‌کند.



شکل ۹-۱ تعداد مشترکین فناوری‌های مختلف در سال ۲۰۱۳ و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۱۹

منبع: www.ericsson.com/LTE



شکل ۱-۱۰ تعداد مشترکین LTE مناطق مختلف جهان تا سال ۲۰۱۳ و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۱۹

منبع: www.ericsson.com/LTE

۱-۵ از LTE به LTE پیشرفته

۱-۵-۱ ملزومات ITU برای نسل چهارم (4G)

هنگامی که طراحی LTE انجام می‌گرفت، در همان زمان جریانی نیز در سازمان مخابرات جهانی (ITU) شکل گرفت. در دهه ۱۹۹۰، ITU با ارایه و انتشار ملزومات و خصوصیات شبکه‌های نسل سوم نقش ایفا بسزایی ارایه کرد و این استانداردها را در قالب *IMT-2000*^۱ معرفی نمود. سیستم‌های نسل سومی که قبلاً به آنها اشاره شد، اخیراً با نشست‌هایی که درباره ملزومات *IMT-2000* برگزار گردید، پذیرفته شدند.

ITU فرآیند مشابهی را در سال ۲۰۰۸ با انتشار یک مجموعه از ملزومات و مشخصات با عنوان *نسل چهارم سیستم‌های مخابراتی موبایل* آغاز کرد و نام آن *IMT-Advanced* نامگذاری کرد [10-12]. با توجه به ملزومات آن، حداکثر نرخ بیت در مسیر فروسو در این سیستم حداقل 600 Mbps و در مسیر فراسو حداقل 270 Mbps در پهنای باند ۴۰ مگاهرتز تعیین شد. به راحتی می‌توان فهمید که این ارقام بیشتر از LTE می‌باشد.

1. International Mobile Telecommunication 2000

۱-۵-۲ ملزومات LTE پیشرفته

با توجه به خصوصیات که ITU برای IMT-Advanced در نظر گرفت، 3GPP شروع به مطالعه‌ای در مورد چگونگی افزایش سرعت LTE کرد. مهم‌ترین خروجی این مطالعه، ارایه ملزومات و خصوصیات شد که از آن به نام *LTE پیشرفته*^۱ یاد می‌شود [۱۳]. در زیر به این ویژگی‌های جدید اشاره می‌شود.

LTA-Advanced برای انتقال حداکثر نرخ بیت 1000 Mbps در مسیر فرسو و حداکثر نرخ بیت 500 Mbps در مسیر فراسو هدف‌گذاری شد. اما به طور عملی این سیستم برای انتقال به ترتیب 3000 Mbps, 1500 Mbps, 100 MHz پهنای باند که دارای پنج بخش ۲۰ مگاهرتزی از پهنای باند را شامل می‌شود، ارایه می‌داد. البته باید توجه داشت که این اعداد و ارقام در حالت‌های واقعی قابل دستیابی نمی‌باشند. خصوصیات ارایه شده برای *LTE-Advanced* علاوه بر آن شامل اهدافی برای بازدهی طیفی در حالت‌های مشخصی بود. با مقایسه این مشخصات با سیستم‌های CDMA نسخه ۶، بازدهی آن، ۴/۵ تا ۷ برابر در مسیر فرسو و ۳/۵ تا ۶ برابر بزرگتر از WCDMA در مسیر فراسو است [۱۴]. نهایتاً *LTE پیشرفته* طوری طراحی شده بود که با *LTE* نسخه قبلی مطابقت داشته باشد و ایستگاه‌های پایه در *LTE* قدیم بتوانند با تجهیزات آن و برعکس ارتباط برقرار نمایند.

۱-۵-۳ سیستم‌های ارتباطی نسل چهارم (4G)

پس از جمع‌آوری و مطالعه پیشنهادات ارایه شده، ITU در اکتبر سال ۲۰۱۰ دو نوع سیستم مخابراتی را برای IMT-Advanced در نظر گرفت [۱۵]. یکی سیستم *LTE-Advanced* و دیگری نسخه بهبود یافته‌تر از WiMAX تحت استاندارد IEEE مشخصات 802.16m بود، که امروزه به عنوان موبایل WiMAX 2.0 شناخته می‌شود.

Qualcomm یک جانشین نسل چهارمی را برای cdma2000 به نام *UMB*^۲ در نظر گرفته بود، اما این سیستم نتوانست دو مزیتی که نسل پیشین ارایه می‌داد، را انجام دهد. نخست اینکه، با سیستم‌های قبلی cdma2000 کار نمی‌کرد، در حالی که cdma2000 با IS-95 کار می‌کرد. دوم این که، تنها سیستم باند باریک در سراسر آمریکای شمالی برای مدت زمان کوتاهی بود، زیرا *LTE* از پهنای باند قابل انعطاف‌تری پشتیبانی می‌کند. به همین جهت، از سال ۲۰۰۸ هیچ

1. *LTE-Advanced*

2. Ultra Mobile Broadband

اپراتوری علاقه‌ای برای به‌کارگیری آن نشان نداد. بنابراین اغلب اپراتورهای cdma2000 تصمیم گرفتند تا به LTE مهاجرت کنند.

بنابراین، برای باقیمانده اپراتورها دو راه برای انتقال به نسل چهارم وجود داشت: LTE یا WiMAX. به دلیل این که اکثر اپراتورها و سازندگان تجهیزات LTE پشتیبانی بیشتری در مقایسه با تعداد کمتر اپراتورهای WiMAX وجود داشت، شانس انتقال به LTE نسبت به WiMAX بیشتر بود. به دلیل همین پشتیبانی بیشتر، LTE به عنوان فناوری ارتباطی غالب چند سال آینده خواهد بود.

۱-۵-۴ معنای نسل 4G

ابتدا ITU در نظر داشت تا نام 4G را تنها برای سیستم‌هایی که ملزومات IMT-Advanced را برآورد می‌کنند، استفاده نمایند. LTE و WiMAX 1.0 (IEEE802.16e) هیچ‌کدام از آن استقبال نکردند. به همین دلیل کمیته مهندسين بر آن شدند تا نسل آنها را 3.9G نامگذاری نمایند. اما این کار مورد توجه قرار نگرفت و آنها برای بازاریابی خود از WiMAX 1.0 و LTE به عنوان فناوری نسل چهارم یاد کردند. اگرچه این توصیف از دیدگاه نقطه نظر کارایی بی‌ربط بود، یک صدای واضحی وجود داشت و آن این بود که در اینجا یک حرکت جهشی فناوری از UMTS به LTE وجود دارد که در حرکت از LTE به LTE-Advanced وجود نداشت.

زمان خیلی زیادی از پذیرش شکست از سوی ITU نگذشته بود. در دسامبر ۲۰۱۰، ITU نه تنها از LTE و WiMAX Mobile 1.0 را به عنوان نسل چهارم موبایل نامگذاری کرد، بلکه سیستم‌هایی که بهره‌وری و کارایی قابل ملاحظه‌ای از نسل سوم داشتند، را نیز نسل چهارم نامگذاری کرد [۱۶]. آنها نتوانستند واژه «قابل ملاحظه بهتر» را تعریف کنند، اما این موضوع بحث این کتاب نیست و ما تنها نیاز داریم تا LTE را به عنوان یک سیستم مخابراتی نسل چهارم موبایل (4G) بدانیم.

۱-۶ مشخصات 3GPP برای LTE

خصوصیات LTE توسط پروژه همکاری نسل سوم (3GPP) تهیه شد. آنها همانند راهی که برای مشخصات UMTS و GSM پیموده بودند، را برای ساماندهی آن به کار گرفتند. این مشخصات، در قالب نسخه‌هایی^۱ ساماندهی شدند [۱۷]، هر کدام از این نسخه‌ها دارای تعاریف روشن و قابل استنادی از ویژگی‌های سیستم هستند. استفاده از نسخه‌ها، این امکان را می‌دهد تا سازگان

1. Releases

تجهیزات بتوانند یا بخشی از ویژگی‌های نسخه‌های قبلی یا همه ویژگی‌های آنها را در تولید تجهیزات به کار گیرند، درحالی که 3GPP ویژگی‌های جدیدی را برای نسخه‌ها ارائه می‌دهد. در داخل هر نسخه‌ای پیشرفت و توسعه ویژگی‌ها در قالب ویرایش‌های مختلف آورده می‌شوند. قابلیت‌های جدید تا زمانی که تاریخ انتشار نسخه آن بسته می‌شود، افزوده می‌شوند و پس از آن، این تغییرات شامل پالایش جزئیات فنی، اصلاحات و شفاف‌سازی است.

جدول ۱-۴ لیست نسخه‌های معرفی شده از سوی 3GPP را تا معرفی UMTS به همراه ویژگی‌های مهم هر نسخه نشان می‌دهد. توجه شود که طرح شماره‌گذاری نسخه‌ها از نسخه نود و نه تغییر یافت. بنابراین، نسخه‌های بعدی از شماره چهار تا دوازده نام‌گذاری شدند.

LTE اولین بار در نسخه هشتم معرفی شد و در دسامبر ۲۰۰۸ نهایی گردید. این نسخه شامل محتویات مهمی از ویژگی‌های LTE را دربر می‌گیرد، و ما در فصل‌های ابتدایی این کتاب بر روی آن تمرکز خواهیم کرد. در ویژگی‌های نسخه هشتم، 3GPP ویژگی‌های کم اهمیت را نادیده گرفت. این ویژگی‌ها در نسخه نهم آورده شده است، که ما در فصل هجدهم آن را بیان خواهیم کرد. نسخه دهم شامل ویژگی‌های اضافی برای پوشش LTE-A است که در فصل نوزده بیان خواهیم کرد و آخرین پیشرفت‌های حاصل شده را در نسخه‌های یازده و دوازده در فصل بیستم کتاب بحث می‌کنیم. علاوه بر این، 3GPP در نسخه‌های هشتم تا دوازدهم ویژگی‌های جدیدی را به UMTS اضافه کرد. این کار اجازه می‌دهد تا اپراتورهایی که از UMTS استفاده می‌کنند بتوانند، در حال رقابت با اپراتورهایی باشند که در حالت حرکت به LTE هستند.

شکل ۱-۴ ویژگی‌های نسخه‌های مختلف 3GPP برای UMTS و LTE

Release	Date frozen	New features
R99	March 2000	WCDMA air interface
R4	March 2001	TD-SCDMA air interface
R5	June 2002	HSDPA, IP multimedia subsystem
R6	March 2005	HSUPA
R7	December 2007	Enhancements to HSPA
R8	December 2008	LTE, SAE
R9	December 2009	Enhancements to LTE and SAE
R10	June 2011	LTE-Advanced
R11	June 2013	Enhancements to LTE-Advanced
R12	September 2014	Enhancements to LTE-Advanced

همچنین هر کدام از این ویژگی‌ها علاوه بر نسخه‌ها در قالب سری‌هایی سازمان‌دهی شدند که هر کدام از آنها بخشی از اجزاء سیستم را پوشش می‌دهند. جدول ۱-۵ خلاصه‌ای از محتوای

سری‌های ۲۱ الی ۳۷ را که شامل همه ویژگی‌های GSM، UMTS و همچنین ویژگی‌هایی که در GSM، UMTS و LTE مشترک هستند را نشان می‌دهد. (سری‌های دیگر اختصاصاً برای GSM به کار برده شده است.) در این سری‌ها تفکیک بین سیستم‌های مختلف بسیار متفاوت است. سری ۳۶، روش‌هایی هستند که در انتقال و دریافت رادیویی LTE به کار رفته و مهم‌ترین منبع این کتاب را تشکیل می‌دهند. در سری‌های دیگر، برخی از ویژگی‌ها و مشخصات تنها برای UMTS، برخی تنها برای LTE و برخی نیز برای هر دوی آن به کار می‌روند. بنابراین به طور هوشمندانه سعی شده است که آن سری از سری‌هایی که مطالب مرتبط را دارند در اینجا استفاده شود. برای کمک به غنی کردن منابع کتاب، مشخصات مهم از منابع دیگر نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۵-۱ مجموعه مشخصات 3GPP که توسط UMTS و LTE استفاده شده است

Series	Scope
21	High-level requirements
22	Stage 1 service specifications
23	Stage 2 service and architecture specifications
24	Non-access stratum protocols
25	WCDMA and TD-SCDMA air interfaces and radio access network
26	Codecs
27	Data terminal equipment
28	Tandem free operation of speech codecs
29	Core network protocols
30	Programme management
31	UICC and USIM
32	Operations, administration, maintenance, provisioning and charging
33	Security
34	UE test specifications
35	Security algorithms
36	LTE air interface and radio access network
37	Multiple radio access technologies

هنگامی که یک سری به طور کامل نوشته می‌شود، به عنوان مثال TS.23.401 V11.6.0 به مشخصات فنی تبدیل شده و نام TS^۱ را به خود می‌گیرند. در اینجا TS اشاره به مشخصات فنی، ۲۳ شماره سری مشخصات فنی و ۴۰۱ شماره مشخصات در داخل آن سری می‌باشد. عدد ۱۱ شماره نسخه، ۶ شماره ویرایش فنی در داخل آن نسخه و ۰ نیز شماره آخرین ویرایش است، که گاهی اوقات برای تغییرات غیر فنی افزایش پیدا می‌کند. 3GPP همچنین گزارش‌های فنی^۲ را

1. Technical Specification

2. Technical Reports

به طور اختصار TR نامگذاری می‌کند، که در جهت اطلاع‌رسانی بوده و سه رقم دارد و از عدد ۸ یا ۹ شروع می‌شود.

در یک تقسیم‌بندی نهایی، هر مشخصات متعلق به سه مرحله^۱ است مرحله اول، مشخصات تعریف شده از دیدگاه کاربران به سرویس می‌باشد و به طور ویژه‌ای در سری بیست و دوم قرار می‌گیرند. مشخصات مرحله دوم، عملیات و معماری سطح بالای سیستم را تعریف می‌کند و معمولاً (نه منحصرأ) در سری بیست و سوم قرار می‌گیرند و نهایتاً مرحله سوم، مشخصات جزئیات عملیات را تعریف می‌کند. مشخصات تعریف شده در سطح دوم به طور ویژه برای حالتی مناسب است، که می‌خواهیم یک درک سطح بالایی از سیستم را به دست بیاوریم. یکی از کاربردی‌ترین سری‌ها برای سری LTE TS 23.401 [18] و TS 36.300 [19] است، که EPC و واسط هوایی در LTE را پوشش می‌دهند. با این وجود، در اینجا باید برای احتیاط به یک نکته توجه کرد: این مشخصات قابل تکیه و همیشگی نیستند و ممکن است جایگزین شوند. در عوض این جزئیات در صورت لزوم با مشخصات مربوطه مرحله سوم مقایسه گردد.

هر یک از مشخصات مورد نظر را می‌توان از صفحات وب سایت مشخصات 3GPP [۲۰] یا از FTP سرور [۲۱] آن دانلود کرد. علاوه بر آن وب سایت 3GPP خلاصه‌ای از ویژگی‌های که توسط هر نسخه پوشش داده می‌شوند را ارائه می‌دهد [۲۲].

منابع و مآخذ این فصل

1. 3rd Generation Partnership Project (3GPP) (2013) www.3gpp.org (accessed 15 October 2013).
2. 4G Americas (2010) MIMO and Smart Antennas for 3G and 4G Wireless Systems, Section 2, May 2010.
3. 3rd Generation Partnership Project 2 (2012) www.3gpp2.org (accessed 15 October 2013).
4. Ericsson (2013) Ericsson Mobility Report, June 2013 www.ericsson.com/mobility-report (accessed 18 November 2013).

1. Stage

5. Shannon, C.E. (1948) A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal, 27, 379–428, and 623–656.
6. 3GPP TS 25.913 (2009) Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN), Release 9, December 2009.
7. 3GPP TS 22.278 (2012) Service Requirements for the Evolved Packet System (EPS), Release 11, September 2012.
8. 3GPP TS 23.203 (2013) Policy and Charging Control Architecture, Release 11, Section 6.1.7.2, September 2013.
9. Ericsson (2013) Traffic Exploration Tool, www.ericsson.com/TET (accessed 18 November 2013).
10. International Telecommunication Union (2008) Requirements, Evaluation Criteria and Submission Templates for. the Development of IMT-Advanced. ITU report ITU-R M.2133.
11. International Telecommunication Union (2008) Requirements Related to Technical Performance for. IMT-Advanced Radio Interface(s). ITU report ITU-R M.2134.
12. International Telecommunication Union (2008) Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced. ITU report ITU-R M.2135.
13. 3GPP TS 36.913 (2012) Requirements for Further Advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced), Release 11, September 2012.
14. 3GPP TS 25.912 (2012) Feasibility Study for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), Release 11, Section 13.5, September 2012.
15. International Telecommunication Union (2010) ITU Paves Way for Next-Generation 4G Mobile Technologies, www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/40.aspx (accessed 15 October 2013). 20 An Introduction to LTE.

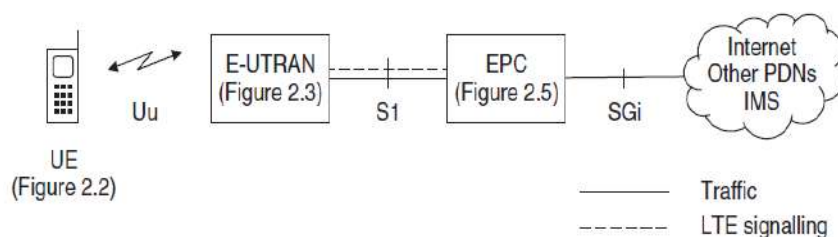
16. International Telecommunication Union (2010) ITU World Radiocommunication Seminar Highlights Future Communication Technologies, www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/48.aspx (accessed 15 October 2013).
17. 3rd Generation Partnership Project (2013) 3GPP – Releases, www.3gpp.org/releases (accessed 15 October 2013).
18. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, September 2013.
19. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, September 2013.
20. 3rd Generation Partnership Project (2013) 3GPP – Specification Numbering, www.3gpp.org/specification-numbering (accessed 15 October 2013).
21. 3rd Generation Partnership Project (2013) FTP Directory, <ftp://ftp.3gpp.org/specs/latest/> (accessed 15 October 2013).
22. 3rd Generation Partnership Project (2013) FTP Directory, <ftp://ftp.3gpp.org/Information> (accessed 15 October 2013).

فصل دوم: تئابل معماری سیستم (SAE)

این فصل معماری سطح بالای LTE را پوشش می‌دهد. ما ابتدا شروع به توصیف اجزاء سخت‌افزاری و پروتکل‌هایی که توسط اجزاء مختلف یک شبکه LTE بکار گرفته می‌شود، می‌کنیم. سپس یک نگاه عمیق‌تر به روش‌های استفاده شده برای انتقال داده در شبکه LTE، قبل از نمودارهای حالت را که در طیف رادیویی به کار می‌رود، خواهیم انداخت. به برخی از موضوعات مربوط به جزئیات معماری را که در فصل‌های دیگر به آن پرداخته می‌شده وارد نمی‌شویم، به ویژه مواردی که مربوط به کیفیت سرویس، شارژینگ و عملیات تعاملی با سیستم‌های دیگر است. برخی از ویژگی‌هایی که مربوط به این فصل هستند. مشخصات فنی TS 23.401 [1] و TS 36.300 [2]، مشخصات مرحله دوم هستند، که دربرگیرنده توضیحاتی از معماری سیستم هستند، درحالی که مشخصات مرحله سوم مربوطه [۳-۴] دربرگیرنده جزئیاتی از معماری می‌باشند. علاوه براین، برخی از مشخصات مهم را همراه با آنها خواهیم آورد.

۱-۲ معماری سطح بالای LTE

شکل ۱-۲ مروری بر معماری سطح بالای سیستم بسته‌ای تکامل یافته (EPS) را نشان می‌دهد در آنجا سه جزء خیلی مهم به نام‌های تجهیزات کاربران (UE)، تجهیزات زمینی شبکه دسترسی رادیویی تکامل یافته UMTS (E-UTRAN) و هسته بسته‌ای تکامل یافته (EPC) وجود دارند. در دنباله این معماری، EPC با شبکه‌های بسته‌ای داده خارج از LTE مثل اینترنت، شبکه‌های سازمان‌های خصوصی یا شبکه‌های چند رسانه‌ای زیر سیستم IP (IMS) ارتباط برقرار می‌کند. واسطه‌های بخش‌های مختلف این سیستم به طور اختصار S1، Uu و S-Gi هستند. UE، E-UTRAN و EPC هر کدام معماری داخلی خاص خود را دارند و ما در ادامه هر یک از آنها را بررسی می‌کنیم.



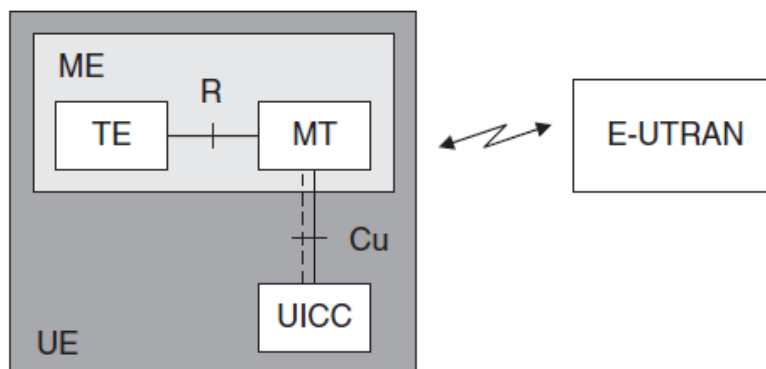
شکل ۱-۲ معماری سطح بالای LTE

۲-۲ تجهیزات کاربران

۱-۲-۲ معماری UE

شکل ۲-۲ معماری داخلی UE را نشان می‌دهد. معماری UE مثل معماری استفاده شده در GSM و UMTS است.

در واقع، وسیله ارتباطی واقعی به نام *تجهیزات موبایل* (ME)^۱ شناخته می‌شود. موبایل صوتی (معمولی) و تلفن هوشمند، تنها یک وسیله می‌باشند، اما می‌توانند به دو بخش مجزا تقسیم شوند: به نام *ترمینال موبایل* (MT)^۲ که همه عملیات ارتباطی را انجام می‌دهد و *ترمینال تجهیزات* (TE)^۳ که جریان داده را به پایان می‌برد. به عنوان مثال ترمینال موبایل می‌تواند یک تراشه LTE از پیش نصب شده در لپ تاب و خود لپ تاب نیز می‌تواند ترمینال تجهیزات باشد.



شکل ۲-۲ معماری داخلی UE منبع: TS 27.001 با مجوز ETSI منتشر شده است

کارت مدار مجتمع جهانی (UICC)^۴ یک کارت هوشمند است، که در زبان محاوره به نام سیم کارت شناخته می‌شود. سیم کارت یک برنامه کاربردی به نام *ماژول شناسایی جهانی مشترک* (USIM)^۵ را اجرا می‌کند و مشخصات داده مشترکان مثل شماره تلفن و شناسه شبکه خانگی را در خود ذخیره کرده است. برخی از اطلاعات ذخیره شده در USIM می‌تواند توسط سرورهای

1. Mobile Equipment
2. Mobile Terminal
3. Terminal Equipment
4. Universal Integrated Circuit Card
5. Universal Subscriber Identity Module

مدیریت تجهیزات دالود شوند، که این عملیات توسط اپراتور شبکه مدیریت می‌شود: ما مثال‌های از آن را خواهیم دید. علاوه بر این، USIM می‌تواند برخی از محاسبات امنیتی را انجام دهد، این کار با استفاده از کلیدهای امنیتی ذخیره شده در کارت هوشمند انجام می‌گیرد. LTE از USIM های نسخه نود و نهم و بعد از آن را پشتیبانی می‌کند. اما /ازماژول شناسه مشترک (SIM)^۱ که در نسخه‌های اولیه GSM استفاده می‌شود، پشتیبانی نمی‌کند.

به عبارت دیگر، LTE از موبایل‌هایی که پشته IPv4 یا IPv6 یا پشته هر دوی آنها را دارند پشتیبانی می‌کند. هر موبایل یک IP آدرس برای هر شبکه داده بسته‌ای که با آن ارتباط برقرار کند دریافت می‌کند؛ برای مثال، یک IP آدرس برای اینترنت و یک IP آدرس برای هر شبکه خصوصی که با آن در ارتباط است. به عبارت دیگر، یک موبایل می‌تواند یک IP آدرس نسخه چهار یا IPv6 و هر دوی آن را در صورتی داشته باشد، که موبایل و شبکه هر دو از نسخه‌های IP پشتیبانی کنند.

۲-۲-۲ قابلیت‌های UE

موبایل‌ها می‌توانند طیف وسیعی از قابلیت‌های رادیویی را داشته باشند [۷ و ۸]. از این قابلیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد، انتقال نرخ داده حداکثر لحظه‌ای که می‌تواند جا به جا کنند، تنوع در فناوری رادیویی دسترسی که توسط آنها پشتیبانی می‌شود، فرکانس‌های حامل آن، که موبایل‌ها می‌توانند ارسال و دریافت داده‌ها را به صورت ویژگی‌های انتخابی که در خصوصیات LTE مشخص شده است، انجام دهند. موبایل‌ها می‌توانند این قابلیت‌ها را با استفاده از پیام‌های به سرانجام برسانند، بنابراین E-UTRAN می‌داند که پیام‌های را به طور صحیحی کنترل کند.

قابلیت‌های خیلی مهمی را در قالب دسته‌بندی‌های UE^۲ قرار می‌دهند. همان‌گونه که در جدول ۱-۲ مشاهده می‌شود، گروه‌بندی UE عموماً بیشترین نرخ داده که با موبایل می‌تواند ارسال و دریافت شود را پوشش می‌دهد، همچنین این گروه‌بندی‌ها، همان طور که در جدول فوق در سه سطر آخر آورده شده است، برخی از قابلیت‌های فنی را پوشش می‌دهند و در فصل‌های سوم تا پنجم آنها را بررسی خواهیم کرد. در اوایل، موبایل‌های LTE در گروه‌بندی سوم قرار داشتند در نتیجه، آنها نرخ ارسال اطلاعات حداکثر لحظه‌ای در مسیر فرسو 100 Mbps و در مسیر فراسو 50 Mbps را داشتند.

1. Subscriber Identity Module

2. UE Category

در نسخه هشتم یا نهم، یک موبایل می‌تواند به طور تئوری به نرخ بیت 300 Mbps در مسیر فراسو و 75 Mbps در مسیر فراسو اگر در گروه پنجم قرار داشته باشد. دست پیدا می‌کند.

جدول ۱-۲ دسته‌بندی‌های UE

UE category	Release	Maximum # DL bits per ms	Maximum # UL bits per ms	Maximum # DL layers	Maximum # UL layers	Support of UL 64-QAM?
1	R8	10 296	5 160	1	1	No
2	R8	51 024	25 456	2	1	No
3	R8	102 048	51 024	2	1	No
4	R8	150 752	51 024	2	1	No
5	R8	299 552	75 376	4	1	Yes
6	R10	301 504	51 024	4	1	No
7	R10	301 504	102 048	4	2	No
8	R10	2998 560	1497 760	8	4	Yes

منبع: TS 36.306 باز نشر شده با مجوز ETSI

۳-۲ تجهیزات زمینی شبکه دسترسی رادیویی UMTS تکامل یافته

۱-۳-۲ معماری E-UTRAN

شبکه E-UTRAN، در شکل ۳-۲ نشان داده شده است [9]. این شبکه ارتباطات رادیویی بین موبایل‌ها و شبکه بسته‌ای تکامل یافته (EPC) را انجام می‌دهد و تنها یک جزء به نام *Node B* تکامل یافته^۱ است.

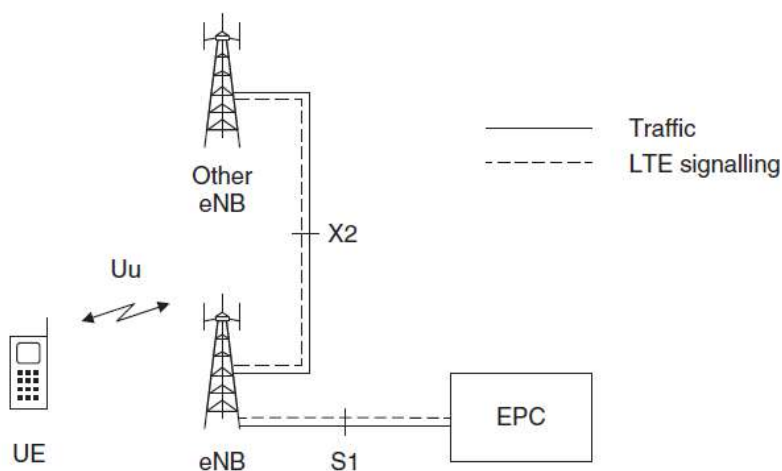
هر ایستگاه پایه می‌تواند موبایل‌ها را در یک یا چند سلول کنترل کند. هر موبایل تنها با یک ایستگاه پایه و یک سلول در ارتباط است و در اینجا چیزی معادل دست به دست کردن نرم که در UMTS بود وجود ندارد. ایستگاه پایه‌ای که با یک موبایل در ارتباط است، را *eNB* سرویس‌دهنده^۲ می‌گوییم.

eNB دارای دو وظیفه اصلی است، نخست، *eNB* انتقال رادیویی را به تمامی موبایل‌هایی که در مسیر فراسو هستند، می‌فرستند و دریافت انتقال‌های آنها را در مسیر فراسو انجام می‌دهد. این کار از طریق عملیات پردازش سیگنال دیجیتال و آنالوگ در واسط هوایی LTE انجام می‌شود. دومین وظیفه *eNB* این است، که تمامی عملیات سطح پایین موبایل‌ها را انجام می‌دهد، این کار به وسیله ارسال پیام‌های مثل دستور دست به دست کردن، که اشاره به انتقال رادیویی دارد، انجام می‌-

1. Evolved Node B

2. Serving eNB

دهد. برای انجام این عملیات، eNB وظایف Node B اولیه را با کنترل کننده شبکه رادیویی (RNC) با هم ترکیب می کند تا از تأخیر داده هایی که در شبکه منتقل می شود کاسته شود. ایستگاه پایه به وسیله واسطه هوایی S1 به EPC متصل می شود، علاوه بر این، با استفاده از واسطه X2 به ایستگاه پایه مجاور خود متصل می گردد، که این کار عموماً برای سیگنالینگ و انتقال بسته در زمان دست به دست کردن صورت می گیرد.



شکل ۲-۳ معماری E-UTRAN

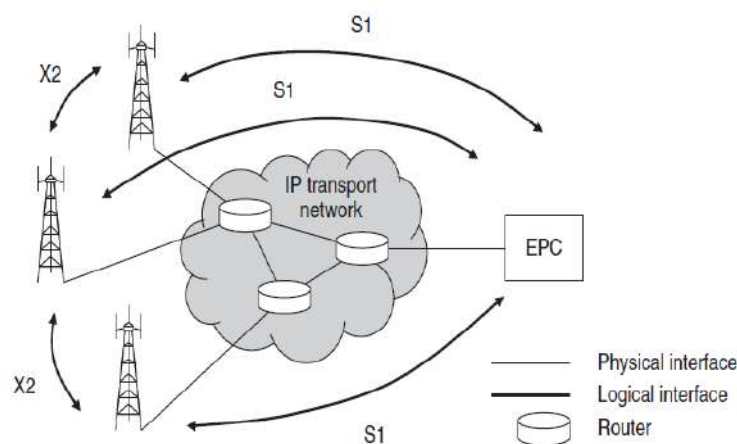
واسطه اختیاری X2 دارای دو کاربرد است. نخست، فقط برای ایستگاه های پایه نزدیک هم به کار می رود که درگیر دست به دست کردن هستند، درحالی که نیازی به اتصال با ایستگاه های پایه دور دست ندارد. دوم، مهم ترین ارتباطات X2 می توانند با استفاده از دو نمونه S1 با شبکه EPC ارتباط برقرار کنند، اگرچه این ارتباطات غیرمستقیم و آهسته می باشند، حتی اگر از آن استفاده شود، واسطه X2 به صورت دستی تنظیم نمی شود؛ در عوض، شبکه می تواند به صورت خودکار با استفاده از عملیات خود بهینه سازی^۱ آن را تنظیم کند، که در فصل هفدهم به آن پرداخته خواهد شد.

۲-۳-۲ شبکه انتقال

معمولاً واسطه های X2 و S1 اتصالات فیزیکی نیستند؛ در عوض، اطلاعات در بستر شبکه انتقال IP، در داخل آن شبکه مسیریابی می شود که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. هریک از ایستگاه های پایه و اجزاء شبکه هسته، دارای یک آدرس IP هستند و مسیریاب های موجود

1. Self Optimization

در شبکه انتقال، از این آدرس‌های IP برای انتقال داده و پیام‌های از یک وسیله به وسیله دیگر استفاده می‌کنند. واسطه‌های X2 و S1 در واقع برای درک بهتر، ارتباطات مجازی هستند، که همه تجهیزات بوسیله آنها از همدیگر مطلع می‌شوند و می‌توانند اطلاعاتشان را بین یکدیگر مبادله کنند. EPC نیز از یک شبکه انتقال IP به همان صورت استفاده می‌کند، بنابراین همین روش‌ها در واسطه‌های EPC به کار گرفته خواهند شد، که ما در زیر آن را بیان می‌کنیم.



شکل ۲-۴ معماری داخلی شبکه انتقال E-UTRAN

۲-۳-۳ سلول‌های کوچک و eNB خانگی

در فصل یک دیدیم که اپراتورها، برای افزایش ظرفیت کل شبکه خود، شروع به کوچک کردن سلول‌ها نمودند، کوچکترین نمونه eNB خانگی (HeNB)^۱ است [۱۰]، که استگاه پایه‌ای است که توسط کاربر خریداری شده و پوشش یک Femtocell را در داخل خانه ایجاد می‌کند. مزیت استفاده از eNB خانگی این است که یک پوشش بهتر با نرخ بیت بالا را در داخل خانه ارائه می‌دهد و از دید اپراتور شبکه، از این جهت دارای مزایا است که ترافیک آن، از ایجاد تداخل در میکرو سلول‌های اطراف به دور است، اما اشکال اصلی آنها، قیمت آنها است.

یک eNB خانگی متعلق به یک گروه مشتریان محرمانه است که به آن CSG^۲ می‌گویند، که از آن طریق یک دسترسی ویژه یا منحصر بفردی برای موبایل‌هایی که وابسته به آن CSG هستند ارائه دهد. لیست موبایل‌های وابسته به یک CSG در داخل UISM ذخیره می‌شوند و می‌توان آنها

1. Home eNB

2. Closed Subscriber Group

را از یک دستگاه سرور مدیریتی که توسط شبکه کنترل می‌شود دانلود کرد. eNB های خانگی دارای محدودیت توان بوده و در مقایسه با ایستگاه‌های پایه توان کمتری دارند و می‌توانند تنها یک سلول را کنترل کنند و از واسط X2 تا نسخه دهم نمی‌توانند پشتیبانی کنند. در واسط S1، یک eNB خانگی می‌تواند به طور مستقیم یا از طریق وسیله‌ای که دروازه eNB^۱ خانگی نامیده می‌شود، با EPC ارتباط برقرار کند. دروازه eNB خانگی، EPC را از حجم عظیمی از eNB خانگی حفظ می‌کند. داده S1 و پیام‌های به جای اپراتورهای شبکه، به وسیله ارایه دهندگان اینترنتی به مصرف‌کنندگان انتقال داده می‌شوند، بنابراین آنها باید امن‌تر از ارتباطات S1 معمولی باشند.

۲-۴ هسته بسته‌ای تکامل یافته (EPC)

۲-۴-۱ معماری EPC

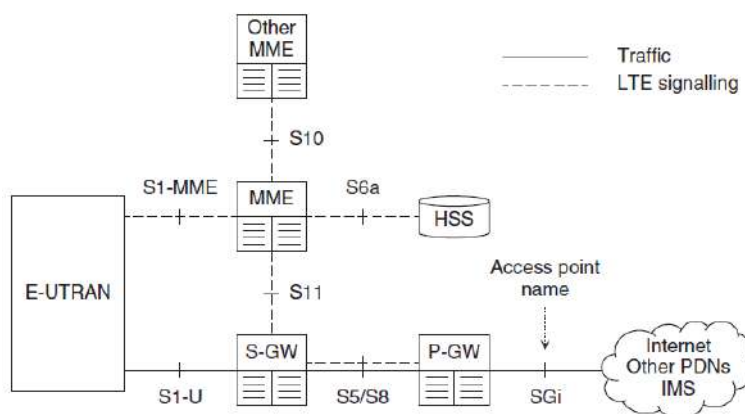
شکل ۲-۵ اجزای اصلی هسته بسته تکامل یافته (EPC) را نشان می‌دهد [۱۱ و ۱۲]. در حال حاضر ما فقط یک جزء مهم را مشاهده می‌کنیم؛ سرور خانگی مشترکین (HSS)^۲ یک پایگاه داده‌ای است، که، تمامی اطلاعات همه مشترکین شبکه را در خود نگه می‌دارد. HSS یکی از چند اجزای LTE است که از UMTS و GSM به LTE به ارث رسیده است.

دروازه شبکه داده بسته‌ای (P-GW)^۳، نقطه اتصال EPC با جهان خارج از LTE می‌باشد که این کار توسط واسط S-Gi صورت می‌گیرد، هر دروازه PDN داده را با یک یا تعداد بیشتری از تجهیزات خارجی یا شبکه‌های PDN مثل سرورهای آن اپراتور، شبکه اینترنت یا IMS مبادله می‌کند. هر شبکه داده بسته‌ای به وسیله یک نام نقطه دسترسی (APN)^۴ شناخته می‌شود [۱۳]. اپراتور شبکه به طور معمول تعداد انگشت شماری از APN های مختلف را استفاده می‌کند، مثلاً یکی برای اینترنت و یکی برای شبکه IMS.

هر موبایلی که برای اولین بار روشن می‌شود، به یک دروازه PDN پیش‌فرض اختصاص داده می‌شود تا آن را برای اتصال دائمی به یک شبکه PDN مثل اینترنت فعال نگه دارد. سپس موبایل ممکن است به یک یا چند دروازه PDN اختصاص داده شود، در صورتی که آن موبایل بخواهد

-
1. Home eNB Gateway
 2. Home Subscriber Server
 3. Packet Data Network Gateway
 4. Access Point Network

به یک شبکه داده خصوصی یا به یک IMS متصل شود. هر دروازه PDN به اندازه طول عمر همان اتصال باقی می‌ماند و پس از اتمام داده برچیده می‌شود.



شکل ۲-۵ اجزای اصلی EPC

یک دروازه خدمت رسانی ($S\text{-GW}$)^۱ مثل یک مسیر یاب سطح بالا عمل می‌کند و انتقال داده‌ها را بین ایستگاه‌های پایه و دروازه PDN انجام می‌دهد. هر شبکه‌ای به طور معمول می‌تواند تعداد انگشت شماری $S\text{-GW}$ داشته باشد. آنها از موبایل‌ها در یک ناحیه جغرافیایی مشخص مراقبت می‌کنند. هر موبایل به یک $S\text{-GW}$ اختصاص داده می‌شود، اما در صورتی که موبایل به اندازه قابل توجهی دور شود، دروازه خدمت‌رسانی تغییر پیدا می‌کند.

MME ^۲ یا جزء مدیریت قابلیت تحرک موبایل، با استفاده از ارسال پیام‌های کنترل عملیات سطح بالای موبایل را انجام می‌دهد، پیام‌های آن مثل امنیت، مدیریت جریان داده که ربطی به یک ارتباطات رادیویی ندارد، می‌باشد. مانند دروازه خدمت‌رسانی، هر شبکه به طور معمول می‌تواند دارای تعداد انگشت‌شماری MME باشد. هر یک از آنها از یک ناحیه جغرافیایی مراقبت می‌کنند، هر موبایل تنها به یک MME اختصاص داده می‌شود، که به نام MME سرویس دهنده^۳ شناخته می‌شود، اما اگر موبایل به اندازه کافی از ناحیه آن MME دور شده باشد، می‌تواند آن MME تغییر پیدا کند. همچنین سایر اجزاء شبکه را به وسیله پیام‌های که در داخل EPC است کنترل می‌کند.

1. Serving Gateway
2. Mobility Management Entity
3. Serving MME

مقایسه LTE با GSM و UMTS نشان می‌دهد که دروازه PDN همان نقش گره GGSN در آنها عمل را بازی می‌کند، درحالی که دروازه خدمت‌رسانی و MME، مسیریابی اطلاعات و توابع SGS را در UMTS و GSM انجام می‌دهند. جداسازی SGSN به دو بخش مجزا در مقیاس یک شبکه، برای یک اپراتور، پاسخ‌دهی به افزایش میزان بار شبکه را آسانتر می‌کند: یک اپراتور با افزایش حجم ترافیک می‌تواند دروازه‌های خدمت‌رسانی بیشتری را به شبکه اضافه کند، در حالی که افزایش تعداد MME، در صورتی است که تعداد موبایل‌ها افزایش پیدا می‌کنند. برای پشتیبانی از این عملیات جداسازی، واسط S1 دارای دو جزء می‌باشد: S1-U ترافیک را برای دروازه خدمت‌رسانی منتقل می‌کند، در حالی که S1-MME پیام‌های سیگنالینگ را برای MME منتقل می‌سازد.

EPC چند جزء دیگر نیز دارد، که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. اولین جزء، مرکز پخش همه‌جانبه سلول (CBS)^۱ است، که توسط UMTS استفاده می‌شد و به ندرت برای سرویس پخش سلول (CBS)^۲ استفاده می‌شود. در LTE، این جزء، برای یک سرویس شناخته شده‌ای به نام سیستم اعلام سونامی و زلزله (ETWS)^۳ استفاده می‌شود [۱۴]. دومین جزء، گره ثبت مشخصات تجهیزات (EIR)^۴ است، که از UMTS به ارث برده شده است و لیست و جزئیات دستگاه‌های موبایل به سرقت رفته را ذخیره می‌کند. ما تجهیزات بیشتری را هنگامی که مدیریت کیفیت سرویس در LTE و تعامل LTE با سایر سیستم‌های مخابراتی موبایل را بحث می‌کنیم، معرفی خواهیم کرد.

۲-۴-۲ معماری رومینگ

رومینگ به کاربران این امکان را می‌دهد تا از ناحیه پوششی شبکه اپراتوری خودشان خارج شده و از منابع دو شبکه مختلف استفاده کنند. رومینگ در صورت وجود قرار داد رومینگ^۵ امکان‌پذیر است، که چگونگی به اشتراک‌گذاری درآمد حاصل آن را تعریف می‌کند. معماری عمومی آن در شکل ۲-۶ مشاهده می‌شود [۱۵].

کاربر رومینگ تا زمانی که اصطلاحاً در رومینگ است، HSS خانگی آن در شبکه خانگی کاربر قرار دارد، درحالی که موبایل، E-UTRAN، MME و دروازه خدمت‌رسانی همه در شبکه

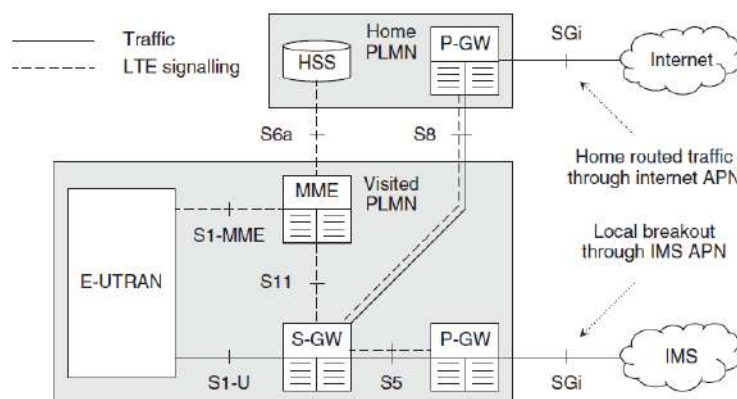
-
1. Cell Broadcasting Center
 2. Cell Broadcasting Service
 3. Earthquake And Tsunami Warning System
 4. Equipment Identity Register
 5. Roaming Agreement

ملاقات شونده^۱ هستند. اما دروازه PDN می‌تواند در هر یک از این دوشبکه باشد. ارتباطات اینترنتی عموماً از ترافیک مسیریابی شده خانگی^۲ که به وسیله دروازه‌های PDN که آنها نیز در شبکه خانگی قرار دارند، انجام می‌گیرد. با استفاده از این معماری، اپراتور شبکه خانگی می‌تواند تمامی ترافیک را مشاهده کند و آنها را به طور مستقیم شارژ نماید، در نتیجه، برای داشتن ارتباطات اینترنتی، فقط کافی است که یک قرارداد رومینگ بین شبکه خانگی و شبکه ملاقات شونده وجود داشته باشد. هر دو شبکه اطلاعات خود را از طریق یک ستون فقرات بین اپراتوری^۳، که به نام مبادله بسته IP(IPX)^۴ شناخته می‌شود انجام می‌دهند، IPX را می‌توان با نام قدیمی خود یعنی به نام مبادله رومینگ GPRS (GRX)^۵ نام‌گذاری کرد [۱۶]

ارتباطات با شبکه IMS عموماً با استفاده از نقاط اتصال محلی^۶، که دروازه PDN در شبکه ملاقات شونده قرار داد، انجام می‌گیرد. این کار دو مزایای مهم برای ارتباطات صوتی دارد: کاربر می‌تواند تماس تلفنی صوتی برقرار کند، بدون آن که ترافیک آن از شبکه خانگی عبور کند و تماس‌های ضروری و اورژانس محلی که با سرویس‌های اورژانس محلی انجام می‌گیرد، برقرار نماید. ما در فصل بیست و دو خواهیم دید که در واقع IMS بین دو شبکه خانگی و شبکه ملاقات شونده قرار داد، بنابراین اپراتور شبکه خانگی همچنان می‌تواند با استفاده از قابلیت رؤیت پیام‌های، تماس‌های صوتی را کنترل کند. HSS به شبکه خانگی اجازه اتصال محلی را برای هر ترکیبی از کاربر و APN را یا صادر می‌کند و یا اجازه چنین کاری را به آنها نمی‌دهد [۱۷].

واسط بین دروازه خدمت‌رسانی و دروازه PDN به نام S5/S8 شناخته می‌شود. پیاده‌سازی این دو تفاوت اندکی با همدیگر دارند، زمانی این واسط S5 نامگذاری می‌شود که هر دو دستگاه در یک شبکه باشند، چنانچه این تجهیزات هر کدام در یک شبکه مختلف باشند، واسط بین آنها را S8 نامگذاری می‌کنند، تمایز اصلی S8 نسبت به S5 داشتن نیازمندی‌های امنیتی است. برای موبایل‌هایی که رومینگ انجام نمی‌دهند، می‌توانند دروازه‌های خدمت‌رسانی و دروازه PDN در یک دستگاه یک پارچه شده باشد، بنابراین واسط S5/S8 در همدیگر ادغام می‌شوند. این کار می‌تواند بسیار مفید باشد چرا که این کاهش تجهیزات باعث کاهش تأخیر می‌شود.

-
1. Visited Network
 2. Home Routed Traffic
 3. Inter-Operator Backbone
 4. IP Packet Exchange
 5. GPRS Roaming Exchange
 6. Local Breakout



شکل ۶-۲ معماری عمومی LTE برای رومینگ موبایلی که با اینترنت و IMS در ارتباط است

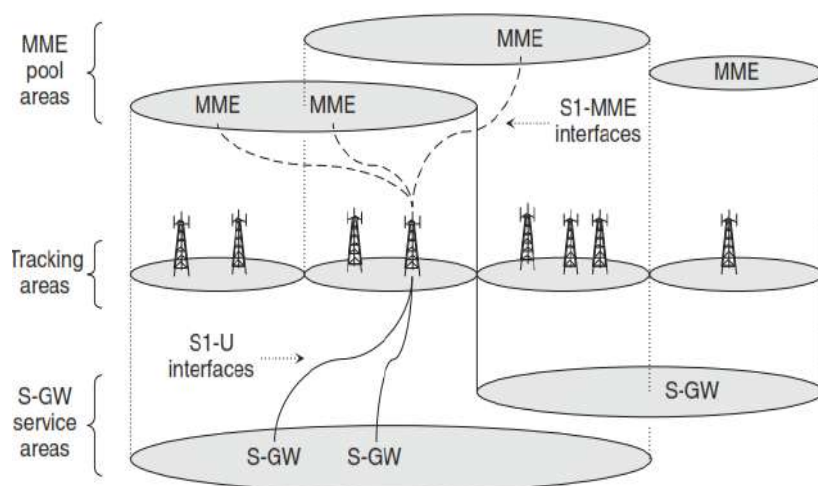
۲-۴-۳ نواحی شبکه

EPC به سه نوع ناحیه جغرافیایی مختلف تقسیم می‌شود [۱۸]، که همه آنها در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.

یک *MME pool area*، ناحیه‌ای است که یک موبایل بدون این که MME سرویس‌دهنده خود را تغییر دهد جابجایی می‌شود. هر *MME pool area* به وسیله یک یا چند MME کنترل می‌شود، در حالی که هر ایستگاه پایه، به وسیله واسطه S1-MME به همه MME ها متصل می‌شود. *MME pool area* ها می‌توانند با یکدیگر هم پوشانی داشته باشند. معمولاً، یک اپراتور شبکه، ممکن است یک *MME pool area* وسیعی را پیکربندی کند که بخش بزرگی را زیر پوشش داشته باشد، مثل یک شهر بزرگ و ممکن است *MME* ها را در این *MME pool area* ها به عنوان بار سیگنالینگ اضافه کند، که بار ترافیکی آن شهر را افزایش داده است.

به طور مشابه ناحیه سرویس S-GW^۱ ناحیه‌ای است که توسط یک یا چند دروازه خدمت‌رسانی، سرویس داده می‌شود و یک موبایل می‌تواند بدون تغییر دروازه خدمت‌رسانی، جابجا شود. هر ایستگاه پایه که با استفاده از واسطه S1-U به ناحیه سرویس S-GW متصل هستند، لزومی ندارد که ناحیه خدمت‌رسانی S-GW آن با ناحیه *MME pool area* مطابقت داشته باشد.

نواحی MME pool area و ناحیه خدمت‌رسانی S-GW به نواحی کوچکتری تقسیم می‌شوند که واحدهای بدون هم‌پوشانی هستند و به نام *نواحی ردیابی* ^۱ (TA) نام‌گذاری می‌شوند. این نواحی برای ردیابی موبایل‌هایی هستند که در حالت آماده به کار بوده و شبیه نواحی مسیریابی ^۲ در UMTS و GSM می‌باشند.



شکل ۲-۷ ارتباط بین نواحی MME pool , Tracking Area و S-GW service Area

۲-۴-۴ شماره‌گذاری، آدرس‌دهی و شناسایی

اجزاء شبکه با شناسه‌های مختلفی بهم متصل شده‌اند [۱۹]. چنانچه در سیستم‌های قبلی، هر شبکه به همراه یک شناسه شبکه زمینی موبایل عمومی (PLMN-ID) ^۳ شناخته می‌شدند. PLMN-ID شامل سه رقم کد کشوری موبایل (MCC) ^۴ و دو یا سه رقم کد شبکه موبایل (MNC) ^۵ است. برای مثال کد کشوری موبایل برای بریتانیا ۲۳۴ و شبکه ودافون انگلیس کد MNC ۱۵ را به کار می‌برد.

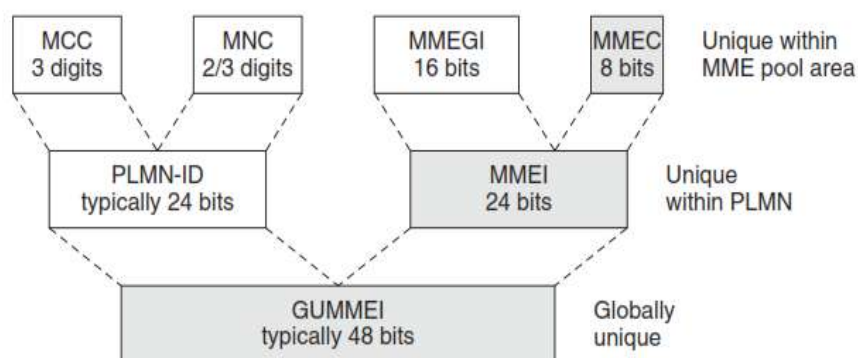
هر MME سه شناسه مهم دارد، که در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. هر ناحیه MME pool با استفاده از شناسه ۱۶ بیتی به نام شناسه گروه MME (MMEGI) ^۶ شناخته می‌شود. کد

1. Tracking Area
2. Location And Routing Area
3. Public Land Mobile Network Identity
4. Mobile Country Code
5. Mobile Network Code
6. MME Global Identity

MME pool area^۱ یک کد ۸ رقمی منحصر به فردی است که MME ها را داخل MME pool area مشخص می‌کند. ترکیب MMEGI و MMEC یک عدد ۲۴ رقمی به نام شناسه MMEI^۲ را تشکیل می‌دهند که یک شناسه منحصر به فردی است که یک MME داخل شبکه با آن شناخته می‌شود، با در آوردن هویت شبکه ما به شناسه منحصر به فرد عمومی MME (GUMMEI)^۳ می‌رسیم که مشخص کننده یک MME در کل دنیا است.

به طور مشابه، هر ناحیه ردیابی (TA) دو شناسه اصلی دارد. یک کد ۱۶ رقمی به نام کد ردیابی ناحیه (TAC)^۴، که مشخص کننده ناحیه TA در یک شبکه خاص می‌باشد. ترکیب TAC با شناسه شبکه، شناسه یکتای ناحیه ردیابی (TAI)^۵ تولید می‌شود.

سلول‌ها سه نوع شناسه دارند. یک شناسه ۲۸ رقمی به نام شناسه سلول E-UTRAN (ECI)^۶ که مشخص کننده یک سلول در یک شبکه است، شناسه عمومی سلول E-UTRAN (ECGI)^۷ مشخص کننده یک سلول در کل جهان است. همچنین شناسه فیزیکی سلول^۸ که برای واسطه هوایی مهم می‌باشد و یک عدد از ۰ تا ۵۰۳ است که مشخص کننده یک سلول از سلول‌های مجاور آن است.

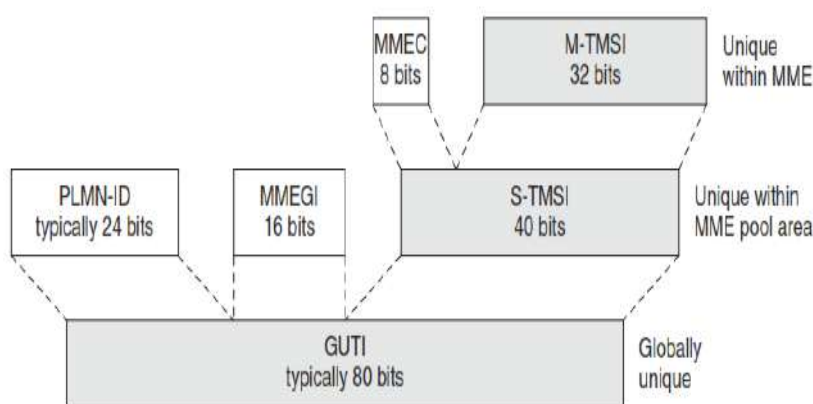


شکل ۲-۸ شناسه‌های استفاده شده در MME

1. MME Code
2. MME Identifier
3. Globally Unique MME Identifier
4. Tracking Area Identity
5. E- UTRAN Cell Identity
6. E-URAN Cell Global Identifier
7. E-UTRAN Cell Global Identifier
8. Physical Cell Identity

همچنین هر موبایل دارای چندین شناسه مختلف است. یکی از مهمترین این شناسه‌ها، شناسه جهانی تجهیزات موبایل (IMEI)^۱ است، که برای هر دستگاه موبایل در کل دنیا منحصر به فرد می‌باشد و شناسه جهانی مشترک موبایل (IMSI)^۲، که یک شناسه منحصر به فرد برای UICC و USIM است.

IMSI یکی از مقادیری است که مهاجمین برای شنود یک موبایل، به آن نیاز دارند، برای همین منظور تا جایی که امکان دارد آن را در واسطه هوایی ارسال نمی‌کنیم. به جای آن، MME خدمت‌رسان شناسه‌هایی را به صورت موقت به کار می‌برد که آنها با یک دوره زمانی معتبر به روز رسانی می‌شوند. سه نوع از این شناسه‌های موقت مهم هستند که در شکل ۲-۹ نشان داده می‌شوند. یک شناسه ۳۲ بیتی به نام شناسه موقت مشترک موبایل (M-TMSI)^۳ که یک موبایل را به MME سرویس‌دهنده آن معرفی می‌کند. با اضافه کردن کد MME به M-TMSI یک شناسه ۴۰ بیتی به نام S-TMSI^۴ به وجود می‌آید که مشخص کننده یک موبایل در داخل یک MME pool area است و در آخر با اضافه کردن شناسه گروه MME (MMEGI) و شناسه PLMN به S-TMSI یک کد ۸۰ بیتی به نام شناسه موقت منحصر به فرد جهانی (GUTI)^۵ به وجود می‌آید که یک شناسه بسیار مهم است.



شکل ۲-۹ شناسه‌های موقت بکار رفته توسط موبایل

1. International Mobile Equipment Identity
2. International Mobile Subscriber Identity
3. M-Temporary Mobile Subscriber Identity
4. S- Temporary Mobile Subscriber Identity
5. Globally Unique Temporary Identity

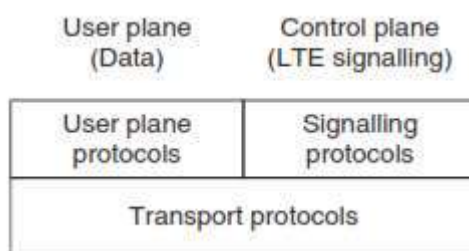
۵-۲ پروتکل های ارتباطی

۵-۲-۱ مدل پروتکل

هر یک از واسطه‌هایی که در بخش قبلی توضیح داده شدند، برای این که اجزای شبکه بتوانند داده‌ها و پیام‌های سیگنالینگ را رد و بدل کنند، دارای یک پشته پروتکلی هستند. شکل ۱۰-۲ ساختار سطح بالای پشته‌های پروتکلی را نشان می‌دهد.

این پشته پروتکل دارای دو سطح است. پروتکل‌هایی که در سطح کاربران^۱ هستند، برای هدایت داده‌های کاربران می‌باشند و پروتکل‌هایی که در سطح کنترل^۲ هستند، تنها در شبکه خودشان پیام‌های سیگنالینگ را هدایت می‌کنند. هر پشته پروتکل علاوه بر این، دارای دو لایه اصلی می‌باشد. لایه بالاتر اطلاعات را طوری محاسبه می‌کند که مخصوص LTE می‌باشد و لایه پایینی ترافیک را از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می‌کند. در اینجا نام خاصی برای این لایه‌ها در نظر گرفته نشده است اما در E-UTRAN به نام لایه شبکه رادیویی^۳ و لایه شبکه انتقال^۴ شناخته می‌شوند.

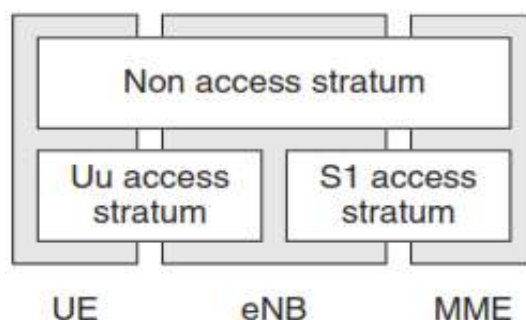
پس از آن سه نوع پروتکل در اینجا وجود دارند. پروتکل‌های سیگنالینگ^۵ که یک زبان مشترکی را برای مبادله پیام‌های سیگنالینگ بین دو دستگاه فراهم می‌آورند، پروتکل سطح کاربر^۶ که داده را در سطح کاربری ویرایش می‌کنند و اغلب برای مسیریابی داده در داخل شبکه به کار می‌روند. در نهایت، پائین‌ترین آن، پروتکل انتقال می‌باشد، که این پروتکل وظیفه انتقال داده کاربران و پیام‌های سیگنالینگ از یک نقطه به نقطه دیگر را بر عهده دارد.



شکل ۱۰-۲ معماری سطح بالای پروتکل LTE

1. User Plane
2. Control Plane
3. Radio Transprot Layer
4. Network Transport Layer
5. Signaling Protocol
6. User Plane Protocol

بر روی واسط هوایی، یک سطح پیچیده اضافی وجود دارد که در شکل ۱۱-۲ مشاهده می‌شود [۲۰]. چنانچه قبلاً هم توضیح داده شد، MME به وسیله ارسال پیام‌های سیگنالینگ سطح بالا، رفتار موبایل‌ها را کنترل می‌کند. اما برای این کار، مسیر مستقیمی بین آن و موبایل‌ها وجود ندارد، تا بتواند آن پیام‌ها را رد و بدل کند. به همین دلیل واسط هوایی به دو سطح تقسیم می‌شود که یکی به نام قشر دسترسی (AS) و دیگری به نام قشر بدون دسترسی (NAS) تقسیم می‌شوند. پیام‌های سیگنالینگ لایه بالاتر در NAS قرار می‌گیرند و از طریق پروتکل‌های AS با استفاده از واسط‌های S1 و Uu منتقل می‌شود.



شکل ۱۱-۲ رابطه بین NAS و AS در واسط هوایی

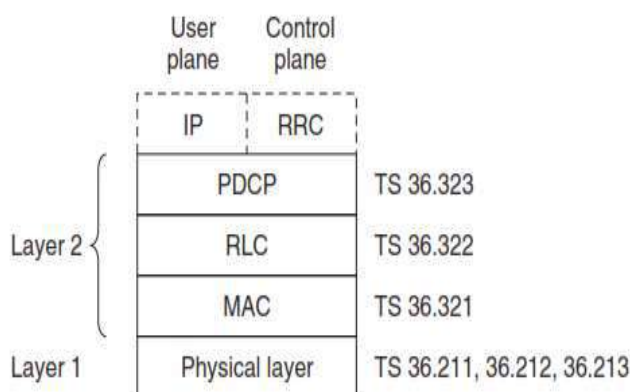
۲-۵-۲ پروتکل‌های انتقال واسط هوایی

واسط هوایی، به طور رسمی به نام Uu شناخته می‌شود و بین موبایل و ایستگاه پایه قرار می‌گیرد. شکل ۱۲-۲ پروتکل‌های انتقال واسطه هوایی را نشان می‌دهد. با شروع از پایین، پروتکل فیزیکی واسطه هوایی^۳ شامل عملیات پردازش سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال است که موبایل و ایستگاه پایه برای ارسال و دریافت اطلاعات، از آن استفاده می‌کند. مشخصات مهم این لایه که یک لایه بسیار مهمی می‌باشد در فصل ششم بررسی خواهد شد.

سه پروتکل بالای بعدی، پروتکل‌های لایه پیوند داده در مدل لایه دوم OSI را تشکیل می‌دهند. پروتکل کنترل در دسترسی رسانه (MAC)^۴ از یک کنترل سطح پایین برای کنترل لایه

-
1. Access Stratum
 2. Non Access Stratum
 3. Air Interface Physical Layer
 4. Medium Access Control

فیزیکی برخوردار است [۲۱]، که به طور ویژه‌ای، این کار را از طریق زمانبندی کردن ارسال داده، بین موبایل و ایستگاه پایه انجام می‌دهد. پروتکل کنترل لینک رادیویی (RLC)^۱، ارتباط لینک‌ها را بین دو وسیله برقرار می‌کند [۲۲]. مثلاً داده‌هایی که تحویل آن‌ها نیاز به دریافت تأییدیه است را کنترل می‌کند. در آخر پروتکل همگرایی داده بسته‌ای (PDCP)^۲، توابع انتقالی لایه‌های بالاتر مثل سرایندهای فشرده‌سازی و امنیتی را منتقل می‌کند. [۲۳]



شکل ۲-۱۲ پروتکل‌های انتقالی که در واسط هوایی استفاده می‌شود.

منبع : TS 36.300 منتشر شده تحت مجوز ETSI

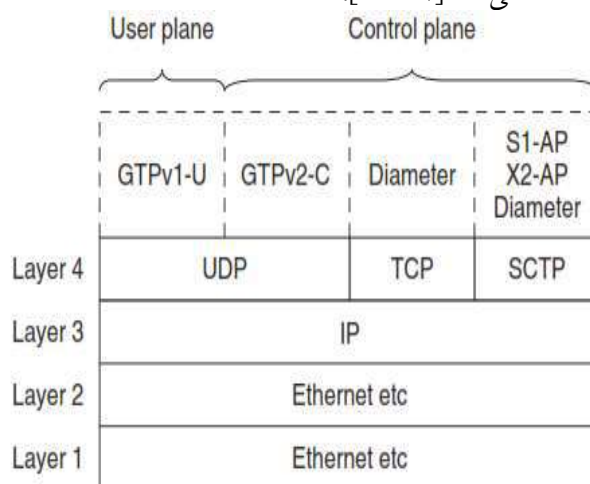
۲-۵-۳ پروتکل‌های انتقال شبکه ثابت

واسط‌هایی که در شبکه ثابت وجود دارند، از استاندارد، IETF پشتیبانی می‌کنند، که در شکل ۲-۱۳ مشاهده می‌شود. هر واسط در سرتاسر شبکه، در زیر لایه انتقال از مدل OSI قرار می‌گیرد، بنابراین پروتکل‌های لایه‌های اول تا چهارم از مدل OSI را بکار می‌برد. در پایین انتقال، شبکه می‌تواند هر پروتکل مناسبی را در لایه اول و دوم مثل Ethernet که اغلب به وسیله پروتکل دیگری به نام MPLS^۳ استفاده می‌شود، را به کار ببرد [۲۴ و ۲۵].

سپس هر عنصر شبکه یک آدرس IP می‌گیرد و شبکه انتقال از آدرس IP برای مسیریابی اطلاعات از یک عنصر شبکه به عنصر دیگر استفاده می‌کند. LTE برای این کار از هر دو نسخه IP_{v4} [۲۶] و IP_{v6} [۲۷] برای این پشته، پشتیبانی می‌کند. در EPC استفاده از IP_{v4} اجباری است

1. Packet Data Convergence Protocol
2. Packet Data Convergence Protocol
3. Multiprotocol Label Switching

اما IPv6 اختیاری بوده ولی استفاده از آن را توصیه می‌کند [۲۸]، اما شبکه دسترسی رادیویی هر دو یا یکی از آنها را استفاده می‌کند [۲۹-۳۰].

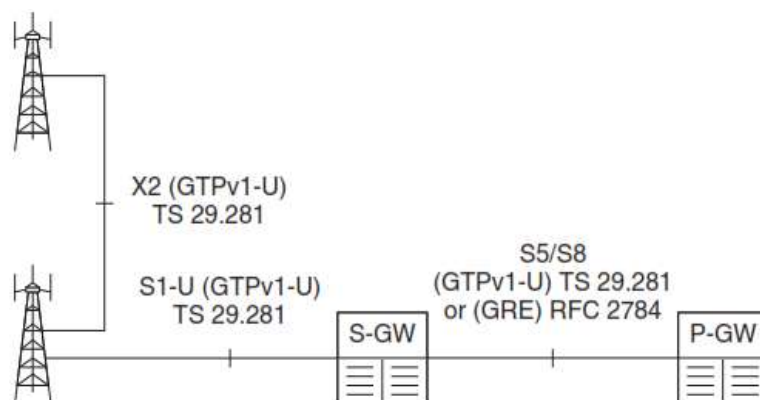


شکل ۱۳-۲ پروتکل‌های انتقالی که در شبکه ثابت به کار برده می‌شود

بالای IP، یک پروتکل لایه انتقال وجود دارد، که در بین تجهیزات انتهایی شبکه قرار می‌گیرد که با هم ارتباط برقرار کنند. سه پروتکل در انتقال استفاده می‌شود. UDP که تنها اطلاعات را از یک عنصر شبکه به عنصر دیگر ارسال می‌کند [۳۱]، در حالی که پروتکل TCP، بسته‌هایی که ناسالم به مقصد نرسیده‌اند را دوباره ارسال می‌کند [۳۲]. پروتکل کنترل جریان انتقال یا (SCTP) بر پایه TCP می‌باشد [۳۳]، اما دارای قابلیت‌های اضافه‌ای برای انتقال پیام‌های سیگنالینگ است، سطح کاربران معمولاً از UDP استفاده می‌کند تا از افزایش تأخیر در ارسال اطلاعات جلوگیری می‌کند. اما سطح کنترل یکی از پروتکل‌های بیان داده شده، را بسته به شرایطی که نشان داده شده است، انتخاب می‌کند.

۲-۵-۴ پروتکل‌های سطح کاربر

سطح کاربری LTE، دارای مکانیزم‌هایی برای انتقال صحیح داده‌ها، بین موبایل و دروازه PDN است و به تغییرات مکان موبایل واکنش‌های سریعی نشان می‌دهد. این مکانیزم‌ها توسط سطح کاربران همان‌گونه که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است، تعریف می‌شود.



شکل ۲-۱۴ پروتکل‌های سطح کاربران بکار رفته توسط LTE

اغلب سطوح کاربری واسط‌ها، از یک پروتکل 3GPP به نام پروتکل تونل‌زنی بخش کاربر (GTP-U)^۱ استفاده می‌کنند [۳۴]. به طور دقیق LTE از نسخه یک آن که به اختصار GTPv1-U، است، استفاده می‌کند و از نسخه ۹۹ در نواحی سوئیچینگ بسته‌ای در UMTS و GSM به کار می‌رفت. نسخه‌های اولیه نسل دوم از نسخه 0، که GTPv0-V بود، استفاده می‌کرد. بین دروازه خدمت‌رسانی (S-GW) و دروازه PDN، سطح کاربری S5/S8، یک پیاده‌سازی جایگزینی دارد. این طرح جایگزین بر پایه پروتکل IETF به نام GRE^۲ است [۳۵].

GTP-U و GRE بسته‌ها را از یک عنصر شبکه به عنصر دیگری با روشی به نام تونل‌زنی^۳ منتقل می‌کنند. این دو پروتکل‌ها در اجرای تونل تفاوت جزئی با هم دارند که در فصل سیزدهم بررسی خواهد شد.

۲-۵-۵ پروتکل‌های سیگنالینگ

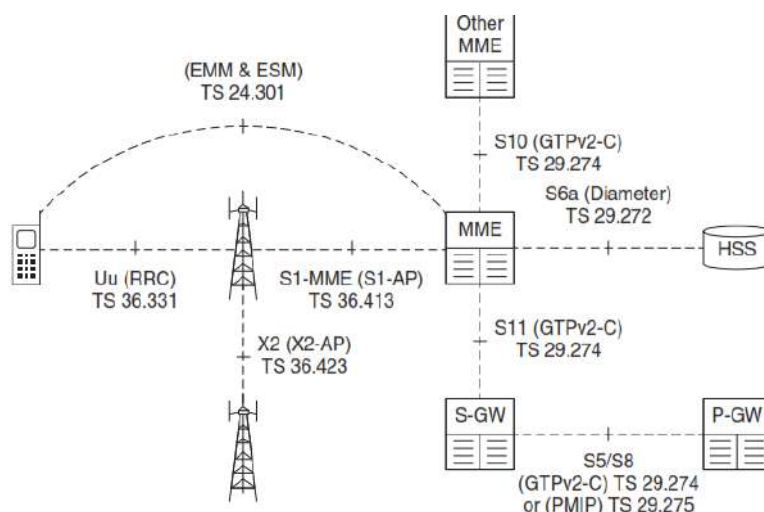
LTE، طیف گسترده‌ای از پروتکل‌های سیگنالینگ را استفاده می‌کند که در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است.

در واسط هوایی، ایستگاه‌های پایه، ارتباطات موبایل‌ها را با استفاده از پیام‌های سیگنالینگ کنترل می‌کنند، که این پیام‌ها، با استفاده از پروتکل کنترل منابع رادیویی (RRC)، نوشته می‌شوند [۳۶]. در شبکه دسترسی رادیویی، یک MME، ایستگاه‌های پایه داخل ناحیه MME pool

1. GPRS Tunneling Protocol User Part

2. Tunneling

را با استفاده از پروتکل کاربری S1 (S1-AP) کنترل می‌کند. در صورتی که اگر دو ایستگاه پایه با هم در ارتباط باشند، از پروتکل کاربری X2 (X2-AP) استفاده می‌کنند [۳۸]. در همان زمان، MME با استفاده از پروتکل لایه‌های بالاتر که در NAS قرار دارد رفتار یک موبایل را کنترل می‌کند [۳۹]. این پروتکل، یک پروتکل مدیریت نشست EPS (ESM) است که به وسیله آن موبایلی که با جهان خارج از LTE در ارتباط است کنترل می‌شود، پروتکل دیگر، پروتکل مدیریت قابلیت تحرک (EMM) EPC است که مدیریت داخلی EPC را انجام می‌دهد. شبکه، پیام‌های EMM و ESM را در پیام‌های لایه پایینی RRC و S1-AP ضمیمه کرده، سپس با استفاده از Uu-S1 آنها را در وسط هوایی منتقل می‌کند.



شکل ۲-۱۵ پروتکل سیگنالینگ بکار رفته در LTE

در داخل HSS، EPC و MME از یک پروتکل بر پایه قطری^۵ با هم ارتباط برقرار می‌کنند [40]، پروتکل پایه‌ای قطری، یک پروتکل بر پایه استاندارد IETF است که برای تصدیق هویت^۶، احراز صلاحیت^۱، و حسابرسی^۲ به کار برده می‌شود و خود آن نیز بر پایه یک پروتکل

1. S1 Application Protocol
2. X2 Application Protocol
3. EPS Session Management
4. EPS Mobility Management
5. Diameter
6. Authentication

قدیمی‌تر، به نام $RADIUS^3$ طراحی شده است [۴۲ و ۴۱]. این پروتکل قطری اساساً برای استفاده کاربردهای خاص توسعه داده شده است؛ مثل اجرای آن روی واسط $S6a[43]$.

بسیاری از واسط‌های دیگر EPC، از یک پروتکل به نام $GTP-C^4$ استفاده می‌کنند [۴۴]. این پروتکل دارای روش‌هایی برای ارتباطات نظیر به نظیر^۵ بین عناصر مختلف EPC است و برای مدیریت تونل‌های $GTP-U$ که ما در بالا اشاره کردیم به کار می‌رود. LTE نسخه دوم این پروتکل را که به صورت $GTP_{V2}-C$ نشان داده می‌شود، استفاده می‌کند. ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای در GSM و UMTS بعد از نسخه نود و نه از نسخه یک نسخه این پروتکل، به نام $GTP_{V1}-C$ استفاده می‌کنند که قبل از آنها، در شبکه‌های نسل دوم اولیه از $GTP_{V0}-C$ استفاده می‌شد. اگر سطح کاربری S5/S8 از GRE استفاده کند، سطح کنترل آن یک پروتکل سیگنالینگ به نام پروکسی موبایل نسخه ۶ ($PMIP_{V6}$)^۶ را به کار می‌برند [۴۵-۴۶]. $PMIP_{V6}$ یک پروتکل استاندارد IETF است که برای مدیریت انتقال بسته‌ها در تجهیزات قابل حمل مثل لپ‌تاب‌ها استفاده می‌شود.

سؤال این است که پس چه گزینه پروتکلی در رابطه S5/S8 انتخاب می‌شود. اپراتورهایی که شبکه‌های آن از 3GPP قدیمی استفاده می‌کنند، به احتمال زیاد ترجیح می‌دهند از $GTP-C$ و $GTP-C$ برای هماهنگی بیشتر با نسل قبلی شبکه‌های خود و سایر واسط‌های سیگنالینگ در EPC استفاده کنند. TS 23.401، معماری سیستم و عملکرد لایه بالایی LTE را با فرض استفاده از آن پروتکل‌ها در واسط S5/S8 را توصیف می‌کند. ما نیز در این کتاب همان فرض را به کار می‌گیریم. اپراتورهایی که 3GPP نیستند، احتمالاً GRE و PMIP را ترجیح می‌دهند و اینها پروتکل‌های استاندارد IETF هستند و برای عملیات بین LTE و فناوری‌هایی که از غیر 3GPP هستند، به کار می‌روند. TS 23.402 [47] مشخصاتی همسو با TS 23.401 دارد، که تفاوت در معماری و عملکرد را برای یک شبکه‌ای که از GRE و PMIP استفاده می‌کنند را توصیف می‌کند. همه پروتکل‌های سیگنالینگ که در بالا معرفی شدند، همه آنها به جای آنکه متنی باشند باینری هستند؛ همه این پیام‌ها به جای کاراکتر، رشته‌ای از 0 و 1 هستند. بنابراین، پیام‌هایی بسیار کوتاه اما بسیار دشوار برای خواندن هستند. هر پیام پارامترهای متفاوتی را منتقل می‌کند.

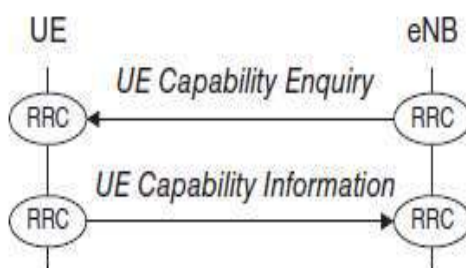
-
1. Authorization
 2. Accounting
 3. Remote Authentication Dial In User Service
 4. GPRS Tunneling Protocol Control Part
 5. pair to pair
 6. Proxy Mobile IPv6

پروتکل‌های 3GPP آنها را به عنوان عناصر اطلاعاتی^۱ توصیف می‌کنند، اما پروتکل‌های قطری، به آنها به عنوان زوج‌های مقادیر توصیفی (AVP)^۲ اشاره می‌کند چرا که آنها ترکیبی از دو بخش اطلاعات پارامترها و مقدار آن می‌باشند.

۶-۲ مثال‌هایی از جریان‌های سیگنالینگ

۱-۶-۲ سیگنالینگ قشر دسترسی (AS)

حال که عناصر شبکه و پشته‌های پروتکلی را معرفی کردیم، بهتر است مثال‌هایی از نحوه تعامل آنها با یکدیگر را بیان کنیم. برای این منظور ابتدا تبادل پیام‌های RRC را بین ایستگاه پایه و موبایل را در نظر می‌گیریم. شکل ۱۶-۲ ترتیب پیام‌های رد و بدل شده برای یک فرایند RRC که با نام انتقال قابلیت‌های UE^۳ شناخته می‌شود را نشان می‌دهد.

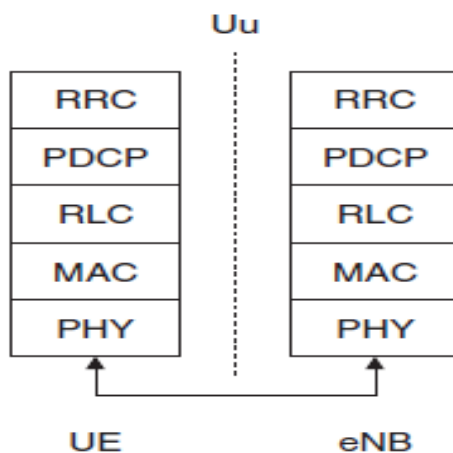


شکل ۱۶-۲ فرایند انتقال قابلیت‌های UE منبع: TS36.331 که با مجوز ETSI منتشر شده است

در طول این فرایند، eNB سرویس دهنده قابلیت‌های دسترسی رادیویی موبایل را مثل حداکثر نرخ ارسال داده‌ای که منتقل می‌کند و مشخصات نسخه مطابق با آن را، پیدا می‌کند. برای انجام این کار، پروتکل RRC پیامی به نام پرس و جوی قابلیت‌های UE^۴ را ساخته و به موبایل ارسال می‌کند. موبایل در پاسخ به eNB، پیامی که به نام اطلاعات قابلیت‌های UE^۵ نام دارد را به eNB می‌فرستد و دارای لیستی از قابلیت‌هایی است که نیاز دارد، پشته‌های این پروتکل در شکل

1. Information Elements
2. Attribute Value Pairs
3. UE Capability Transfer
4. UE Capability Enquiry
5. UE Capability Information

۲-۱۷ نشان داده شده است. ایستگاه پایه پرس و جویهای قابلیت‌های UE را با استفاده از پروتکل RRC می‌سازد، آن را با PDPC، RLC و MAC پردازش کرده و با استفاده از واسطه هوایی لایه فیزیکی ارسال می‌کند. موبایل آنچه را که ایستگاه پایه، ارسال کرده است را دریافت کرده و پردازش اطلاعات را به همان ترتیبی که دریافت نموده انجام می‌دهد و پس از خواندن آن، جواب آن را دقیقاً همان‌گونه که دریافت کرده بود، در مسیر معکوس به ایستگاه پایه می‌فرستند.

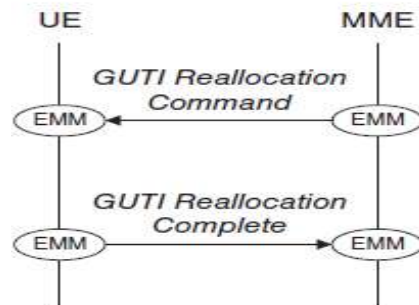


شکل ۲-۱۷ پشته‌های پروتکلی برای انتقال پیام‌های بین موبایل و ایستگاه پایه منبع: TS 36.300 باز نشر با مجوز ETSI

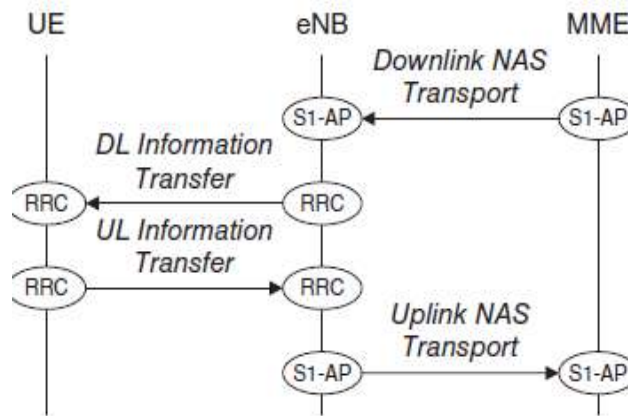
۲-۶-۲ سیگنال‌های قشر بدون دسترسی (NAS)

در مقایسه با مثال قبلی، این سیگنالینگ از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. شکل ۲-۱۸a ترتیب پیام از یک فرایند EMM را که تخصیص مجدد ^۱GUTI نامیده می‌شود، را نشان می‌دهد [۴۹]. با استفاده از دستور تخصیص مجدد ^۲GUTI یک EMM، MME می‌تواند یک شناسه جدید موقت برای موبایل بگیرد. موبایل در پاسخ یک اعلان مبنی بر استفاده از یک پیام/تمام تخصیص مجدد ^۳GUTI یک EMM را ارسال می‌کند.

1. GUTI Reallocation
2. EMM GUTI Reallocation Command
3. EMM GUTI Reallocation Complete



شکل ۲-۱۸ (a) فرایند، تخصیص مجدد GUTI، پیام‌های قشر دوم دسترسی (NAS)

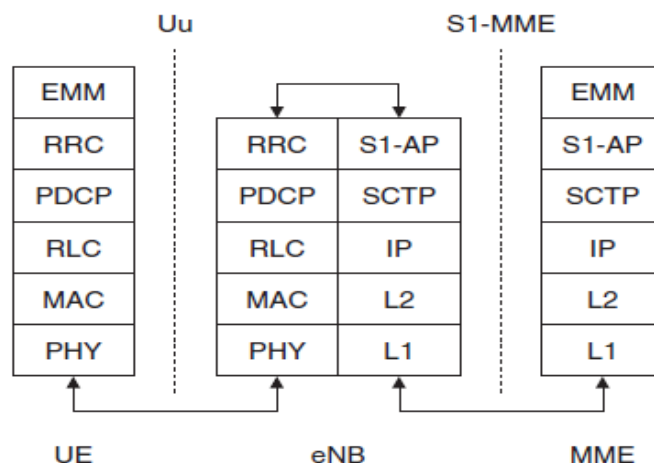


شکل ۲-۱۸ (b) فرایند، تخصیص مجدد GUTI، پیام‌های ارسالی در قشر دسترسی (AS)

LTE این پیام‌ها را با ضمیمه در پیام‌های RRC و S1-AP که در شکل ۲-۱۸ (b) نشان داده شده است، منتقل می‌کند. معمولاً پیام‌های S1-AP، پیام‌های انتقالی NAS فراسو^۱ و پیام انتقالی NAS فروسو^۲ نام دارند [۵۰]، درحالی که، پیام‌های RRC در مسیر فروسو، اطلاعات انتقالی DL^۳ و اطلاعات انتقالی UL^۴ نامیده می‌شوند [۵۱]. وظیفه آنها، تنها انتقال پیام ESM و EMM است، همان‌گونه که در شکل بالا نشان داده شده است. شبکه نیز می‌تواند پیام‌های NAS را با قرار دادن آنها در پیام‌های S1-AP و RRC ارسال کند، که این پیام‌ها دارای وظایف بیشتری در لایه قشر دسترسی خودشان هستند. مثال‌های بیشتری از آنها را در ادامه این کتاب خواهیم دید.

1. Uplink NAS Transport
2. Downlink NAS Transport
3. DL Information Transfer
4. UL Information Transfer

شکل ۲-۱۹ پشته‌های پروتکلی این پیام‌ها را نشان می‌دهد. MME با استفاده از پروتکل EMM، دستور تخصیص مجدد GUTI را می‌نویسد، سپس آن را در داخل پیام انتقال S1-AP لینک فروسو NAS قرار می‌دهد و آن را با استفاده از مکانیزم‌های واسط S1 به ایستگاه پایه می‌فرستد. ایستگاه پایه پیام را پیچیده‌تر نمی‌کند بلکه آن را داخل یک پیام انتقال/اطلاعات RRC لینک فروسو^۱، قرار داده و با استفاده از واسط هوایی و پروتکل‌های مربوطه که قبلاً اشاره شد، به موبایل می‌فرستد. موبایل پس از دریافت پیام، آن را خوانده GUTI خود را به روزرسانی می‌کند و یک تأییدیه‌ای را با استفاده از همان پشته پروتکلی، در مسیر معکوس می‌فرستد.



شکل ۲-۱۹ پشته‌های پروتکلی به کار رفته در مبادله پیام‌های سیگنالینگ NAS بین موبایل و

MME منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

۲-۷ مدیریت حامل

۲-۷-۱ حامل EPS

LTE بسته‌های داده را با استفاده از همان پروتکل‌های انتقالی که در اینترنت استفاده می‌شوند، منتقل می‌کند، اما مکانیزم‌های انتقال آن، مقداری پیچیده هستند، چرا که LTE باید دو موضوع را مد نظر قرار دهد، که اینترنت آن را پشتیبانی نمی‌کند. موضوع نخست، قابلیت تحرک است. چون اینترنت یک دستگاه به مدت زیادی در یک جا ساکن بوده و به نقطه دسترسی اینترنت متصل است و در صورتی که از محدوده نقطه دسترسی آن خارج شود، ارتباطش قطع می‌شود. در LTE

1. RRC DL Information Transfer

باید در نظر گرفته شود، که موبایل از یک ایستگاه پایه به دیگری منتقل می‌شود، به طوری که ارتباط آن با یک سرور خارجی در همین انتقال دایر باقی بماند.

مورد دوم، نیز کیفیت سرویس (QoS) است، QoS، مجموعه مکانیزم‌های است که کارایی جریان داده، مثل مقدار نرخ تضمین شده، بیشترین نرخ تأخیر و خطا را بیان می‌کند. اینترنت هیچ گونه مکانیزم تضمین کیفیت سرویسی را پیشنهاد نمی‌کند، به عنوان مثال، کیفیت تماس‌های VoIP در یک شبکه شلوغ بسیار بد می‌باشد. در مقابل، LTE می‌تواند کیفیت سرویس را پیشنهاد کرده و انواع و اقسام آن را برای انواع مختلفی از سرویس‌ها و برای کاربران مختلفی به کار ببرد. مثلاً، با توجه به پیکربندی دقیق شبکه، برخی از مشترکین ویژه LTE، می‌توانند با پرداخت صورت حساب بالاتری، تماس‌های VoIP، با کیفیت بالاتری را دریافت کنند.

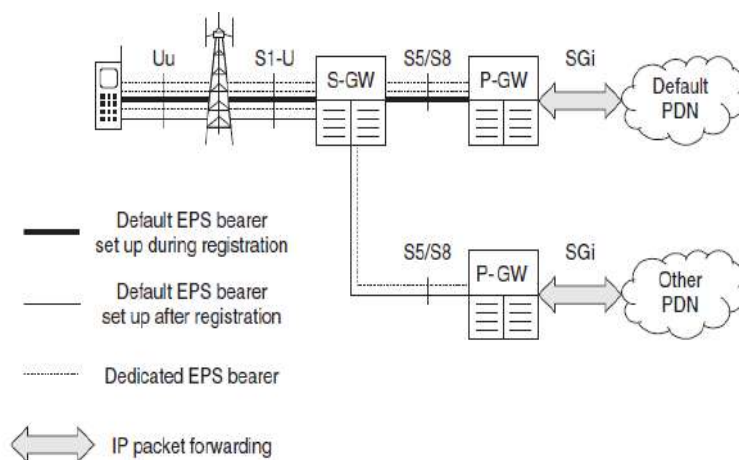
برای پرداختن به این مسائل، LTE داده‌ها را با استفاده از حامل‌های EPS^۱ از یک بخش به بخش دیگر منتقل می‌کند [۵۲ و ۵۳]. حامل‌های EPS را می‌توان یک خط داده دو طرفه تصور کرد، که انتقال داده را در مسیر صحیح از طریق شبکه و با کیفیت مناسبی منتقل می‌کند. حامل‌ها، چنانچه از پروتکل GTP در واسطه S5/S8 استفاده کند، بین موبایل و دروازه PDN و در صورتی که از پروتکل PMIP در واسطه S5/S8 استفاده کند، بین موبایل و دروازه خدمت رسانی اجرا می‌شود.

۲-۷-۲ حامل‌های اختصاصی و پیش فرض

یکی از مسائل مهم، تمایز بین حامل‌های اختصاصی^۲ و پیش فرض^۳ است. EPC یک حاملی به نام حامل پیش فرض را در ابتدا برقرار می‌کند تا یک موبایل بتواند با شبکه داده بسته (PDN) ارتباط برقرار کند. همان گونه که در شکل ۲-۲۰ نشان داده می‌شود، هر موبایل، به محض اینکه در یک شبکه ثبت می‌شود، یک حامل پیش فرض را برای این که ارتباط همیشه متصل با یک شبکه داده پیش فرض مثل اینترنت داشته باشد، را دریافت می‌کند. در همان زمان، موبایل یک IP آدرس برای مواقعی که می‌خواهد با شبکه ارتباط برقرار کند، دریافت می‌کند و ممکن است که ترکیبی از IP_{v4} و IP_{v6} باشد. بعد از آن موبایل می‌تواند ارتباط خود را با یک شبکه داده خارجی مثل شبکه‌های خصوصی و IMS برقرار سازد. با انجام این کار، حامل‌های پیش فرض بیشتری از هر شبکه که به آن متصل شده است به همراه یک IP آدرس دریافت می‌کند.

-
1. EPS Bearers
 2. Dedicated Bearers
 3. Default Bearers

بعد از آن که اتصال به شبکه بسته‌ای داده (PDN) انجام گرفت و یک حامل پیش فرض دریافت شد، موبایل می‌تواند یک یا چند حامل اختصاصی برای اتصال موبایل به همان شبکه دریافت کند، اما آدرس IP جدیدی دریافت نمی‌شود؛ در عوض، هر حامل تخصیص داده شده، یک آدرس IP، را از حامل پیش‌فرض پدر به اشتراک می‌گذارد. یک حامل اختصاصی، QoS متفاوت‌تری با QoS حامل پیش فرض مانند تضمین میانگین نرخ بیت داده را دارد. هر موبایل حداکثر می‌تواند یازده حامل EPS را برای داشتن ارتباط با شبکه‌های مختلف با کیفیت سرویس‌های مختلف را در اختیار داشته باشد [۵۴].



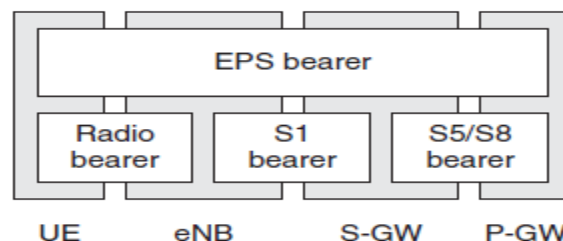
شکل ۲-۲۰ حامل‌های تخصیص داده شده و پیش‌فرض.

هنگامی که از واسط S5/S8 را به همراه پروتکل GTP به کار می‌برند

۲-۷-۳ پیاده‌سازی یک حامل با استفاده از GTP

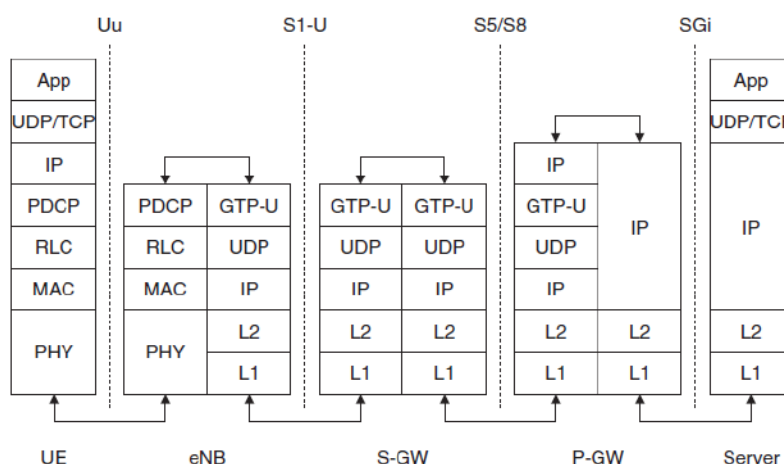
در مورد واسط‌های GTP مبتنی بر S5/8، یک حامل EPS، سه واسط را پوشش می‌دهد، بنابراین این واسط نمی‌تواند، به طور مستقیم پیاده‌سازی شود. برای مقابله با این مشکل (شکل ۲-۲۱)، حامل‌های EPS به سه دسته حامل‌های لایه پایین‌تر شکسته می‌شوند و به نام‌های حامل رادیویی، حامل S1 و حامل S5/S8 شناخته می‌شوند. هر کدام از این حامل‌ها، به همراه خود پارامترهای QoS خاصی دارند و سهمی از حداکثر خطا و حداکثر تأخیر از حاصل EPS را دریافت می‌کنند. ترکیبی از یک حامل رادیویی و یک حامل S1 در برخی از موارد به نام حامل دسترسی رادیویی تکامل یافته (E-RAB) نیز نامیده می‌شود.

سپس حامل‌های رادیویی با یک پیکربندی مناسبی از واسط هوایی پیاده‌سازی می‌شود، اما حامل‌های S1 و S5/S8 با استفاده از تونل‌های GTP-U پیاده‌سازی می‌شوند. نتیجه پشته پروتکل‌های آن در شکل ۲-۲۲ نشان داده می‌شود.



شکل ۲-۲۱ معماری حامل LTE، زمانی که از یک واسط بر پایه GTP استفاده می‌کند

منبع: TS 36.300 و بازنشر با مجوز ETSI



شکل ۲-۲۲ پشته‌های پروتکلی، زمانی که مبادله داده بین موبایل و سرور خارجی انجام می‌گیرد و از واسط

S5/S8 بر پایه GTTP استفاده می‌شود. منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

برای توضیح عملیات آنها، مسیر فروسو از یک سرور خارجی به موبایل را در نظر می‌گیریم. برای شروع، سرور خارجی یک بسته را با استفاده از سرایند IP که شامل آدرس موبایل است به موبایل ارسال می‌کند. بسته وقتی که به دروازه PDN می‌رسد، آدرس IP و شناسه موبایل هدف بررسی می‌شود و یک سرایند دوم IP به آن که دارای آدرس دروازه خدمت‌رسانی موبایل است، افزوده می‌شود. از این پس، شبکه انتقال از آن آدرس IP دروازه خدمت‌رسانی، برای مسیریابی

بسته‌ها استفاده می‌کند. دروازه خدمت‌رسانی نیز به نوبه خود همین روش را استفاده کرده و بسته‌ها را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند.

روش هدایت بسته‌ها، توسط پروتکل تونلینگ GPRS سطح کاربر (GTP-U) انجام می‌گیرد که این پروتکل، توسط برچسب‌های ۳۲ بیتی به نام شناسه نقطه انتهایی تونل (TEID)^۱ که در حامل‌های S1 یا S5/S8 پوشاننده می‌شود، انجام می‌گیرد. با سرکشی TEID، شبکه می‌فهمد که بسته‌ها متعلق به حامل‌های مختلف است، پس می‌تواند کیفیت سرویس مختلفی را بکار بگیرد. روش‌هایی که برای این منظور استفاده می‌شود، را در فصل سیزدهم شرح خواهیم داد.

۲-۷-۴ اجرای حامل با استفاده از GRE و PMIP

پروتکل GRE نیز از تونل‌ها استفاده می‌کند، به هر کدام از آنها یک شناسه ۳۲ بیتی به نام *Key field* در داخل سرایند GRE اختصاص داده می‌شود. برخلاف GTP-C، PMIP دارای هیچگونه پیام سیگنالینگ نیست که بتواند QoS یک جریان ترافیکی را مشخص کند.

چنانچه واسط S5/S8 با استفاده از PMIP و GRE پیاده‌سازی شده باشد، یک موبایل تنها یک تونل GRE بر روی آن واسط خواهد داشت، که تمامی بسته‌های داده بدون هیچگونه تضمین کیفیت سرویسی در آن رد و بدل می‌شوند. حامل EPS تنها در صورت امکان تا دروازه خدمات رسانی منتقل می‌شود [۵۵] در غیر این صورت به همان روش‌های قبلی که بیان شد، پیاده‌سازی می‌گردد.

۲-۷-۵ حامل‌های سیگنالینگ رادیویی

LTE، سه نوع حامل رادیویی ویژه را استفاده می‌کند که به نام حامل‌های سیگنالینگ رادیویی (SRB)^۲ شناخته می‌شوند و برای انتقال پیام‌های بین ایستگاه پایه و موبایل به کار گرفته می‌شوند [۵۶]، حامل‌های سیگنالینگ رادیویی در جدول ۲-۲ لیست شده است. هر کدام از آنها به همراه یک پیکربندی ویژه، در پروتکل‌های واسط رادیویی قرار می‌گیرند. بنابراین موبایل و ایستگاه پایه می‌تواند درباره چگونگی انتقال پیام‌های به تفاهم برسند.

SRB0، فقط برای تعداد محدودی از پیام‌های سیگنالینگ به کار می‌رود، که موبایل و ایستگاه پایه برای برقراری روشی به نام برقراری ارتباط RRC^۳ آن را استفاده می‌کنند. پیکربندی

-
1. Tunnelling Endpoint Identifier
 2. Signaling Radio Bearer
 3. RRC Connection Establishment

SRB0، بسیار ساده بوده و در پیام‌های ویژه‌ای به نام پیام‌های اطلاعات سیستم^۱ تعریف می‌شود و ایستگاه پایه در سراسر سلول، برای بیان چگونگی پیکربندی شبکه، به همه موبایل‌های داخل آن سلول، از این پیام استفاده می‌کند.

SRB1 با استفاده از پیام‌های سیگنالینگ که در SRB0 رد و بدل می‌شود پیکربندی می‌گردد، همان موقعی که یک موبایل با شبکه دسترسی رادیویی ارتباط برقرار می‌کند.

SRB1، با استفاده از پیام‌هایی که روی SRB0 مبادله می‌گردند، ساخته می‌شود. این کار زمانی انجام می‌گیرد که یک موبایل، ارتباطی را با یک شبکه دسترسی رادیویی برقرار می‌کند. SRB0 برای همه دنباله پیام‌های RRC استفاده می‌شود. همچنین تعدادی از پیام‌های EMM و ESM را منتقل می‌کند که قبل از برقراری SRB2 منتقل می‌شوند. SRB2 با استفاده از پیام‌هایی پیکربندی می‌شوند، که بر روی SRB1 منتقل شده‌اند و زمانی اتفاق می‌افتد که موبایل می‌خواهد با EPC ارتباط برقرار سازد. SRB2 برای انتقال تمامی پیام‌های باقی مانده ESM و EMM به کار می‌رود.

جدول ۲-۲ حامل‌های سیگنالینگ رادیویی

Signalling radio bearer	Configured by	Used by
SRB 0	System information	RRC messages before establishment of SRB 1
SRB 1	RRC message on SRB 0	Subsequent RRC messages NAS messages before establishment of SRB 2
SRB 2	RRC message on SRB 1	Subsequent NAS messages

۲-۸ دیاگرام‌های حالت

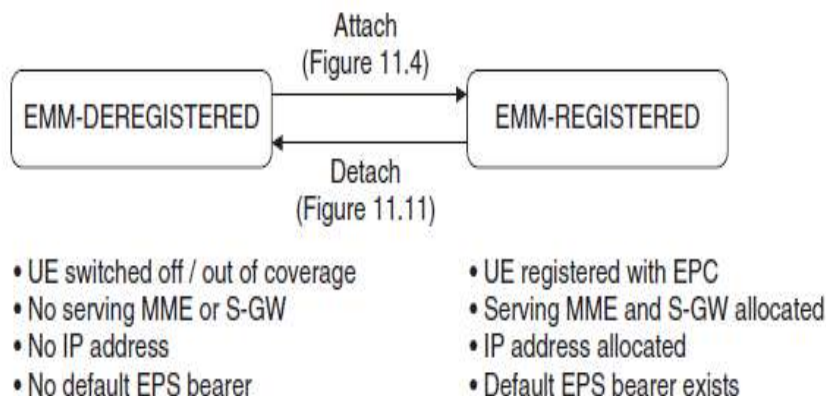
۲-۸-۱ مدیریت تحرک EPS

رفتار یک موبایل با استفاده از سه دیاگرام حالت تعریف شده است [۵۷-۵۹]، که توصیف کننده این است که موبایل چه موقع در EPC ثبت شود و چه موقعی فعال یا غیرفعال^۲ (معلق) باشد. اولین دیاگرام وضعیت مدیریت تحرک (EMM) EPS است و به وسیله پروتکل EMM در موبایل و MME مدیریت می‌شود که در شکل ۲-۲۳ مشاهده می‌شود.

1. System Information Messages

2. Idle Mode

وضعیت EMM موبایل وابسته به آن چیزی است که در EPC ثبت شده است. در وضعیت EMM-REGISTERED، موبایل روشن می‌شود و در یک MME سرویس دهنده و یک دروازه خدمت‌رسانی ثبت می‌شود. این موبایل یک آدرس و یک حامل EPS دارد که یک ارتباط دائمی با یک شبکه بسته داده پیش فرض برقرار می‌سازد. در وضعیت EMM-DEREGISTERED، موبایل یا در خارج از پوشش شبکه می‌باشد یا خاموش است و هیچ اطلاعاتی از آن در دسترس نیست. موبایل از وضعیت EMM-DEREGISTERED به EMM-REGISTERED با استفاده از روش اتصال به شبکه^۱ تغییر وضعیت می‌دهد، که ما آن را در فصل یازدهم پوشش می‌دهد.



شکل ۲-۲۳ دیاگرام وضعیت مدیریت تحرک EPS

۲-۸-۲ مدیریت اتصال EPS

دومین دیاگرام وضعیت (شکل ۲-۲۴) مدیریت اتصال EPS (ECM)^۲ است. همانند دیاگرام وضعیت قبلی، این دیاگرام نیز توسط پروتکل EMM مدیریت می‌شود. هر وضعیت دارای دو نام است: که TS 23.401 آنها را ECM-CONNECTED و ECM IDLE نامیده است، این نام‌گذاری در TS 24.301 به نام EMM-CONNECTED و EMM-IDLE نیز نام‌گذاری شده است. ما در این کتاب، نامگذاری TS 23.401 را استفاده می‌کنیم. موبایل از حالت ECM-IDLE به ECM-CONNECTED با استفاده از روش درخواست سرویس می‌رود، که در فصل چهارده آن را پوشش می‌دهیم و با روشی به نام قطع S1 به حالت قبل بر می‌گردد.

1. Attach

2. EPS Management Connection

از دیدگاه پروتکل‌های قشر بدون دسترسی (NAS) و EPC، وضعیت ECM موبایل، وابسته به فعال و غیر فعال بودن آن است. یک موبایل فعال در وضعیت ECM-CONNECTED می‌باشد. در این وضعیت، MME می‌داند که موبایل در eNB سرویس‌دهنده است و کلیه حامل‌های داده و حامل‌های سیگنالینگ رادیویی در محل موجود می‌باشد. با استفاده از آنها، موبایل می‌تواند به طور آزادانه، پیام‌های سیگنالینگ با MME را به وسیله یک اتصال مجازی به نام اتصال سیگنالینگ^۱ رد و بدل کند و به طور آزادانه با دروازه خدمت رسانی تبادل داده داشته باشد.

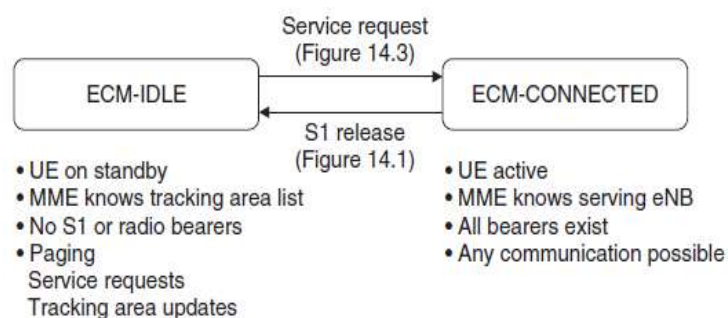
زمانی که موبایل در وضعیت آماده به کار است، در وضعیت ECM-IDLE می‌باشد، در این وضعیت، نگهداری حامل‌ها در محل مناسب نمی‌باشد، چرا که شبکه باید وقتی که کاربر از یک سلول به سلول دیگری می‌رود آن را دوباره مسیریابی کند، در حالی که موبایل هیچ گونه مبادله اطلاعاتی انجام نمی‌دهد. برای جلوگیری از بار ناشی از سیگنالینگ، شبکه اقدام به قطع حامل‌های رادیویی و S1 تا مادامی که موبایل در وضعیت ECM-IDLE است، می‌کند. بنابراین موبایل می‌تواند بدون آن که نیاز به مسیریابی مجدد حامل‌ها داشته باشد، آزادانه از یک محل به محل دیگر برود. با این حال، حامل‌های EPS در محل باقی می‌مانند، بنابراین موبایل یک تماس مجازی با جهان خارج را برقرار می‌کند. همچنین حامل‌های S5/S8 در محل باقی می‌مانند و تنها گاهی اوقات که دروازه خدمت رسانی تغییر پیدا می‌کند آنها نیز تغییر می‌کنند.

علاوه بر این، MME دقیقاً موقعیت موبایل غیرفعال را نمی‌داند؛ بلکه تنها می‌داند که در کدام ناحیه ردیابی (TA) قرار گرفته است. این کار به موبایل کمک می‌کند تا بدون اینکه اعلانی^۲ به MME بدهد از یک سلول به سلول دیگری برود؛ در عوض، موبایل تنها زمانی می‌تواند این کار را انجام دهد که از محدوده یک ناحیه ردیابی خارج نشده باشد. MME همچنین اقدام به تهیه یک لیست گروهی از ناحیه ردیابی به نام لیست‌های ناحیه ردیابی^۳ می‌کند و از موبایل می‌خواهد وقتی که از ناحیه لیست ردیابی خارج می‌شود به آن اعلان ارسال کند. لیست نواحی ردیابی برای موبایل‌هایی سودمند است که به محدوده ناحیه ردیابی قبلی بر می‌گردند و به اپراتور شبکه کمک می‌کند تا در سراسر این محدوده نگرانی در مورد افت سیگنال نداشته باشد.

در وضعیت ECM-IDLE برخی از ارتباطات محدود هنوز پابرجاست. اگر MME بخواهد با یک موبایل غیرفعال تماس بگیرد، با ارسال پیام‌های فراخوانی S1-AP^۴ در همه ایستگاه‌های پایه‌ای که موبایل در ناحیه لیست ردیابی آنها قرار دارند، این کار را انجام می‌دهد. ایستگاه‌های پایه از طریق

-
1. Signaling Connection
 2. Notification
 3. Tracking Area Lists
 4. S1-AP Paging

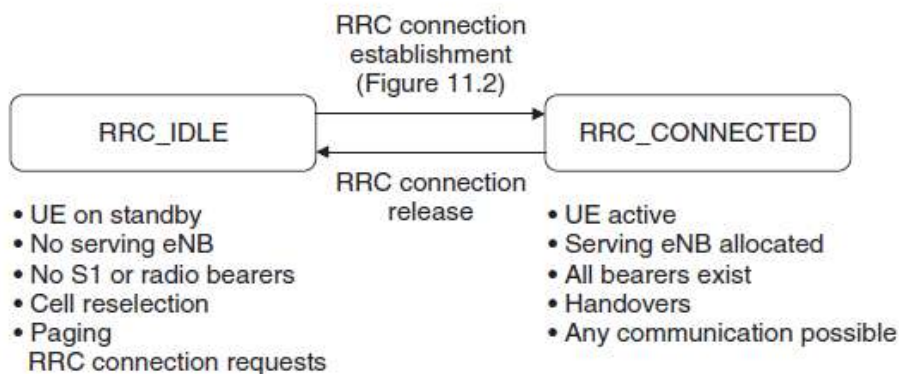
ارسال پیام‌های فراخوانی که در ادامه توضیح داده می‌شود، واکنش نشان می‌دهند. چنانچه موبایل بخواهد با شبکه ارتباط برقرار کند یا به پیام فراخوانی پاسخ دهد، یک پیام EMM به نام درخواست سرویس^۱ به MME می‌فرستد و MME با انتقال موبایل به حالت ECM-CONNECTED به آن پاسخ می‌دهد. در نهایت، موبایل زمانی که به نواحی ردیابی وارد می‌شود، اگر در آن جا ثبت نشده باشد، یک پیام به نام درخواست به روز رسانی لیست ناحیه ردیابی^۲ به MME ارسال می‌کند.



شکل ۲-۲۴ دیاگرام وضعیت مدیریت اتصال EPS (ECM)

۲-۸-۳ کنترل منابع رادیویی

دیاگرام وضعیت (شکل ۲-۲۵) برای کنترل منابع رادیویی (RRC) است. چنانچه از نام آن پیداست، این دیاگرام وضعیت، توسط پروتکل RRC در موبایل و eNB سرویس دهنده مدیریت می‌شود.



شکل ۲-۲۵ دیاگرام وضعیت کنترل منبع رادیویی (RRC)

1. Service Request
2. Tracking Area Update Requests

از دیدگاه UTRAN و پروتکل‌های NAS، وضعیت یک موبایل بستگی به این دارد که آیا آن موبایل فعال یا غیر فعال می‌باشد. یک موبایل فعال، در وضعیت RRC_CONNECTED است. در این وضعیت، موبایل می‌تواند به یک eNB سرویس دهنده متصل شده و با استفاده از پیام سیگنالینگ بر روی SRB1 آزادانه ارتباط داشته باشد.

زمانی که موبایل در وضعیت آماده به کار است، آن موبایل در حالت RRC_IDLE بوده و در این وضعیت، شبکه دسترسی رادیویی چیزی درباره آن موبایل نمی‌داند و آن موبایل نمی‌تواند به یک eNB سرویس دهنده متصل شود و SRB1 نیز خاموش می‌باشد. مانند قبل، با این حال برخی از ارتباطات محدود همچنان فعال می‌باشد. چنانچه شبکه دسترسی رادیویی بخواهد با موبایل ارتباط برقرار کند، چون که این موبایل به طور معمول درخواست‌های فراخوانی را از EPC دریافت می‌کند، پس با ارسال پیام فراخوانی RRC^۱، با آن موبایل ارتباط برقرار می‌کند و چنانچه موبایل بخواهد با شبکه ارتباط برقرار کند، به پیام فراخوانی RRC پاسخ می‌دهد و همان فرایند قبلی که توضیح داده شد را انجام بدهد و ارتباط خود را برقرار می‌کند و ایستگاه پایه، با بردن موبایل به وضعیت RRC_CONNECTION به درخواست موبایل واکنش نشان می‌دهد.

دو وضعیت RRC، تجهیزات موبایل را با روش‌های مختلف کنترل می‌کنند. وضعیت RRC_CONNECTED، که در این حالت، موبایل می‌تواند با نرخ بالا داده را رد و بدل کند، بنابراین برای شبکه دسترسی رادیویی مهم است که موبایل را کنترل کند تا در کدام سلول است. این کار را با روشی به نام دست به دست کردن^۲ انجام می‌دهد، که در آن شبکه دسترسی رادیویی ارتباط موبایل را کنترل کرده و آن را از سلولی به سلول دیگر منتقل می‌کند. چنانچه سلول قدیم و جدید توسط ایستگاه‌های پایه مختلف کنترل شود، شبکه، واسطه‌های S1-U و S1-MME موبایل را تغییر مسیر می‌دهد و آن‌ها بعد از این بین ایستگاه‌های پایه جدید و EPC اجرا می‌شوند و ایستگاه پایه قدیم، از مسیر ارتباطی موبایل حذف می‌شود. به علاوه شبکه، دروازه خدمت‌رسانی موبایل و واسطه‌های S5/S8 را در صورتی که به ناحیه سرویس S-GW جدید وارد شود، تغییر می‌دهد و اگر موبایل از ناحیه MME pool area خارج شود، MME سرویس دهنده آن نیز تغییر پیدا می‌کند.

1. RRC Paging

2. Handover

در وضعیت RRC_IDLE، اصلی‌ترین هدف، کاهش سیگنالینگ و حفظ طول عمر باتری موبایل می‌باشد. برای انجام آن، موبایل با روشی به نام انتخاب مجدد سلول^۱، تصمیم می‌گیرد که به کدام سلول گوش دهد و شبکه دسترسی رادیویی به طور کامل از محل موبایل تا زمانی که درخواستی مبنی بر به روزرسانی لیست ردیابی‌ها دریافت نشود ناآگاه می‌ماند. بنابراین، به روز رسانی لیست ناحیه ردیابی ممکن است منجر به تغییر دروازه خدمت‌رسانی و MME سرویس‌دهنده شود که در بالا توضیح داده شد.

جز در شرایط ناپایدار خاصی، دیاگرام‌های وضعیت RRC و ECM همیشه با همدیگر به کار می‌روند. یک موبایل فعال همواره در وضعیت‌های RRC_CONNECTED و ECM-CONNECTED قرار دارد. در حالیکه، یک موبایل آماده به کار نیز همواره در وضعیت‌های RRC_IDLE و ECM-IDLE قرار می‌گیرد.

۹-۲ تخصیص طیف

مشخصات 3GPP، این امکان را فراهم می‌کند که ایستگاه‌های پایه و موبایل‌ها در محدوده فرکانس وسیعی کار کنند [۶۱ - ۶۶]. این کار در پاسخ به درخواست‌های ITU و سازمان‌های تنظیم مقررات ملی (ریگلاتورهای) در رابطه با تخصیص منابع رادیویی برای ارتباطات موبایل، انجام گرفته است. جدول ۲-۳، لیست باندهای فرکانسی که در روش FDD استفاده می‌شود در ژانویه سال ۲۰۱۴ و در میانه راه تدوین فرایند مشخصات نسخه دوازدهم انجام گرفته، را نشان می‌دهد. جدول ۲-۴، لیست باندهای فرکانسی در روش TDD را نشان می‌دهد.

جداول مذکور، نشان دهنده آن هستند، که باندهای فرکانسی در چه محدوده‌ی فرکانسی معرفی شده‌است. بر خلاف ویژگی‌های مهم مشخصات 3GPP، باندهای فرکانسی مستقل هستند؛ به عنوان مثال یک موبایل، می‌تواند باندهایی را که بعد از ویژگی‌های 3GPP معرفی شده‌اند را پشتیبانی کند، حتی در صورتی که با نسخه هشت 3GPP مطابقت نداشته باشد.

جدول ۲-۳ باندهای فرکانسی روش FDD

1	R99	1920-1980	2110-2170	1, 3	2100	WCDMA
2	R99	1850-1910	1930-1990	2	1900	PCS
3	R5	1710-1785	1805-1880	1, 3	1800	GSM 1800
4	R6	1710-1755	2110-2155	2	1700/2100	AWS
5	R6	824-849	869-894	2, 3	850	GSM 850
6	-	-	-	-	-	Not used by LTE
7	R7	2500-2570	2620-2690	1, 2, 3	2600	
8	R7	880-915	925-960	1, 3	900	GSM 900
9	R7	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	Japan		
10	R7	1710-1770	2110-2170	2		AWS extension
11	R8	1427.9-1447.9	1475.9-1495.9	Japan	1500	
12	R8	699-716	729-746	USA	700	Lower band A, B, C
13	R8	777-787	746-756	USA	700	Upper band C
14	R8	788-798	758-768	USA	700	Upper D, public safety
15	-	-	-	-	-	Not used by 3GPP
16	-	-	-	-	-	Not used by 3GPP
17	R8	704-716	734-746	USA	700	Lower band B, C
18	R9	815-830	860-875	Japan		
19	R9	830-845	875-890	Japan		
20	R9	832-862	791-821	Europe	800	Digital dividend
21	R9	1447.9-1462.9	1495.9-1510.9	Japan	1500	
22	R10	3410-3490	3510-3590	1, 2, 3		
23	R10	2000-2020	2180-2200	USA		S band
24	R10	1626.5-1660.5	1525-1559	USA		L band
25	R10	1850-1915	1930-1995	2	1900	PCS extension
26	R11	814-849	859-894	2, 3		Bands 5, 18, 19
27	R11	807-824	852-869	2		
28	R11	703-748	758-803	3	700	Digital dividend
29	R11	-	717-728	USA		Carrier aggregation
30	R12	2305-2315	2350-2360	USA		WCS
31	R12	452.5-457.5	462.5-467.5	1, 2, 3	450	

منبع: TS 36.101 و TS 36.104 بازنشر با مجوز ETSI

جدول ۲-۴ باندهای فرکانسی روش TDD

Band	Release	Frequency band (MHz)	Main regions	Common name	Notes
33	R99	1900-1920	1, 3		
34	R99	2010-2025	3		
35	R99	1850-1910	2		PCS
36	R99	1930-1990	2		PCS
37	R99	1910-1930	2		PCS
38	R7	2570-2620	1, 2, 3	2600	
39	R8	1880-1920	China		
40	R8	2300-2400	3	2300	
41	R10	2496-2690	USA	2600	
42	R10	3400-3600	1, 2, 3		
43	R10	3600-3800	1, 2, 3		
44	R11	703-803	3		

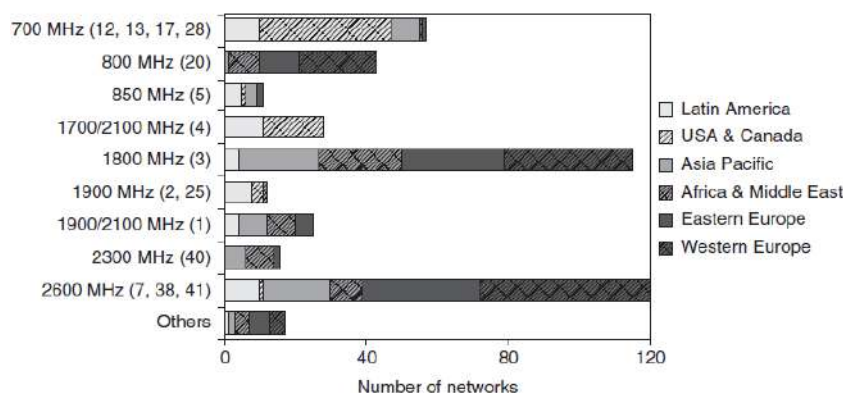
منبع: TS 36.101 و TS 36.104 بازنشر با مجوز ETSI

این جداول همچنین نشان می‌دهند، که مناطق مهم ITU و کشورهای خاص چه باندهای فرکانسی را در اختیار دارند. ناحیه پوششی، منطقه یک ITU، شامل اروپا، آفریقا و آسیای شمالی (شامل خاورمیانه و اتحادیه جماهیر شوروی سابق)، منطقه دو شامل قاره آمریکا و منطقه سه نیز شامل آسیای جنوبی (هند و چین) و استرالیا هستند. باندهای فرکانسی LTE اغلب توسط باندهای فرکانسی تقریبی و

یا بر اساس نام، فناوری‌هایی که قبلاً در آن باند استفاده می‌شد، مشخص می‌شوند. در دو ستون پایانی جدول‌های بالا به نام‌های دیگری که در باندهای پر مصرف به کار برده می‌شود، اشاره می‌شود. برخی از باندهای فرکانسی که این در جداول موجود هستند، به تازگی توسط ارتباطات موبایل استفاده می‌شوند. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۸، کمیسیون ارتباطات فدرال ایالت متحده آمریکا (FCC)، باند فرکانسی 700 MHz (باندهای ۱۲ و ۱۳ در روش FDD) که قبلاً برای پخش تلویزیون آنالوگ استفاده می‌شد، در اختیار LTE قرار داد. در اروپا نیز چنین اتفاقی افتاد، باندهای فرکانسی ۸۰۰ مگاهرتز و ۲۶۰۰ مگاهرتز (باندهای ۷ و ۲۰ برای FDD و باند ۳۸ برای TDD) به LTE اختصاص داده شدند. علاوه بر این، اپراتورهای موبایل می‌توانند از باندهای فرکانسی که در سیستم‌های ارتباطاتی دیگر استفاده می‌کردند، در صورت مهاجرت به LTE، از آن باندها دوباره برای TLE استفاده کنند، مثلاً باندهای ۱، ۳ و ۸ در روش FDD در اروپا که قبلاً در اختیار WCDMA و باندهای ۸۰۰ و ۱۸۰۰ مگاهرتز در اروپا و در باندهای ۲، ۴ و ۵ در روش FDD در کشور ایالت متحده آمریکا، برای LTE استفاده می‌شوند.

برای نشان دادن توسعه باندهای فرکانسی، شکل ۲-۲۶، استفاده عملیاتی و یا طراحی شده از باندهای فرکانسی عمومی، برای شبکه‌های LTE را تا نوامبر سال ۲۰۱۳ با استفاده از اطلاعاتی که از کشورهای قاره آمریکا به دست آورده است، نشان می‌دهد [۶۲-۶۳]. باندهای فرکانسی مهمی که در آن زمان انتخاب شده‌اند، عبارتند از: برای منطقه یک ITU، باندهای ۳، ۷ و ۲۰ (1800 MHz, 2600 MHz, 1800 MHz)، باندهای ۴، ۱۲، ۱۳ و ۱۷ (700 MHz, 700/200 MHz) برای منطقه دوم ITU و باندهای ۳ و ۷ (2600 MHz, 1800 MHz) برای منطقه سوم در نظر گرفته شده‌اند.

در مقابل، سازندگان تجهیزات، تنها برای برخی از باندهای فرکانسی LTE که توسط تجهیزات سایر فناوری‌ها پشتیبانی می‌شوند و به کشورهایی که تجهیزات را فروخته‌اند علاقه نشان دادند. بنابراین در آن زمان، باندهای فرکانس خیلی محدودی را پشتیبانی می‌کردند که رفته رفته افزایش یافت، مثلاً iPhone 5، که در سال ۲۰۱۲ در سه مدل وارد بازار شد، در روش FDD بین سه تا پنج باند را پشتیبانی می‌کرد. رفته رفته iPhone 5c و iPhone 5s، که در سال ۲۰۱۳، در چهار مدل معرفی شدند، هر کدام بین هفت الی سیزده باند، در روش FDD و یک مدل نیز برای پشتیبانی از TDD وارد بازار شد [۶۴].



شکل ۲-۲۶ باندهای فرکانسی استفاده شده در LTE که برخی از آنها از قبل استفاده می‌شوند و برخی دیگر از نو طراحی شده‌اند، تا نوامبر سال ۲۰۱۳، بازنشر با مجوز 4G آمریکا

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial. Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, September 2013.
2. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial, Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, September 2013.
3. 3GPP TS 23.002 (2013) Network Architecture, Release 11, June 2013.
4. 3GPP TS 36.401 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture Description, Release 11, September 2013.
5. 3GPP TS 27.001 (2012) General on Terminal Adaptation Functions (TAF) for Mobile Stations (MS), Release 11, Section 4, September 2012.
6. 3GPP TS 31.102 (2013) Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) Application, Release 11, September 2013.
7. 3GPP TS 36.306 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Radio Access Capabilities, Release 11, September 2013.

8. 3GPP TS 36.331 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Annexes B, C, September 2013.
9. 3GPP TS 36.401 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture Description, Release 11, Section 6, September 2013.
10. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 4.6, September 2013.
11. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Sections 4.2.1, 4.4, September 2013.
12. 3GPP TS 23.002 (2013) Network Architecture, Release 11, Section 4.1.4, June 2013.
13. 3GPP TS 23.003 (2013) Numbering, Addressing and Identification, Release 11, Section 9, September 2013.
14. 3GPP TS 22.168 (2012) Earthquake and Tsunami Warning System (ETWS) Requirements; Stage 1, Release 8, December 2012.
15. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 4.2.2, September 2013.
16. GSM Association IR.34 (2013) Guidelines for IPX Provider Networks, Version 9.1, May 2013.
17. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 4.3.8.1, September 2013.
18. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 3.1, September 2013.

19. 3GPP TS 23.003 (2013) Numbering, Addressing and Identification, Release 11, Sections 2, 6, 19, September 2013.
20. 3GPP TS 36.401 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture Description, Release 11, Section 5, September 2013.
21. 3GPP TS 36.321 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, July 2013.
22. 3GPP TS 36.322 (2012) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) Protocol Specification, Release 11, September 2012.
23. 3GPP TS 36.323 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification, Release 11, March 2013.
24. IETF RFC 3031 (2001) Multiprotocol Label Switching Architecture, January 2001.
25. IETF RFC 3032 (2001) MPLS Label Stack Encoding, January 2001.
26. IETF RFC 791 (1981) Internet Protocol, September 1981.
27. IETF RFC 2460 (1998), Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, December 1998.
28. 3GPP TS 29.281 (2013) General Packet Radio System (GPRS) Tunnelling Protocol User Plane (GTPv1-U), Release 11, Section 4.4.1, March 2013.
29. 3GPP TS 36.414 (2012) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Data Transport, Release 11, Section 5.3, September 2012.
30. 3GPP TS 36.424 (2012) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Data Transport, Release 11, Section 5.3, September 2012.
31. IETF RFC 768 (1980) User Datagram Protocol, August 1980.
32. IETF RFC 793 (1981) Transmission Control Protocol, September 1981.
33. IETF RFC 4960 (2007) Stream Control Transmission Protocol, September 2007.
34. 3GPP TS 29.281 (2013) General Packet Radio System (GPRS) Tunnelling Protocol User Plane (GTPv1-U), Release 11, March 2013.

35. IETF RFC 2784 (2000) Generic Routing Encapsulation (GRE), March 2000.
36. 3GPP TS 36.331 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, September 2013.
37. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Release 11, September 2013.
38. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, September 2013.
39. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, September 2013.
40. IETF RFC 3588 (2003) Diameter Base Protocol, September 2003.
41. IETF RFC 2865 (2000) Remote Authentication Dial-In User Service (RADIUS), June 2000.
42. IETF RFC 2866 (2000) RADIUS Accounting, June 2000.
43. 3GPP TS 29.272 (2013) Evolved Packet System (EPS); Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) Related Interfaces Based on Diameter Protocol, Release 11, September 2013.
44. 3GPP TS 29.274 (2013) 3GPP Evolved Packet System (EPS); Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control Plane (GTPv2-C); Stage 3, Release 11, September 2013.
45. 3GPP TS 29.275 (2013) Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) Based Mobility and Tunnelling Protocols; Stage 3, Release 11, June 2013.
46. IETF RFC 5213 (2008) Proxy Mobile IPv6, August 2008.
47. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, June 2013.
48. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 5.6.3, September 2013.

49. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, Section 5.4.1, September 2013.
50. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Release 11, Section 8.6.2, September 2013.
51. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.6.1, 5.6.2, September 2013.
52. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 13, September 2013.
53. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 4.7, September 2013.
54. 3GPP TS 24.007 (2012) Mobile Radio Interface Signalling Layer 3; General Aspects, Release 11, Section 11.2.3.1.5, June 2012.
55. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 4.10, June 2013.
56. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 4.2.2, September 2013.
57. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 4.6, September 2013.
58. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, Section 3.1, September 2013.
59. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 4.2.8, September 2013.

60. 3GPP TS 36.101 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 11, Section 5.5, September 2013.
61. 3GPP TS 36.104 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) Radio Transmission and Reception, Release 11, Section 5.5, September 2013.
62. 4G Americas (2013) 3G/4G Deployment Status, [http:// www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page &pageid=939](http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&pageid=939) (accessed 18 November 2013).
63. LteMaps (2013) Mapping LTE Deployments, <http://ltemaps.org> (accessed 15 October 2013).
64. Apple (2013) iPhone 5, <http://www.apple.com/iphone/LTE/> (accessed 15 October 2013).

فصل سوم: ارتباطات دیجیتال بی سیم

سه فصل آینده مفاهیم مخابره اطلاعات در LTE را بیان می‌کنند. در این فصل، ابتدا به بررسی و مرور روش‌های انتقال رادیویی، که LTE آنها را از سیستم‌های مخابراتی نسل دوم و سوم به ارث برده است، می‌پردازیم. این فصل دارای مفاهیمی نظیر مدولاسیون، دمودلاسیون و چگونگی به کار گیری آنها در یک شبکه سلولی رادیویی را پوشش می‌دهد و نیز نشان می‌دهد، که سیگنال‌های دریافتی چگونه بوسیله نویز، افت‌های مختلف، تداخل بین سمبلی (ISI) و تداخل بین فرکانسی تضعیف می‌شوند. سپس در این فصل روش‌هایی را برای کاهش میزان خطا در سیگنال‌های دریافتی، FEC، انتقال دوباره و ARQ معرفی می‌کنیم. برای مطالعه بیشتر مباحثی که در این فصل ارائه خواهد شد، می‌توانید به منبع [۶-۱] مراجعه فرمایید.

این سه فصل دارای فرمول‌ها و روابط ریاضیاتی بیشتری نسبت به سایر بخش‌های کتاب می‌باشند، اما به این نکته توجه شده است که این روابط تا حد منطقی ساده سازی شده هستند تا کسانی که زمینه کمی از ریاضیات دارند، بتوانند آنها را درک کنند. برخی از جزییات در موارد انگشت‌شماری با عمق بیشتری بررسی شده است، که خوانندگان می‌توانند بدون آن که تمرکز خود را بر مطالعه مطالب کل کتاب از دست بدهند، آن بخش‌ها را حذف کنند.

۳-۱ ارسال و دریافت رادیویی

۳-۱-۱ سیگنال حامل

کلیدی‌ترین بخش هر سیستم ارتباطی رادیویی ایجاد و انتقال یک موج رادیویی به نام سیگنال حامل^۱ است، با استفاده از روابط ریاضیاتی می‌توانیم یک سیگنال حامل را به صورت زیر تعریف کنیم.

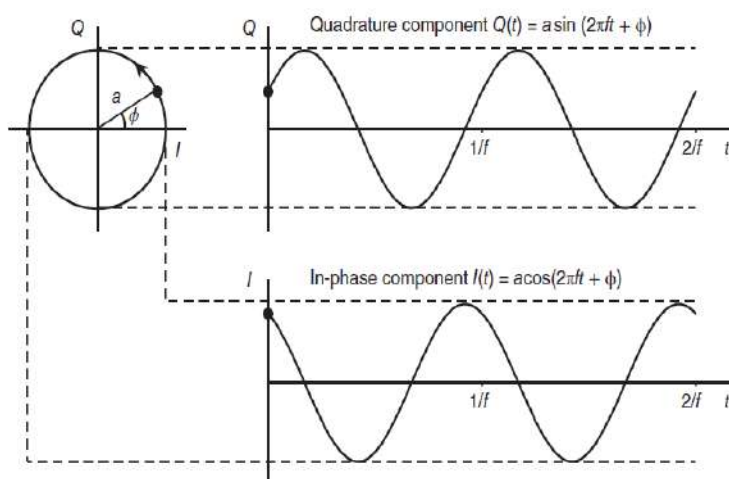
$$I(t) = a \cos(2\pi ft + \phi) \quad (1-3)$$

در این رابطه، a دامنه موج رادیویی، f فرکانس آن و ϕ فاز اولیه سیگنال است، که زاویه سیگنال با رادیان اندازه‌گیری می‌شود؛ π رادیان و برابر 180° درجه می‌باشد.

یک موج رادیویی را می‌توانیم حرکت شئی حول یک دایره به طول واحد از مرکز دایره، در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت که در شکل ۳-۱، سمت چپ نشان داده شده است، در نظر بگیریم. $I(t)$ وضعیت شئی مورد نظر در محور افقی در واحد زمان t می‌باشد، که اغلب به عنوان جزء in_phase موج رادیویی شناخته می‌شود، که در شکل ۳-۱ سمت راست از پایین

1. Carrier Signal

نشان داده شده است. علاوه بر این، می‌توانیم یک جزء متعامد^۱، برای سیگنال رادیویی به نام $Q(t)$ در نظر بگیریم، که موقعیت شئی در طول محور عمودی بوده و در شکل ۱-۳ در سمت راست بالا نشان داده شده است.



شکل ۱-۳ نمونه‌ای از اجزاء in-phase و متعامد یک سیگنال رادیویی (حامل)

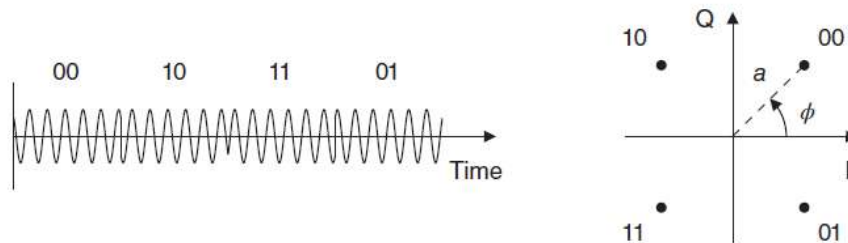
$$Q(t) = A \sin(2\pi f t + \phi) \quad (2-3)$$

بنابراین جزء متعامد سیگنال منتقل نمی‌شود، اما از آن برای اهداف بعدی خود در محاسبات خود استفاده می‌کنیم.

۲-۱-۳ روش‌های مدولاسیون

مدولاتور یک رشته بیت را در داخل سیگنال حامل با تنظیم پارامترهایی که توصیف کننده آن هستند، قرار می‌دهد. در LTE، می‌توانیم a به عنوان دامنه سیگنال و ϕ را به عنوان فاز سیگنال اولیه جهت تنظیم خود سیگنال انتخاب کنیم. شکل ۲-۳ یک طرح مدولاسیونی را نشان می‌دهد، که به نام $QPSK$ ^۲ شناخته می‌شود. $QPSK$ بیت‌های ورودی را دو بیت دو بیت در یک زمان برداشته و در چهار حالت که آنها را نمونه یا سمبل^۳ می‌نامند بر روی موج رادیویی ارسال می‌کند.

-
1. Quadrature Component
 2. Quadrature Phase Shift Keying
 3. Symbol



(a) شکل موج QPSK

(b) صورت فلکی QPSK

شکل ۳-۲ مدولاسیون QPSK

هر نمونه با استفاده از دو عدد توصیف می شود، که می توانند نشان دهنده دامنه و فاز اولیه سیگنال باشند، که نتیجه موج رادیویی یا مقادیر اولیه از اجزاء in-phase و متعامد موج رادیویی هستند.

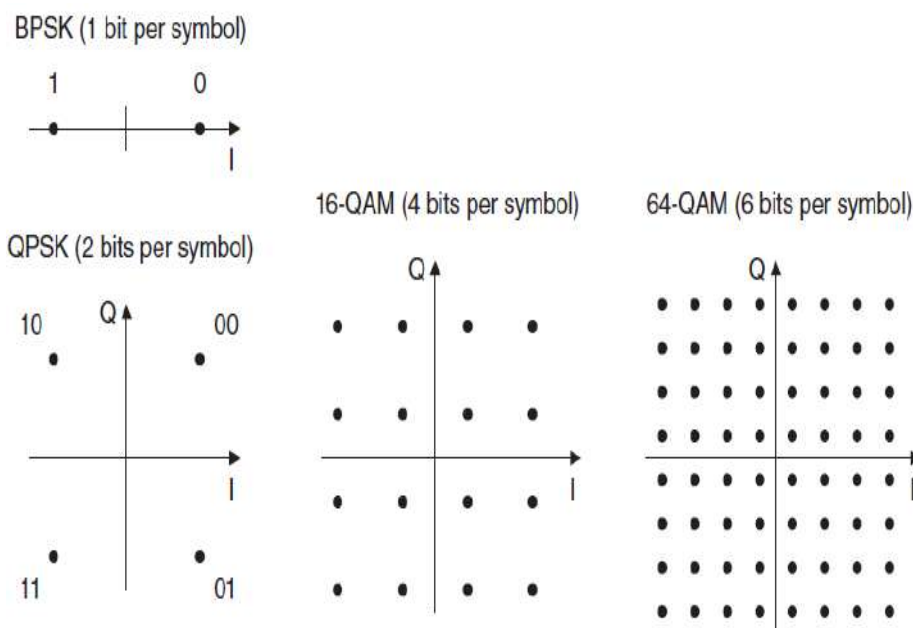
$$\begin{aligned} I_0 &= a \cos \phi \\ Q_0 &= a \sin \phi \end{aligned} \quad (3-3)$$

در مدولاسیون QPSK، سمبل ها (نمونه ها) دارای دامنه یکسان و فازهای اولیه 45° ، 135° ، 225° ، 315° (شکل ۳-۲a) هستند، که مطابق با ترکیب هایی از بیت هایی به ترتیب 1110، 01 می باشند. علاوه بر این، ما می توانیم چهار سمبل QPSK را با استفاده از دیاگرام (نمودار) صورت فلکی^۱ که در شکل ۳-۲b دیده می شود، نشان دهیم. در این نمودار، فاصله هر سمبل از مرکز، دامنه سیگنال منتقل شده و زاویه (اندازه محور x در جهت عکس عقربه های ساعت) نیز فاز اولیه آن را نمایش می دهند.

چنانچه در شکل ۳-۳ هم نشان داده می شود، LTE چهار طرح کدینگ را با همدیگر استفاده می کند. BPSK^۲، یک بیت را در یک زمان برداشته و با استفاده از دو سمبل، که یکی را در فاز اولیه و دیگری را در فاز 180° و با دامنه های ۱- و ۱+ ارسال می کند. LTE از این طرح مدولاسیون برای جریان های کنترل محدود استفاده می کند، اما آن را برای انتقال عادی داده ها به کار نمی برد. 16-QAM^۳، چهار بیت را در یک لحظه و با استفاده از شانزده سمبل که نشان دهنده شانزده دامنه

1. Constellation Diagram
2. Binary Phase Shift Keying
3. Quadrature Amplitude Modulation

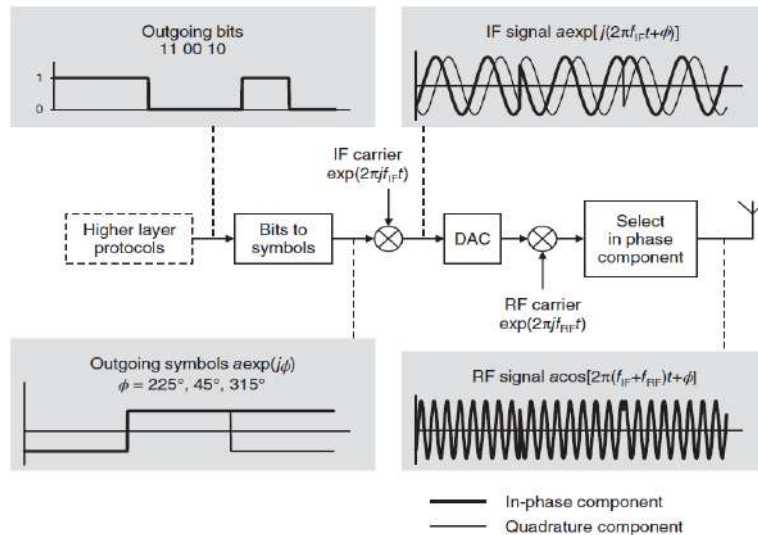
و فاز مختلف می‌باشند، را برداشته و منتقل می‌کند، مشابه آن 64-QAM شش بیت را با استفاده از ۶۴ سمبل مختلف ارسال می‌کند، نشان می‌دهد، که 64-QAM نرخ ارسال داده شش برابر بیشتر از BPSK را داراست.



شکل ۳-۳ طرح‌های مدولاسیون به کار رفته در LTE

۳-۱-۳ پردازش مدولاسیون

شکل ۳-۴ اجزاء بسیار مهم یک مودلاتور را با استفاده از سیگنال مدولاسیون QPSK نشان می‌دهد. در ورودی، فرستنده یک سیگنال را از پروتکل‌های لایه بالاتر دریافت می‌کند، سیگنال حاصل را محاسبه کرده و با ترکیب سیگنال حامل و سمبل‌ها در یک دیگر آن را مدوله می‌کند. یک مودلاتور واقعی اجزاء دیگری نیز دارد، مانند فیلتر که جهش‌های ناگهانی سیگنال ورودی را گرفته و نرم می‌کند، که ما از آن صرف‌نظر کرده و فقط فرایند مهم آن را توصیف می‌کنیم.



شکل ۳-۴ بلاک دیاگرام یک مدولاتور در سیستم‌های ارتباطی رادیویی

در شکل ۳-۴ ما مجبور هستیم، که فرایند مدولاسیون را در دو مرحله در نظر بگیریم. مرحله اول، شامل مخلوط کردن سمبل‌ها با یک حامل فرکانس میانی f_{IF} (IF) است^۱، و پس از آن در مرحله دوم، سیگنال حاصل را با یک حامل فرکانس رادیویی f_{RF} (RF) بزرگ‌تر مخلوط می‌کنیم. محاسبات فرکانس پایین به صورت دیجیتال انجام می‌گیرد، بنابراین یک مبدل دیجیتال به آنالوگ (DAC)^۳ بین دو مرحله وجود دارد. در نتیجه این فرایند، نهایتاً موج رادیویی انتقالی با فرکانس $f_{IF} + f_{RF}$ منتقل می‌شود. انتخاب این روش به دو دلیل قابل توجه است: اولاً مدولاتورهای عملی اغلب از این روش استفاده می‌کنند، ثانیاً این مفهوم زمانی که ما در فصل چهارم درباره OFDMA^۴ بحث خواهیم کرد، مفید خواهد بود.

برای این که کار کردن روی سیگنال، به شیوه درستی انجام شود، باید همواره در طول فرایند مدولاسیون مقدار فاز و دامنه سیگنال مدوله شده یا اجزاء In-Phase و متعامد آن را در نظر بگیریم. از نظر ریاضیاتی، ساده‌ترین راه، تفسیر اجزاء in-phase و متعامد سیگنال به عنوان مقادیر قسمت‌های حقیقی^۵ و موهومی^۶ از سیگنال مختلط به صورت زیر می‌باشد.

1. Intermediate Frequency
2. Radio Frequency
3. Digital To Analogue Converter
4. Orthogonal Frequency Division Multiple Access
5. Real Part
6. Imaginary Part

$$\begin{aligned} Z(t) &= I(t) + jQ(t) \\ &= a \cos(2\pi f t + \phi) + ja \sin(2\pi f t + \phi) \end{aligned} \quad (۴-۳)$$

که در این معادله $z(t)$ نمایانگر سیگنال مختلط در زمان t و j می‌باشد، که ریشه دوم j برابر با -۱ است. استفاده از اعداد مختلط به ما در شناسایی آسان تر عبارت‌های زیر کمک می‌کند و آنها را برای محاسبه آسان‌تر می‌کند. به عبارت دیگر:

$$\begin{aligned} a \cos \theta + ja \sin \theta &= a \exp(j\theta) \\ &= ae^{j\theta} \end{aligned} \quad (۵-۳)$$

در اینجا، e تقریباً برابر ۲.۷۱۸ است، دو عبارت سمت راست دو نماد مختلف را برای یک عبارت مشابه نشان می‌دهد.

حالا ما می‌توانیم برای حل این سیگنال، نمایش مختلط آن را پیگیری کنیم. برای این کار دو قاعده وجود دارد. نخست، با توجه به شرط $j^2 = -1$ ، ما با ضرب کردن مقادیر مختلط در سیگنال، آنها را در هم ادغام کردیم. دوم، ما فقط قسمت حقیقی سیگنال حاصل را منتقل می‌کنیم، چرا که در دنیای واقعی اعداد موهومی معنایی ندارند. با در نظر گرفتن دو قاعده بالا سیگنالی انتقال داده خواهد شد که به صورت زیر می‌باشد:

$$I(t) = \text{Re}[a \exp(j\phi) \exp(2\pi j f_{IF} t) \exp(2\pi j f_{RF} t)] \quad (۶-۳)$$

که در آن سه ترم از سمت راست معادله، سمبل‌های منتقل شده و حامل‌های IF و RF می‌باشند و $\text{Re}[\]$ بخش حقیقی عدد مختلط را نشان می‌دهد. پس ما به نتیجه زیر می‌رسیم:

$$\begin{aligned} I(t) &= \text{Re}\{a \exp[2\pi j(f_{IF} + f_{RF})t + j\phi]\} \\ &= a \cos[2\pi(f_{IF} + f_{RF})t + \phi] \end{aligned} \quad (۷-۳)$$

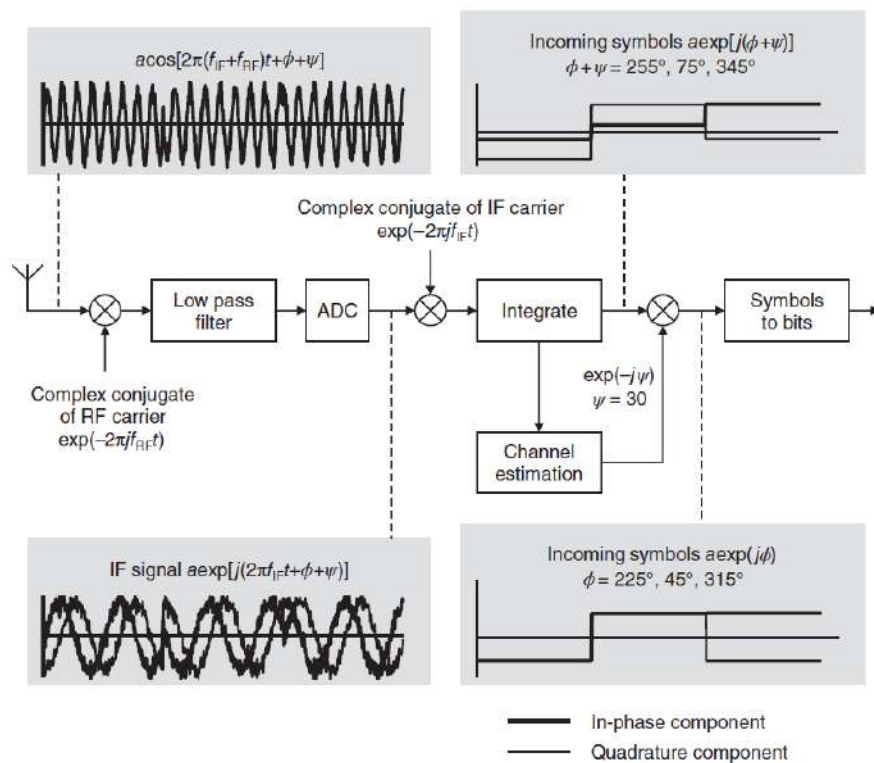
همان سیگنالی است که ما می‌خواستیم. همچنین ما باید بدون نیاز به اعداد مختلط هم به این نتیجه برسیم، ولی محاسبه آن بسیار مشکل‌تر می‌شود. مدولاسیون در نظر گرفته شده برای مشخصات LTE دو مرحله پایانی از شکل ۴-۳ می‌باشد، که ما سیگنال را با حامل RF مخلوط کرده و قسمت حقیقی آن را برای انتقال انتخاب می‌کنیم.

در رابطه (۳-۷)، سیگنالی که در فرکانس حامل منتقل می شود، در یک افست کوچکی از فرکانس f_{RF} بالاتر از سیگنال فرکانس رادیویی f_{RF} قرار می گیرد. همچنین فرکانس میانی f_{IF} می تواند مقدار منفی داشته باشد، که در این صورت، به جایی اینکه بالاتر از فرکانس رادیویی f_{RF} قرار بگیرد، پایین تر از آن قرار می گیرد. اگرچه ایده فرکانس منفی ملموس نیست، ما به سادگی می توانیم به این صورت تصور کنیم، آن چه که در شکل ۳-۱ مشاهده کردیم، سیگنال حرکتش حول محور مختصات و در جهت پاد حرکت ساعت بود، در سینگال منفی، در جهت حرکت عقربه های ساعت می چرخد. ما نمی توانیم فرکانس های منفی و مثبت یک سیگنال را تنها با استفاده از ترم in-phase توضیح دهیم، چرا که سیگنال های منفی در عالم واقعیت وجود ندارند. به همین دلیل ما ترکیبی از ترم های in-phase و متعامد سیگنال را با استفاده از سیگنال منفی توصیف کرده و سیگنال خود را محاسبه می کنیم.

۳-۱-۴ پردازش دمدولاسیون

گیرنده سیگنال های رسیده، را دریافت کرده و با عمل دمدولاسیون آنها را تبدیل به حالت قبل از ارسال از فرستنده می کند. شکل ۳-۵ قسمت های مهم یک فرایند دمدولاسیون را نشان می دهد. در ورودی، دمدولاتور سیگنال های رسیده را با کپی هایی از فرکانس منفی از فرکانس های میانی و رادیویی را در هم ادغام می کند. (از نظر ریاضی هر کپی توسط فرایندی به نام مزدوج مختلط، که علامت بخش موهومی را تغییر می دهد، ایجاد می شود.) پس از انجام این مرحله، دمدولاتور سیگنال رسیده را به فرکانس صفر تبدیل می کند، در نتیجه سمبل های ارسالی و بیت های ارسالی به دست می آیند.

همواره سه مشکل در سمت گیرنده وجود دارد: نخست، چنانچه در نمودار نشان داده شده است و در زیر جزئیات آن را بررسی خواهیم کرد، سیگنال ورودی، ممکن است به وسیله نویز حرارتی و تداخل سایر فرستنده ها آسیب دیده باشد. برای حل این مشکل، مرحله انتگرال گیری ترم های in-phase و متعامد به سمبل های ورودی I_0 و Q_0 را برای دوره از یک سمبل خاص اضافه می کنند. در طول این دوره، میزان سیگنال اصلی به نسبت سیگنال نویز و تداخل افزایش پیدا می کند میانگین نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویز (SINR) بهبود پیدا می کند.



شکل ۳-۵: بلاک دیاگرام دمدولاتور در یک سیستم مخابراتی بی‌سیم

مشکل دوم، مسئله زیاد قابل اهمیتی حداقل برای ما نیست، اما برای تکمیل کردن کتاب ضروری است، سیگنالی که دریافت می‌شود مقدار حقیقی سیگنال است که می‌توانیم به صورت زیر بنویسیم:

(۸-۳)

$$I(t) = a \cos[2\pi(f_{IF} + f_{RF})t + \phi + \psi]$$

$$= \frac{a \exp\{j[2\pi(f_{IF} + f_{RF})t + \phi + \psi]\} + a \exp\{-j[2\pi(f_{IF} + f_{RF})t + \phi + \psi]\}}{2}$$

این معادله نشان می‌دهد، که سیگنال دریافتی در واقع دارای دو قسمت مختلط یکی، با یک ترم از فرکانس مثبت از $f_{IF} + f_{RF}$ و دیگری یک ترم از فرکانس $(f_{IF} + f_{RF})$ می‌باشد. وقتی که سیگنال با کپی‌ای از فرکانس رادیویی مخلوط می‌شود، جزء اول آن به فرکانس متوسط f_{IF} مورد نظر منتقل می‌شود. اما، جزء دوم به فرکانسی از $-(f_{IF} + f_{RF})$ منتقل می‌گردد، و باعث ایجاد

نوسانات سریع ناخواسته در سیگنال ورودی می شود. فیلتر باند گذر پایین (LPF)^۱ نوسانات آن را حذف می کند و سیگنال مورد نظر ما عبور می کند.

۳-۱-۵ تخمین کانال

مسئله دیگری که در اینجا وجود دارد: این است که فاز سیگنال ورودی به تنهایی به فاز اولیه سیگنال ارسالی بستگی ندارد، بلکه به محل دقیق گیرنده نیز بستگی دارد. اگر گیرنده نصف طول موج سیگنال حامل (مثلاً در حامل فرکانس 1500Mh ده سانتی متر) جابجا شود، فاز سیگنال رسیده ۱۸۰ درجه تغییر پیدا می کند. چنانچه از QPSK، استفاده شود این تغییر جهت باعث تبدیل 00 به 11 و برعکس می شود و به طور کامل اطلاعات دریافت شده را خراب می کند. ما این مسئله را با افزودن یک تغییر (شیفت) فاز دلخواه ψ در سیگنال ورودی لحاظ می کنیم. در شکل ۳-۵ تغییر فاز 30° می باشد.

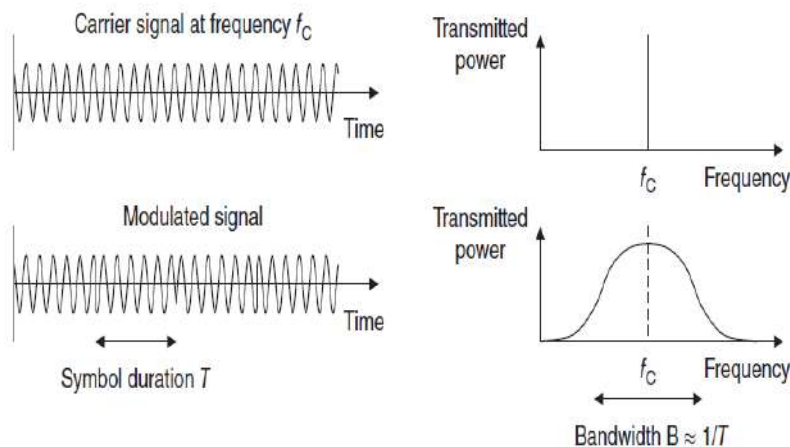
برای مقابله با این مشکل، فرستنده در لابلای جریان ارسالی سمبل های راهنما^۲ قرار می دهد، که زمان ارسال، فاز و دامنه سیگنال مربوطه را مشخص می کند. در گیرنده، یک تابع تخمین کانال^۳ با استفاده از سمبل های راهنما، سیگنال های رسیده را اندازه می گیرد، سیگنال های دریافت شده را با یکی از سیگنال هایی که در مشخصات 3GPP تعریف شده است، مقایسه می کند و تغییر فاز ψ که در واسط رادیویی اتفاق افتاده است را تخمین می زند. سپس تخمین کننده با محاسبه عدد مختلط $\exp(-j\psi)$ شیفت فاز (تغییر فاز) را از سمبل های ورودی حذف کند. تغییر فاز تغییرات زیادی از یک سمبل به سمبل بعدی ایجاد نمی کند. بنابراین ما در بخش کوچکی از داده ارسالی نیاز به استفاده از سمبل راهنما داریم، به این ترتیب، در LTE حدود ۱۰ درصد سرریز وجود دارد.

۳-۱-۶ پهنای باند سیگنال مدوله شده

در اینجا یک نقطه از بحث های گذشته باقی مانده است. توان سیگنال مدوله شده محدود به یک سیگنال نیست، بلکه محدوده ای از فرکانس ها را دربر می گیرد که ما آن را به عنوان پهنای باند می شناسیم؛ در نتیجه اگر تقریباً B پهنای باند و T دوره زمانی یک سمبل باشد، پهنای باند به صورت زیر محاسبه می شود:

-
1. Low Pass Filter
 2. Reference Symbol
 3. Channel Estimation

$$B \approx \frac{1}{T} \quad (۹-۳)$$



شکل ۳-۶ ارتباط بین پهنای باند و دوره سمبل در یک سیگنال مدوله شده

شکل ۳-۶ نتیجه رابطه بالا را نشان می‌دهد. سیگنال حامل در یک فرکانس منفرد منتقل می‌شود، که به آن f_c می‌گوییم، بنابراین، توان آن در فرکانس محدود شده است. اگر ما حامل را مدوله کنیم، توان سیگنال به دست آمده در یک پهنای باند B گسترده می‌شود. اگر، مثلاً، دوره یک سمبل $1\mu s$ باشد، در نتیجه، نرخ سمبل 1Mpsps خواهد بود و انتظار داریم که سیگنال منتقل شده پهنای باندی در حدود 1 MHz را اشغال خواهد کرد.

۳-۲ انتقال رادیویی در یک شبکه موبایل سلولی

۳-۲-۱ روش‌های دسترسی چندگانه

روش‌های توضیح داده شده در بحث‌های قبل در ارتباط یک به یک کار می‌کردند. در شبکه‌های موبایل سلولی، یک ایستگاه پایه باید در آن واحد با تعداد زیادی از موبایل‌ها ارتباط برقرار کند. ایستگاه پایه این کار را با استفاده از اشتراک‌گذاری منابع واسطه هوایی انجام می‌دهد، این روش را دسترسی چندگانه^۱ می‌نامند.

1. Multiple Access

سیستم‌های ارتباطی موبایل از روش‌های دسترسی چندگانه مختلفی را استفاده می‌کنند، که دو مورد از آنها در شکل ۳-۷ ملاحظه می‌شود. دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی (FDMA)^۱ برای نسل اول سیستم‌های موبایل آنالوگ استفاده می‌شد. در این روش، هر موبایل در حامل فرکانسی مخصوص به خود دریافت می‌کرد، برای تشخیص موبایل‌ها از یکدیگر از فیلترهای آنالوگ استفاده می‌شد. حامل‌ها از طریق باندهای محافظ^۲ از همدیگر جداسازی می‌شدند، که تداخل را بین فرکانس‌ها به حداقل می‌رساند. در دسترسی چندگانه تقسیم زمانی (TDMA)^۳، موبایل‌ها در حامل‌های فرکانسی یکسان، اما در زمان‌های مختلف دریافت را انجام می‌دادند.

GSM از ترکیب FDMA و TDMA استفاده می‌کند، به این صورت که هر سلول GSM دارای حامل‌های فرکانسی است که آنها را بین هشت موبایل در داخل آن سلول به اشتراک می‌گذارد. LTE از یک روش دسترسی متفاوت‌تری به نام دسترسی چندگانه فرکانسی متعامد (OFDMA)^۴ استفاده می‌کند، که ما در فصل چهارم آن را توصیف خواهیم کرد.

نسل سوم نیز از یک روش دسترسی متفاوت دیگری استفاده می‌کرد که در سیستم‌های دیگر استفاده نشده است، و به نام دسترسی چندگانه تقسیم کرد (CDMA)^۵ معروف می‌باشد.

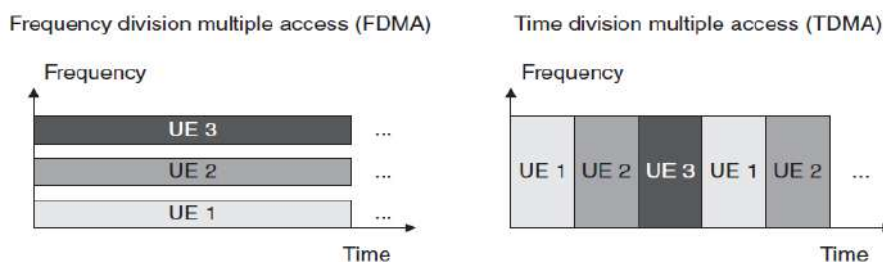
در این روش، موبایل‌ها در یک فرکانس و در یک زمان دریافت می‌کنند، اما سیگنال‌ها با برچسبی به نام code از همدیگر متمایز شده‌اند و اجازه می‌دهد، حامل فرکانسی یک موبایل از دیگری متمایز باشد. LTE برخی از مفاهیم CDMA را برای بعضی از سیگنال‌های کنترلی خودش استفاده می‌کند، که تنها یک روش پیاده‌سازی از سیگنال‌های کنترلی LTE است و در کاربردهای دیگر استفاده نمی‌کند.

روش‌های دسترسی چندگانه در واقع یک مفهوم شناخته شده‌ای به نام مالتی پلکسینگ^۶ است. تفاوت بین مالتی پلکسینگ و دسترسی چندگانه این است که مالتی پلکسینگ جریان‌های

-
1. Frequency Division Multiple Access
 2. Guard Bands
 3. Time Division Multiple Access
 4. Orthogonal Frequency Division Multi Access
 5. Code Division Multiple Access

۶. در اکثر کتاب‌های فارسی به جای کلمه Multiplexing از تسهیم استفاده می‌شود که اکثراً برای خوانندگان ملموس نیست. به همین دلیل در کل کتاب همان عنوان اصلی را به کار خواهیم برد.

مختلفی از یک دستگاه را منتقل می‌کند و یا به یک دستگاه منتقل می‌سازد و در حالی که دسترسی چندگانه از دستگاه‌ها و تجهیزات مختلفی را پشتیبانی می‌کند.

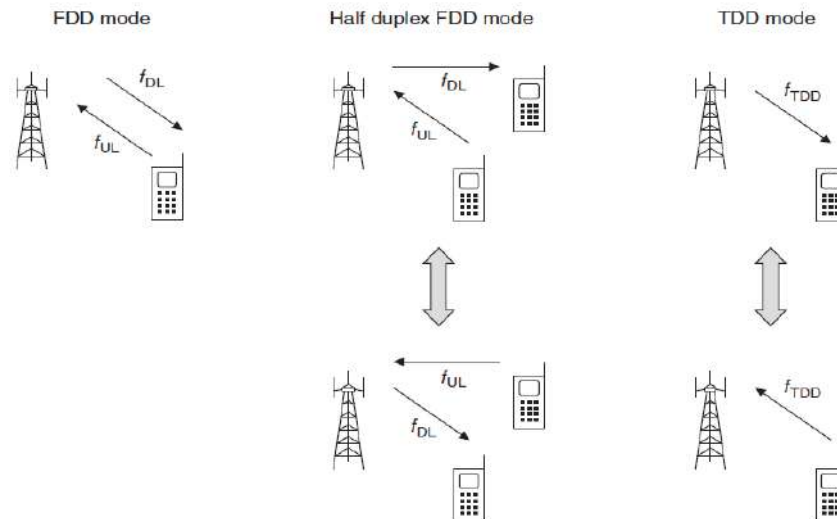


شکل ۷-۳ مثالی از روش‌های دسترسی چندگانه

۲-۲-۳ روش‌های FDD و TDD

با استفاده از روش‌های دسترسی که در بالا اشاره شد، یک ایستگاه پایه می‌تواند انتقال از یک موبایل و یا به یک موبایل خاص در یک سلول را تشخیص دهد، اما ما نیاز به راهی داریم که موبایل ارتباط خودش را با ایستگاه پایه تشخیص دهد.

برای این کار، سیستم‌های مخابراتی موبایل، می‌توانند از روش‌های مخابراتی که ما در اول فصل (شکل ۸-۳) معرفی کردیم، استفاده کنند. هنگامی که از FDD استفاده می‌شود، ایستگاه پایه و موبایل در یک لحظه ارسال و دریافت اطلاعات دارند، اما از حامل‌های فرکانسی متفاوت استفاده می‌کنند. با استفاده از TDD، آنها در یک حامل فرکانسی یکسان اما در زمان‌های مختلف با همدیگر اطلاعات را رد و بدل می‌کنند.



شکل ۳-۸ عملکرد روش‌های FDD و TDD

FDD و TDD هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. در روش FDD، پهنای باند لینک فراسو و فروسو ثابت و معمولاً یکسان است، که آن را برای ارتباطات صوتی به دلیل این که نرخ بیت لینک فراسو و فروسو بسیار شبیه به همدیگر هستند، مناسب می‌کند. در TDD، دست سیستم برای تخصیص پهنای باند به هر کدام از لینک‌های فراسو و فروسو باز می‌باشد و آن را برای کاربردهایی نظیر وب گردی مناسب می‌کند، چرا که پهنای باند لینک فروسو می‌تواند چندین برابر لینک فراسو باشد.

روش TDD به شکل بدی توسط تداخل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، اگر یک ایستگاه پایه در حال ارسال اطلاعات است، در حالی که ایستگاه پایه مجاور در حال دریافت اطلاعات می‌باشد. برای جلوگیری از این مشکل، ایستگاه‌های پایه همسایه حتماً باید به شدت با هم همزمانی داشته باشند و باید از تخصیص حامل یکسانی برای لینک فراسو و فروسو استفاده کنند، در این صورت آنها در یک لحظه یا هر دو ارسال می‌کنند و یا هر دو در حال دریافت اطلاعات از موبایل‌های داخل سلول خودشان هستند. این کار TDD برای شبکه‌هایی مناسب است، که Hotspot بوده و از هم ایزوله شده‌اند. چرا که هر Hotspot می‌تواند تنظیم زمانی متفاوت و تخصیص منابع مختلفی داشته باشد. در مقابل، FDD اغلب برای یک شبکه بسیار بزرگ که در آن نمی‌شود نواحی جداسازی شده داشت، ترجیح داده می‌شود.

زمانی که روش FDD به کار گرفته می‌شود، موبایل معمولاً باید یک فیلتر دو طرفه با افت بالا^۱ داشته باشد تا به وسیله آن بتواند ارسال کننده مسیر فراسو را از گیرنده مسیر فروسو جداسازی کند. یک نوع از FDD تغییر یافته با نام روش نیمه دو طرفه FDD^۲ وجود دارد که در آن ایستگاه پایه در یک لحظه می‌تواند به طور همزمان، ارسال و دریافت داشته باشد. اما موبایل فقط می‌تواند یکی از آن عملیات را انجام دهد. به این معنی که موبایل دیگر نیازی به جداسازی فرستنده و گیرنده به میزان مشابه ندارد و این کار باعث کاهش پیچیدگی طراحی سخت افزار موبایل می‌شود.

LTE از هر دو روش گفته شده در بالا پشتیبانی می‌کند. یک سلول می‌تواند یا از FDD یا TDD استفاده کند. یک موبایل می‌تواند هم از FDD نیمه دو طرفه و دو طرفه کامل و TDD استفاده کند، گرچه فقط یکی از روش‌ها را در یک زمان می‌تواند استفاده کند.

۳-۳ اختلال در سیگنال دریافتی

۳-۳-۱ افت مسیر

چنانچه می‌دانیم در یک سیستم ارتباطی بی‌سیم، سیگنال از سوی فرستنده به گیرنده منتشر می‌شود، بنابراین توان دریافتی P_R کمتر از توان ارسال P_T می‌باشد. افت/انتشار^۳ یا افت مسیر^۴ P_L نسبتی از این دو مقدار است.

$$P_L = \frac{P_T}{P_R} \quad (۱۰-۳)$$

اگر سیگنال در یک فضای آزاد منتشر شود و یک فاصله r از فرستنده داشته باشد، موج منتشر شده فضایی به میزان $4\pi r^2$ را اشغال می‌کند. به همین جهت است که افت مسیر با r^2 نسبت عکس دارد. در یک شبکه سلولی، سیگنال علاوه بر آن به وسیله موانعی نظیر ساختمان‌ها و سطح زمین جذب یا منعکس می‌شود. که اینها به نوبه خود در افت مسیر یا افت انتشار تأثیرگذار

1. High – Attenuation Duplex Filter

2. Half Duplex FDD Mode

3. Propagation Loss

4. Path Loss

هستند. به طور تجربی، در یک سیستم سلولی افت انتشار سیگنال‌ها (افت مسیر) تقریباً متناسب با r^m است که m معمولاً بین ۳.۵ و ۴ می‌باشد.

۳-۳-۲ نويز و تداخل

افت مسیر (انتشار) به خودی خود، یک مسئله مهمی نیست. چنانچه در شکل ۳-۵ هم مشاهده کردیم، سیگنال دریافتی به وسیله نویز حرارتی و تداخل از سایر فرستنده دچار خطا شده و تخریب می‌گردد. این تأثیرات به این معنی است که گیرنده قادر به تخمین دقیق دامنه و فاز سیگنال دریافتی نمی‌شود.

برای کمک به حل این مسئله، گیرنده اغلب بیت‌های دریافتی خود را در دو مرحله بازسازی می‌کند. در مرحله اول، گیرنده با استفاده از یک محاسبه تصمیم نرم^۱ برای تخمین دامنه و فاز سمبل دریافتی استفاده می‌کند. تصمیم نرم به تنهایی بیان کننده این نیست که بیت ورودی ۱ یا ۰ است، بلکه گیرنده به نتایج اعتماد می‌کند. در مرحله دوم، گیرنده تصمیم‌گیری نهایی درباره ۰ یا ۱ بودن را با استفاده از محاسبه تصمیم سخت^۲ انجام می‌دهد.

ما در انتهای این فصل یک کاربرد مهم از تصمیم نرم را خواهیم دید.

چنانچه نویز و تداخل به مقدار زیاد باشد، ممکن است باعث بروز خطای تبدیل ۱ به ۰ و برعکس شوند، که این منجر به ایجاد خطای بیت در گیرنده می‌شود. نرخ خطا وابسته به میزان نسبت سیگنال به تداخل به همراه نویز درگیرنده است. در یک طرح مدولاسیون سریع نظیر 64-QAM، سیگنال با استفاده از نمودارهای صورت فلکی که بهم نزدیک هستند در مسیرهای مختلفی منتقل شوند. در نتیجه 64-QAM یک مدولاسیون آسیب‌پذیر در برابر خطا بوده و فقط در جاهایی که SINR بالا باشد، کاربرد دارد. در مقابل، QPSK دارای سطوح کمتری بوده، بنابراین در برابر خطا آسیب‌پذیری کمتری را دارد و در مواقعی که SINR پایین‌تر است، کاربرد دارد. با توجه به موارد بالا LTE به طور خودکار بین مدولاسیون‌های مختلف در شرایط مختلف سوئیچ می‌کند: در شرایطی که SINR بالاست، از مدولاسیون 64-QAM استفاده می‌کند تا نرخ ارسال بیت بالایی داشته باشد. در حالی که اگر SINR پایین باشد، برای اجتناب از خطای بیت، به QPSK سوئیچ می‌کند.

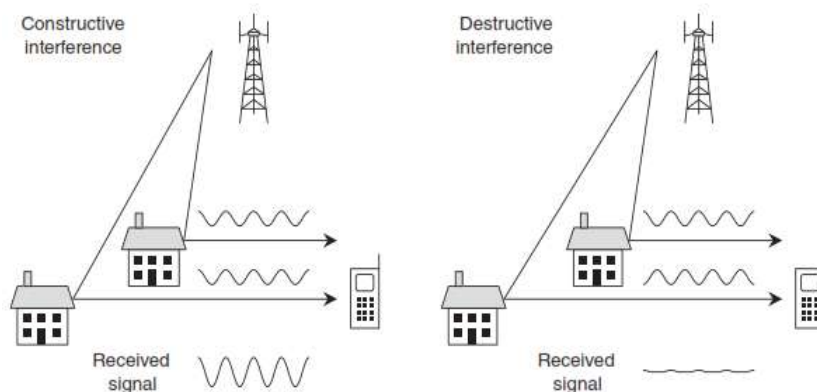
1. Soft Decision

2. Hard Decision

۳-۳-۳ چند مسیری و محو شدگی^۱

افت مسیر و نویز تنها مشکلات نیستند، چرا که انعکاس امواج، باعث ایجاد مسیرهای مختلف از فرستنده به گیرنده می‌شود، که به این پدیده چند مسیری^۲ می‌گویند.

درگیرنده، سیگنال دریافتی از مسیرهای مختلف با همدیگر جمع می‌شوند، که در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. اگر حداکثر لحظه‌ای (Peak) سیگنال‌های دریافتی همدیگر را تقویت نمایند، تداخل ایجاد شده را *تداخل سازنده*^۳ می‌گویند، اما اگر قله‌های سیگنال‌های دریافتی (حداکثر لحظه‌ای) همدیگر را تخریب کنند، به آن *تداخل مخرب*^۴ می‌گویند و امواج در آن از بین می‌روند. تداخل مخرب باعث کاهش شدید سطح توان می‌شود که به این شرایط محو شدگی^۵ می‌گویند. در نتیجه، میزان نرخ خطا افزایش پیدا می‌کند، سیگنال حاصل شده به همراه نرخ خطای یک مشکل بسیار جدی در تمامی سیستم‌های ارتباطی موبایل است.



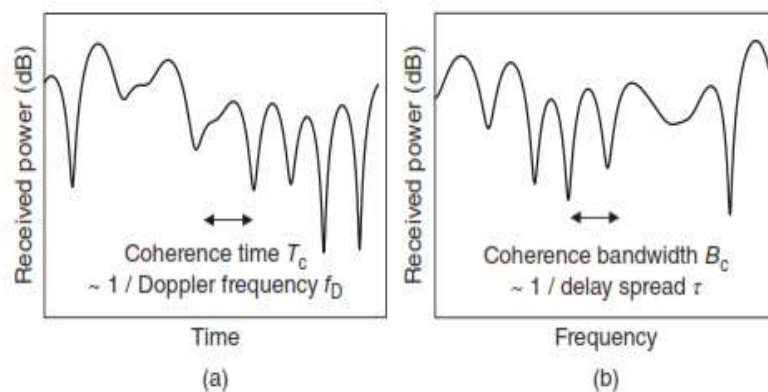
شکل ۳-۹ ایجاد تداخل مخرب و سازنده و محو شدگی در یک محیط چند مسیری

اگر موبایل از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت کند، مکان جغرافیایی امواج تغییر پیدا می‌کند، بنابراین الگوی تداخل بین سازنده و مخرب تغییر می‌کند. محو شدگی همچنین تابعی از زمان

-
1. Multipath And Fading
 2. Multipath
 3. Constructive Interference
 4. Destructive Interference
 5. Fading

می باشد، که در شکل ۳-۱۰ (a) نشان داده شده است. دامنه و فاز سیگنال دریافت شده روی یک بازه زمانی به نام زمان همدموسی T_c تغییر پیدا می کند، که به صورت زیر تخمین زده می شود:

$$TC \approx \frac{1}{f_D} \quad (۱۱-۳)$$



شکل ۳-۱۰ محو شدگی تابعی از زمان (a) و فرکانس (b)

که در اینجا f_D فرکانس شیفت داپلر موبایل می باشد.

$$f_D = \frac{V}{C} f_C \quad (۱۲-۳)$$

در این رابطه، f_C فرکانس حامل، v سرعت موبایل و C سرعت نور در خلاء ($3 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$) است. برای مثال اگر یک پیاده بتواند با سرعت 1 ms^{-1} (3.6 kmh^{-1}) پیاده روی کند و فرکانس حامل آن 1500 MHz می باشد، در نتیجه مقدار شیفت داپلر آن 5 Hz خواهد بود و مقدار زمان همدموسی آن نیز 200 ms می شود. موبایل هایی که سریع تر حرکت می کنند، به واسطه الگوهای تداخلی سریع تر به نسبت زمان همدموسی کمتری دارند.

اگر فرکانس حامل تغییر کند، طول موج سیگنال رادیویی تغییر خواهد کرد. در نتیجه این کار، باعث تغییر الگوی تداخل بین سازنده و مخرب می شود، بنابراین، محو شدگی چنانچه در شکل

۳-۱۰(b) نشان داده شد، تابعی از فرکانس است. دامنه و فاز سیگنال دریافتی متفاوت‌تر از یک مقیاس فرکانسی به نام *پهنای باند همدوسی*^۱ B_C می‌شود، که به صورت زیر می‌توان تخمین زد.

$$B_C \approx \frac{1}{\tau} \quad (۳-۱۳)$$

در اینجا، τ تأخیر گسترده^۲ کانال رادیویی است، که تأخیر گسترده تفاوت بین زمان رسیدن زودترین و کندترین امواج رادیویی را بیان می‌کند و به شکل زیر قابل محاسبه می‌باشد.

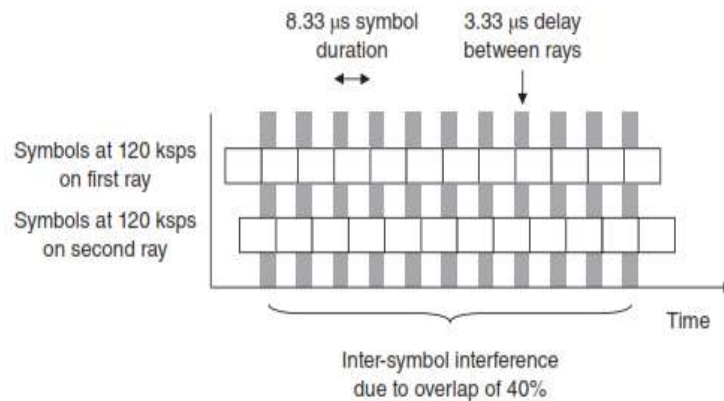
$$\tau = \frac{\Delta L}{C} \quad (۳-۱۴)$$

در رابطه بالا، ΔL اختلاف امواج بین کوتاه‌ترین و بلندترین موج است، در یک ماکروسل به طور معمول اختلاف مسیر می‌تواند ۱۰۰ متر باشد، تأخیر گسترده به دست آمده $0.33 \mu s$ و پهنای باند همدوسی در حدود 3MHz خواهد بود. تأخیرات گسترده‌تر بیشتر در سلول‌های بزرگتر اتفاق می‌افتند. برای مثال، اگر اختلاف مسیر به ۱۰۰۰ متر برسد، تأخیر گسترده $3.33 \mu s$ افزایش پیدا کرده و پهنای باند همدوسی به حدود 300KHz می‌رسد.

۳-۳-۴ تداخل بین سمبلی

اگر طول مسیر امواج کوتاه و بلند متفاوت باشد، سیگنال ارسال شده روی آنها در زمان‌های مختلفی به مقصد می‌رسند. به ویژه، گیرنده در حال دریافت یک سمبل رسیده از امواج کوتاه است، در حالی که سمبل‌هایی از امواج طولانی قبلی را دریافت می‌کند و بر روی سمبل مورد نظر منعکس می‌شود. بنابراین این دو سمبل روی هم رفتگی پیدا کرده و نوع خاصی از تداخل به نام *تداخل بین سمبلی (ISI)*^۳ را پدید می‌آورد. (شکل ۳-۱۱)

-
1. Coherence Bandwidth
 2. Delay Spread
 3. Inter Symbol Interference



شکل ۳-۱۱ تولید تداخل بین سمبلی در یک محیط چند مسیری

اجازه دهید آخرین مثال زده شده در بخش قبل، که در آن تأخیر گسترده τ برابر $3.33\mu\text{s}$ بود را به کار ببریم. در آن مدل، اگر نرخ سمبل 120 Ksps و دوره سمبل $8.33\mu\text{s}$ باشد، در نتیجه، سمبل‌ها در بلندترین و کوتاه‌ترین موج 40% درصد روی هم افتادگی پیدا می‌کنند. این روی هم افتادگی، مقدار بزرگی از تداخل بین سمبلی را ایجاد می‌کند، که نهایتاً تا حد زیادی باعث افزایش نرخ خطا در گیرنده می‌شود. در صورتی که نرخ بیت افزایش پیدا کند، در نتیجه دوره سمبل افت پیدا می‌کند و این شکل رفته رفته بدتر می‌شود. این کار باعث خواهد شد تا تداخل بین سمبلی، یک مشکل برای همه سیستم‌های ارتباطی با نرخ بیت بالا باشد.

در این مباحث مشاهده کردیم، که محو شدگی وابسته به فرکانس و تداخل بین سمبلی در صورتی که تأخیر گسترده بزرگ باشند، مهم هستند. در واقع آنها عوامل و پدیده‌های یکسان با روش‌های مختلفی هستند: یک تأخیر گسترده بزرگ، باعث ایجاد هر دو مشکل محو شدگی وابسته به فرکانس و ISI خواهد می‌شود. سیستم‌های ارتباطی نسل دوم و سوم اغلب هر دو از یک وسیله‌ای به نام همسان ساز^۱ برای مقابله با آن استفاده می‌کنند، که با عبور دادن سیگنال‌های دریافتی از یک فیلتر، تلاش می‌کند تا با مدل سازی تأخیرهای زمانی، اثرات آن را خنثی کند. متأسفانه همسان سازها تجهیزات پیچیده‌ای هستند که کامل نمی‌باشند. در فصل چهارم مشاهده خواهیم کرد که چگونه روش دسترسی چندگانه OFDMA با مشکل یاد شده، به روش مطمئن‌تر و به طور مستقیم مقابله می‌کند.

۳-۴ مدیریت خطا

۳-۴-۱ تصحیح خطای ارسالی

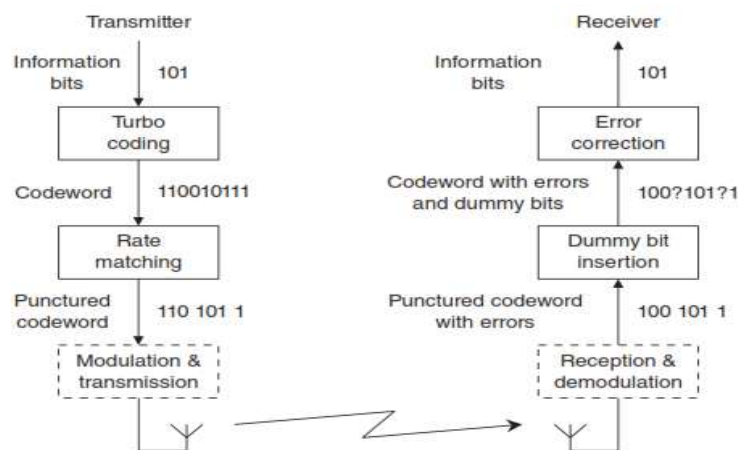
در بخش‌های قبلی مشاهده شد، که تداخل و نویز، خطاهای را به گیرنده سیستم‌های مخابراتی تحمیل می‌کنند. وجود این خطاها در طول یک تماس تلفنی خوب نیستند، اما صدمات بیشتری را به اطلاعات مهمی نظیر ایمیل‌ها و صفحات وب وارد می‌کنند. خوشبختانه این سرویس‌ها راه‌هایی برای حل این مشکلات دارند.

مهم‌ترین روشی که برای مقابله با خطا کار گرفته می‌شود، تصحیح خطای ارسالی (FEC)^۱ می‌باشد. در این روش، اطلاعات ارسالی با افزودن یک کلمه کد^۲ که دو برابر یا سه برابر اطلاعات اصلی هستند، ارسال می‌شوند. بیت‌های اضافی تأمین کننده داده‌های اضافه‌ای هستند که به گیرنده اجازه بازیابی ترتیب اطلاعات ارسالی را می‌دهند. برای مثال یک فرستنده اطلاعات ۱۰۱ را با استفاده از کلمه کد 110010111 ارسال می‌کند. بعد از آن که خطایی در بیت دوم رخ دهد، ممکن است گیرنده کلمه کد 100010111 را دریافت کند. چنانچه طرح کدینگ به درستی طراحی شده باشد، گیرنده با محاسبه کردن سیگنال دریافتی، خواهد فهمید که این یک کلمه کد نامعتبر می‌باشد و بسیار شبیه به کلمه کد 110010111 است. گیرنده در نتیجه قادر به تصحیح خطا بوده و اطلاعات اصلی را بازیابی می‌کند. اثر کلمه کد، بسیار شبیه به نوشتن انگلیسی می‌باشد که شامل حروف اضافه است و اجازه می‌دهد تا خواننده اطلاعات را بفهمد در حالی که از لحاظ املائی غلط‌هایی وجود دارد.

نرخ کدگذاری^۳، تعداد بیت‌های اطلاعات تقسیم بر تعداد بیت‌های ارسالی می‌باشد. (در مثال بالا نرخ کدگذاری ۱/۳ است). معمولاً، الگوریتم تصحیح خطای ارسالی (FEC) از یک نرخ کدگذاری ثابت استفاده می‌کند. با این وجود، یک فرستنده بی‌سیم با استفاده از دو مرحله‌ای که در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است، میزان نرخ کدگذاری خود را تنظیم می‌کند. در مرحله نخست، بیت‌های اطلاعات از طریق یک نرخ کدگذاری ثابت منتقل می‌شوند. مهم‌ترین الگوریتمی که توسط LTE به کار می‌رود، توربو کدینگ است که نرخ کدینگ آن ثابت و ۱/۳ می‌باشد. در مرحله

-
1. Forward Error Correction
 2. Codeword
 3. Code Rate

دوم که تطبیق نرخ^۱ نامیده می شود، برخی از بیت های کد شده برای ارسال انتخاب شده و سایر بیت ها تحت فرایندی به نام puncturing دور ریخته می شوند. گیرنده یک کپی از الگوریتم puncturing را دارد، بنابراین می تواند بیت های حذف شده را در نقاط حذف شده اطلاعات دریافتی درج کند. سپس گیرنده اطلاعات حاصل از یک کد گشای توربو برای تصحیح خطا عبور دهد.



شکل ۳-۱۲: بلاک دیاگرامی از گیرنده و فرستنده،

تصحیح خطای ارسالی (FEC) و تطبیق کننده نرخ

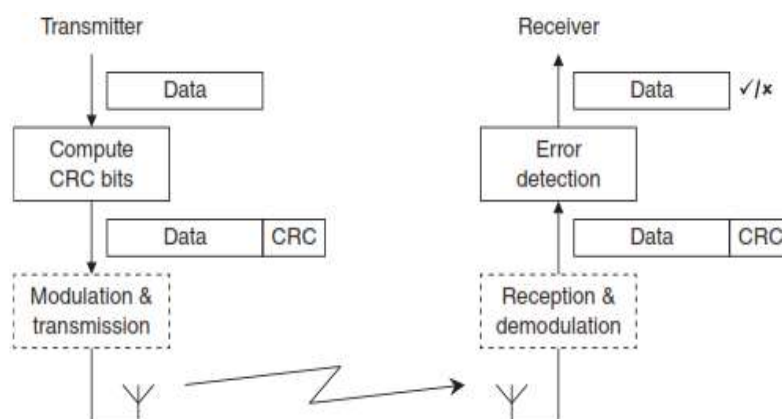
تغییر در کدگذاری، همانند تغییر در طرح مدولاسیون می باشد. اگر نرخ کدگذاری پایین باشد، در نتیجه داده های ارسالی دارای بیت های اضافی^۲ زیادی است. این کار اجازه می دهد تا گیرنده بتواند تعداد زیادی از خطاها را تشخیص دهد که در SINR های پایین تر موفقیت آمیز می باشد. اما نرخ کدگذاری پایین یک روش گرانقیمت است. اگر نرخ کدگذاری نزدیک به یک باشد، نرخ اطلاعات بسیار بالا است اما این سیستم در برابر خطا آسیب پذیر می باشد. چنانچه قبلاً هم در مورد مدولاسیون اشاره شد، LTE یک مصالحه ای را به کار می گیرد تا اگر SINR بالا باشد، نرخ کدگذاری را بالا می برد و در غیر این صورت SINR پایین باشد، نرخ کدگذاری را پایین می آورد.

۳-۴-۲ درخواست تکرار خودکار

درخواست تکرار خودکار (ARQ)^۳، روش دیگری از مدیریت خطا است، که در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است. در اینجا فرستنده یک بلوکی از بیت های اطلاعات را می گیرد و آنها را برای

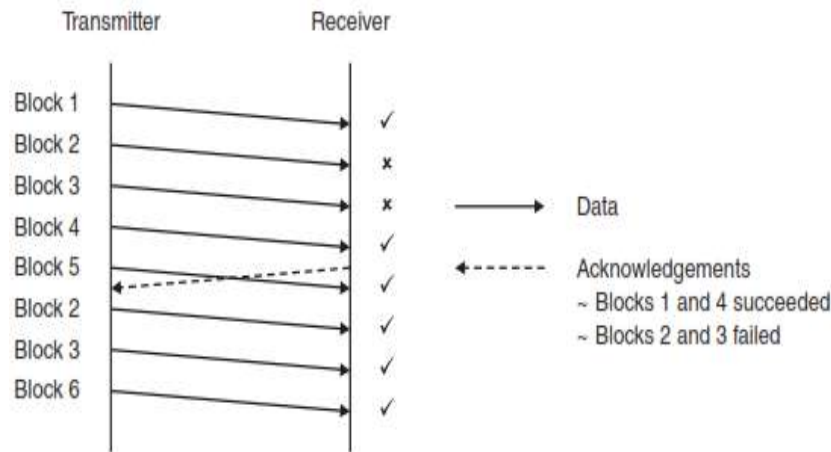
1. Rate Matching
2. Redundant Bit
3. Automatic Repeat Request

محاسبه بعضی از بیت‌های اضافی که CRC^۱ شناخته می‌شوند، به کار می‌گیرد. CRC به بلوک اطلاعات الحاق شده و به روش مرسوم در دو فیلد از اطلاعات منتقل می‌شود. گیرنده دو فیلد موجود را از هم جدا می‌کند تا با استفاده از بیت‌های اطلاعات، بیت‌های CRC در نظر گرفته شده، را محاسبه کند. اگر بیت‌های CRC محاسبه شده و در نظر گرفته شده برابر باشند، اطلاعات رسیده به درستی دریافت شده است و یک تصدیق (ACK) مثبت به فرستنده جهت اعلام دریافت صحیح اطلاعات ارسالی، می‌فرستد. اگر بیت‌ها با CRC به دست آمده برابر نباشد، گیرنده تشخیص می‌دهد، که یک خطایی رخ داده است و یک عدم تصدیق (NACK) به فرستنده ارسال می‌کند و درخواست ارسال دوباره از فرستنده می‌کند. تصدیق و عدم تصدیق معمولاً به طور اختصار با ACK و NACK نشان داده می‌شود.



شکل ۳-۱۳ بلوک دیاگرامی از یک گیرنده و فرستنده با استفاده از درخواست تکرار خودکار

یک سیستم ارتباطی بی‌سیم، اغلب دو روش مدیریت خطا را که در بالا بیان شد، را با هم ترکیب می‌کند. به این صورت که سیستم اغلب خطاها را با استفاده از FEC تصحیح می‌کند، سپس در خواست تکرار خودکار (ARQ) را برای تصحیح باقیمانده خطاها اعمال می‌کند.



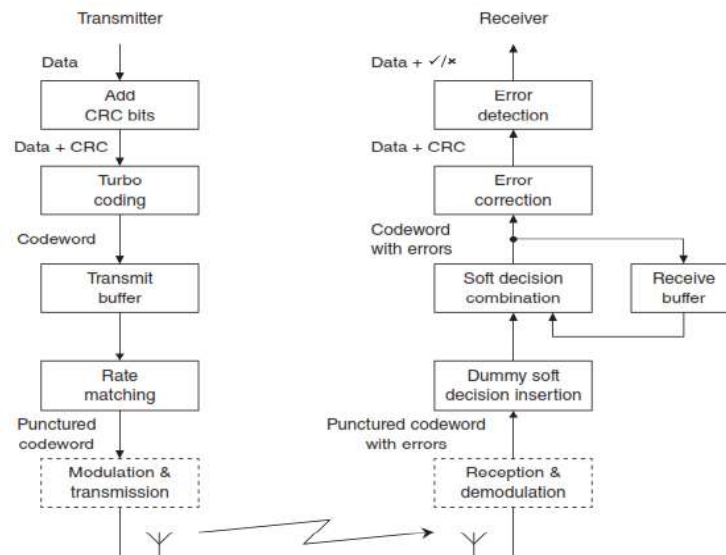
شکل ۳-۱۴ عملکردی از طرح ARQ ارسال مجدد انتخابی

به طور معمول، ARQ از یک روشی به نام انتقال مجدد/انتخابی^۱ شکل ۳-۱۴ استفاده می کند و در آن گیرنده منتظر می ماند، قبل از آن که ACK همه آنها را ارسال کند، چند بلوک از داده را دریافت کند. این کار باعث می شود تا فرستنده بدون این که منتظر دریافت ACK داده های ارسالی شود، به ارسال خود ادامه می دهد. اما این بدان معنی است که ارسال دوباره هر داده ای، زمان زیادی را برای رسیدن به گیرنده می برد. در نتیجه این روش برای جریان های غیر بلادرنگ نظیر صفحات وب و ایمیل ها مناسب می باشد.

۳-۴-۳ ترکیبی ARQ

روش ARQ که در بخش قبل توصیف شد، به خوبی کار می کند، اما یک نقصی دارد: اگر یک بلوکی از داده خراب شود CRC آن را بررسی می کند و گیرنده آن را دور می ریزد. با این وجود، واقعیت این است که داده یاد شده دارای سیگنال های انرژی سودمندی است. اگر ما راهی برای استفاده از این انرژی سودمند پیدا کنیم، می توانیم یک گیرنده بهتری را طراحی می کنیم. این ایده باعث طراحی یک روشی به نام ترکیبی ARQ (HARQ)^۲ گردید، که در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است.

1. Selective Retransmission
2. Hybrid ARQ



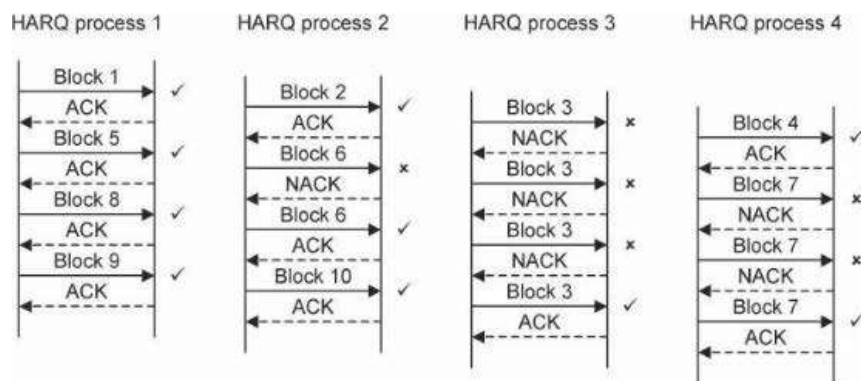
شکل ۳-۱۵ بلوک دیاگرامی از گیرنده و فرستنده با استفاده از HARQ

در این روش، فرستنده داده را همانند روش قبل ارسال می‌کند، گیرنده داده‌های دریافت شده را دمدوله می‌کند. اما در این لحظه، HARQ داده‌های دریافت شده را از تصمیم نرم عبور می‌دهد و به جای آن به تصمیم سخت می‌فرستد. گیرنده درج تصمیم نرم صفر را با احتساب بیت‌هایی که فرستنده حذف کرده است، را انجام می‌دهد و کلمه کد حاصل را در بافر خود ذخیره می‌کند. سپس کلمه کد را از طریق مراحل تشخیص و تصحیح خطا به پیش برده و سپس یک ACK به فرستنده برمی‌گرداند.

اگر CRC درست نباشد، فرستنده داده را دوباره ارسال می‌کند، در این لحظه گیرنده داده‌هایی که بار اول ارسال شده است و نیز داده‌های مجدداً ارسال شده، را با تصمیم نرم ترکیب می‌کند. این کار باعث بهبود انرژی سیگنال می‌شود، در نتیجه این کار، راستی آزمایی عملکرد CRC بهبود داده می‌شود. بنابراین، این طرح، یک روش بهینه‌تری از ARQ ابتدایی را ارائه می‌دهد که در آن انتقال اولیه دور ریخته شد.

معمولاً، HARQ از یک روش ارسال مجدد به نام *stop and wait* استفاده می‌کند، که در آن فرستنده قبل از آن که داده جدیدی ارسال کند یا انتقال مجددی انجام دهد، منتظر می‌ماند. این روش باعث ساده سازی سیستم شده و تأخیرات زمانی را کاهش می‌دهد، که HARQ را برای انتقال جریان‌های بلادرنگ نظیر صوت مناسب می‌سازد. پس، به این معنی که گیرنده تا ACK را

دریافت نکند، متوقف می شود. برای جلوگیری افت نرخ گذردهی، سیستم داده ها را بین چندین پردازش HARQ^۱ به اشتراک می گذارد و چندین کپی از شکل ۳-۱۵ را خواهیم داشت، که یک پردازش می تواند زمانی که سایر پردازش ها منتظر دریافت ACK هستند، انتقال را انجام دهد. این فرایند در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۶ عملکرد چندگانه پردازش های HARQ در ارتباط با عملکرد

یک ارسال مجدد به روش stop and wait

استفاده از پردازش های HARQ چندگانه به این معنی است، که گیرنده بلاک های داده را در ترتیب های متفاوت تر، از ترتیب ارسال آنها کدگذاری می کند. برای مثال در شکل ۳-۱۶ بلوک ۳، چهار بار منتقل شده و تنها چند لحظه بعد از بلوک ۴ کد گذاری شده است. برای مقابله با این مشکل، گیرنده دارای یک تابع مرتب کننده مجدد است، که بلوک های دریافت شده را به ترتیب اولیه آنها بر می گرداند.

تنها یک مشکل در این جا وجود دارد. اگر داده های اولیه به شکل بدی توسط تداخل صدمه دیده باشند، قبل از آن که گیرنده با تداخل غلبه کند، داده های ارسالی از ارسال های مجدد را می گیرد. برای کاهش اثر تأخیرات حاصل شده، یک پردازش HARQ معمولاً به گونه ای پیکربندی شده است که بعد از چند تلاش مجدد ناموفق، بلاک اطلاعات را به طور کامل منتقل می کند. در یک سطح بالا، یک ARQ پایه ای تنها مشکلات را شناسایی می کند و از فرستنده می خواهد، بلاک خراب شده را از اول دوباره ارسال کند. LTE پیاده سازی این شیوه را با استفاده از

HARQ، در لایه فیزیکی به کار می‌برد. در انتقال پروتکل کنترل لینک رادیویی (RLC) از طرح ARQ اولیه استفاده می‌کند.

منابع و مآخذ این فصل

1. Goldsmith, A. (2005) *Wireless Communications*, Cambridge University Press.
2. Molisch, A.F. (2010) *Wireless Communications*, 2nd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
3. Rappaport, T.S. (2001) *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd edn, Prentice Hall.
4. Tse, D. and Viswanath, P. (2005) *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge University Press.
5. Parsons, J.D. (2000) *The Mobile Radio Propagation Channel*, 2nd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
6. Saunders, S. and Aragón-Zavala, A. (2007) *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, 2nd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
7. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 5.8, 6.13, February 2013.

فصل چهارم: دسترسی چندگانه به روش تقسیم

فرکانس‌های متعدد (OFDMA)

روش استفاده شده در مخابرات رادیویی LTE به نام دسترسی چندگانه به روش تقسیم فرکانس‌های متعامد (OFDMA)^۱ است. OFDMA عملکرد مشابه سایر روش‌های دسترسی چندگانه را به کار می‌برد و اجازه می‌دهد، یک ایستگاه پایه با تعداد بیشتری از موبایل‌های مختلف در یک لحظه در ارتباط باشد. با این حال، OFDMA یک روش بهینه‌ای از بهره‌وری طیفی را به کار می‌گیرد و مسائل مربوط به محو شدگی و تداخل بین سمبلی (ISI) را که ما در فصل سه به آنها پرداختیم، به حداقل می‌رساند. در این فصل، ما مفاهیم پایه‌ای از OFDMA را بیان خواهیم کرد و مزایای استفاده از آن را در شبکه‌های سلولی موبایل را بیان می‌کنیم. علاوه بر آن، ما یک روش اصلاح شده‌ای از انتقال رادیویی به نام دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس حامل منفرد (SC-FDMA)^۲ که در لینک فراسو LTE به کار می‌رود، را پوشش خواهیم داد.

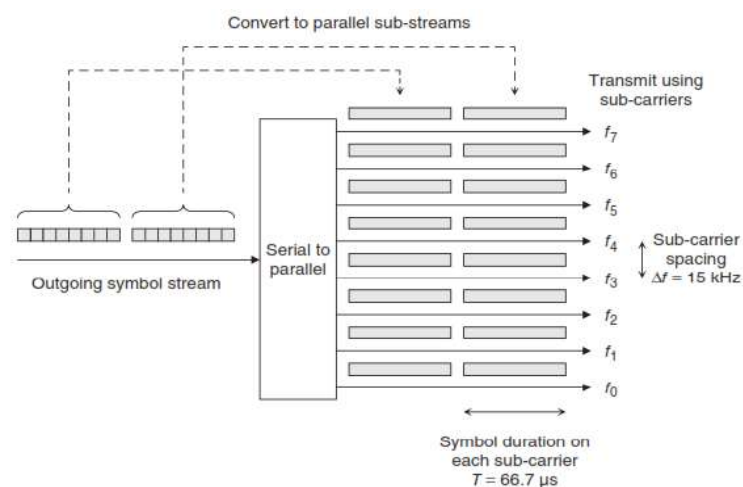
OFDMA علاوه بر LTE در سایر سیستم‌های ارتباطی رادیویی نظیر شبکه‌های بی‌سیم محلی (WLAN)، استاندارد IEEE 802.11 (نسخه‌های n,g,a)، (IEEE802.16) WiMAX، تلویزیون‌های دیجیتال و پخش رادیویی به کار می‌رود. اما LTE اولین سیستمی است که از SC-FDMA استفاده کرده است.

۴-۱ مفاهیم OFDMA

۴-۱-۱ زیر حامل‌ها

در فصل سوم، چگونگی انتقال داده توسط یک سیستم سستی را با استفاده از سیگنال‌های حامل مشاهده کردیم. LTE یک نسخه اصلاح شده‌ای از این روش را که به *مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس متعامد (OFDM)*^۳ معروف است، را به کار می‌برد. همان گونه که در شکل ۴-۱ مشاهده می‌شود، یک فرستنده OFDM بلوکی از سمبل‌های دریافتی را می‌گیرد و هر سمبل را روی فرکانس‌های رادیویی مختلف که *زیر حامل*^۴ نامیده می‌شود، منتقل می‌کند. پهنای باند تک تک زیر حامل‌ها کوچک است. بنابراین، این زیر حامل‌ها تنها از نرخ سمبل پایینی پشتیبانی می‌کنند. اما در مجموع، زیر حامل‌ها، همان پهنای باندی که در سیستم حامل‌های منفرد سستی اشغال می‌شد، را اشغال می‌کنند. اگر سایر عوامل بدون تغییر بماند، در مجموع نرخ سمبل آنها یکسان است.

-
1. Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access
 2. Single Carrier-Frequency Division Multiplexing Access
 3. Orthogonal Frequency Division Multiplexing
 4. Sub-Carrier



شکل ۴-۱ تقسیم باند فرکانسی در زیر حامل‌ها با استفاده از OFDM

در OFDM، فاصله زیر حامل Δf وابسته به دوره سمبل T روی هر زیر حامل منفرد است. که به صورت زیر بیان می‌شود:

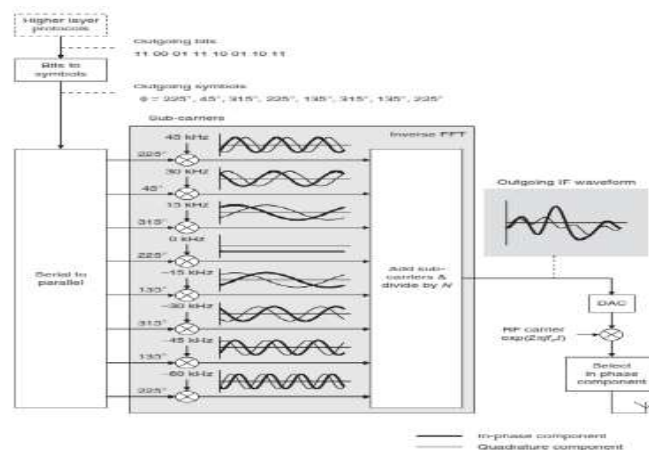
$$\Delta f = \frac{1}{T} \quad (4-1)$$

در این رابطه، (Δf) به دلخواه انتخاب می‌شود: که دلایل این کار بعداً روشن خواهد شد، اما برای این اصل استوار است، که پهنای باند زیر حامل‌ها و نرخ سمبل‌ها باید تقریباً برابر باشند. در LTE دوره سمبل برابر $66.7 \mu\text{s}$ است، در نتیجه فاصله زیر حامل‌ها از هم 15 KHz خواهد بود. هر سلول می‌تواند تا 1200 زیر حامل را پشتیبانی کند که 18 MHz از یک 20 MHz باند اختصاص داده شده، را اشغال می‌کند. در صورتی که پهنای باند سلول کوچکتر باشد، ما به سادگی تعداد زیر حامل‌ها را به تناسب آن کاهش می‌دهیم.

بر اساس این اعداد و ارقام، می‌توانیم انتظار داشته باشیم که هر زیر حامل نرخ سمبلی برابر 15 Ksps را خواهد داشت. در عمل، نرخ سمبل مقداری پایین‌تر و معمولاً 14 Kpsps است، چرا که سمبل‌های متوالی با یک فضای خالی کوچک که پیشوند چرخشی (CP) گفته می‌شود، از هم جدا می‌شوند. ما دلیل به کار بردن پیشوند چرخشی را خواهیم دید.

۴-۱-۲ فرستنده OFDM

شکل ۴-۲ اجزاء مهم یک فرستنده OFDM را نشان می‌دهد. فرستنده جریانی از بیت‌ها را از پروتکل‌های لایه‌های بالاتر گرفته و آنها را با استفاده از طرح مدولاسیون انتخابی به سمبل‌ها تبدیل می‌کند، به عنوان مثال طرح مدولاسیون QPSK را به کار می‌برد.



شکل ۴-۲ مراحل پردازش در یک فرستنده OFDM

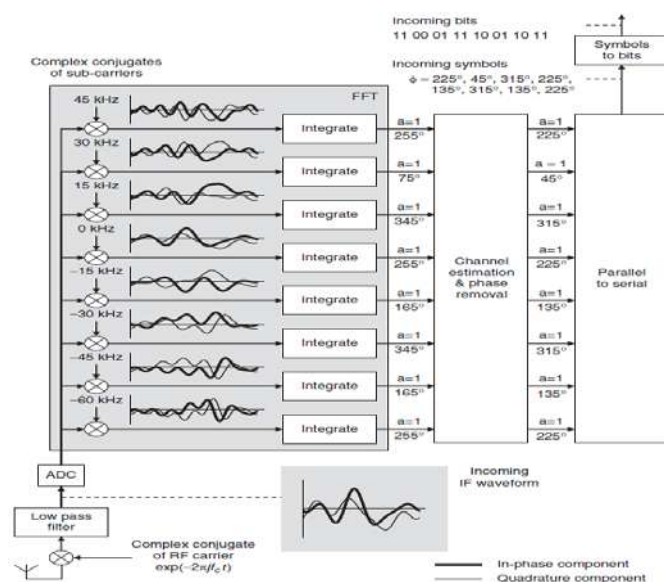
سپس مبدل سریال به موازی یک بلوکی از N سمبل (در این مثال هشت سمبل) را می‌گیرد و به طور مستقیم آنها را به N زیر جریان‌های^۱ موازی تبدیل می‌کند. فرستنده هر زیر جریان را با یک زیر حامل، که فرکانس آن ضریبی از 15 kHz است، مخلوط می‌کند. با استفاده از مدولاتور آنالوگ فصل سوم، ما می‌توانیم هر زیر حامل را به عنوان یک فرکانس متوسط (IF) معنی کنیم، که در نهایت سیگنال مدوله شده در یک فرکانس، کمی متفاوت از فرکانس رادیویی (RF) حامل F_c منتقل خواهد شد. برای سازگاری با مشخصات LTE، بهتر است زیر حامل‌ها در فرکانس‌هایی از +45 kHz، ...، -45، -60 قرار داده شوند، بنابراین حامل‌های رادیویی (RF) تقریباً در مرکز باند انتقال قرار خواهند گرفت. دوره سمبل متناسب با فاصله زیر حامل‌ها است، بنابراین 15 kHz زیر حامل از طریق یک دوره چرخشی 66.7 μs سمبل می‌رود، در حالی که زیر حامل‌ها در 30 و 45 kHz از طریق دو یا سه چرخش منتقل می‌شوند.

حال ما هشت موج سینوسی داریم، که فاز و دامنه آنها، هشت سمبل را ارسال می‌کنند. با اضافه کردن این سیگنال‌های سینوسی در هم و جداسازی آنها از هم، با فاکتوری به نام فاکتور

مقیاس N ، می‌توانیم یک شکل موج منفرد در زمان را تولید کنیم، که یک سیگنال باند متوسط IF است که ما می‌خواستیم آن را ارسال کنیم. حال تنها کار باقی مانده مخلوط کردن شکل موج با RF برای انتقال است. در نتیجه، ما می‌توانیم به این صورت تفسیر کنیم که فرستنده OFDM یک بانکی از مدولاتورهای باند متوسط است، که هر کدام از آنها به افست فرکانسی زیر حامل مربوطه تبدیل شده است.

۴-۱-۳ گیرنده OFDM

شکل ۴-۳ اجزاء مهم یک گیرنده OFDMA را نشان می‌دهد. با توجه به این که در فصل سوم با دمدولاتور آشنا شدیم، پس می‌توانیم طرز کار گیرنده را بهتر درک کنیم. گیرنده، سیگنال‌های رسیده را می‌گیرد، آنها را با یک کپی مزدوج مختلط فرکانس رادیویی اصلی مخلوط کرده و در نهایت نتیجه را فیلتر می‌کند. سپس گیرنده سیگنال‌ها را در هشت مسیر از هم جدا می‌کند پس از آن، هر کدام از آنها را با کپی مخلوط مزدوج زیر حامل‌های اصلی مخلوط می‌نماید. اطلاعاتی که بر روی آن زیر حامل‌ها رسیده‌اند، در حال حاضر یک فرکانسی از صفر هستند. با انتگرال‌گیری از نتیجه برای یک دوره سمبل، گیرنده می‌تواند دامنه و فاز سمبل را که بر روی زیر حامل رسیده است را به دست آورد، نویز و تداخل را حذف می‌کند.



شکل ۴-۳ مراحل پردازش یک گیرنده OFDM

1. Scale Factor

چنانچه ما در فصل سوم اشاره کردیم، هر زیر حامل به وسیله یک شیفت فازی تصادفی ψ قبل از این که به گیرنده برسد، تغییر پیدا می‌کند. برای مقابله با این مشکل، OFDMA سمبل‌های مرجع را در داخل جریان اطلاعات تزریق می‌کند که این سمبل‌های مرجع دامنه و فاز در مشخصات 3GPP مربوط به آن‌ها تعریف شده است. در فرایند تخمین کانال، گیرنده سمبل‌های مرجع را اندازه‌گیری و محاسبه می‌کند و یکی از آن‌ها را با مشخصات تعریف شده مقایسه کرده و در نتیجه تغییر دامنه و فاز را از روی آن حذف می‌کند.

در شکل ۴-۳ فرض کرده‌ایم، که هر زیر حامل به میزان 30° تغییر فاز داده شده است، اما در حضور محو شدگی وابسته به فرکانس، تغییر فاز، یک تابع تغییر کوچکی از فرکانس و همچنین زمان می‌باشد. برای پرداختن به این موضوع، سمبل‌های مرجع LTE به طور پراکنده در سراسر دامنه زمان و فرکانس هستند، که ما آن را در فصل هفتم بررسی خواهیم کرد. گیرنده پس از آن می‌تواند تغییر فاز ψ را به عنوان تابعی از فرکانس اندازه‌گیری کند و یک تصحیح فاز متفاوتی را برای هر یک از زیر حامل‌ها به کار گیرد.

بعد از مرحله حذف تغییر فاز، گیرنده سمبل‌ها را با استفاده از مبدل موازی به سریال، به ترتیب اصلی برمی‌گرداند و بیت‌های ارسال شده را بازیابی کند. ما می‌توانیم، گیرنده OFDM را به عنوان یک بانکی از دمدولاتورهای بانده متوسط در نظر بگیریم که هر کدام از آن‌ها به افست فرکانسی مربوط به هر زیر حامل تنظیم شده است.

۴-۱-۴ تبدیل فوریه سریع

حال اجازه دهید به یک نقطه مهم از زنجیره پردازش گیرنده، نگاهی بیندازیم. سریعاً، بعد از فیلتر پایین گذر (LPF)، داده‌ها اجزایی از عناصر هم‌فاز و متعامد سیگنال ورودی بوده و به عنوان تابعی از زمان هستند. پس از انتگرال‌گیری، در مرحله بعد، داده‌ها اجزای فازی و دامنه هریک از زیرحامل‌ها و به عنوان تابعی از فرکانس می‌باشند. می‌توان دید که مراحل، انتگرال‌گیری و ادغام، داده‌ها را از یک تابعی از زمان به یک تابعی از فرکانس تبدیل می‌کند.

این تبدیل، در واقع یک روش محاسباتی به نام تبدیل فوریه گسسته (DFT)^۱ است. با استفاده از این روش، ما می‌توانیم مراحل ادغام و انتگرال‌گیری شکل ۴-۳ را حذف کنیم. در عوض، ما داده‌هایی که در حوزه زمان هستند، به داخل یک تابع تبدیل گسسته (DFT) می‌بریم و از خروجی آن، داده‌هایی را در حوزه فرکانس بر می‌داریم. فرستنده OFDM داده‌های حوزه

1. Discrete Fourier Transform

فرکانس را دقیقاً به همین صورت به حوزه زمان می‌برد، که به این روش تبدیل فوریه گسسته معکوس ($IDFT$)^۱ می‌گویند.

در ادامه، تبدیل فوریه گسسته می‌تواند بسیار سریع با یک الگوریتمی به نام تبدیل فوریه سریع (FFT)^۲ اجرا شود، که FFT بار محاسباتی بر روی گیرنده و فرستنده را کاهش می‌دهد و اجازه می‌دهد دو وسیله (فرستنده و گیرنده) با یک راه محاسباتی بهینه کار کنند. کتاب‌های زیادی در باره تبدیل فوریه موجود می‌باشد که منبع [۱-۲] مثال‌هایی از آنها هستند که خوانندگان در صورت تمایل می‌توانند به آنها مراجعه نمایند.

در اینجا یک مسئله مهم وجود دارد: برای کار کردن دقیق FFT ، نقاط داده هر محاسبه باید توانی از دو یا تنها یک عدد اول کوچک باشد. معمولاً این محدودیت را با توانی از دو در نقاط داده بعدی از FFT حل می‌کنیم، برای مثال، ما معمولاً در LTE ، داده را بر روی ۱۲۰۰ زیر حامل منتقل می‌کنیم، که ۲۰۴۸ نقطه داده را بکار می‌گیریم، ولی ۱۲۰۰ تا از آن استفاده می‌شود، باقی مانده آنها را صفر درج می‌کنیم، چرا که باید نقاط داده توانی از دو باشند.

۴-۱-۵ بلوک دیاگرام OFDMA

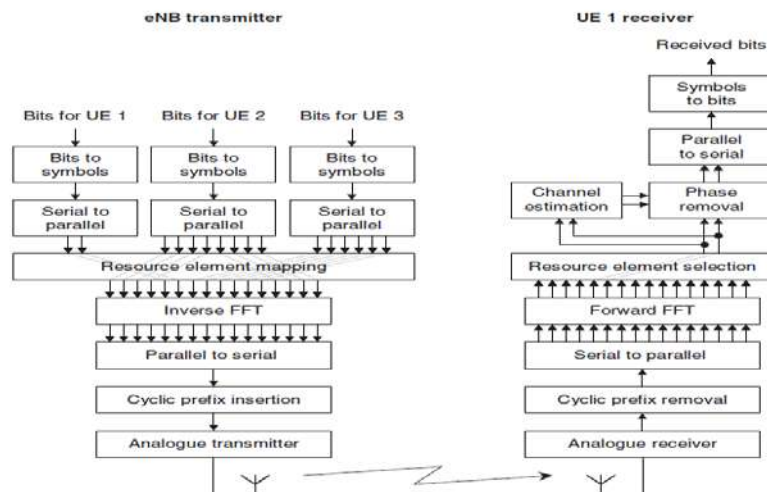
شکل ۴-۴ بلوک دیاگرام گیرنده و فرستنده یک $OFDMA$ را نشان می‌دهد. فرض بر این است، که ما آن را در لینک فروسو به کار می‌گیریم. در نتیجه فرستنده‌های آنها در ایستگاه‌های پایه و گیرنده‌های آنها در موبایل‌ها قرار هستند.

ایستگاه پایه، جریان‌های داده را به سه موبایل مختلف ارسال می‌کند. (در شکل ۴-۴). در نتیجه، این بلاک دیاگرام یک پیاده‌سازی $OFDMA$ را نشان می‌دهد. ایستگاه پایه هر جریان داده را به طور مستقل مدوله می‌کند و در صورت امکان برای هر موبایل یک طرح مدولاسیون را به کار می‌برد. پس از آن، ایستگاه پایه جریان سمبل را از یک مبدل سریال به موازی عبور می‌دهد، تا آن را به زیر جریان‌هایی جداسازی کند. تعداد زیر جریان‌ها بستگی به نرخ بیتی دارد که موبایل درخواست می‌کند. به عنوان مثال، یک جریان صوتی نیاز به جریان‌های کمتری دارد، در حالی که یک کاربرد ویدیویی نیازمند تعداد خیلی بیشتری از زیرجریان‌ها است.

نگاشت کننده عناصر منبع^۳، زیر جریان‌ها را گرفته و زیر حامل‌هایی که آنها را منتقل می‌کند، را انتخاب می‌کند. زیر حامل‌های یک موبایل ممکن است داخل یک بلوک پیوسته (مثل موبایل‌های ۱ و

1. Inverse Discrete Fourier Transform
2. Fast Fourier Transform
3. Resource Element Mapper

۳) قرار گیرند یا ممکن است، آنها از از هم جدا باشند (موبایل ۲). اطلاعات بدست آمده دامنه و فازهایی از زیر حامل‌های می‌باشند که به عنوان تابعی از فرکانس هستند. با عبور این جریان اطلاعات از داخل یک تابع تبدیل فوریه سریع معکوس (IFFT)، می‌توانیم مقادیر in-phase و متعامد آن را مطابق شکل موج حوزه زمان حساب کنیم و سپس با قرار دادن آن در داخل یک مبدل موازی به سریال آن را به ترتیب اصلی برگردانیم (این مرحله در شکل ۴-۲ آورده نشده با اینحال توضیح داده شد). سپس، پیشوند چرخشی که قبلاً به آن اشاره شده است، را قرار می‌دهیم. سیگنال حاصل با فرکانس رادیویی ترکیب شده و به شکل آنالوگ، جهت ارسال در می‌آید.



شکل ۴-۴ بلوک دیاگرام فرستنده و فرستنده OFDMA

موبایل عکس عملیات یاد شده را انجام می‌دهد. موبایل با نمونه‌برداری از سیگنال ورودی شروع می‌کند، پس آن را به باند پایه تبدیل کرده و عملیات فیلترینگ، برای حذف اطلاعات زاید را انجام می‌دهد. سپس پیشوند چرخشی (CP) را حذف کرده و پس از آن، برای بازیابی دامنه و فاز زیر حامل، آن را به یک FFT منتقل می‌کند. ما در حال حاضر فرض را بر این می‌گذاریم، که ایستگاه پایه از طریق روش‌های زمانبندی که در فصل هشت توضیح خواهیم داد، به موبایل گفته است، که کدام زیر حامل‌ها را استفاده کند. با استفاده از این اطلاعات، موبایل زیر حامل‌های مورد نیاز را انتخاب می‌کند، اطلاعات منتقل شده را بازیابی می‌کند و اضافات آن را دور می‌ریزد. بعد از مراحل تخمین کانال و حذف تغییر فاز، موبایل بیت‌های منتقل شده را بازیابی کرده و می‌تواند آنها را به پروتکل‌هایی لایه بالاتر منتقل کند.

۴-۱-۶ جزئیاتی از تبدیل فوریه

برای افراد علاقه‌مند به ریاضیات، که اطلاعات کافی برای نوشتن معادلات تبدیل فوریه گسسته دارند، این روابط را در اینجا ارائه می‌دهیم (سایر خوانندگان می‌توانند، این بخش را نخوانده و آن را حذف کنند) با مراجعه به شکل ۴-۳ ما می‌توانیم مراحل ادغام و انتگرال‌گیری، را به صورت زیر بنویسیم:

$$Z(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} Z(t_k) \exp(-2\pi j f_n t_k) \quad (4-2)$$

در این رابطه، $Z(f_n)$ یک تابع مختلط است، که فاز و دامنه n ام از یک زیر حامل خروجی در یک فرکانس f_n را نشان می‌دهد و در خروجی مرحله انتگرال‌گیری اندازه‌گیری شده است. $Z(t_k)$ عدد مختلط دیگری است، که اجزاء in-phase و متعامد k امین نمونه ورودی در زمان t را نشان می‌دهد، که در خروجی فیلتر پایین‌گذر اندازه‌گیری شده است. ترم $\exp(-2\pi j f_n t_k)$ بیان‌کننده کپی مزدوج مختلط زیر حامل گیرنده است و علامت Σ بیان‌گر، عمل انتگرال‌گیری است. N تعداد نمونه‌های ورودی به ازای هر سمبل است.

حال ما باید مقادیر f_n و t_k را بنویسیم. اگر نمونه داده‌های ورودی دارای یک فاصله یکنواخت Δt از هم باشند. در این صورت می‌توانیم زمان‌های نمونه را به شکل زیر بنویسیم.

$$Z_k = k T = k 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$= \frac{kT}{N}$$

در اینجا، Δt فاصله نمونه‌برداری است و T دوره سمبل می‌باشد. معقول به نظر می‌رسد و صحیح است که فرض کنیم تعداد زیر حامل‌ها باید برابر نمونه‌های هر سمبل باشد. بنابراین خروجی معادله ۴-۲، همان مقدار اطلاعات ورودی را نتیجه خواهد داد. پس ما می‌توانیم فرکانس‌های زیر حامل‌ها را به صورت زیر بنویسیم. موضوعی که یک بار دیگر آن را در زیر می‌بینیم.

$$f_n = n \Delta f \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$= \frac{n}{T} \quad (4-4)$$

در اینجا Δf فاصله زیر حامل‌هاست، با جایگزینی این عبارت به دست آمده در داخل معادله ۲-۴، تابع تبدیل فوریه گسسته به دست می‌آید:

$$Z_n = -\sum_{k=0}^{N-1} Z_k \exp\left(\frac{2\pi jnk}{N}\right) \quad (5-4)$$

در اینجا $Z_n = Z(f_n)$, $Z_k = Z(t_k)$ است. به همین روش، ما می‌توانیم مراحل ادغام، افزودن و مقیاس‌پذیری فرستنده را در معادله ۲-۴ را به شکل زیر بیان کنیم.

$$Z(t_k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Z(f_n) \exp(2\pi j f_n t_k) \quad (6-4)$$

اگر همین جایگزینی بالا را مثل قبل، انجام دهیم، ما به معادله‌ای برای تبدیل فوریه گسسته معکوس (IDFT) خواهیم رسید.

$$Z_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Z_n \exp\left(\frac{2\pi jnk}{N}\right) \quad (7-4)$$

قبلاً، ما نکته‌ای را در مورد انتخاب فرکانس زیرحامل‌ها، بیان کردیم. در معادله ۴-۴ ما زیر حامل‌ها را در فرکانس‌هایی از $n\Delta f$ قرار دادیم، که n یک عدد تصادفی از صفر تا $N-1$ بود. این انتخاب نشان می‌دهد، که هشت زیرحاملی که در مثال‌های قبلی زده شدند، در آفست‌های فرکانسی 0، 15، 30، ...، 105 kHz از حامل RF قرار دارند. این آفست فرکانسی با آنچه انتظار داشتیم فرق دارد، که ما در معادلات ۲-۴ و ۳-۴ به دست آوردیم. اما واقعیت این است که این مقادیر یکسان می‌باشند. هنگام استفاده از هشت زیر حامل، فاصله نمونه‌برداری از معادله ۳-۴، برابر $8.33 \mu s$ است. در طول این مدت زمان، زیر حامل 60 kHz، دقیقاً از طریق یک نیم چرخش می‌رود و زمان 60 kHz- که غیر قابل تشخیص می‌باشد، نیز از طریق یک نیم چرخش دیگر طی می‌شود. با همین استدلال، زیر حامل‌هایی که در 75، 90 و 105 kHz هستند، غیر قابل تشخیص از 45-، 30- و 15 kHz- می‌باشند. پس، در واقع، انتخاب زیر حامل‌های ما، دقیقاً برابر مقداری است که قبلاً ساختیم. تنها ما آن‌ها را به روش دیگر برچسب گذاری کردیم.

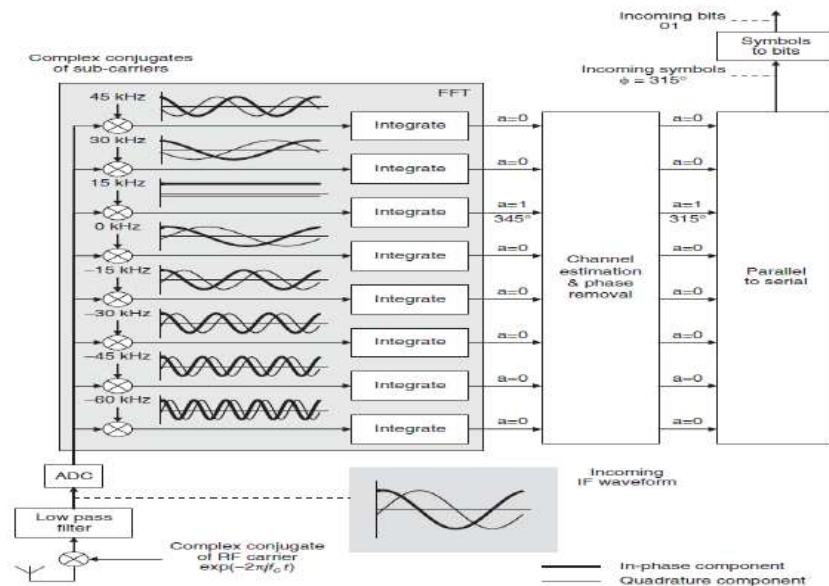
۴-۲ مزایا و ویژگی‌های اضافی OFDMA

۴-۲-۱ زیر حامل‌های متعامد

تا حالا OFDMA تنها یک راه دیگری از ارسال داده از یک فرستنده به گیرنده بود. این کار، البته مزایای زیادی هم داشت. در این بخش، ما مزایای OFDMA را بیان کرده و برخی از ویژگی‌های اضافی آن را توصیف می‌کنیم. برای شروع بحث، شکل ۴-۵، برخی از ویژگی‌ها را به گیرنده OFDMA، با استفاده از مثالی که در آن اطلاعات، تنها روی زیر حامل 15 kHz می‌رسد، اضافه می‌کند. هنگامی که سیگنال‌های رسیده، با یک کپی مزدوج مختلط از زیرحامل 15 kHz ادغام می‌شوند، نتیجه به دست آمده، در یک فرکانسی از صفر است. در صورت نیاز، در مرحله بعد با فرایند انتگرال‌گیری دامنه و فاز زیر حامل‌ها به دست می‌آید.

در قسمتی از گیرنده، که یک سطح پایین‌تر قرار دارد، سیگنال رسیده مخلوطی از المثنی مزدوج مختلط زیر حامل 0 kHz است، بنابراین نتیجه حاصله در فرکانسی از 15 kHz باقیمانده است. در دوره انتگرال‌گیری، سیگنال حاصل از طریق یک چرخش می‌رود، بنابراین مجموع اجزاء in-phase و متعامد آن هردو صفر خواهند شد. همچنین نتیجه می‌گیریم که هیچ اطلاعاتی روی زیر حامل‌های 0 kHz که قبلاً انتظار داشتیم، منتقل نشده است. یک سطح پایین‌تر دیگر، سیگنال‌های رسیده با یک المثنی مزدوج مختلط زیر حامل 15 kHz- ادغام می‌شوند، بنابراین نتیجه حاصله به فرکانس 30 kHz منتقل می‌شود. در طول دوره انتگرال‌گیر، سیگنال حاصل از طریق دو چرخش می‌رود، به همین جهت، مجموع دو مقدار in-phase و متعامد آن، همانند روش قبل برابر صفر خواهد بود.

می‌توانیم به این نتیجه برسیم، که اگر فرستنده یک سیگنال را روی یک زیر حامل ارسال کند، گیرنده تنها یک سیگنال را روی آن زیر حامل آشکارسازی می‌کند و تداخلی روی سایر زیر حامل‌ها نخواهد داشت. زیر حامل‌ها را به سبب این ویژگی، متعامد^۱ می‌گویند.



شکل ۴-۵ فرایند مراحل گیرنده در OFDM که اطلاعات رسیده تنها در زیر حامل 15 kHz قرار دارد

به دلیل این که زیر حامل ها متعامد هستند، فرستنده می تواند آنها را به فاصله خیلی نزدیک هم بچیند، بدون این که ترسی از تداخل آنها با هم، داشته باشد. این کار سبب می شود، که OFDMA از باند فرکانسی خود بطور بسیار بهینه ای استفاده کند و این یکی از دلایلی است، که بهره وری طیفی LTE از همه سیستم های مخابراتی موبایل قبل از خود بالاتر است. تعامد متکی بر این واقعیت است، که دوره سمبل T با فاصله زیر حامل Δf دارای رابطه دو طرفه است. مثلاً، در مثال بالا، ورودی های انتگرال های 0, 15 kHz- دقیقاً به ترتیب از طریق یک و دو چرخش می روند. بنابراین، دوره سمبلی که ما در ابتدای فصل انتخاب کرده بودیم را توجیه می کند.

۴-۲-۲ انتخاب فاصله زیر حامل

طبق استدلال بخش قبل، اگر موبایل ثابت باشد، به درستی کار می کند. در صورتی که، موبایل حرکت کند، سیگنال رسیده به آن در فرکانس های بالا یا پایین دارای شیفت داپلر خواهند بود. در فصل سوم، مثالی آورده شد، در صورتی که تغییر حرکت یک وسیله نقلیه را با یک شیفت داپلر در حدود 150 Hz تخمین بزنیم و زیر حامل آن 15 Hz باشد، در نتیجه این زیر حامل رسیده به آن وسیله در یک فرکانس 15.150 kHz خواهد بود. هنگامی که سیگنال با یک المثنی مزدوج مختلط زیر حامل 0 kHz ادغام شود، حاصل در 15.150 kHz باقی می ماند.

در طول دوره انتگرال‌گیری، این سیگنال از طریق مقدار کمی بیشتر از یک چرخش می‌رود، در نتیجه مجموع اجزاء in-phase و متعامد آن دیگر صفر نخواهد بود. پس، ما روی زیر حامل 0 kHz، تداخل دریافت می‌کنیم و با اضافاتی که از دیگر، زیر حامل‌ها می‌آید، ما تعامد سیگنال را از دست می‌دهیم.

ممکن است که ما به این فکر کنیم، که گیرنده می‌تواند برای غلبه بر مشکل از دست دادن تعامد، همان شیفت داپلر را بکارگیرد، تا کپی حامل‌های اصلی را تولید کند. متأسفانه، در محیط‌های چند مسیری، یک موبایل می‌تواند به سمت برخی از امواج حرکت کند، که آن امواج فرکانس آن را به فرکانس بالا تغییر می‌دهند، یا از امواجی دور شود، که فرکانس آنها کم است. در نتیجه، سیگنال‌های رسیده به سادگی شیفت پیدا نمی‌کنند در عوض، این سیگنال‌ها در یک بازه‌ای از فرکانس‌ها تیره و تار می‌شوند (نامفهوم می‌شود) که در واقع این ایده را بلااستفاده می‌کند. چنانچه، اگر شیفت داپلر کمتر از فاصله زیر حامل‌ها باشد، مقداری تداخل قابل قبول است. بنابراین ما نیازمند آن هستیم که فاصله زیر حامل Δf را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$\Delta f \gg f_D \quad (4-8)$$

در اینجا f_D شیفت داپلر، از معادله ۳-۱۲ است. LTE طوری طراحی شده است، که بتواند حداکثر تا سرعت تحرک، یک موبایل به اندازه 350 Km h^{-1} و حداکثر فرکانس حامل 3.5 GHz کار کند، که حداکثر شیفت داپلری در حدود 1.1 KHz را خواهد داشت. این مقدار ۷ درصد از فاصله حامل‌های آن است، در نتیجه شرط بالا را تأمین می‌کند.

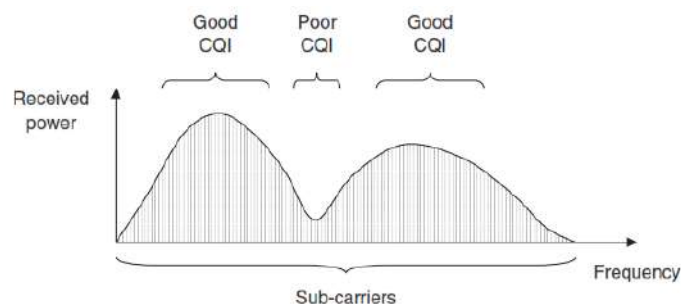
۴-۲-۳ زمان‌بندی فرکانس‌های خاص

قبلاً مشاهده کردیم، که یک ایستگاه پایه می‌تواند با اختصاص گروه‌هایی از زیر حامل‌های مختلف به موبایل‌ها، به طور همزمان به آنها ارسال داشته باشد. همان طور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود، زیر حامل‌هایی که ایستگاه پایه انتخاب می‌کند، تحت تأثیر محو شدگی وابسته به فرکانس قرار می‌گیرند.

در فصل سوم اشاره کردیم، که توان سیگنال دریافتی موبایل تابعی از فرکانس است. وقتی که از OFDMA استفاده می‌شود، باند فرکانسی به زیر حامل‌هایی تقسیم می‌شود، در نتیجه، موبایل توان سیگنال دریافتی را روی هر یک از گروه زیر حامل‌ها اندازه‌گیری می‌کند، که این کار را

بوسیله سیگنال‌های راهنما که در بالا توضیح داده شده است، انجام می‌دهد. سپس موبایل این اندازه‌گیری‌ها را از زیر حامل‌های مجاور دسته‌بندی می‌کند و نتیجه را با استفاده از یک سیگنال بازخورد به نام شاخص کیفیت کانال^۱ (CQI) به ایستگاه پایه ارسال می‌کند.

ایستگاه پایه شاخص کیفیت کانال (CQI) را به دو روش به کار می‌برد. نخست، ایستگاه پایه می‌تواند از طریق زیر حامل که دارای بالاترین توان سیگنال دریافتی است، برای انتقال داده به موبایل استفاده کند. سایر زیر حامل‌های بلااستفاده، توسط موبایل‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند، چرا که الگوی محو‌شدگی آنها متفاوت است، در حالی، که تخصیص زیر حامل‌ها به طور منظم هر میلی ثانیه در LTE تغییر پیدا می‌کند. دوم، ایستگاه پایه می‌تواند سریع‌ترین طرح مدولاسیون و نرخ کدگذاری که موبایل می‌تواند بپذیرد را شناسایی کند و به کار گیرد.



شکل ۴-۶ زمانبندی ویژه فرکانس با استفاده از OFDMA

این روش محدودیت‌هایی دارد، مثلاً برای سناریوهای که در آنها تأخیر گسترده کم و پهنای باند همدوسی بیشتر است، کاربرد مناسبی ندارد. اما در سناریوهای دیگر، یک فرستنده OFDMA می‌تواند این روش را برای کاهش شدت محو‌شدگی وابسته به زمان و فرکانس را بکار بگیرد. در فصل هشتم درباره جزئیات آن بیشتر صحبت خواهیم کرد.

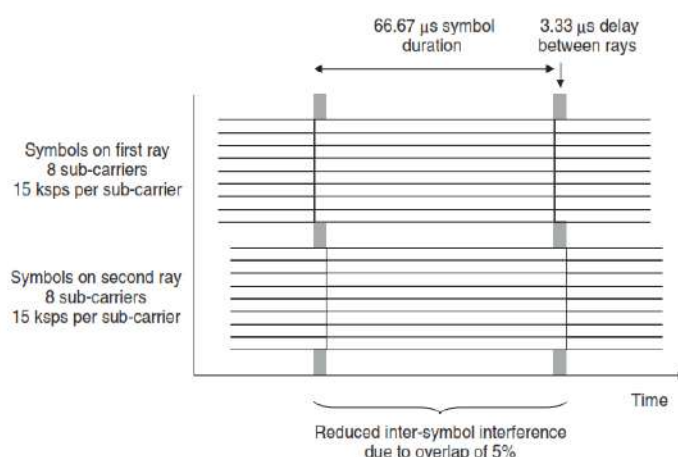
۴-۲-۴ - کاهش تداخل بین سمبلی

در فصل سوم، چگونگی رخ دادن تداخل بین سمبلی (ISI) در یک محیط چند مسیری با نرخ بیت بالا را شرح دادیم. به عنوان مثال، اگر در شکل ۳-۱۱ تأخیر گسترده $3.33 \mu s$ و نرخ سمبل

1. Channel Quality Indicator

120 ksps باشد، در نتیجه، سمبل‌ها با ۴۰ درصد روی هم افتادگی دریافت می‌شوند، که این مسئله تداخل و خطا را در گیرنده به وجود می‌آورد.

اگر داده را با استفاده از OFDMA روی چند زیر حامل مختلف به اشتراک بگذاریم، نرخ سمبل بر روی هر زیر حامل چند برابر کمتر از قبل می‌شود، در نتیجه، دوره سمبل چندین برابر طولانی‌تر خواهد شد، این کار باعث کاهش بزرگی در سطح ISI خواهد شد. شکل ۴-۷ یک مثال ساده را نشان می‌دهد. در این شکل ما داده‌های اصلی را در میان هشت زیر حامل تقسیم کردیم، نرخ سمبل بر روی هر زیر حامل 15 ksps و دوره سمبل $66.7 \mu\text{s}$ خواهد شد. اگر تأخیر $3.33 \mu\text{s}$ باقی مانده باشد، سمبل‌ها با ۵ درصد روی هم افتادگی دریافت خواهند شد، که در واقع ISI و نرخ خطا را با $\frac{1}{8}$ در گیرنده مواجه می‌سازد، به این ترتیب، ISI نسبت به قبل کاهش پیدا می‌کند، اگر تعداد زیر حامل‌ها افزایش پیدا کند، در نتیجه کاهش ISI بیشتر خواهد شد.



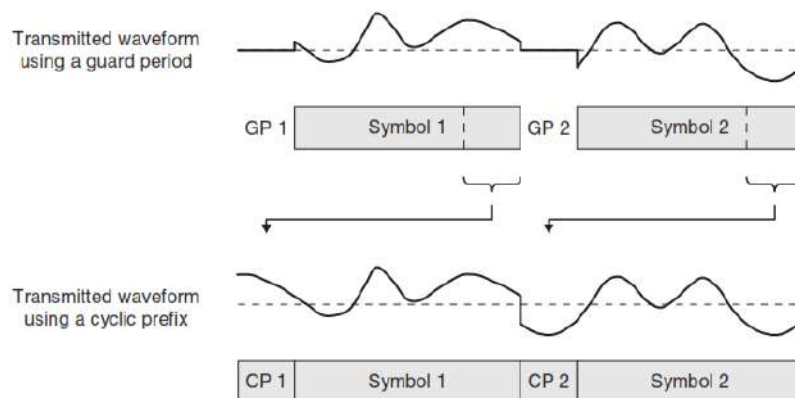
شکل ۴-۷ کاهش ISI بوسیله انتقال داده بر ی زیر حامل‌های مختلف (چند زیر حامل)

۴-۲-۵ درج پیشوند چرخشی

روش بعدی به ما اجازه می‌دهد، تا ISI را به طور کامل حذف کنیم. پایه‌ای‌ترین ایده این است، که یک دوره محافظ (GP) قبل از هر سمبل درج کنیم و در آن هیچ‌گونه اطلاعاتی ارسال

نمی‌شود. اگر دوره محافظ بزرگتر از تأخیر گسترده باشد، در نتیجه، گیرنده می‌تواند تنها اطلاعات موجود در یک سمبل را در آن زمان بخواند، بدون آن که سمبل‌ها، با سمبل‌های قبلی یا بعدی روی هم افتادگی داشته باشند. بطور طبیعی، سمبل‌هایی که بر روی امواج مختلفی منتقل شوند، در زمان‌های متفاوتی به گیرنده می‌رسند، نیاز به برخی پردازش‌های بیشتر برای مرتب‌سازی داده‌های نامنظم دارند. با این حال، این پردازش‌های اضافی نسبتاً سراسر است.

LTE یک روش نسبتاً پیچیده‌ای به نام درج پیشوند چرخشی^۱ را بکار می‌گیرد (شکل ۴-۸). در اینجا نیز مثل قبل، فرستنده در شروع، قبل از هر سمبلی یک دوره محافظ درج می‌کند. بنابراین، فرستنده کپی‌های داده‌ها را در انتهای دنباله سمبل‌ها تا رسیدن دوره محافظ پر می‌کند. اگر دوره پیشوند چرخشی بیشتر از تأخیر گسترده باشد، گیرنده هنوز می‌تواند به راحتی اطلاعات را فقط بر روی یک سمبل در یک لحظه بخواند.

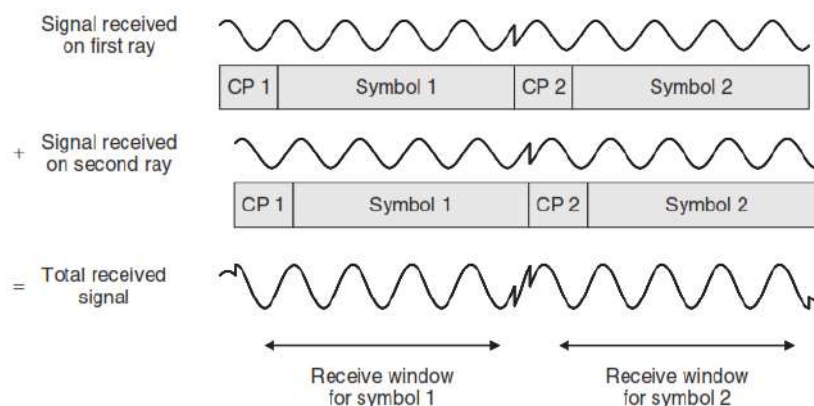


شکل ۴-۸ عملکرد درج پیشوند چرخشی

در شکل ۴-۹، می‌توانیم چگونگی عملکرد درج پیشوند چرخشی برای زمانی که بر اساس یک زیر حامل اطلاعات را می‌خواند، ببینیم. سیگنال ارسالی یک موج سینوسی است، که در آن فاز و دامنه سیگنال از یک سمبل به سمبل دیگر تغییر پیدا می‌کند. چنانچه قبلاً هم اشاره شد، هر سمبل دارای تعداد مشخصی از چرخش (دوران) های موج سینوسی است، در نتیجه فاز و دامنه

اولیه سمبل با فاز و دامنه پایانی آن یکسان خواهد شد. به همین دلیل، سیگنال‌های ارسال شده، به طور منظم و به آرامی از هر پیشوند چرخشی به سمبل بعدی تغییر پیدا می‌کنند. در یک محیط چند مسیری، گیرنده چندین کپی از سیگنال‌های ارسال شده را که در زمان‌های مختلف می‌رسند، را بر می‌دارد. در آنتن گیرنده، آنها را در هم اضافه می‌کند، یک موج سینوسی با فرکانس یکسان اما با دامنه و فازهای مختلف به وجود می‌آید. سیگنال رسیده همچنان به طور منظم در انتقال از یک پیشوند چرخشی به سمبل بعدی تغییر می‌کند. در این جا چند اشکال وجود دارند، اما آنها تنها در ابتدای پیشوند چرخشی و انتهای سمبل هستند، که در آن جا سمبل‌های ابتدا و انتها، شروع به تداخل می‌کنند.

گیرنده سیگنال‌های دریافتی را در طول یک پنجره که برابر دوره سمبل است، پردازش می‌کند و باقی مانده را دور می‌ریزد. اگر محل این پنجره به درستی قرار داده شود، سیگنال‌های دریافت شده بدون کوچکترین خطایی، طبق آنچه که ارسال شده بود، دریافت می‌شود و فقط موضوع باقی مانده، تغییر دامنه و شیف فاز می‌باشد. اما برای جبران آنها نیز همان طور که گفته شده، گیرنده از روش تخمین کانال بهره می‌برد. این مشکل را می‌توان توسط پیشوند چرخشی بدون پردازش اضافی حل کرد.



شکل ۴-۹ عملکرد پیشوند چرخشی بر روی یک زیرحامل

مسلماً، سیستم از چندین زیر حامل به جای یک زیر حامل استفاده می‌کند. اما می‌توانیم ببینیم، که زیرحامل‌ها هیچ تداخلی با هم ندارند و مستقل از هم هستند، بنابراین وجود چندین زیر حامل تأثیری بر روی موضوعی که بیان شد، ندارد.

معمولاً، LTE از یک پیشوند چرخشی در حدود $4.7 \mu s$ استفاده می‌کند. این زمان متناسب با بیشترین اختلاف فاصله در حدود 1.4 km می‌باشد و بین کوتاه‌ترین و بلندترین امواج رادیویی است و برای همه طول‌ها کافی می‌باشد، با این حال این مقدار بسیار بزرگی بوده و بسیاری از سلول‌ها را بهم می‌ریزد. پیشوند چرخشی نرخ سمبل را برای هر زیر حامل به 14 ksp/s کاهش می‌دهد، که قبلاً به آن اشاره شده بود. در نتیجه، این کمترین هزینه‌ای است که در برابر حذف ISI می‌پردازیم.

۴-۲-۶ انتخاب دوره سمبل

وجود ISI، محدودیت دیگری را به پارامترهای استفاده شده در LTE اعمال می‌کند. برای کاهش تأثیر ISI، ما نیاز به انتخاب دوره سمبل T به شکل زیر داریم:

$$T \gg \tau \quad (4-9)$$

در این رابطه، τ تأخیر گسترده است و در رابطه (۳-۱۴) بیان شده بود. معمولاً LTE با حداکثر تأخیر گسترده‌ای به اندازه حدود $4.7 \mu s$ کار می‌کند، که این مقدار ۷ درصد از $66.7 \mu s$ دوره سمبلی است و در نتیجه، باعث برآورد شرط مربوط به حل محدودیت دوم می‌شود. می‌توانیم به این نتیجه برسیم، که اگر دوره سمبل خیلی کمتر از $66.7 \mu s$ باشد، ممکن است که سیستم، در سلول‌های بزرگ و شلوغ در برابر ISI آسیب پذیر باشد. اگر دوره سمبل بزرگتر از $66.7 \mu s$ باشد، فاصله زیر حامل‌ها خیلی کوچکتر از 15 kHz خواهد بود و در نتیجه، سیستم در برابر تداخل بین زیرحامل‌ها در موبایل‌هایی که دارای سرعت تحرک بالایی هستند، آسیب پذیر خواهد شد. بنابراین، انتخاب دوره سمبل و فاصله زیر حامل‌ها چگونگی تعامل بین مسائل گفته شده در بالا را معین می‌کند.

۴-۲-۷ استفاده مجدد جزئی از فرکانس

استفاده از روش‌های بیان شده در بالا، یک ایستگاه پایه را قادر می‌سازد تا اطلاعات خود را به تعداد زیادی از موبایل‌ها ارسال کند. با این حال، یک سیستم ارتباطی موبایل تعداد زیادی ایستگاه پایه را زیر پوشش خود دارد. در نتیجه، هر موبایل باید یک سیگنال از یک ایستگاه پایه را در حضور تداخل از سایر ایستگاه‌های پایه دریافت کند. ما نیاز به روشی برای کاهش این تداخل داریم، تا موبایل بتواند اطلاعات را موفقیت‌آمیز دریافت کند.

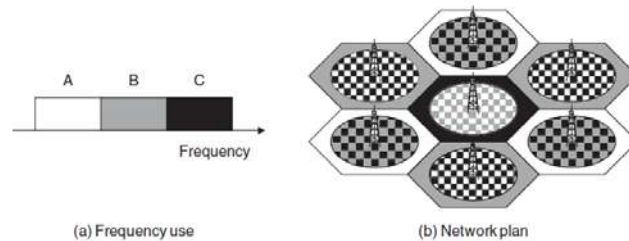
سیستم‌های قبلی از دو روش مختلف استفاده می‌کردند. در GSM سلول‌های هم جوار، حامل‌های فرکانسی متفاوتی داشتند. بطور معمول، هر سلول ممکن است که یک چهارم از پهنای باند کامل را با یک فاکتور ۲۵ درصد استفاده مجدد از فرکانس^۱ به کار ببرد. این روش، تداخل بین سلول‌های همجوار را کاهش می‌دهد، اما این بدان معنی است که از باند فرکانسی استفاده مؤثر و کارآمدی نمی‌شود. در UMTS، هر سلول دارای حامل فرکانسی یکسان است و فاکتور استفاده مجدد از فرکانس ۱۰۰ درصد می‌باشد. این روش استفاده مؤثر از باند فرکانسی را بهتر از قبل ارایه می‌کند، که به قیمت افزایش تداخل در این سیستم تمام می‌شود.

در یک شبکه LTE، هر ایستگاه پایه می‌تواند مجموعه‌ای از حامل‌های یکسان را به کار ببرد، ولی، تخصیص آنها را با استفاده از روشی به نام استفاده مجدد جزئی از فرکانس^۲ به شکل قابل انعطافی انجام دهد. شکل ۴-۱۰، یک مثال ساده‌ای را برای لینک فراسو LTE نشان می‌دهد، که در آن هر ایستگاه پایه یک سلول را کنترل می‌کند. زیر حامل‌های لینک فراسو به سه بلاکی به نام های A، B و C تقسیم شده‌اند. هر ایستگاه پایه زمانبندی انتقال از موبایل‌های دور دست را با استفاده از یک بلاک از زیرحامل‌ها (بلاک C از ایستگاه پایه مرکزی در شکل ۴-۱۰) انجام می‌دهد و با استفاده از دو بلاک باقی‌مانده انتقال از موبایل‌های مجاور را برنامه‌ریزی می‌کنند.

یک موبایل دور دست باید با توان بالایی ارسال کند، تا مطمئن شود سیگنال آن با موفقیت به گیرنده (ایستگاه پایه) می‌رسد. این کار، سبب به وجود آمدن تداخل در ایستگاه‌های پایه مجاور می‌شود، که در حال گوش دادن به همان زیر حامل‌های یکسانی هستند، که موبایل‌های نزدیک آنها برای انتقال از آن استفاده می‌کنند. همان‌گونه که در شکل ۴-۱۰ نشان داده می‌شود، با هماهنگ کردن استفاده از این زیرحامل‌ها، می‌توانیم مطمئن شویم، که ایستگاه‌های پایه مجاور، تنها آن زیر حامل‌هایی را استفاده می‌کنند، که از موبایل‌های نزدیک به آنها است و این موبایل فقط با یک توان پایین ارسال می‌کنند، بنابراین آنها برای غلبه بر تداخل توان بالای موبایل‌های نزدیک، می‌توانند توان خود را بالا ببرند، بعید است تأثیر بدی داشته باشد. در نتیجه، با این روش می‌توان هر نوع تداخلی را تا حدود زیادی کاهش داد.

1. Frequency Reuse Factor

2. Fractional Frequency Reuse



شکل ۴-۱۰ مثالی از استفاده مجدد جزئی از فرکانس زمانی که از OFDMA استفاده می شود (a) استفاده از دامنه فرکانس (b) نقشه شبکه بدست آمده

علاوه بر این، LTE از روش های استفاده مجدد جزئی از فرکانس پویا استفاده می کند، که در آن ایستگاه های پایه مجاور زیر حامل هایی که استفاده می کنند، را توسط پیام های سیگنالینگ واسطه X2 با دیگر ایستگاه های پایه، هماهنگ می کنند. ما پیام های سیگنالینگ را در فصل ۱۷ پوشش خواهیم داد.

۴-۳ دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس حامل منفرد (SC-FDMA)

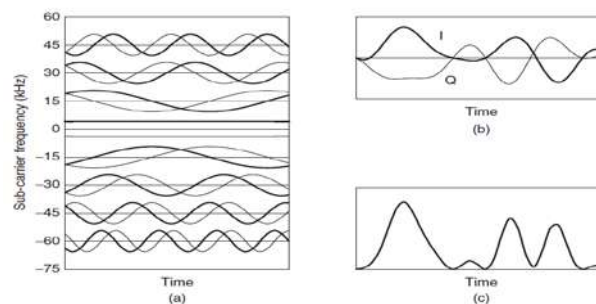
۴-۳-۱ تغییرات قدرت OFDMA

OFDMA به خوبی در لینک فروسو LTE کار می کند. اما یک مشکل عمده دارد: توان سیگنال فرستنده دارای تغییرات نسبتاً بزرگی است. برای توضیح این مسئله شکل ۴-۱۱(a)، مجموعه ای از زیر حامل ها را نشان می دهد، که با استفاده از مدولاسیون QPSK مدوله شده اند و دارای توان ثابتی هستند. دامنه سیگنال حاصله، بسیار متغیر می باشد (شکل ۴-۱۱(b))، این تغییرات در قله سیگنال حداکثر شده و در محل صفرها مقادیر آنها حذف می شود. این تغییرات گسترده به نوبه خود، در سیگنال ارسال شده تأثیر می گذارند (شکل ۴-۱۱(c)). این موضوع یک نسبت قدرت حداکثر لحظه ای به میانگین (PAPR)^۱ بسیار بالایی را بیان می کند.

این تغییرات وسیع توان، مسائل و مشکلاتی را برای تقویت کننده توان ارسال کننده به وجود می آورد. اگر تقویت کننده خطی باشد، توان خروجی متناسب با ورودی خواهد بود، بنابراین، شکل موج خروجی همان چیزی خواهد بود، که ما نیاز داریم. اگر تقویت کننده، غیر خطی باشد، توان خروجی خیلی متناسب با توان ورودی نخواهد بود و در نتیجه شکل موج خروجی تخریب خواهد شد. هر تخریب شکل موج در حوزه زمان باعث تخریب توان طیفی در حوزه فرکانس نیز

1. Peak To Average Power Ratio

خواهد شد. در نتیجه سیگنال به فرکانس‌های مجاور نشت خواهد کرد و باعث به وجود آمدن تداخل در سایر گیرنده‌ها خواهد شد.



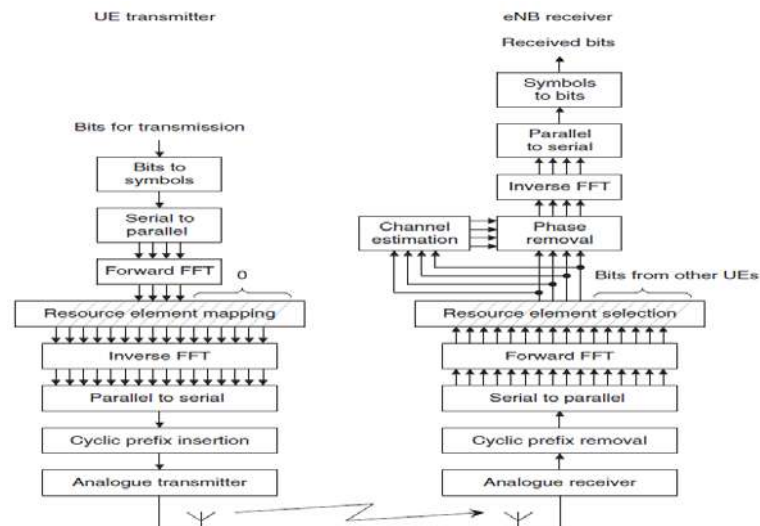
۴-۱۱ مثالی از شکل موج OFDMA (a) دامنه زیر حامل‌ها (b) دامنه سیگنال‌های حاصل شده

در لینک فرسو، فرستنده ایستگاه‌های پایه بزرگ هستند، تجهیزات گران‌قیمتی‌اند، بنابراین آنها با استفاده از تقویت کننده‌های گرانیقیمت از این مشکل جلوگیری کنند، که این تقویت کننده‌ها بسیار نزدیک به تقویت کننده‌های خطی هستند. در لینک فراسو، چاره‌ای نیست که باید فرستنده موبایل ارزان قیمت باشد، که این مسئله باعث می‌شود تا OFDMA برای لینک فراسو LTE مفید نباشد.

۴-۳-۲ بلاک دیاگرام SC-FDMA

مشکل تغییرات گسترده توان، که در بالا اشاره شد، باعث شد یک نداشت یک به یک بین سمبل‌ها و زیر حامل‌ها وجود داشته باشد. اگر سمبل‌ها را قبل از آن که آنها را در زیر حامل‌ها قرار دهیم، با هم ادغام کنیم، این کار باعث می‌شود که شاید بتوانیم سیگنال ارسال شده را تنظیم کنیم و تغییرات توان آن را کاهش دهیم. برای مثال، هنگامی که سمبل‌های x_1 و x_2 بر روی دو زیرحامل منتقل می‌شوند، ممکن است مجموع $x_1 + x_2$ را بر روی یک زیر حامل و تفاضل $x_1 - x_2$ را بر روی زیر حامل دیگر منتقل کنیم. می‌توانیم هر نوع عمل ادغام را روی همه زیر حامل‌ها و سمبل‌ها انجام دهیم، که گیرنده عکس آن عمل را انجام می‌دهد: ما تنها نیاز به یافتن راه‌حلی برای کاستن از تغییرات توان سیگنال ارسالی داریم.

به نظر می‌رسد که یک عمل مناسب، ادغام با FFT دیگر است، که این ادغام FFT رو به جلو می‌تواند باشد. با استفاده از آن، به روشی به نام دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس حامل‌های منفرد (SC-FDMA) دست پیدا می‌کنیم، که در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.

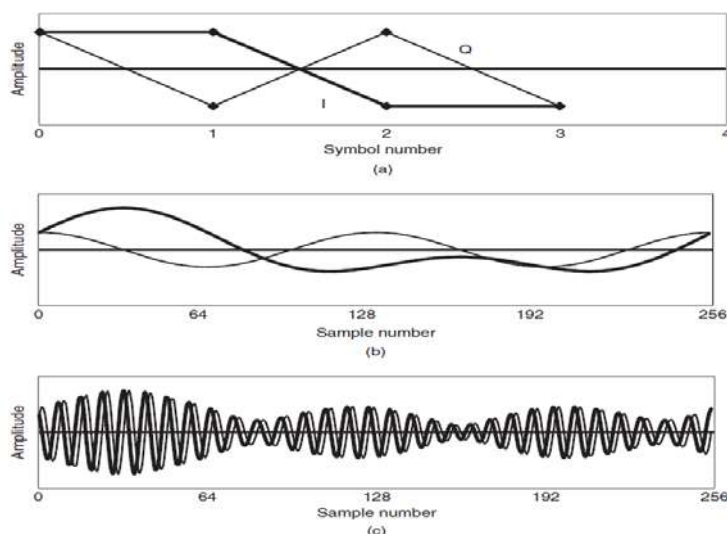


شکل ۴-۱۲ بلاک دیاگرام یک گیرنده - فرستنده SC-FDMA

در این شکل، سه تفاوت با OFDMA وجود دارد. مهم‌ترین تفاوت این است که فرستنده SC-FDMA دارای یک FFT رو به جلوی اضافی است، که بین مراحل مبدل سریال به موازی و نگاشت عناصر منبع^۱ قرار دارد. این عملیات اضافه، سمبل را به منظور کاهش اختلاف توان در هم ادغام می‌کند و عکس این عمل در گیرنده توسط یک FFT معکوس انجام می‌گیرد.

دومین تفاوت، به خاطر روش استفاده شده در لینک فراسو می‌باشد. چرا که، فرستنده موبایل تنها بعضی از زیر حامل‌ها را استفاده می‌کند: سایر زیر حامل‌ها را صفر می‌کند و آنها را برای موبایل‌های دیگر در سلول باقی می‌گذارد. در نهایت، هر موبایل یک بلاک منفرد و پیوسته از زیر حامل‌ها را بدون وجود شکاف‌های داخلی استفاده می‌کند، که این موضوع به نام SC-FDMA اشاره دارد و ضروری است که تغییرات توان در پایین‌ترین سطح ممکن قرار داشته باشد.

ما می‌توانیم با دقت در سه مرحله کلیدی، انتقال FFT رو به جلو، نگاشت کننده عناصر منبع و FFT معکوس، چگونگی کارکرد SC-FDMA را بهتر درک کنیم. ورودی به FFT رو به جلو یک دنباله‌ای از سمبل‌ها در حوزه زمان است.



شکل ۴-۱۳ مثالی از شکل موج SC-FDMA (a) سمبل‌های ارسال شده (b) شکل موج حاصل شده اگر داده‌ها بر روی چهار زیر حامل مرکزی 256 تایی منتقل شوند (c) شکل موج SC-FDMA در صورتی که داده‌ها به وسیله ۳۲ زیر حامل شیف (تغییر) داده شده باشند

سمبل‌ها را به سمبل‌هایی در حوزه فرکانس تبدیل می‌کند، نداشت کننده عناصر منع، سمبل‌های حاصل را به یک فرکانس مرکزی مورد نظر تغییر می‌دهد و FFT معکوس هم این سمبل‌ها را به حوزه زمان برمی‌گرداند. با نگاهی به سه مرحله بالا در می‌یابیم، که سیگنال‌های ارسال شده مشابه شکل موج سیگنال‌های مدوله شده اولیه است به جز این که به یک فرکانس مرکزی دیگری تغییر یافته است. اما توان سیگنال مدولاسیون QPSK ثابت است (حداقل در غیاب فیلتر اضافی) و به سختی هم مواردی که در 16-QAM و 64-QAM اتفاق می‌افتند، در آن وجود دارد. بنابراین نتیجه‌ای را که می‌خواستیم به دست می‌آوریم و آن ارسال سیگنال با یک توان نسبتاً ثابت است.

شکل ۴-۱۳ شکل موج حاصل را نشان می‌دهد، که در این مثال، موبایل چهار زیر حامل از ۲۵۶ زیر حامل را به کار می‌برد. ورودی (شکل ۴-۱۳(a)) چهار رشته سمبل QPSK با $[I, Q]$ با مقادیر $[1, 1]$ ، $[1, -1]$ ، $[-1, 1]$ و $[-1, -1]$ هستند. در صورتی که این داده‌ها در چهار زیر حامل مرکزی منتقل شده باشند. سیگنال حاصل (شکل ۴-۱۳(b)) بسیار شبیه به شکل موج QPSK اولیه است. تنها تفاوت درج پیوسته سمبل‌ها بین ۲۵۶ سمبل در حوزه زمان است، که تا انتهای دنباله داده به دلیل چرخش طبیعی FFT ادامه می‌یابد. اگر ما داده را به ۳۲ زیر حامل افزایش دهیم، تنها تغییر (شکل ۴-۱۳(c)) شروع بعضی از چرخش‌های اضافی دورانی در شکل موج حاصل است.

ما SC-FDMA را در لینک فروسو استفاده نمی‌کنیم، چرا که ایستگاه پایه باید به چندین موبایل اطلاعات ارسال کند نه یک موبایل. ما می‌توانیم یک FFT رو به جلو به ازای هر موبایل در شکل ۴-۴ اضافه کنیم، اما این کار باعث از بین رفتن طبیعت حامل منفرد می‌شود و اجازه می‌دهد تا تغییرات توان بالا اتفاق بیفتد. به عبارت دیگر، ما می‌توانیم یک FFT رو به جلو منفرد در کل باند لینک فروسو اضافه کنیم. متأسفانه این کار باعث پخش داده موبایل در همه باند فرکانسی می‌شود و می‌تواند توانایی ما برای انجام زمانبندی وابسته به فرکانس را از بین ببرد. در هر دو صورت، SC-FDMA برای لینک فروسو LTE مناسب نمی‌باشد.

منابع و مآخذ این فصل

1. Smith, S.W. (1998) The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing, San Diego, CA.
2. Lyons, R.G. (2010) Understanding Digital Signal Processing, 3rd edn, Prentice Hall.

فصل پنجم: روش های آنتن های چندکانه

LTE از ابتدا به گونه‌ای طراحی شده بود، که دارای ایستگاه پایه و موبایل بوده است که می‌تواند از روش آنتن‌های چندگانه، برای مخابره اطلاعات استفاده کنند. این فصل، سه روش مهم آنتن‌های چندگانه را پوشش خواهد داد. هر کدام از آنها دارای اهداف مختلف و روش‌های پیاده‌سازی متفاوتی هستند.

معروف‌ترین این روش‌ها، پردازش چندگانگی^۱ است، که توان سیگنال‌های دریافتی را افزایش داده و مقدار محو شدگی را با استفاده از روش آنتن‌های چندگانه در فرستنده، گیرنده و هر دو کاهش می‌دهد. پردازش چندگانگی تا چند وقت اخیر در ارتباطات موبایل استفاده می‌شد، که ما در این فصل آن را فقط به طور خلاصه مرور خواهیم کرد.

در مالتی پلکسینگ فضایی، فرستنده و گیرنده هر دو از روش آنتن‌های چندگانه برای افزایش نرخ بیت خود استفاده می‌کنند. این روش نسبتاً جدید است و اخیراً در ارتباطات موبایل معرفی شده است، بنابراین ما آن را با جزئیات بیشتری نسبت به سایر روش‌ها، بررسی خواهیم کرد. نهایتاً شکل‌دهی پرتو، روشی از آنتن‌های چندگانه است که در ایستگاه پایه برای افزایش پوشش سلول استفاده می‌شود.

مالتی پلکسینگ فضایی اغلب به نام آنتن‌های چندگانه چند ورودی-چند خروجی (MIMO)^۲ شناخته می‌شود. این نام ورودی‌ها و خروجی‌ها به واسطه هوایی اشاره می‌کنند، بنابراین «چندین ورودی» به فرستنده و «چندین خروجی» به گیرنده دلالت پیدا می‌کند. اما متأسفانه این مفهوم درست به نظر نمی‌رسد چرا که، یا تنها به مالتی پلکسینگ فضایی یا به چندگانگی دریافت و ارسال اشاره می‌کند. به همین دلیل، ما به جای آن از «مالتی پلکسینگ فضایی» استفاده خواهیم کرد. برای مطالعه بیشتر درباره روش‌های آنتن‌های چندگانه و کاربرد آنها در LTE می‌توانید به منابع [۱-۴] مراجعه کنید.

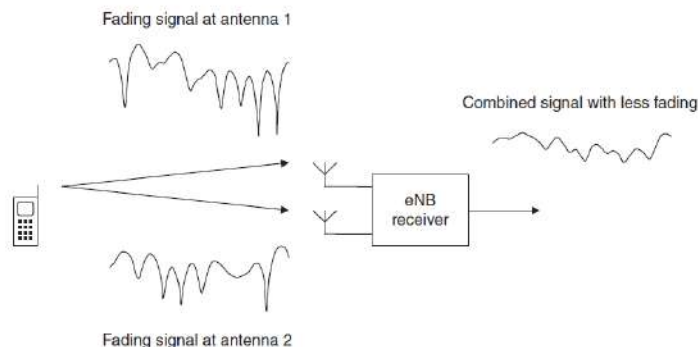
۵-۱ پردازش چندگانگی

۵-۱-۱ چندگانگی دریافت

چندگانگی دریافت^۳، اغلب در لینک فراسو استفاده می‌شود، که این موضوع در شکل ۵-۱ نشان داده شده است. در این روش، ایستگاه پایه از دو آنتن برای دریافت دو کپی از سیگنال ارسالی از

-
1. Diversity Processing
 2. Multi Input Multi Output
 3. Receive Diversity

موبایل استفاده می‌کند. این سیگنال‌ها با فازهای مختلفی به آنتن گیرنده می‌رسند، اما توسط تخمین کانال ویژه آنتن، این تغییرات فاز حذف می‌شوند. سپس ایستگاه پایه این سیگنال‌ها را در In-phase هم ادغام می‌کند. بدون آن که ترسی از تخریب آنها از سوی تداخل داشته باشد.



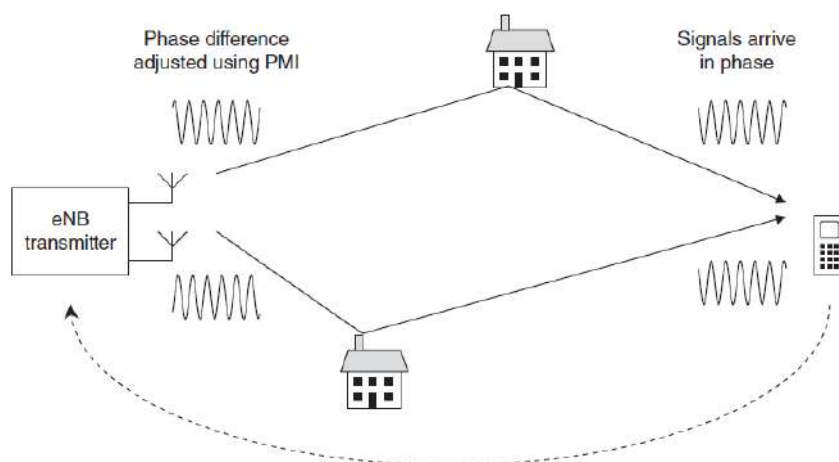
شکل ۵-۱ کاهش محوشدگی با استفاده از یک چندگانگی دریافت

این سیگنال‌ها از چندین اشعه کوچکتر تشکیل شده‌اند. بنابراین هر دوی آنها دچار محوشدگی شده‌اند. اگر دو سیگنال منفرد در یک لحظه تحت تأثیر محوشدگی قرار بگیرند، توان سیگنال ترکیبی پایین خواهد بود. اما در صورتی که آنتن‌ها به حد کافی از هم جدا باشند (چندین طول موج از فرکانس حامل)، در این صورت مجموعه هندسه تشکیل یافته از محوشدگی بسیار متفاوت خواهد بود. بنابراین سیگنال‌ها در زمان‌های کاملاً متفاوت دچار محوشدگی خواهند شد، در نتیجه مقداری کاهش محوشدگی در سیگنال ترکیب شده خواهیم داشت، که آن هم میزان نرخ خطا را کاهش خواهد داد.

معمولاً ایستگاه‌های پایه، بیشتر از یک آنتن دریافت دارند، در LTE، به طور ضمنی فرض می‌کنیم، که موبایل دارای دو آنتن دریافت می‌باشد [۵]، پس در سیستم‌های LTE، استفاده از چندگانگی دریافت در مسیر فروسو همانند لینک فراسو در نظر گرفته می‌شود. آنتن‌های موبایل در مقایسه با آنتن‌های ایستگاه پایه بیشتر به هم نزدیک هستند، که این مسئله مزایای بهره‌گیری از چندگانگی دریافت را کاهش می‌دهد. اما این شرط اغلب می‌تواند اندازه‌گیری دو پلاریزاسیون مستقل از هم سیگنال ورودی را بهبود ببخشد.

۵-۱-۲ چندگانگی ارسال حلقه بسته

چندگانگی ارسال^۱ با به کار بردن، تعداد بیشتری از آنتن در فرستنده، محو شدگی را تا حدودی کاهش می‌دهد. این روش بسیار شبیه چندگانگی دریافت است، اما یک مشکل بزرگی دارد: سیگنال‌ها در یک آنتن دریافت منفرد، با هم دیگر ادغام می‌شوند، که خطر تداخل مخرب را افزایش می‌دهد. دو راه حل برای حل این مشکل وجود دارد، اولین روش، استفاده از چندگانگی ارسال حلقه بسته^۲ (شکل ۵-۲) می‌باشد.



شکل ۵-۲ عملکرد چندگانگی ارسال حلقه بسته

در این روش، فرستنده دو نسخه از سیگنال را از یک طریق ارسال می‌کند، اما یک تغییر فازی در یکی از سیگنال‌ها یا هر دوی آنها اعمال می‌کند. با انجام این کار، مطمئن می‌شود که سیگنال درگیرنده در جزء in-phase و بدون داشتن خطر تداخل مخرب دریافت خواهد شد. تغییر فاز به وسیله شاخص ماتریس پیش کدکننده (PMI)^۳ تعیین می‌گردد، که PMI به وسیله گیرنده محاسبه شده و به فرستنده برگشت داده می‌شود. یک PMI ساده ممکن است دارای دو گزینه باشد: انتقال سیگنال‌ها بدون تغییر فاز و یا انتقال آنها با تغییر فازی به میزان 180° در سیگنال دوم انجام گرفته است. در صورتی که گزینه اول در تداخل مخرب قرار گیرد، به طور خودکار دومین سیگنال کار خواهد کرد، یکبار دیگر، دامنه سیگنال ترکیب شده تنها در یک صورت پایین می‌باشد، و آن این

1. Transmit Diversity
2. Closed Loop Transmit Diversity
3. Pre-Coding Matrix Indicator

است که هر دو سیگنال در یک لحظه در زیر محوشدگی قرار گیرند. تغییر فاز به وسیله کانال‌های رادیویی وابسته به طول موج‌های سیگنال حامل و البته روی فرکانس خودش شروع می‌شود. به این معنی که بهترین انتخاب PMI تابعی از فرکانس می‌باشد، در LTE، موبایل می‌تواند مقادیر مختلفی از PMI را به ایستگاه پایه برای مجموعه‌ای از زیر حامل‌های مختلف لینک فراسو برگرداند. اما انتقال‌های لینک فرسو ایستگاه پایه معمولاً پهنای باند بسیار باریکی دارند و تنها یک PMI ساده را به کار می‌برند.

انتخاب بهترین PMI به موقعیت موبایل نیز بستگی دارد، موبایلی که با سرعت زیاد در حال حرکت است، یک PMI ای خواهد داشت که مرتباً در حال تغییر است. متأسفانه، حلقه بازخورد، تأخیری را در سیستم ایجاد می‌کند، در مواردی که موبایل سریع حرکت می‌کند، PMI ممکن است با زمانی که موبایل استفاده می‌کند، به روز نباشد به همین دلیل، چندگانگی ارسال حلقه بسته، تنها برای مواردی که موبایل تغییرات نسبتاً آهسته‌تری دارد، مناسب است. برای تغییرات سریع موبایل، بهتر از روش حلقه باز استفاده شود، که در بخش بعدی بررسی می‌کنیم.

۳-۱-۵ چندگانگی انتقال حلقه باز

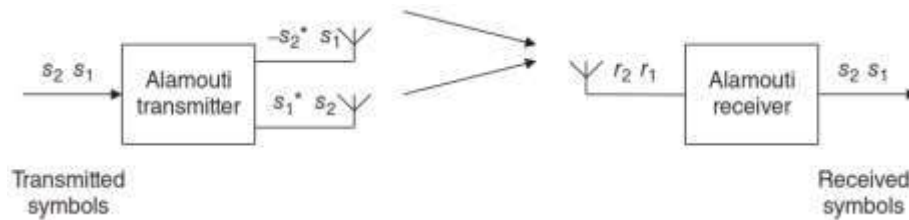
شکل ۳-۵ پیاده‌سازی از یک چندگانگی حلقه باز^۱ که به نام روش الموتی^۲ شناخته می‌شود، را نشان می‌دهد [۶]. در این روش، فرستنده از دو آنتن برای ارسال دو سمبل که به اختصار S_1 و S_2 گفته می‌شود، استفاده می‌کند و این سیگنال‌ها در دو مرحله به طور متوالی ارسال می‌شوند. در مرحله اول فرستنده، سیگنال S_1 را از آنتن اول و سیگنال S_2 را از آنتن دوم ارسال می‌کند. به طوری که در مرحله دوم، S_2^* را از آنتن اول و S_1^* را از آنتن دوم ارسال می‌کند (علامت* نشان دهنده این است، که فرستنده باید علامت جزء متعامد سیگنال را در فرایند مزدوج مختلط سیگنال تغییر دهد).

حال گیرنده می‌تواند دو اندازه‌گیری متوالی از سیگنال دریافتی را مطابق با دو ترکیب مختلف از S_1 و S_2 را انجام دهد. سپس روابط حاصل را به همان‌گونه‌ای که سمبل‌های ارسال شده را بازیابی می‌کند، حل نماید. در اینجا فقط دو چیز نیاز است: الگوهای محوشدگی باید به طور تقریبی بین مرحله اول و مرحله دوم به یک مقدار بمانند و هر دو سیگنال به طور همزمان زیر محوشدگی قرار نگیرند. معمولاً هر دو این نیازمندی‌ها قابل دستیابی هستند. در این روش، روش الموتی متناظر با دو

1. Open Loop Diversity

2. Alamouti Technique

آنتن برای این سیستم‌ها وجود ندارد، با این وجود، در برخی از چندگانگی اضافه، هنوز از چهار آنتن استفاده می‌شود که با مبادله، به عقب و جلو بین دو جفت آنتن تشکیل دهنده اتفاق می‌افتد. این روش برای استفاده از چهار آنتن در چندگانگی حلقه باز در LTE به کار می‌رود.



شکل ۳-۵ عملکرد روش الموتی برای چندگانگی ارسال حلقه باز

اگر روش‌های چندگانگی ارسال حلقه باز و بسته را با روش‌های چندگانگی دریافت مباحث قبلی ترکیب نمائیم و سیستمی را برای پردازش چندگانگی با استفاده از چندین آنتن در فرستنده و گیرنده، را آن‌ها به دست بیاوریم. این روش متفاوت‌تر از روش مالتی پلکسینگ فضایی خواهد بود که در بخش بعدی بررسی خواهیم کرد. اگرچه خواهیم دید، یک سیستم مالتی پلکسینگ فضایی، در صورت نیاز می‌تواند به چندگانگی در انتقال و دریافت تبدیل شود.

۲-۵ مالتی پلکسینگ فضایی

۱-۲-۵ مفاهیم کاربردی

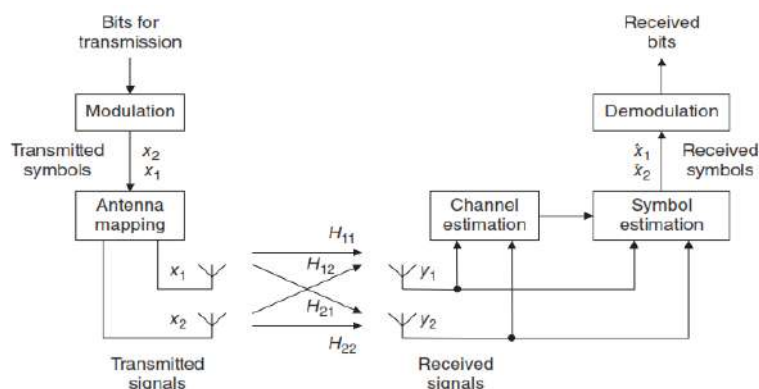
مالتی پلکسینگ فضایی هدفی متفاوت‌تر از پردازش چندگانگی دارد. اگر فرستنده و گیرنده هر دو دارای چندین آنتن باشند، در این صورت، ما می‌توانیم جریان‌های اطلاعات موازی چندگانه بین آنها ایجاد کنیم که نرخ بیت افزایش می‌یابد. یک سیستم با N_T فرستنده و N_R آنتن‌های گیرنده، اغلب یک سیستم مالتی پلکسینگ فضایی $N_T \times N_R$ تعریف می‌شود، که حداکثر نرخ داده متناسب با مقدار $\min(N_R, N_T)$ است.

شکل ۲-۵، یک سیستم اولیه از مالتی پلکسینگ فضایی را نشان می‌دهد، که فرستنده و گیرنده هر کدام دارای دو آنتن هستند. در فرستنده، نگاشت کننده آنتن آن، دو سمبل را در یک لحظه دریافت می‌کند و هر سمبل را به یک آنتن ارسال می‌کند. آنتن‌ها به طور همزمان این سمبل‌ها را ارسال می‌کنند، بنابراین نرخ ارسال داده دو برابر می‌شود.

سمبل‌های ارسالی، از طریق چهار مسیر رادیویی جداگانه به آنتن‌های دریافت می‌رسند. پس سینگال‌های دریافتی را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$\begin{aligned} y_1 &= H_{11}x_1 + H_{12}x_2 + n_1 \\ y_2 &= H_{21}x_1 + H_{22}x_2 + n_2 \end{aligned} \quad (1-5)$$

در این رابطه، x_1 و x_2 ، دو سینگال ارسالی از دو آنتن فرستنده هستند، y_1 و y_2 دو سینگال دریافت شده توسط دو آنتن گیرنده می‌باشند، n_1 و n_2 بیانگر نویز و تداخل تحمیل شده هستند. H_{ij} بیان‌کننده روشی است، که سمبل منتقل شده دچار افت شده و فاز آن تغییر یافته است و سمبل‌هایی هستند که از آنتن i ارسال شده و در آنتن j دریافت شده‌اند. (زیرنویس‌های i و j ممکن است از نگاه اول اشتباه به نظر برسد، اما اینجا تنها نمادهای ریاضیاتی برای بیان ماتریکس‌ها هستند).



شکل ۴-۵ مفاهیم ابتدایی از یک سیستم مالتی‌پلکسینگ فضایی 2x2

در کل، همه ترم‌های رابطه بالا، مختلط هستند. سینگال ارسالی x_j و سینگال دریافتی y_i و ترم‌های نویز n_i ، بخش‌های حقیقی و موهومی دامنه‌های in-phase و متعاقد هستند. به طور مشابه، در هر یک از عناصر کانال H_{ij} ، دامنه^۱ افت سینگال رادیویی را نشان می‌دهد، در حالی که فاز بیانگر تغییر فاز می‌باشد، با این حال، استفاده از اعداد مختلط مثال‌ها را پیچیده می‌کند، بدون آن که اطلاعات اضافی را در اختیار ما قرار دهند. پس ما تنها از مثال‌های حقیقی بدون استفاده از نمونه‌های موهومی استفاده خواهیم کرد. به همین خاطر، فرض می‌کنیم، که فرستنده بیت‌ها را با استفاده از مدولاسیون BPSK، مدوله می‌کند، پس در عناصر in-phase، +1 و -1 و در عناصر

1. Magnitude

متعاهد صفر را خواهیم داشت. همچنین فرض می کنیم که کانال رادیویی می تواند سیگنال را معکوس یا تضعیف نماید، اما تغییرات فاز دیگری را به دامنه اعمال نمی کند. با در نظر گرفتن این فرضیات، اجازه بدهید مثال زیر را در نظر بگیریم:

$$\begin{aligned} H_{11} &= 0.8 \quad H_{12} = 0.6x_1 = +1n_1 = +0.02 \\ H_{21} &= 0.2 \quad H_{22} = 0.4x_2 = +1n_2 = +0.02 \end{aligned} \quad (2-5)$$

باجا گذاری این مقادیر در معادله ۱-۵ سیگنال های دریافتی به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} y_1 &= 00.22 \\ y_2 &= -0.22 \end{aligned} \quad (3-5)$$

اولین وظیفه گیرنده، تخمین چهار عنصر H_{ij} کانال است. برای کمک به انجام این کار، فرستنده سمبل های مرجع که در فصل سوم بیان شد، را پخش می کند، البته یک ویژگی جدیدی به آن اضافه می کند: زمانی که یک آنتن، سمبل مرجعی را ارسال می کند، سایر آنتن ها ساکت می مانند و هیچ چیزی را ارسال نمی کنند، پس گیرنده می تواند عناصر کانال H_{11} و H_{21} را با اندازه گیری در سیگنال های دریافتی در زمان هایشان که از آنتن ۱ به عنوان سمبل مرجع ارسال شده اند؛ را محاسبه کند. سپس گیرنده تا زمانی که آنتن فرستنده دوم یک سیگنال مرجع ارسال می کند، تخمین عناصر کانال H_{12} و H_{22} را به تعویق می اندازد.

حال گیرنده اطلاعات کافی برای تخمین سمبل های ارسال شده x_1 و x_2 را دارد. گیرنده چندین روش مختلف برای انجام این کار در اختیار دارد، اما آسان ترین روش، یک آشکار ساز اعمال صفر^۱ است، که در آن عملگر به شکل زیر عمل می کند. اگر ما از نویز و تداخل اجتناب کنیم، رابطه ۱-۵ یک زوج از دو رابطه پشت سرهم برای دو مقدار ناشناخته ای از x_1 و x_2 خواهد بود. این روابط می تواند به صورت زیر تبدیل شوند.

$$\hat{x}_1 = \frac{\hat{H}_{22}y_1 - \hat{H}_{12}y_2}{\hat{H}_{11}\hat{H}_{22} - \hat{H}_{21}\hat{H}_{12}} \quad (4-5)$$

$$\hat{x}_2 = \frac{\hat{H}_{11}y_2 - \hat{H}_{21}y_1}{\hat{H}_{11}\hat{H}_{22} - \hat{H}_{21}\hat{H}_{12}}$$

در این رابطه، H_{ij} تخمین گیرنده از عناصر کانال H_{ij} است. (این مقدار می تواند متفاوت تر از مقادیر H_{ij} باشد، چرا که عواملی نظیر نویز و سایر خطاها در فرایند تخمین دخیل هستند.) به

همین ترتیب $\hat{x}_1$ و $\hat{x}_2$ تخمینی از سمبل‌های ارسالی x_1 و x_2 هستند. با جای‌گذاری این اعداد از معادله ۵-۲ و ۵-۳ نتیجه زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned}\hat{x}_1 &= +1.1 \\ \hat{x}_2 &= -1.1\end{aligned}\quad (5-5)$$

این مقادیر مطابق با سمبل‌های منتقل شده $+1$ و -1 هستند. علاوه بر این، ما دو سمبل را در همان زمان با استفاده از زیر حامل مشابه منتقل کردیم و سرعت را به دو برابر افزایش دادیم.

۵-۲-۲ مالتی‌پلکسینگ فضایی حلقه باز

در روش بالا یک مشکل وجود دارد، برای توضیح این مشکل، اجازه دهید یکی از عناصر کانال H_{11} را تغییر دهیم که در قالب مثال زیر می‌بینیم:

$$\begin{aligned}H_{11} &= 0.3 & H_{12} &= 0.6 \\ H_{22} &= 0.4 & H_{21} &= 0.2\end{aligned}\quad (6-5)$$

اگر بخواهیم سمبل‌های منتقل شده را با استفاده از معادله ۵-۴ تخمین بزنیم، مقدار $H_{11}H_{22} - H_{21}H_{12}$ برابر صفر می‌شود. در نهایت تقسیم بر صفر که بی‌معنی است. پس برای تخمین کانال، این روش مناسب نمی‌باشد. می‌توان با جای‌گذاری عناصر کانال در معادله ۵-۱ اشتباه موجود را بهتر درک کرد و سیگنال دریافتی را به صورت زیر بدست آورد:

$$\begin{aligned}y_1 &= 0.3(x_1 + 2x_2) + n_1 \\ y_2 &= 0.3(x_1 + 2x_2) + n_2\end{aligned}\quad (7-5)$$

با محاسبه مقادیر سیگنال‌های دریافتی y_1 و y_2 ، ما انتظار دو مقدار مختلف از آنها را داشتیم که از آن مقادیر، می‌توان برای ترمیم داده‌های ارسال شده کمک گرفت. حال ما همان بخشی از اطلاعات را بوسیله $x_1 + 2x_2$ ، دوبار محاسبه کردیم. در نتیجه، ما اطلاعات کافی برای بازیابی x_1 و x_2 به طور مستقل نداریم. علاوه بر این، این مقادیر تنها بخش جداگانه مسئله نیستند. اگر $H_{11}H_{22} - H_{21}H_{12}$ کوچک باشد، اما برابر صفر نشود، تخمینی از x_1 و x_2 در ادامه به شدت توسط نویز صدمه دیده و به طور کامل غیر قابل استفاده خواهند بود.

راه حل مورد نظر از آنجا ناشی می‌شود، که ما می‌توانیم همچنان یک سمبل را در یک واحد زمانی ارسال کنیم، که این کار با چندگانگی دریافت انجام می‌گیرد. پس ما به یک سیستم انعطاف پذیری نیاز داریم، که در شرایط مساعد مالتی‌پلکسینگ فضایی را برای ارسال دو سمبل در یک لحظه استفاده کند و در غیر این صورت، رفتار خود را به پردازش چندگانگی تغییر دهد. شکل

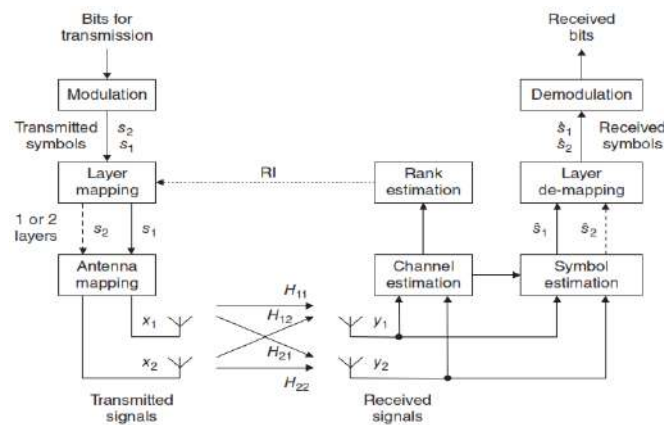
۵-۵ چنین سیستمی را نشان می‌دهد، که در آن، گیرنده عناصر کانال را اندازه‌گیری می‌کند و با یک شاخصی به نام شاخص رتبه‌بندی (RI)^۱ مقایسه می‌کند، که این شاخص تعیین کننده تعداد سمبل‌هایی است که یک گیرنده می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی دریافت کند. سپس گیرنده سمبل شاخص رتبه‌بندی (RI) را به فرستنده بر می‌گرداند.

چنانچه که شاخص رتبه‌بندی (RI) دو باشد، سیستم همان روش بالا را در مورد آنها به کار می‌گیرد، نگاشت کننده‌های لایه‌ای^۲ فرستنده، دو سمبل و S_2 را از بافر ارسال می‌گیرد و دو جریان مستقل داده را ایجاد می‌کند، که به آنها لایه‌ها^۳ می‌گویند. سپس نگاشت کننده آنتن^۴، یک سمبل به ازای هر آنتن را با استفاده از یک عملیات نگاشت مستقیم ارسال می‌کند.

$$\begin{aligned} X_1 &= S_1 \\ X_2 &= S_2 \end{aligned} \quad (۸-۵)$$

گیرنده سمبل‌های رسیده را اندازه‌گیری می‌کند و آنها را مثل قبل بازسازی می‌کند. چنانچه RI یک باشد، لایه نگاشت کننده تنها یک سمبل را برمی‌دارد، که نگاشت کننده آنتن به دو آنتن ارسال به صورت زیر می‌فرستد:

$$\begin{aligned} X_1 &= S_1 \\ X_2 &= S_1 \end{aligned} \quad (۹-۵)$$



شکل ۵-۵ عملیات یک سیستم مالتی پلکسینگ حلقه باز 2x2

1. Rank Indicator
2. Layer Mapper
3. Layers
4. Antenna Mappers

با در نظر گرفتن این فرضیات، روابط ۵-۷ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} y_1 &= 0.9s_1 + n_1 \\ y_2 &= 0.6s_1 + n_2 \end{aligned} \quad (10-5)$$

حال گیرنده دو مقدار اندازه‌گیری شده از سمبل ارسالی s_1 را داراست، و می‌تواند آنها را در یک چندگانگی دریافت ترکیب کند تا بازیابی داده ارسالی انجام گیرد.

اثر اندازه‌گیری بالا به شرح زیر است. اگر عناصر کانال به شکل خوبی رفتار نمایند، در این صورت فرستنده دو سمبل را در یک لحظه ارسال می‌کند و گیرنده آنها را با استفاده از یک مالتی پلکسینگ فضایی بازیابی می‌کند. بعضی وقت‌ها این اتفاق ممکن نیست، در چنین مواقعی، فرستنده به روش ارسال یک سمبل در هر واحد زمانی اقدام می‌کند و گیرنده هم از روش دریافت چندگانگی استفاده می‌کند. فرستنده، انتخاب خود را برای بلاکی از داده‌های ارسالی مشخص می‌کند، که با بکارگیری اطلاعات کنترلی سطح پایین انجام می‌دهد تا مطمئن شود که گیرنده داده‌های ارسالی را به درستی آشکارسازی و بازیابی می‌کند. این روش در LTE به کار گرفته می‌شود، که این موضوع در بخش بعدی کاملاً بررسی خواهد شد و به آن مالتی پلکسینگ فضایی حلقه باز^۱ گفته می‌شود.

۳-۲-۵ مالتی پلکسینگ فضایی حلقه بسته

در اینجا یک مشکل همچنان حل نشده باقی مانده است، برای بیان آن اجازه دهید، بیش از دو عناصر کانال را تغییر بدهیم:

$$H_{21} = 0.2 \quad H_{22} = -0.2 \quad (11-5)$$

این عناصر کانال بسیار بد رفتار کرده‌اند، که در آن، $H_{11}H_{22} - H_{21}H_{12}$ برابر صفر شده است. اما، اگر ما تلاش کنیم تا این وضعیت را همان‌گونه که بالا توصیف شده ارسال کنیم، با ارسال سمبل یکسان از هر دو آنتن فرستنده، سیگنال دریافتی، به صورت زیر خواهد شد:

$$\begin{aligned} y_1 &= 0.3s_1 - 0.3s_1 + n_1 \\ y_2 &= 0.2s_1 - 0.2s_1 + n_2 \end{aligned} \quad (12-5)$$

در نتیجه، سیگنال‌های ارسالی در هر دو آنتن گیرنده دور ریخته می‌شوند. در نتیجه، سیگنال اندازه‌گیری شده را از دست داده و نویز و تداخل را دریافت می‌کنیم. علاوه بر این، ما اطلاعات کافی حتی برای آشکارسازی s_1 را هم نداریم.

برای حل این مشکل، در نظر بگیرید که اگر ما همانند قبل یک سمبل را در واحد زمان ارسال کنیم و اما معکوس آن سیگنال را از آنتن دوم ارسال کنیم، چه اتفاقی می‌افتد:

$$\begin{aligned} x_1 &= s_1 \\ x_2 &= s_1 \end{aligned} \quad (13-5)$$

حال سیگنال دریافتی می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\begin{aligned} y_1 &= 0.3s_1 + 0.3s_1 + n_1 \\ y_2 &= 0.2s_1 + 0.2s_1 + n_2 \end{aligned} \quad (14-5)$$

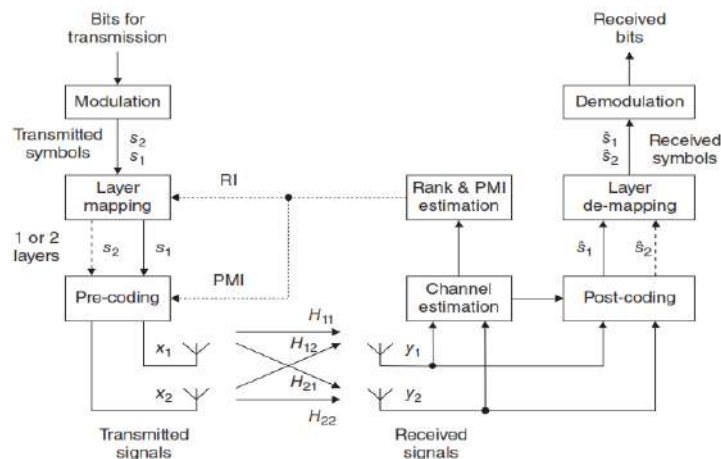
در این لحظه، ما می‌توانیم سمبل ارسال شده s_1 را آشکارسازی کنیم.

حال ما دو سطح از انطباق را نیاز داریم. اگر RI برابر دو باشد، پس فرستنده با استفاده از نگاشت کننده آنتن رابطه ۸-۵، دو سمبل را در یک واحد زمانی ارسال می‌کند. در صورتی که RI یک باشد، فرستنده به روش پردازش چندگانگی برمی‌گردد و یک سمبل را در واحد زمان ارسال می‌کند. در انجام این کار، فرستنده یک نگاشت آنتن مثل ۹-۵ یا ۱۳-۵ را انتخاب می‌کند، که دقیقاً بستگی به طبیعت عناصر کانال دارد و این کار یک سیگنال قوی درگیرنده را تضمین می‌کند. همان‌طور که در شکل ۶-۵ مشاهده می‌شود، گیرنده عناصر کانال را همانند قبل اندازه‌گیری کرده و دو مقدار به نام‌های شاخص رتبه‌بندی (RI) و شناسه ماتریس پیش‌کد (PMI) را به فرستنده برمی‌گرداند. PMI یک مرحله پیش‌کدینگ^۱ را در فرستنده کنترل می‌کند، که یک نگاشت آنتن وفقی با استفاده از (برای مثال) رابطه ۸-۵ و ۹-۵ و ۱۳-۵ پیاده‌سازی می‌کند، تا مطمئن شود، که سیگنال‌های رسیده به گیرنده از بین نخواهد رفت. (در واقع PMI دقیقاً همان روشی است که ما قبلاً در چندگانگی انتقال حلقه بسته بحث کردیم و به همین دلیل به این نام است.) در گیرنده، مرحله پس‌کدینگ^۲ تأثیر پیش‌کدینگ را معکوس می‌کند و علاوه بر آن دارای یک تصمیم نرم تخمین کانال می‌باشد، که قبلاً بیان شده است. مثل قبل، فرستنده انتخاب خود از ارسال بلاک داده ارسالی را مشخص می‌کند، به این وسیله، که از یک کنترل اطلاعات سطح پایین برای اطمینان از اینکه گیرنده داده‌های ارسالی را به درستی پردازش و بازیابی می‌کند، بهره می‌گیرد.

این روش نیز در LTE استفاده شده است و به *مالتی‌پلکسینگ فضایی حلقه بسته*^۳، مشهور است. در این عبارت، ترم «حلقه بسته» به حلقه مخصوصی اشاره می‌شود، که توسط بازخورد

-
1. Pre Coding Step
 2. Postcoding Step
 3. Closed Loop Spatial Multiplexing

PMI ایجاد شده است. روشی که در بخش ۵-۲-۲، به نام مالتی پلکسینگ فضایی حلقه باز بیان شد، اشاره به این دارد که حتی گیرنده بازخورد RI را هنوز به عقب بر می‌گرداند.



شکل ۵-۶ عملیات یک سیستم مالتی پلکسینگ فضایی حلقه بسته 2×2

۵-۲-۴ ماتریس نمایش

حال که ما مفاهیم پایه‌ای مالتی پلکسینگ فضایی را پوشش داده‌ایم. بنابراین در ادامه ما نیاز داریم، که تعاریف ریاضیاتی در ترم‌های ماتریسی را کمی بیشتر باز کنیم. خوانندگانی که با ماتریس‌ها آشنایی ندارند، می‌توانند این بخش را نخوانند و بحث را از بخش ۵-۲-۵ پی به گیرند. می‌توانیم سیگنال دریافتی را (رابطه ۵-۱) را به صورت فرم ماتریسی زیر بنویسیم:

$$y = H \cdot x + n \quad (5-1)$$

در این رابطه، x بردار ستونی است که دارای سیگنال‌هایی است که از آنتن ارسال N_T فرستاده می‌شوند. به ترتیب n و y ، بردار ستون‌هایی هستند، که شامل نویز و سیگنال حاصل شده در آنتن‌های گیرنده N_R می‌باشند. ماتریس کانال H ، بیانگر تغییرات فاز و تغییرات دامنه‌ای است که در واسط هوایی اتفاق می‌افتد. این ماتریس دارای N_R سطر و N_T ستون است، بنابراین یک ماتریس $N_R \times N_T$ شناخته می‌شود. در مثالی که قبلاً ما در نظر گرفته بودیم، سیستم باید دارای دو آنتن ارسال و دو آنتن دریافت باشد، بنابراین معادله ماتریس بالا می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (16-5)$$

فعلاً فرض می‌کنیم که تعداد آنتن ارسال و دریافت برابر می‌باشد، بنابراین $N_R = N_T = N$ است و اجازه دهید مثل قبل، از نویز و تداخل صرف نظر نماییم. پس ما می‌توانیم ماتریس کانال را معکوس کرده و سمبل‌های ارسالی را به شکل زیر تخمین بزنیم:

$$\hat{x} = \hat{H}^{-1} \cdot y \quad (17-5)$$

در این رابطه، $\hat{H}^{-1}$ ، تخمین گیرنده از ماتریس معکوس کانال می‌باشد، در حالی که $\hat{x}$ تخمین سیگنال ارسال شده است. این یک آشکارساز اعمال صفر است، که قبلاً بیان شده است. این آشکارساز زمانی اجرا می‌شود، که مقدار نویز و تداخل بسیار بزرگ باشد، اما در این موقعیت یک آشکار ساز کمترین میانگین مربع خطا (MMSE) جواب دقیق‌تری را به ما می‌دهد.

اگر ماتریس کانال رفتار مناسبی داشته باشد، ما می‌توانیم سیگنال‌های رسیده در N آنتن گیرنده را اندازه‌گیری کنیم و یک آشکارساز مناسبی برای تخمین سمبل‌های ارسالی به کار به گیریم. در نتیجه، خواهیم توانست نرخ داده را با یک فاکتور N بهبود دهیم. ماتریس کانال ممکن است منفرد^۲ (مثل شکل ۵-۶ و ۵-۱۱) باشد، که در آن صورت معکوس آن موجود نیست. به طور متناوب، ماتریسی می‌تواند غیر شرطی^۳ باشد، که معکوس آن توسط نویز تخریب می‌شود. در هر صورت ما نیازمند یافتن راه‌حل دیگری هستیم.

راه‌حلی که می‌تواند متمر ثمر باشد یک روش شناخته شده به نام تجزیه مقدار منفرد^۴ (SVD) است (۷). که در آن ماتریس کانال H به صورت زیر بیان می‌شود.

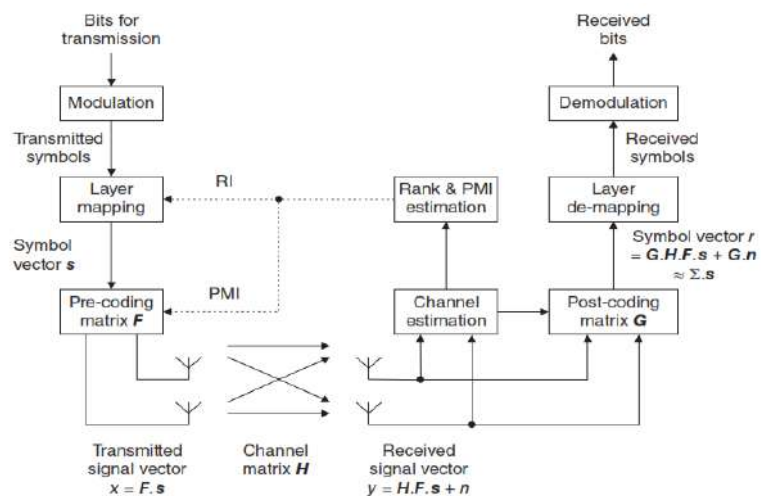
$$H = U \cdot \Sigma \cdot V^+ \quad (18-5)$$

در رابطه بالا، U یک $N_R = N_R$ و V یک $N_T = N_T$ است. V^+ یک مزدوج هرمیتی^۵ از V می‌باشد، به عبارت دیگر، مزدوج مختلطی از ترانهاده خودش می‌باشد. هر دو ماتریس V و U ماتریس‌های واحد^۶ هستند. پس، معکوس آنها برابر با مزدوج هرمیتی آنها خواهد بود. Σ یک

-
1. Minimum Mean Square Error
 2. Singular
 3. Ill- Conditioned
 4. Singular Value Decomposition
 5. Hermitian Conjugate
 6. Unitary

ماتریس $N_R = N_T$ قطری است که عناصر σ_i یک یا صفر هستند و به عنوان مقادیر منفردی^۱ از H شناخته می‌شوند. در مثال دو آنتنی، ماتریس قطری به شکل زیر است:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma & 0 \\ 0 & \sigma \end{bmatrix} \quad (۱۹-۵)$$



شکل ۷-۵ عملکرد یک سیستم مالتی پلکسینگ فضایی با تعداد دلخواه از آنتن‌ها

این روش وابستگی کمی به یک روش معروف تجزیه مقادیر ویژه^۲ دارد، به طوری که مقادیر ویژه $H.H^+$ ، مربعی از مقادیر منفرد H می‌باشند. حال اجازه دهید سمبل‌ها را همان‌گونه که در شکل ۷-۵ نشان داده شده است، منتقل نمائیم. خروجی از مرحله پس کدینگ، بردار سمبل دریافتی برابر است با:

$$r = G.H.F.s + G.n \quad (۲۰-۵)$$

در این رابطه، S شامل سمبل‌های ارسال شده در ورودی مرحله پیش کدینگ است، F ماتریس پیش کدینگ می‌باشد، H ماتریس معمول کانال و G هم ماتریس پس کدینگ است. در صورتی که ماتریس‌های پیش کدینگ یا پس کدینگ را انتخاب کنیم، آنها تقریب‌های خوبی از ماتریس‌های یکتا از بخش قبلی خواهند بود.

1. Singular Values
2. Eigenvalue Decomposition

$$\begin{aligned} F &\approx V \\ G &\approx U \end{aligned} \quad (21-5)$$

بنابراین بردار سمبل دریافتی به صورت زیر در می‌آید:

$$\begin{aligned} r &\approx U^+ \cdot H \cdot V \cdot s + V \cdot n \\ &\approx \Sigma \cdot s + V \cdot n \end{aligned} \quad (22-5)$$

اگر از نویز صرف نظر شود، می‌توانیم سمبل‌های دریافتی در یک سیستم مالتی پلکسینگ دو آنتنی را به صورت زیر بنویسیم:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} \quad (23-5)$$

علاوه بر این ما باید دو جریان مستقل از هم داشته باشیم، بدون آن که ارتباطی بین آنها وجود داشته باشد، حال این موضوع برای گیرنده جهت بازایی سمبل منتقل شده بی‌اهمیت بوده و به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{s}_i = \frac{r_i}{\sigma_i} \quad (24-5)$$

پس با انتخاب درستی از ماتریس‌های پیش کدینگ F و پس کدینگ G ، ما به شکل قابل توجهی طراحی گیرنده را ساده‌تر کردیم.

اگر ماتریس کانال H منفرد باشد، پس برخی از مقادیر منفرد σ_i صفر خواهند بود. در صورتی که غیر شرطی باشد، برخی از مقادیر منفرد آن بسیار ناچیز خواهند بود، در نتیجه، سمبل‌های بازسازی شده به شکل بدی توسط نویز تخریب خواهند شد. تعداد شروط H برابر با بزرگترین مقادیر منفرد تقسیم بر کوچکترین آنهاست و اندازه‌گیری تنها وابسته به چگونگی ماتریس غیر شرطی است. مرتبه H تعداد مقادیر منفرد متناسب است و شناسه رتبه‌بندی (RI) که در رابطه بخش ۵-۲-۲ بیان شد، برابر با مرتبه H است، برای مثال، در یک سیستم دو آنتنی با مرتبه یک، بردار سمبل دریافتی به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} \quad (25-5)$$

این سیستم می‌تواند از این رفتار به صورت زیر استفاده کند. گیرنده ماتریس کانال را تخمین می‌زند و به یک ماتریس پیش‌کدینگ F بازخورد آن را برمی‌گرداند (به وسیله RI). اگر RI برابر دو باشد، پس فرستنده‌ی دو سمبل s_1 و s_2 را ارسال می‌کند و گیرنده آنها را از روی رابطه ۵-۲۳ بازسازی می‌کند. اگر RI یک باشد، فرستنده تنها سمبل s_1 را ارسال می‌کند و s_2 را به طور کلی کنار می‌گذارد. پس گیرنده می‌تواند سمبل دریافت شده را از روی رابطه ۵-۲۵ بازسازی کند. در عمل، گیرنده توضیحات کاملی از F را به فرستنده بر نمی‌گرداند که بیش از حد نیاز فرستنده باشد. در عوض، نزدیک‌ترین تقریب V را از یک کتاب‌کد^۱ انتخاب می‌کند و انتخاب خود را از روی شناسه ماتریس پیش‌کدینگ، PMI مشخص می‌سازد.

بررسی دوباره معادله‌های ۵-۲۲ و ۵-۲۳ نشان می‌دهد، که سیگنال‌های دریافتی r_1 و r_2 می‌توانند نسبت‌های مختلفی از سیگنال به نویز داشته باشند، که بستگی به مقادیر منفرد σ_1 و σ_2 مربوط به آنها دارند. در LTE ، فرستنده می‌تواند با ارسال دو سمبل به همراه طرح‌های مدولاسیون و نرخ‌های کدینگ مختلف و همچنین توان ارسالی مختلف، از این ویژگی بهره‌برداری نماید.

ما می‌توانیم دقیقاً همین روش را برای تعداد مختلفی از آنتن‌های فرستنده به کار ببریم، برای مثال اگر فرستنده را با چهار آنتن بفرستند، چهار آنتن هم در گیرنده باشد، معادله ۵-۲۳ به صورت زیر در می‌آید:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \sigma_1 & 000 \\ 0 & \sigma_2 00 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{bmatrix} \quad (۵-۲۶)$$

ماتریس کانال از مرتبه ۲ است، بنابراین ما می‌توانیم تنها دو سمبل ارسالی s_1 و s_2 را به جای چهار سمبل به طور موفق‌آمیزی بازی‌سازی کنیم. در حالت کلی، حداکثر نرخ داده پشتیبانی از هر تعداد آنتن اضافه ارسالی یا دریافتی در چندگانگی ارسال و دریافت برابر با $\min(N_T, N_R)$ است.

۵-۲-۵ مسائل اجرایی

مالتی‌پلکسینگ فضایی در نسخه هشت در لینک فروسو LTE اجرا شده است، که با استفاده از حداکثر چهار آنتن فرستنده در ایستگاه پایه و حداکثر چهار آنتن گیرنده بر روی موبایل در نظر

گرفته شده است. چنین پیاده‌سازی نیز در پردازش چندگانگی به کار رفته است. نخست، آنتن‌ها در ایستگاه پایه و موبایل باید به اندازه کافی از هم دیگر دور باشند، به طور ایده‌آل، با فاصله چند طول موج فرکانس حامل، یا به وسیله پلازاسیون‌های مختلف، این کار اتفاق بیفتد. اگر آنها خیلی به هم دیگر نزدیک باشند، عناصر کانال H_{ij} خیلی شبیه همدیگر می‌شوند. که این وضعیت به راحتی ما را در وضعیت بخش ۵-۲-۲ قرار می‌دهد، که در آن مالتی‌پلکسینگ فضایی ناکارآمد می‌شد و ما را مجبور به استفاده از پردازش چندگانگی می‌کرد.

چنین شرایط مشابهی می‌تواند به راحتی در مورد مخابره دید مستقیم اتفاق بیفتد. این شرایط ما را با یک نتیجه غیر منتظره‌ای روبرو می‌سازد: مالتی‌پلکسینگ فضایی در ارتباطات دیدهای غیر مستقیم (NLOS) و چند مسیری بهترین عملکرد را دارد، در این شرایط، عناصر کانال H_{ij} ، با همدیگر همبستگی ندارند. در شرایط دید مستقیم ما اغلب مجبور به استفاده از پردازش چندگانگی هستیم.

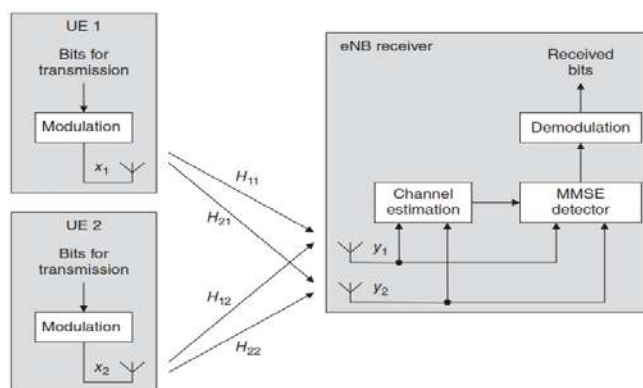
در مورد چندگانگی ارسال حلقه بسته، PMI وابسته به فرکانس حامل و موقعیت موبایل است. در مورد موبایل‌هایی که سریع حرکت می‌کنند، تأخیر در بازخورد حلقه باعث ایجاد PMI غیر قابل اطمینان می‌شود، که این تأخیر زمانی که بازخورد از گیرنده به فرستنده ارسال می‌شود، اتفاق می‌افتد. بنابراین، در این مورد، اغلب مالتی‌پلکسینگ فضایی حلقه باز ترجیح داده می‌شود.

۵-۲-۶ MIMO چند کاربری

شکل ۵-۸ یک روش نسبتاً متفاوتی را نشان می‌دهد. در این شکل، دو آنتن فرستنده و گیرنده زمان انتقال و فرکانس یکسانی را به اشتراک گذاشته‌اند، که همانند روش قبلی است. اما در اینجا، آنتن‌های موبایل‌ها، به جای این که در یک موبایل باشند در دو موبایل مختلف هستند. این روش به نام *MIMO چند کاربردی* ($MU-MIMO$)^۱ شناخته می‌شود، در مقابل، روش‌های مالتی‌پلکسینگ فضایی قبلی، گاهی به نام *MIMO تک کاربری* ($SU-MIMO$)^۲ شناخته می‌شدند، قرار دارد.

1. Multiple User MIMO

2. Single User MIMO



شکل ۵-۸ لینک فراسو MIMO چند کاربری

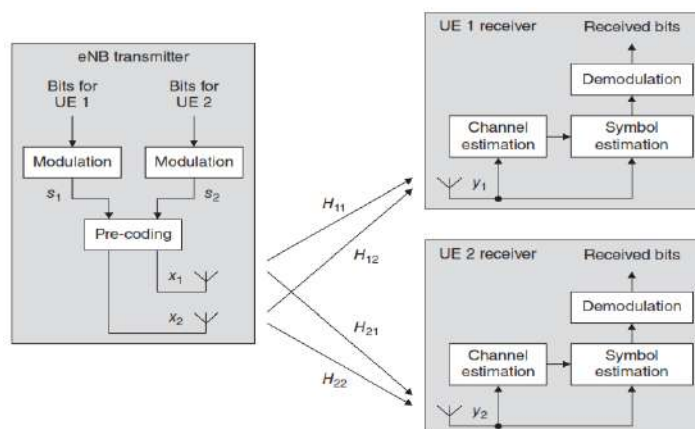
شکل ۵-۸ به طور خاص، به کارگیری MIMO چند کاربری در مسیر فراسو را نشان می‌دهد، که عموماً شایع‌تر است. در این روش، موبایل‌ها، در زمان و فرکانس یکسانی ارسال می‌کنند، بدون آن که از پیش کد کننده استفاده کنند و بدون آن که متوجه شوند که بخشی از یک سیستم مالتی‌پلکسینگ فضایی هستند. ایستگاه پایه، آن چه که این موبایل‌ها ارسال کرده را پس از دریافت، با استفاده از یک (به عنوان مثال) آشکار کننده خطای میانگین مربعات حداقل که قبلاً بیان کرده‌ایم، آنها را از هم جدا می‌کند.

این روش، فقط برای زمانی که ماتریس کانال خوب رفتار می‌کند، مناسب است، اما ما معمولاً از این روش برای تضمین دو دلیل استفاده می‌کنیم، نخست، موبایل‌ها به احتمال زیادی از هم دور هستند، بنابراین، سیگنال‌هایی که از آنها دریافت می‌شود خیلی متفاوت‌تر خواهد بود. دوم، ایستگاه پایه بتواند به طور آزادانه موبایل‌هایی را که مشارکت می‌کنند انتخاب کند. بنابراین دست ایستگاه پایه برای انتخاب موبایل‌ها با بهترین رفتار ماتریس کانال باز می‌باشد.

MIMO چند کاربری لینک فراسو، نرخ داده حداکثر لحظه‌ای را برای یک موبایل افزایش نمی‌دهد، بلکه از این نظر مناسب است که نرخ گذردهی سلول را بالا می‌برد. همچنین این روش می‌تواند روی موبایل‌های ارزان قیمتی که تنها دارای یک تقویت کننده توان و یک آنتن انتقال (ارسال) به جای دو آنتن انتقال هستند، پیاده‌سازی شود. با توجه به این دلایل، MIMO چند کاربری به عنوان یک روش استاندارد در مسیر فراسو LTE، در نسخه هشت تعیین گردید: MIMO تک کاربری تا نسخه دهم برای مسیر فراسو تعریف نشده بود.

همچنین ما می‌توانیم از روش MIMO چند کاربری در مسیر لینک فرسو استفاده کنیم، که در شکل ۵-۹ نشان داده شده است، که یک مشکلی در آن وجود دارد. موبایل ۱ می‌تواند سیگنال

دریافتی y_1 و عناصر کانال H_{11} و H_{12} را مثل قبل اندازه‌گیری کند. اما گیرنده هیچ اطلاعاتی از سیگنال دریافتی y_2 و سایر عناصر کانال H_{21} و H_{22} ندارد. عکس همین شرایط نیز برای موبایل ۲ اتفاق می‌افتد. موبایل نمی‌تواند اطلاعات کاملی از عناصر کانال یا سیگنال‌های دریافتی داشته باشد، که روش‌های باطلی هستند، که قبلاً استفاده شده است.



شکل ۵-۹ MIMO چند کاربری بکار رفته در لینک فروسو

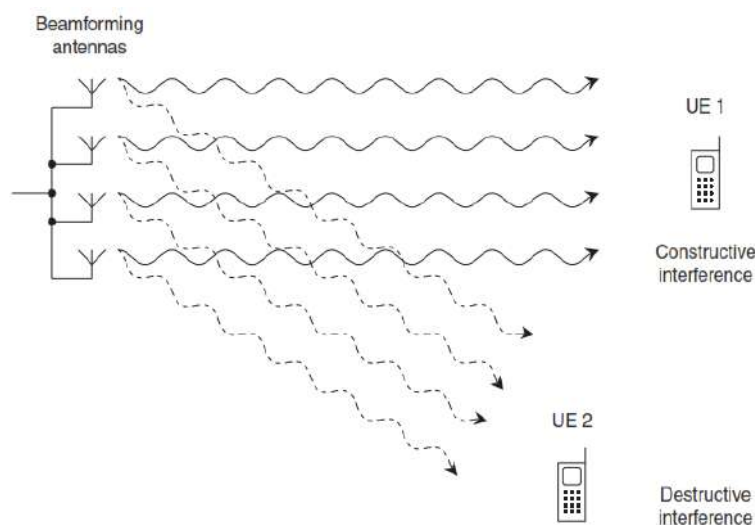
راه‌حل این مشکل، به کارگیری MIMO چند کاربری با استفاده از یک روش تطبیقی دیگری به نام شکل‌دهی پرتو^۱ می‌باشد. ما این روش را در بخش بعدی بررسی خواهیم کرد و در انتهای فصل به MIMO چند کاربری در لینک فروسو باز می‌گردیم.

۵-۳ شکل‌دهی پرتو

۵-۳-۱ مفاهیم کاربردی

شکل‌دهی پرتو شبیه چندگانگی ارسال و دریافت می‌باشد، اما دارای هندسی و روش‌های به کار رفته متفاوتی است. ایستگاه پایه همچنان دارای چندین آنتن است، اما جداسازی آنها کمتر از قبل شده است، به طور معمول، نصف طول موج فرکانس حامل. همچنین ما فرض می‌کنیم که انتشار چند مسیری ناچیزی بین ایستگاه پایه و موبایل وجود دارد. با آن هندسه، موبایل سیگنال‌های همبسته بالایی را از آنتن‌های فرستنده ایستگاه پایه دریافت می‌کند. در نتیجه، روش‌های مالتی‌پلکسینگ فضایی بیان شده در بخش‌های قبلی نامناسب می‌باشند.

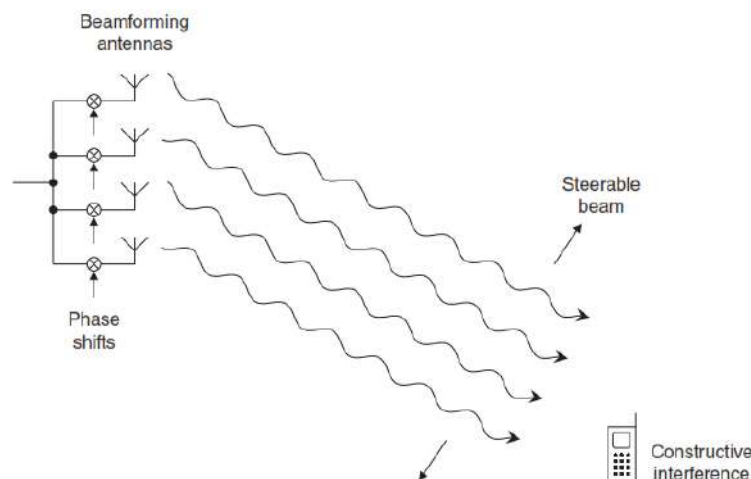
در عوض، آنتن‌های چندگانه، پوشش سلول‌های نشان داده شده در شکل مفهومی ۵-۱۰ را افزایش می‌دهند. در این شکل، موبایل ۱، در فاصله دورتری از ایستگاه پایه در یک دید مستقیم، که در گوشه‌های راست آرایه آنتن می‌باشد، قرار دارد. سیگنال‌ها از هر آنتن به موبایل ۱ می‌رسند که دارای تداخل سازنده و in-phase می‌باشند، پس توان سیگنال دریافتی بالا خواهد بود. در حالتی دیگر، موبایل ۲ در یک زاویه مایل قرار گرفته است. سیگنال‌های دریافتی از آنتن‌های متناوب (یک در میان) بوده که با یک اختلاف فاز 180° درجه‌ای خارج از فاز دریافت می‌شوند. این سیگنال‌ها با تداخل مخرب دریافت شده است، بنابراین توان سیگنال دریافتی پایین می‌باشد. در نتیجه، ما یک طیف آنتن ایجاد شده ترکیبی داریم به طوری که، دارای یک طیف اصلی است که به سمت موبایل ۱ نشانه رفته است و دیگری دارای یک اشاره کننده خالی (Null) به سمت موبایل ۲ می‌باشد. عرض طیف نازک‌تر از یک طیف آنتن یکتا می‌باشد. پس توان ارسالی به سمت موبایل ۱ متمرکز شده است. در نتیجه، محدوده ایستگاه پایه در جهت موبایل ۱ بزرگتر از قبل می‌باشد.



شکل ۵-۱۰ مفاهیم پایه‌ای شکل‌دهی طیف

همان طور که در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است، ما می‌توانیم یک گام فراتر برداریم. با اعمال یک پرش فازی به سیگنال ارسالی، می‌توانیم جهت را به سمت تداخل سازنده تغییر دهیم. در نتیجه، طیف را به جهت انتخاب شده تغییر می‌دهیم. به طور کلی‌تر، ما می‌توانیم دامنه و فاز سیگنال ارسالی را با اعمال یک دسته وزن‌های مناسب به سیگنال، تغییر دهیم. در یک سیستم با N

آنتن، این وزن‌ها به ما اجازه می‌دهند، تا جهت طیف اصلی را با $N-2$ جهت Null یا لوب فرعی تنظیم کنیم.



شکل ۵-۱۱ گستره طیف با استفاده از یک دسته تغییرات فاز

ما می‌توانیم همین روش را برای ساختن یک طیف ترکیبی دریافتی برای مسیر فراسو به کار ببریم. این کار با اعمال مجموعه‌ای از وزن‌های آنتن مناسب درگیرنده ایستگاه پایه انجام می‌گیرد، می‌توانیم مطمئن شویم که سیگنال‌های دریافتی در یک حالت in-phase و تداخل سازنده با همدیگر ادغام می‌شوند و محدوده یک لینک فراسو را افزایش می‌یابد.

۵-۳-۲ هدایت طیف

به طور ریاضیاتی، وزن‌های آنتن در یک سیستم شکل‌دهی طیف، شبیه وزن‌های پیش‌کدینگ می‌باشند، که ما آن را برای چندگانگی ارسال و مالتی‌پلکسینگ فضایی به کار می‌بریم. اما در مورد شکل‌دهی پرتو، مسیرهای طیفی مختلف همبستگی بالایی با یکدیگر دارند، بنابراین، وزن‌های آنتن‌ها برای یک مدت طولانی به طور پایدار می‌مانند. این پایداری باعث می‌شود که غالباً ایستگاه پایه عملاً بتواند وزن‌ها را بدون بازخورد گرفتن از موبایل تخمین بزند.

برای طیف‌های دریافتی در لینک فراسو، دو روش مهم وجود دارد [8,9]. با استفاده از روش سیگنال مرجع^۱، ایستگاه پایه وزن‌های آنتن را طوری تنظیم می‌کند، که سمبل‌های مرجع موبایل با فاز سیگنال صحیح و بالاترین نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل (SINR) ممکن بازسازی

1. Reference Signal Technique

شوند. روش جایگزین، روش هدایت ورودی^۱ است، که ایستگاه پایه سیگنال‌های دریافتی به وسیله هر آنتن را اندازه‌گیری کرده و جهت موبایل هدف را تخمین می‌زند. ایستگاه پایه از این مقدار، برای تخمین وزن آنتن‌ها که برای دریافت رضایت بخش اطلاعات نیاز دارد، استفاده می‌کند.

برای طیف‌های انتقالی در لینک فراسو، پاسخ بستگی به روش کارکرد ایستگاه پایه دارد. در روش TDD، لینک فراسو و لینک فروسو از فرکانس حامل یکسانی استفاده می‌کنند، بنابراین ایستگاه پایه می‌تواند از وزن‌های آنتن یکسان بر روی لینک فروسو که برای لینک فراسو محاسبه شده، استفاده کند. در روش FDD، فرکانس حامل متفاوت است، در نتیجه وزن‌های آنتن لینک فروسو متفاوت بوده و برای تخمین دشوار می‌باشند. به همین جهت، شکل‌دهی پرتو TDD کاربرد وسیع‌تری نسبت به روش FDD را دارد.

با وجود این محدودیت‌ها، عدم وجود بازخورد، یک مزیت بیشتری را به همراه دارد: ما می‌توانیم طراحی سیستم را به وسیله فرایند شکل‌دهی پرتو به گونه‌ای انجام دهیم که این فرآیند برای موبایل قابل درک نباشد. برای دستیابی به این هدف، ایستگاه پایه، وزن‌های آنتن خود را به هر چیزی که ارسال می‌کند، اعمال می‌نماید، نه تنها داده بلکه شامل سیگنال‌های مرجع نیز می‌باشد که در حال حاضر به سمت موبایل خاصی در حال ارسال می‌باشند. پس، موبایل انتقالات لینک فروسو با فاز و دامنه صحیحی را دریافت می‌کند. در نتیجه، ایستگاه پایه مجبور نیست که اطلاعاتی درباره وزن‌هایی که انتخاب کرده است را به موبایل اطلاع بدهد.

حتی اگر سیگنال‌های مرجع ویژه موبایل باشند، یک ایستگاه پایه OFDMA، همچنان می‌تواند به بیش از یک موبایل در همان لحظه ارسال کند. برای رسیدن به این هدف، به آسانی، ایستگاه پایه باید مجموعه مختلفی از زیر حامل‌ها را با استفاده از مجموعه مختلفی از وزن‌های آنتن‌ها پردازش کند، به طوری که، می‌تواند طیف‌های آنتن را به سمت موبایل‌های مختلف ایجاد کند. به علاوه، همچنین ایستگاه پایه ممکن است قادر به ارسال چندین موبایل بر روی همان زیر حامل‌ها با به کار بردن روش‌های MIMO چند کاربری باشد، که در زیر توضیح داده می‌شود.

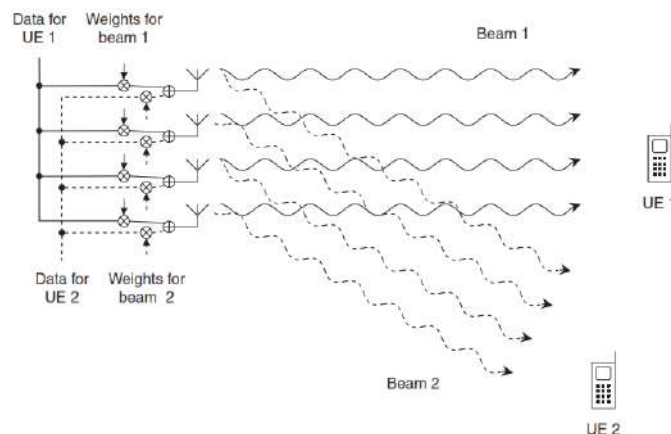
۵-۳-۳ MIMO چند کاربری لینک فروسو بازبینی شده

در انتهای بخش ۵-۲-۶، تلاش کردیم تا MIMO چند کاربری لینک فروسو را با استفاده از همان روشی که قبلاً در مالتی‌پلکسینگ فضایی پیاده‌سازی کرده بودیم، را به کار ببریم. ما دریافتیم که موبایل‌ها اطلاعات کافی برای بازیابی سبمل‌های ارسالی را ندارند پس روش‌های قبلی نامناسب می‌باشند.

اما ما می‌توانیم این مسئله را همان‌گونه که در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است، حل کنیم: در این شکل، ایستگاه پایه دو جریان داده مختلفی را به جای یک جریان داده، در داخل آرایه آنتن خودش ارسال می‌کند. سپس داده‌ها را با استفاده از مجموعه‌ای مختلفی از وزن‌های آنتن پردازش کرده و نتیجه را قبل از ارسال در همدیگر ادغام می‌کند. در انجام این کار، ایستگاه پایه دو طیف آنتن جداگانه را ایجاد می‌کند، که در حامل‌های یکسان به اشتراک گذاشته می‌شوند اما دو مجموعه مختلف از اطلاعات را از حمل می‌کنند. سپس ایستگاه پایه می‌تواند وزن‌های آنتن را تنظیم کند، به طوری که طیف اصلی و طیف پوچ به دو موبایل مختلف هدایت می‌کند، به طوری که موبایل اول تداخل سازنده را از طیف ۱ و تداخل مخرب را از سوی طیف ۲ دریافت می‌کند و برعکس، موبایل دوم تداخل سازنده را از طیف ۲ و تداخل مخرب را از طیف ۱ دریافت می‌نماید. با انجام این کار، ایستگاه‌های پایه می‌توانند ظرفیت سلول را دو برابر کند و همان چیزی است که دقیقاً MIMO چند کاربری لینک فروسو نیاز دارد. ما نتیجه می‌گیریم که MU-MIMO بهترین نوع شکل‌دهی پرتو است و به بهترین حالت با آنتن‌های ایستگاه پایه پیاده‌سازی می‌شود، که به همدیگر نزدیک‌اند و برای آنتن‌های ایستگاه پایه که از هم فاصله دارند به خوبی عمل نمی‌کند.

برای این که، این روش برای اینکه طور مؤثر کار کند، باید طیف هر آنتن را به گونه‌ای هدایت کنیم که نقاط طیف اصلی آن به سمت یک موبایل هدف نشانه رفته باشد و طیف‌های پوچ (لوب‌های جانبی) آن را به موبایل دیگری که در این روش شرکت کرده است هدایت گردد. این کار خیلی سخت است، بنابراین LTE پشتیبانی کامل MIMO چند کاربری تا نسخه دهم را توصیه نمی‌کند. در نسخه ۱۰، مشخصات بازخورد PMI دقیقی را معرفی کرد، که برای MIMO چند کاربردی طراحی شده بود و کمک می‌کرد، تا ایستگاه پایه طیف‌های اصلی و پوچ را با دقت مورد نیاز هدایت کند.

با این وجود، LTE یک پشتیبانی محدود شده برای MIMO چند کاربری در نسخه هشت آرایه داده است که دو روش ممکن برای اجرای آن وجود دارد.



شکل ۵-۱۲ شکل‌دهی پرتو با استفاده از دو مجموعه موازی از وزن‌های آنتن

اصلی‌ترین روش این است، که همان بازخورد PMI در MIMO تک کاربردی وجود داشت، استفاده شود. پس، این روش زمانی مؤثر خواهد بود، که کتاب کد به گونه‌ای اتفاق بیفتد که دارای یک ماتریس پیش کدینگ باشد که برای MIMO چند کاربری مناسب است. اغلب این طور نیست، بنابراین کارایی این روش در نسخه هشتم نسبتاً ضعیف می‌باشد. ایستگاه پایه به نوبه خود، می‌تواند وزن‌های آنتن را بدون هیچ بازخوردی تخمین بزند که استفاده از این روش قبلاً بیان شده است. این کار فقط در حالت TDD میسر است و در حالت FDD به طور کلی کارآمد نمی‌باشد.

منابع و مآخذ این فصل

1. Biglieri, E., Calderbank, R., Constantinides, A. et al. (2010) *MIMO Wireless Communications*, Cambridge University Press.
2. 4G Americas (2009) MIMO Transmission Schemes for LTE and HSPA Networks, June 2009.
3. 4G Americas (2010) MIMO and Smart Antennas for 3G and 4G Wireless Systems: Practical Aspects and Deployment Considerations, May 2010.
4. Lee, J., Han, J.K. and Zhang, J. (2009) MIMO technologies in 3GPP LTE and LTE-advanced. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009, 1–10, article ID 302092.

5. 3GPP TS 36.101 (2013) User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 11, Section 7.2, September 2013.
6. Alamouti, S. (1998) Space block coding: a simple transmitter diversity technique for wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 16, 1451–1458.
7. Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. and Flannery, B.P. (2007) *Numerical Recipes*, 3rd edn, Section 2.6, Cambridge University Press.
8. Godara, L.C. (1997) Applications of antenna arrays to mobile communications, part I: performance improvement, feasibility, and system considerations. *Proceedings of the IEEE*, 85, 1031–1060.
9. Godara, L.C. (1997) Application of antenna arrays to mobile communications, part II: beam-forming and direction-of-arrival considerations. *Proceedings of the IEEE*, 85, 1195–1245.

فصل ششم: معماری واسطه هوایی LTE

حال ما می‌توانیم مفاهیم واسط هوایی را پوشش بدهیم، می‌توانیم توضیح دهیم که آن مفاهیم چگونه در LTE به کار رفته است. این کار با تمرکز در پنج فصل آینده اتفاق خواهد افتاد.

در این فصل، معماری سطح بالای واسط هوایی را پوشش می‌دهیم. در شروع ما به تشریح پروتکل واسط هوایی می‌پردازیم و کانال‌ها و سیگنال‌هایی که اطلاعات را بین پروتکل‌های مختلف رد و بدل می‌کنند، را معرفی خواهیم کرد. سپس چگونگی سازماندهی واسط هوایی OFDMA و SC-FDMA به عنوان یک تابعی از زمان و فرکانس در یک منبع مشبک را بیان خواهیم کرد و چگونگی پیاده‌سازی آنتن‌های چندگانه توسط LTE با استفاده از چندین کپی از منبع مشبک را بحث خواهیم کرد.

در انتها، عناصر پیش‌کدینگ را با ارایه چگونگی نگاشت کانال و سیگنال‌ها در داخل منبع مشبک بیان می‌کنیم که در لینک فراسو و لینک فروسو استفاده می‌شود.

۶-۱ پشته پروتکلی واسط هوایی

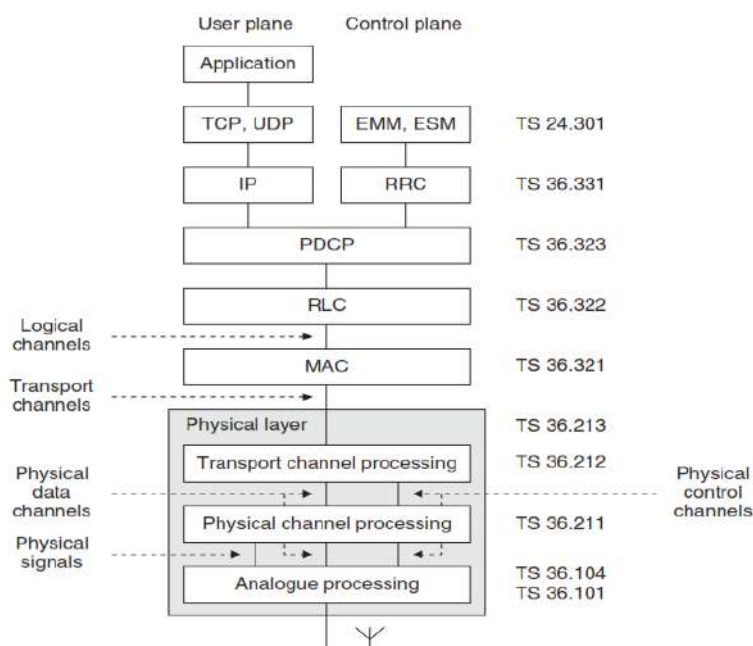
در شکل ۶-۱ خلاصه‌ای از پروتکل‌های استفاده شده در واسط هوایی را از دید موبایل مشاهده می‌کنیم. با توجه به اطلاعات ارایه شده در فصل دوم، شکل فوق جزئیات بیشتری از لایه فیزیکی را بیان کرده و جریان اطلاعات بین لایه‌های مختلف پشته پروتکلی را نشان می‌دهد.

اجازه بدهید تا فرستنده را در نظر بگیریم، در پلان کاربری، یک برنامه کاربردی بسته‌های داده را ایجاد می‌کند که آنها توسط پروتکل‌هایی نظیر TCP، UDP و IP پروتکل پردازش می‌شوند، در حالی که در پلان کنترلی، پروتکل کنترل منابع رادیویی (RRC) پیام‌های سیگنالینگ را می‌نویسد که بین ایستگاه پایه و موبایل رد و بدل می‌شوند [1]. در هر دو مورد اطلاعات توسط پروتکل همگرایی داده بسته (PDCP) [2]، پروتکل کنترل لینک رادیویی (RLC) [3] و پروتکل دسترسی رسانه (MAC) [4] قبل از ارسال به لایه فیزیکی جهت انتقال، پردازش می‌شود.

لایه فیزیکی سه بخش دارد: پردازشگر کانال/انتقال^۱ [5] که مدیریت خطا را انجام می‌دهد و در بخش 3-4 پوشش داده شد، در حالی که پردازشگر کانال فیزیکی^۲ [۵] روش‌های OFDMA، SC-FDMA و انتقال آنتن‌های چند لایه که در فصل چهارم و پنجم بیان شد، را پیاده‌سازی می‌کند. در نهایت پردازشگر آنالوگ^۳ [۷-۸] اطلاعات را به فرم آنالوگ تبدیل کرده و سپس آنها

1. Transport Channel Processor
2. Physical Channel Processor
3. Analogue Processor

را فیلتر و ادغام می‌کند تا از طریق فرکانس حامل رادیویی ارسال شوند. مشخصات فنی (3GPP) جداگانه‌ای [۹] به طور کامل قابلیت‌های مخصوص لایه فیزیکی را بیان می‌کنند.



شکل ۶-۱ معماری پشته پروتکلی واسط هوایی

جریان اطلاعات بین پروتکل‌های مختلفی که کانال‌ها و سینکال‌ها نامیده می‌شوند، منتقل می‌گردد. داده‌ها و پیام‌های سینکالینگی روی کانال‌های منطقی^۱ بین پروتکل RLC و MAC، کانال‌های انتقالی^۲ بین لایه MAC و لایه فیزیکی و کانال‌های داده فیزیکی^۳ بین سطوح مختلفی از لایه فیزیکی منتقل می‌شوند. LTE انواع مختلفی از کانال‌های منطقی، انتقال و فیزیکی را به کار می‌برد، که با توجه به نوع اطلاعاتی که آنها حمل می‌کنند و روشی که برای پردازش اطلاعات به کار می‌برند، شناسایی می‌شوند.

همچنین در فرستنده، پردازشگر کانال انتقال، اطلاعات کنترلی^۴ را ایجاد می‌کند که از عملیات سطح پایین لایه فیزیکی پشتیبانی می‌کند و اطلاعات را به پردازشگر کانال فیزیکی در قالب کانال

1. Logical Channel
2. Transport Channel
3. Physical Data Channels
4. Control Information

های کنترل فیزیکی^۱ ارسال می‌کند. این اطلاعات به پردازشگر کانال انتقال در گیرنده منتقل می‌شوند اما این اطلاعات از دید لایه‌های بالاتر کاملاً مخفی هستند. به طور مشابه، پردازشگر کانال فیزیکی سیگنال‌های فیزیکی^۲ را تولید می‌کند که از پایین‌ترین سطوح عملیات سیستمی پشتیبانی می‌کند. این اطلاعات به پردازشگر کانال فیزیکی درگیرنده می‌رسد، اما به طور کلی از دید لایه‌های بالاتر کاملاً مخفی می‌باشد.

۲-۶ کانال‌های منطقی، انتقال و فیزیکی

۱-۲-۶ کانال‌های منطقی

جدول ۱-۶ لیستی از کانال‌های منطقی که در LTE استفاده می‌شود، را نشان می‌دهد [۱۰]. این کانال‌ها از طریق اطلاعاتی که منتقل می‌کنند تشخیص داده شده و به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته نخست، کانال‌های ترافیکی منطقی هستند، که داده‌های پلان کاربری را حمل می‌کنند، در حالی که، کانال‌های کنترل منطقی، پیام‌های سیگنالینگ را در پلان کنترل حمل می‌کنند. دومین دسته، کانال‌های منطقی اختصاصی هستند، که به یک موبایل اختصاص داده می‌شوند، در کنار آن، کانال‌های منطقی عمومی هم می‌توانند توسط چندین موبایل استفاده شوند.

مهم‌ترین کانال‌های منطقی، کانال‌هایی ترافیکی اختصاصی (DTCH)^۳ هستند، که داده‌ها را به یک یا از یک موبایل حمل می‌کنند، کانال‌های کنترل اختصاصی (DCCH)^۴ که بخش بزرگی از پیام‌های بسیار مهم سیگنالینگ را حمل می‌کنند. به طور دقیق‌تر، کانال کنترل اختصاصی همه پیام سیگنالی ویژه موبایل را روی حامل‌های سیگنالینگ رادیویی ۱ و ۲ برای موبایل‌هایی که در وضعیت RRC_CONNECTED هستند، منتقل می‌کند.

کانال کنترل پخش سراسری (BCCH)^۵ پیام‌های اطلاعات سیستم RRC را حمل می‌کند، که ایستگاه پایه آنها را در کل سلول پخش می‌کند و به موبایل‌هایی می‌گوید که سلول چگونه پیکربندی شده است. این پیام‌ها در دو گروه نابرابر تقسیم شده‌اند، که به صورت کاملاً متفاوت در

-
1. Physical Control Channels
 2. Physical Channels
 3. Dedicated Traffic Channel
 4. Dedicated Control Channel
 5. Broadcast Control Channel

لایه‌های پایین‌تر نسبت به همدیگر حمل می‌شوند. بلاک اطلاعات اصلی (MIB)^۱ برخی از پارامترهای مهمی مانند پهنای باند لینک فروسو را حمل می‌کنند، در حالی که بعضی از بلاک‌های اطلاعات سیستم (SIBs)^۲ یادآوری کنندگان را حمل می‌نمایند.

کانال کنترل فراخوانی (PCCH)^۳ پیام‌های فراخوانی^۴ را حمل می‌کند، که ایستگاه پایه برای موبایلی که در وضعیت RRC_IDLE قرار دارد، برای فراخوانی از این کانال‌ها استفاده کند. کانال کنترل عمومی (CCCH)^۵، پیام‌هایی که روی حامل سیگنالینگ رادیویی^۶ قرار دارد، را حمل می‌کند تا موبایل از وضعیت RRC_IDLE به وضعیت RRC_CONNECTED در روش برقراری اتصال RRC تغییر وضعیت دهد.

مثل سایر جداول دیگر در این فصل، جدول ۶-۱ لیستی از کانال‌هایی که در هر نسخه LTE وجود دارد، را آورده است. کانال ترافیک چند پخش (MTCH)^۷ و کانال کنترل چند پخش (MCCH)^۸ برای اولین بار در نسخه ۹ دیده شدند، تا سرویسی به نام سرویس پخش سراسری چند رسانه‌ای / چند پخش (MBMS)^۹ را حمل می‌کند، که ما آنها را در فصل هجدهم پوشش خواهیم داد.

جدول ۶-۱ لیست کانال‌های منطقی

Channel	Release	Name	Information carried	Direction
DTCH	R8	Dedicated traffic channel	User plane data	UL, DL
DCCH	R8	Dedicated control channel	Signalling on SRB 1 and 2	
CCCH	R8	Common control channel	Signalling on SRB 0	
PCCH	R8	Paging control channel	Paging messages	DL
BCCH	R8	Broadcast control channel	System information	
MCCH	R9	Multicast control channel	MBMS signalling	
MTCH	R9	Multicast traffic channel	MBMS data	

1. Master Information Block
2. System Information Blocks
3. Paging Control Channel
4. Paging Message
5. Common Control Channel
6. Multicast Traffic Channel
7. Multicast Control Channel
8. Multimedia Broadcast/Multicast Service

۲-۲-۶ کانال‌های انتقالی

کانال‌های انتقالی در جدول ۲-۶ آورده شده‌اند [۱۱]، آنها از طریق روش‌هایی که پردازشگر کانال انتقال آنها را محاسبه می‌کند، تشخیص داده می‌شوند.

شکل ۲-۶ کانال‌های انتقال

Channel	Release	Name	Information carried	Direction
UL-SCH	R8	Uplink shared channel	Uplink data and signalling	UL
RACH	R8	Random access channel	Random access requests	
DL-SCH	R8	Downlink shared channel	Downlink data and signalling	DL
PCH	R8	Paging channel	Paging messages	
BCH	R8	Broadcast channel	Master information block	
MCH	R8/R9	Multicast channel	MBMS	

مهم‌ترین کانال‌های انتقال، کانال‌های اشتراک‌گذاری لینک فراسو (UL-SCH)^۱ و کانال‌های اشتراک‌گذاری لینک فروسو (DL-SCH)^۲ هستند، که بخش بزرگی از داده‌ها و پیام‌های سیگنالینگ در واسطه هوایی را حمل می‌کنند. کانال فراخوانی (PCH)^۳، پیام‌های فراخوانی را که از کانال کنترل فراخوانی آغاز می‌شود، را حمل می‌نماید. کانال پخش سراسری (BCH)^۴، پیام‌های بلاک اطلاعات اصلی کانال‌های کنترل پخش همه جانبه را حمل می‌کند: یادآوری پیام‌های اطلاعات سیستم، توسط کانال اشتراک‌گذاری لینک فروسو حمل می‌شوند، به طوری که اگر آنها داده‌های معمولی لینک فروسو بوده باشند، کانال چند پخش (MCH)^۵، به طور کامل در نسخه هشت آورده شده است، تا داده MBMS را حمل کند. با این حال، تا زمانی که در نسخه نهم این سرویس‌ها معرفی شوند، قبل از آن کاربردی نداشتند.

معمولاً ایستگاه پایه اطلاعاتی که موبایل می‌سازد را زمان‌بندی می‌کند، این کار توسط اعطای منابع به انتقالات لینک فروسو در یک زمان خاص و بر روی زیر حامل‌های خاص صورت می‌گیرد. کانال دسترسی تصادفی (RACH)^۶ یک کانال ویژه‌ای است، که با استفاده از آن، موبایل می‌تواند با شبکه ارتباط برقرار کند، بدون آن که از قبل زمان‌بندی شده باشد، ارتباطات دسترسی

-
1. Uplink Shared Channel
 2. Downlink Shared Channel
 3. Paging Channel
 4. Broadcast Channel
 5. Multicast Channel
 6. Random Access Channel

تصادفی توسط پروتکل MAC موبایل ساخته می‌شوند و به پروتکل MAC در ایستگاه پایه منتقل می‌شود. اما این پیامها به طور کامل از دید لایه‌های بالاتر مخفی هستند.

مهم‌ترین تفاوت بین این کانال‌های انتقال، رویکردی است، که آنها در برابر مدیریت خطا اتخاذ می‌کنند. به خصوص، کانال‌های اشتراک‌گذاری لینک فراسو و لینک فروسو فقط برای مبادله اطلاعاتی اقدام می‌کنند، که در آنها روش‌های درخواست تکرار خودکار (ARQ) و ترکیبی (HARQ) استفاده شده باشد و کانال‌هایی هستند، که فقط می‌توانند نرخ کدینگ خود را از سیگنال دریافتی بر اساس نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل (SINR) تغییر دهند. همان محدودیت یاد شده، به اطلاعات کنترل هم اعمال می‌شوند که در زیر پوشش خواهیم داد.

۳-۲-۶ کانال‌های داده فیزیکی

جدول ۳-۶ لیستی از کانال‌های داده فیزیکی را نشان می‌دهد [۱۲]. آنها از روی روشی که پردازشگر کانال فیزیکی آنها را محاسبه می‌کند و روش‌هایی که آنها در داخل سمبل‌ها و زیر حامل‌های به کار رفته توسط OFDMA نگاشت می‌شوند، تشخیص داده می‌شوند:

جدول ۳-۶ کانال‌های داده فیزیکی

Channel	Release	Name	Information carried	Direction
PUSCH	R8	Physical uplink shared channel	UL-SCH and/or UCI	UL
PRACH	R8	Physical random access channel	RACH	
PDSCH	R8	Physical downlink shared channel	DL-SCH and PCH	DL
PBCH	R8	Physical broadcast channel	BCH	
PMCH	R8/R9	Physical multicast channel	MCH	

مهم‌ترین کانال فیزیکی، کانال‌های فیزیکی اشتراک‌گذاری لینک فروسو (PDSCH)^۱ و کانال‌های فیزیکی اشتراک‌گذاری لینک فراسو (PUSCH)^۲ هستند، که PDSCH، داده‌ها و پیام‌های سیگنالینگ از کانال اشتراک‌گذاری لینک فروسو مانند پیام‌های فراخوانی از کانال‌های فراخوانی را حمل می‌کند. PUSCH نیز پیام‌های سیگنالینگ و داده‌های کانال‌های اشتراک‌گذاری لینک فراسو را حمل می‌کند و گاهی هم اطلاعات کنترل لینک فراسو (UCI) را که در زیر توصیف می‌شود، را منتقل می‌کند.

1. Physical Downlink Shared Channel

2. Physical Uplink Shared Channel

کانال پخش فیزیکی (PBCH)^۱، بلاک اطلاعات اصلی را از کانال پخش سراسری حمل می‌کند، به طوری که کانال دسترسی تصادفی فیزیکی (PRACH)^۲، انتقالات دسترسی تصادفی از سوی کانال دسترسی تصادفی را حمل می‌کنند. کانال چند پخش فیزیکی (PMCH)^۳ به طور کامل در نسخه هشت مشخص گردید تا داده‌ها را در کانال‌های چند پخشی حمل کنند، اما تا نسخه نهم قابل استفاده نبوند.

PUSCH و PDSCH تنها کانال‌های فیزیکی هستند، که طرح‌های مدولاسیون خود را در پاسخ به SINR تغییر و تطبیق می‌دهند. به غیر از آنها، همه کانال‌های فیزیکی از یک طرح مدولاسیون ثابت معمولاً QPSK استفاده می‌کنند. حداقل در نسخه هشت LTE، تنها PDSCH از کانال‌های فیزیکی، برای روش‌هایی مثل مالتی‌پلکسینگ فضایی و شکل‌دهی پرتو که در بخش ۲-۵ و ۳-۵ یا روش چندگانگی انتقال حلقه بسته که در بخش ۵-۱-۲ بیان شد، پشتیبانی می‌کند. سایر کانال‌ها، از یک کانال ارسال می‌کند یا می‌توانند از چندگانگی ارسال حلقه باز در لینک فروسو استفاده کنند. یک بار دیگر، همان محدودیت‌هایی که در کانال‌های کنترل فیزیکی اعمال می‌شود را در ادامه بیان می‌کنیم.

۶-۲-۴ اطلاعات کنترلی

پردازشگر کانال انتقال، چندین نوع از اطلاعات کنترلی را می‌سازد تا از عملیات سطح پایین در لایه فیزیکی پشتیبانی کند. این اطلاعات کنترلی در جدول ۶-۴ آورده شده است.

اطلاعات کنترلی لینک فراسو^۴، شامل چند فیلدی هستند، تصدیق‌های HARQ^۵، تصدیق‌های موبایل از انتقال‌های ایستگاه پایه بر روی DL-SCH هستند. شناسه کیفیت کانال (CQI) که در فصل چهارم معرفی شد و بیان‌کننده SINR دریافتی به عنوان یک تابعی از فرکانس در پشتیبانی از زمان‌بندی وابسته به فرکانس می‌باشد. همچنین، شناسه ماتریس پیش‌کدینگ (PMI) و شناسه رتبه‌بندی (RI)، که در فصل پنجم بیان شدند و برای پشتیبانی از مالتی‌پلکسینگ فضایی به کار می‌رود، از مواردی هستند که در این فیلدها درج می‌شوند. در مجموع، شناسه کیفیت کانال،

-
1. Physical Broadcast Channel
 2. Physical Random Access Channel
 3. Physical Multicast Channel
 4. Uplink Control Information
 5. Hybrid ARQ Acknowledgment

شناسه ماتریس پیش کدینگ و شناسه رتبه‌بندی گاهی به نام اطلاعات وضعیت کانال (CSI)^۱ خوانده می‌شوند. اگرچه این مورد تا نسخه دهم در ویژگی‌ها و مشخصات 3GPP مشاهده نشده بود. در پایان، اگر موبایل بخواهد وارد لینک فراسو برای انتقال شود اما منابع لازم را نداشته باشد، یک درخواست زمان‌بندی (SR)^۲ به شبکه ارسال می‌کند.

اطلاعات کنترل لینک فراسو (DCI)^۳، شامل فلیدهای کنترلی اصلی لینک فراسو است. ایستگاه پایه با استفاده از دستورات زمان‌بندی^۴ و اعطای زمان‌بندی^۵ می‌تواند موبایل را از انتقالات آینده بر روی کانال اشتراک‌گذاری و لینک فراسو و اعطای منابع برای انتقال بر روی کانال اشتراک‌گذاری لینک فراسو آگاه کند. همچنین ایستگاه پایه می‌تواند از روی این که چه موبایلی در حال ارسال است توان خود را تنظیم کند. این کار توسط دستورات کنترل توان^۶ انجام می‌پذیرد.

سایر اطلاعات کنترلی دارای اهمیت کمی هستند. شناسه‌های قالب کنترل (CFIs)^۷ درباره سازماندهی داده‌ها و اطلاعات کنترلی روی لینک فراسو اطلاعاتی را ارائه می‌دهند، درحالی که شناسه‌های ARQ ترکیبی (HIS)^۸ تصدیق‌های ایستگاه پایه روی انتقالات موبایل بر UL-SCH می‌باشند.

جدول ۶-۴ اطلاعات کنترلی

Field	Release	Name	Information carried	Direction
UCI	R8	Uplink control information	Hybrid ARQ acknowledgements Channel quality indicators (CQI) Pre-coding matrix indicators (PMI) Rank indications (RI) Scheduling requests (SR)	UL
DCI	R8	Downlink control information	Downlink scheduling commands Uplink scheduling grants Uplink power control commands	DL
CFI	R8	Control format indicator	Size of downlink control region	DL
HI	R8	Hybrid ARQ indicator	Hybrid ARQ acknowledgements	

1. Channel State Information
2. Scheduling Request
3. Downlink Control Information
4. Scheduling Commands
5. Scheduling Grants
6. Power Control Commands
7. Control Format Indicators
8. Hybrid ARQ Indicators

۵-۲-۶ کانال‌های کنترل فیزیکی

کانال‌های کنترلی فیزیکی در جدول ۵-۶ آورده شده است. در لینک فروسو، یک نگاشت یک به یک بین کانال‌های کنترلی فیزیکی و کانال‌های کنترلی آورده شده در بالا وجود دارد. به عنوان مثال، کانال کنترل فیزیکی لینک فروسو (PDCCH)^۱، کانال فیزیکی شناسه قالب کنترلی (PCFICH)^۲ و کانال فیزیکی شناسه ARQ ترکیبی (PHICH) که به ترتیب اطلاعات کنترلی لینک فروسو، شناسه‌های قالب کنترلی و شناسه‌های HARQ (PHICH)^۳ را حمل می‌کنند. کانال تقویت کننده کنترل فیزیکی لینک فروسو (R-PDCCH)^۴ و کانال توسعه یافته کنترل فیزیکی لینک فروسو (EPDCCH)^۵ انواع دیگری از PDCCH هستند، که در نسخه‌های دهم و یازدهم ارائه شده است.

جدول ۵-۶ کانال‌های کنترل فیزیکی

Channel	Release	Name	Information carried	Direction
PUCCH	R8	Physical uplink control channel	UCI	UL
PCFICH	R8	Physical control format indicator channel	CFI	DL
PHICH	R8	Physical hybrid ARQ indicator channel	HI	
PDCCH	R8	Physical downlink control channel	DCI	
R-PDCCH	R10	Relay physical downlink control channel	DCI	
EPDCCH	R11	Enhanced physical downlink control channel	DCI	

اگر موبایل داده را در همان لحظه روی لینک فراسو انتقال دهد، اطلاعات کنترلی لینک فراسو روی PUSCH قرار دارد و در غیر این صورت، روی کانال‌های کنترلی لینک فراسوی فیزیکی (PUCCH)^۶ قرار می‌گیرد. PUSCH و PUCCH روی مجموعه‌های مختلفی از زیر حامل‌ها منتقل می‌شوند، پس به این ترتیب است که انتقال لینک فراسو به طور پیش فرض از حامل‌های منفرد پشتیبانی می‌کند، که مطابق با نیازمندی‌های SC-FDMA است.

-
1. Physical Downlink Control Channel
 2. Physical Control Format Indicator Channel
 3. Physical Hybrid ARQ Indicator
 4. Relay Physical Downlink Control Channel
 5. Enhanced Physical Downlink Control Channel
 6. Physical Uplink Control Channel

۶-۲-۶- سیگنال‌های فیزیکی

آخرین جریان‌های اطلاعاتی، سیگنال‌های فیزیکی هستند، که از عملیات سطح پایینی در لایه فیزیکی پشتیبانی می‌کنند، ما آنها را در جدول ۶-۶ آورده‌ایم.

جدول ۶-۶ سیگنال‌های فیزیکی

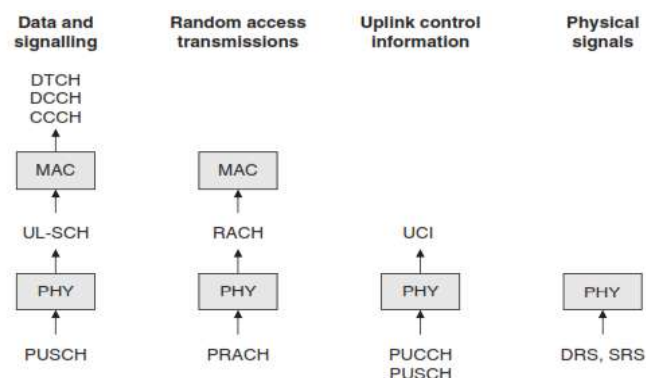
Signal	Release	Name	Use	Direction
DRS	R8	Demodulation reference signal	Channel estimation	UL
SRS	R8	Sounding reference signal	Scheduling	
PSS	R8	Primary synchronization signal	Acquisition	DL
SSS	R8	Secondary synchronization signal	Acquisition	
RS	R8	Cell specific reference signal	Channel estimation and scheduling	DL
	R8	UE specific reference signal	Channel estimation	
	R8/R9	MBMS reference signal	Channel estimation	
	R9	Positioning reference signal	Location services	
	R10	CSI reference signal	Scheduling	

در لینک فراسو، موبایل سیگنال مرجع دملاسیون (DRS)^۱ را در همان لحظه‌ای که PUCCH و PUSCH را به عنوان یک مرجع فاز برای تخمین کانال به کار می‌برد، ارسال می‌کند. همچنین موبایل می‌تواند سیگنال مرجع صداگذاری (SRS)^۲ را در لحظاتی که توسط ایستگاه پایه به عنوان مرجع توان در پشتیبانی از زمان‌بندی وابسته به فرکانس استفاده می‌شود، منتقل نماید. معمولاً لینک فروسو این دو وظیفه را در قالب یک سیگنال مرجع ویژه سلول (RS)^۳ ترکیب می‌کند. سیگنال‌های مرجع ویژه UE ^۴، از اهمیت کمتری برخوردار هستند و به موبایل‌هایی که از شکل دهی پرتو در تخمین کانال استفاده می‌کنند، ارسال می‌شوند. این مشخصات فنی، سیگنال‌های مرجع لینک فروسو دیگری را در بخشی از نسخه‌های نهم و دهم معرفی کرده‌اند. ایستگاه پایه علاوه بر این، دو سیگنال فیزیکی دیگری را ارسال می‌کند که به موبایل کمک می‌کنند تا در اولین روشن شدن ایستگاه پایه را پیدا کند. یکی سیگنال همزمانی اولیه^۵ (PSS) و دیگری سیگنال همزمان ثانویه^۶ (SSS) می‌باشد.

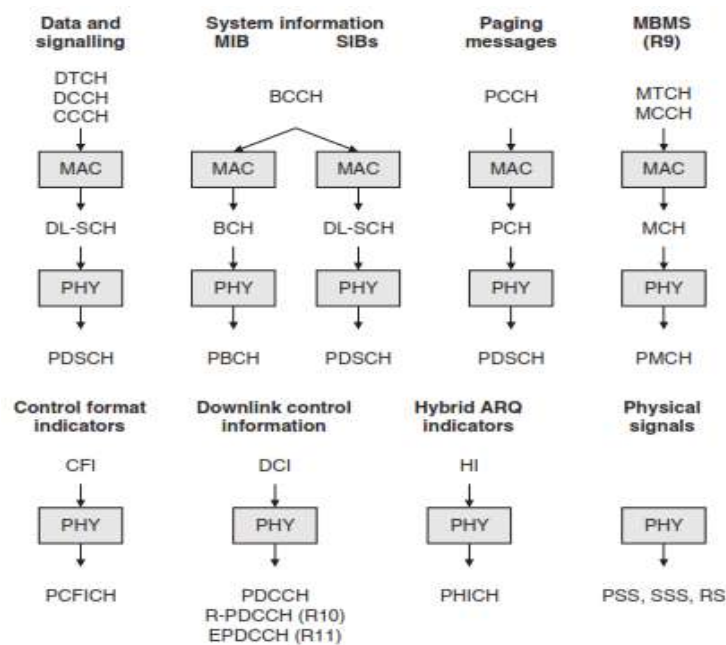
-
1. Demodulation Reference Signal
 2. Sounding Reference Signals
 3. Cell Specific Reference Signals
 4. UE Specific Reference Signals
 5. Primary Synchronization Signal
 6. Secondary Synchronization Signal

۶-۲-۷ جریان‌های اطلاعاتی

جداول ۶-۱ الی ۶-۶ دارای تعداد زیادی کانال است، که در LTE تنها برخی از انواع آنها به عنوان جریان اطلاعات استفاده می‌شوند. شکل ۶-۲ جریان‌های اطلاعاتی که در لینک فراسو استفاده می‌شوند، را نشان می‌دهد. که پیکان‌های کشیده شده از نگاه ایستگاه پایه را نشان می‌دهد. بنابراین کانال‌های لینک فراسو پیکان‌های رو به بالا را دارند و بر عکس شکل ۶-۳ همین وضعیت مشابه را برای لینک فروسو نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲ جریان اطلاعات استفاده شده در لینک فراسو LTE



شکل ۶-۳ جریان اطلاعات استفاده شده در لینک فروسو LTE

۳-۶ منبع مشبک

۱-۳-۶ ساختار شیار^۱

LTE کانال‌های فیزیکی و سیگنال‌های فیزیکی را در داخل سمبل‌های OFDMA و زیر حامل‌ها که در فصل چهارم بحث کردیم، نگاشت می‌کند. برای درک چگونگی انجام این کار، ابتدا نیاز داریم که بدانیم چگونه LTE، سمبل‌ها و زیر حامل‌ها را در حفره زمان و فرکانس سازماندهی می‌کند [۱۳]. ابتدا حوزه زمان را در نظر می‌گیریم. زمان‌بندی انتقال‌ات LTE بر حسب یک واحد زمانی T_s به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_s = \frac{1}{2048 \times 15000} \text{seconds} \approx 32.6 \text{ns} \quad (۱-۶)$$

T_s کمترین فاصله زمانی مورد انتظار پردازشگر کانال فیزیکی است. (در واقع T_s دوره نمونه برداری ΔT از معادله ۳-۴ است، اگر سیستم از تبدیل فوریه سریع با 2048 نقطه استفاده کند، در این صورت این مقدار حداکثر مقداری است که می‌تواند استفاده شود.) در نتیجه، دوره سمبل $66.7 \mu\text{s}$ برابر $2048 T_s$ خواهد شد.

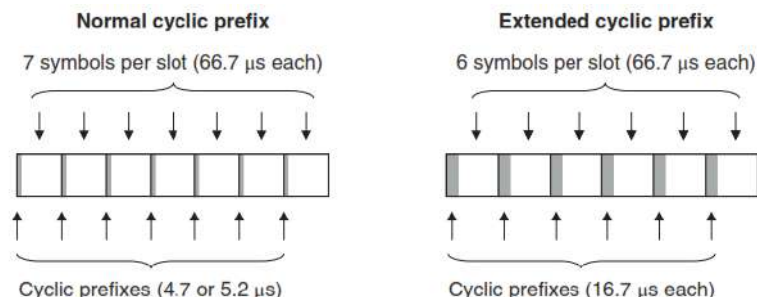
سمبل‌ها در داخل شیارها طبقه‌بندی می‌شوند که دوره آن 0.5 ms ($15360 T_s$) می‌باشد. این کار می‌تواند از دو طریق انجام شود، که در شکل ۶-۴ نشان داده شده است. با پیشوند چرخشی معمولی^۲، هر سمبل به طور معمول با یک پیشوند چرخشی جلو برده می‌شود، که زمانی معادل $144 T_s$ ($4.7 \mu\text{s}$) طول دارد. اولین پیشوند چرخشی یک دوره طولانی $160 T_s$ ($5.2 \mu\text{s}$) دارد، تا نامرتبی‌هایی که در درج هفت سمبل در یک شیار به وجود آمده را مرتب‌سازی کند. با استفاده از پیشوند چرخشی معمولی، گیرنده می‌تواند تداخل بین سمبلی با تأخیر گسترده $4.7 \mu\text{s}$ برابر اختلاف مسیر 1.4 km بین کوتاهترین و بلندترین طیف موجی را حذف نماید. این مقدار به نوبه خود در شرایط عادی کافی می‌باشد، اما اگر سلول به اندازه غیرمعمول بزرگ و به هم ریخته باشد، کافی نخواهد بود. برای مقابله با این وضعیت، LTE از یک پیشوند چرخشی گسترده^۳ استفاده می‌کند، که در آن تعداد سمبل‌ها به ازای هر شیار به شش سمبل کاهش یافته

1. Slot

2. Normal Cyclic Prefix

3. Extended Cyclic Prefix

است. این کار اجازه می‌دهد، پیشوند چرخشی تا $512T_s$ ($16.7\mu s$) گسترده شود و تا بیشترین اختلاف مسیر پنج کیلومتری بین بلندترین و کوچکترین طول موج پشتیبانی نماید.

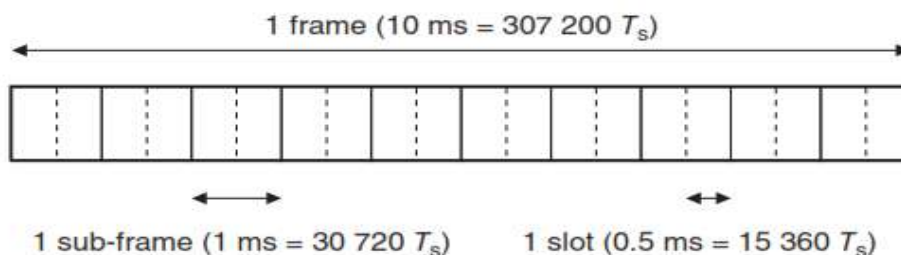


شکل ۶-۴ سازماندهی سیمبل‌ها در داخل شیار با استفاده از پیشوند چرخشی معمولی و گسترش یافته

با یک استثناء مربوط به سرویس‌های MBMS در نسخه نهم، ایستگاه پایه یکی از پیشوندهای چرخشی معمولی و یا پیشوند چرخشی گسترده در لینک فروسو را استفاده می‌کند و بین آنها تغییری انجام نمی‌دهد. موبایل معمولاً همان دوره پیشوند چرخشی را استفاده می‌کند، اما ایستگاه پایه می‌تواند از طریق اطلاعات سیستم خودش آنها را به انتخاب پیشوند چرخشی متفاوت‌تری مجبور کند. پیشوند چرخشی معمولی، به مراتب متداول‌تر است، بنابراین آن را به طور اختصاصی توضیح خواهیم داد.

۶-۳-۲ ساختار فریم

در یک سطح بالاتر، شیارها در داخل زیر فریم‌ها و فریم‌ها دسته‌بندی می‌شوند [۱۴]. در روش FDD، این کار با استفاده از ساختار نوع ۱ که در شکل ۶-۵ نشان داده شده است، انجام می‌گیرد.



شکل ۶-۵ ساختار فریم نوع ۱ استفاده شده در روش FDD

دو شیار یک زیر فریم^۲ را می‌سازند، که طولی برابر $1ms$ ($307200T_s$) را دارد. زیرفریم‌ها برای زمان‌بندی استفاده می‌شوند. زمانی که یک ایستگاه پایه به یک موبایل در لینک فروسو

1. Frame Structure Type1

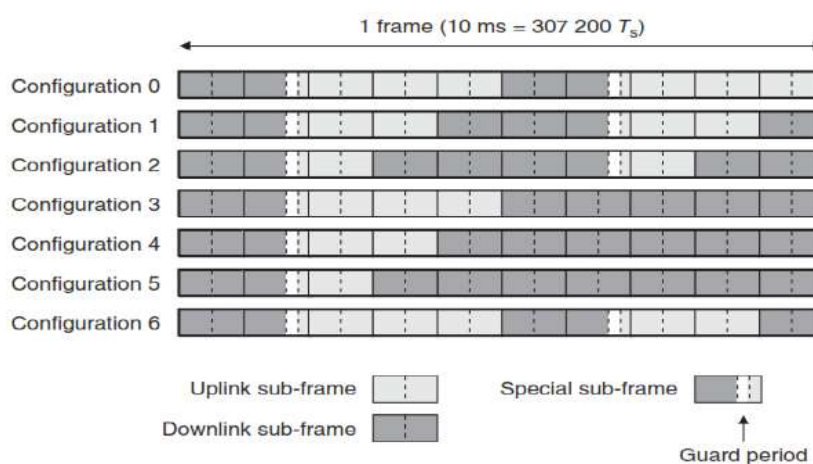
2. Frame Structure Type 2

ارسالی انجام می‌دهد، ایستگاه پایه انتقالات PDSCH اش را در داخل یک زیر حامل در واحد زمان، برنامه‌ریزی می‌کند و هر بلاک از داده را در یک مجموعه از زیر حامل‌ها در داخل آن زیر فریم قرار می‌دهد. یک روش مشابهی نیز در لینک فراسو انجام می‌شود.

در ادامه ده زیر فریم یک فریم را می‌سازند، که 10ms ($307200T_s$) طول دارد. هر فریم با استفاده از یک شماره فریم سیستم (SFN)^۱ شماره‌گذاری می‌شود، که از ۰ تا ۱۰۲۳ می‌باشد. فریم‌ها به تغییر آرام زمان‌بندی فرایندها مانند اطلاعات سیستم انتقالی و سینگال‌های مرجع کمک می‌کنند.

روش TDD از ساختار فریم نوع ۲^۲ استفاده می‌کند. در این ساختار، شیارها، زیر فریم و فریم‌ها دوره زمانی یکسانی با ساختار قبل دارند. اما هر زیرفریم می‌تواند به لینک فراسو و یا لینک فروسو از طریق یکی از پیکربندی‌های TDD^۳ که در شکل ۶-۶ نشان داده شده است، اختصاص داده شوند.

سلول‌های مختلف می‌توانند پیکربندی‌های TDD مختلفی داشته باشند، که هر کدام از آنها بیانگر بخشی از اطلاعات سیستمی سلول است. برای مثال پیکربندی ۱، مناسب حالتی است، که نرخ بیت داده در لینک فراسو و فروسو یکسان است. در حالی که پیکربندی ۵، ممکن است برای سلول‌های استفاده شود که تحت کنترل انتقالات لینک فروسو می‌باشند. سلول‌های مجاور (همسایه) باید از پیکربندی TDD یکسان استفاده کنند، تا تداخل بین لینک فراسو و فروسو را به کمترین مقدار خود برسانند.



شکل ۶-۶ پیکربندی‌های TDD با استفاده از ساختار فریم نوع ۲

1. System Frame Number
2. Subframe
3. TDD Configuration

زیر فریم‌های ویژه^۱، برای تراکنش‌هایی که در انتقالات از لینک فروسو به لینک فراسو انجام می‌گیرد، به کار می‌روند. آنها به سه ناحیه تقسیم می‌شوند. ناحیه لینک فروسو ویژه^۲ که ۳ تا ۱۲ سمبل را اشغال می‌کند و برای همان روشی که در هر ناحیه لینک فروسو دیگر استفاده می‌شود، به کار می‌رود. ناحیه لینک فراسو ویژه^۳، یک یا دو سمبل را اشغال می‌کند و به وسیله کانال دسترسی تصادفی و سیگنال مرجع صداگذاری (SPS) استفاده می‌شود. این دو ناحیه به وسیله یک دوره محافظ^۴ از ۱ تا ۱۰ سمبلی از همدیگر جداسازی می‌شود، که از روش تنظیم پیش برد زمانی^۵ پشتیبانی می‌کنند، که در زیر توضیح داده می‌شود. یک سلول می‌تواند اندازه هر ناحیه را با استفاده از یک پیکربندی فریم ویژه^۶ تنظیم کند. آن‌هم توسط اطلاعات سیستمی بیان می‌شود.

۶-۳-۳ تنظیم پیش برد زمانی لینک فراسو

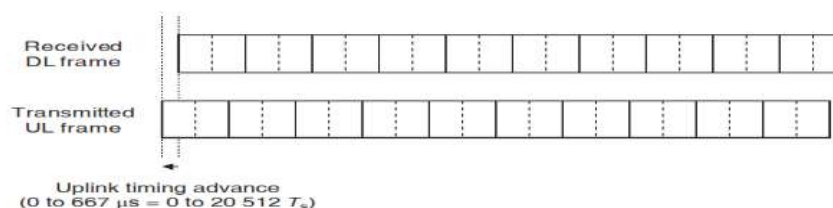
در LTE، یک موبایل شروع به ارسال فریم‌های لینک فراسوی خود در یک زمان TA می‌کند، که قبل از آن که فریم‌های مربوط به آن در لینک فروسو به آن برسند [۱۵] (شکل ۶-۷). TA را تنظیم پیش برد زمانی می‌گویند و برای اهدافی که در ادامه می‌آید، استفاده می‌شود. حتی در صورتی که یک موبایل با سرعت نور اقدام به ارسال داده به ایستگاه پایه کند، مدتی (در حد چند میلی ثانیه) طول می‌کشد تا به ایستگاه پایه برسد. اما، سیگنال از موبایل‌های مختلف باید تقریباً در یک زمان یکسان با یک گستردگی کوچکتر از دوره یک پیشوند چرخشی به ایستگاه پایه برسند تا از هرگونه تداخل بین سمبلی بین خودشان جلوگیری به عمل بیاورند. برای رسیدن به این هدف، موبایل‌های راه دور باید مقداری زودتر از موبایل‌های نزدیک به ایستگاه پایه ارسال‌های خودشان را آغاز نمایند. چون که زمان انتقال لینک فراسو بر اساس زمان رسیدن لینک فراسو می‌باشد، تنظیم پیش‌برد زمانی باید زمان رفت و برگشت^۷ بین ایستگاه پایه و موبایل را جبران کند.

$$TA \approx \frac{2L}{c} \quad (۶-۲)$$

-
1. Special Subframe
 2. Special Downlink Region
 3. Special Uplink Region
 4. Guard Period
 5. Timing Advance
 6. Special Subframe Configuration
 7. Round Trip Travel Time

در این رابطه، L فاصله بین ایستگاه پایه و موبایل و C نیز سرعت نور می‌باشد. تنظیم پیش برد زمانی (TA) ضرورتی ندارد تا کاملاً دقیق باشد، چرا که پیشوند چرخشی هرگونه خطای باقی مانده را تصحیح می‌کند. مشخصات فنی، تنظیم پیش برد زمانی (TA) را به شکل زیر تعریف می‌کنند.

$$TA = (N_{TA} + N_{TAoffset})T_s \quad (3-6)$$



شکل ۶-۷ ارتباط تنظیم پیش برد زمانی بین لینک فراسو و لینک فروسو در روش FDD

منبع TS 36.211، انتشار با مجوز از ETSI

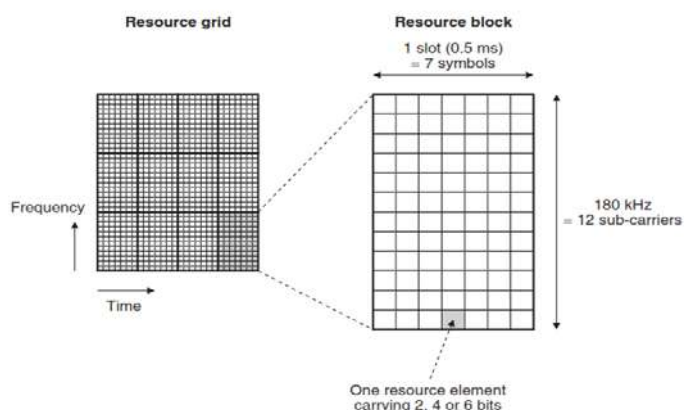
در رابطه (۳-۶) N_{TA} بین ۰ تا ۲۰۵۱۲ قرار می‌گیرد. یک تنظیم پیش برد زمانی حدود $67\mu s$ (دو سوم از یک زیر فریم) را تشکیل می‌دهد، که از یک سلول به اندازه حداکثر 100 km پشتیبانی می‌کند. N_{TA} به وسیله لایه دسترسی تصادفی که در فصل نهم بیان خواهد شد، آغاز می‌شود و با روش تنظیم پیش برد زمانی که در فصل ۱۰ به آن پرداخته‌ایم به روزرسانی می‌شود. $N_{TAoffset}$ در روش FDD صفر است، اما در TDD، برابر ۶۲۴ می‌باشد. این مقدار یک شکاف در تراکنش انتقال از لینک فراسو به لینک فروسو ایجاد می‌کند، که به ایستگاه پایه فرصت می‌دهد تا از یک موبایل به موبایل دیگری سوئیچ کند. دوره محافظ در هر زیر فریم ویژه یک شکاف طولانی‌تری در تراکنش انتقال از لینک فروسو به لینک فراسو ایجاد می‌کند، که اجازه می‌دهد موبایل پیشبرد فریم‌های خود در لینک فراسو را بدون تصادم با فریم‌های رسیده از روی لینک فروسو انجام دهد.

۶-۳-۴ ساختار منبع مشبک

LTE، اطلاعات را با استفاده از یک منبع مشبک به عنوان تابعی از زمان و فرکانس سازماندهی می‌کند [۱۶]. شکل ۶-۸ منبع مشبک^۱ را برای یک پیشوند چرخشی معمولی نشان می‌دهد (این

شکل برای یک پیشوند چرخشی گسترده نیز چنین منبع مشبکی را به کار می‌برد که در آن شش سمبل به جای هفت سمبل استفاده می‌شوند.)

هر واحد پایه‌ای یک عنصر منبع $(RE)^1$ می‌باشد، که یک سمبل به وسیله یک زیر حامل پوشش داده می‌شود. هر عنصر منبع عموماً دو، چهار یا شش بیت کانال فیزیکی را حمل می‌کند که بستگی به طرح مدولاسیونی دارد که می‌تواند به ترتیب QPSK و 16-QAM یا 64-QAM باشد. عناصر منبع در داخل بلاک‌های عناصر $(RB)^2$ دسته‌بندی می‌شوند، که هر کدام 0.5 ms (یک اسلات) را با 180KHz (۱۲ زیر حامل) پوشش می‌دهند. ایستگاه پایه بلاک‌های منبع را برای زمان‌بندی وابسته به حوزه فرکانس استفاده می‌کند، که از طریق تخصیص سمبل‌ها و زیر حامل‌ها در داخل زیر فریم‌ها در واحدهای بلاک منبع انجام می‌دهد. ترم زوج بلاک منبع^۳، برای دو بلاک منبع متوالی استفاده می‌شود، که همان زیر حامل‌های مشابه را در یک زیر فریم استفاده می‌کند.



۸-۶ ساختار منبع مشبک LTE در حوزه فرکانس و زمان با استفاده از یک پیشوند چرخشی معمولی

یک نکته ظریف این است، که منبع مشبک لینک فروسو از زیر حامل 0 KHz استفاده نمی‌کند، در عوض، بلاک منبع در هر دو طرف از زیر حامل‌های 15 kHz تا 180 kHz استفاده می‌کند. در نتیجه، زیر حامل‌های 0 KHz به گیرنده OFDMA موبایل‌ها در یک فرکانسی از صفر می‌رسند، که از یک سطح بالایی از نویز و تداخل رنج می‌برند. ما همچنان از زیر حامل‌ها در لینک فراسو استفاده می‌کنیم، چرا که سمبل‌های SC-FDMA در سراسر زیر حامل‌ها پخش شده

1. Resource Elements
2. Resource Blocks
3. Resource Block Pairs

اند، بنابراین آسیب‌پذیری کمتری در برابر تداخل دارند و علاوه بر آن، حذف آن تغییرات توان شکل موج SC-FDMA را افزایش می‌دهد.

۶-۳-۵ گزینه‌های پهنای باند

یک سلول می‌تواند با چندین پهنای باند مختلف پیکربندی شود، که [۱۷] که در جدول ۶-۷ مشاهده می‌شود. برای مثال در پهنای باند 5 MHz، ایستگاه پایه با استفاده از ۲۵ بلاک منبع (۳۰۰ زیر حامل) مبادله اطلاعات انجام می‌دهد، که یک پهنای باند 4.5 MHz را برای انتقال نیاز دارد. یک ناحیه نسبتاً بزرگی را برای باند محافظ از حاشیه‌های بالا و پایین فرکانس حامل را خالی می‌گذارد، تا مقدار تداخل با باند فرکانس بعدی را به کمترین مقدار خود برساند. دو باند محافظ معمولاً دارای یک پهنای می‌باشند، اما در صورت رخداد شرایط اضطراری، اپراتورهای شبکه‌ها می‌توانند با تغییر فرکانس مرکزی در واحدهایی از 100 KHz آن را به دلخواه تنظیم نمایند.

وجود همه گزینه‌های پهنای باند، این امکان را برای اپراتورهای شبکه موبایل فراهم می‌آورد، که LTE را در انواع مختلفی از مناطق مدیریت طیف به کار ببرند. برای مثال، پهنای با 1.4MHz خیلی نزدیک به پهنای باندهای استفاده شده به وسیله cdma2000 و TD-SCDMA است، پهنای باند 5MHz خیلی شبیه به پهنای باند به کار رفته در WCDMA است، در حالی که 20 MHz به ایستگاه‌های پایه LTE اجازه می‌دهد، تا در بالاترین نرخ داده ممکن کار کنند. در روش FDD، پهنای باند لینک فراسو و لینک فروسو معمولاً یکسان هستند. اگر آنها متفاوت باشند، سیگنال لینک فراسوی ایستگاه پایه به عنوان بخشی از اطلاعات سیستم هستند.

در فصل چهارم اشاره کردیم، که تبدیل فوری سریع در صورتی که نقاط داده دقیقاً دارای توانی از دو باشد، بسیار مؤثر است. چرا که فروستنده می‌تواند به سادگی تعداد زیر حامل‌ها را برای بالاترین توانی از دو را تقریب بزند و یک‌ها را به جای صفرها قرار دهد. به عنوان مثال، در یک پهنای 20 MHz، به طور عمومی از پردازش داده با استفاده از ۲۰۴۸ نقطه FFT استفاده می‌کند که متکی بر مقدار T_s است که قبلاً معرفی کرده‌ایم.

جدول ۶-۷ پهنای باند سلول‌های پشتیبانی شده توسط LTE

Total bandwidth	Number of resource blocks	Number of sub-carriers	Occupied bandwidth	Usual guard bands
1.4 MHz	6	72	1.08 MHz	2×0.16 MHz
3 MHz	15	180	2.7 MHz	2×0.15 MHz
5 MHz	25	300	4.5 MHz	2×0.25 MHz
10 MHz	50	600	9 MHz	2×0.5 MHz
15 MHz	75	900	13.5 MHz	2×0.75 MHz
20 MHz	100	1200	18 MHz	2×1 MHz

۶-۴ انتقال آنتن‌های چندگانه

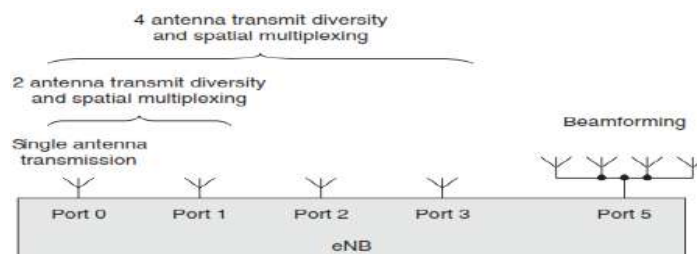
۶-۴-۱ پورت‌های آنتن لینک فروسو

در لینک فروسو، انتقال‌های آنتن چندگانه با استفاده از پورت‌های آنتن سازماندهی می‌شوند، که هر کدام کپی منبع مشبک خودش را که در بالا بیان شد، دارد. جدول ۶-۸ پورت‌های استفاده شده در آنتن ایستگاه پایه در LTE را نشان می‌دهد. پورت‌های ۰ تا ۳ برای انتقال در آنتن‌های منفرد، چندگانگی ارسال و مالتی‌پلکسینگ فضایی به کار می‌روند، در حالی که پورت ۵ برای استفاده در شکل‌دهی پرتو در نظر گرفته شده است. پورت‌های آنتن باقی مانده در نسخه‌های ۹ تا ۱۱ معرفی شده اند و در انتهای کتاب پوشش داده خواهند شد.

جدول ۶-۸ پورت‌های آنتن بکار رفته در LTE

Antenna port	Release	Application
0	R8	Single antenna transmission
1	R8	2 and 4 antenna transmit diversity and spatial multiplexing
2	R8	2 and 4 antenna transmit diversity and spatial multiplexing
3	R8	4 antenna transmit diversity and spatial multiplexing
4	R8 / R9	MBMS
5	R8	Beamforming
6	R9	Positioning reference signals
7-8	R9	Dual layer beamforming
9-14	R10	8 antenna spatial multiplexing
15-22	R10	8 antenna spatial multiplexing
107-110	R11	CSI reference signals
		EPDCCH

شایان ذکر است که یک پورت آنتن ضرورتاً مشابه یک آنتن فیزیکی نیست؛ در عوض، پورت آنتن یک خروجی از فرستنده ایستگاه پایه می‌باشد، که می‌تواند یک یا تعداد بیشتری از آنتن‌های فیزیکی را حمل نماید. به خصوص همان گونه که در شکل ۶-۹ نشان داده شده است، پورت ۵ چندین آنتن فیزیکی که در شکل‌دهی پرتو استفاده می‌شوند را حمل می‌کند، ایستگاه پایه یک طیف را با اعمال وزن‌های مختلف به هر یک از آنتن‌ها می‌سازد، اما محاسبات یک مسئله داخلی برای ایستگاه پایه می‌باشد، در کل، بنا بر مشخصات 3GPP ایستگاه پایه مجبور نیست که به آنتن خاصی اشاره نماید.



شکل ۶-۹ پورت‌های آنتن استفاده شده در نسخه ۸ برای ایستگاه پایه

۶-۴-۲ روش‌های انتقال لینک فروسو

برای پشتیبانی از آنتن‌های چندگانه، ایستگاه پایه می‌تواند به طور اختیاری موبایل را داخل یکی از روش‌های انتقال لینک فروسو^۱ پیکربندی کند که در جدول ۶-۹ آورده شده است.

جدول ۶-۹ لیست روش‌های انتقال لینک فروسو

Mode	Release	Purpose	Uplink feedback required		
			CQI	RI	PMI
1	R8	Single antenna transmission	✓		
2	R8	Open loop transmit diversity	✓		
3	R8	Open loop spatial multiplexing	✓	✓	
4	R8	Closed loop spatial multiplexing	✓	✓	✓
5	R8	Multiple user MIMO	✓		✓
6	R8	Closed loop transmit diversity	✓		✓
7	R8	Beamforming	✓		
8	R9	Dual layer beamforming	✓	Configurable	
9	R10	Eight layer spatial multiplexing	✓	Configurable	
10	R11	Coordinated multipoint transmission	✓	Configurable	

یک روش انتقال نوعی فرایند آنتن‌های چندگانه را تعریف می‌کند، که ایستگاه پایه در انتقال خود روی PDSCH آن را استفاده خواهد کرد و از روی همین فرایند موبایل نیز دریافت PDSCH را انجام خواهد داد. همچنین بازخوردی را تعریف می‌کند که ایستگاه پایه از موبایل انتظار دارد، که در جدولی آورده می‌شود.

اگر ایستگاه پایه به این روش موبایل را پیکربندی نکند، ایستگاه پایه می‌تواند PDSCH را با استفاده از یک آنتن منفرد یا چندگانگی ارسال حلقه باز ارسال می‌کند که بستگی به همه پورت‌های آنتن آن دارد.

۶-۵ نگاشت عناصر منبع

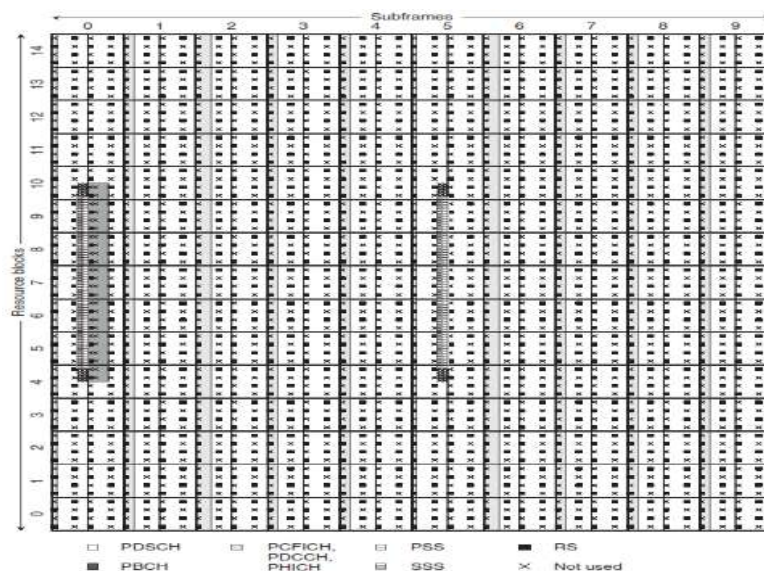
۶-۵-۱ نگاشت عناصر منبع لینک فروسو

لایه فیزیکی LTE، کانال‌های فیزیکی و سیگنالینگ‌های فیزیکی را با نگاشت آنها در داخل عناصر منبع که در بالا معرفی کردیم، ارسال می‌کند. نگاشت دقیق به پیکربندی دقیق موبایل و ایستگاه پایه بستگی دارد، بنابراین ما نگاشت یک کانال در یک واحد زمانی را به عنوان بخشی از فصل

1. Downlink Transmission Mode

هفتم تا نهم قرار خواهیم دید. اگر مثال‌هایی از نگاشت برای لینک فراسو و لینک فروسو را برای پیکربندی یک سیستم پایه‌ای نشان دهیم، می‌تواند آموزنده و مفید واقع شود.

در شکل ۶-۱۰، مثالی از نگاشت عناصر منبع در لینک فروسو نشان داده شده است. در این شکل، فرض بر این است که از روش FDD، پیشوند چرخشی معمولی و از یک پهنای باند ۳ MHz استفاده شده است. زمان به صورت افقی پلاریزه شده و ده زیر حامل (۲۰ شیار) یک فریم را ساخته است. فرکانس نیز به صورت عمودی پلاریزه شده است و ۱۵ بلاک منبع که باند انتقال را تشکیل و پوشش می‌دهد.



شکل ۶-۱۰ مثالی از نگاشت کانال‌های فیزیکی به عناصر منبع در لینک فروسو، با استفاده

از روش FDD، پیشوند چرخشی معمولی، یک پهنای باند سه مگاهرتزی اولین پورت

از پورت آنتن و شناسه سلولی (cell ID) ۱

سیگنال‌های مرجع ویژه سلول در سراسر حوزه‌های زمان و فرکانس پخش شده‌اند. هنگامی که یک پورت آن، یک سیگنال مرجع ارسال می‌کند، سایر پورت‌ها ساکت هستند. پس موبایل قادر است سیگنال مرجع دریافتی از یک پورت آنتن در یک لحظه را اندازه‌گیری کند. شکل مذکور دو پورت آنتن را فرض کرده است و نشان می‌دهد که سیگنال‌های مرجع از پورت صفر در حال ارسال هستند. نگاشت دقیق وابسته به شناسه فیزیکی سلول است، که در فصل دوم بیان شده است: یک نشان می‌دهد که برای شناسه فیزیکی ۱، ۷، ۱۳ و ... مناسب می‌باشد.

در داخل هر فریم، عناصر منبع معینی برای سیگنال‌های همزمانی اولیه و ثانویه، برای کانال‌های پخش سراسری فیزیکی در نظر گرفته شده‌اند و در طول دوره فرایند تملک سلول که در فصل هفتم به آن پرداخته می‌شود، خوانده می‌شوند. این اطلاعات تنها روی ۷۲ زیر حامل مرکزی (1.08 MHz) ارسال می‌شود و نازکترین پهنای باندهی است که توسط LTE به کار می‌رود و به موبایل اجازه می‌دهد تا بدون داشتن اطلاعات اولیه از پهنای باند لینک فروسو آن را به خواند.

در شروع هر زیر فریم، تعدادی سمبل برای اطلاعات کنترلی ذخیره شده است، که ایستگاه پایه آنها را روی PCFICH، PDCCH و PHICH منتقل می‌کند. تعداد سمبل‌های کنترلی در یک زیر فریم می‌تواند با زیر فریم بعدی متفاوت‌تر باشد که بستگی به مقدار اطلاعات کنترلی که ایستگاه پایه ارسال می‌کند، را دارد. بقیه زیر فریم، برای انتقال داده روی PDSCH ذخیره شده‌اند و به موبایل‌های خاصی در واحد بلاک منبع در هر زیر فریم تخصیص داده می‌شوند.

۶-۵-۲ نگاشت عناصر منبع در لینک فراسو

شکل ۶-۱۱ شرایط مشابه را برای لینک فراسو نشان می‌دهد. یکبار دیگر، شکل فوق روش FDD، پوشوند چرخشی معمولی و یک پهنای باند ۳ مگاهرتزی را در نظر گرفته است.

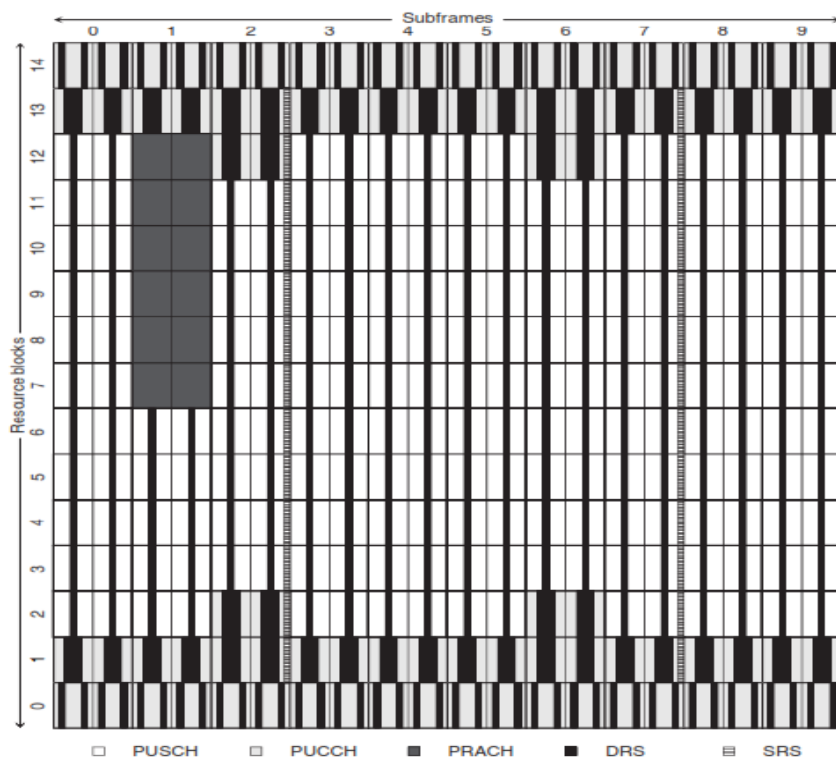
دورترین بخش‌های باند برای اطلاعات کنترلی لینک فراسو روی PUCCH در نظر گرفته شده است و مربوط به سیگنال‌های مرجع دمدولاسیون می‌باشد. PUCCH به دو بخش تقسیم شده است، که قالبی متفاوتی داشته و وابسته به اطلاعاتی است که موبایل برای ارسال دارد. بخش خارجی (بیرونی) پهنای باند ثابتی دارد و برای قالب‌های PUCCH که 2a و 2b شناخته می‌شوند، به کار می‌رود و دارای پنج سمبل کنترلی به ازای هر شیار و دو سمبل مرجع هستند. بخش داخلی دارای پهنای باند متغیر است و برای قالب‌های PUCCH، 1a و 1b استفاده می‌شود، که چهار سمبل کنترلی به ازای هر شیار و سه سمبل مرجع دارد.

سایر باند عموماً به PUSCH اختصاص داده شده است و به موبایل‌های مشخصی از واحد بلاک‌های منبع در داخل هر زیر فریم اختصاص داده می‌شود. انتقال‌های PUSCH دارای شش سمبل داده به ازای هر شیار و سه سمبل مرجع است.

همچنین، ایستگاه پایه بلاک‌های منبع معینی را برای انتقالات دسترسی تصادفی روی PRACH در نظر می‌گیرد. PRACH پهنای باندهی مشتمل بر شش بلاک منبع و یک دوره یک تا سه زیر فریمی را داراست، در حالی که موقعیت‌های آن در منبع مشبک هستند و به وسیله ایستگاه پایه پیکربندی می‌شوند. در مثال مذکور، ایستگاه پایه بلاک‌های منبع ذخیره شده ۷ تا ۱۲ را در

زیر فریم ۱ با یک آفست فرکانسی PRACH، ۷ و یک شاخص پیکربندی PRACH، ۳ در اختیار دارد. پیکربندی‌های دیگر زیادی امکان‌پذیر هستند.

به علاوه، ایستگاه پایه می‌تواند آخرین سمبل از زیر حمل‌های معین را برای انتقال سیگنال‌های مرجع صدا گذاری ذخیره کند. در مثال نشان داده شده، ایستگاه پایه آخرین سمبل از زیر فریم ۲ و ۷ را با استفاده از شاخص ۵ پیکربندی زیرفریم SRS ذخیره کرده است. در داخل منطقه ذخیره شده، یک موبایل روی زیر حامل‌های جایگزین با استفاده از یک پهنای باند ویژه موبایل و آفست فرکانسی، اقدام به ارسال می‌کند. پیکربندی‌های مختلف دیگری را هم می‌توان استفاده نمود.



شکل ۶-۱۱ مثالی از نگاشت کانال‌های فیزیکی به عناصر منابع در لینک فراسو، استفاده از روش FDD، پیشوند چرخشی معمولی، یک پهنای باند ۳ مگاهرتزی، یک شاخص ۳ از پیکربندی PRACH و یک زیرفریم پیکربندی SRS از شاخص ۵

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, September 2013.
2. 3GPP TS 36.323 (2013) Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification, Release 11, March 2013.
3. 3GPP TS 36.322 (2012) Radio Link Control (RLC) Protocol Specification, Release 11, September 2012.
4. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, July 2013.
5. 3GPP TS 36.212 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding, Release 11, June 2013.
6. 3GPP TS 36.211 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation, Release 11, September 2013.
7. 3GPP TS 36.101 (2013) User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 11, September 2013.
8. 3GPP TS 36.104 (2013) Base Station (BS) Radio Transmission and Reception, Release 11, September 2013.
9. 3GPP TS 36.213 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer Procedures, Release 11, September 2013.
10. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 4.5, July 2013.
11. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 4, June 2013.
12. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 5.1, 6.1, September 2013.
13. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 5.6, 6.12, September 2013.

14. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 4, September 2013.
15. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 8, September 2013.
16. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 5.2, 6.2, September 2013.
17. 3GPP TS 36.101 (2013) User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 11, Section 5.6, September 2013.

فصل ہفتم : ملک سلول

موبایل بعد از روشن شدن، فرایند سطح پایین تملک سلول را انجام می‌دهد. در نتیجه، نزدیکترین سلول‌های LTE مجاور را شناسایی کرده و چگونگی پیکربندی آنها را کشف می‌کند. بعد از آن، سیگنال‌های اولیه و ثانویه همزمانی را دریافت کرده و از روی کانال فیزیکی پخش سراسری بلاک اطلاعات اصلی را می‌خواند، سپس اقدام به دریافت سیگنال‌های مرجع لینک فروسو و کانال شناسه قالب کنترل فیزیکی، که در سراسر فرایند نقل و انتقالات آتی اطلاعات به آن نیاز خواهد داشت، می‌کند. در این فصل، در ابتدا به معرفی خلاصه‌ای از روش تملک سلول خواهیم پرداخت، سپس به بحث درباره مراحل خاص آن می‌پردازیم.

مهم‌ترین مشخصات فنی برای این فصل، پردازشگر کانال فیزیکی، TS 36.211 می‌باشد [۱]. بلاک‌های اطلاعات سیستم بخشی از پروتکل کنترل منابع رادیویی هستند و در TS 36.331 تعریف شده‌اند [۲].

۷-۱ روش تملک

روش تملک در جدول ۷-۱ به طور خلاصه آورده شده است، که در آن چندین مرحله وجود دارد. موبایل شروع به دریافت سیگنال‌های همزمان سازی از سلول‌های مجاور می‌کند و از روی سیگنال همزمانی اولیه (PSS)، زمان‌بندی سمبل را پیدا می‌کند و مقداری اطلاعات ناقص درباره شناسه فیزیکی سلول به دست می‌آورد. از روی سیگنال همزمانی ثانویه (SSS)، زمان‌بندی فریم شناسه فیزیکی سلول، روش انتقال (TDD یا FDD) و دوره پیشوند چرخشی (معمولی یا گسترده) را کشف می‌کند.

در این مرحله، موبایل شروع به دریافت سیگنال‌های مرجع ویژه سلول می‌کند. این اطلاعات از یک مرجع فاز و دامنه برای فرایند تخمین کانال پشتیبانی می‌کند، این مقادیر برای مراحل زیر ضروری می‌باشند. پس از آن، موبایل اقدام به دریافت کانال فیزیکی پخش سراسری کرده و بلاک اطلاعات اصلی را می‌خواند. با انجام این کار، تعداد آنتن‌های ارسال کننده در ایستگاه پایه، پهنای باند لینک فروسو، تعداد فریم سیستم و مقدار دیگری به نام پیکربندی PHICH که توصیف کننده کانال HARQ است، را کشف می‌کند.

حال موبایل می‌تواند اقدام به دریافت کانال شناسه، قالب کنترل فیزیکی (PDCCH) کند، بنابراین شناسه‌های قالب کنترلی را می‌خواند. این اطلاعات بیان کننده تعداد زیر فریم‌های لینک فروسو ذخیره شده برای کانال‌های کنترلی فیزیکی و نیز تعداد زیر فریم‌های در دسترس برای انتقال داده‌ها است. در انتها، موبایل می‌تواند اقدام به دریافت کانال فیزیکی کنترل لینک فروسو

(PDCCH) کند. این کار اجازه می‌دهد تا موبایل باقیمانده بلاک‌های اطلاعاتی سیستم (SIBs) را به خواند که این SIB ها بر روی کانال اشتراک‌گذاری فیزیکی لینک فروسو (PDSCH) ارسال می‌شوند. با انجام این کار، تمامی جزئیات باقی مانده درباره پیکربندی سلول مثل، شناسه‌های شبکه‌ای که به آن متعلق است، را کشف می‌کند.

جدول ۷-۱ مراحل روش تملک سلول

Step	Task	Information obtained
1	Receive PSS	Symbol timing Cell identity within group
2	Receive SSS	Frame timing Physical cell identity Transmission mode Cyclic prefix duration
3	Start reception of RS	Amplitude and phase reference for demodulation Power reference for channel quality estimation
4	Read MIB from PBCH	Number of transmit antennas Downlink bandwidth System frame number PHICH configuration
5	Start reception of PCFICH	Number of control symbols per subframe
6	Read SIBs from PDSCH	System information

۷-۲ سیگنال‌های همزمانی

۷-۲-۱ شناسه فیزیکی سلول

شناسه فیزیکی سلول یک عدد بین ۰ تا ۵۰۳ می‌باشد، که روی سیگنال‌های همزمانی ارسال می‌شوند [۳] و در سه روش به کار می‌رود. نخست، دقیقاً عناصر منبع را معین می‌کند، که برای سیگنال‌های منبع ویژه سلول و PCFICH به کار می‌رود. دوم، فرایند انتقال لینک فروسو که به Scrambling مشهور هست، را برای به حداقل رساندن تداخل بین سلول همجوار تحت تأثیر قرار می‌دهد. سوم، سلول‌هایی را در طول دوره روش‌های RRC مثل گزارش اندازه‌گیری و دست به دست کردن شناسایی می‌کند. شناسه فیزیکی سلول در دوره طراحی شبکه یا پیکربندی شبکه تخصیص داده می‌شود. سلول‌های مجاور همیشه باید شناسه‌های فیزیکی سلول مختلفی را دریافت کنند، تا مطمئن شوند که هر کدام از آنها وظیفه خود را به درستی انجام می‌دهند.

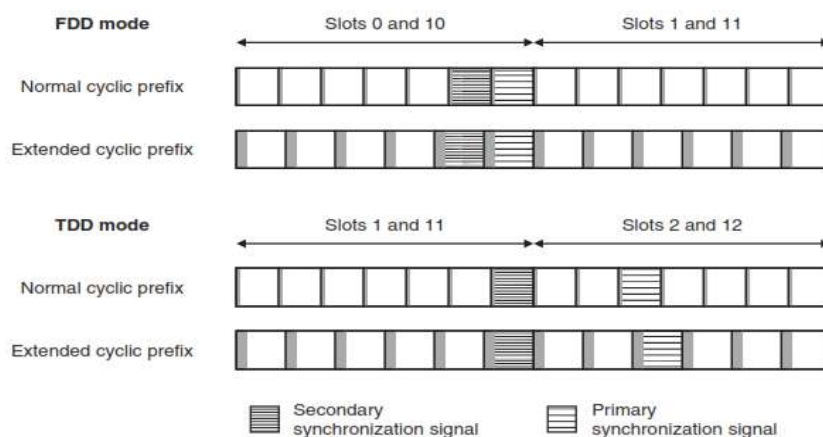
برای یک موبایل سخت است که در یک مرحله بتواند شناسه فیزیکی سلولی را پیدا کند، بنابراین شناسه‌های سلولی در گروه‌های شناسه سلولی^۱ به صورت زیر سازماندهی می‌شوند:

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^2 \quad (1-7)$$

در این رابطه، N_{ID}^{cell} شناسه فیزیکی سلول است. $3N_{ID}^{(1)}$ گروه شناسه یک سلول است، که از صفر تا ۱۶۷ می‌باشد و با استفاده از SSS مشخص می‌شود. N_{ID}^2 شناسه فیزیکی سلول در داخل یک گروه می‌باشد که از صفر تا دو می‌باشد و با استفاده از PSS علامت گذاری می‌شود. با استفاده از این آرگومان (عبارت)، یک طراح شبکه می‌تواند به هریک از ایستگاه پایه یک گروه شناسه سلولی اختصاص دهد و سلول نیز می‌تواند سکتورهای خود را با استفاده از شناسه داخل گروه‌ها تشخیص دهد.

۲-۲-۷ سیگنال‌های همزمانی اولیه (PSS)

شکل ۱-۷ نگاشت حوزه زمان سیگنال‌های همزمانی اولیه و ثانویه را نشان می‌دهد. هر دو این سیگنال‌ها به ازای هر فریم دوبار ارسال می‌شوند. در روش FDD، سیگنال PSS در آخرین سمبل از شیارهای ۰ و ۱۰ ارسال می‌شوند. در حالی که در روش TDD و SSS یک سمبل زودتر ارسال می‌شود. در روش TDD، سیگنال PSS در سومین سمبل از شیارهای ۲ و ۱۲ ارسال می‌گردد، در صورتی که در این حالت SSS سه سمبل زودتر ارسال می‌شود.



شکل ۱-۷ نگاشت حوزه زمان سیگنال‌های همزمانی اولیه و ثانویه

در حوزه فرکانس، ایستگاه پایه سیگنال‌های همزمانی را در ۶۲ زیر حامل مرکزی نگاشت می‌کند و سیگنال‌های حاصل را با صفر ترکیب می‌کند. در نتیجه ۷۲ زیر حامل مرکزی را اشغال می‌کند (1.08 MHz). این مقدار دومین پهنای باند کوچکی است که LTE پشتیبانی می‌کند، تا مطمئن شود که موبایل می‌تواند هر دو سیگنال را بدون دانش قبلی از پهنای باند دریافت می‌کند.

ایستگاه پایه با استفاده از یک دنباله $zadoff - chu^1$ ، یک سینگال واقعی تولید می‌کند [۵، ۴]. دنباله $zadoff - chu$ یک دنباله مختلط با طول نقاط داده N_{zc} می‌باشد. ما می‌توانیم برای هر طول این دنباله، حداکثر ریشه‌های دنباله مختلف از N_{zc} را تولید کنیم که این دنباله با استفاده از یک دنباله اعداد از صفر تا $N_{zc} - 1$ باشد و این مقدار یک عدد صحیحی از فاکتور N_{zc} نیست. پس ما می‌توانیم هر دنباله ریشه‌ای بعدی را با اعمال حداکثری از تغییرات چرخه^۲ مختلفی از N_{zc} ، به دست بیاوریم، که در آن نقاط داده در طول دنباله جا به جا شده است و در انتهای آن قرار دارد. همچنین دنباله Zadoff-Chu به وسیله سیگنال‌های مرجع لینک فراسو (فصل هشتم) و کانال دسترسی تصادفی فیزیکی (فصل نهم) نیز استفاده می‌شوند.

PSS سه مقدار ممکن از N_{ID}^2 را با استفاده از ریشه دنباله‌ها معین می‌کند. برای پردازش PSS، موبایل سیگنال‌های ورودی را حداقل در یک زمان 5ms می‌گیرد و آن را با آن سه ریشه دنباله‌ها مقایسه می‌کند. پس انجام این کار، موبایل زمان‌هایی که در آن سیگنال‌های همزمانی اولیه از سلول‌های مجاور رسیده را اندازه‌گیری می‌کند و شناسه سلول را در داخل گروه N_{ID}^2 پیدا می‌کند.

دنباله Zadoff-Chu مفید می‌باشد چرا که آنها خصوصیات همبستگی خوبی دارند. در شرایط عملی، این بدان معنا می‌باشد، که ممکن است موبایل در اندازه‌گیری N_{ID}^2 دچار اشتباه شود، حتی اگر نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویز (SINR) پایینی را دریافت کند. با افزودن جزئیات بیشتر، تغییرات (شیفت) چرخه‌های مختلف همان ریشه دنباله متعامد خواهند بود: اگر موبایل تنها یک تغییر چرخه دریافت کند، آن را با چرخه دیگری مقایسه می‌کند، در صورتی که تغییرات چرخه متفاوت باشند، نتیجه مقایسه صفر خواهد شد، اگر برابر باشند، نتیجه مقایسه صفر نخواهد بود. ریشه دنباله‌های متفاوت عمود بر هم نیستند اما هنوز قابل توجه هستند: چرا که اگر موبایل یک ریشه دنباله را پیدا کند و آن را با دیگری مقایسه نماید و اگر آن دو دنباله متفاوت باشند، نتیجه مقایسه کوچک خواهد بود و اگر دو دنباله برابر باشند، نتیجه مقدار بزرگی خواهد شد. بر خلاف تغییرات چرخه، در صورتی که ایستگاه پایه و موبایل زمان دقیقی نداشته باشند یا

1. Zadoff – Chu Sequence

2. Cyclic Shifts

فرکانس داده شده به آنها پشت سر هم قرار داشته باشد، دنباله‌های ریشه همبستگی خود را حفظ خواهند کرد. در نتیجه آنها به PSS ارجحیت دارند.

۷-۲-۳ سیگنال همزمانی ثانویه

در روش FDD، ایستگاه پایه بلافاصله بعد از PSS، SSS را ارسال می‌کند، یا در روش TDD سه سمبل قبل از آن ارسال می‌کند. زمان دقیق ارسال بستگی به دوره پیشوند چرخشی دارد (معمولی یا گسترده)، که روی هم رفته چهار زمان انتقال را ممکن می‌سازد. سیگنال‌های واقعی با استفاده از دنباله‌های شبه تصادفی به نام *دنباله‌های طلایی*^۱ تولید می‌شوند [۶]. دنباله صحیح مشخص کننده شناسه گروهی سلول $N_{ID}^{(1)}$ است و برای اولین و دومین انتقال در داخل یک فریم متفاوت می‌باشد. برای دریافت سیگنال همزمانی ثانویه، موبایل هر چهار حالت ممکن زمان انتقال مربوط به PSS را بررسی می‌کند و هر کدام از دنباله‌های SSS ممکن را نگاه می‌کند. با یافتن زمانی که سیگنال ارسال گردیده است، موبایل می‌تواند روش انتقال را پیدا کند که سلول بکار می‌برد و دوره پیشوند چرخشی را نیز بیابد. با شناسایی روش انتقال دنباله، موبایل گروه شناسه سلول و شناسه فیزیکی سلول را بدست می‌آورد. همچنین موبایل می‌تواند بفهمد که چه دنباله‌ای از SSS اولین بار یا دومین بار در داخل فریم منتقل شده است، در نتیجه، تواند زمانی را که یک فریم 10 ms در آن آغاز می‌شود، را پیدا می‌کند.

۷-۳ سیگنال‌های مرجع لینک فروسو

حال موبایل می‌تواند اقدام به دریافت سیگنال‌های مرجع لینک فروسو کند [۷]. این سیگنال‌ها در دو روش به کار می‌روند. نقش فوری آنها این است که یک فاز مرجع و دامنه را به موبایل برای تخمین کانال ارسال می‌کند. بعد از آن، موبایل با استفاده از سیگنال‌های مرجع لینک فروسو، توان سیگنال‌های رسیده را به عنوان تابعی از فرکانس اندازه‌گیری می‌کند تا شناسه‌های کیفیت کانال را محاسبه کند.

نسخه هشتم دو نوع از سیگنال مرجع لینک فروسو را استفاده می‌کند، اما سیگنال‌های مرجع ویژه سلول بسیار مهم می‌باشند. شکل ۷-۲ چگونگی نگاشت این سیگنال‌ها را با عناصر منبع نشان می‌دهد، که در آن از پیشوند چرخشی معمولی استفاده می‌شود. همان گونه که در شکل دیده می‌شود، این نگاشت وابسته به تعداد پورت‌های آنتن است که ایستگاه پایه استفاده می‌کند و بر روی

1. Gold Sequences

شماره پورت آنتن مشخص شده است. هنگامی که یک آنتن یک سیگنال مرجع ارسال می‌کند، در مواردی که نیاز به سیستم فضایی مالتی‌پلکسینگ فضایی باشد، آنتن‌های دیگر ساکت می‌مانند. این افست الگوی پایه‌ای در حوزه فرکانس است، برای کاهش تداخل بین سیگنال‌های مرجع ارسال شده از سلول‌های مجاور، افست زیر حامل برابر است با:

$$V_{\text{shift}} = N_{\text{ID}}^{\text{cell}} \bmod 6 \quad (2-7)$$

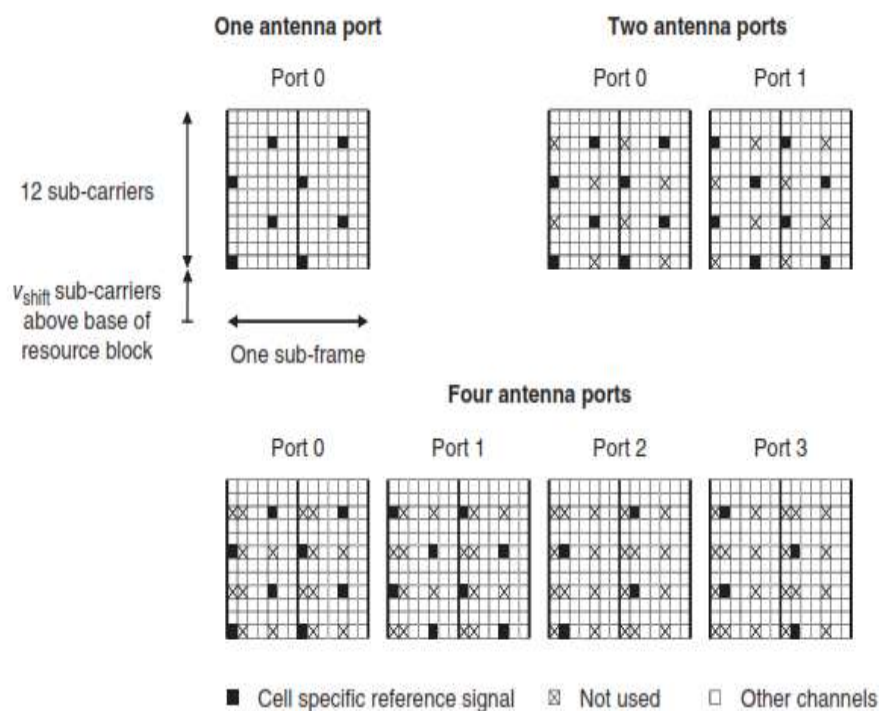
در این رابطه، $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ شناسه فیزیکی سلول است که هم اکنون موبایل آن را پیدا کرده است. قبلاً، در شکل ۶-۱۰ نگاشت عناصر منبع در حالتی که $V_{\text{shift}} = 1$ بود را نشان داده شده بود. بنابراین شناسه فیزیکی سلول می‌تواند مقادیری نظیر ۱، ۷، ۱۳ و... را داشته باشد.

عناصر منبع با یک دنباله طلایی که وابسته به شناسه فیزیکی سلولی است، پر می‌شوند تا تداخل را به حداقل برساند. با اندازه‌گیری سمبل‌های مرجع رسیده و مقایسه آنها با یکی از سیگنال مرجعی که ارسال شده است، موبایل می‌تواند تغییرات دامنه و فاز را که در واسط هوایی اتفاق افتاده است را اندازه‌گیری کند. سپس موبایل با استفاده از درونیابی مقدار تداخل عناصر منبع را به دست می‌آورد.

پورت‌های ۰ و ۱ آنتن چهار سمبل مرجع به ازای هر بلاک منبع استفاده می‌کنند، در حالی که پورت‌های ۲ و ۳ تنها دو سمبل مرجع را به کار می‌برند. به این دلیل است که سلول علاقه‌مند به استفاده از چهار پورت، برای زمانی است، که موبایل دارای حرکت آهسته می‌باشد و سلول می‌خواهد تا تسلط کافی برای دریافت دامنه و فازی که به طور آهسته با زمان تغییر می‌کند را داشته باشد.

همچنین یک ایستگاه پایه نسخه هشتمی می‌تواند سیگنال‌های مرجع ویژه UE را از پورت ۵ آنتن به عنوان مرجع دامنه و فاز برای موبایل‌هایی که از شکل‌دهی پرتو استفاده می‌کنند، ارسال کند. به سه طریق این سیگنال‌ها از سیگنال‌های مرجع ویژه سلول متمایز می‌شوند. نخست، ایستگاه پایه فقط آنها را به بلاک‌های منبعی ارسال می‌کند، که برای انتقال روش شکل‌دهی پرتو روی PDSCH به کار می‌روند. دوم، دنباله طلایی بستگی به شناسه موبایل هدف و همچنین ایستگاه پایه دارد. سوم این که، ایستگاه پایه، سیگنال‌های مرجع ویژه UE، از همان وزن‌های آنتنی که ایستگاه پایه روی PDSCH اعمال کرده، استفاده می‌کنند. این آخرین مرحله برای اطمینان از جهت‌دهی سیگنال‌های مرجع به موبایل هدف بوده و همچنین برای اطمینان از فرایند وزن هاست که کاملاً باید شفاف باشند: این کار با بازیابی سیگنال‌های مرجع در طول دوره تخمین کانال انجام

می‌گیرد و موبایل به طور خودکار کلیه تغییرات فازی که در زمان پردازش وزن‌ها ایجاد شده است، را حذف می‌کند.

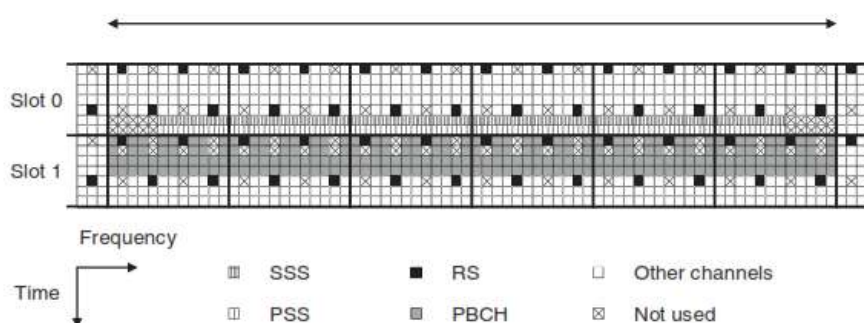


شکل ۷-۲ نگاشت عناصر منبع برای سیگنال‌های مرجع ویژه سلول، استفاده از پیشوند

چرخشی معمولی، منبع: TS36.211، باز نشر با مجوز ETSI

۷-۴ کانال پخش سراسری فیزیکی

بلاک اطلاعات اصلی [۸] دارای پهنای باند لینک فروسو و هشت بیت با ارزش از ۱۰ بیت شماره فریم سیستم است. علاوه بر آن، مقدار دیگری به نام پیکربندی $PHICH$ دارد، که مشخص‌کننده عناصر منبعی است، که ایستگاه پایه آنها را برای کانال شاخص HARQ فیزیکی ذخیره کرده است.



شکل ۳-۷ نگاشت عناصر برای PBCH با استفاده از روش FDD، پیشوند چرخشی معمولی یک پهنای باند 10 یا 20 MHz، اولین پورت از دو پورت آنتن و شناسه فیزیکی سلول ۱

ایستگاه پایه بلاک اطلاعات اصلی را روی کانال‌های پخش سراسری و سراسری فیزیکی ارسال می‌کند [۹ و ۱۰]. ایستگاه پایه این اطلاعات را به همان شیوه‌ای که برای پردازش سایر کانال‌های لینک فروسو استفاده می‌کرد، انجام می‌دهد: ما در فصل بعدی، مراحل آن را با استفاده از یک مثال برای PDSCH بیان خواهیم کرد. تنها تفاوت اصلی این است که ایستگاه پایه، کانال‌های پخش سراسری را به طوری اداره می‌کند که دو بیت کم ارزش از شماره فریم سیستم و شماره پورت آنتن را تعیین کند. همان‌گونه که در فصل ششم اشاره شد، کانال پخش سراسری از یک نرخ بیت ثانویه و طرح مدولاسیونی ثابت (QPSK) استفاده می‌کند و با استفاده از یک آنتن و یا چندگانگی ارسال حلقه باز کار می‌کند.

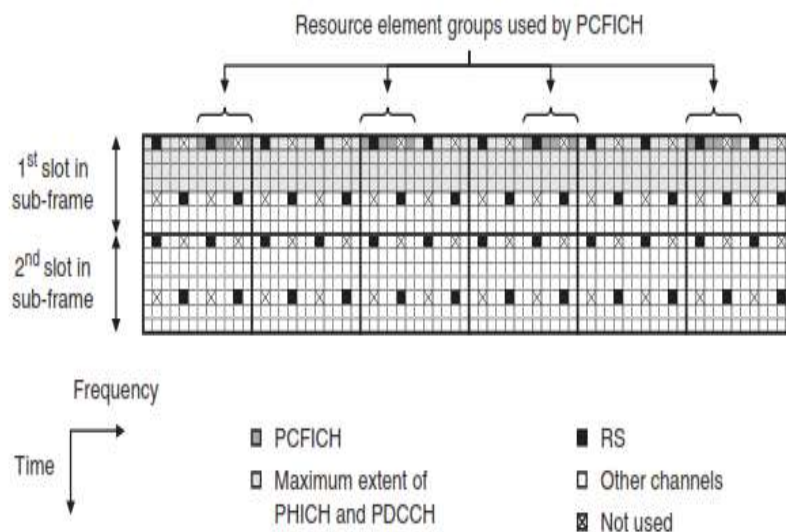
ایستگاه پایه بلاک اطلاعات سیستم را در چهار فریم پشت سر هم نگاشت می‌کند، شروع فریم‌ها از جایی است که شماره فریم سیستم مضربی از چهار باشد. زمانی که از یک پیشوند چرخشی معمولی استفاده می‌شود، ایستگاه پایه کانال پخش سراسری فیزیکی را روی ۷۲ زیر حامل مرکزی با استفاده از چهار سمبل اول از شیار ۱ ارسال می‌کند. شکل ۳-۷ مثالی را نشان می‌دهد، که در این شکل، نگاشت مذکور از عناصر منبع استفاده شده برای سیگنال‌های مرجع ویژه سلول از یک ایستگاه پایه با چهار پورت آنتن پرهیز کرده است، صرف نظر از این که واقعا چند پورت دارد. (توجه شود، برخلاف بحث‌های معمول ما، نمودار زمان را به صورت عمودی و فرکانس را به صورت افقی نشان داده می‌شود).

موبایل به طور اتفاقی کانال پخش سراسری را با تمامی روش‌های موجودی که ایستگاه پایه احتمالا اطلاعات را ساخته است، پردازش می‌کند. با انتخاب ترکیبی از یک، دو و چهار پورت آنتن و ترکیبی از حداقل دو بیت پردازش از شماره فریم سیستم، این کار را انجام می‌دهد. تنها

یک انتخاب صحیح اجازه بررسی افزونه چرخشی را می‌دهد. با خواندن بلاک اطلاعات اصلی، موبایل می‌تواند پهنای باند لینک فراسو، بیت‌های باقیمانده از شماره فریم سیستم و پیکربندی PHICH را پیدا کند.

۷-۵ کانال شاخص قالب کنترل فیزیکی

هر زیر فریم لینک فراسو با یک ناحیه کنترلی که شامل PCFICH، PHICH و PDCCH است، شروع می‌شود و با یک ناحیه اطلاعاتی که شامل PDSCH است، ادامه پیدا می‌کند. تعداد سمبل‌های کنترلی به ازای هر زیر فریم می‌تواند دو، سه یا چهار در یک پهنای باندی از 1.4MHz و 1، 2 یا 3 در سایر موارد باشد، این سمبل‌ها می‌توانند از یک زیر فریم به زیر فریم بعدی تغییر پیدا کنند. هر زیر فریم ایستگاه پایه نشان دهنده تعداد سمبل‌های کنترلی با استفاده از شاخص قالب کنترلی است و اطلاعات را روی PCFICH [۱۱ و ۱۲] منتقل می‌کند. وظیفه بعدی موبایل شروع به دریافت این کانال است.



شکل ۷-۴ نگاشت عناصر منبع برای PCFICH، استفاده از یک پیشوند چرخشی معمولی، یک پهنای باند

1.4 MHz اولین پورت از پورت آنتن و شناسه سلول ۱

PCFICH در داخل ۱۶ عنصر منبع در اولین سمبل از هر زیر فریم با دقت وابسته به شناسه فیزیکی سلول و پهنای باند لینک فراسو نگاشت می‌شود. شکل ۷-۴ مثالی با یک پهنای باند 1.4 MHz و یک شناسه فیزیکی سلولی به شماره ۱ را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل مذکور مشاهده می‌شود، هر یک از عناصر منبع انتخاب شده در داخل چهار گروه عناصر منبع (REGs)^۱ سازماندهی شده است. هر گروه عناصر منبع شامل چهار عناصر منبع می‌باشند که توسط زیر حامل‌های مجاور هم ارسال می‌شوند و نیازی به سیگنال‌های مرجع ویژه سلول وجود ندارد. گروه عناصر منبع توسط نواحی کنترلی در لینک فروسو استفاده می‌شود. همچنین آنها توسط PHICH و PDCCH به کار می‌روند.

در شروع هر زیر فریم، موبایل به سراغ عناصر منبعی می‌رود که توسط PCFICH اشغال شده است، شاخص اطلاعات کنترلی را خوانده و اندازه ناحیه کنترلی لینک فروسو را تعیین می‌کند. با استفاده از پیکربندی PHICH، موبایل می‌تواند روی باقیمانده گروه عناصر منبعی که توسط PHICH و آنهایی که به وسیله PDCCH استفاده شده است، کار کند. سپس موبایل می‌تواند بر روی دریافت اطلاعات کنترلی روی PDCCH و داده لینک فروسو بر روی PDSCH برود. به خصوص، موبایل می‌تواند سایر اطلاعات سیستمی را به صورتی که در زیر توصیف می‌شود بخواند.

۶-۷ اطلاعات سیستمی

۶-۷-۱ سازماندهی اطلاعات سیستمی

هر سلول پیام‌های اطلاعات سیستم RRC^2 [۱۳] را که چگونگی پیکربندی آن را نشان می‌دهد، به صورت سراسری پخش می‌کند. ایستگاه پایه این پیام‌ها را روی PDSCH منتقل می‌کند، روشی که اغلب با سایر انتقال‌های یکسان است. موبایل‌ها در آخرین وظیفه تملک سلول، این پیام را می‌خوانند. اطلاعات سیستم در داخل بلاک اطلاعات خاصی که در بالا آن را بیان کردیم سازماندهی شده‌اند و در داخل تعدادی بلاک اطلاعات سیستمی قرار دارند و این بلاک‌ها در جدول ۶-۷ آورده شده است. مثال‌هایی از بلاک عناصر اطلاعات از این جدول را در فصل‌های باقیمانده به کار می‌بریم.

SIB1 روشی را که در آن بلاک‌های دیگر اطلاعات سیستم زمان‌بندی خواهند شد، را تعریف می‌کند. علاوه بر این، تعیین کننده پارامترهایی است، که موبایل برای انتخاب سلول و شبکه (فصل یازده) به آنها نیاز خواهد داشت، مثل کدریابی ناحیه و لیستی از شبکه‌هایی که سلول متعلق به آن است. این لیست می‌تواند تا شش شبکه را مشخص کند و اجازه می‌دهد تا ایستگاه پایه به راحتی

-
1. Resource Element Mapping Group
 2. RRC System Information Messages

در میان اپراتورهای شبکه مختلف‌های به اشتراک گذاشته شود. SIB2 شامل پارامترهایی است که توصیف کننده منبع رادیویی سلول و کانال‌های فیزیکی است، مثل توانی که ایستگاه پایه روی آن سیگنال‌های مرجع لینک فروسو را منتقل می‌کند.

جدول ۷-۲ تشکیلات اطلاعات سیستمی

Block	Release	Information	Examples
MIB	R8	Master information block	Downlink bandwidth PHICH configuration System frame number/4
SIB 1	R8	Cell selection parameters Scheduling of other SIBs	PLMN identity list Tracking area code CSG identity TDD configuration $Q_{rxlevmin}$ SIB mapping, period, window size
SIB 2	R8	Radio resource configuration	Downlink reference signal power Default DRX cycle length Time alignment timer
SIB 3	R8	Common cell reselection data Cell-independent intra-frequency data	$S_{IntraSearchP}$, $S_{NonIntraSearchP}$, Q_{hyst}
SIB 4	R8	Cell-specific intra-frequency data	$Q_{offset, s, n}$
SIB 5	R8	Inter-frequency reselection	Target carrier frequency $Thresh_{s, LowP}$ $Thresh_{s, HighP}$
SIB 6	R8	Reselection to UMTS	UMTS carrier frequencies
SIB 7	R8	Reselection to GSM	GSM carrier frequencies
SIB 8	R8	Reselection to cdma2000	cdma2000 carriers and cells
SIB 9	R8	Home eNB identifier	Name of home eNB
SIB 10	R8	ETWS primary notification	ETWS alert about natural disaster
SIB 11	R8	ETWS secondary notification	Supplementary ETWS information
SIB 12	R9	CMAS notification	CMAS emergency message
SIB 13	R9	MBMS information	Details of MBSFN areas
SIB 14	R11	Extended access barring	Barring parameters for MTC
SIB 15	R11	MBMS service area identities	Identities of this and other carriers
SIB 16	R11	Timing information	Universal, GPS and local time

SIBهای ۳ تا ۸ به روش‌های انتخاب مجدد سلول که توسط موبایل در روش RRC_IDLE به کار می‌رود، کمک می‌کنند (فصل‌های چهاردهم و پانزدهم). SIB3 دارای پارامترهایی است، که موبایل برای هر نوعی از انتخاب مجدد سلول نیازمند آن می‌باشد، همچنین پارامترهای مستقل از سلول^۱، که برای انتخاب مجدد روی فرکانس‌های یکسان به آنها نیاز خواهیم داشت. SIB4 انتخابی بوده و دارای پارامترهای ویژه سلولی است که ایستگاه پایه احتمالاً برای آن پردازش

1. Cell- Independent

تعریف می‌کند. SIB5 روش انتخاب مجدد را برای فرکانس‌های حامل مختلف LTE انجام می‌دهد، در حالی که SIB6 تا SIB8، انتخاب مجدد سلول را برای GSM، UMTS و cdma2000 فراهم می‌سازد. (هم WCDMA و هم TD-SCDMA).

SIBهای باقیمانده بیشتر تخصصی هستند، اگر ایستگاه پایه متعلق به گروه مشترکین *محرمانه*^۱ باشند، SIB9 یک اسم برای آنها مشخص می‌کند، سپس موبایل این نام را برای پشتیبانی از انتخاب گروه مشترکین *محرمانه* به کاربر اختصاص دهد. SIBهای ۱۱ و ۱۲ دارای هشدارهایی برای زلزله و سیستمی سونامی هستند. در این سیستم، سلول با پخش سراسری می‌تواند یک هشدار درباره بلایای طبیعی را اعلام نماید و این هشدار را در همه ایستگاه‌های پایه شبکه پخش می‌کند، که این ایستگاه‌های پایه از طریق اطلاعات سیستم آن هشدارها را پخش می‌کنند. SIB10 دارای یک اعلان اولیه است که به مدت یک ثانیه پخش می‌شود و SIB11 دارای اعلان‌های ثانویه می‌باشد، که اطلاعات فوریتی تکمیلی غیر ضروری را پخش می‌کند. SIB12 و SIB13 در نسخه نهم تعریف شده‌اند اما SIBهای ۱۴ تا ۱۶ را در نسخه یازدهم آمده‌اند.

۷-۶-۲ انتقال و دریافت اطلاعات سیستمی

ایستگاه پایه می‌تواند اطلاعات سیستمی خود را از دو روش منتقل کنند. در روش اول، ایستگاه پایه اطلاعات سیستمی را در سرتاسر سلول پخش می‌کند تا موبایل‌هایی که در وضعیت RRC_IDLE و موبایل‌هایی که در وضعیت RRC_CONNECTED هستند و تنها می‌خواهند به سلول جدید دست به دست شده‌اند، از آن استفاده کنند. ایستگاه پایه این کار را با شباهت بسیاری به روش‌های انتقال داده در لینک فروسو (فصل هشتم) انجام می‌دهد، ولی یک تغییر کوچکی در آن ایجاد می‌کند. انتقال اطلاعات سیستمی از درخواست ارسال مجدد (ARQ) که برای انتقال‌های پخش سراسری یک به چند نامناسب هستند، استفاده نمی‌کند. ایستگاه پایه اطلاعات سیستمی را با استفاده از یک آنتن یا چندگانگی انتقال حلقه باز ارسال می‌کند، که به تعداد پورت‌های آنتنی که در اختیار دارد، بستگی داشته و طرح مدولاسیونی آن ثابت بوده و QPSK است.

در اینجا قوانینی برای زمان‌بندی پخش اطلاعات سیستمی وجود دارد. ایستگاه پایه SIB1 را در زیرفریم ۵ از فریم‌هایی با یک شماره فریم سیستمی زوج به همراه انتقال کامل مجموع هشت فریم ارسال می‌کند. ایستگاه پایه انتخاب زیر حامل‌ها را با استفاده از دستور زمان‌بندی لینک

1. Closed Subscriber Group

فروسو تعریف می‌کند. سپس باقیمانده SIB1 را در داخل پیام‌های اطلاعات سیستمی^۱ ارسال می‌کند و هر پیام را در داخل یک پنجره انتقال به طول ۱ الی ۴۰ میلی ثانیه و دوره ۸۰ الی ۵۱۲ میلی ثانیه ارسال می‌کند. SIB1، نگاشت سایر SIBها را در داخل پیام اطلاعات سیستمی تعریف می‌کند و دوره هر پیام و طول پنجره را نیز تعریف می‌کند، در حالی که دستور زمان‌بندی لینک فروسو، زمان دقیق انتقال و انتخاب زیر حامل‌ها را معین می‌سازد.

در صورتی که ایستگاه پایه مایل به به روزرسانی اطلاعات سیستمی که پخش کرده است، باشد، ابتدا به موبایل‌هایی اعلام می‌کند، که از فرایند فراخوانی (فصل هشتم) استفاده می‌کنند. همچنین ایستگاه پایه، یک برچسب ارزش‌دهی^۲ را در SIB1 قرار می‌دهد تا توسط آن موبایل‌هایی که از یک ناحیه پوششی ضعیف برمی‌گردند و پیام‌های فراخوانی را از دست داده‌اند، به کار برده شود. سپس ایستگاه پایه اطلاعات سیستمی را روی «بازه دوره اصلاح از پیش تعریف شده» تغییر می‌دهد.

در روش دوم، ایستگاه پایه می‌تواند اطلاعات سیستمی را که توسط یک موبایل در وضعیت RRC_CONNECTED به کار می‌رود، را به روزرسانی نماید. این کار را با ارسال یک پیام اطلاعات سیستمی خاصی انجام می‌دهد. ایستگاه پایه این کار را مثل روش‌های دیگری که در انتقال سیگنالینگ لینک فروسو صورت به کار می‌برد، انجام می‌دهد.

۷-۷ فرایندهای بعد از تملک سلول

بعد از آن که موبایل روش تملک سلول را انجام داد، باید دو فرایند سطح بالا را قبل از مبادله داده در شبکه انجام دهد.

در روش دسترس تصادفی (فصل نهم)، موبایل سه مقدار اطلاعات را بدست می‌آورد: مقدار نخست برای تنظیم پیش برد زمانی لینک فراسو است، مقدار دوم، تنظیم یک پارامتر اولیه برای انتقال داده روی لینک فراسو بر روی کانال فیزیکی اشتراک‌گذاری منبع می‌باشد و سومین نیز مقدار شناسه موقت شبکه رادیویی سلولی (C-RNTI) است، که ایستگاه پایه برای شناسایی موبایل به آن نیاز خواهد داشت. در روش برقراری ارتباط RRC (فصل یازدهم) موبایل قطعات مختلف اطلاعات دیگر را نیز به دست می‌آورد، به ویژه یک مجموعه از پارامترهایی برای انتقال اطلاعات

1. System Information

2. Value Tag

کنترلی روی کانال فیزیکی کنترلی لینک فراسو و مجموعه‌ای از پیکربندی‌های پروتکلی برای داده‌های خود و سیگنالینگ رادیویی را به دست می‌آورد. قبل از پرداختن به این اطلاعات، نیاز داریم تا فریندی که LTE برای ارسال و دریافت داده به کار می‌برد، را بدانیم. که موضوع فصل بعدی ماست.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, September 2013.
2. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, September 2013.
3. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 6.11, September 2013.
4. Frank, R., Zadoff, S. and Heimiller, R. (1962) Phase shift pulse codes with good periodic correlation properties. *IEEE Transactions on Information Theory*, **8**, 381–382.
5. Chu, D. (1972) Polyphase codes with good periodic correlation properties. *IEEE Transactions on Information Theory*, **18**, 531–532.
6. Gold, R. (1967) Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing. *IEEE Transactions on Information Theory*, **13**, 619–621.
7. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 6.10, September 2013.
8. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.2.2 (MasterInformationBlock), September 2013.
9. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 6.6, September 2013.
10. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.1, June 2013.

11. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 6.2.4, 6.7, September 2013.
12. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.4, June 2013.
13. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.2, 6.2.2 (SystemInformation, SystemInformationBlockType1), 6.3.1, September 2013.

فصل هشتم: انتقال و دریافت داده

انتقال و دریافت داده در LTE یکی از پیچیده‌ترین بخش‌های آن است. در این فصل، مرور مختصری بر روش‌های انتقال و دریافت اطلاعات استفاده شده در لینک فروسو و لینک فراسو می‌کنیم. در ادامه ما به بررسی سه مرحله اصلی آن روش‌های آن می‌پردازیم، که عبارتند از: تحویل پیام‌های زمان‌بندی از ایستگاه پایه، پردازش واقعی انتقال و تحویل تصدیق‌ها و هرگونه اطلاعات کنترلی مرتبط با گیرنده، همچنین انتقال سیگنال‌های مرجع لینک فراسو و کنترل توان و دریافت گسسته را پوشش خواهیم داد.

چندین مشخصات فنی 3GPP مرتبط با این فصل هستند. انتقال و دریافت داده توسط مشخصات لایه فیزیکی که ما قبلاً بیان کردیم، تعریف می‌شود. به ویژه، TS36.211 [۱]، TS36.212 [۲] و TS36.213 [۳] و توسط پروتکل MAC که در TS36.321 [۴] تعریف شده، در این فصل به آن موارد پرداخته خواهد شد. علاوه بر این، ایستگاه پایه لایه فیزیکی و پروتکل MAC موبایل را با استفاده از سیگنالینگ RRC پیکربندی می‌کند [۵].

۸-۱ فرایندهای انتقال داده

۸-۱-۱ انتقال و دریافت لینک فروسو

شکل ۸-۱ روشی که برای انتقال و دریافت در لینک فروسو به کار می‌رود را نشان می‌دهد [6-7]. ایستگاه با ارسال دستور زمان‌بندی^۱ (مرحله اول) فرایند را آغاز می‌کند، و با استفاده از اطلاعات کنترلی لینک فروسو (DCI) نوشته شده و روی کانال فیزیکی کنترلی لینک فروسو (PPCCH) ارسال می‌شود. دستور زمان‌بندی به موبایل هشدار می‌دهد، که در آینده داده‌ای ارسال خواهد شد و چگونگی ارسال آن را با مشخص کردن پارامترهایی نظیر مقدار داده، بلاک منابع تخصیصی و طرح مدولاسیونی بیان می‌کند.

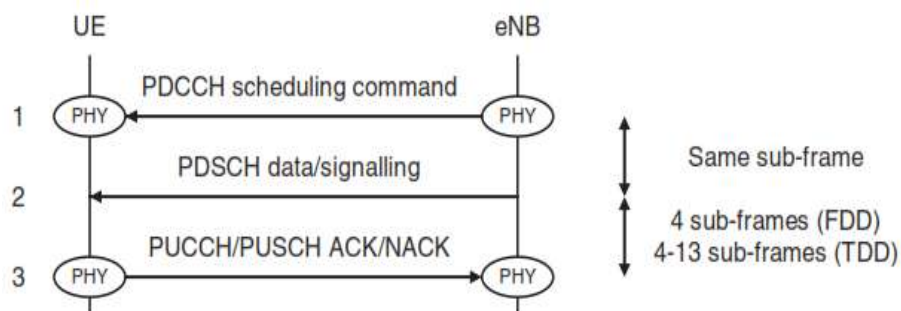
در مرحله ۲، ایستگاه پایه داده را روی کانال اشتراک‌گذاری لینک فروسو (DL-SCH) و کانال فیزیکی اشتراک‌گذاری لینک فروسو (PDSCH) ارسال می‌کند. این داده یک یا دو بلاک انتقالی^۲ که، دوره آنها به نام مدت زمان انتقال (TTI)^۳ نامیده می‌شود و برابر با دوره یک زیر فریم ۱ میلی ثانیه‌ای است، را اشغال می‌کند. موبایل در جواب (مرحله ۳) یک تصدیق HARQ را برای

1. Scheduling Command

2. Transmission Block

3. Transmission Time Interval

نشان دادن این که چه داده‌ای را به درستی گرفته است، را ارسال می‌کند. اگر موبایل داده لینک فراسو را در همان زیر فریم بفرستد، موبایل آن تصدیق را روی کانال اشتراک‌گذاری لینک فراسو (PUSCH) می‌فرستد و در غیر این صورت، روی کانال فیزیکی کنترل لینک فراسو ارسال می‌نماید.



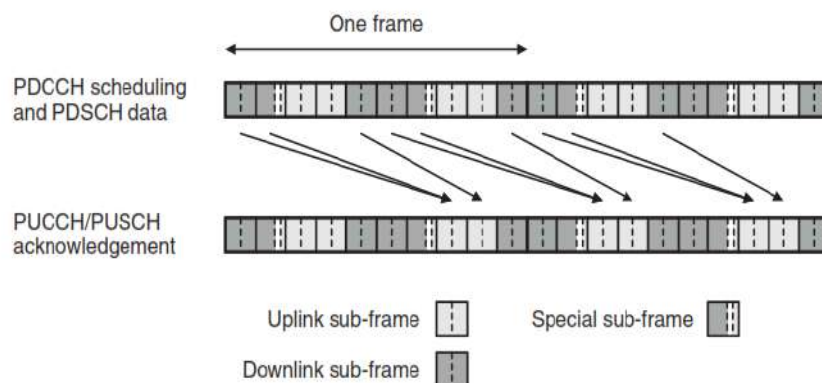
شکل ۸-۱ فرایند انتقال و دریافت لینک فروسو

معمولاً، ایستگاه پایه بعد از دریافت یک تصدیق مثبت به بلاک انتقال جدید می‌رود، در غیر این صورت اگر تصدیق منفی بگیرد، داده اولیه را دوباره ارسال می‌کند. اما اگر ایستگاه پایه به تعداد معینی از ارسال مجدد بدون تصدیق مثبت رسید، به بلاک انتقال جدیدی در هر صورت منتقل می‌شود. بر این اساس که بافر دریافت موبایل ممکن است به وسیله یک برست تداخل دچار مشکل شده باشد. در نتیجه لینک کنترل رادیویی (RLC) مشکل را پیدا کرده و برای مثال با ارسال مجدد بلاک، شروع به ارسال می‌کند.

تنظیم زمانی انتقال لینک فروسو به صورت زیر می‌باشد. دستور زمان‌بندی در ناحیه کنترلی، ابتدای یک زیر فریم لینک فروسو قرار دارد، در حالی که بلاک انتقال در ناحیه داده همان زیر فریم قرار می‌گیرد. در روش FDD، یک تأخیر زمانی ثابت چهار زیر فریمی بین بلاک انتقال و تصدیق مربوط به آن وجود دارد، تا به ایستگاه پایه کمک کند و دو بخش اطلاعات را به همدیگر متصل نماید. در روش TDD، تأخیر زمانی ممکن است بین چهار و سیزده زیر حامل مطابق با یک نگاشت وابسته به پیکربندی TDD باشد. شکل ۸-۲، مثالی از نگاشتی را برای پیکربندی ۱، روش TDD نشان می‌دهد.

همان گونه که در فصل سوم اشاره شد، لینک فروسو از چندین پردازش HARQ موازی استفاده می‌کند، که هر کدام به همراه کپی خود از شکل ۸-۱ و ۸-۲ را به همراه دارند. در روش FDD، بیشترین تعداد پردازش ARQ ترکیبی (HARQ)، هشت می‌باشد. در روش TDD، تعداد

آن بستگی به پیکربندی TDD داشته، حداکثر تا ۱۵ برای پیکربندی ۵ روش TDD می‌تواند باشد. لینک فروسو LTE، یک روشی به نام ARQ ترکیبی غیرهمزمان^۱ استفاده می‌کند که در آن ایستگاه پایه به صراحت تعداد پردازش ARQ در هر دستور زمان‌بندی را مشخص می‌کند. در نتیجه، نیازی به تعریف تأخیر زمانی بین عدم تصدیق (تصدیق منفی) و انتقال مجدد وجود ندارد: در عوض، ایستگاه پایه هر زمان که یک زمان انتقال دوباره را زمان‌بندی می‌کند، به طور ساده‌ای تعداد وضعیت پردازش ARQ به کار رفته را معین می‌نماید.



شکل ۸-۲ رابطه بین تنظیم زمانی داده لینک فروسو و تصدیق‌های لینک فراسو برای FDD پیکربندی ۱

۸-۱-۲ انتقال و دریافت لینک فراسو

شکل ۸-۳، فرایند مربوط به لینک فراسو را نشان می‌دهد [۸ و ۹]. مثل لینک فروسو، ایستگاه پایه آغاز فرایند را با ارسال یک اعطای زمان‌بندی^۲ روی PDCCH به موبایل شروع می‌کند (مرحله ۱). این اعطاء زمان‌بندی یک مجوز به موبایل برای ارسال و تعیین تمام پارامترهایی است که موبایل باید استفاده کند، برای مثال اندازه بلاک انتقال، تخصیص بلاک منبع و طرح مدولاسیون. در جواب، موبایل برای انجام انتقال داده روی کانال اشتراک‌گذاری لینک فراسو (UL-SCH) و PUSCH می‌رود (مرحله ۲).

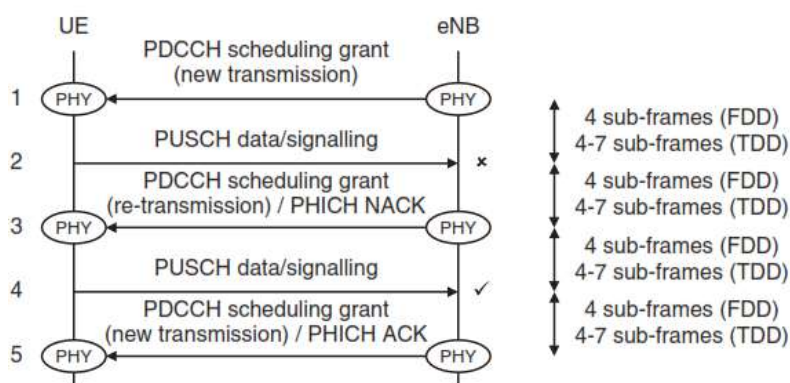
اگر ایستگاه پایه نتواند به درستی دریافت داده‌ها را انجام دهد، دو راه برای پاسخ دادن دارد. در روش اول، ایستگاه پایه می‌تواند یک انتقال مجدد غیرتطبیقی^۳ با ارسال یک تصدیق منفی روی

1. Asynchronous Hybrid ARQ
2. Scheduling Grant
3. Non Adaptive Retransmission

PHICH را آغاز کند. بعد از آن، موبایل می‌تواند با به کارگیری همان پارامترهای مرحله اول، انتقال مجدد داده را انجام دهد. در ادامه، ایستگاه پایه یک انتقال مجدد تطبیقی^۱ را با ارسال دقیق یک اعطای زمان‌بندی روی PDCCH به موبایل به انجام می‌دهد. ایستگاه پایه این کار را برای تغییر پارامترهایی به کار می‌برد که موبایل آنها را برای ارسال مجدد استفاده می‌کند، مثل تخصیص بلاک منبع یا طرح مدولاسیون لینک فراسو.

اگر ایستگاه پایه دریافت داده را به درستی انجام دهد، مثل، قبل دو روش برای پاسخ‌گویی دارد، یا یک تصدیق مثبت روی PHICH ارسال می‌کند که در این پیام پایان فرایند را اعلام می‌دارد، یا با ارسال یک اعطای زمان‌بندی جدید روی PDCCH، انتقال جدید را شروع می‌کند. اگر موبایل یک پیام تصدیق PHICH و یک اعطای زمان‌بندی PDCCH روی همان زیر فریم دریافت کند، اعطای زمان‌بندی اولویت بالایی را خواهد داشت.

در شکل ۳-۸، مراحل ۳ و ۵، به این صورت فرض شده است که ایستگاه پایه نمی‌تواند انتقال اولیه موبایل را کد گشایی کند، اما در انتقال دوم موفق می‌شود این کار را با موفقیت انجام دهد. در صورتی که موبایل به بیشترین تعداد انتقال مجدد بدون دریافت جواب تصدیق مثبت رسید، به یک انتقال جدید می‌رود و پروتکل RLC را برای حل مسئله رها می‌کند.



شکل ۳-۸ فرایند انتقال و دریافت لینک فراسو

یکبار دیگر، لینک فراسو چندین پردازش ARQ ترکیبی (HARQ) را استفاده می‌کند که به همراه کپی‌هایی از شکل ۳-۸ هستند. در روش FDD، حداکثر پردازش HARQ برابر هشت است. در روش TDD، حداکثر هفت در پیکربندی صفر استفاده می‌کند.

لینک فراسو روشی به نام HARQ همزمان^۱ را به کار می‌برد و در آن تعداد پردازش HARQ به طور دقیق نشان داده شده است، اما در عوض، با استفاده از زمان‌بندی انتقال تعریف شده است. در روش FDD، چهار تأخیر زیر فریم بین اعطای زمان‌بندی و انتقال لینک فراسوی مربوط به آن وجود دارد و چهار زیر فریم تأخیر دیگر قبل از هر درخواست ارسال مجدد روی همان پردازش ARQ قرار دارد. این تأخیر اجازه می‌دهد تا همه تجهیزات بتوانند، اعطای زمان‌بندی‌ها، انتقالات، تصدیق‌ها و انتقال‌های مجدد را به درستی تطبیق نمایند.

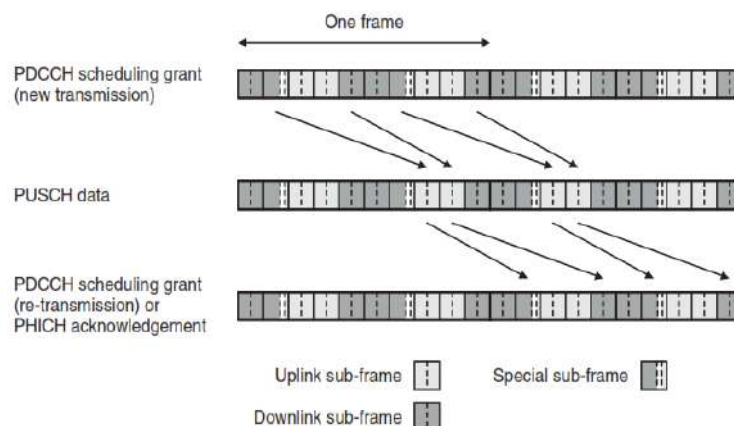
همان طور که در لینک فروسو دیدیم، TDD یک مجموعه تأخیر متغیر را مطابق با یک نگاشت وابسته به پیکربندی TDD دارد، شکل ۸-۴ مثالی از نگاشت را برای حالتی که پیکربندی TDD، یک (۱) می‌باشد نشان می‌دهد.

موبایل می‌تواند یک فرایند را به سه روش آغاز کند. در صورتی که موبایل در حالت RRC_IDLE باشد. یک هشدار برای استفاده از فرایند دسترسی تصادفی (فصل نهم) به ایستگاه می‌فرستد. اگر موبایل در حالت RRC_CONNECTED باشد، اما هنوز روی PUSCH انتقالی انجام نمی‌دهد، بنابراین یک درخواست زمان‌بندی به ایستگاه پایه روی PUCCH (بخش ۸-۵-۶) ارسال کند. در نهایت، اگر موبایل در حال ارسال روی PUSCH باشد، می‌تواند با ارسال عناصر کنترلی به نام گزارش‌های وضعیت بافر (فصل دهم) ایستگاه پایه را درباره پر شدن بافر ارسال خود مطلع سازد.

در برنامه‌های کاربردی نظیر VoIP، نرخ بیت لینک‌های فراسو و فروسو یکسان می‌باشند، اما بیشترین فاصله موبایل از ایستگاه پایه معمولاً به وسیله لینک فراسو محدود شده است. ما می‌توانیم در چنین شرایطی، مشکلات پوششی لینک فراسو را با روشی به نام طبقه‌بندی TTI^۲ حل کنیم. در این روش، ایستگاه پایه یک اعطای زمان‌بندی منفرد را به طور معمولی به موبایل ارسال می‌کند، اما موبایل با ارسال همان داده و در چهار زیر فریم متوالی پاسخ می‌دهد، در نتیجه، انرژی سینگال دریافتی افزایش می‌یابد. طبقه‌بندی TTI اغلب در ترکیب با روش‌های زمان‌بندی نیمه پایدار به کار می‌رود که ادامه در شرح داده می‌شود.

1. Synchronous Hybrid ARQ

2. TTI Bundling



شکل ۸-۴ ارتباط بین اعطای تنظیم زمان‌بندی، تصدیق‌های لینک فراسو و فروسو برای پیکربندی ۱، روش TDD

۸-۱-۳ زمان‌بندی نیمه پایدار

هنگامی که از زمان‌بندی نیمه پایدار (SPS) [۱۰-۱۲] استفاده می‌شود، ایستگاه پایه می‌تواند چندین انتقال هم‌پوشان چند زیر فریمی را زمان‌بندی کند، این کار با ارسال یک پیام زمان‌بندی به موبایل صورت می‌گیرد، که تنها یک منبع به آن تخصیص داده می‌شود. روش زمان‌بندی نیمه پایدار، برای سرویس‌هایی مانند VoIP طراحی شده است، برای اینگونه سرویس‌ها، نرخ داده پایین بوده و سرریز پیام‌های زمان‌بندی زیاد هستند. همچنین نرخ داده ثابت است، بنابراین ایستگاه پایه می‌تواند با اطمینان همان منابع تخصیصی را از یک انتقال به انتقال بعدی استفاده کند. ایستگاه پایه زمان‌بندی نیمه پایدار را با پیام سیگنالینگ RRC ویژه موبایل برای آن پیکربندی می‌کند. به عنوان بخشی از این پیام، ایستگاه پایه دوره بین انتقال‌ها را معین می‌کند که بین ۱۰ تا ۶۴۰ زیر فریم قرار دارد. پس از آن ایستگاه پایه می‌تواند زمان‌بندی نیمه پایدار را با ارسال یک دستور زمان‌بندی با قالب خاصی یا اعطای زمان‌بندی فعال سازد.

در لینک فروسو، ایستگاه پایه یک انتقال جدید روی PDSCH در یک دوره تعریف شده به وسیله پیکربندی SPS، به موبایل ارسال می‌کند. این کار به روشی که توسط دستور زمان‌بندی مشخص شده است، انجام می‌گیرد. موبایل شماره پردازش HARQ را برای هر انتقال جدید می‌چرخاند، چرا که ایستگاه پایه هیچگونه موقعیتی برای مشخص کردن آن ندارد. با این حال ایستگاه پایه همه انتقال‌های مجدد خود را به طور دقیقی زمان‌بندی می‌کند که در شکل ۸-۱ مشاهده

شد. همچنین ایستگاه پایه می‌تواند پارامترهای مختلف انتقال را برای فرایندهای مذکور مثل تخصیص‌های بلاک منابع مختلف یا طرح‌های مدولاسیونی مختلف را مشخص کند. چنین وضعیت مشابهی نیز در لینک فراسو انجام می‌گیرد: موبایل یک انتقال جدید روی PUSCH در دوره تعریف شده توسط پیکربندی SPS خودش ارسال می‌کند، اما ایستگاه پایه به زمان‌بندی هر انتقال مجدد به روشی که در شکل ۸-۲ نشان داده شده است، ادامه می‌دهد.

بالاخره، ایستگاه پایه می‌تواند SPS تخصیص داده شده را با ارسال پیام زمان‌بندی دیگری در قالب ویژه به موبایل، آزاد کند. به علاوه به طور ضمنی، موبایل SPS اختصاصی لینک فراسو را در صورتی که موبایل به بیشترین تعداد موقعیت انتقال، بدون داشتن هرگونه داده‌ای برای ارسال رسید، آن را از انتساب SPS لینک فراسو آزاد می‌کند.

۸-۲ انتقال پیام‌های زمان‌بندی روی PDCCH

۸-۲-۱ اطلاعات کنترلی لینک فروسو

با نگاهی در جزئیات فرایند انتقال و دریافت، ما با انتقال اطلاعات کنترلی لینک فروسو روی PDCCH بحث را شروع خواهیم کرد. ایستگاه پایه اطلاعات کنترلی لینک فروسو را برای ارسال دستورات زمان‌بندی لینک فروسو، اعطاهای زمان‌بندی لینک فراسو و دستورات کنترل توان لینک فروسو برای موبایل به کار می‌گیرد. DCI را می‌توان با استفاده از چندین قالب که در جدول ۸-۱ آورده شده است، نوشت. [۱۳] هر قالبی دارای مجموعه‌ای از اطلاعات و اهدافی خاص می‌باشد.

جدول ۸-۱ لیست قالب‌های DCI و کاربردی‌های آنها

DCI format	Release	Purpose		Resource allocation	DL mode
0	R8	UL scheduling grants	1 antenna	—	—
1	R8	DL scheduling commands	1 antenna, open loop diversity, beamforming	Type 0, 1	1, 2, 7
1A	R8		1 antenna, open loop diversity	Type 2	Any
1B	R8		Closed loop diversity	Type 2	6
1C	R8		System information, paging, random access responses	Type 2	Any
1D	R8		Multiple user MIMO	Type 2	5
2	R8	DL scheduling commands	Closed loop MIMO	Type 0, 1	4
2A	R8		Open loop MIMO	Type 0, 1	3
2B	R9		Dual layer beamforming	Type 0, 1	8
2C	R10		8 layer MIMO	Type 0, 1	9
2D	R11		CoMP	Type 0, 1	10
3	R8	UL power control	2 bit power adjustments	—	—
3A	R8		1 bit power adjustments	—	—
4	R10	UL scheduling grants	Closed loop MIMO	—	—

DCI، قالب 0، دارای اعطاهای زمان‌بندی برای انتقال لینک فراسوی موبایل است. دستورات زمان‌بندی برای انتقال لینک فروسو پیچیدگی بیشتری دارند و در نسخه هشت با فرمت‌های 1 به 1D و 2 به 2A تغییر پیدا کرده‌اند.

DCI قالب ۱ داده‌های زمان‌بندی هستند، که ایستگاه پایه با استفاده از یک آنتن، چندگانگی حلقه باز یا شکل‌دهی پرتو، برای موبایل‌هایی که در یک روش انتقال ۱، ۲ یا ۷ پیکربندی شده‌اند، استفاده می‌شود. زمانی که از این قالب استفاده می‌شود، ایستگاه پایه می‌تواند بلاک‌های منابع لینک فروسو را با یک روش انعطاف‌پذیری تخصیص دهد و این کار به وسیله طرح‌های تخصیص منابع به نام‌های نوع ۱ و نوع ۲ که در ادامه بیان می‌شوند، انجام می‌گیرد.

قالب 1A شبیه قالب 1 است، اما ایستگاه پایه یک تخصیص منبع فشرده‌ای به نام نوع ۲ را استفاده می‌کند. قالب 1A همچنین می‌تواند از طریق هر روش انتقال لینک فروسویی به کار گرفته شود، اگر موبایل قبلاً با یکی از روش‌های انتقال ۳ و ۷ پیکربندی شده باشد، داده‌ها را با عقب‌گرد به آنتن منفرد، دریافت می‌کند، در غیر این صورت، اگر ایستگاه دارای یک پورت آنتن یا چندگانگی ارسال حلقه باز باشد، اقدام به ارسال با یک آنتن می‌کند.

با پرسش از یک سطر به، قالب 1C می‌رسیم، یک قالب بسیار فشرده‌ای که فقط مشخص کننده منابع تخصیصی و مقدار داده‌ای است که ایستگاه پایه ارسال خواهد کرد. برای اطمینان از انتقال داده، طرح مدولاسیون در QPSK ثابت است و HARQ استفاده نمی‌شود. قالب 1C تنها برای زمان‌بندی پیام‌های اطلاعات سیستم، پیام‌های فراخوانی و پاسخ‌های دسترسی تصادفی استفاده می‌شود. به همین دلیل این قالب بسیار کوچک است.

قالب‌های 1B، 1D، 2 و 2A برای چندگانگی ارسال حلقه بسته به کار می‌رود، این قالب‌ها همچنین در نسخه هشت برای MIMO چند کاربری و مالتی‌پلکسینگ فضایی حلقه بسته و باز پیاده‌سازی شده است. علاوه بر این، این قالب‌ها دارای فیلد اضافه‌ای برای اطلاعات سیگنال نظیر ماتریس پیش کدینگ است، که ایستگاه پایه آن را برای PDSCH به کار می‌گیرد و نیز دارای لایه‌هایی است که به ایستگاه پایه ارسال خواهد کرد.

بر خلاف سایر قالب‌ها، فرمت‌های DCI، 3 و 3A هیچگونه انتقالی را زمان‌بندی نمی‌کنند: در عوض، آنها توانی که موبایل با آن در لینک فراسو انجام می‌دهد را ضمیمه دستورات کنترل توان متترل می‌کنند. این فرایندها را در انتهای این فصل پوشش می‌دهیم. قالب‌های 2B، 2C، 2D و 4 در نسخه ۶ تا ۱۱ معرفی شده و در بخش‌های پایانی کتاب بررسی خواهند شد.

۸-۲-۲ تخصیص منبع

ایستگاه پایه روش‌های مختلفی برای تخصیص بلاک‌های منابع به موبایل‌ها در لینک فراسو و فروسو دارد [۱۴ و ۱۵]. همان گونه که در بالا اشاره شد، در لینک فروسو ایستگاه پایه می‌تواند دو روش تخصیص قالب‌های منبع به نام‌های نوع ۰ و نوع ۱ را انجام دهد و یک قالب فشرده به نام نوع ۲ نیز وجود دارد.

زمانی که تخصیص منابع لینک فروسو نوع ۰ استفاده می‌شود، ایستگاه پایه بلاک‌های منابع را در داخل گروه‌های بلاک منابع (RBG) قرار می‌دهد، که به طور جداگانه‌ای با استفاده از یک Bitmap تخصیص داده می‌شوند. با تخصیص منابع نوع ۱، ایستگاه پایه می‌تواند بلاک‌های تخصیص منابع را در داخل یک گروه قرار دهد، اما انعطاف‌پذیری کمتری روی تخصیص‌های گروه خودش دارد. تخصیص نوع ۱ برای محیط‌هایی مناسب است که در آن چندین محوشدگی وابسته به فرکانس وجود دارد و ممکن است در نوع ۰ دقت فرکانسی بسیار بزرگ و ناکارآمد باشد.

هنگامی که از تخصیص منبع نوع ۲ استفاده می‌شود، ایستگاه پایه یک تخصیص منابع پیوسته از بلاک‌های منابع مجازی (VRB) را به موبایل‌ها می‌دهد. در لینک فروسو، این تخصیص دو نوع است: منطقه‌ای (محلی) و توزیع شده. بلاک منابع مجازی همان بلاک‌های منابع فیزیکی (PRB)^۱ هستند، که ما آنها را در جاهای دیگر نیز در نظر گرفته بودیم. بنابراین وقتی از آنها استفاده می‌کنیم، موبایل به سادگی تخصیص بلاک منابع را به صورت پیوسته دریافت می‌کند. بلاک‌های منابع مجازی توزیع شده، وابسته به بلاک منابع فیزیکی هستند که به وسیله یک تابع نگاشت شده‌اند، که در اولین و دومین شیار از زیر فریم‌ها تفاوت دارند. استفاده از بلاک‌های منابع مجازی توزیع شده، به موبایل چندگانگی فرکانسی مضاعفی می‌دهد و در محیط‌هایی مناسب است که در معرض محوشدگی وابسته به فرکانس قرار دارند.

همچنین موبایل یک تخصیص پیوسته از بلاک‌های منابع مجازی را برای انتقالات لینک فراسو خود دریافت می‌کند. کاربرد این بلاک‌های منابع مجازی بستگی به این دارد، که ایستگاه پایه چه کاربردی را از پرش فرکانسی^۲ در DCI قالب ۰ درخواست کرده است. اگر پرش فرکانسی غیرفعال شده باشد، در این صورت، بلاک‌های منابع مجازی لینک فروسو به طور مستقیم در داخل بلاک‌های منابع فیزیکی نگاشت می‌شوند. اگر پرش فرکانسی فعال شده باشد، بلاک‌های منابع فیزیکی و مجازی بستگی به نگاشتی دارد، که یا مشخصاً تعیین شده باشد (پرش نوع ۱) یا

1. Physical Resource Blacks

2. Frequency Hopping

یک الگوی شبه تصادفی (پرش نوع ۲) را دنبال می‌کند. یک موبایل همچنین می‌تواند فرکانس انتقال خود را در هر زیر فریم یا در هر شیار تغییر دهد، که بستگی به روش پرشی دارد، که برای استفاده از سینگالینگ RRC، پیکربندی شده است.

در لینک فراسو، تعداد بلاک‌های منابع به ازای هر موبایل باید ۱ و یا عوامل عدد اول ۲، ۳ یا ۵ باشد. دلیل اصلی آن تبدیلات اضافه به کار رفته در SC-FDMA می‌باشد، اگر تعداد زیر حامل‌های متوالی توانی از دو یا اعداد اول کوچک باشند، به سرعت اجرا می‌شوند. اما اگر از اعداد اول بزرگتر باشند، به کندی صورت می‌گیرد.

۸-۲-۳ DCI قالب ۱

برای توضیح قالب‌های DCI، جدول ۸-۲ محتوای DCI قالب ۱ در نسخه ۸ را بیان می‌کند. قالب‌های دیگر تفاوت زیادی ندارند: خصوصیات آنها را می‌توان از مشخصات فنی 3GPP به دست آورد.

ایستگاه پایه با استفاده از سرایند تخصیص منابع تعیین می‌کند، که چه موبایلی می‌تواند از تخصیص منبع نوع ۱ یا ۰ استفاده کند. این تخصیص‌ها را با استفاده از انتساب بلاک منابع انجام می‌دهد. در یک پهنای باند ۱.۴ MHz تخصیص منبع نوع ۰ پشتیبانی نمی‌شود. بنابراین فیلد سرایند آن دور ریخته خواهد شد.

طرح کدینگ و مدولاسیون یک عدد پنج بیتی است، که موبایل می‌تواند طرح مدولاسیون را جستجو کند و PDSCH آن را به کار خواهد برد (16-QAM, QPSK یا 64QAM). موبایل طرح کدینگ و مدولاسیون را با تعداد بلاک‌های منابع در تخصیص‌های خود ترکیب می‌کند، سپس می‌تواند تعداد بیت‌هایی که در بلاک انتقالش وجود دارد، را بررسی نماید. با مقایسه اندازه بلاک انتقال با تعداد عناصر منبع در تخصیص خود، می‌تواند نرخ کدینگ را برای DL-SCH محاسبه کند. همان گونه که قبلاً اشاره شد، ایستگاه پایه به صورت دقیق فرایند HARQ را در هر دستور زمان‌بندی لینک فروسو نشان می‌دهد. در نتیجه، ایستگاه پایه شاخص داده جدیدی را برای هر انتقال جدید تخصیص می‌دهد تا زمانی که آن مقدار برای یک انتقال مجدد تغییر پیدا نکند. نسخه اضافه نشان دهنده این است، که کدام از یک بیت‌هایی که با توربو کد شده‌اند، بعد از مرحله تنظیم نرخ، ارسال خواهند شد و کدام یک از پانچرینگ عبور خواهند کرد.

ایستگاه پایه، دستور کنترل توان/ارسالی (TPC)^۱ برای PUCCH را جهت تنظیم توان به کار می‌برد که موبایل این توان را هنگامی که اطلاعات کنترلی لینک فراسو روی PUCCH می‌فرستد،

1. Transmit Power Control

به کار می‌گیرد. (این یک روش جایگزینی برای تنظیم توان ارسالی با استفاده از DCI قالب‌های 3 و 3A می‌باشد.) در روش TDD، موبایل شاخص انتساب لینک فرسو را برای کمک به انتقال موبایل در تصدیق‌های لینک فراسو به کار می‌گیرد، که آنها را بعداً بیان خواهیم کرد.

جدول ۸-۲ محتوای DCI قالب ۱ در نسخه هشتم، 3GPP

Field	Number of bits
Resource allocation header	0 (1.4 MHz) or 1 (otherwise)
Resource block assignment	6 (1.4 MHz) to 25 (20 MHz)
Modulation and coding scheme	5
HARQ process number	3 (FDD) or 4 (TDD)
New data indicator	1
Redundancy version	2
TPC command for PUCCH	2
Downlink assignment index	2 (TDD only)
Padding	0 or 1

یک غفلت مهم در جدول ۸-۲ وجود دارد: در اینجا هیچگونه فیلدی که نشان دهنده نوع قالب DCI باشد، وجود ندارد. اگرچه برخی از قالب‌ها دارای چنین سرایندی هستند، معمولاً موبایل قالب‌های DCI مختلف را با دقت در اختلاف بیت‌های آنها تشخیص می‌دهد. گاهی ایستگاه پایه یک دنباله بیت به انتهای دستور زمان‌بندی اضافه می‌کند تا مطمئن شود که قالب ۱ دارای تعداد بیت متفاوت‌تری نسبت به سایر قالب‌هاست.

۸-۲-۴ شناسه‌های موقت شبکه رادیویی

ایستگاه پایه یک پیام زمان‌بندی PDCCH را با آدرس‌دهی آن در یک شناسه موقت شبکه رادیویی (*RNTI*)^۱ موبایل ارسال می‌کند [۱۶]. در LTE یک RNTI دو چیز را تعریف می‌کند: شناسایی موبایل (هایی) که پیام زمان‌بندی را می‌خوانند و شناسایی نوع اطلاعاتی که آنها نیاز به زمان‌بندی آن دارند. جدول ۸-۳ لیست RNTI هایی که در LTE استفاده می‌شوند، را آورده است، و همراه مقادیر هگزا دسیمالی است که می‌تواند استفاده می‌شود.

1. Radio Network Temporary Identifier

RNTI سلول (*C-RNTI*)^۱ دارای اهمیت بیشتری است. ایستگاه پایه یک *C-RNTI* یکتا به موبایل می‌دهد تا به عنوان بخشی از فرایند دسترسی تصادفی محسوب شود. بعد از آن، ایستگاه پایه انتقالی را که روی یک زیر فریم پخش شده است را زمان‌بندی کند، که این کار به وسیله آدرس‌دهی یک پیام زمان‌بندی برای *C-RNTI* موبایل انجام می‌گیرد.

SPS C-RNTI برای زمان‌بندی نیمه پایدار به کار می‌رود. ایستگاه پایه با انتساب یک *SPS C-RNTI* به موبایل از طریق سیگنالینگ *RRC* ویژه موبایل، این کار را انجام می‌دهد. بعد از آن، ایستگاه پایه می‌تواند انتقالی را که روی چندین زیرحامل پخش شده است، را با مشخص کردن یک پیام زمان‌بندی با قالب ویژه‌ای به *SPS C-RNTI* زمان‌بندی کند.

شناسه‌های فراخوانی *RNTI (P-RNTI)*^۲ و اطلاعات سیستمی *RNTI (SI-RNTI)*^۳ مقادیر ثابتی هستند، که برای زمان‌بندی انتقال پیام‌های فراخوانی و اطلاعات سیستمی برای تمامی موبایل‌هایی به کار می‌روند، که در داخل یک سلول قرار دارند. *C-RNTI* موقتی^۴ و *RNTI* دسترسی تصادفی (*RA-RNTI*)^۵ فیلدهای موقتی هستند، که در طول فرایند دسترسی تصادفی به کار می‌روند (فصل نهم)، در حالی که *MBMS RNTI (M-RNTI)* برای کاربردهای پخش سراسری / چند پخش سرویس‌های رسانه‌ای (*MBMS*) (در فصل نوزدهم) به کار می‌روند، در پایان، *TPC-PUSCH-RNTI* و *TPC-PUSCH-RNTI* برای ارسال دستورات کنترل توان لینک فراسو با استفاده از قالب‌های *DCI* نوع 3 و 3A استفاده می‌شود.

جدول ۸-۳ لیست شناسه‌های موقتی شبکه رادیویی و کاربردهای آنها

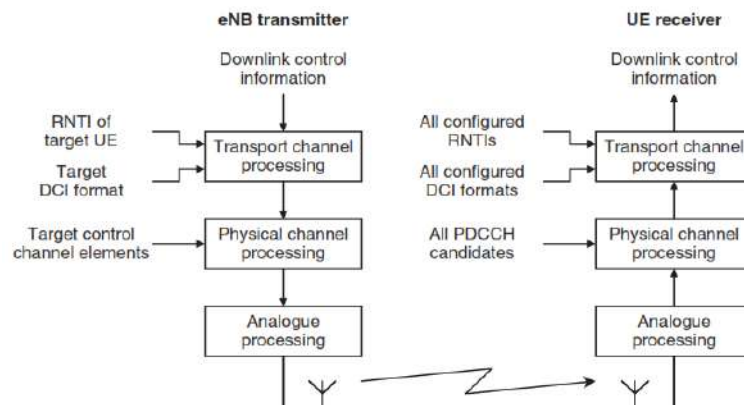
Type of RNTI	Release	Information scheduled	Hex value
RA-RNTI	R8	Random access response	0001 - 003C
Temporary C-RNTI	R8	Random access contention resolution	003D - FFF3
C-RNTI	R8	One UL or DL transmission	
SPS C-RNTI	R8	Several UL or DL transmissions	
TPC-PUCCH-RNTI	R8	Embedded PUCCH TPC command	
TPC-PUSCH-RNTI	R8	Embedded PUSCH TPC command	
M-RNTI	R9	MBMS change notification	FFFD
P-RNTI	R8	Paging message	FFFE
SI-RNTI	R8	System information message	FFFF

منبع: TS 36.321 باز نشر با مجوز ETSI

1. Cell RNTI
2. Paging RNTI
3. System Information RNTI
4. Temporary C-RNTI
5. Random Access RNTI

۵-۲-۸ انتقال و دریافت PDCCH

حال ما در شرایطی هستیم که می‌توانیم روی انتقال و دریافت PDCCH بحث کنیم، فرایندی که در شکل ۵-۸ مشاهده می‌شود. ایستگاه پایه در پردازشگر کانال انتقال خود، ابتدا DCI را با CRC و تصحیح کدینگ خطا ضمیمه شده محاسبه می‌کند [۱۷]، که وابسته به RNTI موبایل هدف می‌باشد. سپس در پردازشگر کانال فیزیکی، ایستگاه پایه PDCCH را با استفاده از مدولاسیون QPSK پردازش می‌نماید. نوع انتقال روی آنتن منفرد یا چندگانگی انتقال حلقه باز که بستگی به تعداد پورت‌های آنتن آن دارد، صورت می‌گیرد [۱۸]. در پایان ایستگاه پایه PDCCH را در داخل عناصر منبع انتخاب شده نگاشت می‌کند.



شکل ۵-۸ انتقال و دریافت PDCCH

نگاشت عناصر منبع برای PDCCH با به کار بردن عناصر کانال کنترل^۱ (CCE) سازماندهی می‌شود [۱۹]. هر کدام شامل نه گروه عناصر منبع است که در حال حاضر برای کانال شناسه قالب کنترل فیزیکی (PCFICH) یا PHICH اختصاص داده نشده است. با توجه به طول پیام DCI، ایستگاه پایه می‌تواند یک پیام زمابندی PDCCH را با نگاشت آن در داخل یک، دو، چهار یا هشت RNTI پی در پی ارسال کند، به عبارت دیگر، در داخل ۳۶، ۷۲، ۱۴۴ یا ۲۸۸ عناصر منبع قرار می‌دهد.

در ادامه، عناصر کانال کنترل در داخل فضاهای جستجو^۲ سازماندهی می‌شوند، که دو نوع دارند. فضاهای جستجو عمومی^۱ که برای همه موبایل‌هایی که در داخل یک سلول هستند در

1. Control Channel Elements
2. Search Spaces

دسترس بوده و در یک مکان‌های ثابتی در ناحیه کنترل لینک فراسو قرار دارند. فضاهای جستجو ویژه UE^2 که به گروهی از موبایل اختصاص داده می‌شوند و مکان آنها بستگی به RNTI موبایل‌ها دارد. هر فضای جستجو دارای بیش از ۱۶ عنصر کانال کنترل است، بنابراین، این ناحیه جستجو دارای چندین منطقه است که ایستگاه پایه ممکن است اطلاعات کنترل لینک فراسو را به آن ارسال کند. همچنین ایستگاه پایه می‌تواند این فضاهای جستجو را برای ارسال چندین پیام PDCCH به چندین موبایل در یک لحظه به کار ببرد.

سپس موبایل یک PDCCH را به صورت زیر دریافت می‌کند. در هر زیر فریم، موبایل شناسه قالب کنترل را می‌خواند، اندازه ناحیه کنترل لینک فراسو و مناطق فضاهای جستجوی عمومی و ویژه UE را مشخص می‌کند. در داخل هر فضای جستجو، ایستگاه پایه نامزدهای PDCCH^۳ ممکن را شناسایی می‌کند، که این نامزدها عناصر کانال کنترل هستند و ممکن است، ایستگاه پایه بخواهد اطلاعات کنترل لینک فراسو را در آنها ارسال کند. سپس موبایل سعی می‌کند تا هر نماینده را پردازش نماید، این کار را با استفاده از ترکیب‌های RNTI^۴ ها و قالب‌های DCI که برای جستجو پیکربندی شده‌اند، انجام می‌دهد. اگر بیت‌های CRC مشاهده شده با آنچه که انتظار داشتیم مطابقت داشته باشد، نتیجه می‌گیریم که پیام با استفاده از قالب DCI و RNTI نگهداری می‌شد، ارسال شده است. سپس اطلاعات کنترل لینک فراسو را خوانده و بلافاصله واکنش نشان می‌دهد.

CRC به دلایل زیادی می‌تواند ناموفق باشد: ممکن است ایستگاه پایه پیام‌های زمان‌بندی را در عناصر کانال کنترل ارسال نکرده باشد، یا ایستگاه پایه یک پیام زمان‌بندی را با استفاده از قالب DCI مختلف یا RNTI مختلف ارسال کرده باشد، یا موبایل نتواند پیام زمان‌بندی را به دلیل رخ دادن بیت‌های خطا در آن به خواند. اگر هر کدام از شرایط فوق اتفاق افتاد، جواب موبایل یکسان است: موبایل به ترکیبی از نامزد DCCH، RNTI و قالب DCI بعدی رفته و دوباره سعی می‌کند.

-
1. Command Search Space
 2. UE-Specific Search Spaces
 3. UE – Specific Search Spaces
 4. PDCCH Candidates

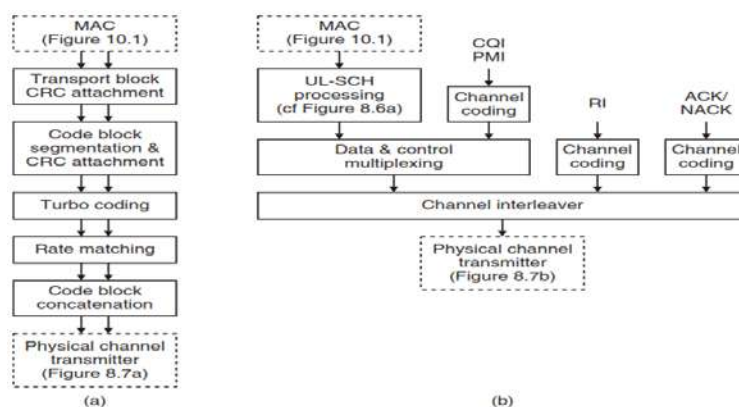
۳-۸ انتقال داده روی PDSCH و PUSCH

۱-۳-۸ پردازش کانال انتقال

بعد از آنکه ایستگاه پایه یک پیام زمان‌بندی را به موبایل ارسال کرد، ایستگاه پایه می‌تواند DL-SCH را به همان روشی که دستور زمان‌بندی پیکربندی شده است، ارسال کند. پس از آن موبایل یک اعطای زمان‌بندی لینک فراسو دریافت کرده، می‌تواند UL-SCH را به همان روش ارسال کند. شکل ۸-۶-۸-۱ مرحله‌ای را که پردازشگر کانال انتقال برای ارسال داده به کار می‌برد، را نشان می‌دهد [۲۰].

در بالای شکل، پروتکل کنترل رسانه (MAC) اطلاعات را در قالبی از بلاک‌های انتقالی به لایه فیزیکی می‌فرستد. اندازه هر بلاک انتقال توسط اطلاعات کنترلی لینک فراسو تعریف می‌شود، به طوری که دوره آن ۱ ms فاصله زمان انتقال است.

در لینک فراسو، موبایل یک بلاک انتقالی را در یک واحد زمانی ارسال می‌کند. در لینک فراسو ایستگاه پایه معمولاً یک بلاک انتقال را به هر موبایل ارسال می‌کند. اما می‌تواند دو بلاک انتقال را زمانی که از مالتی‌پلکسینگ فضایی (قالب‌های DCI، 2 تا 2D) استفاده می‌کند، ارسال نماید. دو بلاک انتقال می‌توانند طرح‌های مدولاسیون و کدینگ مختلفی داشته باشند، که در لایه‌های مختلف نگاشت می‌شوند و به طور جداگانه تصدیق می‌گردند. این کار مقدار سیگنالینگ را افزایش می‌دهد. در نتیجه، مقداری سرایند به این انتقال افزوده می‌شود. همان طور که در فصل پنجم اشاره شد، لایه‌های مختلف می‌توانند همراه با مقادیر مختلفی از نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل را به موبایل برسند. بنابراین ما می‌توانیم بهره‌وری واسط هوایی را با ارسال یک لایه با SINR بالا با استفاده از طرح مدولاسیون و نرخ کدینگ سریع بهبود دهیم و برعکس، با کاستن از حداکثر تعداد بلاک‌های انتقال به دو به جای چهار، ما به مصالحه بین این دو معیار متضاد می‌رسیم.



شکل ۸-۶-۸-۱ پردازش کانال انتقال در نسخه هشتم و نهم، برای DL-SCH (a) و UL-SCH (b)

در لینک فروسو (شکل ۸-۶(a)) ایستگاه پایه ۲۴ بیت CRC به هر بلاک انتقال DL-SCH می‌افزاید، که موبایل در مقصد آن را برای تشخیص خطا به کار خواهد برد. اگر بلاک حاصل شده طولانی‌تر از ۴۱۶۶ بیت شود، پس ایستگاه پایه آن را در بلاک‌های کد کوچکتری تقسیم می‌کند و کدهای CRC دیگری به هر بخش اضافه می‌کند، سپس ایستگاه پایه این داده را با $\frac{1}{3}$ نرخ کد کننده توربو منتقل می‌کند. مرحله تطبیق نرخ^۱ بیت‌های حاصل را در یک بافر چرخشی ذخیره می‌کند، سپس بیت‌ها را از این بافر برای انتقال انتخاب می‌کند. تعداد بیت‌های ارسالی توسط اندازه منابع تخصیصی تعیین می‌شود و انتخاب دقیق آن توسط نسخه افزونه مشخص می‌شود. در پایان، ایستگاه پایه با جمع‌آوری مجدد بلاک‌های انتقالی کد شده، آنها را به پردازشگر کانال فیزیکی در قالب کلمات کد^۲ برای انتقال ارسال می‌کند.

موبایل داده‌های رسیده را به شیوه‌ای که در فصل سوم بیان شد، پردازش می‌کند. الگوریتم کدگذاری توربو یک الگوریتم تکرار شونده است که تا انتقال بلاک کد CRC ادامه پیدا می‌کند. سپس گیرنده بلاک‌های انتقالی را مجدداً گرد هم می‌آورد، بلاک‌های CRC انتقالی را می‌آزماید تا تعیین کند، چه داده‌ای به درستی رسیده است.

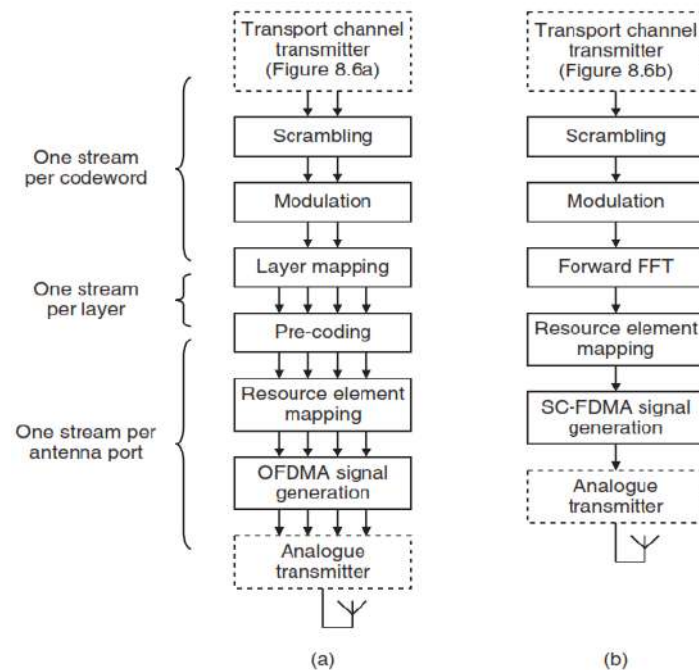
در لینک فراسو (شکل ۸-۶(b)) موبایل UL-SCH را به همان روشی که ایستگاه پایه برای لینک فروسو به کار برده بود ارسال می‌کند. اگر موبایل اطلاعات کنترلی لینک فراسو را در همان زیر فریم ارسال کند، بیت‌های کنترلی را با استفاده از تصحیح خطا رو به جلو منتقل می‌کند و آنها را در UL-SCH به همان روشی که توسط شکل مشخص شده مالتی پلکس می‌کند.

۸-۳-۲ پردازش کانال فیزیکی

پردازش کننده کانال انتقال، کلمات کد ورودی را به پردازشگر کانال فیزیکی منتقل می‌کند، که پردازشگر کانال فیزیکی آن را به شیوه‌ای که در شکل ۸-۷ نشان داده شده است، منتقل می‌نماید. در لینک فروسو (شکل ۸-۷(a)) مرحله Scrambling، هر کلمه کد را با دنباله شبیه تصادفی ادغام می‌کند که این شبه کد بستگی به شماره سلول (Cell ID) و RNTI هدف دارد، تا تداخل حاصل از انتقال بین سلول‌های مجاور را کاهش دهد. نگاشت کننده مدولاسیون بیت‌های حاصل شده را در گروه‌های دوتایی، چهارتایی یا شش تایی قرار داده و آنها را در داخل اجزای in-phase و متعامد با استفاده از QPSK، 16-QAM یا 64-QAM نگاشت می‌کند.

1. Rate Matching

2. Codewords



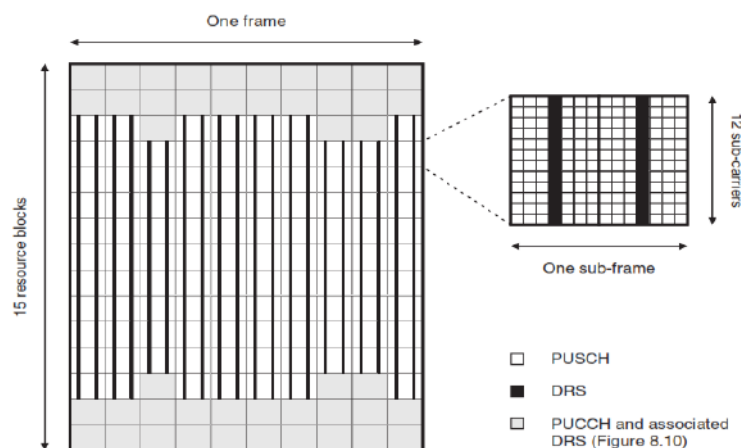
شکل ۸-۶ پردازش کانال فیزیکی در نسخه هشتم و نهم برای PDSCH(a) و PUSCH(b)

دو مرحله بعدی پیاده‌سازی، انتقال با استفاده از آنتن‌های چنداگانه است، که در فصل پنجم بیان شد. مرحله نگاشت لایه کلمات کد را گرفته و در داخل لایه‌های یک تا چهارتایی مستقل از هم نگاشت می‌کند، در حالی که مرحله پیش کدینگ ماتریس پیش کدینگ را اجرا کرده و لایه را در پورت‌های مختلف آنتن نگاشت می‌کند.

نگاشت کننده عناصر منبع، عمل تبدیل سریال به موازی را انجام می‌دهد و زیر جریان حاصل شده را در زیر حامل‌های انتخاب شده نگاشت می‌کند و به همراه زیر جریان حاصل شده از تمامی انتقالات داده، کانال‌های کنترلی و سیگنال‌های فیزیکی می‌باشد. PDSCH عناصر منبع در ناحیه داده‌ای از زیر فریم که برای سایر کانال‌ها یا سیگنال‌های دیگر به شیوه‌ای که در شکل ۶-۱۰ بیان شده بود، تخصیص داده نشده باشد، را اشغال می‌کند. در پایان، تولید کننده سیگنال OFDMA، یک تبدیل فوریه سریع معکوس را اجرا می‌کند و تبدیل موازی به سریال را انجام داده و پیشوند چرخشی را درج می‌کند. حاصل یک نمایش دیجیتالی از داده‌ها در حوزه زمان است که از هرپورت آنتن ارسال خواهد شد.

در اینجا تنها چند تفاوت در لینک فراسو وجود دارند (شکل ۸-۷(b)). نخست، پردازش دارای یک FFT رو به جلو است که ویژگی SC-FDMA را تشخیص می‌دهد. دوم این‌که، در

اینجا نداشت لایه‌ای یا پیش‌کدینگ وجود ندارد، چرا که لینک فراسو MIMO تک‌کاربری را در نسخه هشت LTE استفاده نمی‌کند. سوم این که، PUSCH مجموعه‌ای از بلاک‌های منبع به سمت مرکز باند لینک فراسو را اشغال می‌کند، که حاشیه‌های آنها برای PUCCH ذخیره شده است. هر زیر فریم دارای شش سمبل و یک سمبل مرجع دمدولاسیون است که در شکل ۸-۸ نشان داده شده است.



شکل ۸-۸ نداشت عنصر منبع برای PUSCH و سیگنال مرجع دمدولاسیون با استفاده از روش FDD، یک پیشوند معمولی، یک پهنای باند ۳ مگاهرتزی و یک مثال برای تخصیص PUCCH

۸-۴ انتقال نشانگرهای HARQ روی PHICH

۸-۴-۱ مقدمه

حالا ما می‌توانیم شروع به بحث درباره بازخوردی کنیم، که گیرنده از آنچه که فرستنده ارسال کرده است، باز می‌گرداند. باز خورد ایستگاه پایه آسان‌تر از موبایل است پس بهتر است، ابتدا از آن شروع کنیم.

در طول فرایند ارسال و دریافت لینک فراسو، ایستگاه پایه تصدیق‌هایی را در قالب شاخص‌های ARQ ترکیبی ارسال می‌کند و آنها را روی کانال شاخص PHICH فیزیکی می‌فرستد [۲۵-۲۵]. روش دقیق انتقال وابسته به پیکربندی PHICH سلول است، که دارای دو پارامتر می‌باشد: دوره PHICH^۱

1. PHICH Duration

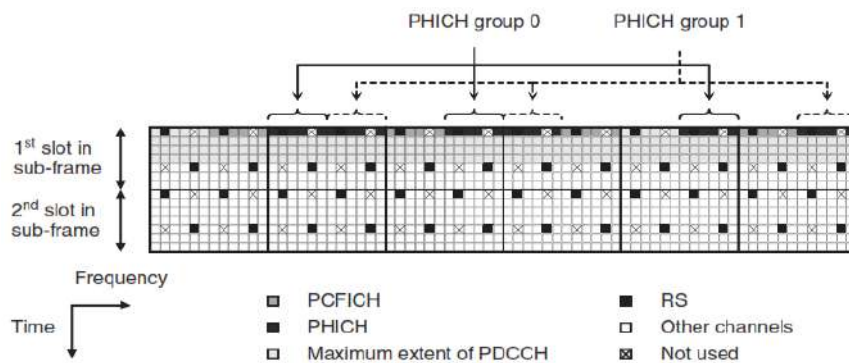
(معمولی یا گسترده) و یک پارامتر دیگری به نام N_g که می‌تواند مقادیری از $\frac{1}{6}$ ، $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{2}$ یا ۱ را داشته باشد. همچنین این روش انتقال وابسته به دوره پیشوند چرخشی می‌باشد.

در ادامه بحث ما فرض می‌کنیم، ایستگاه پایه از دوره PHICH معمولی و پیشوند چرخشی معمولی استفاده می‌کند. جزئیات سایر روش‌ها اندکی متفاوت هستند، اما سایر مفاهیم پایه‌ای یکسان می‌باشند.

۸-۴-۲ نگاشت عناصر منبع PHICH

ایستگاه پایه هر شاخص ARQ ترکیبی را در ناحیه کنترلی لینک فروسو، با استفاده از مجموعه‌ای از گروه‌های عناصر منبع (دوازده عنصر منبع) که به نام گروه PHICH شناخته می‌شوند، ارسال می‌کند. تعداد گروه PHICH بستگی به پهنای باند سلول و مقدار N_g دارد. این مقدار در روش FDD ثابت است، اما می‌توانیم در روش TDD از یک زیر فریم به زیر فریم بعدی آن را تغییر دهیم، چرا که ایستگاه پایه باید تصدیق زیادی در زیر فریم TDD نسبت به روش FDD ارسال می‌کند.

هر گروه PHICH در داخل گروه‌های عناصر منبع نگاشت می‌شوند، که هنوز به PHICH تخصیص داده نشده‌اند. زمانی که از دوره PHICH معمولی استفاده شود، آنها در اولین سمبل از زیر فریم قرار می‌گیرند، اما در دوره PHICH گسترده دو یا سه سمبل را پوشش دهند. شکل ۸-۹ یک مثال از ایستگاه پایه‌ای را نشان می‌دهد، که از دوره PHICH معمولی با دو گروه PHICH استفاده می‌کند.



شکل ۸-۹ نگاشت عناصر منبع برای PHICH. با استفاده از یک دوره PHICH معمولی، یک پیشوند چرخشی معمولی، یک پهنای باند 1.4 MHz و پورت اول از دو پورت آنتن، شناسه سلولی ۱ و دو گروه PHICH

1. PHICH Groups

یک گروه PHICH به یک موبایل منفرد تخصیص نمی‌یابد؛ بلکه به طور مشترک به هشت موبایل داده می‌شود، که اینکار با تخصیص هر موبایل به شاخص دنباله متعامد^۱ مختلف صورت می‌گیرد. یک موبایل، شماره گروه PHICH و شاخص دنباله متعامد را مشخص می‌کند و با استفاده از دو پارامتر به آن سرکشی می‌کند، که از طریق این دو پارامتر که یکی اعطای زمان‌بندی اولیه، با استفاده از اولین بلاک منابع فیزیکی است و برای انتقال لینک فراسو به کار می‌برد و پارامتر دیگر که تغییر چرخش نامیده می‌شود، که این مورد در بخش ۸-۶ بیان خواهد شد، انجام می‌شود. شماره گروه PHICH و شاخص دنباله متعامد روی هم رفته به عنوان یک منبع PHICH^۲ شناخته می‌شود.

۸-۴-۳ پردازش کانال فیزیکی PHICH

برای ارسال یک شاخص HARQ، ایستگاه پایه آن را به وسیله BPSK مدوله می‌کند، که از سمبل‌های +۱ و -۱ به ترتیب برای تصدیق‌های مثبت و منفی استفاده می‌کند. سپس ایستگاه پایه این شاخص‌ها را در چهار سمبل در یک عنصر منبع جداسازی می‌کند، اینکار را با ضرب دنباله متعامد انتخابی انجام می‌دهد.

در اینجا چهار دنباله ابتدایی برای ایستگاه پایه یعنی $[+1+1+1+1]$ ، $[+1-1+1-1]$ ، $[-1+1-1+1]$ و $[-1-1+1-1]$ وجود دارند، اما هر کدام از آنها می‌تواند در اجزاء متعامد و In-phase سیگنال به کار روند که روی هم رفته هشت دنباله را در کل می‌سازند. ایستگاه پایه می‌تواند این تصدیق‌های همزمان را به هشت موبایل در یک گروه PHICH ارسال کند، که با انتساب آنها در شاخص‌های دنباله متعامد مختلف و افزودن سیگنال‌های به دست آمده، انجام می‌دهد. این روش برای آنهایی که تجربه کار با دسترسی چندگانه تقسیم کد دارند، ملموس‌تر است و یکی از محدود مواردی است که LTE از CDMA استفاده می‌کند.

پس سمبل‌های PHICH در میان سه گروه عنصر منبع تکرار می‌شوند تا انرژی سیگنال دریافتی افزایش یابد و مانند سایر انتقال کانال‌های فیزیکی لینک فروسو منتقل می‌شود.

۸-۵ اطلاعات کنترلی لینک فراسو

۸-۵-۱ تصدیق‌های ARQ ترکیبی

موبایل سه نوع اطلاعات کنترلی لینک فراسو را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند [۲۶-۲۸]: تصدیق‌های HARQ انتقال‌های لینک فروسو ایستگاه پایه، درخواست‌های زمان‌بندی لینک فراسو

1. Orthogonal Sequence Index

2. PHICH Resource

و اطلاعات وضعیت کانال. در ادامه، اطلاعات وضعیت کانال شاخص کیفیت کانال (CQI)، شاخص ماتریس پیش کدینگ (PMI) و شاخص رتبه‌بندی (RI) را می‌سازد.

در ابتدا اجازه دهید تا تصدیق‌های HARQ را در نظر بگیریم. در روش FDD، موبایل یک یا دو تصدیق را به ازای هر زیر فریم بسته به تعداد بلاک‌های دریافتی محاسبه می‌کند. سپس آنها را در چهار زیر فریم بعدی ارسال می‌کند.

در روش TDD اینکار پیچیدگی بیشتری دارد. اگر موبایل یک زیر فریم لینک فروسو را در یک زمان تصدیق کند، در این صورت همان روش FDD را به کار برده است. در اینجا دو روش وجود دارد تا آن موبایل چندین زیر فریم را تصدیق نماید.

با استفاده از دسته‌بندی $ACK/NACK$ ^۱، موبایل حداکثر دو تصدیق برای هر یک از جریان‌های موازی از بلاک‌های انتقال ارسال می‌کند. اگر موبایل بلاک انتقالی در همه زیر فریم‌های لینک فروسو را با موفقیت دریافت کند، در این صورت یک تصدیق مثبت را به ایستگاه پایه برمی‌گرداند؛ در غیر این صورت، یک تصدیق منفی به آن می‌فرستد. با استفاده از $ACK/NACK$ پلکسینگ^۲، موبایل یک تصدیق برای هر زیر فریم لینک فروسو محاسبه می‌کند. موبایل هر تصدیق مثبت را در صورتی برمی‌گرداند که هر دو بلاک انتقال برای هر زیر فریم لینک فروسو از سوی موبایل با موفقیت دریافت شده باشد، در غیر این صورت، تصدیق منفی را خواهد فرستاد. زمانیکه مالتی پلکسینگ $ACK/NACK$ استفاده می‌شود، مشخصات فنی 3GPP تنها نیاز موبایل به ارسال حداکثر چهار تصدیق در یک لحظه برای دریافت چهار زیر فریم لینک فروسو را تعریف کرده است. برای رسیدن به این هدف، این روش در TDD پیکربندی ۵، پشتیبانی نمی‌شود.

در روش TDD، دستور زمان‌بندی دارای مقداری به نام شاخص انتساب لینک فروسو است. این شاخص بیان‌کننده مجموع تعداد انتقال‌های لینک فروسو است، که موبایل باید در همان لحظه‌ای که داده زمان‌بندی شده است، تصدیق را ارسال کند. اینکار خطر تصدیق قالب اشتباه را در صورتی که موبایل یک دستور زمان‌بندی قبلی را فراموش کرده باشد را کاهش می‌دهد، بنابراین نرخ خطای کلی روی واسط هوایی نیز کاهش می‌یابد.

۸-۵-۲ شاخص کیفیت کانال

شاخص کیفیت کانال یک مقدار چهار بیتی است، که نشان دهنده حداکثر نرخ داده‌ای است، که موبایل می‌تواند با خطای بلاک ۱۰٪ و پایین تر مخابره کند. CQI غالباً بستگی به قدرت سیگنال

1. ACK/NACK Bundling

2. ACK/NACK Multiplexing

دریافتی نسبت به نویز به علاوه تداخل دارد، چرا که حداکثر نرخ داده فقط در یک SINR بالاتر به طور موفقیت‌آمیزی دریافت می‌شود. علاوه بر این، CQI بستگی به پیاده‌سازی گیرنده موبایل هم دارد. چرا که یک گیرنده پیشرفته می‌تواند داده‌های دریافتی را به طور صحیحی در یک SINR پایین در مقایسه با یک گیرنده ابتدایی پردازش و دریافت کند.

جدول ۸-۴ چگونگی تفسیر CQI در طرح‌های مدولاسیونی و نرخ کدینگ لینک فروسو را نشان می‌دهد. ستون آخر تعداد بیت‌های اطلاعات به ازای هر سمبل را نشان می‌دهد و با مضرب‌هایی از نرخ کدینگ ۲، ۴ یا ۶ نمایش داده شده است.

به دلیل محوشدگی وابسته به فرکانس، غالباً کیفیت کانال می‌تواند در سراسر باند لینک فروسو متفاوت باشد. به همین دلیل، ایستگاه پایه موبایل را طوری پیکربندی می‌کند که به سه روش مختلف CQI را گزارش نماید. گزارش‌دهی باند وسیع^۱، کل باند لینک فروسو را در بر می‌گیرد. با روش گزارش‌گیری زیرباند پیکربندی شده لایه بالاتر^۲ ایستگاه پایه باند لینک فروسو را به دو زیر باند تقسیم می‌کند و موبایل به ازای هر زیر باند یک گزارش CQI ارائه می‌دهد. در روش گزارش‌گیری زیر باند/انتخابی^۳ UE، موبایل زیر باندهایی که دارای بهترین CQI هستند، را انتخاب کرده و به ایستگاه پایه موقعیت آنها را به طور یک‌جا به همراه CQI که همه آن زیرباندها را در برگیرد، گزارش می‌دهد، اگر موبایل بیش از یک بلاک انتقال را شنود کند، می‌تواند CQI های مختلفی را برای هر کدام از آنها ارسال کند تا به این واقعیت که، لایه‌های مختلف می‌توانند با مقادیر مختلفی از SINR به موبایل برسند، واکنش مناسبی داشته باشد.

جدول ۸-۴ تعابیر شاخص کیفیت کانال را در شرایط نرخ کدینگ و مدولاسیونی را که یک موبایل می‌تواند

به طور موفقیت‌آمیزی دریافت می‌کند را نشان می‌دهد

CQI	Modulation scheme	Coding rate (units of 1/1024)	Information bits per symbol
0	n/a	0	0.00
1	QPSK	78	0.15
2	QPSK	120	0.23
3	QPSK	193	0.38
4	QPSK	308	0.60
5	QPSK	449	0.88
6	QPSK	602	1.18
7	16-QAM	378	1.48
8	16-QAM	490	1.91
9	16-QAM	616	2.41
10	64-QAM	466	2.73
11	64-QAM	567	3.32
12	64-QAM	666	3.90
13	64-QAM	772	4.52
14	64-QAM	873	5.12
15	64-QAM	948	5.55

منبع : TS 36.213 بازنشر با مجوز ETSI

1. Wideband Reporting
2. Higher Layer Configured Sub-Band Reporting
3. UE Selected Sub-Band Reporting

ایستگاه پایه CQI دریافت شده را برای محاسبه خود در نرخ بیت و طرح مدولاسیون به کار می‌برد تا بتواند از زمان‌بندی وابسته به فرکانس پشتیبانی نماید. با وجود وابستگی CQI به فرکانس، ایستگاه پایه تنها یک طرح مدولاسیون و نرخ کدینگ مستقل از فرکانس را به ازای هر بلاک انتقال برای زمانی که داده آماده ارسال به لینک فروسو می‌شود، به کار می‌برد.

۸-۵-۳ شاخص رتبه‌بندی

هنگامی که موبایل برای مالتی‌پلکسینگ فضایی در روش ۳ یا ۴ پیکربندی شده باشد یک شاخص رتبه‌بندی (RI) را گزارش می‌دهد. شاخص رتبه‌بندی بین ۱ و تعداد پورت آنتن ایستگاه پایه و حداکثر تعداد لایه‌هایی که موبایل می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی دریافت کند، قرار دارد. موبایل یک شاخص رتبه‌بندی منفرد را گزارش می‌دهد، که آن را در کل لینک فروسو به کار می‌گیرد. شاخص رتبه‌بندی به طور مشترک با PMI محاسبه می‌شود، اینکار با یک انتخاب ترکیبی که نرخ بیت لینک فروسو را حداکثر در نظر می‌گیرد، انجام می‌شود.

۸-۵-۴ شاخص ماتریس پیش کد کننده

هنگامیکه موبایل برای مالتی‌پلکسینگ حلقه بسته، MIMO چند کاربری یا چندگانگی ارسال حلقه بسته در روش‌های انتقال ۴، ۵ یا ۶ پیکربندی شده باشد، یک گزارش شاخص ماتریس پیش کدینگ PMI را به ایستگاه پایه می‌فرستد تا ایستگاه پایه قبل از ارسال سیگنال، آن شاخص را به کار گیرد.

PMI نیز مانند CQI می‌تواند در سراسر باند لینک فروسو مقادیر مختلفی داشته باشد. دو روش برای گزارش‌دهی PMI وجود دارد. موبایل می‌تواند تنها یک *PMI منفرد*^۱ را که کل باند لینک فروسو یا زیر باندهای انتخابی توسط UE را در بر می‌گیرد، را گزارش نماید. زمانی که از *PMI های چندگانه*^۲ استفاده می‌کند، PMI هایی را برای زیرباندهایی که توسط بالاتر پیکربندی شده‌اند، یا هر دو مقدار را گزارش می‌دهد.

ایستگاه پایه PMI دریافتی را برای محاسبه ماتریس پیش کدینگ به کار می‌برد و این ماتریس را باید برای انتقال‌های بعدی خود در لینک فروسو به کار گیرد. ایستگاه پایه در واقع ارسال داده را با استفاده از ماتریس پیش کدینگ مستقل از فرکانس انجام می‌دهد، علی‌رغم اینکه این فرکانس وابسته PMI می‌باشد.

1. Single PMI Spanning

2. Multiple PMI's

۵-۵-۸ مکانیزم‌های گزارش‌دهی وضعیت کانال

موبایل می‌تواند اطلاعات وضعیت کانال را از دو روش به ایستگاه پایه برگرداند. گزارش‌دهی متناوب^۱ که دارای فواصل زمانی دوره‌ای است و بین ۲ تا ۱۶۰ میلی ثانیه، یک CQI و PMI را گزارش می‌دهد و این زمان ۳۲ برابر بزرگتر از زمان گزارش‌دهی RI می‌باشد. اطلاعات معمولاً توسط PUCCH منتقل می‌شوند، اما اگر موبایل داده را از لینک فراسو در همان زیر فریم‌ها ارسال کند، در نتیجه، آن را از طریق PUCCH ارسال می‌کند. بیشترین تعداد بیت‌ها در هر گزارش‌دهی دوره‌ای ۱۱ بیت است، که نشان دهنده نرخ داده پایینی می‌باشد، که PUCCH در دسترس قرار می‌دهد.

گزارش نامتناوب^۲ همزمان با انتقال داده PUSCH، حمل می‌شود و به وسیله فیلدی در اعطای زمان‌بندی موبایل درخواست می‌شود. اگر هر دو نوع گزارش‌دهی در یک زیر فریم یکسان زمان‌بندی شده باشد، گزارش‌دهی نامتناوب دارای اولویت بالایی خواهد بود.

برای هر دو روش مذکور، ایستگاه پایه می‌تواند با استفاده از سیگنالینگ RRC موبایل را در داخل یک روش گزارش‌گیری کیفیت کانال^۳ پیکربندی کند. این روش گزارش‌دهی، نوع اطلاعات کیفیت کانال را که ایستگاه پایه نیاز دارد، تولید می‌کند، که در جدول‌های ۵-۸ و ۶-۸ تعریف شده است. در هر روش، اولین عدد در این گزارش بیانگر بازخوردی از CQI است، که ایستگاه پایه به آن نیاز دارد و شماره دوم نوع بازخورد PMI است. تعریف‌های دقیق هر دو روش گزارش‌دهی در مشخصات فنی 3GPP بیان شده است و گزارش‌دهی متناوب و نامتناوب تفاوت‌هایی را باهم دارند چرا که موبایل نیاز به محدود کردن داده‌های ارسالی روی PUCCH دارد. مخصوصاً روش گزارش‌دهی متناوب ۲-۰ تفاوت‌هایی با گزارش‌گیری نامتناوب ۲-۰ دارد.

جدول ۵-۸ روش‌های گزارش‌دهی وضعیت کانال برای گزارش دوره‌ای روی PUCCH یا PUSCH

PMI feedback type	Downlink transmission modes	CQI feedback type	
		Wideband	UE selected sub-bands
None	1, 2, 3, 7	Mode 1-0	Mode 2-0
Single	4, 5, 6	Mode 1-1	Mode 2-1

منبع : TS 36.213 باز نشر با مجوز ETSI

1. Periodic Reporting
2. Aperiodic Reporting
3. Channel Quality Reporting Mode

جدول ۸-۶ روش‌های گزارش‌دهی وضعیت کانال برای گزارش‌دهی به قاعده روی PUSCH

PMI feedback type	Downlink transmission modes	CQI feedback type		
		Wideband	UE selected sub-bands	Higher layer configured sub-bands
None	1, 2, 3, 7	—	Mode 2-0	Mode 3-0
Single	4, 5, 6	—	—	Mode 3-1
Multiple	4, 6	Mode 1-2	Mode 2-2	—

منبع : TS 36.213 باز نشر با مجوز ETSI

۸-۵-۶ درخواست‌های زمان‌بندی

اگر موبایل در حالت RRC_CONNECTED باشد و داده‌ای برای انتقال داشته باشد و منتظر انتقال آن روی PUSCH است، می‌تواند یک درخواست اعطای زمان‌بندی یک بیتی را برای ارسال روی PUSCH، بسازد. موبایل نمی‌تواند مستقیماً این درخواست را به ایستگاه پایه بفرستد، چرا که مجبور است PUSCH را با سایر موبایل‌ها به اشتراک بگذارد. در عوض، درخواست زمان‌بندی را در یک زیر فریمی که با سیگنالینگ RRC پیکربندی شده است، که با یک دوره زمانی 5 تا 8 ms تکرار می‌شود، ارسال می‌کند. یک موبایل هیچ‌گاه اطلاعات وضعیت کانال را در زمانی که درخواست زمان بندی می‌کند، ارسال نمی‌کند؛ در عوض، درخواست زمان‌بندی اولویت بالاتری دارد.

اگر ایستگاه پایه‌ای به درستی کار می‌کند، باید وقتی که درخواست زمان‌بندی از سوی موبایل انجام شد، یک اعطای زمان‌بندی را به آن بدهد. با این حال، ایستگاه پایه مجبور به انجام این کار نیست. اگر تعداد درخواست‌های زمان‌بندی موبایل به بیشترین تعداد خود رسید و جوابی دریافت نکرد، موبایل به فرایند دسترسی تصادفی می‌رود، که ما در فصل نهم آن را بیان خواهیم کرد. بنابراین ایستگاه پایه موظف است، که یک اعطای زمان‌بندی را به موبایل به عنوان بخشی از فرایند دسترسی تصادفی به موبایل اعطا نماید. که این راه حل مسئله می‌باشند.

یک موبایل در وضعیت RRC_IDLE نمی‌تواند روی PUSCH ارسال کند، بنابراین اصلاً نمی‌تواند درخواست زمان‌بندی روی آن ارسال کند. در عوض فوراً فرایند دسترسی تصادفی را اجرا می‌کند.

۸-۶ انتقال اطلاعات کنترل روی PUSCH

۸-۶-۱ قالب‌های PUSCH

اگر موبایلی بخواهد اطلاعات کنترلی لینک فراسو را ارسال کند، نمی‌تواند آن را روی همان زیر فریمی که انتقال PUSCH را انجام می‌دهد، بفرستد، در نتیجه آن را روی کانال فیزیکی لینک فراسو

ارسال می‌نماید [۲۹-۳۲]. PUCCH با استفاده از چندین قالب ارسال می‌شود. جدول ۸-۷ چگونگی کاربردهای این قالب‌ها را برای استفاده در مورد پیشوند چرخشی معمولی را نشان می‌دهد. وقتی که از قالب‌های 2a و 2b استفاده می‌شود، پردازشگر کانال انتقال، کدینگ تصحیح خطا را برای اطلاعات وضعیت کانال که مقدار بیت‌های CSI را تا ۲۰ بیت زیاد می‌کند، را به اجرا در می‌آورد. اما درخواست زمان‌بندی و بیت‌های تصدیق را بدون توجه به کدینگ که دارد، به طور مستقیم به لایه فیزیکی می‌برد.

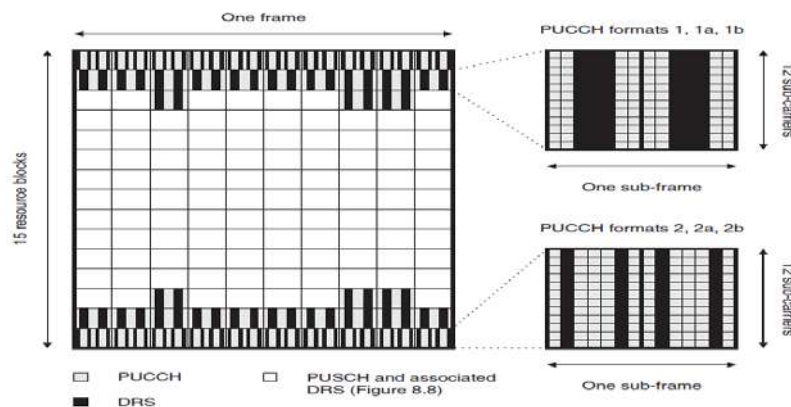
جدول ۸-۷ لیست قالب‌های PUCCH و کاربرد آنها در مواردی که از پیشوند چرخشی معمولی استفاده می‌شود

PUCCH format	Release	Application	Number of UCI bits	Number of PUCCH bits
1	R8	SR	1	1
1a	R8	1 bit HARQ-ACK and optional SR	1 or 2	1 or 2
1b	R8	2 bit HARQ-ACK and optional SR	2 or 3	2 or 3
2	R8	CQI, PMI, RI	≤ 11	20
2a	R8	CQI, PMI, RI and 1 bit HARQ-ACK	≤ 12	21
2b	R8	CQI, PMI, RI and 2 bit HARQ-ACK	≤ 13	22
3	R10	20 bit HARQ-ACK and optional SR	≤ 21	48

موبایل PUCCH را در گوشه باند لینک فراسو برای جداسازی آن از PUSCH ارسال می‌کند (شکل ۸-۱۰). ایستگاه پایه بلاک‌های منبع را در لبه (گوشه) اضافه از باند برای قالب‌های 2a، 2 و 2b با تعداد دقیق بلاک‌های درخواست شده مطابق SIB2 ذخیره می‌کند. قالب‌های 1a، 1 و 1b تعداد بلاک‌های منابع بیشتری با تعداد بلاک‌هایی که به طور پویا از یک زیر فریم به زیر فریم بعدی تغییر می‌دهد، استفاده می‌کند، این تغییرات با در نظر گرفتن تعداد تصدیق‌هایی که از سوی ایستگاه پایه لحاظ می‌شود، اتفاق می‌افتد. ایستگاه پایه همچنین می‌تواند یک زوج متوسط از بلاک‌های منابع را در میان تمامی قالبی‌های PUCCH به اشتراک بگذارد، که اگر پهنای باند کوچک‌تر باشد، مفید است. هنگامی که از پیشوند چرخشی معمولی، قالب 1a، 1 و 1b استفاده می‌شود، چهار سمبل PUCCH به ازای هر شیار و سه سمبل مرجع دمدولاسیون به کار می‌روند، در حالیکه فرمت‌های 2a و 2b پنج سمبل PUCCH به ازای هر شیار و دو سیگنال مرجع دمدولاسیون استفاده می‌کند.

یک موبایل PUCCH را با استفاده از دو بلاک منبع ارسال می‌کند، که این دو بلاک در شیارهای اول و دوم یک زیر فریم و در نقطه مقابل باند فرکانسی هستند. اما این موبایل این بلاک‌های منبع برای را خودش ندارد. در PUCCH قالب‌های 2a، 2 و 2b هر جفت از بلاک‌های

منبع را در بین ۱۲ موبایل به اشتراک می‌گذارد، که از یک پارامتر ویژه موبایل به نام تغییر چرخه^۱ که از ۰ تا ۱۱ متغیر می‌باشد، استفاده می‌کنند. در PUCCH قالب‌های ۱a و ۱b هر جفت از بلاک‌های منبع بین ۳۶ موبایل به طور مشترک استفاده می‌شوند، که تغییر چرخه ویژه موبایل دیگری به نام شاخص دنباله متعامد^۲ که ۰ تا ۲ اجرا می‌شود، را استفاده می‌کنند.



شکل ۸-۱۰ نداشت عناصر منبع برای PUCCH و سیگنال مرجع مدولاسیون آن در نسخه هشتم و نهم با استفاده از روش FDD، یک پیشوند چرخش معمولی، 3MHz پهنای باند یک جفت از بلاک‌های منبع برای PUCCH قالب‌های 2، 2a و 2b و یک مثال از تخصیص PUCCH قالب‌های 1، 1a و 1b

۸-۶-۲ منابع PUCCH

یک منبع PUCCH^۳ بیانگر سه موضوع است: روی چه بلاک‌های منبعی موبایل اقدام به ارسال PUCCH می‌کند و از چه شاخص دنباله متعامد و تغییر چرخه استفاده می‌کند.

اولین PUCCH منبع به اختصار $n_{\text{PUCCH}}^{(1)}$ است، که برای تصدیق‌های HARQ مستقل در قالب‌های 1، 1a و 1b به کار می‌رود. موبایل می‌تواند به طور پویایی با استفاده از شاخصی از اولین عناصر کنترلی کانال که در ایستگاه پایه آن را برای دستورات زمان‌بندی خود به کار می‌برد، $n_{\text{PUCCH}}^{(1)}$ را محاسبه کند.

دومین منبع PUCCH، $n_{\text{PUCCH,SRI}}^{(1)}$ است، که برای درخواست‌های زمان‌بندی در قالب ۱ استفاده می‌شود. سومین منبع PUCCH، $n_{\text{PUCCH}}^{(2)}$ است، که برای اطلاعات وضعیت کانال و

1. Cyclic Shift
2. Orthogonal Sequence Index
3. PUCCH Resource

تصدیق‌های اختیاری در قالب‌های 2a و 2b استفاده می‌شود. موبایل هر دوی این منابع را از طریق پیام‌های سیگنالینگ RRC ویژه موبایل دریافت می‌کند، که این کار در طول فرایندهایی برای برقراری اتصال RRC یا پیکربندی دوباره آن انجام می‌گیرد.

اگر موبایلی بخواهد تصدیق‌های HARQ را همزمان با درخواست زمان‌بندی ارسال کند، این تصدیق‌ها را به صورت معمول پردازش می‌کند، اما درخواست‌های زمان‌بندی از طریق $n_{\text{PUCCH,SRI}}^{(0)}$ ارسال می‌شود. ایستگاه پایه از قبل این نوع تصدیق‌ها را پیش‌بینی کرده است، پس می‌داند که چگونه آنها را پردازش نماید. در حالی که ایستگاه پایه درخواست‌های زمان‌بندی از سوی موبایل را به با استفاده از $n_{\text{PUCCH,SRI}}^{(0)}$ می‌شناسد.

اگر موبایل از تصدیق مالتی‌پلکسینگ ACK/NACK در روش FDD استفاده کند، ممکن است، که چهار تصدیق را روی یک فریم لینک فراسو ارسال نماید. موبایل معمولاً این کار را با ارسال دوبیت داخلی یکی از چهار منبع PUCCH که از $n_{\text{PUCCH}}^{(0)}$ تا $n_{\text{PUCCH}}^{(3)}$ مشخص شده‌اند، انجام می‌دهد و این چهار منبع توسط اولین CCE به روش مشابه برای $n_{\text{PUCCH}}^{(0)}$ محاسبه می‌شوند. یک جدول مراجعات، بیانگر نگاشت از بیت‌های تصدیق به بیت‌های ارسالی و انتخاب منبع PUCCH می‌باشد. اما، اگر موبایل بخواهد یک درخواست زمان‌بندی یا اطلاعات وضعیت کانال را در یک لحظه ارسال کند، تصدیق‌های HARQ را به دو بیت با یک جدول مراجعات مختلف فشرده می‌کند و آنها را روی $n_{\text{PUCCH,SRI}}^{(0)}$ یا $n_{\text{PUCCH}}^{(2)}$ به روش معمول ارسال می‌کند.

۳-۶-۸ پردازش کانال فیزیکی PUCCH

حال ما اطلاعات کافی برای پردازش کانال PUCCH را در اختیار داریم.

زمانی که موبایل از PUCCH با قالب‌های 1a و 1b استفاده می‌کند، بیت‌ها را با استفاده از یک مدولاسیون خاموش-روشن برای یک درخواست زمان‌بندی، به سمبل مدوله می‌کند، BPSK برای یک بیت تصدیق و QPSK برای یک تصدیق دو بیتی به کار می‌روند. سپس موبایل اطلاعات آن را در حوزه زمان با استفاده از شاخص دنباله متعامد در چهار سمبل گسترش می‌دهد. با این حال در سه سمبل در داخل این شیارها که برای پشتیبانی از یک سیگنال مرجع صداگذاری قرار می‌گیرد، برای دادن اولویت بر روی این قالب‌های PUCCH استفاده می‌شوند (بخش ۸-۷-۲). فرایند گسترده سازی روشی شبیه به عملکرد ایستگاه پایه است که برای PHICH استفاده می‌کند و اجازه می‌دهد تا این سمبل‌ها در میان سه موبایل مختلف به اشتراک گذاشته شوند.

سپس موبایل این اطلاعات را در بین ۱۲ زیر حامل در حوزه فرکانس با استفاده از یک تغییر چرخه به اشتراک می‌گذارد. این روش از لحاظ اجرایی متفاوت‌تر از روش بیان شده در بالا است، اما یک هدف دارد و آن هم اشتراک‌گذاری این زیر حامل‌ها در بین ۱۲ موبایل مختلف می‌باشد. در انتها، موبایل انتقال خود را در شیارهای اول و دوم از آن زیر فریم را تکرار می‌کند. هنگامی که از PUCCH قالب ۲ استفاده می‌شود، موبایل بیت‌های اطلاعات وضعیت کانال را در ۱۰ سمبل با استفاده از مدولاسیون QPSK مدوله می‌کند و این اطلاعات را با استفاده از یک تغییر چرخه در حوزه فرکانس گسترش می‌دهد. همچنین موبایل می‌تواند به طور همزمان تصدیق‌ها را در قالب‌های 2A و 2B از طریق مدوله کردن سمبل مرجع ثانویه در هر زیر فریم با استفاده از QPSK یا BPSK، ارسال کند.

۷-۸ سیگنال‌های مرجع لینک فراسو

۱-۷-۸ سیگنال مرجع دمدولاسیون

سیگنال مرجع دمدولاسیون از سوی موبایل به همراه PUSCH و PUCCH برای کمک به ایستگاه پایه برای انجام تخمین کانال ارسال می‌شود. همان گونه که در شکل ۸-۸ و ۸-۱۰ نشان داده شده است، این سیگنال زمانی که از PUCCH قالب‌های 1، 1a و 1b استفاده می‌کند، سه سمبل به ازای هر شیار و زمانی که از PUCCH قالب‌های 2، 2a و 2b استفاده می‌کند، دو سمبل به ازای هر شیار و برای PUSCH یک سمبل استفاده می‌کند.

سیگنال مرجع دمدولاسیون می‌تواند دارای ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ... نقطه داده، و به طبع آن بلاک‌های منبع ۱، ۲، ۳، ... داشته باشد. برای تولید این سیگنال، هر سلول به یکی از ۳۰ گروه‌های دنباله‌ای^۱ اختصاص می‌یابند. با یک استثنایی که در انتهای این بخش بیان شده است، هر گروه دنباله‌ای دارای یک دنباله پایه^۲ با هر طول ممکن است، که یا از روی یک دنباله Zadoff-Chu تولید می‌شوند، یا در مواردی که از دنباله‌های کوتاه‌تر استفاده می‌کند، از جدول مراجعات استخراج می‌کند. سپس این دنباله پایه توسط یکی از ۱۲ تغییرات چرخه‌ای برای تولید خود سیگنال مرجع، تغییر می‌یابد. در اینجا دو راه برای انتساب گروه‌های دنباله وجود دارند. در طراحی گروه دنباله‌ای^۳ هر سلول به طور دایمی به یکی از گروه‌های دنباله‌ای در طول طراحی شبکه رادیویی اختصاص داده

-
1. Sequence Groups
 2. Base Sequence
 3. Sequence Group Planning

می‌شوند. سلول‌های مجاور باید به گروه‌های دنباله‌ای مختلف اختصاص داده شوند تا تداخل به کمترین مقدار خود برسد. در پرش گروه دنباله‌ای^۱، گروه دنباله‌ای از یک شیار به شیار بعدی با توجه به یکی از ۵۱۰ الگوی پرش شبه تصادفی تغییر می‌کنند. الگوهای پرش وابسته به شناسه فیزیکی سلول بوده و می‌توانند بدون نیاز به هر گونه طراحی اضافه‌ای، محاسبه شوند.

هنگام ارسال سیگنال‌های مرجع PUSCH، موبایل تغییر چرخه را از روی یک فیلدی که ایستگاه پایه برای اعطای زمان‌بندی خودش تهیه کرده است، محاسبه می‌کند. در مورد MIMO چند کاربری، ایستگاه پایه می‌تواند موبایل‌های مختلفی که بلاک‌های منبع مشابه به آنها با تغییر چرخه‌های مختلف اختصاص داده می‌شوند، را شناسایی کند. سایر تغییرات چرخه باقیمانده می‌تواند برای شناسایی و تشخیص سلول‌های مجاور که همان گروه دنباله را به اشتراک می‌گذارند، به کار رود.

هنگام ارسال سیگنال‌های مرجع PUCCH، موبایل همان تغییرات چرخه را که برای PUCCH خودش به کار برده بود، استفاده می‌کند و سیگنال‌های مرجع دمدولاسیون را بیشتر در مواردی که از قالب‌های 1، 1a و 1b و شاخص دنباله متعامد استفاده می‌کند، اصلاح می‌نماید. این کار به ایستگاه پایه این امکان را می‌دهد، که سیگنال‌های مرجعی که از تمامی موبایل‌ها روی هر زوجی از بلاک‌های منبع به اشتراک گذاشته شده را به راحتی تشخیص دهد.

در اینجا دو چالش دیگر نیز وجود ندارد. نخست، هر گروه دارای دو دنباله برای هر پهنای باند انتقال از شش بلاک منابع یا بیشتر هستند. در پرش دنباله‌ای^۲، یک موبایل طوری پیکربندی می‌شود، که طبق یک الگوی شبه تصادفی بین دو دنباله جابجا شود و دوم اینکه، پرش تغییر چرخه^۳، این امکان را می‌دهد، که تغییرات چرخه‌ای در یک الگوی شبه تصادفی از یک شیار به شیار بعدی اتفاق بیفتند. هر دوی این روش‌ها، تداخل را بین سلول‌های هم جوار که گروه‌های دنباله یکسانی را به اشتراک می‌گذارند، کاهش می‌دهند.

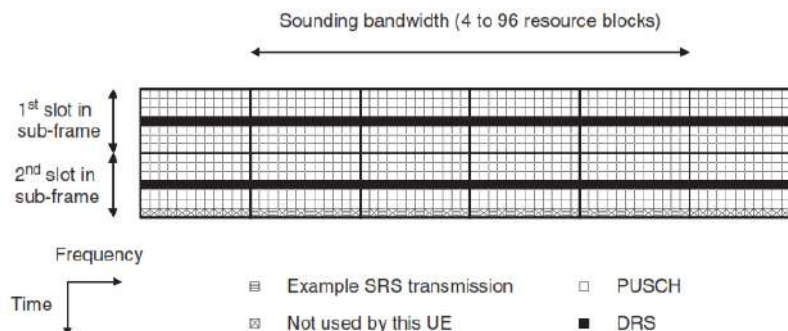
۸-۷-۲ سیگنال مرجع صداگذاری

موبایل سیگنال مرجع صداگذاری^۴ (SRS) را برای کمک به ایستگاه پایه جهت محاسبه و اندازه‌گیری توان ارسالی در پهنای باند انتقال گسترده، ارسال می‌کند [۳۴-۳۶]. ایستگاه پایه این اطلاعات را برای زمان‌بندی وابسته در فرکانس استفاده می‌کند.

-
1. Sequence Groups Hopping
 2. Sequence Hopping
 3. Cyclic Shift Hopping
 4. Sounding Reference Signal

ایستگاه پایه تنظیم زمانی سیگنال‌های مرجع صداگذاری را به دو روش کنترل می‌کند. نخست، به موبایل می‌گوید که کدام زیر فریم‌ها از سیگنال مرجع صداگذاری پشتیبانی می‌کنند، این کار را با استفاده از پارامتری به نام پیکربندی زیر فریم SRS^1 انجام می‌دهد. دوم، از یک پارامتر ویژه موبایل به نام شاخص پیکربندی SRS^2 استفاده می‌کند تا هر موبایل را با یک دوره صداگذاری از ۲ تا ۲۳۰ زیر فریم و افسی در آن محدوده را پیکربندی کند. بنابراین، موبایل سیگنال مرجع صداگذاری را هر زمانی که زمان انتقال به دست آمده منطبق بر زیر فریمی باشد، که از صداگذاری پشتیبانی می‌کند، ارسال می‌کند.

معمولاً موبایل سیگنال مرجع صداگذاری را در آخرین سمبل از زیر فریم که در شکل ۸-۱۱ نشان داده شده ارسال می‌کند. در روش TDD، موبایل همچنین می‌تواند این سیگنال را در یک زیر فریم خاصی از ناحیه لینک فراسو ارسال کند. موبایل این سیگنال را همانند سیگنال مرجع دمدولاسیون که در بالا بیان شد، تولید می‌کند. تنها تفاوت اصلی بین آنها، استفاده از هشت تغییر چرخه در SRS به جای ۱۲ تغییر چرخه در سیگنال مرجع دمدولاسیون است، بنابراین آن هشت چرخه را موبایل می‌تواند در یک مجموعه‌ای از عناصر منبع به اشتراک گذاشته شوند.



شکل ۸-۱۱ مثالی از نگاشت عناصر منبع برای سیگنال مرجع صداگذاری را با استفاده از پیشوند چرخش معمولی

در حوزه فرکانس، ایستگاه پایه وضعیت شروع و پهنای باند را با استفاده از پارامترهای ویژه سلول و ویژه موبایل که پیکربندی پهنای باند SRS ، وضعیت حوزه فرکانس و پهنای باند پرش SRS نامیده می‌شوند، کنترل می‌کند. همان طور که در شکل نشان داده شده است، یک موبایل

1. SRS Subframe Configuration
2. SRS Configuration Index

روی زیر حامل‌های جایگزین به گونه‌ای ارسال می‌کند که به صورت یک سیستم انتقال شانه‌ای پیکربندی شده است.

در اینجا راه‌های مختلفی برای جلوگیری از تداخل بین سیگنال مرجع صداگذاری و سایر انتقال‌های موبایل وجود دارند. یک موبایل PUSCH را روی آخرین سمبل از زیر فریمی که صداگذاری را پشتیبانی می‌کند، ارسال نمی‌کند. بنابراین، همواره می‌تواند PUSCH و SRS را روی یک زیر فریم یکسان ارسال کند. PUSCH قالب‌های 2a و 2b اولویت بالاتری نسبت به سیگنال مرجع صداگذاری دارند، به طوری که آنها فرکانس‌های ذخیره شده در حاشیه (گوشه) باند انتقال دارند که مورد توجه فرایند صداگذاری (سیگنال مرجع صداگذاری) نیست. ایستگاه پایه می‌تواند PUSCH قالب‌های 1a و 1b را برای استفاده از پیکربندی هر دو روش، با به کار بردن سیگنال RRC انجام دهد.

۸-۸ کنترل توان

۸-۸-۱ محاسبه توان لینک فراسو

فرایند کنترل توان لینک فراسو، توان ارسالی موبایل را به کوچکترین میزان خود برای دریافت رضایت بخش سیگنال تنظیم می‌کند. این کار باعث کاهش تداخل بین موبایل‌های که روی عناصر منبع یکسانی در حال ارسال در سلول‌های هم جوار هستند، می‌شود و باعث افزایش طول عمر باتری آن می‌گردد. در LTE، موبایل توانی که می‌تواند با آن ارسال کند را تخمین می‌زند و ایستگاه پایه نیز با دستورات کنترل توان این تخمین‌ها را تنظیم می‌کند. موبایل محاسبات کمی متفاوت‌تر برای محاسبه توان، PUSCH، PUCCH و SRS را به کار می‌گیرد، بنابراین برای توضیح مفاهیم آنها، تنها به PUSCH می‌پردازیم. توان ارسالی PUSCH به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{\text{PUSCH}}(i) = \min(P(i), P_{\text{CMAC}}) \quad (1-8)$$

در این رابطه، $P_{\text{PUSCH}}(i)$ ، توان ارسالی روی PUSCH در زیر فریم i ام در واحد دسی بل نسبت به 1mw (0dBm) است. P_{CMAC} بیشترین توان ارسال موبایل می‌باشد و $P(i)$ نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P(i) = P_{0\_PUSCH} + 10 \cdot \log_{10}(M_{\text{PUSCH}}(i)) + \Delta_{\text{TF}}(i) + \alpha \cdot \text{PL} + f(i) \quad (2-8)$$

در این رابطه، P_{O_PUSCH} توانی است، که ایستگاه پایه انتظار دارد، روی پهنای باندی به اندازه یک بلاک منبع دریافت کند و باید دارای دو جزء باشد، یکی پایه $P_{O\_NOMINAL\_PUSCH}$ ویژه سلول و دیگری $P_{O\_UE\_PUSCH}$ تنظیم ویژه موبایل است، که از طریق سیگنالینگ RRC به موبایل ارسال می‌شود. $M_{PUSCH}(i)$ تعداد بلاک‌های منبعی است، که در آنها موبایل در حال ارسال در زیر فریم i ام قرار دارد. $\Delta_{TF}(i)$ یک تنظیم اختیاری برای نرخ داده فریم i ام است، تا مطمئن شود، که موبایل از یک توان ارسال بالایی برای یک نرخ کدینگ بزرگتر یا یک طرح کدینگ سریعتری مثل 64-QAM استفاده می‌کند.

PL، افت مسیر لینک فروسو است و ایستگاه پایه توان ارسال خود را روی لینک فروسو در قالب بخشی از SIB2، به عنوان سیگنال مرجع لینک فرو سو منتشر می‌کند، بنابراین موبایل با خواندن مقدار و میزان کم شدن توان دریافتی، میزان PL را تخمین می‌زند. α یک فاکتور وزن‌دهی است، که اثر تشدید تغییرات در افت مسیر را با روشی به نام کنترل توان جزئی^۱ کاهش می‌دهد. با تنظیم α بین ۱ و ۰ ایستگاه پایه می‌تواند مطمئن شود، که موبایل‌هایی که در گوشه سلول قرار دارند، سیگنالی ضعیف‌تر از آنچه که انتظار داشت را، ارسال می‌کند. این عمل باعث کاهش تداخل در داخل سلول‌های هم مجاور می‌شده و می‌تواند ظرفیت سیستم را افزایش دهد.

با استفاده از پارامترهایی که تا حالا بیان شد، موبایل می‌تواند تخمین خود را از توان ارسال PUSCH به دست آورد. اما این تخمین ممکن است که دقیق نباشد، مخصوصاً در روش FDD، که در آن الگوهای محوشدگی روی لینک فراسو و فروسو متفاوت‌تر از هم هستند. بنابراین ایستگاه پایه تنظیمات بیشتری را روی توان موبایل با استفاده از دستورات کنترل توان انجام می‌دهد، که آنها از طریق آخرین پارامتر رابطه بالا یعنی، $f(i)$ اعمال می‌شوند.

۸-۸-۲ دستورات کنترل توان لینک فراسو

ایستگاه پایه می‌تواند دستورات کنترل توان را به دو روش ارسال کند. نخست، ایستگاه پایه می‌تواند دستورات کنترل توان خود را به طور مستقل به آن گروه از موبایل‌هایی ارسال کند، که از DCI با قالب‌های 3 و 3A استفاده می‌کنند. زمانی که از این قالب‌ها استفاده می‌شود، ایستگاه پایه پیام‌های PDCCH را به یک شناسه شبکه رادیویی، به نام TPC-PUSCH-RNTI آدرس‌دهی می‌کند، که این شناسه در بین همه موبایل‌های آن گروه به اشتراک گذاشته است. این پیام دارای دستورات کنترل توان برای هر یک از موبایل‌هایی است، که در آن گروه قرار دارند و با استفاده از

یک افست که قبلاً توسط سیگنالینگ RRC پیکربندی شده بود، انجام می‌شود. سپس موبایل دستورات کنترل توان خودش را از روی رابطه زیر جمع‌آوری می‌کند:

$$f(i) = f(i-1) + \delta_{PUSCH}(i - k_{PUSCH}) \quad (3-8)$$

در این رابطه، موبایل یک دستور تنظیم توان δ_{PUSCH} را در زیر فریم $i - K_{PUSCH}$ دریافت می‌کند و آن را در زیر فریم i اعمال می‌کند. در حالت معمولی، K_{PUSCH} در روش FDD، برابر چهار است و در روش TDD بین چهار و هفت متغیر می‌باشد. هنگامی که از DCI، قالب 3 استفاده می‌شود، دستور کنترل توان دارای دو بیت است و باعث تنظیم توان -1 ، 0 ، $+1$ و $3dB$ می‌شود. هنگامی که از DCI قالب 3A استفاده می‌شود، دستور کنترل توان تنها یک بیت دارد و باعث تنظیم توان -1 و 1 دسی بل می‌شود.

همچنین ایستگاه پایه می‌تواند دو بیت دستور کنترل توان را برای یک موبایل به عنوان بخشی از اعطای زمان‌بندی لینک فراسو ارسال کند. معمولاً، موبایل آنها را به شیوه‌ای که در بالا توضیح داده شد، معنی می‌کند. با این حال، ایستگاه پایه می‌تواند ذخیره دستورات کنترل توان را با استفاده از سیگنالینگ RRC غیر فعال کند، که در این صورت موبایل آنها را به صورت زیر معنی خواهد کرد.

$$f(i) = \delta_{PUSCH}(i - K_{PUSCH}) \quad (4-8)$$

در این صورت، تنظیم توان δ_{PUSCH} می‌تواند مقادیر -4 ، -1 ، $+1$ و $4dB$ را داشته باشد.

۳-۸-۸ کنترل توان لینک فروسو

کنترل توان لینک فروسو به مراتب آسان‌تر می‌باشد. توان ارسالی لینک فروسو با استفاده از انرژی بر هر عنصر منبع^۱ (EPRE) یک کانال یا سیگنال خاصی اندازه‌گیری می‌شود. ایستگاه پایه می‌تواند EPRE مختلفی را برای سیگنال‌های مرجع لینک فروسو و برای همه انتقال‌های PDSCH به موبایل‌های خاصی استفاده کند و اطلاعاتی را به موبایل‌ها درباره مقادیر انتخاب شده، با استفاده پیام‌های سیگنالینگ RRC بگوید. با این حال، هر مقدار مستقل از فرکانس بوده و گاهی تغییر پیدا می‌کند؛ در عوض، ایستگاه پایه تغییرات افت انتشار لینک فروسو موبایل را با تطبیق طرح مدولاسیونی و نرخ کدینگ تنظیم می‌کند. اینکار با این ایده مطابق است، که توان ارسالی لینک فروسو یک منبع به اشتراک

1. Energy Per Resource Element

گذاشته شده است و ایستگاه پایه را از تخصیص توان خیلی زیاد برای موبایل‌هایی راه دوری که نمی‌توانند به طور مؤثر از آن استفاده کنند، باز می‌دارد.

۸-۹ دریافت گسسته

۸-۹-۱ دریافت گسسته و فراخوانی در RRC_IDLE

وقتی که موبایل در حالت دریافت گسسته (DRX)^۱ قرار دارد، ایستگاه پایه تنها می‌تواند اطلاعات کنترلی لینک فروسو آن را روی PDCCH در زیر فریم‌های معینی ارسال کند. در خلال این زیر فریم، موبایل می‌تواند مانیتور کردن PDCCH را متوقف کند و به حالت توان پایین^۲ به نام مد خواب^۳ برود تا عمر باتری خود را به حداکثر برساند. دریافت گسسته با استفاده از دو مکانیزم مختلف انجام می‌گیرد، که از فراخوانی در حالت RRC_IDLE و انتقال نرخ داده پایین در RRC_CONNECTED پشتیبانی می‌کند.

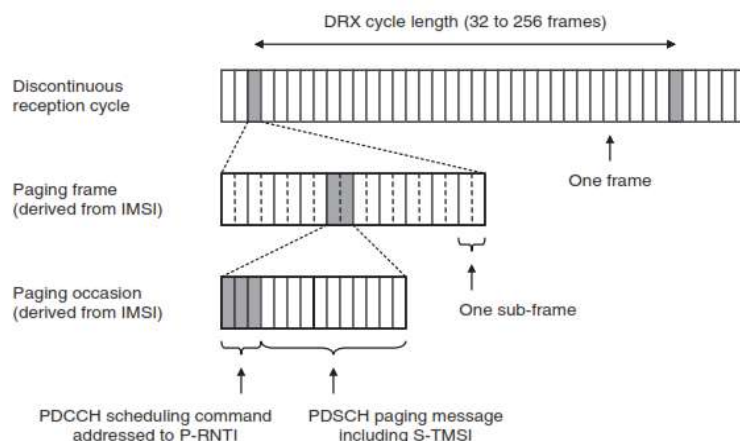
در وضعیت RRC_IDLE انتقال گسسته با استفاده از چرخه DRX ^۴ [۳۰-۴۰] که بین ۳۲ و ۲۵۶ فریم (۰.۲۳ و ۲.۵۶ ثانیه) قرار دارد، تعریف می‌شود. ایستگاه پایه یک طول چرخه DRX پیش‌فرض در SIB2 مشخص می‌کند. با این حال، موبایل می‌تواند یک طول چرخه مختلفی را در جریان یک دوره درخواست اتصال یا دوره به روز رسانی ناحیه ردیابی از ایستگاه پایه درخواست نماید (فصل یازدهم و چهاردهم).

همان طور که در شکل ۸-۱۲ نشان داده شده است، موبایل بلافاصله با یک چرخه DRX از مد خواب خارج می‌شود، این اتفاق در یک فریم فراخوانی^۵ که متعلق به شماره فریم سیستم است، اتفاق می‌افتد و این شماره فریم بستگی به IMSI موبایل دارد. در این فریم است، که موبایل زیر فریمی را که به عنوان فرصت فراخوانی^۶ شناخته می‌شود و بستگی به IMSI دارد، را سرکشی می‌کند. اگر موبایل اطلاعات کنترلی لینک فروسو را که به یک P-RNTI در ابتدای زیر فریم اشاره می‌کند، را بیابد،

-
1. Discontinuous Reception
 2. Low Power
 3. Sleep Mode
 4. DRX Cycle
 5. Paging frame
 6. Paging Occasion

اقدام به دریافت یک پیام فراخوانی RRC^۱ روی PDSCH در باقیمانده آن زیر فریم می‌کند. شبکه، IMSI موبایل را می‌داند، بنابراین می‌تواند یک پیام کنترلی و یک پیام فراخوانی در یک زیر فریم صحیحی ارسال کند.

موبایل‌های مختلف می‌توانند فرصت فراخوانی یکسان را به اشتراک بگذارند. برای حل این مشکل، پیام‌های فراخوانی دارای یک شناسه برای موبایل هدف است، که از S-TMSI (در صورت در دسترس بودن) یا IMSI (در صورت نداشتن S-TMSI) استفاده می‌کند. اگر موبایل آن مقدار را تشخیص دهد، به پیام فراخوانی با به کار بردن فرایند مدیریت قابلیت تحرک EPS جواب می‌دهد، که به عنوان یک درخواست سرویس شناخته می‌شود و در فصل چهاردهم بیان شده است.

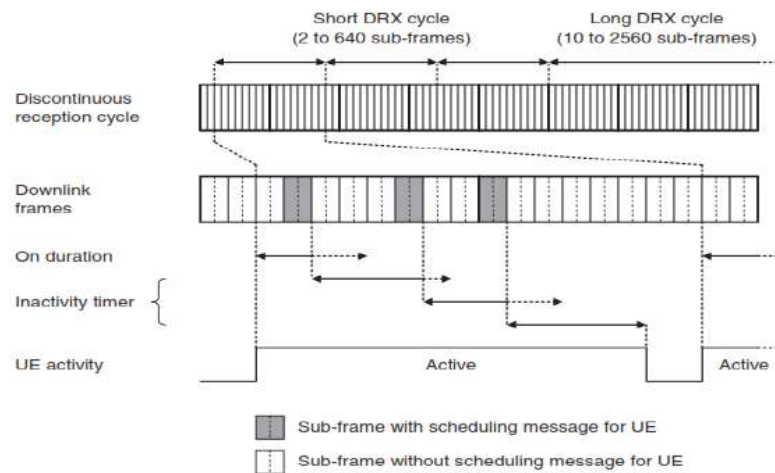


شکل ۸-۱۲ عملکرد دریافت گسسته و صدا کردن روی RRC_IDLE

۸-۹-۲ دریافت گسسته در RRC_CONNECTED

در وضعیت RRC_CONNECTED ایستگاه پایه پارامترهای انتقال گسسته یک موبایل را با استفاده از سیگنالینگ RRC ویژه موبایل پیکربندی می‌کند. در طول دوره دریافت گسسته (شکل ۸-۱۳)، موبایل در زیر فریم‌های چرخه DRX در یک زیر فریم تعریف شده توسط یک/فست

شروع DRX ^۱، بیدار می‌شود. موبایل به طور پیوسته‌ای PDCCH را برای یک دوره‌ای به نام زمان فعال^۲ مانیتور می‌کند و سپس دوباره به حالت خواب می‌رود [۴۱ و ۴۲].



شکل ۸-۱۳ عملکرد دریافت گسسته در حالت RRC-CONNECTED

چندین تایمر در زمان فعال مشارکت دارند. در ابتدا، موبایل برای یک مدت زمانی به نام دوره روشن^۳ بیدار می‌ماند (۱ تا ۲۰۰ زیر فریم) و منتظر یک پیام زمان‌بندی روی PDCCH است. اگر این پیام را دریافت کند، پس برای مدت زمان دیگری به نام تایمر غیرفعال DRX ^۴ (۱ تا ۲۵۶۰ زیر حامل) بعد از هر دستور PDCCH بیدار می‌ماند. سایر تایمرها برای این هستند، که مطمئن شوند تا موبایل برای دریافت اطلاعاتی مثل انتقال مجدد HARQ بیدار می‌ماند. اما اگر همه این تایمرها منقضی شوند، موبایل به حالت خواب فرو می‌رود. همچنین ایستگاه پایه می‌تواند موبایل را اجباراً به خواب وادار کند، این کار از طریق ارسال یک عنصر کنترل MAC (فصل دهم) به نام دستور DRX ^۵ انجام می‌دهد.

در اینجا در واقع، دو چرخه دریافت گسسته به نام‌های چرخه DRX بلند^۱ (۱۰ تا ۲۵۶۰ زیر فریم) و چرخه /اختیاری DRX کوتاه^۲ (۲ تا ۶۴۰ زیر فریم) وجود دارند. اگر هر دوی آنها

1. DRX Inactivity Timer
2. Active Time
3. On Duration
4. DRX Inactivity Timer
5. DRX Command
6. Long DRX Cycle

پیکربندی شده باشد، موبایل از چرخه کوتاه شروع می‌کند، اما اگر در یک تایمر چرخه DRX کوتاه^۲ (۱ تا ۱۶) دستور PDCCH را دریافت نکند، به چرخه طولانی تغییر وضعیت می‌دهد.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, September 2013.
2. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, June 2013.
3. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, September 2013.
4. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, July 2013.
5. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, September 2013.
6. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 5.3, July 2013.
7. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 7, September 2013.
8. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 5.4, July 2013.
9. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 8, September 2013.
10. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 5.10, July 2013.
11. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 9.2, September 2013.
12. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (SPS-Config), September 2013.

1. Short DRX Cycle

2. DRX Shat Cycle Timer

13. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.3.1, June 2013.
14. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Sections 7.1.6, 8.1, 8.4, September 2013.
15. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 5.2.3, 5.3.4, 6.2.3, September 2013.
16. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 7.1m, July 2013.
17. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Sections 5.3.3.2, 5.3.3.3, 5.3.3.4, June 2013.
18. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 6.8, September 2013.
19. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 9.1.1, September 2013.
20. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Sections 5.1, 5.2.2, 5.2.4, 5.3.2, June 2013.
21. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 5.3, 5.6, 5.8, 6.3, 6.4, 6.12, 6.13, September 2013.
22. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 6.9, September 2013.
23. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.5, June 2013.
24. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 9.1.2, September 2013.
25. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (PHICH-Config), September 2013.
26. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Sections 7.2, 7.3, 10.1, September 2013.

27. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 5.4.4, July 2013. **162** An Introduction to LTE
28. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (CQI-ReportConfig, SchedulingRequestConfig), September 2013.
29. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 5.4, September 2013.
30. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.2.3, June 2013.
31. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 10.1, September 2013.
32. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (PUCCH-Config), September 2013.
33. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 5.5.1, 5.5.2, September 2013.
34. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 5.5.3, September 2013.
35. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 8.2, September 2013.
36. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (SoundingRS-UL-Config), September 2013.
37. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 5, September 2013.
38. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (Uplink Power Control, TPC-PDCCH-Config), September 2013.

-
39. 3GPP TS 36.304 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, Section 7, September 2013.
 40. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.3.2, 6.2.2 (Paging), September 2013.
 41. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 5.7, July 2013.
 42. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (MAC-MainConfig), September 2013.

فصل نهم: دستری تصادفی

همان گونه که در فصل قبل اشاره شد، ایستگاه پایه به طور دقیق کلیه ارتباطاتی که موبایل روی کانال اشتراک‌گذاری فیزیکی لینک فراسو (PUSCH) انجام می‌دهد، را زمان‌بندی می‌کند. اگر موبایل بخواهد انتقالی را روی PUSCH داشته باشد، اما منابع لازم آن را نداشته باشد، در این صورت، یک درخواست زمان‌بندی روی کانال کنترل فیزیکی لینک فراسو (PUCCH) ارسال می‌کند. این حالت، در شرایط‌های مختلفی مثل، در درجه اول، در طول برقراری یک اتصال RRC، در دوره یک فرایند دست به دست کردن یا اگر موبایلی تنظیم کردن همزمانی را با ایستگاه پایه از دست بدهد، اتفاق می‌افتد. ایستگاه همچنین می‌تواند فرایند دسترسی تصادفی را در صورتی که بخواهد به موبایلی که تنظیم همزمانی خودش را از دست داده است، اطلاعاتی بفرستد، آغاز می‌کند.

فرایند دسترسی تصادفی زمانی آغاز می‌شود که موبایل یک آغازگر^۱ دسترسی تصادفی را روی کانال دسترسی تصادفی فیزیکی (PRACH)، ارسال می‌کند. این فرایند مبادله پیام‌ها را بین موبایل و ایستگاه پایه آغاز می‌کند که دو نوع فرایند دسترسی تصادفی به نام‌های فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر بدون رقابت^۲ و فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت^۳ وجود دارند. در نتیجه این فرایند، موبایل سه مقدار زیر را می‌گیرد: منبعی برای انتقال لینک فراسو روی PUSCH، یک مقدار آغازین برای تنظیم پیش‌برد زمانی لینک فراسو و اگر موبایل هیچ‌کدام از آنها را نداشته باشد، یک C-RNTI را دریافت خواهد کرد.

فرایند دسترسی تصادفی از مشخصات و ویژگی‌هایی که در انتقال و دریافت داده به کار می‌رود، بهره می‌برد، که مهم‌ترین آنها، [1] TS 36.211، [2] TS 36.213، [3] TS 36.321، و TS 36.331 [4] هستند.

۹-۱ انتقال آغازگرهای دسترسی تصادفی روی PRACH

۹-۱-۱ نگاشت عناصر منبع

بهترین جایی که بتوان در مورد PRACH [5-7] بحث کرد، شروع از نگاشت عناصر منبع است. در حوزه فرکانس، یک انتقال PRACH دارای یک پهنای باندی به اندازه شش بلاک منبع است.

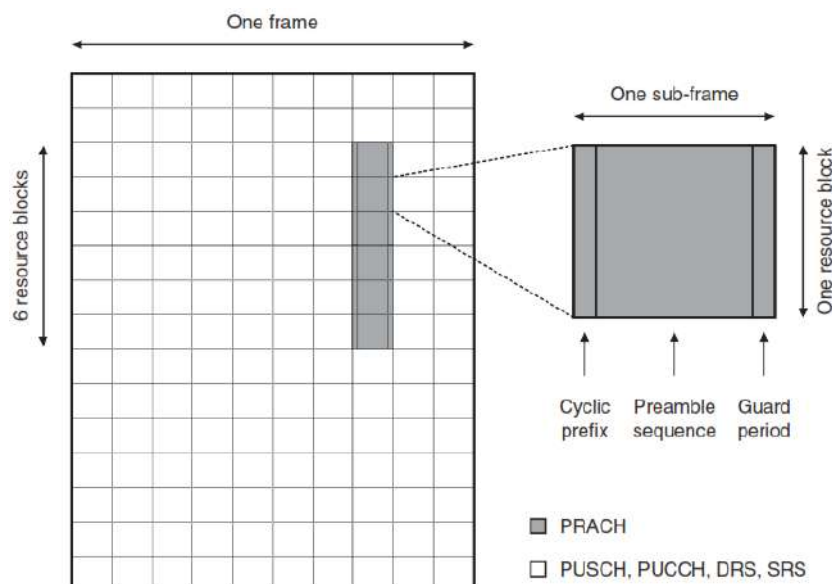
1. Preamble

2. Non-Contention-Based

3. Contention-Based

در حوزه زمان، این انتقال معمولاً به اندازه یک زیر فریم طول دارد، اما این زیر فریم می‌تواند بلندترین و کوتاه‌ترین زیر فریم باشد. شکل ۹-۱ مثالی را نشان می‌دهد، که برای روش FDD و با یک پهنای باند 3 MHz به کار می‌رود.

با دقت بیشتر در جزئیات، یک انتقال PRACH دارای یک پیشوند چرخشی، یک آغازگر دنباله‌ای و یک دوره محافظ است. در ادامه، آغازگر دنباله‌ای دارای یک یا دو سمبل PRACH هستند و معمولاً طول آنها $800\mu s$ می‌باشد. موبایل PRACH را بدون هرگونه تنظیم پیش‌برد زمانی منتقل می‌کند، اما باند محافظ (دوره‌ی محافظ) از آن در برابر تصادم در ایستگاه پایه با سایر سمبل‌هایی که پشت سر آن قرار دارد، جلوگیری می‌کند.



شکل ۹-۱ نگاشت عناصر منبع برای کانال دسترسی تصادفی فیزیکی با استفاده از روش FDD.

یک پیشوند چرخش معمولی، 3MHz پهنای باند، یک شاخص پیکربندی PRACH با شاخص ۵.

یک آفست فرکانسی هفت از PRACH

ایستگاه پایه با استفاده از قالب‌های آغازگرهای لیست شده که در جدول ۹-۱، می‌تواند دوره هر مؤلفه را مشخص کند. معروف‌ترین و مهم‌ترین قالب، قالب صفر (0) می‌باشد، که در آن، انتقال PRACH یک زیر فریم را استفاده می‌کند. قالب‌های ۱ و ۳ دارای دوره محافظ طولانی‌تری هستند، بنابراین برای سلول‌های بزرگ مناسب می‌باشند، در حالی که، قالب‌های ۲ و ۳ سمبل PRACH را منتقل می‌کنند و برای مواردی که سیگنال دریافتی ضعیف باشد، به کار گرفته

می‌شوند. قالب ۴ تنها برای سلول‌های TDD کوچک به کار می‌رود و PRACH را داخل یک زیر فریم خاصی در بخشی از لینک فراسو نگاشت می‌کند.

ایستگاه پایه بلاک‌های منابع مشخصی را برای PRACH با استفاده از دو پارامتر ذخیره می‌کند، که در SIB2 معرفی شده‌اند و به نام‌های شاخص پیکربندی $PRACH^1$ و آفست فرکانسی $PRACH^2$ هستند. این پارامترها معانی مختلفی را در روش‌های FDD و TDD دارند.

جدول ۹-۱ قالب‌های آغازگر دسترسی تصادفی

Format	Approximate duration (μ s)			Total	Application
	Cyclic prefix	Preamble	Guard period		
0	103	800	97	1000	Normal cells
1	684	800	516	2000	Large cells
2	203	1600	197	2000	Weak signals
3	684	1600	716	3000	Large cells and weak signals
4	15	133	9	157	Small TDD cells

منبع: TS 36.211. بازنشر با مجوز ETSI

در روش FDD، شاخص پیکربندی PRACH مشخص کننده قالب آغازگر زیر فریم‌هایی است، که انتقال‌های دسترسی تصادفی می‌توانند در آنها آغاز شوند، در حالی که آفست فرکانسی PRACH بیانگر نواحی آنها در حوزه فرکانسی است. برای مثال در شکل ۹-۱ شاخص ۵ از پیکربندی PRACH را نشان می‌دهد، که از انتقال‌های PRACH در زیر فریم ۷ از هر فریم را با استفاده از قالب آغازگر صفر پشتیبانی کند. آفست فرکانسی آن ۷ است، در نتیجه انتقال‌های PRACH بلاک‌های منابع ۷ تا ۱۲ را در حوزه فرکانس اشغال می‌کنند.

در روش TDD، انتقال‌های دسترسی تصادفی نمی‌توانند در طول زیر فریم‌های لینک فروسو اتفاق بیفتند، بنابراین فرصت کمتری را برای آنها وجود دارد. برای جبران این مسئله، موبایل‌ها می‌توانند PRACH را حداکثر در شش منطقه در حوزه فرکانس به جای یک منطقه، منتقل کنند. روی هم رفته، شاخص پیکربندی PRACH و آفست فرکانسی PRACH یک نگاشتی را در داخل منبع مشبک تعریف می‌کنند و موبایل‌هایی که می‌توانند در حوزه زمان و حوزه فرکانس از PRACH پشتیبانی می‌کنند، را شناسایی کرده و از آنها پشتیبانی می‌کنند.

1. PRACH Configuration Index
2. PRACH Frequency Offset

۹-۱-۲ تولید دنباله آغازگر

هر سلول از ۶۴ دنباله آغازگر مختلف پشتیبانی می‌کند. ایستگاه پایه می‌تواند موبایل‌هایی که روی مجموعه‌ای از بلاک‌های منابع یکسان در حال انتقال هستند، را تشخیص دهد. به شرط اینکه دنباله آغازگر آنها متفاوت باشد.

موبایل می‌تواند دنباله‌های آغازگر خود را از روی دنباله Zadoff-Chu که در فصل هفت معرفی کردیم، تولید شود، اینکار را با استفاده از سه پارامتری که ایستگاه پایه آنها در SIB2 منتشر می‌کند، تولید می‌کند. اولین پارامتر، پیکربندی ناحیه تصحیح صفر^۱ می‌باشد، که تعیین کننده تعداد تغییرات چرخه‌ای است، که موبایل از روی یک دنباله رشته Zadoff-Chu آن را تولید می‌کند. در یک سلول بزرگ موبایل‌ها تنها اجازه دارند، که تعداد محدودی از تغییرات چرخه عریض استفاده کنند، چرا که در غیر این صورت، این خطر وجود دارد، که ایستگاه پایه تغییر چرخه یک موبایل نزدیک را با تغییر چرخه یک موبایل دورتری که دارای تغییر چرخه اندکی متفاوت است، اشتباه بگیرد. در یک سلول کوچک این خطر وجود ندارد، بنابراین، موبایل محدوده وسیعی از تغییرات چرخه را برای دستیابی به مزایای تعامد متقابل آنها را به کار می‌گیرد.

شاخص دنباله ریشه^۲، بیانگر اولین دنباله ریشه Zadoff-Chu است، که سلول در واقع آن را استفاده می‌کند. موبایل بسیاری از تغییرات چرخه‌ای را به عنوان پیکربندی همبستگی منطقه صفر تولید می‌کند، که اجازه می‌دهد، دنباله‌های ریشه تا زمانی که همه آغازگرهای ۶۴ تایی تولید شوند، حرکت خود را ادامه دهند. سلول‌های مجاور هم باید از شاخص‌های دنباله ریشه مختلفی استفاده کنند تا تداخل را بین انتقال‌های دسترسی تصادفی موبایل‌ها به کمترین مقدار خود برسانند. این شاخص‌ها می‌توانند یا زمان طراحی شبکه تخصیص داده شوند و یا در توابع، خود سازماندهی، که در فصل هفدهم بیان خواهد شد، تخصیص پیدا کنند.

این محاسبات در سلول‌هایی که دارای موبایل‌های با حرکت سریع هستند، اصلاح شده است، چرا که در اینگونه سلول‌ها این خطر وجود دارد، که ایستگاه پایه یک تغییر چرخه از یک موبایلی که آهسته حرکت می‌کند، با موبایل دیگری که سریع حرکت می‌کند، را اشتباه بگیرد. ایستگاه پایه می‌تواند با تنظیم کردن یک پرچم سرعت بالا^۳ با این مشکل مقابله کند، که در آن، تعداد تغییرات چرخه را که در این نوع سلول‌ها قابل دستیابی هستند، را محدود می‌کند.

-
1. Zero Correlation Zone Configuration
 2. Root Sequence Index
 3. High Speed Flag

ایستگاه پایه پس از آن تعدادی از دنباله‌های ۶۴ تایی را برای فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر بدون رقابت ذخیره می‌کند، که بعداً آن را بحث خواهیم کرد و آن را با استفاده از سیگنالینگ RRC به موبایل‌ها اختصاص می‌دهد. باقی‌مانده آنها برای یک فرایند مبتنی بر رقابت موجود هستند و آنها به صورت تصادفی توسط موبایل انتخاب می‌شوند.

۹-۱-۳ انتقال سیگنال

برای ارسال کانال دسترسی تصادفی فیزیکی، موبایل به سادگی، دنباله آغازگر حوزه زمان مناسبی را تولید کرده و آن را از طریق تبدیل فوریه رو به جلو در لایه فیزیکی خودش منتقل می‌کند. در آنجا چند روش متفاوت‌تر از روش‌های موجود برای نگاشت عناصر منبع که در فصل ششم معرفی کردیم، وجود دارند. به خصوص، دوره سمبل PRACH بر خلاف مقدار معمول آن که 66.7 Ms است، در قالب ۰ تا ۳ برابر 800μs می‌باشد. این مقدار، فاصله زیر حامل را به جای مقدار معمول آن که 15 kHz بود، ۱۲۵۰ هرتز می‌کند. در قالب چهار، دوره سمبل آن 133μs است، بنابراین فاصله زیر حامل آن 7500 Hz است. استفاده از این فواصل زیرحامل کوچک‌تر به این معنی است، که در زیر حامل‌های PRACH، عمود برهم با زیر حامل‌های به کار رفته در PUSCH و PUCH نیستند. به همین دلیل، باند انتقال PRACH دارای باندهای محافظ (دوره‌های محافظ) کوچکی در گوشه‌های بالاتر و پایین‌تر می‌باشند، تا مقدار تداخلی را که رخ می‌دهد، کاهش دهند.

کنترل توان در کانال دسترسی تصادفی متفاوت‌تر از سایر کانال‌های لینک فراسو عمل می‌کنند. ابتدا موبایل یک آغازگر دسترسی تصادفی با توان زیر ارسال می‌کند:

$$P_{PRACH} = \min(P_{PREAMBLEINITIAL}, P_L, P_{CMAX}) \quad (9-1)$$

در این رابطه، P_{CMAX} بیشترین توان ارسالی موبایل است، P_L تخمین افت مسیر لینک فروسو و $P_{PREAMBLEINITIAL}$ پارامتری است، که در SIB2 برای ایستگاه پایه منتشر شده و بیانگر توانی می‌باشد، که ایستگاه پایه دریافت می‌کند.

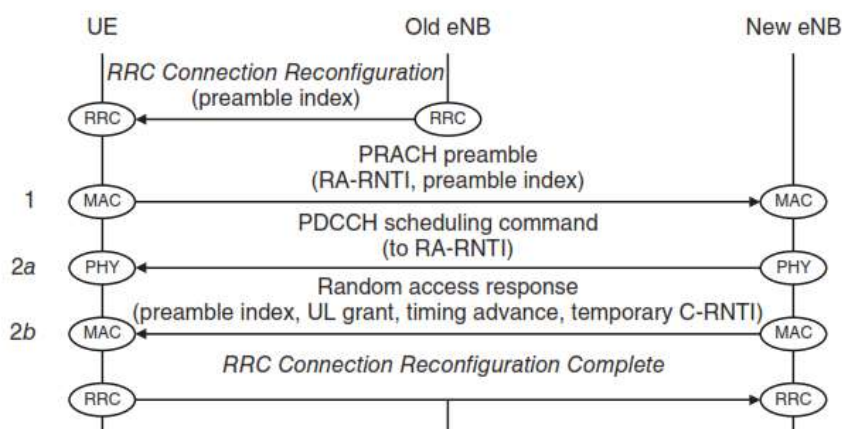
پس از آن، موبایل منتظر پاسخ ایستگاه پایه در یک پنجره دسترسی تصادفی است، که دوره آن بین ۲ تا ۱۰ زیر فریم می‌باشد. اگر موبایل در طول این مدت زمان پاسخی را از ایستگاه دریافت نکند، فرض می‌کند، که توانی را که ارسال کرده بسیار ضعیف بوده است و ایستگاه پایه آن را دریافت ننموده است. در نتیجه، توان ارسالی خود را به مقدار ۰ تا ۶ دسی‌بل افزایش داده و

انتقال خود را تکرار می‌کند. این فرایند تا جایی ادامه پیدا می‌کند، که از ایستگاه پایه جواب را دریافت کند و یا این که توان ارسالی به بیشترین مقدار انتقال مجدد برسد.

۹-۲ فرایند مبتنی بر بدون رقابت

هنگامی که موبایل یک انتقال PRACH به ایستگاه پایه می‌فرستد، فرایند دسترسی تصادفی را آغاز می‌کند [۸-۱۰]. دو روش برای اینکار وجود دارد: یکی به نام فرایند مبتنی بر بدون رقابت و دیگری مبتنی بر رقابت می‌باشند.

اگر شبکه بتواند یک دنباله آغاز را برای موبایل ذخیره کند، شبکه می‌تواند تضمین نماید، موبایل‌های دیگر نمی‌توانند، در همان مجموعه بلاک‌های منبع، آن دنباله‌ها را استفاده کنند. این ایده معمولاً پایه و اساس فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر بدون رقابت را تشکیل می‌دهد. معمولاً این فرایند به عنوان بخشی از یک فرایند دست به دست کردن به کار می‌رود. در شکل ۹-۲ نشان داده شده است.



شکل ۹-۲ فرایند دسترسی تصادفی بر پایه بدون رقابت، که در طول دست به دست کردن استفاده می‌شود

قبل از اینکه این فرایند آغاز شود، ایستگاه پایه قدیمی یک پیام RRC به نام پیکربندی مجدد ارتباط RRC^۱ را به موبایل ارسال می‌کند. این پیام چگونگی پیکربندی موبایل توسط خود موبایل را برای ارتباط با ایستگاه پایه جدید را توصیف می‌کند و دنباله‌های آغازگری که ایستگاه پایه جدید برای موبایل ذخیره کرده است، را معرفی می‌کند و موبایل پیام RRC را می‌خواند و

1. RRC Connection Reconfiguration

طبق دستورالعمل ارسالی خود را پیکربندی مجدد می‌کند. اما هنوز تنظیم همزمانی را ندارد، بنابراین فرایند دسترسی تصادفی را آغاز می‌کند.

موبایل پیکربندی دسترسی تصادفی سلول جدید را از روی SIB2 می‌خواند، زمان انتقال PRACH موجود بعدی را انتخاب کرده و یک آغازگر را با استفاده از دنباله درخواست شده (مرحله اول) ارسال می‌کند. فرکانس انتقال در روش FFD را به طور ثابت تنظیم می‌کند، درحالی که در روش TDD، به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. زمان و فرکانس انتقال روی هم رفته موبایل یک شناسه دسترسی تصادفی RNTI به نام (RA-RNTI) را تعیین می‌کند. اگر ضروری باشد، این انتقال را به روشی که در بالا اشاره شد، تا زمانی که یک جواب به دست بیاورد، تکرار می‌کند.

هنگامی که ایستگاه پایه، آغازگر را دریافت کرد، زمان رسیدن آن را اندازه می‌گیرد و تنظیم پیش‌برد زمانی مورد نیاز را محاسبه می‌کند. ابتدا با دستور زمان‌بندی PRACH (مرحله ۲a) جواب می‌دهد، با استفاده از DCI قالب 1A یا 1C آن را می‌نویسد و در RA-RNTI موبایل آدرس‌دهی می‌کند. ایستگاه پایه آن را با پاسخ دسترسی تصادفی^۱ دنبال می‌کند (مرحله 2b)، تا دنباله آغازگری را که موبایل استفاده می‌کند، را بشناسد و یک اعطای زمان‌بندی لینک فراسو و یک مقدار اولیه برای تنظیم پیش‌برد زمانی به موبایل بدهد. (همچنین ایستگاه پایه یک شناسه‌ای به نام C-RNTI موقتی را به موبایل می‌دهد، با این حال موبایل در واقعیت این شناسه را در این نسخه از فرایند دسترسی تصادفی استفاده نمی‌کند). ایستگاه پایه می‌تواند چندین دنباله آغازگر را در این پاسخ شناسایی کند، پس می‌تواند به طور همزمان به همه موبایل‌هایی که روی بلاک منبع یکسان در حال ارسال هستند، اما آغازگرهای مختلفی دارند، پاسخ دهد.

موبایل جواب ایستگاه پایه را می‌گیرد و تنظیم پیش‌برد زمانی خود را آغاز می‌کند. پس موبایل می‌تواند، به پیام سیگنالینگ ایستگاه پایه با استفاده از پیام اتمام پیکربندی مجدد ارتباط RRC^۲، جواب بدهد.

همچنین یک دستگاه پایه می‌تواند یک فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر بدون رقابت را با موبایل در صورتی آغاز کند، که بخواهد برای آن موبایل روی لینک فراسو ارسال داشته باشد. اما تنظیم هم‌زمانی آن را از دست داده باشد، برای انجام این کار، ایستگاه پایه یک فرایند مختلفی از

1. Random Access Response

2. RRC Connection Reconfiguration Complete

DCA قالب ۱A که به نام ترتیب $PDCCH^1$ است را بکار می‌برد [۱۱]. سپس به روش‌هایی که در بالا بیان شدند، فرایند را ادامه می‌دهد.

۳-۹ فرایند مبتنی بر رقابت

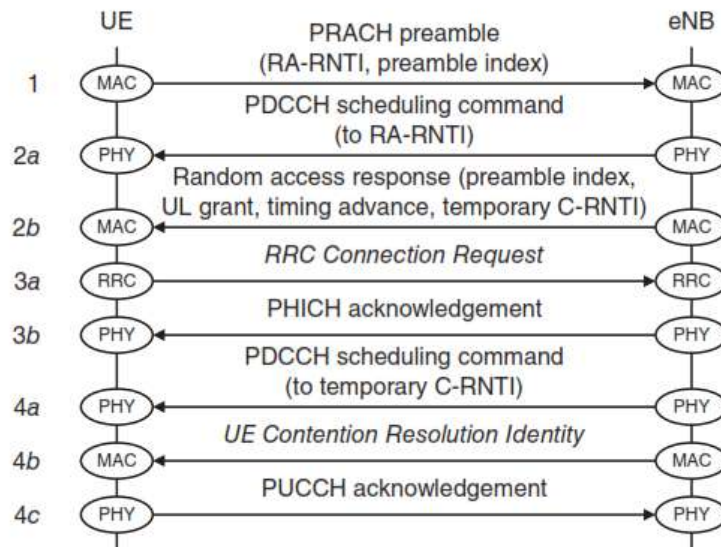
موبایل زمانی فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر پایه رقابت را استفاده می‌کند، که یک شاخص آغازگر به آن اختصاص داده نشده باشد. این اتفاق معمولاً در بخشی از فرایندی به نام برقراری ارتباط RRC که در شکل ۳-۹ نشان داده شده است، رخ می‌دهد.

در این مثال، یک موبایل می‌خواهد درخواستی به نام درخواست/ارتباط RRC^2 را به عنوان یک پیام RRC به ایستگاه پایه ارسال کند، که در آن می‌خواهد از حالت RRC_IDLE به حالت RRC_CONNECTED برود. این موبایل هیچ منبعی PUSCH ندارد تا پیامی را ارسال کند و هیچ منبعی PUCCH ندارد تا روی آن درخواست زمان‌بندی ارسال کند. به همین جهت یک فرایند دسترسی تصادفی را آغاز می‌کند.

موبایل، پیکربندی دسترسی تصادفی سلول را از روی SIB2 خوانده و یک دنباله آغازگر از بین آنها که برای دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت، که در دسترس هستند، را انتخاب می‌کند. به طور اختیاری، ایستگاه پایه می‌تواند این دنباله‌ها را در دو گروه به نام‌های گروه A و B تقسیم کند، که گروه A یا برای بسته‌های کوچکتر یا بسته‌های بزرگتر در شرایط رادیویی بد به کار می‌رود و گروه B، برای بسته‌های بزرگتر در یک شرایط رادیویی بهتر و خوب استفاده می‌شود. یک آغازگر در گروه A، نهایتاً منجر به یک اعطای زمان‌بندی کوچک می‌شود، که برای یک انتقال کوچک یا برای یک گزارش وضعیت بافر مناسب می‌باشد. اما آغازگر در گروه B منجر به یک اعطای زمان‌بندی بزرگتر شده و یک موبایل می‌تواند با استفاده از آن یک انتقال لینک فراسوی بزرگ را انجام دهد و آن را به پایان برساند.

1. PDCCH Order

2. RRC Connection Request



شکل ۹-۳ فرایند دسترسی تصادفی بر پایه رقابت که به عنوان بخشی از برقراری

دوره ارتباط RRC به کار می‌رود

سپس موبایل آغازگر را به روش معمول ارسال می‌کند (مرحله ۱). در اینجا یک خطر رقابتی وجود دارد و آن این است که ممکن است، دو یا چند موبایل روی بلاک‌های منبع یکسان با استفاده از همان دنباله آغازگر ارسالی را داشته باشند. همانند قبل، ایستگاه پایه یک دستور زمان بندی را در ادامه پاسخ دسترسی تصادفی (مرحله 2A و 2B) به موبایل ارسال می‌کند.

با استفاده از اعطای لینک فراسو، موبایل پیام RRC خود را به روش معمول به ایستگاه پایه ارسال می‌کند (مرحله 3A). به عنوان بخشی از این پیام، موبایل به طور منحصر بفرد شناسه خود را یا با استفاده از S-TMSI خودش یا یک عدد تصادفی خودش شناسایی می‌کند (بخش ۱۱-۳-۱). هنوز یک خطر رقابتی بین موبایل‌هایی که این فرایند را آغاز کرده‌اند وجود دارد. اگر یکی از انتقال‌ها بسیار قوی‌تر از دیگری باشد، ایستگاه پایه قادر به کدگشایی آن خواهد شد. انتقال‌های دیگر تنها باعث تداخل خواهند شد. ایستگاه پایه با استفاده از منابع PHICH که توسط اعطای زمان‌بندی (مرحله 3B) نشان داده شده‌اند، یک تصدیق را ارسال می‌کند.

حال ایستگاه پایه دستور زمان‌بندی دیگری (مرحله 4A) را ارسال می‌کند که در آن، C-RNTI آدرس‌دهی شده است که قبلاً تخصیص داده شده بود. ایستگاه پایه این دستور را با استفاده از یک

عنصر کنترل MAC که به نام شناسه دقت رقابت UE^1 است، پیگیری می‌کند (مرحله 4B). این مرحله پیام RRC را برمی‌گرداند که، موبایل در مرحله سوم فرستاده بود، در نتیجه این پیام دارای پیامی از شناسایی موفق موبایل است.

اگر یک موبایل پاسخی از پیامی که قبلاً ارسال کرده بود، را دریافت کند، تصدیقی را با استفاده از یک منبع PUSCH مشخص شده با استفاده از دستور زمان‌بندی ارسال می‌کند (مرحله 4C). سپس موبایل C-RNTI موقتی را به یک C-RNTI کامل تبدیل می‌کند و فرایند RRC را ادامه می‌دهد. اگر این پیام منطبق نباشد، موبایل C-RNTI موقتی را دور می‌ریزد و دوباره در یک زمان بعدی فرایند دسترسی تصادفی را از سر می‌گیرد. در نتیجه، ایستگاه پایه یکی از موبایل‌هایی که در رقابت اولیه برای فراخوانی آن پاسخ داده بودند را انتخاب کرده و موبایل‌های دیگر را به عقب‌نشینی فرا می‌خواند.

موبایل همچنین می‌تواند فرایند مبتنی بر رقابت در وضعیت RRC_CONNECTED را آغاز کند، در صورتی این کار را انجام می‌دهد که، بخواهد به ایستگاه پایه ارسالی را داشته باشد، اما تنظیم هم‌زمانی با آن را از دست داده باشد یا به بیشترین تعداد ارسال درخواست‌های زمان‌بندی برسد، بدون آنکه جوابی را از ایستگاه پایه دریافت کند. در این وضعیت، موبایل دارای یک C-RNTI است. در مرحله سوم از این فرایند، موبایل پیام RRC را با یک عنصر کنترل C-RNTI پروتکل MAC جایگزین می‌کند (فصل دهم) و ایستگاه پایه سپس آن C-RNT را به عنوان پایه و اساس دقت رقابت به کار می‌گیرد.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, September 2013.
2. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, September 2013.
3. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, July 2013.
4. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, Release 11, September 2013.

1. UE Contention Resolution Identity

5. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 5.7, September 2013.
6. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.2.1, June 2013.
7. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (PRACH-Config, RACH-ConfigCommon, RACH-ConfigDedicated), September 2013.
8. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 10.1.5, September 2013.
9. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Sections 5.1, 6.1.3.2, 6.1.3.4, 6.1.5, 6.2.2, 6.2.3, July 2013.
10. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 6, September 2013.
11. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.3.1.3, June 2013.

فصل دهم: واسطه‌های لایه دو

حال مرور خود بر واسط هوایی لایه فیزیکی را به اتمام رسانده‌ایم و بحث خود را از واسط هوایی LTE با توصیف سه پروتکل در لایه پیوند داده، لایه دوم از مدل OSI را در این فصل از سر می‌گیریم. پروتکل کنترل دسترسی رسانه (MAC) تمامی انتقال‌هایی که برای واسط هوایی LTE ساخته شده‌اند، را زمان‌بندی می‌کند و عملیات سطح پایین لایه فیزیکی را کنترل می‌نماید. در صورت ضرورت، اگر بسته‌ها در لایه فیزیکی به درستی تحویل داده نشوند، پروتکل کنترل لینک رادیویی با ارسال مجدد داده‌های خراب شده، از داده‌های لینک در سراسر واسط هوایی محافظت می‌کند. در پایان نیز، پروتکل همگرایی بسته است که امنیت را در واسط هوایی برقرار کرده، بسته‌های IP را فشرده می‌کند و از تحویل قابل اعتماد بسته‌ها بعد از یک دست به دست کردن، مطمئن می‌شود.

۱-۱۰ پروتکل کنترل دسترسی رسانه

۱-۱-۱۰ معماری پروتکل

پروتکل کنترل دسترسی رسانه (MAC)، [۲۱] انتقال‌هایی که در واسط هوایی هدایت می‌شوند، را زمان‌بندی کرده و عملیات سطح پایین لایه فیزیکی را کنترل می‌کند. در اینجا یک ماهیت واحد MAC در ایستگاه پایه و در موبایل وجود دارد، برای توصیف این معماری، شکل ۱-۱۰ ترسیمی از معماری سطح بالای پروتکل MAC موبایل را نشان می‌دهد.

در فرستنده تابع اولویت کانال منطقی^۱ میزان داده‌هایی که موبایل باید از هر کانال منطقی خود در هر دوره زمانی یک انتقال می‌فرستد را معین می‌کند. در پاسخ، موبایلی مقدار داده مورد نیاز را از بافرهای انتقالی در پروتکل RLC از واحدهای داده سرویس (MAC SDU) بر می‌دارد. تابع مالتی پلکس کردن^۲، واحدهای داده سرویس را در همدیگر ترکیب کرده، به آنها یک سرایند اختصاص می‌دهد و داده‌های حاصل را روی یک کانال انتقال به لایه فیزیکی ارسال می‌کند. این تابع، این عمل را به وسیله تابع انتقال ARQ ترکیبی (HARQ)^۳ که عملیات پروتکل HARQ لایه فیزیکی را کنترل می‌کند، انجام می‌دهد. بسته‌های داده خروجی، واحدهای داده پروتکل

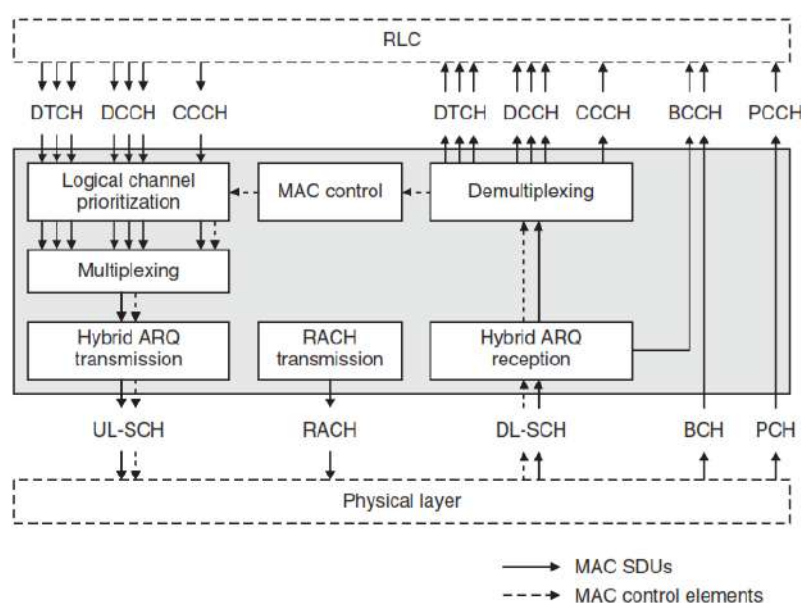
1. Logical Channel Prioritization

2. Multiplexing Function

3. Hybrid ARQ Transmission Function

MAC(PDU) شناخته می‌شوند و آنها بلاک‌های انتقال که در فصل هشتم بیان کردیم را مشخص می‌کنند. این توابع در گیرنده موبایل معکوس می‌شوند.

این مفاهیم در ایستگاه پایه نیز یکسان می‌باشند، انتقال با کانال‌های لینک فروسو انجام شده و با کانال‌های لینک فراسو دریافت می‌شوند. اما دو تفاوت بین آنها وجود دارد. نخست، پروتکل MAC ایستگاه پایه انتقال‌ها را به موبایل‌های مختلف روی لینک فروسو خود ارسال و دریافت‌هایی را از روی موبایل‌های مختلف در لینک فراسو دریافت می‌کند. دوم اینکه، این پروتکل دارای یک تابع زمان‌بندی است که انتقال‌های موبایل روی لینک فراسو را سازمان‌دهی کرده و در نهایت محتوای دستور زمان‌بندی PDCCH و اعطای‌های زمان‌بندی را تعیین می‌کند.



شکل ۱-۱۰ معماری سطح بالای پروتکل MAC موبایل

منبع: TS36.321 بازنشر با مجوز ETSI

همچنین در پروتکل MAC تعدادی عناصر کنترل MAC^۱ وجود دارند، که عملیات سطح پایین لایه فیزیکی را کنترل کرده و ارسال و دریافت را انجام می‌دهند. این عناصر کنترل MAC انواع مختلفی دارند، که در جدول ۱-۱۰ آورده شده است. در حال حاضر سه تای آنها دیده می‌شود. در طول دریافت ناپیوسته در حالت RRC_CONNECTED، ایستگاه پایه با ارسال یک دستور DRX^۲،

1. MAC Control Elements

2. DRS Command

موبایل را به حالت خواب می‌برد. در حالی که شناسه دقت رقابتی UE^1 و C-RNTI هر دو عناصر استفاده شده به وسیله فرایند دسترسی تصادفی بر پایه رقابت را کنترل می‌کنند. باقیمانده عناصر کنترلی نسخه هشتم را در زیر بحث خواهیم کرد، قبل از آن، به باقی‌مانده بلاک‌ها در شکل ۱۰-۱ می‌پردازیم.

جدول ۱۰-۱ لیست عناصر کنترلی MAC

MAC control element	Release	Application	Direction
Buffer status report	R8	UE transmit buffer occupancy	UL
C-RNTI	R8	UE identification option during random access	
Power headroom	R8	UE transmit power headroom	
Extended power headroom	R10	Power headroom during carrier aggregation	
DRX command	R8	Sends UE to sleep during DRX	DL
Timing advance command	R8	Adjusts UE timing advance	
UE contention resolution identity	R8	Resolves contention during random access	
MCH scheduling information	R9	Informs UE about scheduling of MBMS	
Activation/deactivation	R10	Activates/deactivates secondary cells	

۱۰-۱-۲ دستورالعمل تنظیم پیشبرد زمانی

بعد از آنکه، موبایل با استفاده از فرایند دسترسی تصادفی، تنظیم پیشبرد زمانی را آغاز کند، ایستگاه پایه موبایل را با استفاده از عناصر کنترلی MAC به نام دستورالعمل تنظیم پیشبرد زمانی^۲ به روز رسانی می‌کند. هر تنظیم دستور پیشبرد زمانی را با یک محدود از $496T_s$ تا $512T_s$ و با دقت $16T_s$ تنظیم می‌کند [۳]. این مقدار برابر با تغییر فاصله از -2.4 تا 2.5 کیلومتر فاصله بین موبایل و ایستگاه پایه، با دقتی برابر 80 متر است.

موبایل انتظار دارد که دستورالعمل تنظیم پیشبرد زمانی از سوی ایستگاه پایه را در فواصل زمانی منطقی دریافت کند. بیشترین فواصل زمانی مجاز مقداری به نام تایمر تنظیم زمان^۳ است، که می‌تواند مقداری بین 500 تا 10240 زیر فریم $(0.5$ تا 10.24 ثانیه) را داشته باشد یا برای یک سلول کوچک می‌تواند نامحدود باشد [۴]. اگر زمان سپری شده از دستور تنظیم پیشبرد زمانی قبلی، بیش از این مقدار باشد، موبایل به این نتیجه می‌رسد، که هم‌زمانی خود با ایستگاه پایه را از دست داده است. در پاسخ، موبایل کلیه منابع PUSCH و PUCCH خود به ویژه پارامترهای $n_{PUSCH}^{(1)}$ ، $n_{PUSCH, SRI}^{(1)}$ و $n_{PUSCH}^{(2)}$ که در فصل هشتم بیان شده بودند، را از دست می‌دهد.

1. UE Contention Resolution Identity
2. Timing Advance Commands
3. Time Alignment Timer

هرگونه تلاش برای انتقال منوط به آغاز فرایند دسترسی تصادفی خواهد شد، که از طریق آن، موبایل تنظیم هم‌زمانی خود را دوباره به دست خواهد آورد.

۱۰-۱-۳ گزارش‌گیری وضعیت بافر

موبایل از طریق گزارش وضعیت بافر (BSR)^۱ عناصر کنترلی MAC را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند تا درباره مقدار داده موجود برای انتقال خود را به ایستگاه پایه اطلاع دهد. سه نوع گزارش وضعیت بافر وجود دارند، که مهم‌ترین آن BSR با قاعده^۲ است. موبایل آن را در سه وضعیت ارسال می‌کند: اگر داده‌ها برای ارسال آماده شده و وقتی که بافرهای ارسالی از قبل خالی بوده باشند، یا اگر داده‌ها آماده ارسال روی یک کانال انتقالی با یک اولویت بالاتری نسبت به بافرهایی که از قبل ذخیره شده‌اند، باشند یا اگر یک تایمر انقضاء شود، در حالی که داده‌ها برای انتقال در صف انتظار باشند، در این شرایط موبایل آن را ارسال خواهد کرد. موبایل انتظار دارد که ایستگاه پایه با یک اعطای زمان‌بندی به آن پاسخ دهد.

اگر موبایل بخواهد یک BSR با قاعده ارسال کند، اما منابع لازم PUSCH برای انجام آن نداشته باشد، به جای آن، یک درخواست زمان‌بندی روی PUCCH به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. (در واقع یک درخواست زمان‌بندی همیشه به این طریق با ارسال یک BSR با قاعده به ایستگاه پایه آغاز می‌شود.) اگر موبایل در حالت IDLE_RRC باشد یا زمان‌بندی خود با ایستگاه پایه را از دست بدهد، در هر دو حالت منبع PUCCH برای انجام اینکار ندارد، در این حالت، به فرایند دسترسی تصادفی بر می‌گردد.

در ادامه، دو نوع دیگر از گزارش وضعیت بافر وجود دارند. موبایل BSR دوره‌ای^۳ در فواصل زمانی منظم در طول انتقال روی PUSCH ارسال می‌کند و اگر به اندازه کافی فواصل کافی در طول انتقال PUSCH داشته باشد، Padding BSR را ارسال می‌کند.

۱۰-۱-۴ گزارش سقف توان^۴

سقف توان یک موبایل متفاوت‌تر از حداکثر توان لحظه‌ای ارسالی آن و توان درخواستی آن برای انتقال‌های PUSCH است [۶]. سقف توان معمولاً مثبت است، اما اگر توان درخواستی متجاوز از توان موجود باشد، مقدار آن منفی می‌شود.

-
1. Buffer Status Report
 2. Regular BSR
 3. Periodic BSRS
 4. Power Headroom Reporting

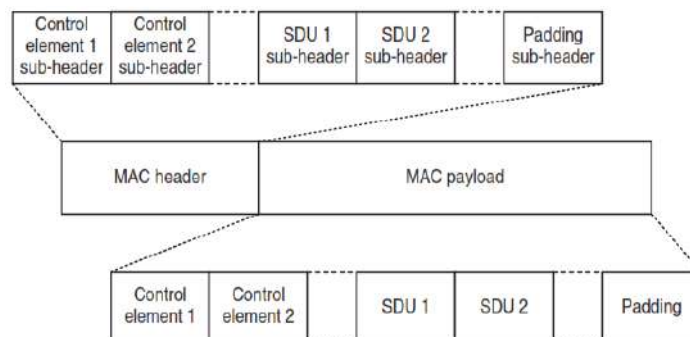
موبایل سقف توان خودش را با استفاده از یک عنصر کنترلی سقف توان MAC خود، به ایستگاه پایه گزارش می‌دهد. موبایل اینکار را در دو به صورت دوره‌ای یا اگر افت مسیر لینک فروسو به طور مؤثری از آخرین گزارش تغییر کرده باشد، ارسال می‌کند. ایستگاه پایه این اطلاعات را برای فرایند زمان‌بندی لینک فراسو بکار می‌برد. این کار را معمولاً با محدود کردن نرخ داده در درخواست‌هایی که موبایل برای انتقال می‌کند، انجام می‌گیرد.

۱۰-۱-۵ مالتی پلکسینگ و دمالتی پلکسینگ

حال می‌توانیم ساختار داخلی از یک واحد داده پروتکل MAC(PDU) را بررسی کرده و روشی را که یک PDU را می‌سازد، را بیان کنیم. در فرم کلی از ساختار آن (شکل ۱۰-۲) یک واحد داده پروتکل MAC دارای چندین واحد سرویس MAC و چندین عنصر کنترلی است، که به طور کلی پایلود MAC را می‌سازند. هر واحد داده سرویس، دارای داده‌های دریافتی از RLC روی کانال منطقی منفرد است و عنصر کنترلی نیز یکی از عناصر آورده شده در جدول ۱۰-۱ است. این پایلود همچنین دارای یک دنباله می‌باشد، در حالی که واحد داده پروتکل را به اندازه بلاک‌های انتقالی مجاز گرد می‌کند.

هر بخش در پایلود MAC به همراه یک زیر سرایند^۱ آورده می‌شود، زیر سرایند SDU، اندازه واحد داده سرویس و کانال منطقی که از آن منشأ می‌گیرد، را مشخص می‌کند، در حالی که، زیر سرایند عناصر کنترلی معین کننده نوع و اندازه عناصر کنترلی است.

در لینک فراسو، موبایل اندازه PDU را از اعطای زمان‌بندی ایستگاه پایه کشف می‌کند. با استفاده از الگوریتم اولویت‌بندی که در زیر توصیف می‌شود، موبایل چگونگی تصمیم خود را برای پر کردن فضای خالی در واحد داده پروتکل را انجام می‌دهد. واحدهای سرویس داده را از بافرهایی که در پروتکل RLC قرار دارند بر می‌دارد و عناصر کنترلی را از واحدهای کنترلی MAC اخذ می‌کند. پس از آن، تابع مالتی پلکس کننده زیر سرایندهای مربوطه را نوشته و به PDU ضمیمه می‌کند. همین روش نیز در لینک فروسو به کار می‌رود، به جز آنچه که در زیر خواهیم دید. فرایند اولویت‌بندی آن اندکی متفاوت است.



شکل ۱۰-۲ ساختار PDU یک MAC منبع: TS 36.321 بازنشر با مجوز ETSI

۱۰-۱-۶ اولویت‌بندی کانال منطقی

در بالا دیدیم، که ایستگاه پایه با استفاده از اعطای زمان‌بندی اندازه هر واحد داده پروتکلی MAC لینک فراسو را به اطلاع موبایل می‌رساند. اما اعطای زمان‌بندی چیزی درباره محتوای واحد داده پروتکلی نمی‌گوید. موبایل یک الگوریتم اولویت‌بندی جهت تصمیم‌گیری درباره چگونگی پر کردن آن را اجرا می‌کند.

برای پشتیبانی از این الگوریتم، هر کانال منطقی به همراه یک اولویت از یک تا شانزده آورده شده است، که اعداد کوچک مربوط به یک اولویت بالاتر می‌باشد. همچنین کانال منطقی با یک نرخ بیت اولویت‌بندی شده (PBR)^۱ همراه است که از ۰ تا ۲۵۶ کیلو بیت بر ثانیه می‌باشد و یک هدف برای میانگین بلند مدت نرخ بیت است. همچنین مشخصات فنی 3GPP از یک نرخ بیت اولویت شده نامحدود با بیان «هر چقدر که امکان‌پذیر باشد سریعتر عمل کند»^۲ پشتیبانی می‌کند. نهایتاً، این پارامترها از روی پارامترهای کیفیت سرویس که ما آن را در فصل سیزدهم بیان خواهیم کرد، نتیجه می‌شوند.

این الگوریتم به طور کامل از طریق مشخصات فنی پروتکل MAC تعریف شده است و مفاهیم آن به صورتی که در زیر بیان شده، می‌باشد: نخست، MAC از طریق کانال‌های منطقی به اجرا در می‌آید و به ترتیب اولویت، داده‌ها را از کانال‌هایی که پشت سرهم میانگین طولانی مدت نرخ بیت آنها کاهش پیدا می‌کند، بر می‌دارد. سپس یکبار دیگر این کانال‌ها را بر اساس ترتیب اولویت اجرا کرده و هر فاصله‌ای که در PDU باقیمانده است را پر می‌کند. همچنین این الگوریتم

1. Prioritized Bit Rate

2. As Fast As Possible

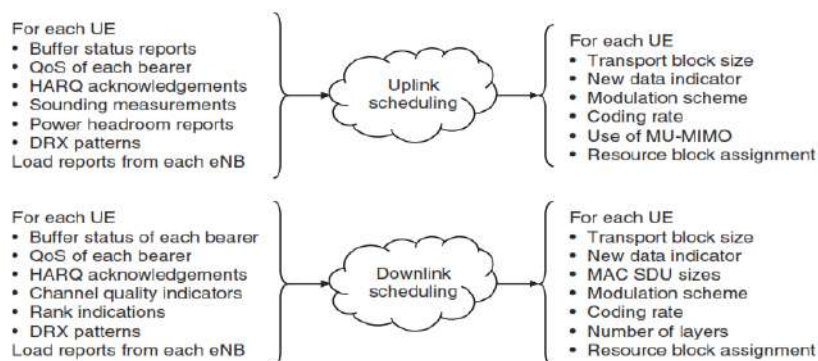
عناصر کانال را اولویت‌بندی کرده و حاصل ترتیب اولویت‌بندی به شرح زیر است: داده‌ها روی کانال کنترل عمومی به همراه عناصر کنترلی C-RNTI، گزارش‌های وضعیت بافر با قاعده یا متناوب، گزارش‌های سقف توان، داده‌های موجود در سایر کانال‌ها و در آخر گزارش‌های وضعیت بافر Padding را اولویت‌بندی می‌کند.

اولویت‌بندی در لینک فروسو نسبتاً متفاوت است، چرا که ایستگاه پایه آزاد است تا PDUها را به هر روشی که می‌خواهد پر کند. در عمل، الگوریتم اولویت‌بندی لینک فروسو، بخشی از الگوریتم زمان‌بندی اختصاصی است، که ما در زیر آن را بحث خواهیم کرد.

۷-۱-۱۰ زمان‌بندی انتقال‌ها در واسط هوایی

الگوریتم زمان‌بندی ایستگاه پایه، باید برای محتویات هر دستور زمان‌بندی لینک فروسو و اعطای زمان‌بندی لینک فراسو تصمیم‌گیری کند، که اینکار باید بر پایه کلیه اطلاعات موجود آن در آن لحظه باشد. مشخصات فنی 3GPP اطلاعاتی درباره چگونگی کارکرد آن نمی‌دهد، اما برای بیان آن، شکل ۳-۱۰ برخی از ورودی‌ها و خروجی‌های اصلی آن را توصیف می‌کند.

اطلاعات موجود برای زمان‌بندی لینک فروسو، به صورت زیر است: هر حاملی با یک بافر اشغال شده است، همچنین، اطلاعاتی درباره کیفیت سرویس آن مثل نرخ بیت اولویت‌بندی شده که قبلاً آن را بیان کردیم، است. برای پشتیبانی از تابع زمان‌بندی، موبایل تصدیق‌های HARQ، شاخص‌های کیفیت کانال و شاخص‌های رتبه‌بندی RI را بر می‌گرداند. همچنین ایستگاه پایه درباره الگوی دریافت ناپیوسته (گسسته) برای هر موبایل در داخل سلول اطلاعاتی را دهد و می‌تواند اطلاعات بار را از سلول‌های مجاور درباره زیر حامل‌های لینک فروسو که استفاده می‌کنند، را بگیرد.



شکل ۳-۱۰ ورودی‌ها و خروجی‌ها برای الگوریتم‌های زمان‌بندی لینک فروسو و فراسو

با استفاده از این اطلاعات، زمان‌بندی باید درباره این که چه تعداد بیت باید برای هر موبایل ارسال شود، چه مقدار برای یک انتقال جدید یا یک انتقال مجدد ارسال می‌گردد، تصمیم بگیرد و نیز درباره اینکه چگونه انتقال‌های جدیدی میان حامل‌های موجود تقسیم شود، تصمیم‌گیری می‌کند. علاوه بر این، این زمان‌بند باید درباره، طرح‌های مدولاسیونی استفاده شده، نرخ‌های کدینگ به کار رفته، تعداد لایه‌ها در مواردی که از مالتی‌پلکسینگ فضایی استفاده می‌شود و تخصیص بلاک‌های منابع برای هر موبایل، تصمیمات لازم را اتخاذ کند.

اگرچه برخی از ورودی‌ها و خروجی‌ها متفاوت می‌باشند، اما، زمان‌بندی لینک فراسو نیز همین مفاهیم را دنبال می‌کند. برای مثال، ایستگاه پایه اطلاعات کاملی از اشغال (پر شدن) بافر لینک فراسو ندارد و به موبایل‌ها نمی‌گوید که کدام از یک کانال‌های منطقی باید برای انتقالی‌های لینک فراسو استفاده شود. مضاف بر اینکه، ایستگاه پایه اطلاعات کیفیت کانال خودش را از روی فرایند صداگذاری به جای استفاده از شاخص‌های کیفیت کانال موبایل، به دست می‌آورد.

در یک سطح اولیه، حداکثر دو الگوریتم زمان‌بندی وجود دارند: یکی زمان‌بندی نرخ حداکثری^۱ است، که منابع را با بالاترین نرخ سیگنال به نویز به علاوه تداخل (SINR) به موبایل تخصیص می‌دهد تا بتواند اطلاعات را با حداکثر نرخ بیت ممکن مخابره کند. این الگوریتم نرخ گذردهی را به بیشترین مقدار خود در سلول می‌رساند، اما به شدت ناعادلانه است، چرا که ممکن است، یک موبایل هرگز شانس برای ارسال یا دریافت نداشته باشد و الگوریتم زمان‌بندی حداکثری دیگر، زمان‌بندی Round-Robin^۲ است، که یک نرخ داده یکسانی را به هر موبایلی می‌دهد. این الگوریتم برای سرویس‌های بلادرنگ و سرویس‌های نرخ داده ثابت مثل ویدیوهای زنده مناسب است. اما این الگوریتم برای سرویس‌های غیرآنی^۳ و سرویس‌های نرخ داده متغیر مثل وب گردی نامناسب است، چرا که موبایل‌های راه دور با نسبت سیگنال به نویز پایین (SNR)، اولویت بیشتری برای استفاده از منابع سلول دارند. در عمل، روش‌هایی مثل زمان‌بندی عادلانه نسبی^۴ در تلاش برای برقراری یک موازنه بین این دوروش زمان‌بندی حداکثری بالا هستند که در یک مثال ساده، یک ایستگاه پایه ممکن است، همان تعداد بلاک‌های منابع را برای هر موبایلی که از یک

1. Maximum Rate Schedule

2. Round Robin Scheduler

3. Non Real time

4. Proportional Fair Scheduling

سرویس خاصی استفاده می‌کند، اختصاص دهد. موبایل‌های نزدیک‌تر از یک نرخ بیت داده بالاتری نسبت به موبایل‌های راه دور برخوردار هستند، که یک طرح مدولاسیونی سریع و نرخ کدینگ بالاتر را به کار می‌برند، موبایل‌های راه دور نیز برخی از منابع سلول را در اختیار دارند. به طور خلاصه، این زمان‌بندی یکی از اجزاء پیچیده نرم‌افزاری است و یکی از سخت‌ترین بخش از سیستم برای پیاده‌سازی بهینه است. این احتمال وجود دارد که، یک تفاوت مهم بین تولید کنندگان تجهیزات و اپراتورهای شبکه در این بخش وجود داشته باشد.

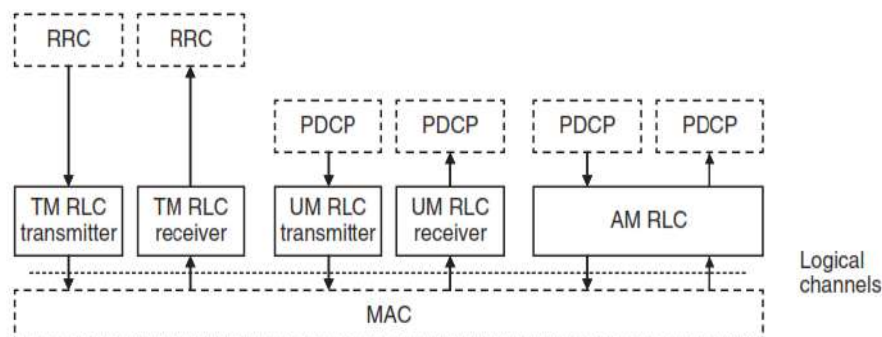
۲-۱۰ پروتکل کنترل لینک رادیویی

۱-۲-۱۰ معماری پروتکل

پروتکل کنترل لینک رادیویی (RLC) ارتباط داده لایه دوم بین موبایل و ایستگاه پایه [۶-۷] را نگهداری می‌کند، برای مثال، یک روش تحویل مطمئنی را برای ارسال داده به طور صحیح از گیرنده به فرستنده را انجام می‌دهد. شکل ۱۰-۴ معماری سطح بالایی از پروتکل RLC را بیان می‌کند. فرستنده واحدهای داده سرویس را از لایه‌های بالاتر در قالب‌های تصحیح شده از بسته‌های IP یا پیام‌های سیگنالینگ می‌گیرد و PDUها را به پروتکل MAC بر روی کانال‌های منطقی می‌فرستد، عکس این عمل درگیرنده اتفاق می‌افتد.

RLC سه حالت اجرایی به نام‌های حالت شفاف (TM)^۱، حالت تصدیق نشده (UM)^۲ و حالت تصدیق شده (AM)^۳ دارد. این حالت‌ها مبتنی بر پایه کانال به کانال تنظیم می‌شوند تا هر کدام از آن کانال منطقی با یک جزئی از RLC همراه می‌شوند، که با یکی از این سه حالت پیکربندی شده‌اند. حالت‌های RLC شفاف و تصدیق نشده و در یک جهت بوده و حالت تصدیق شده دو طرفه می‌باشد.

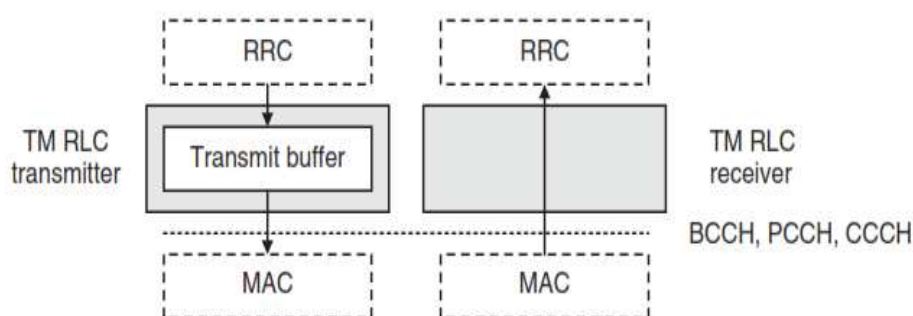
-
1. Transparent Mode
 2. Unacknowledged Mode
 3. Acknowledged Mode



شکل ۱۰-۴ معماری سطح بالایی از پروتکل RLC منبع: TS 36.322 باز نشر با مجوز ETSI

۱۰-۲-۲ حالت شفاف

حالت شفاف سه نوع از پیام‌های سیگنالینگ را حمل می‌کند: پیام‌های اطلاعات سیستم بر روی کانال کنترلی پخش سراسری، پیام‌های فراخوانی بر روی کانال کنترل فراخوانی و پیام‌های برقراری ارتباط RRC بر روی کانال کنترل عمومی. معماری این روش از پروتکل RLC (شکل ۱۰-۵) بسیار ساده می‌باشد.



شکل ۱۰-۵ معماری داخلی حالت شفاف پروتکل RLC منبع: TS 36.322 باز نشر با مجوز ETSI

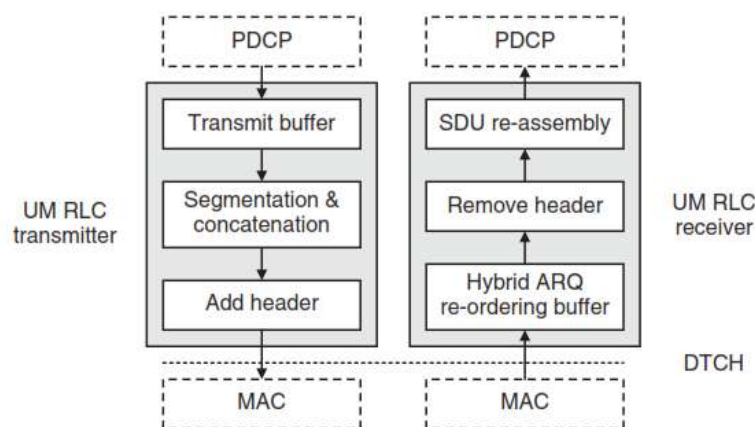
در فرستنده، پروتکل RLC پیام‌های سیگنالینگ را به طور مستقیم از پروتکل RRC دریافت کرده و در یک بافر آنها را ذخیره می‌کند. پروتکل MAC این پیام‌ها را از این بافر به عنوان PDUهای RLC بدون هیچگونه تغییر یا اصلاحی بر می‌دارند. (این پیام‌ها به قدر کافی کوتاه هستند که در یک بلاک انتقال منفرد جا می‌گیرند و نیازی به بخش بخش شدن ندارند). درگیرنده، RLC پیام‌های دریافتی را به طور مستقیم به RRC منتقل می‌کند.

۱۰-۲-۳ حالت تصدیق نشده

حالت تصدیق نشده جریان‌های داده اختصاص یافته به کانال ترافیکی را که تحویل زمانی آنها بسیار مهم‌تر از قابلیت اطمینان آنهاست، مثل Voip و جریان‌های ویدیویی، به کار می‌رود. معماری آن را شکل ۱۰-۶ نشان می‌دهد.

فرستنده RLC واحدهای جریان سرویس را از PDCP در قالبی از بسته‌های IP تصحیح شده، دریافت کرده و آنها را در بافرهایی مثل روش قبلی ذخیره می‌کند. اما در این لحظه، پروتکل MAC به RLC می‌گوید، که یک PDU با اندازه مشخص را ارسال می‌کند. در پاسخ، تابع قطعه بندی و الحاق بسته‌های IP بافر شده را می‌برد و انتهای آنها را به همدیگر متصل می‌کند. در نتیجه، یک بسته PDU با اندازه صحیحی را به MAC تحویل می‌دهد. بنابراین، اندازه PDU خروجی هرگونه تشابه اندازه SDU ورودی را قبول نمی‌کند. در انتها، RLC یک سرایندی که دارای دو قطعه مهم از اطلاعات می‌باشد، را به آن اضافه می‌کند: یک شماره ترتیب PDU و توضیحی از هرگونه الحاق و قطعه‌بندی که انجام یافته است.

PDUها می‌توانند بایک ترتیب مختلفی به گیرنده RLC برسند، چرا که فرایندهای HARQ لایه زیرین آن باعث اینکار می‌شوند. برای مقابله با این مشکل، HARQ تابعی به عنوان مرتب‌سازی دوباره را به کار می‌گیرد، تا PDUهای دریافتی را در یک بافر ذخیره کند و با استفاده از شماره ترتیب‌های آنها، اقدام به ارسال به جلو با ترتیب‌های درست می‌کند. سپس گیرنده می‌تواند سرایند هر PDU را حذف کرده، از سرایند اطلاعات برای برگرداندن فرایند قطعه قطعه بندی و الحاق استفاده کرده و بسته‌های اولیه را بازسازی می‌کند.

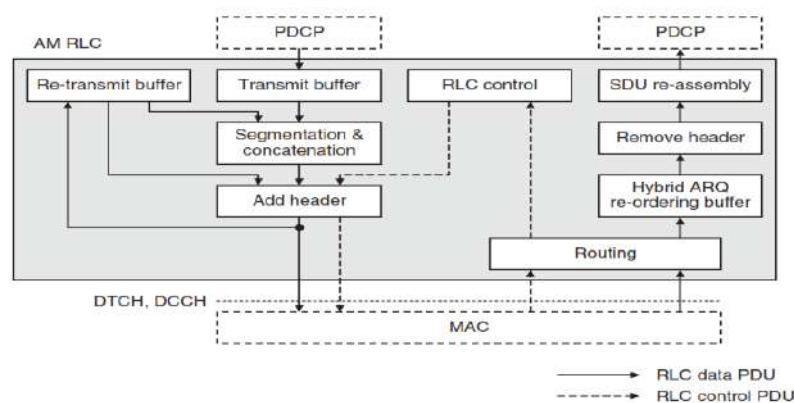


شکل ۱۰-۶ معماری داخلی پروتکل RLC در حالت تصدیق نشده منبع: TS 36.322 باز نشر با مجوز ETSI

۱۰-۲-۴ حالت تصدیق شده

حالت تصدیق شده دو نوع اطلاعات را منتقل می‌کند. جریان‌های داده‌ای که روی کانال‌های ترافیکی اختصاصی هستند، مثل صفحات وب و ایمیل، که در آنها قابلیت اعتماد بسیار مهم‌تر از سرعت تحویل می‌باشد و پیام‌های سیگنالی و ویژه موبایل روی کانال کنترلی اختصاصی. این روش شبیه حالت تصدیق نشده است با این تفاوت بسته‌هایی که به درستی تحویل داده نشده‌اند، را دوباره ارسال می‌کنند. این معماری (شکل ۷-۱۰) دو جهت دارد، به این معنی که همان حالت تصدیق شده است، که انتقال و دریافت را انجام می‌دهد. در اینجا دو نوع از PDU وجود دارند: PDUهایی که داده لایه بالاتر و پیام‌های سیگنالی را حمل می‌کنند و PDUهای کنترلی، که اطلاعات کنترلی ویژه RLC را منتقل می‌سازند.

فرستنده بسته‌های داده را مثل روش RLC تصدیق نشده ارسال می‌کند، اما در این لحظه، فرستنده PDUهای ارسالی را در بافر انتقال مجدد نگهداری می‌کند تا زمانی که بداند PDUهای ارسالی به درستی درگیرنده دریافت شده‌اند. در یک دوره زمانی منظم، فرستنده همچنین یک بیت سرکشی^۱ را در یکی از سرایندهای PDU قرار می‌دهد. این بیت به گیرنده می‌گوید، که نوعی از PDU کنترلی به نام وضعیت PDU^۲ را برگرداند و داده‌های PDU را که دریافت کرده است را لیست کرده و بقیه را که از دست داده است را مشخص نماید. در پاسخ، فرستنده، داده‌های PDU را که به درستی رسیده است، را از بافر انتقال مجدد حذف می‌کند و آنهایی که به درستی نرسیده‌اند را دوباره ارسال می‌کند.



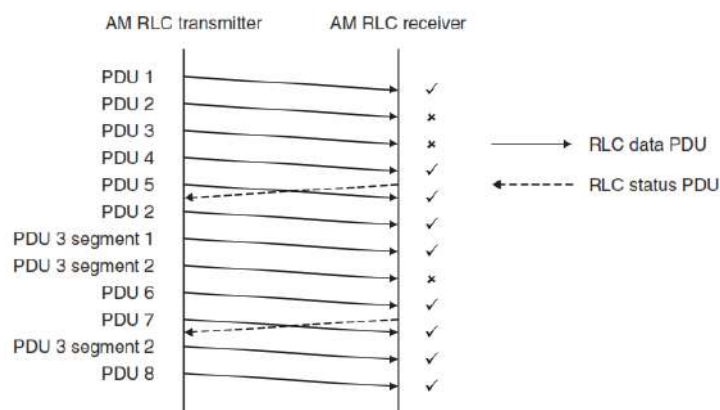
شکل ۷-۱۰ معماری داخلی پروتکل RLC در مد تصدیق شده منبع: TS 36.322 بازنشر با مجوز ETSI

1. Polling Bit
2. Status PDU

در اینجا یک مشکل وجود دارد. اگر SINR در حال افت باشد، ممکن است پروتکل MAC یک درخواست مبنی بر دریافت اندازه کوچک‌تر PDU برای انتقال مجدد از آنچه که دربار اول فرستاده شده بود، را بکند. بنابراین PDUهای موجود در بافر انتقال مجدد، برای انتقال به بسیار بزرگ خواهند بود. برای حل این مشکل، پروتکل RLC می‌تواند PDUهایی که قبلاً ارسال شده‌اند، را به اندازه‌های کوچک‌تر قطعه قطعه کند. برای پشتیبانی از این فرایند، یک فیلد اضافی به سرایند PDU افزوده می‌شود، که وضعیت یک قطعه انتقال مجدد در یک PDU ای که قبلاً ارسال شده است، را مشخص می‌کند. گیرنده می‌تواند هر قطعه را به صورت جداگانه‌ای تصدیق کند، که این کار را با استفاده از همان فیلد اضافه در وضعیت PDU انجام می‌دهد.

شکل ۸-۱۰ یک مثال را نشان می‌دهد. در شروع ترتیب ارسال، فرستنده چهار PDU داده را برای گیرنده ارسال می‌کند و به هر کدام از آنها یک برچسب شماره ترتیب اختصاص می‌دهد. PDUهای ۱ و ۴ درگیرنده دریافت می‌شوند، اما PDUهای ۲ و ۳ دریافت نمی‌شوند (به طور دقیق، HARQ فرستنده به حداکثر تعداد انتقال مجدد خود رسیده و به PDU بعدی می‌رود).

فرستنده یک بیت سرکشی را در PDU چهار قرار داده و گیرنده با برگرداندن وضعیت PDU به آن پاسخ می‌دهد. فرستنده می‌تواند PDU دو را مجدداً ارسال کند، اما یک افت SINR رخ می‌دهد، به این معنی که PDU سه اندازه بسیار بزرگی دارد. در پاسخ، فرستنده PDU سه را به دو قسمت تقسیم می‌کند و هر کدام را به طور جداگانه‌ای ارسال می‌کند. اولین قطعه از PDU سه به درستی دریافت می‌شود. اما قطعه دوم آن از دست می‌رود. در پاسخ به وضعیت PDU دیگر، فرستنده می‌تواند قطعه اول را نفرستد و قطعه دوم را دوباره ارسال کند.



شکل ۸-۱۰ عملیات انتقال، انتقال مجدد، قطعه‌بندی مجدد در RLC تصدیق شده

۳-۱۰ پروتکل همگرایی داده بسته

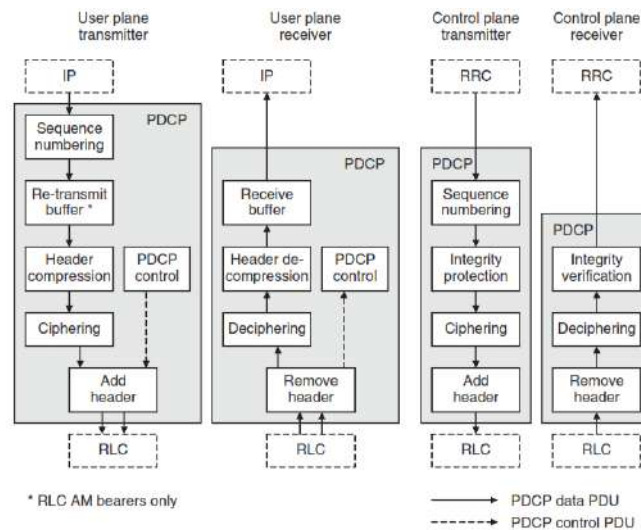
۱-۳-۱۰ معماری پروتکل

پروتکل PDCP [۸ و ۹] از جریان‌های داده پشتیبانی می‌کند، که از حالت RLC تصدیق شده استفاده می‌کنند، تا هیچ یک از بسته‌هایی که در طول یک دست به دست کردن رد و بدل می‌شوند، از بین نروند. علاوه بر این، سه توابع واسط هوایی، به نام‌های فشرده‌سازی سرایند، رمزنگاری و حفاظت از جامعیت را برای مدیریت واسط هوایی به کار می‌برد. ما در اینجا فشرده‌سازی سرایند را پوشش خواهیم داد و رمزنگاری و حفاظت از جامعیت در فصل دوازدهم بررسی خواهیم کرد.

PDCP تنها توسط ترافیک اختصاصی و کانال‌های کنترلی برای پروتکل زیرین RLC استفاده می‌شود تا در حالت‌های تصدیق شده و تصدیق نشده RLC به کار گرفته شود. همان گونه که در شکل ۱۰-۹ نشان داده شده است، معماری مختلفی بین داده و سیگنالینگ وجود دارد.

در پلان کاربری، فرستنده واحدهای داده سرویس PDCP را در قالب بسته‌های IP دریافت کرده یک شماره ترتیب PDCP به آنها اضافه می‌کند و هر بسته‌ای که در حالت تصدیق شده RLC در یک بافر انتقالی مجدداً استفاده می‌شده، را ذخیره می‌کند. سپس فرستنده سرایندهای IP را فشرده کرده، و اطلاعات را رمزنگاری می‌کند. یک سرایند PDCP به آن افزوده و PDU خروجی حاصل می‌شود. درگیرنده عکس این عمل اتفاق می‌افتد. بسته‌های رسیده در بافر دریافتی ذخیره می‌شوند و از یک شماره ترتیب برای تحویل آنها با ترتیب درست به لایه‌های بالاتر استفاده می‌گردد.

در پلان کنترلی، پیام‌های سیگنالینگ از طریق یک فرایند امنیتی اضافه‌ای به نام حفاظت از جامعیت محافظت می‌شوند. در اینجا بافر انتقال مجددی وجود ندارد، چرا که تابع انتقال مجدد تنها برای داده استفاده می‌شود و هیچگونه سرایند IP برای فشرده‌سازی وجود ندارد.



شکل ۱۰-۹ معماری PDCP

۱۰-۳-۲ فشرده‌سازی سرایند

سرایندها می‌توانند تا حدود زیادی جریان داده را با کندی مواجه سازند. به عنوان مثال، کدک چند نرخ‌ی وقتی (AMR)^۱ باند باریک یک نرخ بیت از 4.75 تا 12.2 Kbps برخوردار است و دوره بسته ۲۰ میلی ثانیه می‌باشد، به طور معمول اندازه هر بسته حدوداً ۱۵ الی ۳۰ بایت را می‌گیرد [۱۰]. اما این سرایند به طور عادی، شامل ۴۰ تا ۶۰ بایت است. ۱۲ بایت از پروتکل بلازنگ (RTP)^۲، هشت بایت از PDU و ۲۰ بایت از IP نسخه چهار و یا ۴۰ بایت از IP نسخه ۶ فشرده‌سازی می‌شوند. سرپاره حاصل شده مهم نیست بنابراین، هسته بسته تکامل یافته (EPC) سرویس‌های داده را بسیار سریع انتقال می‌دهد. اما این برای سراسر واسط هوایی نامناسب است، چرا که لینک‌های بی‌سیم همانند گلوگاه عمل می‌کنند و یک سلول ممکن است گاهی شدیداً تحت تأثیر تماس صوتی قرار بگیرد.

برای حل این مشکل، PDCP از یک پروتکل شناخته شده IETF به نام فشرده‌سازی سرایند قدرتمند (ROCH)^۳ استفاده می‌کند [۱۱]. مفاهیم پایه این است که فرستنده سرایند کامل را در بسته اولیه ارسال می‌کند، اما در بسته‌های پی در پی بعدی تنها تغییرات را ارسال می‌نماید. اغلب سرایند از همان بسته اولیه به بسته‌های بعدی باقی می‌ماند. بنابراین تفاوت قابل توجهی در سرایند بسته‌ها

1. Adaptive Multi Rate
2. Real Time Protocol
3. Robust Header Compression

ایجاد می‌شود. این پروتکل می‌تواند سرایند بسته اولیه ۴۰ و ۶۰ را به سرایندهای کمتر از ۲ و ۳ بایتی فشرده‌سازی کند، که به طور قابل توجهی سرریز را کاهش می‌دهد. پروتکل ROHC یک مزیت نسبت به سایر پروتکل‌های فشرده‌سازی سرایند دارد و این است که، این پروتکل طوری طراحی شده است که، حتی اگر نرخ از دست دادن بسته‌ها بالا باشد، به درستی کار می‌کند و این ویژگی آن را برای استفاده در لینک داده غیر قابل اعتماد مثل واسط هوایی LTE مناسب می‌سازد، بخصوص برای جریان‌های داده بلادرنگ، مثل صوت (VoIP) که از حالت تصدیق نشده RLC استفاده می‌کند.

۳-۳-۱۰ جلوگیری از دست رفتن بسته در طول فرایند دست به دست کردن

هنگامیکه جریان‌های داده ارسالی با استفاده از حالت تصدیق شده RLC در حال ارسال هستند، PDCP هر واحد داده سرویس را در بافر انتقالی مجدد خود تا زمانی که RLC بگوید که SDU با موفقیت دریافت شده است، را نگهداری می‌کند. در طول یک فرایند دست به دست کردن، فرایندهای انتقال و دریافت به طور موقتی قطع می‌شوند، چرا که خطر از دست دادن بسته‌ها وجود دارد. بعد از اتمام دست به دست کردن، PDCP مشکل فوق را با انتقال مجدد همه واحدهای داده سرویس که ذخیره کرده بود، حل می‌کند.

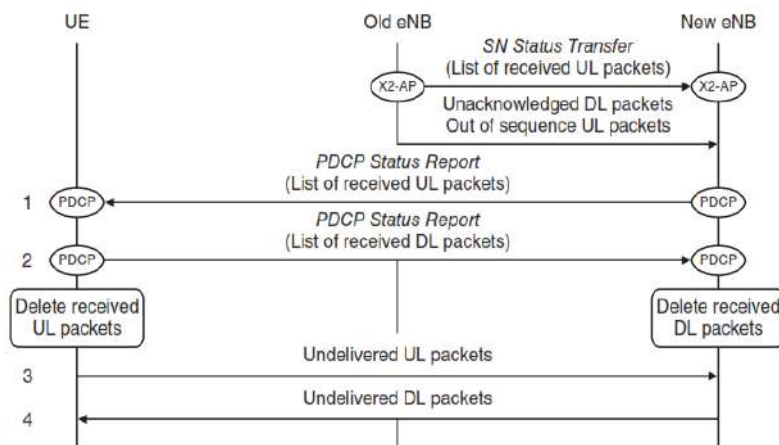
با اینحال، یک مشکل دیگر نیز وجود دارد، بعضی از آن واحدهای داده سرویس ممکن است، واقعا به مقصد رسیده باشند، اما در عوض تصدیق‌های آنها گم شده باشند. برای جلوگیری از ارسال مجدد آنها، سیستم می‌تواند یک فرایند ثانویه‌ای به نام گزارش‌گیری وضعیت PDCP^۱ را به کار بگیرد و شکل ۱۰-۱۰، تأثیر بکارگیری هر دو فرایند را نشان می‌دهد. قابل توجه است که پیام‌ها در این شکل فقط برای حامل‌هایی که از حالت تصدیق شده RLC استفاده می‌کنند به کار می‌روند.

به عنوان بخشی از فرایند دست به دست کردن که در فصل چهاردهم به آن پرداخته می‌شود، ایستگاه پایه قدیمی پیام X2-AP به نام انتقال وضعیت SN^۲ را که لیستی از اعداد دنباله‌ای PDCP‌های دریافت شده در لینک فراسو است، ارسال می‌کند. علاوه بر این، ایستگاه پایه قدیمی، هر واحدهای داده سرویس PDCP لینک فروسو که موبایل هنوز تصدیق نکرده است، را به

1. PDCP Status Eporting

2. SN Status Transfer

ایستگاه پایه جدید منتقل می‌کند. همچنین SDUهای لینک فراسو که خارج از ترتیب دریافت کرده است، را به ایستگاه پایه جدید می‌فرستند.



شکل ۱۰-۱۰ گزارش‌دهی وضعیت PDPC و جلوگیری از دست رفتن بسته‌ها
بعد از یک دست به دست کردن

اکنون ایستگاه پایه جدید یک PDU کنترلی PDPC به نام گزارش وضعیت PDPC^۱ را به موبایل ارسال می‌کند (مرحله ۱)، که این PDU کنترلی لیستی از شماره ترتیب‌های است، که از ایستگاه پایه قدیمی دریافت کرده است. موبایل می‌تواند شماره‌های ترتیب ارسالی را از لیست بافر انتقال خودش حذف کند و تنها باقی‌مانده آنها را مجدداً ارسال کند (مرحله ۳). در همان لحظه، موبایل می‌تواند یک گزارش وضعیت PDPC را به ایستگاه پایه ارسال کند (مرحله ۲)، که این گزارش لیستی از شماره ترتیب‌های PDPC می‌باشد که، موبایل در لینک فرسو دریافت کرده است. ایستگاه پایه آن را به همان روش قبل حذف می‌کند، قبل از آن که انتقال مجدد خودش را آغاز کند (مرحله ۴).

منابع و مأخذ این فصل

- 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, July 2013.
- 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (Logical Channel Config, MAC-Main Config), September 2013.

1. PDPC Status Reporting

3. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 4.2.3, September 2013.
4. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (Time Alignment Timer), September 2013.
5. 3GPP TS 36.133 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for Support of Radio Resource Management, Release 11, Section 9.1.8, September 2013.
6. 3GPP TS 36.322 (2012) Radio Link Control (RLC) Protocol Specification, Release 11, September 2012.
7. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (RLC-Config), September 2013.
8. 3GPP TS 36.323 (2013) Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification, Release 11, March 2013.
9. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (PDCP-Config), September 2013.
10. 3GPP TS 26.101 (2012) Mandatory Speech Codec Speech Processing Functions; Adaptive Multi-Rate (AMR) Speech Codec Frame Structure, Release 11, Annex A, September 2012.
11. IETF RFC 4995 (2007) The RObust Header Compression (ROHC) Framework, July 2007.

فصل یازدهم: فرایندهای فعال سازی و

غیرفعال سازی توان

حال بحث خود را درباره واسط هوایی LTE به اتمام برده ایم. در هفت فصل آتی روی لایه های سیگنالینگ که توسط عملیات سطح بالای LTE کنترل می شود، متمرکز خواهیم شد. در این فصل، ما فرایندهای که یک موبایل بعد از آن که روشن می شود، دنبال کرده و یک سلول را انتخاب می کند و موقعیت خود را در شبکه به ثبت می رساند، را بحث می کنیم. ما بحث را از لایه های سطح بالا شروع می کنیم و سپس با سه مرحله اصلی از شبکه و انتخاب سلول، برقراری اتصال RRC و ثبت نام با EPC را پی می گیریم. در آخرین بخش، فرایند قطع اتصال^۱ از شبکه را که از طریق خاموش کردن موبایل صورت می گیرد، را بحث خواهیم کرد. به عنوان بخشی از این فصل، ما با برخی از لایه های سطح پایین که قبلاً به آنها برخورد کرده بودیم، را مرور می کنیم، به ویژه فرایندهای مربوط به تملک سلول و دسترسی تصادفی در این فصل مرور خواهد شد.

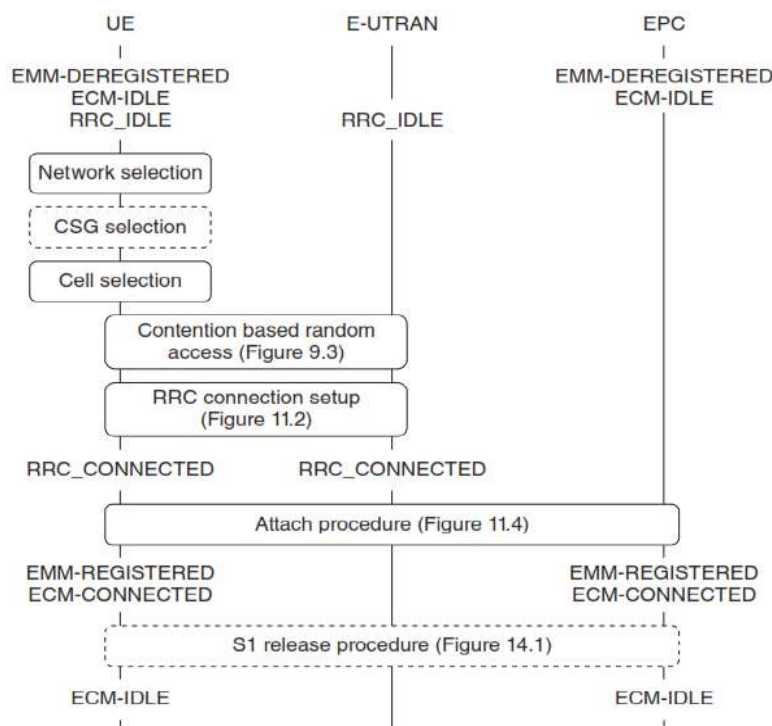
انتخاب شبکه و سلول توسط دو مشخصات فنی 3GPP که توصیف کننده حالت غیرفعال برای NAS [۱] و AS [۲] هستند، پوشش داده می شوند. فرایندهای سیگنالینگ در بقیه فصل بر اساس مشخصات فنی معمولی مرحله دوم برای LTE خلاصه سازی شده است [3,4]. اگر خواننده ای علاقمند به خواندن جزئیات این لایه ها باشد، می تواند مرحله سوم از مشخصات مربوط به سیگنالینگ [۵-۹] را بخواند، که لایه های روی هر دو واسط را به طور جداگانه تعریف کرده و همه پیام های سیگنالینگ را پوشش می دهند.

۱-۱۱ ترتیب فعال سازی توان

شکل ۱-۱۱ خلاصه ای از فرایندهایی که موبایل پس از روشن شدن دنبال می کند، را نشان می دهد. موبایل فرایندی را برای انتخاب شبکه و سلول آغاز می کند، که دارای سه مرحله است. در مرحله نخست، موبایل یک شبکه موبایل زمینی عمومی (PLMN) را انتخاب می کند تا آن شبکه را ثبت کند. در مرحله دوم، به طور اختیاری، موبایل می تواند از کاربر بخواهد تا یک گروه مشتریان محرمانه (CSG)^۲ را برای ثبت نام انتخاب نماید. در مرحله سوم، موبایل سلولی از شبکه که انتخاب کرده است را بر میگزیند و در صورت اضطرار این سلول متعلق به CSG انتخاب شده نیز می باشد. با انجام اینکار، گفته می شود که موبایل به سلول Camp (چنبره) زده است.

1. Detach

2. Closed Subscriber Group



شکل ۱۱-۱ مروری بر فرایندهای فعال‌سازی توان موبایل

سپس موبایل با ایستگاه پایه مربوطه با استفاده از فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت که در فصل نهم بیان شد، ارتباط برقرار می‌کند و فرایند مربوط به برقراری ارتباط RRC را شروع می‌کند. در طول برقراری فرایند RRC، موبایل یک ارتباط سیگنالینگ با ایستگاه پایه انتخاب شده را برقرار کرده، حامل ۱ سیگنالینگ رادیویی را پیکربندی می‌کند و از حالت RRC_IDLE به حالت RRC_CONNECTED می‌رود. همچنین موبایل مجموعه‌ای از پارامترها را به دست می‌آورد، که از طریق آنها بتواند با ایستگاه پایه ارتباط برقرار کند، مثلاً، مجموعه‌ای از منابع برای انتقال اطلاعات کنترلی لینک فراسو روی کانال کنترلی فیزیکی لینک فراسو (PUCCH) از جمله آنهاست.

در مرحله نهایی، موبایل فرایند اتصال به شبکه را جهت برقراری ارتباط با EPC اجرا می‌کند. در نتیجه این فرایند، موبایل موقعیت خود در شبکه را از طریق یک موجودیت مدیریت قابلیت تحرک (MME) در شبکه به ثبت می‌رساند و به حالت EMM-REGISTERED و ECM-CONNECTED می‌رود. همچنین موبایل حامل ۲ سیگنالینگ رادیویی خود را پیکربندی می‌کند، یک آدرس IP به

دست می‌آورد و یک حامل پیش فرض برقرار می‌کند تا از طریق آن بتواند با جهان خارج ارتباط برقرار نماید.

حال موبایل در حالت‌های EMM-REGISTERED و ECM-CONNECTED است و تا زمانی که در حال مخابره داده با شبکه است، در آن وضعیت‌ها باقی می‌ماند. اگر کاربر موبایل اطلاعاتی برای ارسال/دریافت نداشته باشد، شبکه می‌تواند با استفاده از فرایندی به نام برچیدن S1 که در فصل چهاردهم پوشش داده می‌شود، موبایل را به حالت‌های ECM-IDLE و RRC_IDLE منتقل کند.

۱۱-۲ انتخاب شبکه و سلول

۱۱-۲-۱ انتخاب شبکه

در فرایند انتخاب شبکه [۱۰-۱۲] موبایل شبکه PLMN را که در آن ثبت خواهد شد، را انتخاب می‌کند. برای آغاز این فرایند، UE ابتدا USIM را بررسی کرده و شناسه موقت منحصر به فرد جهانی (GUTI) را بازیابی می‌کند، که موبایل آن را در آخرین زمان روشن بودن خودش استفاده کرده بود و شناسه ناحیه ردیابی که در آن ثبت شده بود، را به دست می‌آورد. از روی این مقادیر، شبکه را شناسایی می‌کند که به عنوان PLMN ثبت شده^۱ شناخته می‌شود. موبایل فرایندهای انتخاب CSG و سلول را به طوری که در زیر توصیف می‌شود اجرا می‌کند، به امید آن که یک سلول مناسب که متعلق به شبکه PLMN ثبت شده است، را پیدا کند.

اگر موبایل نتواند PLMN ثبت شده‌ای را پیدا کند، کلیه فرکانس‌های حامل LTE را که از آنها پشتیبانی می‌کند، را جاروب (اسکن) می‌کند و شبکه‌هایی که در واقع می‌تواند پیدا کند، را شناسایی می‌کند. برای انجام این کار، موبایل فرایند تملک که در فصل هفتم بیان شد، را برای یافتن قوی‌ترین سلول روی هر فرکانس را به کار می‌برد و SIB1 را از روی اطلاعات سیستمی خود خوانده و شبکه‌هایی که سلول متعلق به آنها است را شناسایی می‌کند. اگر موبایل از GSM و UMTS یا cdma2000 پشتیبانی می‌کند، همان فرایند مشابه را برای یافتن شبکه‌هایی که از این فناوری‌ها استفاده می‌کنند، به کار می‌برد.

پس دو نوع انتخاب شبکه وجود دارد: روش انتخاب خودکار و روش انتخاب دستی. در روش خودکار^۲، موبایل به ترتیب اولویت فرایندی که از طریق آن لیستی از شبکه‌هایی که باید

1. Registered PLMN

2. Automatic Mode

PLMN خانگی باشد، را به همراه یک لیستی که فناوری‌های دسترسی رادیویی پیدا می‌کند، را اجرا می‌کند. (هر دو این لیست روی USIM ذخیره شده است). هنگامی که موبایل با شبکه‌ای که قبلاً پیدا کرده بود، مواجه شد، فرایندهای CSG و انتخاب سلول را به روشی که در زیر بیان می‌شود، اجرا می‌کند.

اگر موبایل نتواند یک PLMN خانگی را پیدا کند، موبایل این فرایند را از ابتدا با هر لیست تعریف شده از سوی کاربر برای شبکه و فناوری‌های دسترسی رادیویی، تکرار می‌کند و سپس این عمل را برای هر لیست تعریف شده از اپراتور نیز تکرار می‌نماید. اگر موبایل نتواند هیچکدام از آن شبکه‌ها را پیدا کند، تلاش می‌کند تا یک سلول از هر شبکه‌ای که در دسترس است، را انتخاب نماید. در مورد آخر، موبایل به وضعیت محدودیت سرویس می‌رود و تنها تماس‌های ضروری را برقرار کند و تنها می‌تواند هشدارهای زلزله و سونامی را دریافت نماید.

در روش دستی^۱، موبایل لیستی از شبکه‌هایی را که یافته است، را به کاربر ارائه می‌دهد. برای این کار، همان فرایند قبلی را به کار می‌گیرد. کاربر یک شبکه را انتخاب می‌کند و موبایل فرایندهای CSG و انتخاب سلول را مثل قبل انجام می‌دهد.

۱۱-۲-۲ انتخاب گروه مشترکین محرمانه

یک ایستگاه پایه خانگی، ایستگاه پایه‌ای است، که یک فمتوسل را کنترل می‌کند و تنها توسط کاربرانی که ثبت‌نام شده‌اند، قابل دستیابی است. برای پشتیبانی از این محدوده، ایستگاه پایه ممکن است، به همراه یک CSG و نام eNB خانگی باشد، که آن را به ترتیب در SIB1 و SIB9 معرفی می‌کند. هر USIM لیستی از گروه‌های مشترکین محرمانه است، که به این کاربران اجازه دسترسی به آنها داده شده است و شناسه شبکه مربوط به آن نیز در آن لیست موجود می‌باشد.

اگر USIM دارای لیستی از گروه مشترکین محرمانه باشد، موبایل باید یک فرایند اضافه دیگری به نام انتخاب CSG^۲ را اجرا کند [۱۴، ۱۵]. این فرایند دو حالت اجرایی دارد: خودکار و دستی که از روش‌های انتخاب شبکه که در بالا اشاره شد، متفاوت است. در روش خودکار^۳، موبایل گروه‌های CSG مجاز را به فرایند انتخاب سلول ارسال می‌کند یا یک سلول بدون CSG و یا سلولی که در لیست CSG قرار دارد، را انتخاب می‌نماید.

-
1. Manual Mode
 2. CSG Selection
 3. Automatic Mode

روش/انتخاب دستی^۱ بسیار محدودتر می‌باشد. در این روش، موبایل لیست CSG های مجاز را از شبکه انتخاب شده در اختیار کاربر قرار می‌دهد، همچنین موبایل eNB های خانگی مربوط به هر گروه را نیز مشخص می‌کند، علاوه بر آن لیست CSG های مجاز در گروه‌های CSG را نیز مشخص می‌سازد. کاربر یکی از آنها را انتخاب کرده و موبایل یک سلول مربوط به آن CSG را انتخاب می‌کند.

۱۱-۲-۳ انتخاب سلول

در طول فرایند/انتخاب سلول^۲ [۱۶] موبایل یک سلول مناسب^۳ را انتخاب می‌کند، که متعلق به شبکه انتخابی باشد و در صورت نیاز یک گروه مشترکین محرمانه را نیز انتخاب می‌کند. موبایل این کار را به دو روش انجام می‌دهد، معمولاً، موبایل به اطلاعات ذخیره شده درباره فرکانسی‌های حامل بالقوه LTE و سلول‌ها دسترسی دارد. این اطلاعات را یا از آخرین بار روشن شدن خود یا از روی فرایندهای انتخاب شبکه که در بالا اشاره شد، بدست می‌آورد. اگر این اطلاعات موجود نباشد، پس موبایل کلیه فرکانس‌های حامل را که از آنها پشتیبانی را جاروب کرده و قوی‌ترین سلول روی هر حامل که متعلق به شبکه انتخاب شده است، را شناسایی می‌کند. یک سلول مناسب، سلولی است که معیارهای مختلفی را فراهم می‌کند، مهم‌ترین معیار انتخاب سلول این است:

$$S_{rxlev} \geq 0 \quad (1-11)$$

در طول فرایند انتخاب اولیه شبکه، موبایل S_{rxlev} را به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$S_{rxlev} = Q_{rxlevmeas} - Q_{rxlevmin} - P_{compensation} \quad (2-11)$$

در این رابطه، $Q_{rxlevmeas}$ توان دریافتی سیگنال مرجع (RSRP)^۴ سلول است، که میانگین توان به ازای هر عنصر منبع می‌باشد و آن را روی سیگنال‌های مرجع ویژه سلول دریافت می‌کند [۱۷]. $Q_{rxlevmin}$ ، کمترین مقدار برای RSRP است، که ایستگاه پایه آن را روی SIB1 ارائه می‌دهد. این مقادیر می‌خواهند مطمئن شوند، که اگر موبایل انتقال‌های ایستگاه پایه را در لینک فراسو می‌شنود، تنها یک سلول را انتخاب کند. آخرین پارامتر، $P_{compensation}$ است، که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

1. Manual Mode
2. Cell Selection
3. Suitable Cell
4. Reference Signal Received Power

$$P_{compensation} = \max(P_{EMAX} - P_{PowerClass}, 0) \quad (3-11)$$

در این رابطه، P_{EMAX} یک محدودیت کران بالا روی توان ارسالی است که موبایل اجازه استفاده از آن را دارد و ایستگاه پایه آن را در بخشی از SIB1 به موبایل ارسال می‌کند. $P_{PowerClass}$ حداکثر توان ذاتی موبایل است، که مشخصات فنی 3GPP آن را بیان می‌کند و نسبت 23dB به 1 mW(dBm) است و به عبارت دیگر حدود 200mW می‌باشد.

با ترکیب این مقادیر، $P_{compensation}$ مقدار S_{rxlev} را در صورتی که موبایل نتواند به محدودیت توانی که ایستگاه پایه در نظر گرفته، برسد، را کاهش می‌دهد. علاوه بر این $P_{compensation}$ مطمئن می‌شود که، موبایل سلولی را که ایستگاه پایه آن را در لینک فراسو می‌بیند، را انتخاب خواهد کرد. فرایند انتخاب سلول در مشخصات فنی 3GPP نسخه نهم بهبود یافته است، بنابراین یک سلول مناسب باید دارای ملاک زیر نیز است.

$$S_{qual} \gg 0 \quad (4-11)$$

در حالی که:

$$S_{qual} = Q_{qualmeas} - Q_{qualmin} \quad (5-11)$$

در این رابطه، $Q_{qualmeas}$ کیفیت سیگنال مرجع دریافتی ($RSRQ$) است، که بیانگر نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل سیگنال‌های مرجع ویژه سلول می‌باشد. $Q_{qualmin}$ ، کمترین مقدار برای $RSRQ$ است که ایستگاه پایه آن را مثل قبل در SIB1 به موبایل ارسال می‌کند. این شرایط باعث می‌شوند، که یک موبایل از انتخاب سلولی که در فرکانس حامل قرار گرفته و سطح تداخل آن بالا می‌باشد، جلوگیری به عمل آورند.

علاوه بر این یک سلول مناسب باید تعدادی دیگر از معیارها را داشته باشد. در صورتی که اگر USIM دارای یک لیست از گروه‌های مشترکین محرمانه (CSG) باشد، پس ایستگاه پایه باید معیارهایی برای انتخاب دستی و خودکار CSG را که در بالا توصیف شد، در اختیار داشته باشد. چنانچه USIM فاقد چنین لیستی بود، ایستگاه پایه هرگونه گروه مشترکین محرمانه را دور می‌ریزد. به علاوه، اپراتور شبکه می‌تواند یک سلول را برای همه کاربران بدهد یا آن را برای استفاده خود اپراتور طبق پرچم‌های SIB1 در نظر بگیرد.

۳-۱۱ برقراری اتصال RRC

۳-۱۱-۱ فرایند پایه‌ای

هنگامی که موبایل یک شبکه را انتخاب کرده و در یک سلول جای می‌گیرد. در ادامه، فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت را که در فصل نهم بیان شد، آغاز می‌کند. با انجام آن، یک C-RNTI، یک مقدار ابتدایی برای تنظیم پیشبرد زمانی و منابع رادیویی کانال اشتراک‌گذاری فیزیکی لینک فراسو (PUSCH) را به دست می‌آورد، که از طریق آنها بتواند یک پیام به شبکه ارسال کند.

سپس موبایل فرایندی به نام *برقراری ارتباط RRC^۱* [۱۸] را آغاز می‌کند. ترتیب اجرای این فرایند را در شکل ۳-۱۱ مشاهده می‌کنیم. در مرحله نخست، پروتکل RRC موبایل یک پیام به نام *درخواست ارتباط (اتصال) RRC^۲* را می‌سازد. در این پیام، موبایل دو پارامتر را معین می‌کند. اولین پارامتر یک شناسه یکتا برای NAS است و دومین پارامتر یا یک S-TMSI (اگر موبایل قبلاً در یک سلول داخل ناحیه ردیابی در آخرین زمان روشن بودن ثبت‌نام شده باشد) است یا یک مقدار انتخابی به صورت تصادفی (در غیر این صورت). پارامتر دوم یک مقدار موردی برای برقراری ارتباط می‌باشد، که موبایل می‌تواند سیگنالینگ خود را آغاز کند (مانند این مثال) و موبایل ارسال داده‌ای را آغاز کرده باشد، یک درخواست دسترسی به موبایل منتهی گردد (مثل پاسخ به یک فراخوانی)، دسترسی با اولویت بالا وجود داشته باشد یا یک تماس اضطراری برقرار گردد.

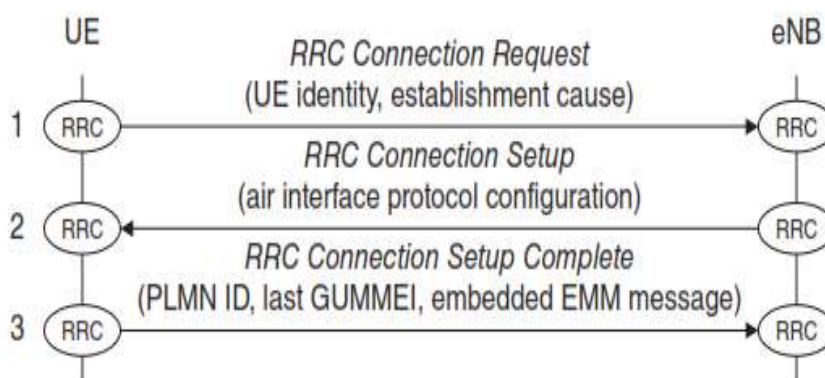
موبایل می‌تواند پیام‌ها را از طریق سیگنالینگ حامل رادیویی صفر که پیکربندی ساده‌ای دارد، ارسال نماید. ایستگاه پایه این حامل را در SIB2 تبلیغ می‌کند. این پیام روی کانال‌های کنترل عمومی، اشتراک‌گذاری لینک فراسو و اشتراک‌گذاری فیزیکی لینک فراسو منتقل گردد.

ایستگاه پایه، پیام را خوانده و در نقش eNB سرویس دهنده قرار می‌گیرد و یک پاسخی به نام *برپایی ارتباط RRC^۲* می‌سازد (مرحله ۲). در این پیام، ایستگاه پایه لایه فیزیکی و پروتکل‌های MAC و همچنین SIB1 موبایل را پیکربندی می‌کند.

این پیکربندی دارای چندین پارامتری است، که ما در شکل می‌بینیم. برای مثال، پارامترهای لایه فیزیکی دارای منابع $n_{PUCCH}^{(1)}$ ، $n_{PUCCH,SRI}^{(1)}$ ، $n_{PUCCH}^{(2)}$ ، روش گذارش‌گیری CQI و شناسه‌های موقت شبکه رادیویی مثل TPC-PUSCH-RNTI و TPC-PUCCH-RNTI هستند. به همین ترتیب، پارامترهای MAC دارای تایمر تنظیم زمان، تایمرهایی برای گزارش‌های وضعیت بافر دوره‌ای و

-
1. RRC Connection Establishment
 2. RRC Connection Request
 3. RRC Connection Setup

حداکثر تعداد انتقال‌ات HARQ روی لینک فراسو است. در پایان، پارامترهای SIB1 دارای اولویت‌ها و نرخ بیت‌های اولویت‌بندی شده کانال‌های منطقی مربوطه بوده و پارامترهایی که کنترل‌کننده نمونه‌برداری و گزارش‌های وضعیت در RRC هستند را دارا می‌باشد. برای کاهش اندازه این پیام، ایستگاه پایه مقادیر برخی از پارامترها را با مقدار پیش فرضی که در مشخصات فنی 3GPP آورده شده است، جایگزین می‌کند. مثل قبل، ایستگاه پایه پیام‌های خود را روی SRB0 ارسال می‌کند، چرا که موبایل هنوز پیکربندی SRB1 را نمی‌داند.



شکل ۱۱-۲ فرایند برقراری اتصال RRC منبع: TS 36.331 بازنشر با مجوز ETSI

موبایل این پیام را خوانده، پیکربندی پروتکل‌های خود را طبق آنچه که نیاز است، انجام می‌دهد و به حالت RRC_CONNECTED می‌رود. سپس موبایل یک پیام پیکربندی به نام /تمام بر پایی /ارتباط RRC^۱ (مرحله ۳) را نوشته و آن را روی SRB1 ارسال می‌کند. در این پیام، موبایل سه عنصر اطلاعاتی را قرار می‌دهد: نخست، شناسه‌های PLMN که موبایل مایل است با آنها در آن شبکه ثبت‌نام کند. دوم، شناسه منحصر به فرد جهانی MME ای که قبلاً به موبایل سرویس می‌داد و موبایل آن را از روی GUTI خودش استخراج کرده است. سومین اطلاعات، یک پیام مدیریت قابلیت تحرک EPS است، که ایستگاه پایه در ادامه به MME منتقل خواهد کرد. در این مثال، پیام ضمیمه شده یک درخواست اتصال به شبکه است، با این حال، این پیام می‌تواند یک درخواست قطع /ارتباط با شبکه^۲، یک درخواست سرویس یا یک درخواست به روزرسانی ناحیه ردیابی نیز باشد.

1. RRC Connection Setup Complete

2. Detach

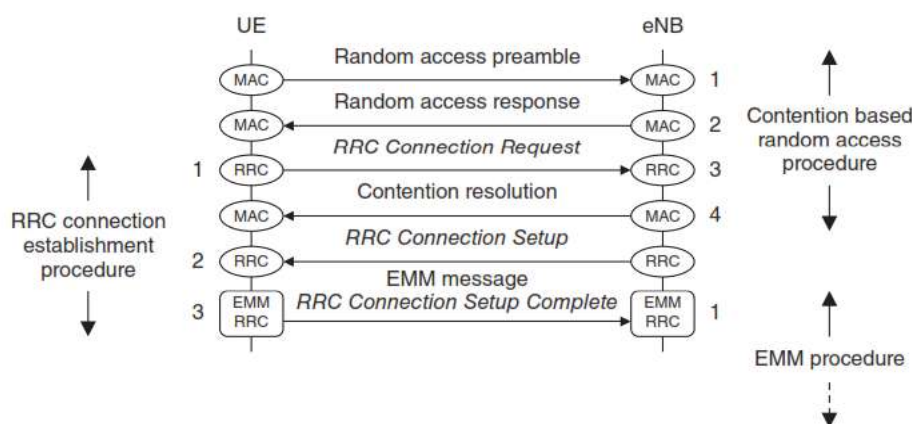
فرایند برقرار ارتباط RRC بعداً نیز استفاده می‌شود، هر زمانی که یک موبایل در حالت RRC_IDLE باشد و بخواهد با شبکه ارتباط داشته باشد، آن را به کار می‌برد.

۱۱-۳-۲ ارتباط با سایر فرایندها

همان گونه که در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است، فرایند برقراری ارتباط RRC با دو فرایند دیگر هم‌پوشانی دارد. این فرایندها یکی فرایند دسترسی تصادفی است، که قبلاً به آن پرداخته‌ایم و دیگری فرایند مدیریت قابلیت تحرک (EMM) است، که در ادامه به آن می‌پردازیم.

موبایل درخواست ارتباط RRC خود را در مرحله سوم از فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت ارسال می‌کند. بنابراین ایستگاه پایه این پیام را از دو طریق استفاده می‌کند: ایستگاه پایه این پیام را در طول دوره دقت رقابت به موبایل بر می‌گرداند و با برپایی ارتباط RRC به این پیام پاسخ می‌دهد. به طور مشابه، پیام اتمام برپایی ارتباط RRC مرحله اول از فرایند EMM است، که به شرح زیر می‌باشد. ایستگاه پایه پیام RRC را قبول می‌کند و به عنوان تصدیقی از برپایی ارتباط RRC خودش می‌داند، پیام EMM ضمیمه شده را به یک MME مناسب منتقل می‌کند. همپوشانی فرایندها، دنبال کردن آنچه که اتفاق را سخت‌تر می‌کند، اما، یک مزیت بزرگ دارد: همپوشانی فرایندها باعث کاهش تأخیر سیگنالینگ نسبت به سیستم‌های گذشته می‌شود، که این موضوع به سیستم کمک می‌کند تا به نیازمندی‌های تأخیر خود دست پیدا کند، که ما آنها را در فصل اول بیان کرده بودیم.

در اینجا یک نکته پایانی وجود دارد. در شکل‌های ۱۱-۲ و ۱۱-۳ ما تنها پیام‌های سیگنالینگ سطح بالا را که روی PDSCH و PUSCH منتقل می‌شوند، را نشان دادیم. ما از نشان دادن اطلاعات کنترلی سطح پایین‌تر روی PUCCH، PDCCH، و PUSCH و همچنین امکان انتقال‌های مجدد پرهیز کردیم. این بحث‌ها را در سایر بخش‌های کتاب دنبال خواهیم کرد. اما به خاطر سپردن ترتیب کامل پیام‌های واسطه‌ای به طور قابل ملاحظه‌ای طولانی‌تر از شکل‌های آورده شده می‌باشد.



شکل ۱۱-۳ ارتباط بین برقراری ارتباط بین RRC و سایر فرایندها

۱۱-۴ فرایند اتصال به شبکه

۱۱-۴-۱ تخصیص آدرس IP

در طول فرایند برقراری اتصال به شبکه، موبایل یک آدرس IP نسخه ۴ یا نسخه ۶ را به دست می‌آورد، که با استفاده از آن بتواند به طور پی در پی با جهان خارج ارتباط برقرار کند. قبل از پرداختن به خود فرایند اتصال به شبکه، بهتر است، که نگاهی به روش‌هایی که شبکه برای تخصیص IP به کار می‌برد، بندازیم [۱۹].

IPv4 دارای آدرسی به طول ۳۲ بیت است. در حالت عادی، دروازه PDN یک آدرس IP پویا برای برقراری ارتباط با شبکه به عنوان بخشی از فرایند اتصال به شبکه را به موبایل تخصیص می‌دهد. دروازه PDN این IP را یا خودش و یا از طریق آدرس IP مناسبی که از یک سرور DHCP_{V4}^۱ به دست می‌آورد، تخصیص می‌دهد. و به عنوان یک جایگزین، خود موبایل می‌تواند این آدرس IP پویا را بعد از این که فرایند برقراری اتصال به شبکه به طور کامل به اتمام رسید، را به دست آورد. برای انجام این کار، موبایل با دروازه PDN روی پلان کاربری تماسی را برقرار می‌کند تا دروازه PDN به عنوان یک سرور DHCP_{V4} در برابر موبایل عمل می‌کند.

به دلیل کمبود آدرس‌های IPv4، آدرس IP اختصاص یافته به موبایل یک آدرس IP خصوصی است که در جهان خارج قابل رویت نمی‌باشد. با استفاده از یک مترجم آدرس شبکه IP (NAT)^۲

1. Dynamic Host Configuration Protocol Version 4

2. Network Address Translation

سیستم می‌تواند این آدرس IP را به یک آدرس IP عمومی که توسط چندین موبایل به علاوه یک پورت UDP یا TCP ویژه موبایل به اشتراک گذاشته می‌شود، نگاشت کند [۲۶]. دروازه PDN یا خود به عنوان NAT عمل می‌کند و یا آن را به یک وسیله فیزیکی جداگانه‌ای محول می‌کند.

آدرس IP_{V6} آدرهایی به طول ۱۲۸ بیت را دارند و دارای دو بخش هستند. ۶۴ بیت به نام پیشوند شبکه و ۶۴ بیت دیگر شناسه واسط می‌باشد. این دو دسته بیت‌ها تحت عنوان فرایندی به نام پیکربندی خودکار آدرس‌دهی بدون وضعیت IP_{V6} تخصیص داده می‌شوند [۲۱]. در اجرای این فرایند توسط LTE، دروازه خدمت‌رسانی در طول فرایند اتصال به شبکه به موبایل یک پیشوند IP_{V6} یکتا و همچنین یک شناسه واسط موقت تخصیص می‌دهد. PDN شناسه واسط را برای ساخت یک آدرس IP_{V6} لینک‌های محلی موقت به موبایل برمی‌گرداند. بعد از اتمام فرایند اتصال به شبکه، موبایل این آدرس موقت را برای ارتباط با دروازه PDN روی پلان کاربری استفاده می‌کند و پیشوند IP_{V6} را در یک فرایندی به نام درخواست مسیر یاب بازیابی می‌کند. موبایل سپس با استفاده از آن پیشوند، یک آدرس IP_{V6} کامل را می‌سازد. چون که پیشوند به طور عمومی منحصر به فرد است، موبایل می‌تواند این کار روی هر ID واسطی که می‌خواهد انجام دهد.

همچنین یک موبایل می‌تواند یک آدرس IP ثابت یا پیشوند آدرس IP_{V6} را استفاده کند. موبایل این آدرس‌ها را به طور دائم ذخیره می‌نماید، اما در عوض، شبکه در سرور خانگی مشترکین (HSS) یا سرور DHCP، آنها را ذخیره می‌کند و در طول فرایند اتصال به شبکه آنها را به موبایل ارسال می‌کند. آدرس‌های ثابت در مورد IP_{V4} غیر عادی است، چرا که تعداد این آدرس‌های IP کم می‌باشد.

متعاقباً، موبایل همان آدرس IP را برای هر حامل اختصاص یافته‌ای که برای همان شبکه داده بسته‌ای اختصاص داده شده است، را به کار خواهد گرفت. چنانچه موبایل با یک شبکه داده بسته‌ای دیگری ارتباط برقرار کرد، یک آدرس IP دیگری را از آن شبکه به همین روشی که بیان شد، به دست می‌آورد.

۱۱-۴-۲ مروری بر فرایند برقراری اتصال به شبکه

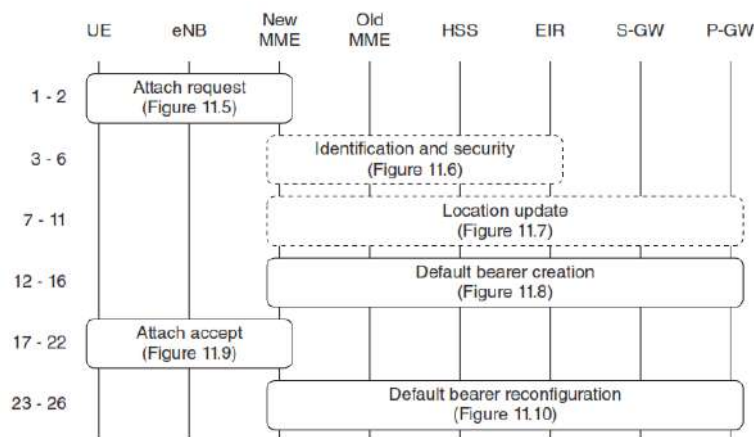
فرایند اتصال به شبکه^۲ چهار هدف اصلی دارد: موبایل این فرایند را برای ثبت موقعیت خود با یک MME سرویس دهنده به کار می‌برد. شبکه سیگنالینگ حامل‌های رادیویی ۲ را پیکربندی

1. IPV6 Stateless Address Autoconfiguration

2. Attach Procedure

می‌کند، که این سیگنالینگ پیام‌های قشر بدون دسترسی (NAS) به طور پشت‌سر هم در سراسر واسط هوایی منتقل می‌کند. همچنین شبکه یک آدرس IP نسخه ۴ و یا نسخه ۶ را با استفاده از یکی از روش‌هایی که در بالا اشاره شد، به موبایل تخصیص می‌دهد و یک حامل EPS پیش فرض را اختصاص می‌دهد تا از قابلیت «همیشه در تماس»^۱ با یک PDN پیش فرض پشتیبانی می‌کنند و آن را برای موبایل فراهم می‌سازد.

شکل ۴-۱۱ خلاصه‌ای از فرایند اتصال به شبکه را نشان می‌دهد. که در بخش‌های بعدی فرایندهای آن را جداگانه در بخش‌های آتی بیان خواهیم کرد. موارد مربوط به واسط S5/S8 در پروتکل تونلینگ GPRS (GTP) را بیان خواهیم کرد. در این شکل و شکل‌های بعد از آن خط‌های پر و ممتد بیانگر پیام‌های اجباری و خط‌های نقطه‌چین بیانگر پیام‌های اختیاری و یا وابسته به شرایط است. شماره‌گذاری پیام‌ها مثل TS 23.401 [۲۲] است و به طور قراردادی در اکثر فرایندهای کتاب آن را رعایت خواهیم کرد.



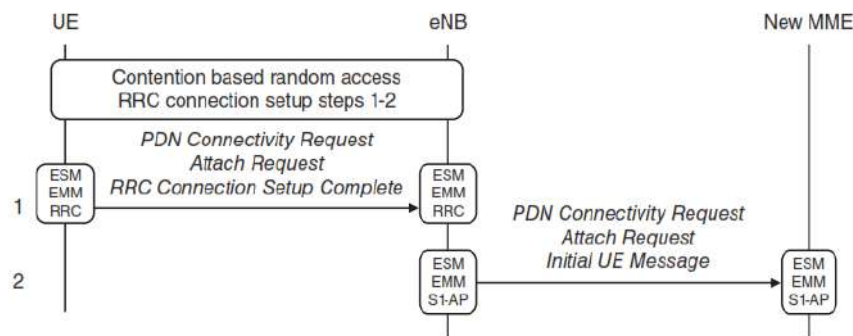
شکل ۴-۱۱ مروری بر فرایند اتصال به شبکه

۳-۴-۱۱ درخواست اتصال به شبکه

شکل ۵-۱۱ دو مرحله ابتدایی از این فرایند که در خواست اولیه به شبکه را از سوی موبایل مطرح می‌شود، را پوشش می‌دهد. موبایل فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت را شروع می‌کند و در مرحله ابتدایی از برقراری ارتباط RRC را به روشی که قبلاً بیان شده است، را انجام می‌دهد.

1. Always-On Connectivity

پس از آن، موبایل یک پیام مدیریت نشست EPS (ESM) به نام پیام درخواست/ارتباط PDN^1 می‌سازد، که از شبکه درباره برقراری یک حامل EPS پیش فرض سؤال می‌کند. این پیام دارای نوعی PDN است، که تعیین کننده این موضوع می‌باشد که موبایل چه نسخه‌ای از IP مثل IP_{V4} و IP_{V6} پشتیبانی را می‌کند. علاوه بر این، این پیام دارای مجموعه‌ای از گزینه‌های پیکربندی پروتکل است، مانند بعضی از پارامترهای مربوط به شبکه خارجی مثل، یک نام نقطه دسترسی اولویت‌دار یا یک درخواست برای آدرس IP_{V4} دریافتی روی پلان کاربری توسط $DHCP_{V4}$. موبایل یا می‌تواند گزینه‌های پیکربندی خود را در اینجا گردآوری کند یا پرچم انتقال اطلاعات ESM را بسازد. این پرچم نشان دهنده این است که موبایل مایل به ارسال این گزینه‌ها بعد از فعال‌سازی مکانیزم‌های امنیتی است. اگر موبایل بخواهد از یک APN اولویت داده شده استفاده کند، همیشه گزینه آخر را استفاده می‌کند.



شکل ۱۱-۵ فرایند اتصال به شبکه (۱)، درخواست اتصال به شبکه

منبع: TS 23.401 بانشر با مجوز ETSI

موبایل یک درخواست برقراری PDN را به یک درخواست/ارتباط EMM^2 ضمیمه می‌کند، که در آن درخواست ثبت‌نام در یک MME سرویس‌دهنده را می‌کند. این پیام دارای یک شناسه یکتایی موقت جهانی است، که موبایل در آخرین ارتباط خود با شبکه قبل از خاموش شدن گرفته است و یک شناسه ناحیه ردیابی است، که موبایل برای آخرین بار در آن ناحیه ردیابی بوده است. علاوه بر آن، پیام مذکور دارای قابلیت‌های NAS موبایل، در درجه اول الگوریتم‌های امنیتی آن است.

1. PDN Connectivity Request

2. EMM Attach Request

در ادامه، موبایل درخواست اتصال به شبکه را در داخل آخرین پیام از فرایند برقراری ارتباط RRC یعنی پیام اتمام تنظیم ارتباط RRC ضمیمه می‌کند. چنانچه قبلاً هم اشاره شد، این پیام RRC شناسه PLMN را که موبایل می‌خواهد در آن ثبت‌نام کند به همراه یک شناسه MME سرویس‌دهنده مشخص می‌کند. در مرحله اول از فرایند اتصال به شبکه، موبایل این پیام را به eNB سرویس‌دهنده ارسال می‌کند.

چنانچه در فصل دوازدهم بیان خواهد شد، موبایل و MME می‌توانند کلیدهای امنیتی LTE را بعد از خاموش شدن موبایل ذخیره کنند. اگر موبایل از یک مجموعه کلیدهای امنیتی مجاز استفاده کرده باشد، می‌تواند آنها را به طور امن برای فرایند اتصال به شبکه با استفاده فرایندی به نام محافظت جامعیت به کار گیرد. این فرایند مطمئن می‌شود که درخواست به MME از سوی یک موبایل مجاز می‌آید و نه از روی یک خرابکار.

ایستگاه پایه پیام‌های EMM و ESM را می‌گشاید و آنها را به پیام UE/اولیه به نام S1-AP¹ ضمیمه می‌کند. این پیام یک درخواست برقراری ارتباط سیگنالینگ S1 را برای موبایل می‌کند. به عنوان بخشی از این پیام، ایستگاه پایه علت برقراری ارتباط RRC و درخواست PLMN را که از موبایل در طول دوره فرایند RRC دریافت کرده است و همچنین ناحیه ردیابی که در آن قرارداد را مشخص می‌کند.

حال ایستگاه پایه می‌تواند این پیام را به یک MME مناسب بفرستد (مرحله ۲). معمولاً، MME انتخاب شده همانی است، که موبایل قبلاً در آن ثبت‌نام شده بود. این کار زمانی انجام می‌گیرد، که این دو شرط اتفاق بیفتند: ایستگاه پایه باید در یکی از نواحی MME قدیمی قرار داشته باشد و MME قدیمی نیز باید در PLMN درخواست شده قرار گرفته باشد. اگر موبایل ناحیه Pool خود را از آن زمانی که برای آخرین بار روشن شده بوده، تغییر داده باشد یا موبایل بخواهد با یک شبکه مختلف درخواست ثبت‌نام کند، در این صورت ایستگاه پایه MME دیگری را انتخاب می‌کند. ایستگاه پایه این کار را به صورت تصادفی از بین MME‌های موجود در نواحی Pool خود بر پایه یک الگوریتم متعادل کننده بار انجام می‌دهد [۲۳].

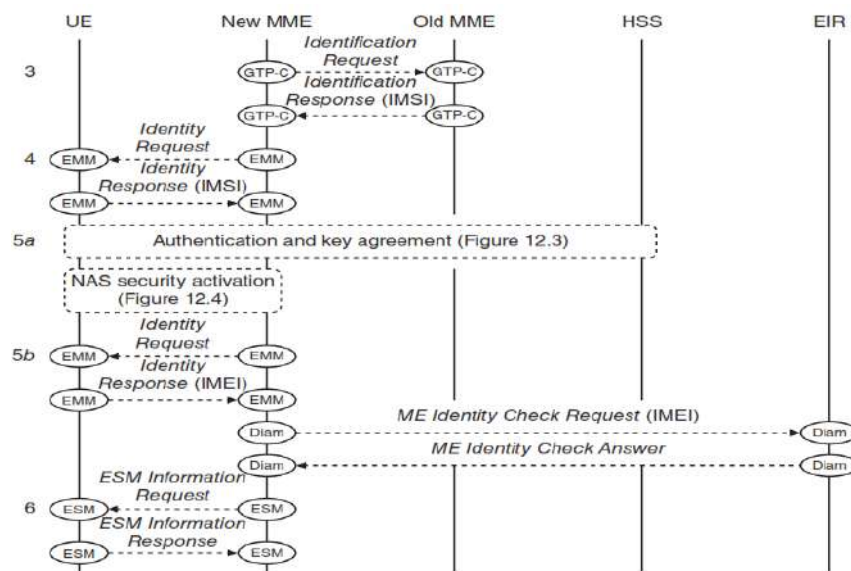
۴-۱۱-۴ شناسایی و روش‌های امنیتی

MME پیام‌ها را از ایستگاه پایه دریافت کرده و حال می‌تواند چندین فرایند را اجرا کند، که این فرایندها مربوط به شناسایی و برقراری امنیت می‌باشند (شکل ۱۱-۶). اگر موبایل به ناحیه MME

1. S1-AP Initial UE Message

جدیدی وارد شود، در حالی که قبل از آن روشن بوده است، در این صورت MME باید بتواند آن را شناسایی کند. برای انجام اینکار، MME شناسه MME قدیمی را از روی GUTI موبایل استخراج کرده و آن GUTI را به آن MME قدیمی در قالب درخواست شناسایی یک ^۱GTP-C ارسال می‌کند (۳).

جواب MME قدیمی، شناسه جهانی یکتای مشترک موبایل (IMSI) و کلیدهای امنیتی است. در موارد استثنایی، برای مثال، اگر حافظه داخلی موبایل پاک شده باشد، ممکن است آن موبایل برای MME قدیمی قابل شناسایی نباشد. اگر چنین اتفاقی افتاده باشد، MME جدید از موبایل IMSI را با استفاده از یک درخواست شناسایی ^۲EMM می‌پرسد [۴]. پیامی با استفاده از فرایند انتقال اطلاعات NAS ارسال می‌گردد، که ما آن را در فصل دوم بیان کردیم.



شکل ۱۱-۶ فرایند اتصال به شبکه (۲) فرایندهای شناسایی و برقراری مسایل امنیتی

منبع: TS 23.401 با نشر با مجوز ETSI

حال شبکه می‌تواند دو فرایند امنیتی را اجرا کند (5a): تصدیق هویت^۲ و توافق کلید^۱. موبایل و ایستگاه پایه شناسه‌های همدیگر را یکدیگر تصدیق می‌کنند و یک مجموعه کلید امنیتی

1. GTP-C Identification Request
2. EMM Identity Request
3. Authentication

جدیدی را درست می‌کنند. در فعال‌سازی امنیت NAS^۲، MME آن کلیدها را فعال کرده و یک حافظت امنیتی را از همه پیام‌های ESM و دنباله‌های EMM را به اجرا می‌گذارد. این مراحل در صورتی که احتمال هرگونه مشکلی با حفاظت جامعیت داده‌ها وجود داشته باشد، اجباری خواهند بود. در غیر این صورت، اختیاری می‌باشند. اگر بررسی جامعیت با موفقیت به اتمام برسد، MME می‌تواند به طور ضمنی کلیدهای قبلی موبایل را فعال‌سازی مجدد کند. این کار با ارسال یک پیام سیگنالینگ که توسط همان کلیدهای امنیتی، امن شده است، انجام می‌گیرد. در نتیجه هر دو فرایند شناسایی و امنیت اجرا نمی‌شوند.

سپس MME شناسه جهانی تجهیزات موبایل (IMEI) را بازیابی می‌کند (۵b). MME می‌تواند این پیام را با فعال‌سازی امنیت NAS ادغام کند، تا از مقدار پیام سیگنالینگ کاسته شود. اما به نحوی شناسایی IMEI برای MME اجباری است، به عنوان محافظت در برابر سرقت گوشی‌های موبایل، MME به طور اختیاری می‌تواند IMEI را به گره ثبت شناسه تجهیزات (EIR) ارسال کند، که آن هم در جواب می‌تواند آن وسیله قبول یا رد نماید.

اگر موبایل پرچم انتقال اطلاعات ESM را در درخواست ارتباط PDN خودش تنظیم کرده باشد، در این صورت MME می‌تواند، یک درخواست/اطلاعات ESM^۳ را به آن ارسال کند (۶). در جواب موبایل گزینه‌های پیکربندی خود را به آن می‌فرستد: برای مثال، هر نقطه دسترسی که موبایل می‌خواهد به آن متصل شود. حال که موبایل امنیت NAS را فعال کرده است، می‌تواند پیام‌های خود را به صورت امن ارسال نماید.

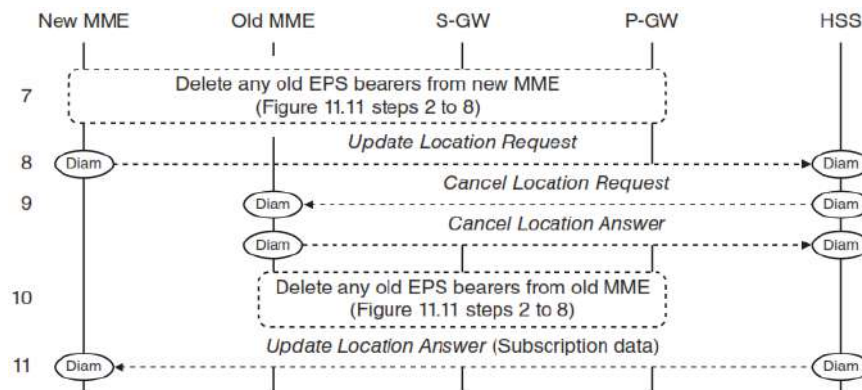
۱۱-۴-۵ به روزرسانی موقعیت

حالا MME می‌تواند رکودهایی را که شبکه از موقعیت موبایل در اختیار دارد را به روزرسانی نماید (شکل ۱۱-۷). اگر موبایل به MME که قبلاً وصل بوده را دوباره متصل شود بدون آنکه به درستی از آن قطع ارتباط کرده باشد (برای مثال، اگر باتری آن، به اتمام رسیده باشد) ممکن است، MME هنوز برخی از حامل‌های EPS مربوط به موبایل را در اختیار داشته باشد. در چنین شرایطی، MME این فرایندها را همان طوری که در فرایند اتصال به شبکه طی می‌کند، را شناسایی خواهد کرد (۷).

-
1. Key Agreement
 2. NAS Security Activation
 3. ESM Information Request

اگر MME عوض شده باشد، MME جدید، IMSI موبایل را به سرور خانگی مشترکین (HSS) ارسال می‌کند. این کار از طریق یک درخواست به روزرسانی موقعیت^۱ قطری انجام می‌گیرد (۸). HSS رکوردهای خود را از موقعیت موبایل به روزرسانی می‌کند و به MME قدیمی می‌گوید، که موبایل را از لیست خودش خارج کند (۹). در صورتی که MME قدیمی هر گونه حامل‌های EPS را در ارتباط با آن موبایل در اختیار داشته باشد، همه آنها را دور می‌ریزد (۱۰). در مرحله ۱۱، HSS یک جواب به روزرسانی موقعیت^۲ را به MME جدید ارسال می‌کند، که شامل داده/اشتراکی^۳ کاربر می‌باشد [۲۴].

داده اشتراکی همه نقاط دسترسی (APNs) را که کاربر در آن عضو شده است را جمع‌آوری کرده، یکی از آنها را با استفاده از پیکربندی APN^۴ به عنوان APN پیش فرض تعریف می‌کند. در ادامه، هر پیکربندی APN، نام نقاط دسترسی را شناسایی کرده و وضعیت این که مطابق چه شبکه بسته‌ای IP_{v4} یا IP_{v6} یا هر دو باشد را تعیین می‌کند و کیفیت سرویس حامل‌های EPS پیش‌فرض را از روی پارامترهایی که در فصل سیزدهم بیان خواهد شد، تعیین می‌کند. به طور اختیاری، APN می‌تواند یک آدرس IP ثابت نسخه چهار یا یک پیشوند IP_{v6} برای موبایل جهت استفاده به شبکه را تعیین کند.



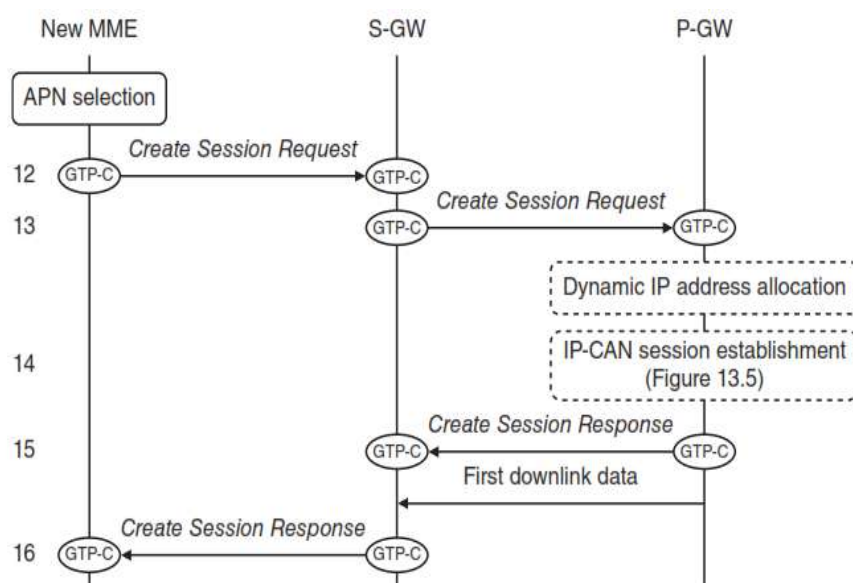
شکل ۱۱-۷ فرایند اتصال به شبکه (۳) به روزرسانی موقعیت منبع: TS 23.401 بانشر با مجوز ETSI

1. Location Update Request
2. Location Update Answer
3. Subscription Data
4. APN Configuration

۱۱-۴-۶ ایجاد حامل پیش فرض

حال MME همه اطلاعاتی را که برای تنظیم یک حامل EPS پیش فرض نیاز دارد، را در اختیار دارد (شکل ۱۱-۸). MME با انتخاب یک دروازه PDN مناسب کار خود را شروع می‌کند، در صورتی که داده‌های اشتراکی یک APN مناسب را برای MME را در اختیارش قرار داده باشند، انتخاب خواهد کرد، در غیر این صورت، یک APN پیش فرض را بر خواهد گزید. در ادامه، یک دروازه خدمت‌رسانی را انتخاب کرده و یک درخواست/ایجاد نشست $GTP-C^1$ را به آن می‌فرستد (۱۲). در این پیام، MME اطلاعات اشتراکی مربوطه و شناسه‌های IMSI موبایل و دروازه PDN مقصد را لیست می‌کند.

دروازه خدمت‌رسانی پیام را دریافت کرده و آن را به دروازه PDN منتقل می‌کند (۱۳). در این پیام دروازه خدمت‌رسانی دارای یک شناسه نقطه پایانی تونل $GTP-U$ (TEID) است، که دروازه PDN سرانجام آن را برای برچسب بسته‌های دانلود شده استفاده می‌کند و آن را در واسطه S5/S8 می‌فرستد.



شکل ۱۱-۸ فرایند اتصال به شبکه (۴) ایجاد حامل پیش فرض منبع: TS 23.401 بانشر با مجوز ETSI

اگر پیامی دارای آدرس IP ثابت نباشد، دروازه PDN می‌تواند یک آدرس IP نسخه چهار و یا نسخه شش را به موبایل طبق روالی که قبلاً بیان شده است، تخصیص دهد. روش دیگر این

1. GTP-C Create Session Request

است، که اگر موبایل درخواست گزینه‌های پیکربندی پروتکل خودش را داده باشد، اختصاص آدرس IP را به بعد از آن موکول می‌کند. علاوه بر آن، دروازه PDN می‌تواند فرایندی تحت عنوان *برقرار نشست (IP-CAN)*^۱ به اجرای بگذارد (۱۴) که در آن تصدیق هویت‌هایی را برای کیفیت سرویس حامل پیش‌فرض به کار می‌گیرد، که ما آن را در قالب فرایندهای دیگری در فصل سیزدهم برای مدیریت کیفیت سرویس بیان خواهیم کرد. حال دروازه PDN از درخواست دروازه خدمت‌رسانی از طریق یک پاسخ/ایجاد نشست *GTP-C*^۲ باخبر می‌شود (۱۵). در این پیام، دروازه خدمت‌رسانی هر آدرس IP را که به موبایل اختصاص داده شده و همچنین حامل پیش‌فرض EPS کیفیت سرویس آن را گردآوری می‌کند. همچنین دروازه PDN در این پیام یک TEID برای خود نیز دارد، که سرانجام دروازه خدمت‌رسانی آن را برای مسیریابی بسته‌های لینک فراسو در S5/S8 به کار خواهد گرفت. دروازه خدمت‌رسانی این پیام را به MME منتقل می‌کند (۱۶). با این تفاوت، که MME شناسه نقطه پایانی تونل دروازه PDN را با یک TEID لینک فراسو برای ایستگاه پایه جایگزین می‌کند تا در S1-U مورا استفاده قرار بگیرد.

۱۱-۴-۷ پذیرش اتصال به شبکه

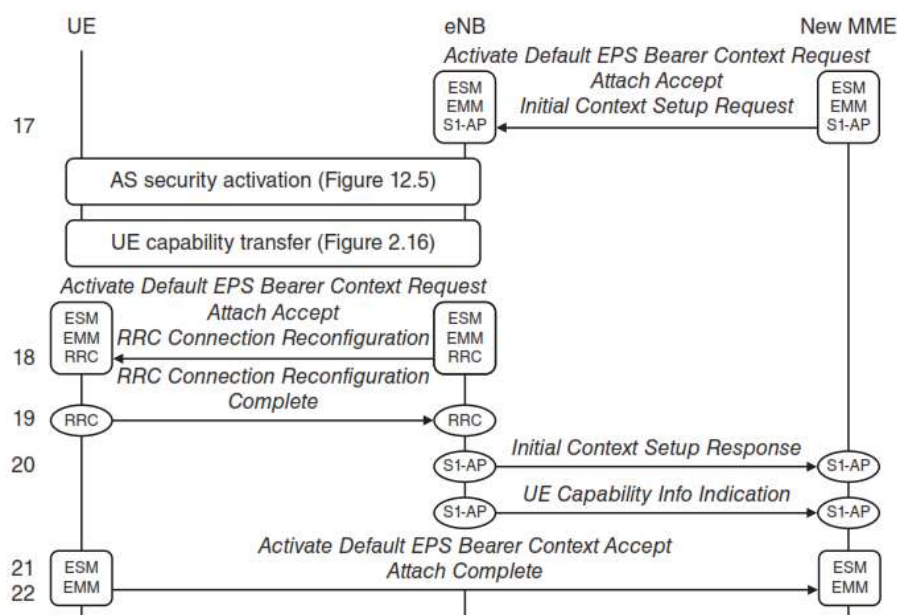
حال، MME می‌تواند به درخواست ارتباط به شبکه موبایل جواب دهد، که در شکل ۱۱-۹ مشاهده می‌شود. در ابتدا MME یک فرایند ESM به نام *فعال‌سازی محتوای حامل EPS* پیش‌فرض^۳ را شروع می‌کند، که در واقع جوابی به درخواست ارتباط PDN موبایل است و با پیامی به نام *فعال سازی درخواست محتوای حامل EPS* پیش‌فرض^۴ شروع می‌شود. این پیام، دارای شناسه حامل EPS، نام نقطه دسترسی، کیفیت سرویس و هر آدرس IP ای که شبکه به آن موبایل اختصاص داده است، می‌باشد.

MME پیام ESM را به یک پیام *پذیرش اتصال به شبکه MME*^۵ ضمیمه می‌کند، که در واقع این پیام پاسخی به درخواست ارتباط به شبکه اولیه موبایل می‌باشد. این پیام دارای یک لیست از

-
1. IP Connectivity Access Network (IP-CAN) Session Establishment
 2. GTP-C Create Session Response
 3. Default EPS Bearer Context Activation
 4. Activate Default EPS Bearer Context Request
 5. EMM Accept Attach

نواحی ردیابی است، که در آن MME موبایل را ثبت نام کرده و شناسه موقت یکتای عمومی به آن داده است.

در ادامه MME هر دو پیام را در یک پیام به نام درخواست برقراری محتوای اولیه^۱ SA-AP قرار می‌دهد. این پیام آغاز کننده فرایندی به نام نصب محتوای اولیه^۲ است که از سوی پیام اولیه UE ایستگاه پایه شروع شده است. این فرایند به ایستگاه پایه می‌گوید که یک ارتباط سیگنالینگ S1 برای موبایل ایجاد می‌کند، S1 و حامل‌های رادیویی مربوط به آن را به حامل پیش‌فرض EPS برقرار سازد. این پیام کیفیت سرویس حامل، TEID لینک فراسویی که MME از دروازه خدمت رسانی دریافت کرده و یک کلید برای فعال‌سازی امنیت NAS را در دل خود جای داده است. MME همه این سه پیام را در قالب مرحله ۱۷ به ایستگاه پایه ارسال می‌کند.



شکل ۹-۱۱ فرایند اتصال به شبکه (۵) پذیرش درخواست اتصال به شبکه

منبع: TS 23.401 بانشر با مجوز ETSI

1. EMM Attach Request
2. Initial Context Setup Request

روی پیام دریافتی، ایستگاه پایه امنیت NAS را با استفاده از کلیدهایی امنیتی که MME تأمین می‌کند فعال‌سازی می‌کند. از این منظر، کلیه داده‌ها و پیام‌های سیگنالینگ روی واسط هوایی امن هستند. همچنین ایستگاه پایه قابلیت‌های دسترسی رادیویی موبایل را با استفاده از فرایندای که ما در فصل دوم آن را معرفی کردیم [۲۵] بازیابی می‌کند. بنابراین ایستگاه پایه می‌داند که چگونه موبایل را پیکربندی کند. در نتیجه ایستگاه پایه می‌تواند پیامی به نام پیکربندی مجدد ارتباط RRC^۱ را بسازد که در آن، ارتباط RRC موبایل را اصلاح می‌کند. به این ترتیب دو حامل جدید رادیویی را تنظیم می‌کند. یک حامل رادیویی که حامل EPS پیش فرض را منتقل می‌کند و دیگری SIB2. ایستگاه پایه این پیام را به همراه پیام‌های ESM و EMM به موبایل ارسال می‌کند که ایستگاه پایه تنها آن را از EMM دریافت کرده است (۱۸).

موبایل ارتباط RRC خود را به نحوی که بیان شد پیکربندی می‌کند و حامل EPS پیش فرض خود را برقرار می‌نماید. سپس تصدیق‌ها را در دو مرحله به شبکه ارسال می‌کند. با استفاده از SIB1، موبایل ابتدا تصدیق را در قالب پیامی به نام اتمام پیکربندی مجدد ارتباط RRC^۲ به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. موبایل آغازگر یک پاسخ برپایی محتوای اولیه S1-AP به MME^۳ است (۲۰)، که دارای یک TEID لینک فروسو برای دروازه خدمت‌رسانی است و در S1-U به کار می‌رود. موبایل همچنین آغاز کننده یک شاخص اطلاعات قابلیت UE^۴ است، که ایستگاه پایه قابلیت‌های موبایل را به MME می‌فرستد و در آن این قابلیت‌ها در موبایل تا زمانی که ارتباط خود را با شبکه قطع نکرده باشد، ذخیره می‌شود.

سپس موبایل یک پیام ESM active default EPS bearer context accept را ساخته و آن را در یک پیام اتمام ارتباط به شبکه EMM^۵ قرار می‌دهد. تا بخش ۱۸ از پیام‌های EMM و ESM را تصدیق نماید. موبایل این پیام را به ایستگاه پایه روی SRB2 (۲۱) با استفاده از فرایند انتقال اطلاعات NAS ارسال می‌کند و ایستگاه پایه آنها را به MME منتقل می‌سازد (۲۲).

۱۱-۴-۸ به روزرسانی حامل پیش فرض

حال موبایل می‌تواند داده‌های لینک فراسو را به دروازه PDN دور دست ارسال کند، ولی ما هنوز نیاز داریم تا به دروازه خدمت‌رسانی درباره شناسه ایستگاه پایه انتخاب شده اطلاعاتی ازایه دهیم و شناسه TEID آن را بفرستیم، که تنها این ایستگاه پایه مورد تأیید می‌باشد. برای انجام این کار

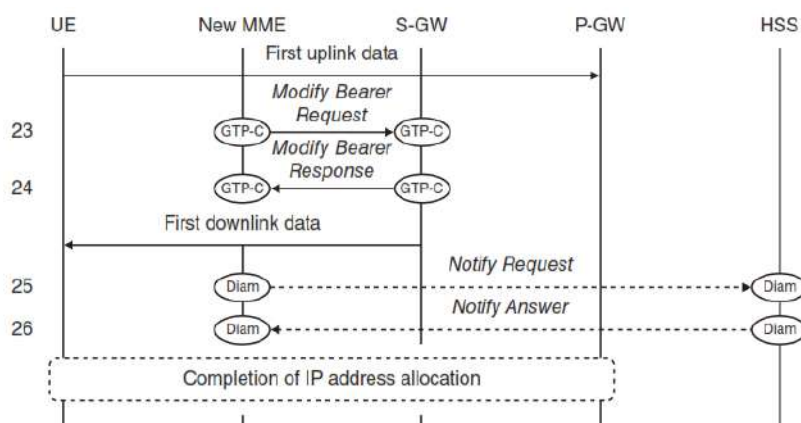
1. RRC Connection Reconfiguration
2. RRC Connection Reconfiguration Complete
3. S1-AP Initial Context Setup Response
4. UE Capability Info Indication
5. EMM Attach Complete

(شکل ۱۱-۱۰)، MME یک درخواست حامل اصلاح شده $GTP-C$ ^۱ به دروازه خدمت‌رسانی ارسال می‌کند (۲۳) و دروازه خدمت‌رسانی به آن پاسخ می‌دهد (۲۴). از این منظر، بسته‌های داده‌های لینک فروسو می‌تواند به موبایل ارسال شوند.

MME همچنین می‌تواند درباره APN و دروازه PDN انتخاب شده به HSS اطلاع‌رسانی نمایند (۲۵). زمانی MME اینکار را انجام می‌دهد، که دروازه خدمت‌رسانی انتخاب شده در پیکربندی APN پیش‌فرض فرق داشته باشد. برای مثال، اگر موبایل درخواست نام نقطه دسترسی خود را کرده باشد، HSS دروازه PDN انتخابی را ذخیره می‌کند تا آن را برای هرگونه دست به دست کردن در سیستم‌های غیر از 3GPP استفاده کند و به آن پاسخ دهد.

در پایان نیز، ممکن است موبایل به دروازه PDN از طریق پلان کاربری جهت تکمیل اختصاص IP آدرس خودش متصل شده باشد. موبایل این کار را زمانی که یک پیشوند IP_{v6} با استفاده «پیکربندی خود کار بدون مکان» به دست آورده باشد و همچنین یک آدرس IP_{v4} از طریق $DHCP_{v4}$ اخذ کرده باشد، انجام می‌دهد.

حال موبایل در حالت‌های EMM-REGISTERED، ECM-CONNECTED و RRC_CONNECTED است و تا زمانی که کاربر با جهان خارج در ارتباط است، در این وضعیت باقی خواهد ماند. اگر کاربر اطلاعاتی برای ارتباط با جهان خارج نداشته باشد، موبایل به وضعیت‌های ECM-IDLE و RRC-IDLE می‌رود. این کار را با استفاده از فرایندی به نام قطع S1 انجام می‌دهد، که ما این را بعداً در فصل چهاردهم پوشش خواهیم داد.

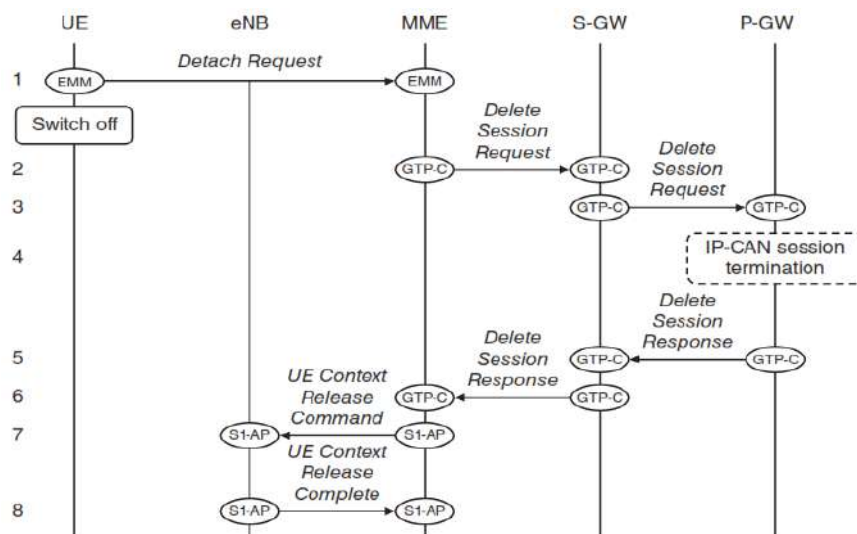


شکل ۱۱-۱۰ فرایند اتصال به شبکه (۶) پیکربندی مجدد حامل پیش‌فرض

منبع: TS 23.401 با نشر با مجوز ETSI

۱۱-۵ فرایند قطع اتصال از شبکه

آخرین فرایندی که در این فصل بیان می‌شود فرایند قطع اتصال از شبکه^۱ می‌باشد [۲۶]. معمولاً این فرایند، ثبت‌نام موبایل با هسته بسته تکامل یافته (EPC) را ملغی می‌کند و زمانی که موبایل خاموش می‌شود، اتفاق می‌افتد. این فرایند در شکل ۱۱-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱۱ فرایند قطع اتصال از شبکه. زمانیکه موبایل خاموش می‌شود آغاز می‌گردد

منبع: TS 23.401 بانشر با مجوز ETSI

فرضیه ما این است که، موبایل در حالت ECM-CONNECTED و RRC_CONNECTED کار می‌کند و با وضعیتی که در بخش قبل حاکم بود سازگار می‌باشد، در این لحظه، کاربر شروع به آغاز فرایندی برای خاموش کردن موبایل خود هست. در پاسخ، موبایل یک پیام درخواست قطع/ارتباط EMM^۲ را می‌سازد که در آن، GUTI خودش را مشخص کرده است و آن پیام را به MME ارسال می‌کند (۱) بعد از ارسال این پیام، موبایل خاموش می‌شود بدون آن که منتظر جواب باشد. حال MME باید ارتباط حامل‌های EPS موبایل را قطع نماید. برای انجام این کار، MME دوازده خدمت‌رسانی موبایل را یافته و یک پیام درخواست حذف نشست GTP-C^۳ را به آن

1. EMM Session Termination request
2. GTP-C Delete Session Request
3. IP-CAN Session Termination

می‌فرستد (۲). دروازه خدمت‌رسانی این پیام را به دروازه PDN هدایت می‌کند (۳) که فرایندی به نام خاتمه نشست IP-CAN را به اجرا در می‌آورد (۴)، که به حالت قبل از برقراری نشست IP-CAN بر می‌گردد. دروازه PDN سپس حامل‌ها را بر می‌چیند و به دروازه خدمت‌رسانی پاسخ می‌دهد (۵)، که حامل‌هایش را بر می‌چیند و به همین روش به MME جواب می‌دهد (۶). در صورت لزوم، همه این مراحل به سرعت برای همه شبکه‌هایی که موبایل به آن متصل است تکرار می‌شود. برای اتمام این فرایند، MME به ایستگاه دستور می‌دهد، که همه منابعی که در اختیار موبایل مذکور است، آزاد شود، که نشان دهنده‌ی این است که، فرایند قطع ارتباط اجرا شده است (۷). ایستگاه پایه نیز اینکار را انجام داده و به MME پاسخ می‌دهد (۸). حال MME کلیه اطلاعات مهم مربوط به آن موبایل را حذف می‌کند. اما MME اطلاعاتی مثل IMSI، GUTI، و کلیدهای امنیتی موبایل را حفظ می‌کند. چرا که وقتی گوشی روشن می‌شود به آنها نیاز پیدا خواهد کرد. اگر موبایل حالت‌های ECM-IDLE و RRC_IDLE را شروع کند، دیگر نخواهد توانست که درخواست قطع اتصال از شبکه را به درستی به سرانجام برساند. در عوض، موبایل با شروع فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت مراحل ۱ و ۲ از برقراری ارتباط RRC را دنبال می‌کند. سپس درخواست قطع اتصال به شبکه را ضمیمه پیام اتمام برپایی ارتباط RRC کرده و فرایند قطع اتصال از شبکه مثل قبل ادامه پیدا می‌کند.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 23.122 (2012) Non-Access-Stratum (NAS) Functions Related to Mobile Station (MS) in Idle Mode, Release 11, December 2012.
2. 3GPP TS 36.304 (2013) User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, September 2013.
3. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, September 2013.
4. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, September 2013.

5. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, September 2013.
6. 3GPP TS 29.272 (2013) Evolved Packet System (EPS); Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) Related Interfaces Based on Diameter Protocol, Release 11, September 2013.
7. 3GPP TS 29.274 (2013) 3GPP Evolved Packet System (EPS); Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control Plane (GTPv2-C); Stage 3, Release 11, September 2013.
8. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, September 2013.
9. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Release 11, September 2013.
10. 3GPP TS 23.122 (2012) Non-Access-Stratum (NAS) Functions Related to Mobile Station (MS) in Idle Mode, Release 11, Sections 3.1, 4.3.1, 4.4, December 2012.
11. 3GPP TS 36.304 (2013) User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, Sections 4, 5.1, September 2013.
12. 3GPP TS 31.102 (2013) Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) Application, Release 11, Sections 4.2.2, 4.2.5, 4.2.53, 4.2.54, 4.2.84, 4.2.91, September 2013.
13. 3GPP TS 31.102 (2013) Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) Application, Release 11, Section 4.4.6, September 2013.

Termination Power-On and Power-Off Procedures **201**

14. 3GPP TS 23.122 (2012) Non-Access-Stratum (NAS) Functions Related to Mobile Station (MS) in Idle Mode, Release 11, Sections 3.1A, 4.4.3.1.3, December 2012.
15. 3GPP TS 36.304 (2013) User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, Section 5.5, September 2013.
16. 3GPP TS 36.304 (2013) User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, Sections 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3, 5.3, September 2013.

17. 3GPP TS 36.214 (2012) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer; Measurements, Release 11, Section 5.1.1, December 2012.
18. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.3.3, 6.2.2 (RRCConnectionRequest, RRCConnectionSetup, RRCConnectionSetupComplete), September 2013.
19. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.3.1, September 2013.
20. IETF RFC 2663 (1999) IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations, August 1999.
21. IETF RFC 4862 (2007) IPv6 Stateless Address, September 2007.
22. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.3.2.1, September 2013.
23. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Sections 4.3.7, 4.3.8, September 2013.
24. 3GPP TS 29.272 (2013) Evolved Packet System (EPS); Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) Related Interfaces Based on Diameter Protocol, Release 11, Sections 7.3.2, 7.3.34, 7.3.35, September 2013.
25. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 18, September 2013.
26. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.3.8.2, September 2013.

فصل دوازدهم: فرایندهای امنیتی

در این فصل به مرور روش‌های امنیتی که در شبکه LTE برای مقابله با حملات مهاجمان و مزاحمان اتخاذ شده، می‌پردازیم. مهم‌ترین مسئله امنیتی، امنیت شبکه دسترسی است، که ارتباطات موبایل با شبکه را در سراسر واسط هوایی برقرار می‌کند.

در بخش اول این فصل، ما معماری امنیتی شبکه دسترسی را پوشش خواهیم داد و فرایندهایی، که ارتباطات بین شبکه و موبایل را امن می‌کنند و متعاقباً روش‌هایی که در آنها استفاده می‌شوند را پوشش می‌دهد. همچنین این سیستم باید انواع خاصی از ارتباطات درونی شبکه دسترسی رادیویی و EPC (بسته تکامل یافته) را به صورت امن برقرار کند. این مسئله تعبیر به امنیت دامنه شبکه می‌شود، که موضوع دوم این فصل است.

فرایندهای امنیتی 3GPP، ۳۳ سری از مشخصات فنی را در بر می‌گیرند، که TS 33.401 آن را برای LTE خلاصه‌بندی کرده است [1]. همچنین در انتهای این فصل، جزئیات پیام‌های مربوط به مشخصات در پروتکل‌های امنیتی مربوطه آورده شده است [۵-۲]. برای مطالعه بیشتر درباره امنیت LTE مرجع [۶] مطالعه گردد.

۱-۱۲ امنیت شبکه دسترسی

۱-۱۲-۱ معماری امنیتی

امنیت شبکه دسترسی^۱ (شکل ۱-۱۲) از ارتباطات بین موبایل و شبکه در سراسر واسط هوایی محافظت می‌کند و واسط هوایی مهمترین بخش از آسیب پذیرترین نقطه این شبکه محسوب می‌شود. برای این منظور چهار روش به کار گرفته می‌شوند.

هنگام تصدیق هویت^۲، هم موبایل و هم شبکه شناسه‌های همدیگر را تأیید می‌کنند. بسته بسته تکامل یافته (EPC) کاربران تأیید شده را برای استفاده از سرویس‌های شبکه که از تجهیزات غیر مجاز استفاده نمی‌کنند را تأیید کرده و به طور مشابه موبایل نیز شبکه‌ای که به آن وصل می‌شود، اصل بودن آن را تأیید می‌کند و مطمئن می‌شود، که شبکه فوق برای جاسوسی از اطلاعات شخصی کاربران نیست.

محرمانگی^۳ از هویت مشترکین محافظت می‌کند. شناسه بین‌المللی مشترک موبایل^۱ (IMSI)، یکی از مقادیری است، که هر مزاحم برای ردیابی یک موبایل به آن نیاز دارد. بنابراین LTE تا

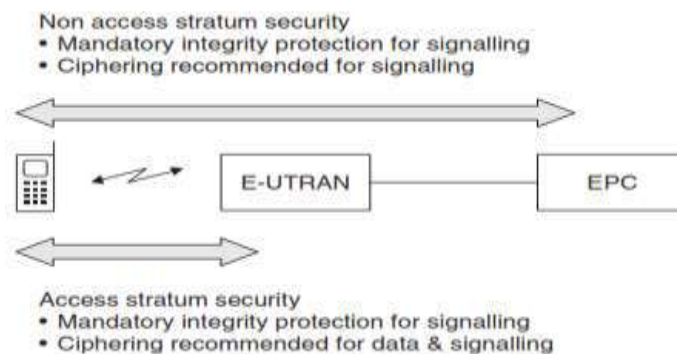
1. Network Access Security

2. During Authentication

3. Confidentiality

جایی که امکان دارد، از پخش آن در سراسر واسطه هوایی جلوگیری می‌کند. در عوض، شبکه LTE از یک شناسه‌های هویتی موقت برای شناسایی کاربران استفاده می‌کند. اگر یک EPC از ناحیه MME pool Area ای که موبایل در آن قرار دارد با خبر باشد، (مثلاً در طول فراخوانی موبایل)، در این صورت، یک S-TMSI به طول چهار بیت را به کار می‌برد. در غیر این صورت (مثلاً در طول فرایند اتصال به شبکه)، EPC از یک GUTI طولانی استفاده می‌کند. به همین ترتیب، شبکه دسترسی رادیویی از شناسه‌های موقت شبکه‌های رادیویی (RNT) که در فصل هشت معرفی شد، بهره می‌برد.

رمزنگاری^۲، که به نام Encryption هم شناخته شده، برای این است، که مطمئن شویم مزاحمان، داده‌ها و پیام‌های سیگنالینگ که بین موبایل و شبکه رد و بدل می‌شوند، را نمی‌توانند بخوانند. حفاظت از جامعیت^۳، هر تلاشی که توسط یک مهاجم (مزاحم) برای پاسخ و یا دستکاری پیام‌های سیگنالینگ به کار می‌برد، را شناسایی کرده و با آن مقابله می‌کند. محافظت از جامعیت، از سیستم در برابر حملاتی نظیر Man-in-Middle که در آن مهاجم ترتیب پیام‌های سیگنالینگ را قطع کرده و سپس آن را دستکاری کرده و دوباره ارسال می‌کند تا در یک تلاش کنترل موبایل را در دست بگیرد، مقابله می‌کند.



شکل ۱۲-۱ معماری امنیتی شبکه دسترسی

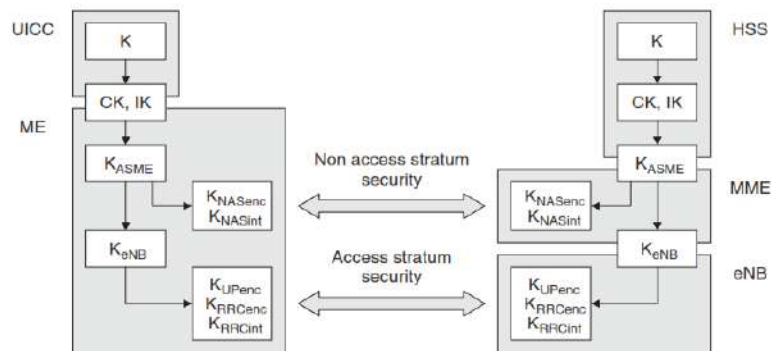
GSM و UMTS، تنها رمزنگاری و محافظت از جامعیت در قشر دسترسی (AS)^۴ واسطه هوایی را به کار می‌برند تا از داده‌های Plan (پلان) کاربران و پیام‌های سیگنالینگ RRC بین

1. International Mobile Subscriber Identity
2. Ciphering
3. Integrity Protection
4. Access Astraturm

موبایل و شبکه دسترسی رادیویی محافظت کنند. چنانچه شکل ۱۲-۱ نشان می‌دهد، LTE این روش‌ها را در NAS^۱ شبکه نیز به کار می‌گیرد تا از قابلیت تحرک EPC و پیام‌های مدیریت نشست بین موبایل و یک MME محافظت نماید. این کار دو امتیاز مهم را به ارمغان می‌آورد. با این کار در یک شبکه گسترده، دو سطح رمز نویسی جداگانه در فرایند رمزنگاری فراهم می‌آید، که اگر یک مهاجم به یک سطح امنیتی وارد شد، اطلاعات همچنان توسط سطح دیگر امن باقی می‌ماند. همچنین این کار در ایستگاه‌های خانگی به آسانی پیاده‌سازی می‌شوند که در آنها، امنیت قشر دسترسی (AS) می‌تواند به آسانی به خطر بیفتد.

۱۲-۱-۲ سلسله مراتب کلید

امنیت شبکه دسترسی بر پایه سلسله مراتب کلیدهاست [۷]، که در شکل ۱۲-۱ نشان داده شده است. امنیت شبکه دسترسی روی اطلاعات به اشتراک گذاشته شده از یک کلید R مخصوص کاربر K است، که به طور امن روی سرور خانگی مشترکین (HSS) ذخیره شده و به شکل امن در داخل کارت مدار مجتمع عمومی (UICC)^۲ توزیع شده است. در اینجا یک نداشت یک به یک بین IMSI یک کاربر و مقدار مربوطه به K وجود دارد و روش تشخیص هویت متکی بر این واقعیت است، که تلفن همراه غیرمجاز و شبکه‌ای که در حال تجسس است، مقدار صحیح K را نمی‌توانند به دست آورند.



شکل ۱۲-۱ سلسله مراتب کلیدهای امنیتی که توسط LTE به کار می‌روند

از روی K، HSS و UICC دو کلید مشتق می‌شوند، که به اختصار با CK و IK نشان داده می‌شوند. در UMTS، این دو کلید به صورت مستقیم برای رمزنگاری و حفاظت از جامعیت

1. Non Access Astratum

2. Universal Integrated Circuit Card

استفاده می‌شدند، اما در LTE، کاربرد آنها متفاوت است و کلیدی به نام کلید نهاد مدیریت / امنیت دسترسی ($ASME$)^۱ به اختصار K_{ASME} را تولید می‌کنند.

از روی K_{ASME} ، تجهیزات موبایل (UE)^۲ و MME سه کلید به نام‌های K_{NASenc} ، K_{NASint} و K_{eNB} را تولید می‌کنند، که دوتای اولی برای رمزنگاری و محافظت از جامعیت پیام‌های سیگنالینگ در NAS بین یک موبایل و MME تا زمانی که آخرین مبادله پیام را با ایستگاه پایه انجام می‌دهد، استفاده می‌شوند. از روی K_{eNB} ، تجهیزات موبایل (ME) و ایستگاه پایه سه کلید به اختصار K_{UPenc} ، K_{RRCint} و K_{RRCenc} را می‌سازند، که این کلیدها برای رمزنگاری داده‌ها، رمزنگاری پیام‌های سیگنالینگ و جامعیت پیام‌های سیگنالینگ RRC در قشر دسترسی (AS) استفاده می‌شوند.

این مجموعه کلیدها، بزرگتر از مجموعه کلیدی است، که در GSM و UMTS استفاده می‌شدند. اما چندین مزایا به همراه دارند: نخست، موبایل مقادیر CK و IK را در UICC خود بعد از آنکه ارتباط خود را از شبکه قطع می‌کند، ذخیره می‌کند تا زمانی که MME مقادیر K_{ASME} را ذخیره دارد. این کار، به سیستم اجازه می‌دهد، زمانی که موبایل روشن می‌شود و درخواست ارتباط به شبکه را می‌کند، محافظت از جامعیت را پشتیبانی کند، که در فصل یازده بیان شد. همچنین این سلسله مراتب مطمئن می‌شود تا کلیدهای NAS و AS رمزنگاری جداگانه‌ای داشته باشند. بنابراین در صورتی که مهاجم به اطلاعات یکی از آنها دسترسی پیدا کرد، نمی‌تواند امنیت دیگری را نیز به خطر بیندازد. در همان لحظه، این قابلیت سلسله مراتب بعداً به USIM‌ها در نسخه ۹۹، 3GTPP اضافه شدند.

K ، CK و IK هر کدام ۱۲۸ بیت می‌باشند. در حالی که کلیدهای دیگر همه ۲۵۶ بیتی هستند، و الگوریتم‌های جاری رمزنگاری و حفاظت از جامعیت از ۱۲۸ بیت استفاده می‌کنند، که بخش قابل توجهی از آنها از کلیدهای ۲۵۶ اولیه به دست می‌آیند. در نهایت اگر LTE، الگوریتم خود را به استفاده از ۲۵۶ بیت به روزرسانی کند، این کار به آسانی انجام خواهد شد.

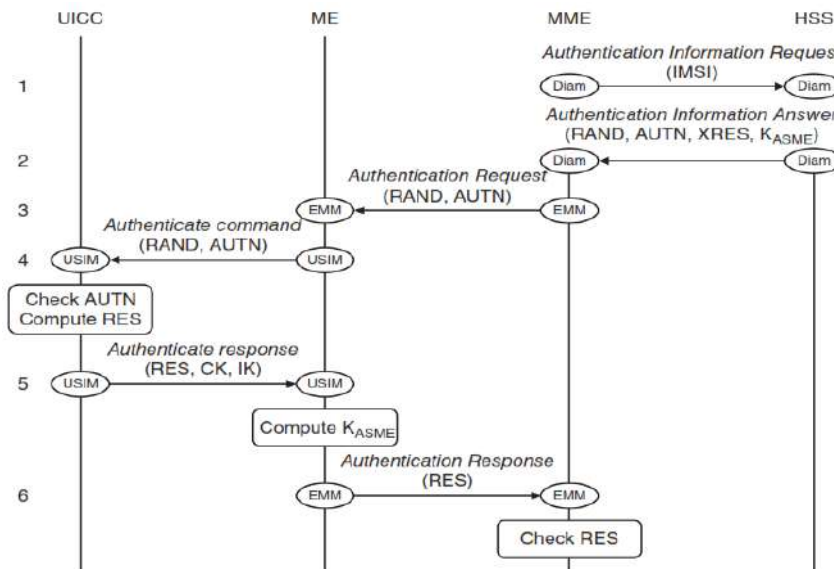
۱۲-۱-۳ تصدیق هویت و توافق کلید

در طول مدت تصدیق هویت و توافق کلید (AKA)^۳ [۸]، موبایل و ایستگاه پایه هویت یکدیگر را تأیید می‌کنند و روی یک مقدار از K_{ASME} به توافق می‌رسند. در حال حاضر، ما این روش را در شکل ۱۲-۳ مشاهده می‌کنیم، که به عنوان بخشی از فرایند بزرگ اتصال به شبکه به کار می‌رود.

1. Access Security Management Entity

2. Mobile Equipment

3. Authentication And Key Agreement



شکل ۱۲-۳ تصدیق هویت و فرایند توافق کلید

قبل از شروع این فرایند، MME از روی رکوردهای خود یا MME های قبلی موبایل، IMSI موبایل را بازیابی می کند یا به طور فوق العاده، با ارسال یک درخواست شناسه EMM به خود موبایل، این کار را انجام می دهد. حال MME می خواهد تا IMSI موبایل را شناسایی کرده و در ادامه نیز خود موبایل را شناسایی کند. با آغاز این فرایند، MME یک درخواست اطلاعات تصدیق هویتی قطری^۱ به HSS که دارای IMSI می باشد، ارسال می کند (۱). حال HSS کلید امن K مربوطه را بررسی کرده و یک بردار تصدیق هویت^۲ که دارای چهار عنصر است را محاسبه می گردد. RAND یک عدد تصادفی است، که MME آن را برای آزمودن تصدیق هویت موبایل استفاده می کند. XRES مقدار مورد انتظار آزمون تصدیق هویت موبایل است و فقط توسط موبایل و با مقدار شناخته شده ای از K محاسبه می شود. AUTN یک توکن تصدیق هویت^۳ است که فقط توسط شبکه با مقدار شناخته شده ای از K انجام می شود و دارای یک شماره ترتیب برای جلوگیری از ضبط و ذخیره یک درخواست تصدیق هویت از سوی مهاجم و پاسخ به آن می باشد. در پایان، کلید K_{ASME} کلید نهاد مدیریت دسترسی امنیت است و از CK، IK و نهایتاً از مقادیر K و RAND تولید شده است. در مرحله دوم، HSS بردار تصدیق هویت را به MME برمی گرداند.

1. Diameter Authentication Information Request
2. Authentication Vector
3. Authentication token

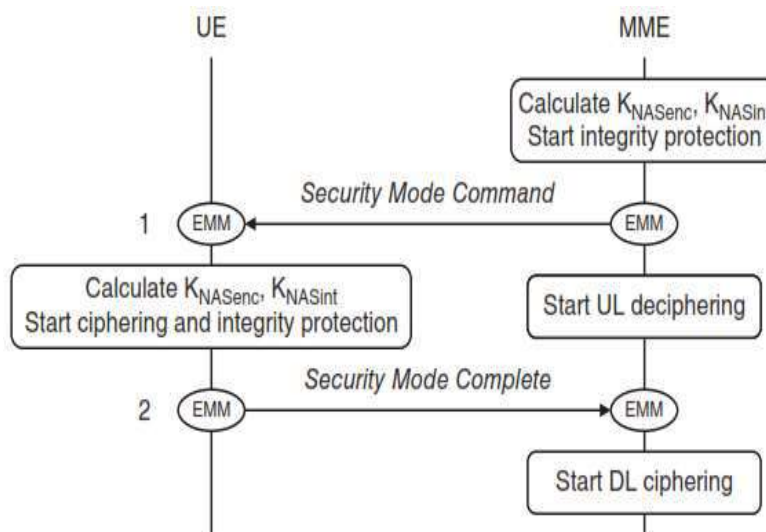
معمولاً در GSM و UMTS، HSS برخی از مقادیر بردار تصدیق هویت را هر یک بار، برای کاهش تعداد پیام‌های جداگانه‌ای که حمل می‌کند، برمی‌گرداند. LTE، در واقع بر این اساس که ذخیره‌سازی K_{ASME} تا حد زیادی تعداد پیام‌های تبادل شده با HSS را کاهش می‌دهد، از این عمل خود داری می‌کند. MME مقادیر RAND و AUTN را که بخشی از یک درخواست تصدیق هویت^۱ EMM هستند، را به تجهیزات موبایل ارسال می‌کند (۳) و تجهیزات موبایل آن را به UICC ارسال می‌نماید (۴). در داخل UICC، برنامه‌های کاربردی USIM، توکن تصدیق هویت را امتحان می‌کنند تا این که شبکه مقدار K را می‌داند و همچنین دنباله اعداد ارسالی هرگز قبل از این استفاده نشده است. اگر صحت آنها تأیید شد، موبایل جواب آزمونی را که شبکه از آن گرفته است را می‌دهد، که به طور اختصار را با RES می‌دهد. RES با ترکیب RAND و رونوشت CK خود موبایل حاصل شده است و آن را به شبکه برمی‌گرداند. همچنین موبایل مقادیر CK و IK را محاسبه کرده و تمامی پارامترهای سه گانه را به تجهیزات موبایل بر می‌گرداند (۵).

با استفاده از CK و IK، تجهیزات موبایل مقادیر کلید نهاد مدیریت امنیتی کلید K_{ASME} را حساب می‌کند. سپس جواب آن را به MME برمی‌گرداند، که در قالب بخشی از جواب تصدیق هویت^۲ EMM انجام می‌شود (۶). در ادامه، MME جواب موبایل و جواب مورد انتظاری که از HSS گرفته است را با هم مقایسه می‌کند. در صورتی که هر دو جواب‌ها یکسان بودند، MME به این نتیجه می‌رسد، که موبایل معتبر است. پس سیستم با استفاده از دو رونوشت از K_{ASME} برای فعال‌سازی لایه‌های امنیتی بعدی اقدام کند، که در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

۱۲-۱-۴ فعال‌سازی امنیت

در طول فعال‌سازی امنیت [۹]، موبایل و شبکه به طور جداگانه‌ای، رونوشت‌هایی از رمزنگاری و کلیدهای محافظت از تصدیق هویت را محاسبه کرده و فرایندهای متناظر با آن را شروع می‌کنند. فعال‌سازی امنیت به طور جداگانه‌ای برای سطوح NAS و AS انجام می‌گیرد. MME فعال‌سازی امنیت در NAS را بلافاصله بعد از تصدیق هویت و توافق کلید انجام می‌دهد، که در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده است. از روی K_{ASME}، MME کلیدهای رمزنگاری و محافظت از تصدیق هویت K_{NASenc} و K_{NASint} را محاسبه می‌کند. سپس MME یک دستور حالت امنیتی^۳ EMM را به موبایل ارسال می‌کند (مرحله ۱) و به موبایل دستور می‌دهد تا امنیت NAS را فعال سازد. پیام مذکور با حفاظت از تصدیق هویت امن شده اما روی آن رمزنگاری انجام نگرفته است.

-
1. EMM Security Mode Command
 2. Authentication Response
 3. EMM Security Mode Command



شکل ۱۲-۴ فعال‌سازی امنیت NAS منبع: TS 33.401 بازنشر با مجوز ETSI

موبایل جامعیت پیام را به صورتی که در زیر توضیح داده می‌شود، بررسی می‌کند. اگر پیام‌ها آزمون بررسی جامعیت را به درستی به اتمام برسانند، موبایل از روی رونوشت K_{ASME} ذخیره شده، K_{NASenc} و K_{NASint} خودش را حساب کرده و رمزنگاری و حفاظت از جامعیت را آغاز می‌کند، سپس با استفاده از یک دستور تکمیل مد امنیتی EMM^1 ، MME را آگاه می‌کند (۲). با دریافت این پیام MME شروع به دریافت رمزنگاری می‌نماید.

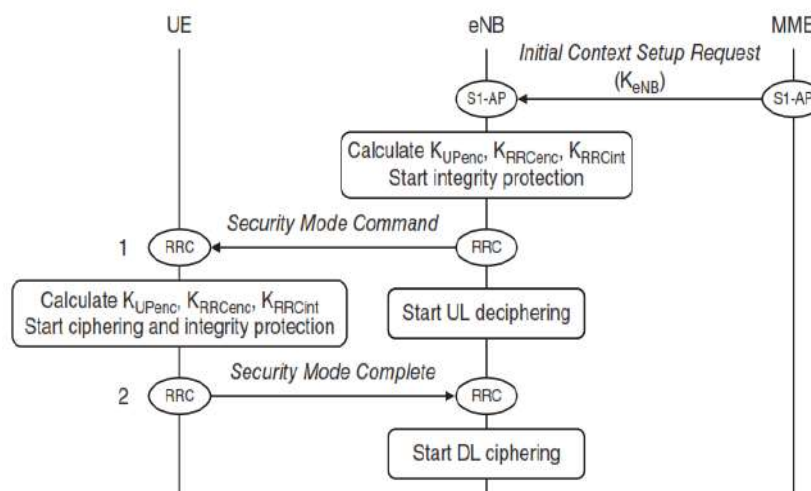
اگر ارتباط موبایل با MME قطع شود، هر دو وسیله، رونوشت‌های K_{NASenc} و K_{NASint} خود را دور می‌ریزند، اما MME تا زمانی که موبایل رونوشت‌های IK و CK را نگه داشته باشد، K_{ASME} خودش را نگه می‌دارد. زمانی که موبایل دوباره روشن شده (آغاز به کار کرد)، شروع به محاسبه K_{NASenc} و K_{NASint} می‌کند و پس از آن، این مقادیر محاسبه شده را برای حفاظت از جامعیت دنباله فرایند اتصال به شبکه به کار می‌برد. این درخواست رمز نشده است چرا که شبکه خطری را از جانب آن احساس نمی‌کند.

تنها قبل از آن که شبکه حامل رادیویی پیش‌فرض و حامل‌های سیگنالینگ رادیویی ۲ را آغاز کند، امنیت فشر دسترسی (AS) آغاز می‌شود. شکل ۱۲-۵ دنباله این پیام را نشان می‌دهد. برای آغاز کردن پردازش، MME مقدار K_{eNB} را حساب می‌کند، سپس MME، K_{eNB} را در داخل

1. EMM Security Mode Complete

2. Download

درخواست برقراری محتوای اولیه S1-AP، به ایستگاه پایه ارسال می‌کند، که در مرحله ۱۷ از فرایند اتصال به شبکه آن را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۱۵-۱۲- فعال‌سازی امنیت در AS منبع: TS: 33.401 بازنشر با مجوز ETSI

از اینجا به بعد، این فرایند بسیار شبیه به فعال‌سازی امنیت NAS است. با استفاده از K_{eNB}، ایستگاه پایه کلیدهای رمزنگاری و حفاظت از جامعیت K_{UPenc}، K_{RRCenc} و K_{RRCint} را محاسبه می‌کند. سپس یک دستور حالت/امنیتی RRC^۱ را به موبایل ارسال می‌کند (مرحله ۱)، که در آن جامعیت با استفاده از K_{NASint} محافظت شده است. موبایل پیام حفاظت از جامعیت را چک کرده، سپس کلیدهای خود را حساب می‌کند و شروع به رمزنگاری و حفاظت از جامعیت می‌نماید. پس از آن، موبایل با استفاده از یک پیام تکمیل حالت/امنیتی RRC^۲، ایستگاه پایه را آگاه می‌سازد (مرحله ۲) و ایستگاه پایه بتواند رمزنگاری را دریافت کند.

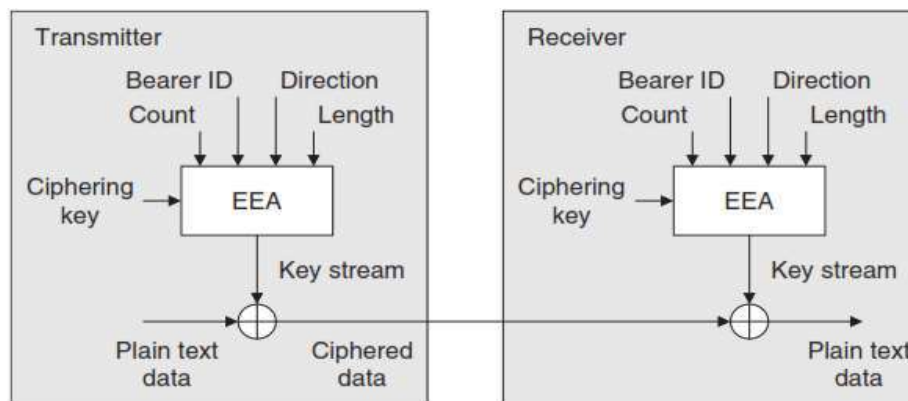
در طول فرایند دست به دست کردن بر پایه X2 که به طور مفصل در فصل چهاردهم پوشش خواهیم داد، ایستگاه پایه قدیمی یک کلید امنیتی جدیدی را از روی K_{eNB} می‌سازد. ایستگاه پایه این کار را به دو روش انجام دهد: یا با استفاده از روشی به نام گام بعدی (NH)^۳، که در آن ایستگاه پایه آن را از MME در پایان فرایند دست به دست کردن مبتنی بر X2 قبلی گرفته است یا

1. RRC Security Mode Command
2. RRC Security Mode Complete
3. Next Hop

به طور مستقیم از روی K_{eNB}^* انجام می‌دهد. سپس ایستگاه پایه قبلی K_{eNB}^* را به ایستگاه پایه جدید می‌دهد، که آن را به عنوان مقدار جدیدی از K_{eNB}^* به کار می‌گیرد. اگر موبایل به حالت RRC_LDIE برود، در نتیجه، K_{eNB} ، K_{UPenc} ، K_{RRChc} و K_{NASint} حذف می‌شوند. اما موبایل و MME هر دو K_{ASME} را نگه می‌دارند و از آن برای ساختن کلیدهای امنیتی جدید برای زمانی که موبایل دوباره به وضعیت RRC_CONNECTED بر می‌گردد، استفاده می‌کند.

۱۲-۱-۵ رمزنگاری

رمزنگاری به دلیل این است، که مهاجم نتواند داده‌هایی که بین فرستنده و گیرنده رد و بدل می‌شوند را بخواند [۱۰-۱۲]. پروتکل‌های همگرایی داده بسته (PDCP)، داده‌ها و پیام‌های سیگنالینگ را در قشر دسترسی (AS) واسطه هوایی رمز می‌کنند، چنانچه پروتکل EMM پیام‌های سیگنالینگ در NAS رمزنگاری می‌کند.



شکل ۱۲-۶ عمل کرد الگوریتم رمزنگاری منبع: TS 33.401 بازنشر با مجوز ETSI

شکل ۱۲-۶ فرایند رمزنگاری را نشان می‌دهد. فرستنده کلید رمزنگاری خودش را با فیلدهای اطلاعات دیگر برای تولید یک جریان کلید شبه تصادفی به کار گرفته و آن را با اطلاعات ورودی با استفاده از یک عملگر XOR ادغام می‌کند. گیرنده رونوشت رشته کلید خودش را تولید می‌کند و مرحله ادغام را نیز انجام می‌دهد. بنابراین از روی آن، داده‌های رسیده را بازیابی می‌کند. این الگوریتم به صورت یک طرفه^۱ طراحی شده است، بنابراین، مهاجم نمی‌تواند کلید امنیتی را از روی پیام‌های انتقالی در یک دوره زمانی معقول به دست بیاورد.

1. One Way

LTE فعلی از چهار الگوریتم رمزنگاری EPS ($EEAs$)^۱ پشتیبانی می‌کند. دو نوع از آن SNOW 3G هستند، که در نسخه هفتم از استاندارد UMTS کاربرد داشتند و دیگری استاندارد رمزنگاری توسعه یافته (AES)^۲ می‌باشد. نسخه یازده یک الگوریتم دیگری نیز به عنوان دومین الگوریتم اضافه کرد که به نام ZUC شناخته می‌شود و در اواخر قرن پنجم توسط محقق چینی Zu Chongzhi ابداع شده بود و در ابتدا در چین به کار برده شد. آخرین الگوریتم نیز که الگوریتم چهارم است، الگوریتم رمزنگاری تهی (NULL) است، به این معنی است، همان گونه که، سیستم‌های ارتباطی موبایل نسل های قبلی واقعا مجبور نبودند همه چیز را در واسط هوایی رمزکنند، با این حال یک وسیله LTE مجبور است تا به کاربر اجازه دهد، تا بداند که آیا واسط هوایی از رمزنگاری استفاده می‌کند یا نه.

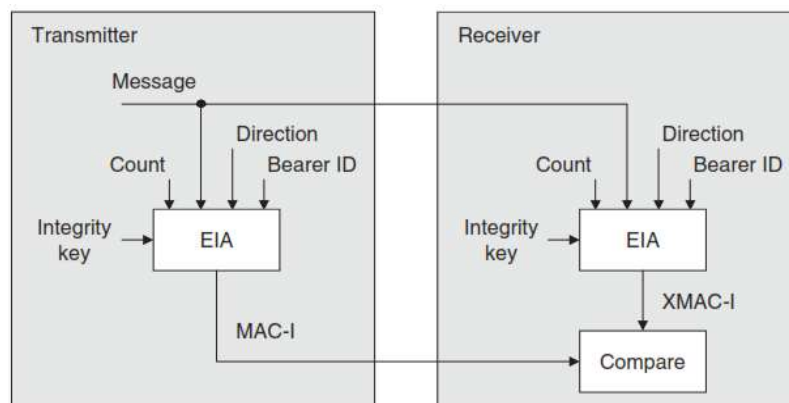
۱۲-۱-۶ حفاظت از جامعیت

حفاظت از جامعیت [۱۵-۱۳] به یک وسیله اجازه می‌دهد تا بداند که پیام‌های سیگنالی که دریافت کرده است، آیا دچار دستکاری و تغییر شده است یا نه. این روش برای مقابله با حملاتی نظیر Man In The Middle به کار می‌رود. پروتکل همگرایی داده بسته‌ای (PDCP)، محافظت از جامعیت را برای حفاظت از پیام‌های سیگنالی در واسط هوایی قشر دسترسی (AS) به کار می‌گیرد، که پروتکل EMM حفاظت از جامعیت داده‌ها را برای پیام‌های خود، در NAS استفاده می‌کند.

شکل ۱۲-۷ این روش را نشان می‌دهد. فرستنده هر پیام سیگنالی را توسط یک الگوریتم جامعیت EPS (EIA)^۳ می‌فرستد. با استفاده از یک کلید حفاظت از جامعیت مناسب، این الگوریتم یک فیلد جامعیت ۳۲ بیتی که به اختصار MAC-1 نشان داده می‌شود، را حساب می‌کند و آن را به پیام اصلی اضافه می‌کند. گیرنده فیلد مربوط به جامعیت را از پیام سیگنالی جدا کرده و فیلد جامعیت MAC-1 مورد نظر خود را حساب می‌کند. اگر مقدار مشاهده شده با آنچه انتظار داشت، برابر بود عملیات حفاظت از جامعیت به درستی انجام شده است. در غیر این صورت گیرنده به این نتیجه می‌رسد، که اطلاعات دریافتی دستکاری شده است و آن را دور می‌ریزد.

-
1. EPS Encryption Algorithms
 2. Advanced Encryption Standard
 3. EPS Integrity Algorithm

حفاظت از جامعیت برای اغلب پیام‌های سیگنالینگ که بین موبایل و شبکه رد و بدل می‌شود، بعد از فعال‌سازی امنیت اجباری است و بر پایه SNOW 3G ، AES یا ZUC یا روش‌های قبل از آن است. اما از نسخه نهم بعد، موبایل می‌تواند یک الگوریتم حفاظت از جامعیت تهی برای تنها برقراری تماس‌های ضروری صوتی بدون UICC استفاده نماید.



شکل ۱۲-۷ عملکرد الگوریتم حفاظت از جامعیت منبع: TS 33.401 بازنشر با مجوز ETSI

۱۲-۲ امنیت حوزه شبکه

۱۲-۲-۱ پروتکل‌های امنیتی

در داخل یک شبکه ثابت دو وسیله ارتباطی اغلب اطلاعات خودشان را به شکل امن مخابره می‌کنند، چرا که شبکه ثابت بر پایه IP است و با استفاده از پروتکل‌های امنیتی IETF می‌توان امنیت را برقرار کرد [۱۶]. تجهیزات ابتدا همدیگر را احراز هویت می‌کنند پس یک نشست امنیتی با استفاده از یک الگوریتم شناخته شده‌ای مانند *مبادله کلید اینترنتی نسخه ۲ (IKE2)*^۱ برقرار می‌نمایند [۱۷ و ۱۸]. این کار بر مبنای استفاده از امنیت از قبل به اشتراک گذاشته شده در واسط هوایی با استفاده از کلید K یا بر روی رمزنگاری کلید عمومی است.

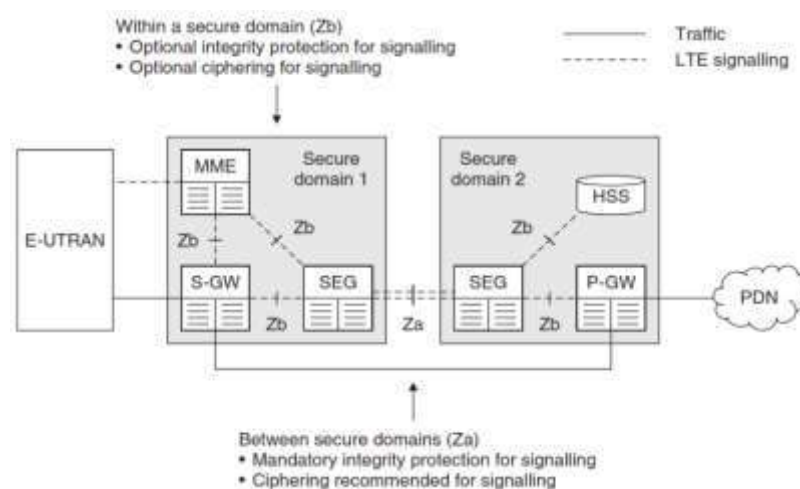
سپس رمزنگاری و حفاظت از جامعیت با استفاده از پروتکل امنیتی/اینترنت (IPsec)^۲ و EPS^۳ انجام می‌گیرد [۱۹ و ۲۰]. با توجه به موقعیت‌ها، شبکه می‌تواند EPS حالت شفاف^۱ را که فقط از

1. Internet Key Exchange Version 2
2. Internet Protocol Security
3. Encapsulating Security Payload

پایلود یک پروتکل IP حفاظت می‌کند، یا حالت تونل^۲ که از سرایند IP نیز حفاظت می‌کند را به کار گیرد. این روش‌ها در دو بخش از شبکه LTE کاربرد دارند، که در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

۱۲-۲-۲ امنیت در EPC

در EPC، ارتباطات ایمن نیازمند اجرا شدن روی شبکه‌های مختلف از اپراتورهای مختلف که به صورت رومینگ هستند، می‌باشد. برای پشتیبانی از این کار، هسته تکامل یافته بسته (EPC) با استفاده از حوزه‌های امنیتی^۳ مدل‌سازی شده است. هر حوزه امنیتی معادل با یک اپراتور شبکه EPC است (شکل ۸-۱۲). اما در صورت نیاز، هر اپراتور می‌تواند EPC را به بیش از یک ناحیه یا حوزه امنیتی تقسیم کند.



شکل ۸-۱۲ مثالی داز اجرای معماری حوزه‌ی امنیتی شبکه در یک EPC

از دیدگاه عملیات حوزه امنیتی شبکه، حوزه‌های امنیتی مختلف با استفاده از یک واسطه Za از هم جدا شده‌اند. بر روی این واسطه استفاده از حالت تونل ESP برای حفاظت از پیام‌های سیگنالیتهی LTE ضروری می‌باشد.

توابع امنیتی، با استفاده از دروازه‌های امنیتی (SEGs)، پیاده‌سازی می‌شوند. اگر اپراتورها بخواهند عملیات دروازه‌های امنیتی را بر روی عناصر شبکه خود به کار بگیرند، این کار تحقق

1. Transparent Mode
2. Tunnel Mode
3. Security Domains
4. Secure Gateways

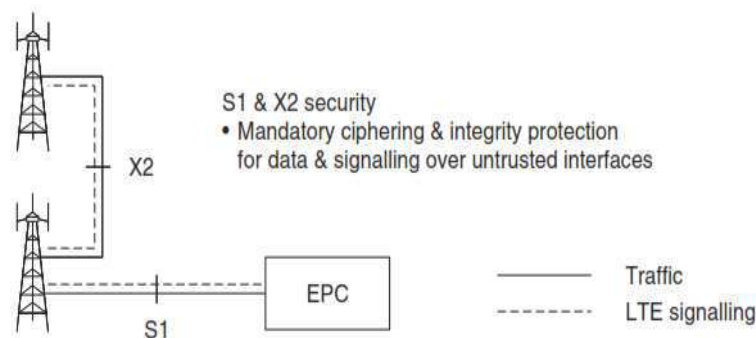
می‌یابد. در اینجا هیچ گونه حفاظت از داده‌ها که معمولاً یک شبکه ناامن عمومی هستند، وجود ندارد. در صورت نیاز، داده‌ها در لایه کاربرد حفاظت می‌شوند.

در داخل یک حوزه امنیتی، عناصر شبکه به وسیله واسطه Zb جداسازی می‌شوند. این پروتکل معمولاً زیر نظر یک اپراتور شبکه می‌باشد. بنابراین حفاظت از پیام‌های سیگنالینگ EPS در این واسطه اختیاری است. اگر از پروتکل حفاظتی استفاده شود، پشتیبانی از حالت تونل ESP اجباری خواهد بود، در حالی که پشتیبانی از حالت شفاف ESP اختیاری می‌باشد.

امنیت فقط در واسطه‌های S5 و S8 فرق دارند، که ما آنها را در فصل دوم معرفی کردیم. در داخل واسطه S5، دروازه‌های خدمت‌رسانی و PDN، در یک حوزه امنیتی یکسان قرار می‌گیرند. بنابراین توابع و عملیات امنیتی اختیاری بوده و با استفاده از واسطه Zb پیاده‌سازی می‌شوند. در داخل S8، دروازه‌های حوزه‌های امنیتی مختلف قرار دارند و بنابراین استفاده از توابع و عملیات امنیتی در آنها اجباری بوده و با استفاده از Za پیاده‌سازی می‌شوند.

۱۲-۲-۳ امنیت در شبکه دسترسی رادیویی

در یک شبکه دسترسی رادیویی، معمولاً اپراتور شبکه امنیت را در واسطه‌های X2 و S1 که اولی ایستگاه‌های پایه را به یکدیگر متصل می‌کنند و دومی برای ارتباط با هسته توسعه یافته بسته (EPC) به کار می‌رود، برقرار می‌کند. این روش مخصوصاً برای یک شبکه Femtocell که در آن یک ایستگاه پایه خانگی با استفاده از یک بستر واسطه عمومی IP با EPC در ارتباط است یا در یک شبکه‌ای که واسطه‌های X2 و S1 با استفاده از لینک‌های میکروویو پیاده‌سازی شده‌اند، به کار برده می‌شود.



شکل ۱۲-۹ معماری حوزه امنیتی شبکه برای واسطه‌های X2 و S1

برای حل این مسئله، اپراتورهای شبکه مجبور هستند، واسطه‌های S1 و X2 را همانطور که در شکل ۹-۱۲ نشان داده شده است، ایمن کنند. مگر اینکه این واسطه‌ها با استفاده از سایر مکانیزم‌های فیزیکی حفاظت شده باشند. اگر این واسطه‌ها ایمن باشند، پشتیبانی از حالت تونل ESP اجباری بوده و پشتیبانی از حالت شفاف ESP اختیاری خواهد بود. توابع امنیتی روی پیام‌های سیگنالینگ LTE و اطلاعات کاربران اجرا می‌شوند که یک شرط شبیه AS در واسطه هوایی است، اما با EPC تفاوت دارد.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 33.401 (2013) 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture, Release 11, June 2013.
2. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, September 2013.
3. 3GPP TS 29.272 (2013) Evolved Packet System (EPS); Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) Related Interfaces Based on Diameter Protocol, Release 11, September 2013.
4. 3GPP TS 31.102 (2013) Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) Application, Release 11, September 2013.
5. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC) Protocol Specification, Release 11, September 2013.
6. Forsberg, D., Horn, G., Moeller, W.-D. and Niemi, V. (2012) *LTE Security*, 2nd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
7. 3GPP TS 33.401 (2013) 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture, Release 11, Section 6.2, June 2013.
8. 3GPP TS 33.401 (2013) 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture, Release 11, Section 6.1, June 2013.
9. 3GPP TS 33.401 (2013) 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture, Release 11, Section 7.2.4, June 2013.
10. 3GPP TS 33.401 (2013) 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture, Release 11, Annex B.1, June 2013.

11. 3GPP TS 36.323 (2013) Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification, Release 11, Section 5.6, June 2013.
12. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, Section 4.4.5, September 2013.
13. 3GPP TS 33.401 (2013) 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture, Release 11, Annex B.2, June 2013.
14. 3GPP TS 36.323 (2013) Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification, Release 11, Section 5.7, March 2013. Security Procedures **213**
15. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, Section 4.4.4, September 2013.
16. 3GPP TS 33.401 (2013) 3GPP System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture, Release 11, Sections 11, 12, June 2013.
17. 3GPP TS 33.310 (2012) Network Domain Security (NDS); Authentication Framework (AF); Network Domain Security (NDS); Authentication Framework (AF), Release 11, December 2012.
18. IETF RFC 4306 (2005) Internet Key Exchange (IKEv2) Protocol, December 2005.
19. 3GPP TS 33.210 (2012) 3G Security; Network Domain Security; IP Network Layer Security, Release 11, September 2012.
20. IETF RFC 4303 (2005) IP Encapsulating Security Payload (ESP), December 2005.

فصل سیزدهم: کیفیت سرویس،

سیاست‌گذاری و شارژینگ

ما در فصل‌های دوم و یازدهم چگونگی انتقال داده‌ها در EPC را با استفاده از حامل‌ها و تونل‌ها شرح داده‌ایم و چگونگی برپایی یک حامل پیش‌فرض EPC برای یک موبایل در طول فرایند اتصال به شبکه را بیان کردیم. علاوه بر این، ما به این نکته اشاره کردیم، که هر حاملی با یک کیفیت سرویس همراه شده است و اطلاعات توصیفی مانند نرخ داده حامل، نرخ خطا و تأخیر را بیان می‌کند. اما تاکنون برخی از موضوعات مهم در ارتباط با QoS را بیان نکرده‌ایم، که چگونه شبکه آنها را مشخص می‌کند، مدیریت کیفیت سرویس را انجام می‌دهد، چگونه کاربر را شارژ می‌کند. این موارد موضوعات این فصل می‌باشند.

در ابتدا ما با تعریف مفاهیم سیاست و کنترل شارژینگ آغاز می‌کنیم و با توصیف معماری که برای سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ در LTE انجام می‌گیرد، ادامه می‌دهیم. سپس با توصیف فرایندهایی برای سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ و برای مدیریت نشست، که از طریق یک کاربردی که درخواست کیفیت سرویسی را می‌کند، بحث را ادامه خواهیم داد. با توصیف انتقال داده در EPC و شارژینگ آنلین و آفلاین مباحث این فصل را به اتمام می‌رسانیم.

سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ به وسیله دو مشخصات 3GPP یعنی TS 23.203 [۱] و TS 29.213 انجام می‌گیرد [۲]. سیستم شارژینگ در TS 32.240 [۳] و TS 32.251 [۴] به طور خلاصه آورده شده است. طبق معمول، جزئیات مراحل در ویژگی‌های یاد شده به هر یک از پروتکل‌های سیگنالینگ مربوط هستند. آنها از روی منابع [۵-۸] جمع‌آوری شده‌اند. اما ما برخی از پروتکل‌های دیگر در ارتباط با سیاست‌گذاری و شارژینگ را از منابع مختلف در این فصل گرده‌آوری کرده‌ایم.

۱۳-۱ سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ

۱۳-۱-۱ پارامترهای کیفیت سرویس

در فصل دوم بیان کردیم، که LTE از جریان‌های داده دو طرفه به نام حامل‌های EPC برای انتقال داده بین موبایل و دروازه PDN در قالب یک مسیر صحیح و با کیفیت سرویس مناسب استفاده می‌کند. برای افزودن برخی از جزئیات، اجازه دهید، نگاهی به چگونگی تعیین کیفیت سرویس بر روی یک حامل EPS بنماییم [۹ و ۱۰].

مهم‌ترین پارامتر کیفیت سرویس، شناسه کلاس (QoS) (QCI)^۱ است. این شناسه یک شناسه ۸ بیتی است و به یک جدول اشاره می‌کند و چهار مقدار دیگر را تعریف می‌کند. اولین مقدار نوع منبع^۲ است، که حامل‌ها را به دو کلاس تقسیم می‌کند. یکی حامل GBR با یک نرخ بیت تضمینی^۳ است و حداقل میزان نرخ ارسال داده در یک مدت زمان طولانی می‌باشد، که انتظار می‌رود موبایل دریافت کند. حامل‌های GBR، مناسب سرویس‌های بلادرنگ (RT) مثل صوت هستند که در آنها، نرخ بیت تضمین شده به پایین‌ترین نرخ بیت کد کننده صوتی تخصیص داده می‌شود تا به دست کاربر برسد. یک حامل بدون GBR^۴ هیچگونه تضمین کیفیت سرویس را به همراه ندارد، بنابراین برای سرویس‌هایی با تأخیر (NRT)^۵ نظیر صفحات وب مناسب می‌باشد و در آن نرخ داده ممکن است تا صفر برسد. حامل پیش‌فرض همیشه یک حامل بدون GBR است، در حالی که، حامل اختصاصی یا می‌تواند GBR یا بدون GBR باشد.

میزان خطای بسته/ نرخ از دست دادن^۶ بسته بیان کننده حداکثر بسته‌هایی است که به دلیل خطا در انتقال و دریافت اطلاعات روی می‌دهد. شبکه باید این قابلیت انعطاف‌پذیری را به حامل‌های GBR خود اعمال کند. حامل‌های بدون GBR می‌توانند از دست دادن بسته بیشتری را در صورتی که در شبکه ازدحام به وجود می‌آید، داشته باشند. بودجه تأخیر بسته^۷ مقداری حداکثر با ۹۸٪ اطمینان برای تأخیری است، که بین موبایل و دروازه PDN دریافت می‌شود. در نهایت سطح اولویت QCI^۸ تعیین کننده ترتیب بسته داده‌هایی است که منتقل شده‌اند. شماره‌های کمتر، اولویت‌های بالایی را می‌گیرند و یک شبکه دارای ازدحام، بودجه تأخیر بسته حامل‌ها با اولویت N را قبل از بسته‌های اولویت N+1 دریافت می‌کند.

برخی از شناسه‌های کلاس‌های QoS که استانداردسازی شده‌اند و پارامترهایی برای آنها تعیین شده است، در جدول ۱-۱۳ آورده شده است. حامل‌های موجود در این کلاس‌ها حتی در صورتی که موبایل در حالت رومینگ باشند، می‌توانند یک کیفیت سرویس سازگار با آن شرایط را

-
1. Qos Class Identifier
 2. Resource Type
 3. Guaranteed Bit Rate
 4. Non-GBR Bearer
 5. Non Realtime
 6. Packet Error/ Loss Rate
 7. Packet Delay Budget
 8. QCI Priority Level

دریافت کنند. اپراتورهای شبکه‌ها می‌توانند کلاس‌های سرویس دیگری برای آنها تعریف کنند، اما این اپراتورها بیشتر تمایل دارند تا این کلاس‌های کیفیت سرویس را برای موبایل‌هایی که در داخل شبکه خودشان هستند و در رومینگ قرار ندارند، تعریف نمایند.

پارامترهای QoS دیگری در جدول ۱۳-۲ گردآوری شده است. هر حامل GBR با یک نرخ بیت تضمین شده ارایه شده که ما قبلاً به آن اشاره کرده بودیم و یک نرخ بیت حداکثر (MBR)^۱ را به همراه دارند. یک نرخ بیت حداکثر (MBR) بالاترین میزان نرخ بیت داده‌ای است، که بر روی یک حامل دریافت می‌شود. بنابراین می‌تواند تا بیشترین میزان نرخ بیت کد کننده صوتی یک کاربر باشد. با این وجود، مشخصات فنی 3GPP اجازه می‌دهند تا حداکثر نرخ بیت بزرگتر از میزان نرخ بیت تضمین شده در نسخه دهم و بعد از آن باشد.

جدول ۱۳-۱ مشخصات QCI استانداردسازی شده

QCI	Resource type	Packet error/ loss rate	Packet delay budget (ms)	QCI priority	Example services
1	GBR	10^{-2}	100	2	Conversational voice
2		10^{-3}	150	4	Real time video
3		10^{-3}	50	3	Real time games
4		10^{-6}	300	5	Buffered video
5	Non-GBR	10^{-6}	100	1	IMS signalling
6		10^{-6}	300	6	Web, email, FTP (high priority users)
7		10^{-3}	100	7	Voice, real time video, real time games
8		10^{-6}	300	8	Web, email, FTP (mid priority users)
9		10^{-6}	300	9	Web, email, FTP (low priority users)

منبع: TS 23.303 بازنشر با مجوز ETSI

جدول ۱۳-۲ پارامترهای کیفیت سرویس

Parameter	Description	Use by GBR bearers	Use by non-GBR bearers
QCI	QoS class identifier	✓	✓
ARP	Allocation & retention priority	✓	✓
GBR	Guaranteed bit rate	✓	×
MBR	Maximum bit rate	✓	×
APN-AMBR	Per APN aggregate maximum bit rate	×	One field per APN
UE-AMBR	Per UE aggregate maximum bit rate	×	One field per UE

1. Maximum Bit Rate

نرخ بیت روی حامل‌های بدون GBR، در مجموع با دو پارامتر دیگر محدود شده‌اند. این پارامتر یکی مجموع حداکثر نرخ بیت به ازای هر APN ($APN-AMBR$)^۱ است، که مجموع نرخ داده موبایل روی حامل‌های بدون GBR، که با استفاده از یک نام نقطه دسترسی کار می‌کند را، محدود می‌کنند و دیگری، مجموع حداکثر نرخ بیت به ازای هر UE ($UE-AMBR$)^۲ است، که مجموع نرخ بیت یک موبایل روی همه حامل‌های بدون GBR را محدود می‌کند.

در نهایت، تخصیص و نگهداری اولویت (ARR)^۳ دارای سه فیلد است. فیلد سطح اولویت (ARP)^۴ که ترتیب درخواست را در یک شبکه شلوغ برای برقراری و یا تغییر یک حامل را تعیین می‌کند. با دریافت سطح یک، حداکثر اولویت سطح به کاربر تعلق می‌گیرد. (توجه شود که این پارامتر با سطح اولویت QCI که در بالا توضیح داده شد، متفاوت می‌باشند). فیلد قابلیت بقاء تعیین کننده^۵ حاملی است، که می‌تواند منبع را از سایر حامل‌ها با یک اولویت پایین بگیرد و معمولاً برای سرویس‌های اضطراری در نظر گرفته شده است. به طور مشابه فیلد آسیب‌پذیری بقاء^۶ تعیین کننده این است، که یک حامل در مواجهه با یک حامل با اولویت بالاتر، منبع خود را از دست می‌دهد.

ما برخی از این پارامترها را در فصل دهم هنگامی که پروتکل کنترل دسترسی رسانه را توضیح می‌دادیم مطالعه کرده بودیم. در الگوریتم اولویت‌بندی کانال منطقی موبایل، اولویت کانال منطقی از سطح اولویت QCI در جدول ۱۳-۱ استخراج شده است. در حالی که نرخ بیت اولویت بندی شده از نرخ بیت تضمین شده در جدول ۱۳-۲ مشتق می‌شود.

۱۳-۱-۲ سرویس جریان‌های داده

یک حامل EPC تنها محدود به حمل یک رشته اطلاعات نمی‌شود، بلکه این حامل چندین رشته از جریان داده را همان گونه که در شکل ۱۳-۱ نشان داده می‌شود، را منتقل می‌کند.

هر حامل EPC دارای، یک یا تعداد زیادی از سرویس جریان‌های داده (SDF)^۷ است، که هر SDF بسته‌ها را از یک سرویس خاصی مثل یک جریان ویدیویی منتقل می‌سازد. این سرویس

1. Per APN Aggregate Maximum Bit Rate

2. Per UE Aggregate Maximum Bit Rate

3. Allocation And Retention Priority

4. ARP Priority Level

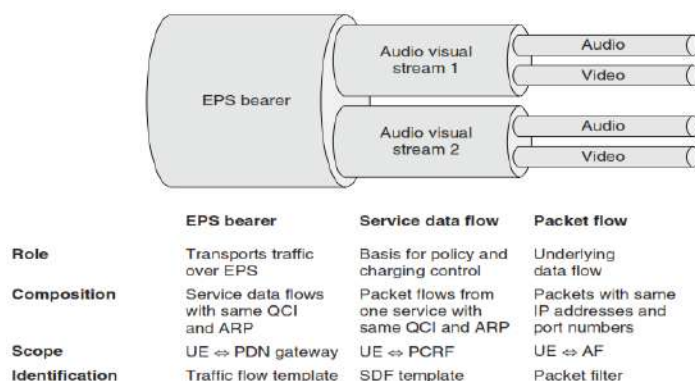
5. Pre-Emption Capability

6. Pre-Emption Vulnerability

7. Service Data Flows

جریان داده باید کیفیت سرویس یکسانی برای یک حامل EPS به اشتراک به گذارد. به ویژه CQI و ARP یکسانی را جهت اطمینان از این که آنها با یک روش منتقل خواهند شد. به عنوان مثال ممکن است، یک کاربر در حال دانلود دو جریان ویدیویی جداگانه باشد که هرکدام به عنوان یک سرویس جریان داده تعریف شده باشند. اگر این جریان‌های ویدیویی دارای یک CQI و ARP یکسانی باشند، در این صورت شبکه آنها را با استفاده از یک حامل EPS منتقل می‌کند. در غیر این صورت، باید دو حامل EPS را برای انتقال آنها استفاده کند. نگاشت بین سرویس جریان داده و حامل‌های EPS به وسیله دروازه PDN مدیریت می‌شود.

در ادامه، هر سرویس جریان داده دارای یک یا تعداد بیشتری از جریان‌های بسته^۱ یک طرفه مانند جریان‌های ویدیویی و صوتی است، که آن سرویس را تشکیل می‌دهند. در هر سرویس جریان داده باید QCI و ARP یکسانی را به اشتراک بگذارد. به عنوان مثال، در یک سرویس تلفن تصویری (ویدیویی)، ممکن است شبکه یک اولویت تخصیص و نگهداری پائینی را برای آن در نظر بگیرد، در نتیجه، در یک سلول شلوغ که با ازدحام مواجه می‌شود، سرویس ویدیویی را قطع کرده و تماس صوتی را حفظ کند. برای انجام این کار، شبکه باید جریان‌های بسته را با استفاده از دو سرویس جریان‌های داده با اولویت تخصیص و نگهداری مختلف در نظر بگیرد و در نهایت دو نوع حامل‌های EPS مختلف را استفاده کند. جریان‌های بسته به عنوان یک برنامه کاربردی شناخته می‌شوند. در حالی که، نگاشت بین جریان بسته و سرویس جریان داده به وسیله یک عنصر شبکه اداره می‌شوند، که به نام تابع قوانین سیاست‌گذاری و شارژینگ (PCRF)^۲ می‌باشد و به زودی بحث خواهد شد.



شکل ۱۳-۱ ارتباط بین حامل‌های EPS، سرویس جریان‌های داده و جریان‌های بسته

1. Packet Flows

2. Policy And Charging Rules Function

با افزودن برخی از جزئیات بیشتر، هر جریان داده، با استفاده از یک فیلتر بسته^۱ شناسایی می‌شوند، که دارای اطلاعاتی نظیر آدرس‌های IP مبدأ و مقصد، تجهیزات و شماره پورت‌های UDP یا TCP، برنامه‌های کاربردی مبدأ و مقصد است. سرویس جریان داده با استفاده از یک قالب SDF^۲ شناخته می‌شود. این قالب، مجموعه فیلترهای بسته‌هایی هستند که آن را تشکیل می‌دهند. به طور مشابه، هر حامل EPS با استفاده از یک قالب جریان ترافیک (TFT)^۳ شناسایی می‌شود، که مجموعه‌ای از قالب‌های SDF تشکیل دهنده آن هستند.

۱۳-۱-۳ پارامترهای شارژینگ

هر سرویس داده دارای پارامترهایی است، که چگونگی شارژ شدن اعتبار یک مشترک را بیان می‌کند. روش شارژینگ می‌تواند شارژینگ آفلاین باشد، که این نوع شارژینگ برای یک صورت حساب ماهانه ساده مناسب است یا شارژینگ می‌تواند شارژینگ آنلاین باشد، که این نوع شارژینگ نیز سناریوهایی با پیچیدگی بیشتر مانند سرویس‌های شارژینگ اعتباری^۴ یا محدودیت داده ماهانه می‌باشد. روش اندازگیری^۵، تعیین کننده این است، که شبکه باید دوره یا اندازه و یا هر دوی آنها را برای یک جریان داده محاسبه نماید. در نهایت، کلید شارژینگ^۶ که به عنوان گروه رتبه‌بندی^۷ هم شناخته می‌شود، تعیین کننده تعرفه‌ای است، که سیستم شارژینگ نهایتاً آن را اعمال خواهد کرد.

به محضی که یک سرویس جریان داده پیکربندی می‌شود، دروازه‌های خدمت‌رسانی و PDN جریان ترافیک را به همراه پارامترهای مربوطه مانیتور کرده و اطلاعات مربوط به آن را به سیستم شارژینگ آنلاین و آفلاین ارسال می‌کنند. این روش‌ها را در انتهای این فصل مرور خواهیم کرد.

-
1. Packet Filter
 2. SDF Template
 3. Traffic Flow Template
 4. Charging Method
 5. Pre-Paid Charging
 6. Charging Key
 7. Rating Group

۱۳-۱-۴ سیاست گذاری و قوانین کنترل شارژینگ

کیفیت سرویس یک مفهوم دیگری به نام دروازه^۱ را به همراه دارد. دروازه تعیین کننده این است، که چه بسته‌هایی اجازه انتقال در داخل یک سرویس جریان داده را دارند. دروازه یک مفهوم خیلی مهمی است، چرا که، شبکه اغلب یک سرویس جریان داده را در سه مرحله پیکربندی می‌کند. از طریق تصدیق هویت کیفیت سرویس آن، پیکربندی حامل EPS و نهایتاً اجازه دادن به بسته‌ها برای انتقال سه روش یاد شده. برای انجام این کار، هر سرویس جریان داده دارای یک وضعیت دروازه^۲ می‌باشد. وضعیت دروازه می‌تواند بسته یا باز باشد. دروازه و QoS با همدیگر مفهومی به نام سیاست گذاری^۳ را تشکیل می‌دهند.

به ترتیب، سیاست گذاری و پارامترهای شارژینگ و نیز قالب SDF یک مجموعه داده‌ای به نام قوانین سیاست گذاری و گسترش شارژینگ (PCC)^۴ را تشکیل می‌دهند [۱۱ و ۱۲]. هر سرویس جریان داده به همراه یک قانون PCC آورده می‌شود، که چگونگی اجرا و تشخیص SDF توسط شبکه را بیان می‌کند. شبکه همچنین می‌تواند در کنار یک SDF چندین قانون SDF داشته باشد. این قوانین دارای یک سطح اولویت، یک زمان فعال‌سازی و یک زمان غیر فعال‌سازی هستند. این قوانین کمک می‌کنند تا شبکه در زمان‌های مختلفی از روز، از روش‌های مختلف شارژینگ مثل شارژینگ بر پایه زمان استفاده نمایند. شبکه قوانین PCC را با استفاده از یک مجموعه از عناصر شبکه که ما قبلاً آنها را بیان نکرده بودیم، مدیریت کند، که ما در بخش بعدی آنها را بیان خواهیم کرد.

۱۳-۲ معماری سیاست گذاری و کنترل شارژینگ

۱۳-۲-۱ معماری اولیه PCC

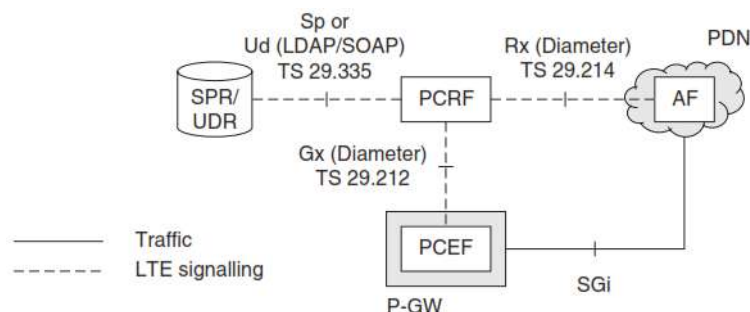
شکل ۱۳-۲ یک معماری پایه‌ای از سیاست گذاری و کنترل شارژینگ را نشان می‌دهد، که یک شبکه از واسط S5/S8 مبتنی بر GTP استفاده می‌کند [۱۳]. این معماری برای هر دو حالتی که موبایل در رومینگ باشد و یا در در شبکه خانگی خودش قرار داشته باشد، کاربرد دارد.

1. Gating

2. Gate State

3. Policy

4. Policy And Charging Control Rules



شکل ۱۳-۲ معماری کنترل سیاست‌گذاری برای یک واسطه S5/S8 مبتنی بر GTP را نشان می‌دهد.

منبع: TS 23.203 بازنشر با مجوز ETSI

مهم‌ترین وسیله در این معماری، تابع قوانین سیاست‌گذاری و شارژینگ (PCRF)^۱ است. این تابع اجازه دریافت یک قانون PCC مناسب را فراهم می‌کند. LTE از دو نوع قوانین PCC پشتیبانی می‌کند: یکی به نام قوانین PCC/از قبل تعریف شده^۲ است که به طور ثابت توسط شبکه ذخیره شده‌اند و آنها تنها توسط PCRF ارجاع داده می‌شوند. دیگری، قوانین PCRF پویا^۳ است. قوانین PCC پویا توسط PCRF ساخته می‌شوند. ممکن است شبکه از اولین قوانین پیش تعریف شده PCC برای استانداردسازی شاخص‌های QoS استفاده کند، که قبلاً بیان شده‌اند. در حالی که ممکن است قوانین PCC را برای کاربردهای خاص رزرو کرده باشد.

دروازه PDN دارای یک تابع سیاست‌گذاری و اجرای شارژینگ (PCEF)^۴ است و از PCRF درباره پشتیبانی از یک قانون PCC برای یک سرویس جریان داده و تصمیم‌گیری PCRF درباره چگونگی اجرای آن پرس‌وجو می‌کند. مهمترین بخش PCEF یک تابع حامل ارتباطی (BBF)^۵ می‌باشد. این تابع تعیین کننده این است، که شبکه چگونه یک سرویس جریان را با استفاده از حامل های EPS برای مثال با تنظیم یک حامل EPS جدید یا با قرار دادن یک SDF در داخل یک حامل موجود، پیاده‌سازی خواهد کرد. بخش دیگر PCEF تابع گزارش رویداد (ERF)^۶ می‌باشد، که می‌تواند به گونه‌ای پیکربندی شود تا PCEF را از رویدادهای خاصی با خبر کند. برای مثال، زمانی که فناوری دسترسی رادیویی موبایل عوض می‌شود یا زمانی که اعتبار مشترکین به اتمام می‌رسد.

1. Policy And Charging Rules Function
2. Pre – Defined PCC Rules
3. Dynamic PCC Rules
4. Policy And Charging Enforcement Function
5. Bearer Binding Function
6. Event Reporting Function

برای سهولت در مشخص کردن قوانین سیاست‌گذاری و شارژینگ برای یک سرویس جریان داده، PCRF می‌تواند با برخی از تجهیزات دیگر ارتباط داشته باشد. در نسخه هشتم و نهم جزئیات حساب کاربری مشترکین در یک پایگاه داده‌ای بنام مخزن پروفایل کاربری (SPR)^۱ ذخیره می‌شود، که اطلاعات آن با HSS یکسان می‌باشد با آنکه SPR یک وسیله مجازی جدا است. در نسخه دهم، همه داده‌های حساب کاربری مشترکین می‌توانند در یک واحد مرکزی به نام مخزن داده کاربر (UDR)^۲ ذخیره شود؛ که HSS و PCRF می‌توانند برای مشخص کردن قوانین و مقررات برای کاربردهای خاص به آن دسترسی داشته باشند و در نهایت تابع برنامه کاربردی (AF)^۳ یک برنامه خارجی نظیر سرور VoIP را اجرا می‌کند و ممکن است توسط تجهیزات بیرونی کنترل شود.

با استفاده از این معماری، یک برنامه کاربردی می‌تواند، یک کیفیت سرویس را به دو روش درخواست نماید. نخست، برنامه کاربردی (AF) یک درخواست QoS را با ارسال یک پیام سیگنالینگ به طور مستقیم به PCRF می‌فرستد. دوم، موبایل می‌تواند یک درخواست QoS را از طریق ارسال یک پیام به MME ارسال کند، که MME نیز آن را به دروازه PDN و همچنین به PCRF منتقل می‌کند. در ادامه این فرایند را ملاحظه خواهیم کرد.

برای اتمام این بخش، شایان ذکر است که LTE می‌تواند بدون استفاده از PCRF کار کند. همانطور که یک شبکه می‌تواند یک قانون PCC از قبل تعریف شده را برای هر نام نقطه دسترسی استفاده کند، همان روش را می‌تواند برای همه کاربران و برای همه جریان‌های بسته خود به کار ببرد. چنین شبکه‌ای از حامل‌های اختصاصی پشتیبانی نمی‌کند و بسیاری از فرایندهای مدیریت نشست را اجرا نمی‌کند، که آن را در انتهای این فصل پوشش خواهیم داد. با این وجود، شبکه‌ای با این معماری سیاست‌گذاری توابع و شارژینگ محدودی که دارد، و چنین معماری می‌تواند برای شبکه‌هایی مفید باشد، که تنها دسترسی پایه به اینترنت را برای کاربران خود فراهم می‌کنند و کیفیت سرویس این شبکه‌ها به شدت برای دسترسی به اینترنت محدود شده است، با کاربران این کیفیت سرویس محدود شده، تنها می‌توانند به اینترنت دسترسی داشته باشند.

۱۳-۲-۲ معماری اتصالات محلی

اگر موبایل با استفاده از یک اتصال محلی^۴ در رومینگ باشد، عملیات PCRF به بخش‌هایی تقسیم می‌شود که در شکل ۱۳-۵ نشان داده شده است. این عملیات بین یک PCRF خانگی (H-PCRF)^۱ و

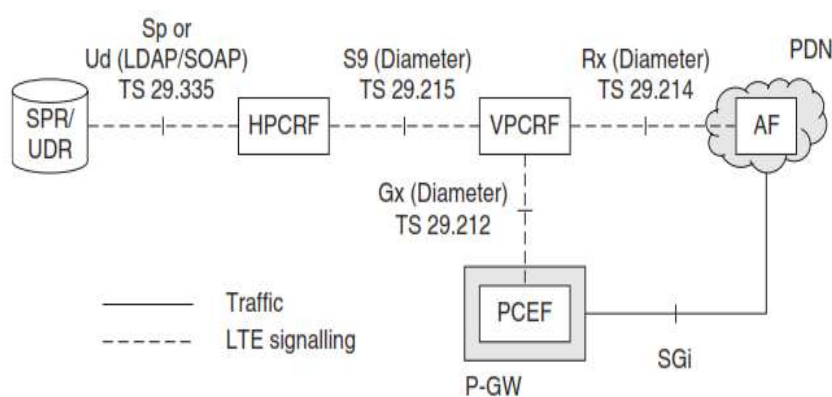
1. Subscription Profile Repository

2. User Data Repository

3. Application Function

4. Local Breakout

یک PCRF ملاقات شده (V-PCRF)^۲ تقسیم می‌شوند. زمانی که این معماری به کار برده می‌شود، یک درخواست (QoS) از یک موبایل یا تابع برنامه کاربردی (AF) به طور مستقیم به PCRF ملاقات شونده (V-PCRF) ارسال می‌شود که V-PCRF نیز آن را به H-PCRF منتقل می‌کند. H-PCRF قانون PCC را به V-PCRF برمی‌گرداند، حال V-PCRF مختار است آن را بپذیرد یا رد کند. در این روش، H-PCRF و V-PCRF هر دو دارای کنترل‌هایی برای کیفیت سرویس هستند که کاربر آن را دریافت می‌کند.

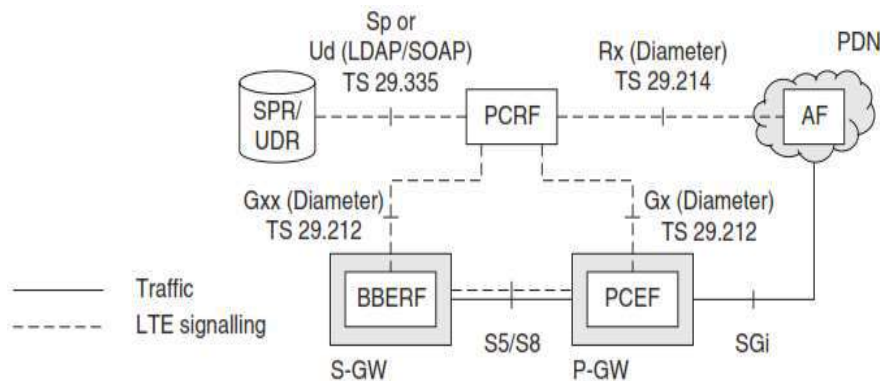


شکل ۱۳-۳ معماری سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ برای یک واسطه S5/S8 مبتنی بر رومینگ GTP با استفاده از معماری تقسیم محلی منبع: TS 23.203 بازنشر با مجوز ETSI

۱۳-۲-۳ معماری شارژینگ با استفاده از یک PMIP برپایه S5/S8

اگر واسطه S5/S8 برپایه پروکسی موبایل IP (PMIP) باشد، در این صورت حامل EPS تا دروازه خدمت‌رسانی منتشر می‌شود. برای پشتیبانی از این معماری، فرایند اتصال حامل به یک حامل/اتصال و تابع گزارش‌گیری (BBERF)^۲ تبدیل می‌شود، که در داخل دروازه خدمت‌رسانی قرار دارند. شکل ۱۳-۴ معماری حاصل شده برای یک موبایل در داخل شبکه خودش را نشان می‌دهد. اگر موبایل در رومینگ باشد، BBERF توسط PCRF ملاقات شده (V-PCRF) کنترل می‌شود. در حالی که قبلاً PCEF توسط H-PCRF یا R-PCRF کنترل می‌شد.

1. Home PCRF
2. Visited PCRF
3. Bearer Binding And Event Reporting Function



شکل ۱۳-۴ معماری سیاست‌گذاری و کنترل شارژینگ برای یک PMIP برپایه واسط S5/S8

منبع: TS 23.203 بازنشر با مجوز ETSI

۱۳-۲ پروتکل‌های نرم‌افزاری

اغلب واسط‌های سیگنالینگ PCRF مثل واسط بین MME و HSS از برنامه‌های کاربردی قطری^۱ استفاده می‌کنند. این برنامه‌های کاربردی شامل واسط‌های Gx و Gxx برای PCEF و BBERF هستند [۱۴]، واسط Rx برای تابع برنامه کاربردی (AF) است [۱۵] و واسط S9 بین PCRF‌های خانگی و ملاقات شونده قرار دارند [۱۶]. واسط Ud بین PCRF و مخزن داده کاربری (UDR) قرار دارد و از دو پروتکل غیر 3GPP به نام‌های ^۲LDAP و ^۲SOAP استفاده می‌کند [۱۷]. واسط Sp برای مخزن پروفایل حساب کاربری (SPR) مستقل به کار می‌رود که هنوز استانداردسازی نشده است.

۱۳-۳ لایه‌های مدیریت نشست

۱۳-۳-۱ برقراری نشست IP-CAN

در طول فرایند اتصال به شبکه، ما از بیان برقراری نشست (IP-CAN)^۴ رد شدیم، که در آن نشست، دروازه PDN کیفیت سرویس حامل‌های پیش‌فرض EPS را پیکربندی می‌کند. شکل ۱۳-۵ جزئیات

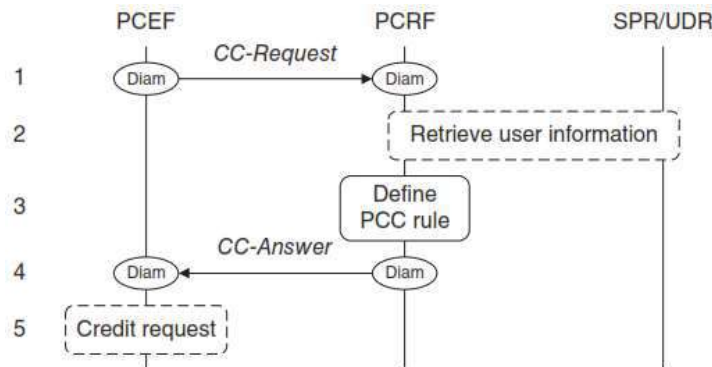
1. Diameter
2. Lightweight Access Directory Protocol
3. Simple Object Access Protocol
4. IP Connectivity Access Network

این نشست را نشان می‌دهد [۱۸]. در این مثال، فرض کردیم که موبایل در رومینگ نیست و واسط آن S5/S8 مبتنی بر GTP است.

این فرایند زمانی که دروازه PDN یک درخواست برقراری حامل پیش‌فرض EPS دریافت را می‌کند، آغاز می‌شود. در جواب این درخواست، PCEF یک درخواست قطری CC را به PCRF ارسال می‌کند (۱). این پیام دارای ISMI موبایل، نام نقطه دسترسی که موبایل به آن متصل است، کیفیت سرویس متناسب با اطلاعات کاربری مشترک و هر IP آدرسی که شبکه به موبایل اختصاص داده است، می‌باشد. PCRF این اطلاعات دریافتی را ذخیره می‌کند تا در فرایندهای آتی از آن استفاده کند. در صورتی که PCRF نیاز به جزئیات اطلاعات کاربری مشترکین، برای تعریف قوانین PCC، حامل‌های پیش‌فرض داشته باشد اما SPR را در اختیار نداشته باشد، در این صورت این اطلاعات را از روی UDR یا PCRF بازیابی می‌کند (۲).

حال PCRF می‌تواند کیفیت سرویس حامل پیش‌فرض و پارامترهای شارژینگ را تعریف کند. این کار را یا با انتخاب قوانین PCC از پیش تعریف شده که PCRF هم اکنون از روش آن باخبر است انجام می‌دهد یا با تولید تولید یک روش پویا، این کار را انجام می‌دهد (۳). در انجام آن، می‌تواند از کیفیت سرویس پیش‌فرض که قبلاً در داده کاربری مشترکین تعریف شده استفاده کند و یا می‌تواند خود یک کیفیت سرویس جدیدی را تعریف نماید. سپس این اطلاعات را با استفاده از یک پروتکل قطری پاسخ CC، به PCEF ارسال کند (۴). اگر قوانین PCC استفاده از شارژینگ آنالین را تعیین کرده باشند، در نتیجه PCEF یک درخواست اعتبار به سیستم شارژینگ آنالین ارسال می‌کند (۵)، که در زیر توضیح داده شده است. سپس PCEF با برقراری یک حامل پیش‌فرض کار خود را ادامه دهد.

اگر کاربر دارای اطلاعات کاربری مفید و مناسبی باشد، PCRF می‌تواند قوانین PCC چندگانه با کیفیت سرویس‌های مختلف را در مرحله سوم تعریف کند و نیز قوانین PCC تعریف شده را به PCEF در مرحله چهارم ارسال کند. با این کار، یک یا چند حامل اختصاصی به همراه یک حامل پیش‌فرض برای یک APN آغاز می‌شود.



شکل ۱۳-۵ فرایند برقراری نشست IP-CAN منبع: TS 29.213 بازنشر با مجوز ETSI

۱۳-۳-۲ برقراری SDF آغازی از سوی موبایل

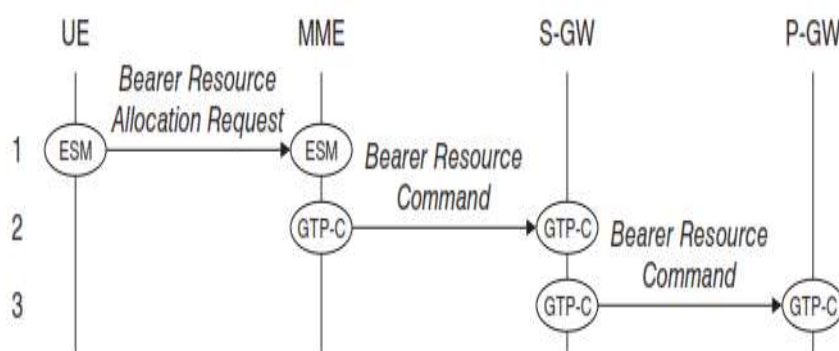
بعد از آنکه فرایند اتصال به شبکه کامل شد، PCRF می‌تواند یک درخواست کیفیت سرویس بهتر را از دو منبع، یا از خود موبایل و از طریق یک تابع کاربردی خارجی دریافت کند. دروازه PDN از دو طریق این درخواست را پاسخ می‌دهد. یا از طریق برقراری یک حامل اختصاص که یک کیفیت سرویس بهتر دارد یا تغییر و بهبود کیفیت سرویس روی حامل‌های موجود.

برای توضیح این فرایند، شکل ۱۳-۶ چگونگی درخواستی که موبایل می‌تواند برای یک سرویس جریان داده با یک کیفیت سرویس بهبود یافته را داشته باشد، را نشان می‌دهد [19]. در این سناریو فرض ما بر این است، که دستگاه موبایل از قبل با یک سرور VoIP تماس برقرار کرده است و از پیام‌های سیگنالینگ لایه کاربرد برای رد و بدل کردن اطلاعات در داخل یک حامل EPS پیش‌فرض استفاده می‌کند. همچنین ما فرض کردیم، که الان موبایل می‌تواند یک کیفیت سرویس بهتری نسبت به زمانی که از یک حامل EPS پیش‌فرض استفاده می‌کرد را برای یک تماس صوتی را درخواست کند و نیز نرخ بیت آن نیز تضمین شده باشد. درنهایت، همچنین فرض کردیم، که موبایل در یک وضعیت ECM-CONNECTED شروع به کار می‌کند. زمانی که موبایل در وضعیت ECM-IDLE است، ابتدا باید فرایند درخواست سرویس خود را به اتمام برساند که ما این بحث را در فصل چهاردهم پوشش خواهیم داد.

در داخل موبایل، برنامه کاربردی، از پروتکل‌های سیگنالینگ LTE می‌خواهند تا یک سرویس جریان داده با کیفیت بهبود یافته‌تری را برقرار کند. این پروتکل با ساختن یک درخواست/اختصاص منبع حامل ESM^۱ به برنامه‌های کاربردی داخل موبایل واکنش داده و آن را

1. ESM Bearer Resource Allocation Request

به MME ارسال می‌کند (۱)، در پیام فوق، موبایل پارامترهایی مثل شناسه کلاس QoS (QCD) تضمین و حداکثر نرخ بیت برای لینک فراسو و فروسو را درخواست می‌کند. همچنین در این پیام، موبایل یک قالب جریان ترافیک (TFT) که توصیف کننده سرویس جریان داده با استفاده از آدرس های IP مبدأ و مقصد، شماره پورت UDP برنامه کاربردی VoIP است، را مشخص می‌کند. MME درخواست موبایل را دریافت کرده و آن را به عنوان یک دستور منبع حامل *GTP-C*^۱ منتقل می‌کند (۲). در ادامه دروازه خدمت‌رسانی نیز آن را به دروازه PDN مناسب خود منتقل می‌سازد.



شکل ۱۳-۶ فرایند برقراری SDF آغازی از سوی موبایل (۱) درخواست تخصیص منبع حامل

منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

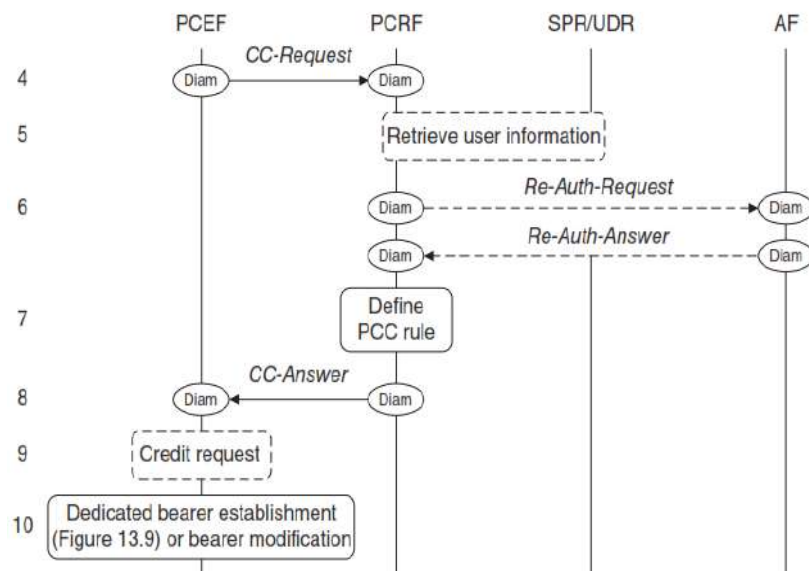
در جواب، دروازه PDN اقدام به راه‌اندازی فرایند تغییر نشست *IP-CAN* می‌کند [۲۰]. (شکل ۱۳-۷). مثل قبل، PCEF یک درخواست CC با پروتکل قطری به PCRF ارسال می‌کند (۴) تا PCRF موبایل مبدأ را شناسایی کرده و وضعیت کیفیت سرویس درخواستی آن را بداند. PCRF به جزئیات اشتراکی موبایل نگاه می‌کند، تا در طول برقراری نشست *IP-CAN* آن را بازیابی نماید و یا در صورت نیاز با UDR یا SPR ارتباط برقرار کند (۵).

در صورتی که موبایل از قبل با تابع برنامه کاربردی تماس گرفته باشد، در این حالت ممکن است، که برنامه کاربردی از PCRF بخواهد تا درباره رویدادهای آینده به موبایل اطلاع‌رسانی کند. اگر چنین باشد، برای انجام این کار، PCRF با استفاده از پروتکل قطری یک درخواست احراز هویت دوباره^۲ ارسال می‌کند (۶). برای پذیرش درخواست موبایل، PCRF یک قانون جدید PCC تعریف

1. GTP-C Bearer Resource Command

2. Re-Auth-Request

می‌کند (۷). سپس PCRF پارامترهای شارژینگ و QoS مربوط به آن را به PCEF بر می‌گرداند (۸)، که در صورت نیاز یک درخواست اعتبارسنجی به سیستم شارژینگ آنلاین ارسال می‌نماید (۹).



شکل ۱۳-۷ فرایند برقراری SDF آغازی از روی موبایل

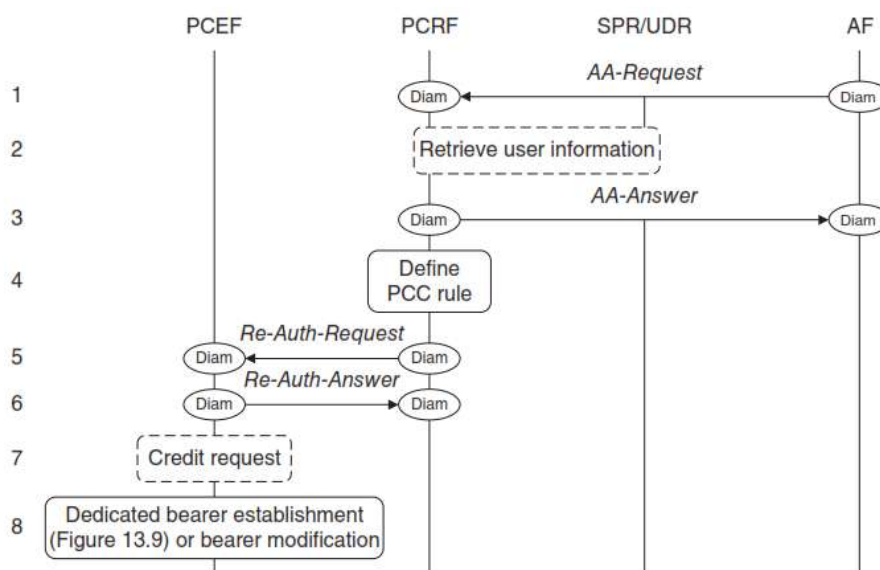
منبع: TS 29.213 بازنشر با مجوز ETSI

معمولاً، دروازه خدمت رسانی با اختصاص یک حامل اختصاصی جدید به قوانین PCC جدید واکنش نشان می‌دهد (۱۰). ما بعد از آن که چگونگی عمل کرد تابع برنامه کاربردی (AF) را برای ساختن یک درخواست QoS برای خود را شرح دادیم، به این موضوع نیز خواهیم پرداخت. اگر موبایل دارای یک حامل EPS با QCI و ARP یکسان باشد در این صورت، دروازه PDN می‌تواند آن را برای یک سرویس جریان داده اصلاح کند، این کار را با افزایش دادن نرخ داده و افزودن فیلترهای بسته جدید انجام می‌دهد.

۱۳-۳-۳ برقراری SDF آغازی از سوی سرور

به عنوان یک جایگزین، برای فرایندی که از سوی موبایل در بحث قبل آغاز شده بود، یک تابع برنامه کاربردی می‌تواند یک سرویس جریان داده جدید را با یک کیفیت سرویس بهبود یافته از PCRF درخواست کند. ترتیب پیام این فرایند در شکل ۱۳-۸ نشان داده شده است [۲۱]. در این شکل، ما همانند مثال بخش قبل، فرض کردیم، که موبایل تماسی با یک برنامه کاربردی مثل یک

سرور VoIP با استفاده از یک ارتباط سیگنالینگ لایه کاربرد روی یک حامل پیش‌فرض برقرار کرده است. حال این سرور می‌خواهد ارتباطی را با استفاده از کیفیت سرویس بهتر از آنچه که حامل پیش می‌تواند پشتیبانی کند را برقرار سازد.



شکل ۱۳-۸ فرایند برقراری SDF آغاز از سوی سرور

منبع: TS 29.213 بازنشر با مجوز ETSI

در مرحله نخست، برنامه کاربردی یک درخواست با پروتکل قطری به نام AA-request را به PCRF ارسال می‌کند. در این پیام، آدرس IP که موبایل به کار می‌برد را مشخص می‌کند و با استفاده از پارامترهای نظیر نوع رسانه، کد کننده و شماره پیوست و حداکثر نرخ بیت لینک فراسو و رسانه درخواست شده را بیان می‌کند و PCRF جزئیات اشتراک موبایل را نگاه کرده و یا از روی SPR یا UDR آن را استخراج می‌کند (۲) و درباره تأیید یا عدم تأیید جریان داده سرویس آن تصمیم‌گیری می‌کند سپس نتیجه را به آن باز می‌گرداند (۳).

برای پاسخ به درخواست برنامه کاربردی، PCRF یک قانون PCC جدید تعریف کرده (۴) و با پروتکل قطری، اطلاعات را در قالب یک درخواست احراز هویت مجدد به PCEF بر می‌گرداند (۵ و ۶) و در صورت نیاز، PCEF درخواست ایجاد اعتبار را به سیستم شارژینگ آنلاین می‌فرستد (۷). مثل قبل، دروازه خدمت‌رسانی، با برقراری یا حامل اختصاصی که در زیر توضیح داده می‌شود با تصحیح کیفیت سرویس حامل موجود واکنش مناسب را نشان می‌دهد (۸).

۱۳-۳-۴ برقراری حامل اختصاصی

در بحث قبل نشان دادیم، که موبایل و برنامه‌های کاربردی چگونه می‌توانند از PCRF یک سرویس جریان داده جدید با یک کیفیت سرویس بهبود یافته را در خواست کنند. PCRF با تولید یک قانون PCC جدید به آنها پاسخ می‌دهد، که در واقع یک حامل EPS را تخصیص می‌دهد و در شکل ۱۳-۹ نشان داده می‌شود [۲۲].

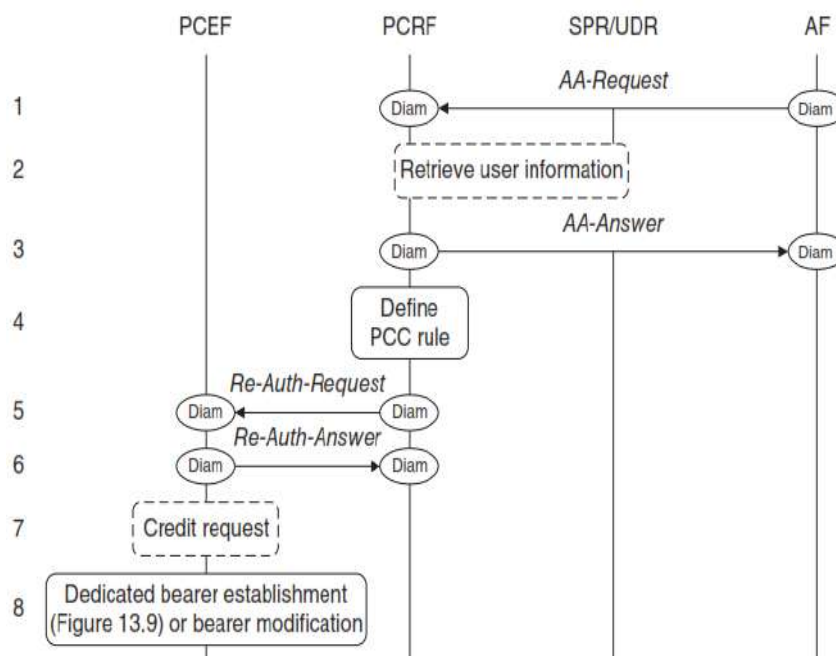
این فرایند با یکی از درخواست‌های کیفیت سرویس از شکل ۱۳-۶ تا ۱۳-۸ نشان داده شده است. در پاسخ، دروازه PDN به دروازه خدمت‌رسانی دستور می‌دهد تا یک حامل EPS برای موبایل ایجاد گردد و QoS مورد نظر لحاظ شده و دارای یک شناسه نقطه انتهایی تونل (TIED) لینک فراسو باشد. این شناسه روی واسط S5/S8 و قالب جریان ترافیک برای موبایل به کار برده می‌شود (۲)، دروازه خدمت‌رسانی این پیام را دریافت کرده و آن را به MME منتقل می‌کند (۳).

چنانچه برنامه کاربردی فرایندی را شروع کند، ممکن است که موبایل هنوز در حالت ECM-IDLE باشد، در چنین وضعیتی، MME با استفاده از فرایند فراخوانی موبایل، با آن ارتباط برقرار می‌کند و موبایل با دریافت پیام سرویس MME به درخواست آن پاسخ می‌دهد. ما این فرایندها را در فصل چهاردهم بحث خواهیم کرد.

پس MME یک درخواست محتوای حامل EPS/اختصاصی فعال^۱ ESM می‌سازد، که این درخواست به موبایل می‌گوید تا حامل اختصاص یافته EPS را به کار بندازد. این پیام دارای پارامترهایی است که MME از سوی دروازه خدمت‌رسانی دریافت کرده است. MME این پیام را در داخل یک درخواست راه‌اندازی^۲ E-RAB S1-AP قرار می‌دهد، که این پیام به ایستگاه پایه دستور می‌دهد تا واسط S1 و حامل‌های رادیویی مربوطه را راه‌اندازی کرده و کیفیت سرویس‌های آنها را تعریف نماید. در مرحله ۴، هر دو پیام توسط MME به ایستگاه پایه ارسال می‌شود.

1. ESM Activate Dedicated EPS Bearer Context Request

2. S1-AP E-RAB Setup Request



شکل ۱۳-۹ فرایند برقراری حامل اختصاصی منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

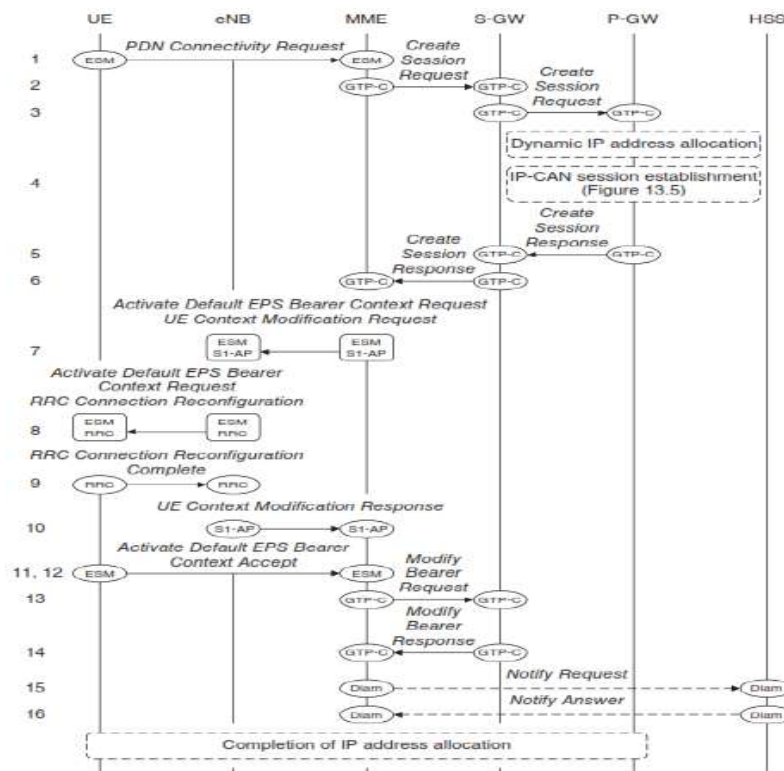
در پاسخ، ایستگاه پایه یک پیام پیکربندی دوباره ارتباط RRC را به موبایل ارسال می‌کند (۵). این پیام به موبایل می‌گوید، که چگونه حامل‌های رادیویی جدید را که دارای پیام‌های ESM است و از MME گرفته است، را پیکربندی نماید. موبایل طبق آنچه که گفته شده است، حامل خود را پیکربندی کرده و با یک پیام RRC اطلاع می‌دهد (۶)، ایستگاه پایه نیز این گزارش را به MME بر می‌گرداند (۷). سپس موبایل پیام ESM را در جوابی که قبلاً با استفاده از انتقال اطلاعات لینک فراسو ارسال کرده بود، تصدیق می‌نماید (۸ و ۹). دو تصدیق پایانی (۱۰ و ۱۱) پیکربندی تونل‌های GTP را انجام می‌دهند و اجازه انتقال اطلاعات را صادر می‌کنند.

۱۳-۳-۵ برقراری ارتباط PDN

با استفاده از فرایند جداگانه‌ای به نام برقراری ارتباط PDN^۱ [۲۳] موبایل می‌تواند ارتباطی را به یک شبکه داده بسته‌ای ثانویه از طریق یک نقطه دسترسی دیگری درخواست نماید. این فرایند، یک حامل EPS پیش‌فرض ثانویه و یک IP آدرس شناسایی را در اختیار موبایل قرار می‌دهد، که

1. PDN Connectivity Establishment

جزئیات این فرایند در شکل ۱۳-۱۰ نشان داده شده است. در این روش، شبکه بر خلاف موبایل مجبور است تا از چندین نام نقطه دسترسی پشتیبانی کند.



شکل ۱۳-۱۰ فرایندی که موبایل درخواست ارتباط PDN را آغاز می‌کند

منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

این پیام شباهت زیادی به یکی از پیام‌های مربوط به فرایند اتصال به شبکه دارد، بنابراین، ما فقط به اختصار آن را توضیح می‌دهیم. موبایل یک درخواست ارتباط PDN به MME ارسال می‌کند (۱). در این درخواست، گزینه‌های پیکربندی این پروتکل مثل نام نقطه دسترسی درخواست می‌شود، در (۲-۶)، هسته تکامل یافته بسته (EPC) یک آدرس IP ثانویه به موبایل تخصیص می‌دهد. تأییدیه کیفیت سرویس حامل جدید را دریافت کرده و تونل‌های مربوط به GTP-U را پیکربندی می‌نماید. MME، آدرس IP و پارامترهای QoS را به موبایل می‌فرستد (۷-۱۲) و به ایستگاه پایه دستور می‌دهد تا پیکربندی مجدد ارتباطات موبایل مثل انتقال جریان داده جدید را فراهم کند. سپس MME شناسه نقطه انتهایی تونل (TEID) لینک فروسو مربوط به ایستگاه پایه را به اطلاع دروازه خدمت‌رسانی می‌رساند (۱۳ و ۱۴) و در صورتی که دروازه PDN انتخاب شده متفاوت‌تر از دروازه خدمت‌رسانی

مشترک موبایل باشد، آن را به اطلاع HSS خانگی موبایل می‌رساند (۱۶ و ۱۵). بعد از اتمام تخصیص IP آدرس جدید، موبایل می‌تواند با نام نقطه دسترسی جدید ارتباط برقرار کند.

۱۳-۳-۶ سایر فرایندهای مدیریت نشست

بعد از برقراری سرویس جریان داده، موبایل و تابع برنامه کاربردی هر دو می‌توانند از PCRF بخواهند، کیفیت سرویس شان را بهبود دهد، مثلاً با افزایش میزان نرخ بیت، کیفیت سرویس را بهبود دهد. در پاسخ، PCRF قوانین PCC مربوط به آنها را بهبود داده و نتیجه را به دروازه PDN ارسال می‌کند. در ادامه، دروازه PDN با اصلاح حامل مربوط به QoS، جواب آنها می‌دهد [۲۴] یا در صورت اضطرار، با استخراج سرویس جریان داده اصلاح شده و قرار دادن آن در حامل اختصاصی جدید به این درخواست پاسخ می‌دهد. این فرایندها شباهت زیادی به هر یک از فرایندهای شکل‌های ۱۳-۶ تا ۱۳-۹ دارد.

چنانچه واسط S5/S8 برپایه PMIP باشد، تنها یک مدل GRE به ازای هر موبایل استفاده می‌کند و کیفیت سرویس مربوط به جریان‌های داده را تشخیص نمی‌دهد. در عوض، دروازه خدمت‌رسانی دارای یک حامل ارتباطی و تابع گزارش‌دهی رویداد است، که بسته‌های لینک فروسو را در حامل‌های صحیحی از EPS نگاشت می‌کند. در طول دوره فرایند اتصال به شبکه (attach)، BBERF پردازشی به نام *برقراری نشست کنترل دروازه*^۱ را اجرا می‌کند، در آن پردازش، یک ارتباط با PCRF برقرار می‌شود تا داده‌های کاربری که از سرور خانگی مشترکین (HSS) گرفته شده را انتقال دهد و یک قانون PCC در برگشت، برای حامل EPC پیش‌فرض دریافت کند. در صورتی که PCRF قوانین PCC را در طول دوره برقراری نشست IP-CAN تغییر دهد، اطلاعات موجود در BBERF با استفاده از یک فرایند دیگری به نام *کنترل دروازه* و *حفظ قوانین QoS*^۲ تغییر می‌دهد [۲۶]. در این مرحله، قوانین مربوط به فعال‌سازی حامل اختصاصی، اصلاح آن و اتصال PDN درخواست شده از سوی کاربر مثل هم هستند.

نهایتاً، فرایند قطع ارتباط از شبکه که در فصل یازده بیان شد، یک فرایند جدیدی به نام *اتمام نشست IP-CAN*^۳ را آغاز می‌کند [۲۷] که در این فرایند، PCEF به PCRF اطلاع می‌دهد، که موبایل ارتباط خود را با شبکه قطع کرده است. در بخشی از این فرایند، PCRF می‌تواند تابع

-
1. Gateway Control Session Establishment
 2. Gateway Control And Session Rules Provision
 3. IP-CAN Session Termination

برنامه کاربردی را آگاه سازد، در حالی که PCEF می‌تواند یک گزارش اعتبارنهایی به سیستم شارژینگ آنلاین ارسال کند و باقی‌مانده اعتبار مشترک را برگرداند.

۱۳-۴ انتقال داده در EPC

۱۳-۴-۱ کنترل بسته‌ها در دروازه PDN

حال اجازه دهید، چگونگی تحویل یک بسته در هسته توسعه یافته بسته (EPC) به یک موبایل را در نظر بگیریم و چگونگی به کارگیری مکانیزم‌های QoS که قبلاً آن را توصیف کرده‌ایم، را بیان نماییم. زمانی که یک بسته از سوی سرور به موبایل ارسال می‌شود، سرور آدرس بسته را به IP آدرس موبایل قرار می‌دهد. این آدرس در محل مخصوص آدرس‌دهی در دروازه PDN قرار می‌گیرد. در نتیجه، تمام بسته‌های رسیده از شبکه به آن آدرس منتقل می‌شوند.

با استفاده از روشی به نام سرکشی عمیق سیستم^۱، دروازه PDN سرایند بسته‌های رسیده را بازبینی می‌کند و آنها را با فیلترهای بسته‌ها که در طول پیکربندی حامل ذخیره شده مقایسه می‌کند. با انجام این کار، دروازه PDN موبایل مقصد سرویس جریان داده و حامل EPS را شناسایی می‌کند و به تونل GTP-U و حامل واسط S5/S8 مربوط به آن نگاه می‌کند.

سپس دروازه PDN نرخ داده و سرویس جریان داده را بررسی می‌کند تا حداکثر نرخ بیت بیش از حد نباشد و رکورد ترافیک مربوط به SDF خودش را برای اهداف شارژینگ به روزرسانی می‌کند. در صورتی که EPC از ترجمه آدرس شبکه استفاده کند، در این صورت دروازه PDN آدرس IP مقصد و شماره پورت بسته‌های دریافتی را به آدرس‌های IP خصوصی که به طور اختصاصی به یک موبایل داده شده، نگاشت می‌کند.

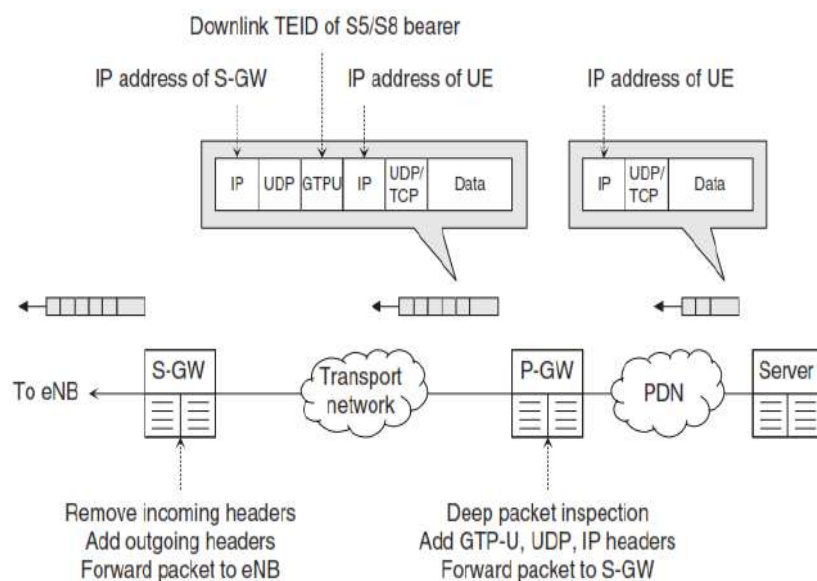
۱۳-۴-۲ انتقال داده با استفاده از GTP

حال دروازه خدمت‌رسانی می‌تواند بسته‌ها را به حالتی که در شکل ۱۳-۱۱ نشان داده شده است، به دروازه خدمت‌رسانی ارسال کند. در اولین قدم، دروازه PDN یک سرایند GTP-U به بسته اضافه می‌کند، که این سرایند دارای ۳۲ بیت شناسه نقطه انتهایی تونل (TEID) است و برای تونل GTP-U استفاده می‌شود [۲۸]. سپس برای بسته فوق عمل کپسوله‌سازی^۲ را با اضافه کردن دو سرایند اضافه دیگری به بسته IP انجام می‌دهد. اولین سرایند یک سرایند UDP است و UDP نسبت به سرایند

1. Deep Packet Inspection

2. Encapsulation

TCP اولویت بیشتری دارد، چرا که بسته‌های دریافتی ممکن است، از یک سرویس بلادرنگ مثل صوت استفاده کنند. دومین سراینده اضافه شده به بسته IP، یک سراینده IP می‌باشد، که دارای یک آدرس IP دروازه خدمت‌رسانی موبایل است. در پایان، دروازه PDN بسته مورد نظر را تحت شبکه انتقال ارسال می‌کند و شبکه انتقال آن را تحویل دروازه خدمت‌رسانی می‌کند.



شکل ۱۱-۱۳ هدایت بسته‌ها روی واسطه S5/S8 با استفاده از GTP

در ورود، دروازه خدمت‌رسانی سرایندهای اضافی را حذف کرده، شناسه نقطه پایانی تونل ورودی را بازبینی می‌کند و حامل EPS مربوط را نگاه می‌کند. سپس موبایل و ایستگاه پایه موبایل مورد نظر را شناسایی می‌نماید، سپس سراینده IP، UDP و GTP-U خود به آن را اضافه کرده و مانند قبل بسته مورد نظر را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. (شناسه‌های نقاط پایانی تونل در واسطه‌های S1 و S5/S8 جاسازی شده‌اند، بنابراین، TEID جدید می‌تواند متفاوت از قبلی باشد). در ادامه، ایستگاه پایه مکانیزم‌های انتقال در واسطه هوایی را برای تحویل بسته به موبایل را به کار می‌گیرد.

۱۳-۴-۳ سرویس های تفاضلی

IP به تنهایی نمی تواند کیفیت سرویس را برای جریان های داده مختلف تشخیص دهد. اما شبکه انتقال با استفاده از یک مکانیزم پیشرفته ای به نام سرویس های تفاضلی (DiffServ)^۱ تضمین کیفیت سرویس (QoS) را به بسته های IP اعمال می کند [۲۹-۳۲]. مشخصات فنی 3GPP اعمال DiffServ را روی واسطه های S1-U و X2 توصیه کرده است [۳۳ و ۳۴] و عموماً این پروتکل در داخل EPC نیز به کار می رود.

در نقطه ورودی یک شبکه Diffserv، یک مسیریاب ورودی^۲، بسته های دریافتی را چک می کند و آنها را در کلاس هایی به نام طرز رفتار برپایه پرس (PHBs)^۳ طبقه بندی می کند و آنها را با استفاده از یک فیلد شش بیتی به نام نقاط سرویس های تفاضلی (DSCP)^۴ در داخل سرایند IP برچسب گذاری می کند. در داخل شبکه، روترهای داخلی، از فیلد DSCP برای الگوریتم های صف بندی، حذف بسته ها و هدایت بسته ها به رو جلو پشتیبانی می کنند.

سه نوع PHB وجود دارد. PHP پیش فرض از بهترین تلاش (BE)^۵ استفاده می کند، که مانند روشی است، که هیچگونه کیفیت سرویس و ضمانت سرویسی ندارد و مسیریاب به عنوان یک بسته معمولی IP با آن برخورد می کند. نوع دیگر PHB انتقال سریع (EF)^۶ است، که شبیه یک سوئیچینگ مداری عمل می کند و یک سرعت انتقال حداقلی را برای کل آن کلاس ترافیکی تضمین می کند.

انتقال مطمئن (AF)^۷ نوعی تضمین کیفیت مناسب تری را برای اولویت بندی و از دست رفتن بسته ها را ارائه می دهد. این نوع PHB چهار سطح اولویت بندی ارائه می دهد، که به هر کدام حداکثر مجموع نرخ داده دقیقی اختصاص داده شده است و به همراه آن سه سطح از درصد اولویت حذف بسته نیز در نظر گرفته شده است. یک روتر بسته ها را از یک کلاس انتقال مطمئن (AF) بر اساس سطح اولویت کلاس سرویس منتقل کرده و به ترتیب اولویت می چیند. چنانچه تعداد بسته های بافر شده در داخل یک سطح اولویت به مقدار قابل توجهی از اندازه داده های انتقالی

-
1. Differentiated Services
 2. Ingress Router
 3. Per Hop Behaviours
 4. Differentiated Service Code Point
 5. Best Effort
 6. Expedited Forwarding
 7. Assured Forwarding

پایین‌تر باشد، این بسته‌ها بدون هیچگونه قید و شرطی انتقال داده می‌شوند؛ در غیر این صورت، برخی از بسته‌ها با توجه به اولویت فرایند حذف بسته‌ها، دور ریخته خواهند شد.

هنگامی که دروازه PDN سرایند بسته IP را که قبلاً بیان شد، را اضافه کند، دروازه PDN با اعمال بازبینی QCI حامل‌های مربوطه، فیلد DSCP را محاسبه می‌کند. مشخصات فنی 3GPP هیچگونه اجباری برای نگاشت از QCI به DSCP تعیین نکرده است، اما برای مشخصات فنی ارائه شده برای GSM در نقل و انتقال بسته‌های IP این نگاشت اجباری است [۳۵]. جدول ۱۳-۳ نگاشت یاد شده را نشان می‌دهد. این جدول به ترتیب چگونگی احتمال پیکربندی معمولی از DSCP توسط دروازه PDN را نشان داده می‌شود. بر طبق این جدول، بالاترین انتقال مطمئن دارای اولویت چهار است، بنابراین بسته‌هایی با QCI 4 تأخیری کمتر از QCI 5 را خواهند داشت. در داخل هر سطوح اولویت، بسته‌هایی با فرایند دور ریختن یک، به احتمال بیشتری دور ریخته می‌شوند، بنابراین بسته‌هایی که از QCI 5 برخوردار هستند، نرخ از دست دادن بسته کمتری نسبت به بسته‌های QCI 6 برخوردارند.

جدول ۱۳-۳ نگاشت از شاخص کلاس QOS به فیلد DSCP در انتقال IP

QCI	Per hop behaviour	AF priority	AF drop precedence	DSCP	Example services
1	EF			101 110	Conversational voice
2	EF			101 110	Real time video
3	EF			101 110	Real time games
4	AF	4	1	100 010	Buffered video
5	AF	3	1	011 010	IMS signalling
6	AF	3	2	011 100	Web, email, FTP (high priority users)
7	AF	2	1	010 010	Voice, real time video, real time games
8	AF	1	1	001 010	Web, email, FTP (mid priority users)
9	BE			000 000	Web, email, FTP (low priority users)

۱۳-۴-۴ سوئیچینگ مبتنی بر برچسب چند لایه‌ای

استفاده از IP برای مسیریابی بسته چند تا عیب دارد. برای مثال، مسیریاب‌ها مجبورند تا آدرس IP‌های ۳۲ یا ۱۲۸ بیتی انجام دهند، که این کار سرعت آنها را کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، کلاس‌های سرویس مختلف، به یک وسیله مقصد می‌رسند، که دارای مسیر ترافیکی یکسانی هستند و نمی‌توانند از هم دیگر جداسازی شوند.

برای مقابله با این مسئله، اپراتورهای شبکه از یک پروتکل اضافه دیگری به نام سوئیچینگ بسته ای چند پروتکلی (MPLS)^۱ استفاده می کنند [۳۶ و ۳۷]. در نقطه ورود یک شبکه MPLS، یک مسیریاب ورودی آدرس IP مقصد و فیلد DSCP بسته های ورودی را بازبینی می کند و یک سرایند MPLS به طول بیست بیت به عنوان برچسب به آن اضافه می کند. در داخل شبکه MPLS، مسیریاب های داخلی با استفاده از این برچسب MPLS مثل آدرس IP، بسته ها را مسیریابی می کنند. برچسب های MPLS از یک مسیریاب، به مسیریاب دیگر در همان راستا می توانند به یک شناسه نقطه پایانی GTP-U تغییر یابند. بنابراین این برچسب ها اجباراً منحصر به فرد نیستند.

این روش مزایای زیادی دارد. اولین مزایا این است، که مسیریاب ها را قادر می سازد تا تصمیم گیری برای مسیریابی را سریعتر از قبل نمایند، چرا که، از یک سرایند MPLS ساده تر برخوردارند و برچسب MPLS کوتاه تر می باشد. دومین مزایا این است، که شبکه انتقال برای کلاس های سرویس های مختلف با Diffserv های گوناگون، برچسب های مختلفی اختصاص داده می دهد، که آدرس IP مقصد یکسان دارند. این کار باعث جداسازی بهتر ترافیک از هم شده و می تواند پاسخ دهی شبکه در برابر ازدحام را بهبود بخشد. در اینجا تنها یک روش برای مکانیزم نگاشت از فیلد DSCP به سرایند MPLS وجود ندارد، بلکه انتخاب های متعددی وجود دارند، که می توانند توسط اپراتورهای موبایل به کار گرفته شوند [۳۸].

۱۳-۴-۵ انتقال داده با استفاده از GRE و PMIP

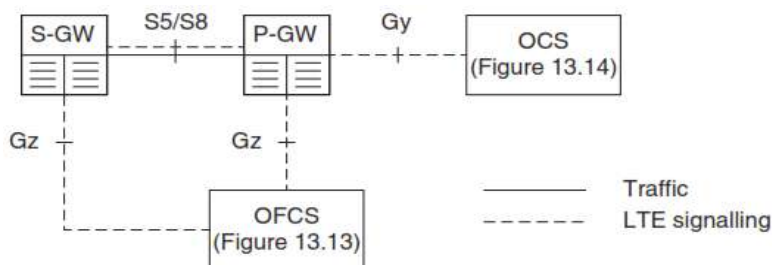
اگر واسط S5/S8 با استفاده از GRE و PMIP پیاده سازی شده باشد، در این صورت، این واسط تنها از یک تونل GRE به ازای هر موبایل استفاده می کند. این تونل تمامی داده هایی که به موبایل ارسال می شود و یا از آن دریافت می شود، را هدایت می کند، در حالی که هیچگونه تضمین کیفیت سرویسی (QoS) ندارد.

زمانی که یک بسته لینک فروسو وارد دروازه PDN می شود، آن دروازه، هنوز در حال بازبینی و بازرسی عمیق بسته هاست تا بسته هایی که به طور مستقیم وارد تونل می شوند به تونل GRE درست و همچنین دروازه خدمت رسانی صحیح هدایت شوند. هنگامی که بسته ها به دروازه خدمت رسانی وارد شدند، حامل ارتباطی و تابع گزارش گیری رویداد دومین مرحله از بازرسی را به طور عمیق انجام می دهند تا نگاشت از «یک به چند» از تونل های GRE را به حامل های EPS انجام دهند. از این نقطه به بعد، بسته ها همانند قبل ارسال می شوند.

۱۳-۵ شارژینگ و صدور صورتحساب

۱۳-۵-۱ معماری سطح بالا

LTE از یک مدل شارژینگ انعطاف‌پذیری پشتیبانی می‌کند، که در آن هزینه جلسات می‌تواند از روی اطلاعاتی مثل حجم داده‌ها و یا مدت زمان آن محاسبه شود و می‌تواند به کیفیت سرویس خدماتی که کاربر استفاده می‌کند و یا فناوری که شبکه دسترسی ارایه می‌دهد وابسته باشد. LTE همان معماری سیستم شارژینگ موجود در حوزه سوئیچینگ بسته‌ای GSM و UMTS را بکار می‌گیرد [۳۹]، که در شکل ۱۳-۱۲ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳-۱۲ معماری سطح بالای سیستم شارژینگ

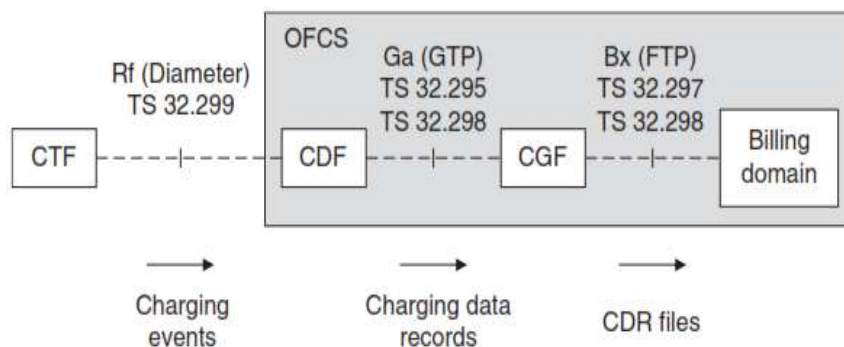
در LTE دو نوع سیستم شارژینگ وجود دارند. سیستم شارژینگ *offline (DFSC)*^۱، که برای سرویس‌های دائمی به کار می‌رود و در آن کاربرانی که یک صورت حساب دوره‌ای دریافت می‌کنند، مناسب است. در حالی که، سیستم شارژینگ *آنلاین*^۲ (که به اشتباه OCS گفته می‌شود) برای مدل‌های شارژینگ پیچیده‌ای مانند محدودیت‌های ماهانه سرویس داده و مشترکین اعتباری مناسب است. از دیدگاه فنی، یک سیستم شارژینگ آنلاین می‌تواند یک نشست را در زمان بلادرنگ تحت تأثیر خودش قرار می‌دهد، مثلاً در صورتی که اعتبار مشترک به اتمام می‌رسد، ارتباط وی را قطع می‌کند. در حالی که، سیستم شارژینگ آفلاین چنین کاری نمی‌کند. برای مطالعه بیشتر این موارد می‌توان به منابع [۴۰-۴۴] مراجعه کرد. در ادامه ما دو سیستم شارژینگ آنلاین و آفلاین را بررسی خواهیم کرد.

1. Offline Charging System
2. Offline Charging System

۱۳-۵-۲ شارژینگ آفلاین

شکل ۱۳-۱۳ معماری داخلی یک سیستم شارژینگ آفلاین را نشان می‌دهد، که در آن چهار جزء وجود دارند. توابع آغازگر شارژینگ (CTF)^۱ منابعی را که کاربران استفاده می‌کنند را نظارت می‌کند. رویدادهای شارژینگ^۲ بیانگر فعالیت‌هایی است، که سیستم‌های شارژ آنها را شارژ می‌کنند. توابع داده شارژینگ (CDFs)^۳ رویدادهای شارژینگ را از یک یا چند تابع آغاز کننده شارژینگ گرفته و آنها را در رکوردهای داده شارژینگ (CDR)^۴ جمع‌آوری می‌نماید. تابع دروازه شارژینگ (CGF)^۵ پردازش‌های بعدی رکوردهای داده شارژینگ را انجام می‌دهد و آنها را در داخل فایل‌های CDR قرار می‌دهد، در حالی که، حوزه صورت حساب (BD)^۶ مقدار هزینه منابع را تعیین کرده و یک صورت حساب را به مشترک ارسال می‌کند.

در LTE دروازه‌های خدمت‌رسانی و PDN هر دو دارای توابع آغازکننده شارژینگ هستند. این توابع همانطور که در شکل ۱۳-۱۳ نشان داده شده است می‌توانند از هم جدا باشند یا می‌توانند در داخل دروازه‌های خدمت‌رسانی و PDN به طور یکپارچه قرار گرفته باشند. با توجه به مدلی که انتخاب شده باشد، واسطه Gz در شکل ۱۳-۱۲ مربوط به Rf یا مربوط به Ga در شکل ۱۳-۱۳ خواهد بود.



شکل ۱۳-۱۳ معماری سیستم شارژینگ آفلاین

منبع : TS 32.240 بازنشر با مجوز ETSI

1. Charging Trigger Functions
2. Charging Event
3. Charging Data Function
4. Charging Data Records
5. Charging Gateway Functions
6. Billing Domain

اگر CDF یک دستگاه جداگانه باشد، CTF به طور دوره‌ای اطلاعات مربوط به منابع استفاده شده توسط کاربر را با استفاده از یک درخواست حسابرسی^۱ قطری روی Rf ارسال می‌کند. این پیام دارای اطلاعاتی مثل گروه رتبه‌بندی، ظرفیت ترافیک لینک فراسو و فروسو، پارامترهای QoS، فناوری دسترسی رادیویی در حال استفاده و IMSI کاربر است. این اطلاعات از طریق واسطه‌های Ga و Bx به CGF به حوزه صورتحساب می‌روند و حوزه صورت حساب این اطلاعات را برای صدور صورت حساب کاربر استفاده می‌کند.

اگر کار بر در رومینگ باشد، در این صورت حوزه صورتحساب و تابع دروازه شارژینگ در شبکه خانگی کاربر قرار دارند. در حالی که، تابع داده شارژینگ در همان شبکه‌ای قرار دارد، که دروازه خدمت‌رسانی یا دروازه PDN در آنجاست. برای مثال در مورد رومینگ، دروازه PDN رویدادهای شارژینگ را به شبکه خانگی CDF ارسال می‌کند که آنها را به طور معمولی پردازش می‌کند. درضمن، دروازه خدمت‌رسانی رویدادهای شارژینگ را به CDF شبکه ملاقات شونده ارسال می‌کند، که CDF آن را به دو روش استفاده می‌کند. نخست، CDF ملاقات شده، رکوردهای داده شارژینگ خودش را به CGF خانگی کاربر ارسال می‌کند تا آنها را برای صدور فاکتور به کاربر به کار ببرد. دوم، شبکه ملاقات شونده رکورد داده شارژینگ خود را برای صدور فاکتور به شبکه خانگی کاربر برای منابع استفاده توسط کاربر استفاده می‌کند.

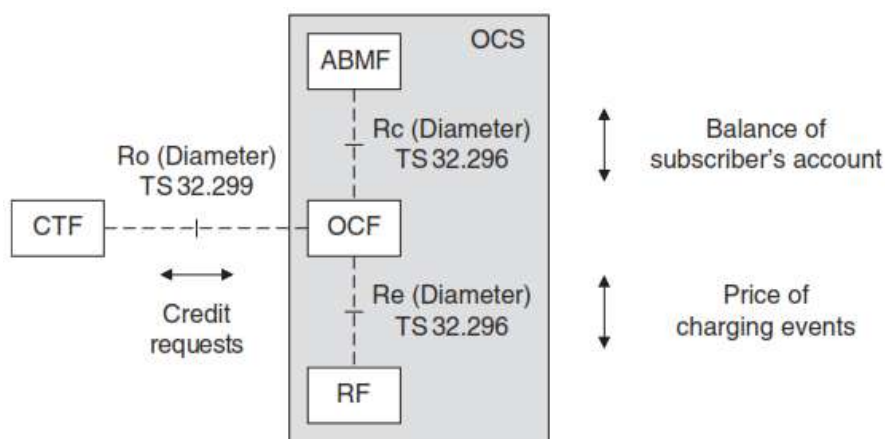
۱۳-۵-۳ شارژینگ آنلاین

شکل ۱۳-۱۴ معماری داخل سیستم شارژینگ آنلاین را نشان می‌دهد. در این معماری، توابع آغاز کننده شارژینگ به دنبال یافتن مجوز برای آغاز یک نشست از طریق یک درخواست کنترل اعتبار^۲ قطری به تابع شارژینگ آنلاین (OCF)^۳ هستند. این درخواست هزینه منابع درخواست شده توسط کاربر از تابع رتبه‌بندی (RF)^۴ را بر می‌گرداند و میزان صورت حساب کاربر را از تابع مدیریت توازن حساب (ABMF)^۵ دریافت می‌کند. سپس با استفاده از یک پروتکل قطری به نام پاسخ کنترل اعتبار^۶ به CTF پاسخ می‌دهد. تابع کنترل اعتبار معمولاً مدت زمان آخرین نشست یا

-
1. Accounting Request
 2. Credit Control Request
 3. Online Charging Function
 4. Rating Function
 5. Account Balance Management Function
 6. Credit Control Answer

مقدار ظرفیت داده‌هایی که می‌تواند ارسال شود را کنترل می‌کند. پس از آن CTF اجازه برقرار نشستن را صادر می‌کند.

وقتی که نشست ادامه دارد، تابع آغاز کننده شارژینگ منابع استفاده شده توسط کاربر را نظارت می‌کند، در صورتی که کاربر به انتهای تخصیص اولیه برسد، CTF یک درخواست کنترل اعتبار جدیدی به تابع شارژینگ آنلاین ارسال می‌کند تا منابع جدیدی را درخواست کند. در انتهای نشست، CTF تابع شارژینگ آنلاین را درباره اعتبار باقی‌مانده، کاربر را آگاه می‌سازد و تابع شارژینگ آنلاین باقی‌مانده اعتبار را به تابع مدیریت توازن حساب (ABMF) بر می‌گرداند. در LTE، تابع آغاز کننده شارژینگ در داخل دروازه PDN قرار می‌گیرد و در واقع توسط PCEF کنترل می‌شود. واسط Gy در شکل ۱۲-۱۳ همان واسط Ro در شکل ۱۳-۱۴ است.



شکل ۱۳-۱۴ معماری سیستم شارژینگ آنلاین

منبع TS 32.240 بازنشر با مجوز ETSI

سیستم شارژینگ آنلاین همیشه در شبکه خانگی کاربر قرار دارد. اگر کاربر در رومینگ باشد، در این صورت، شبکه ملاقات شونده به طور همزمان رکوردهای داده شارژینگ را با استفاده از سیستم شارژینگ آفلاین خود تولید می‌کند و آن را برای محاسبه صورت حساب منابعی که کاربر استفاده کرده به شبکه خانگی کاربر ارسال می‌نماید.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 23.203 (2013) Policy and Charging Control Architecture, Release 11, September 2013.
2. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, September 2013.
3. 3GPP TS 32.240 (2013) Telecommunication Management; Charging Management; Charging Architecture and Principles, Release 11, March 2013.
4. 3GPP TS 32.251 (2013) Telecommunication Management; Charging Management; Packet Switched (PS) Domain Charging, Release 11, June 2013.
5. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, September 2013.
6. 3GPP TS 29.274 (2013) 3GPP Evolved Packet System (EPS); Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control Plane (GTPv2-C); Stage 3, Release 11, September 2013.
7. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, September 2013.
8. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Release 11, September 2013.
9. 3GPP TS 23.203 (2013) Policy and Charging Control Architecture, Release 11, Section 6.1.7, September 2013.
10. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 4.7.3, September 2013.
11. 3GPP TS 23.203 (2013) Policy and Charging Control Architecture, Release 11, Sections 4, 6.3, September 2013.
12. 3GPP TS 29.212 (2013) Policy and Charging Control over Gx/Sd Reference Point, Release 11, Sections 4.3, 5.3.4, September 2013.

13. 3GPP TS 23.203 (2013) Policy and Charging Control Architecture, Release 11, Section 5, September 2013.
14. 3GPP TS 29.212 (2013) Policy and Charging Control over Gx/Sd Reference Point, 3rd Generation Partnership Project, Release 11, September 2013.
15. 3GPP TS 29.214 (2013) Policy and Charging Control over Rx Reference Point, Release 11, September 2013.
16. 3GPP TS 29.215 (2013) Policy and Charging Control (PCC) Over S9 Reference Point; Stage 3, Release 11, September 2013.
17. 3GPP TS 29.335 (2012) User Data Repository Access Protocol Over the Ud interface; Stage 3, Release 11, December 2012.
18. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, Section 4.1, September 2013.
19. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.4.5, September 2013.
20. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, Section 4.3.2.1, September 2013.
21. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, Sections 4.3.1.1, 4.3.1.2.1, September 2013.
22. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, section 5.4.1, September, 2013.
23. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.10.2, September 2013.

24. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.4.2.1, September 2013.
25. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, Section 4.4.1, September 2013. Quality of Service, Policy and Charging 235
26. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, Section 4.4.3, September 2013.
27. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, section 4.2.1, September 2013.
28. 3GPP TS 29.281 (2013) General Packet Radio System (GPRS) Tunnelling Protocol User Plane (GTPv1-U), Release 11, Section 5, March 2013.
29. IETF RFC 2474 (1998) Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers, December 1998.
30. IETF RFC 2475 (1998) An Architecture for Differentiated Services, December 1998.
31. IETF RFC 2597 (1999) Assured Forwarding PHB Group, June 1999.
32. IETF RFC 3246 (2002) An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior), March 2002.
33. 3GPP TS 36.414 (2012) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Data Transport, Release 11, Section 5.4, September 2012.
34. 3GPP TS 36.424 (2012) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Data Transport, Release 11, Section 5.4, September 2012.
35. GSM Association IR.34 (2013) Guidelines for IPX Provider networks, Version 9.1, Section 6.2, May 2013.

36. IETF RFC 3031 (2001) Multiprotocol Label Switching Architecture, January 2001.
37. IETF RFC 3032 (2001) MPLS Label Stack Encoding, January 2001.
38. IETF RFC 3270 (2002) Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services, May 2002.
39. 3GPP TS 32.240 (2013) Telecommunication Management; Charging Management; Charging Architecture and Principles, Release 11, Section 4, March 2013.
40. 3GPP TS 32.295 (2012) Charging Data Record (CDR) Transfer, Release 11, September 2012.
41. 3GPP TS 32.296 (2013) Online Charging System (OCS): Applications and Interfaces, Release 11, March 2013.
42. 3GPP TS 32.297 (2012) Charging Data Record (CDR) File Format and Transfer, Release 11, September 2012.
43. 3GPP TS 32.298 (2013) Charging Data Record (CDR) Parameter Description, Release 11, March 2013.
44. 3GPP TS 32.299 (2013) Diameter Charging Applications, Release 11, March 2013.

فصل چهاردهم: مدیریت قابلیت تحرک

در این فصل درباره فرایندهای مدیریت قابلیت تحرک بحث خواهیم کرد، که شبکه آنها را برای ردیابی موقعیت موبایل به کار می‌برد.

انتخاب فرایندهای مدیریت متحرک بستگی به وضعیتی دارد، که موبایل در آن قرار گرفته است. موبایل‌ها در حالت RRC_IDLE یک فرایند آغازی از سوی موبایل^۱ را به کار می‌گیرند، که هدف آن کاهش مصرف باتری و افزایش طول عمر آن و کمینه کردن بار شبکه است. در مقابل، موبایل در وضعیت RRC_CONNECTED فرایندهای آغازی از شبکه^۲ به سوی موبایل را به کار می‌گیرند، که با اندازه‌گیری‌ها و دست به دست کردن، ایستگاه پایه موبایل‌ها را کنترل می‌کند و جریان‌های دریافت و ارسال اطلاعات آنها تحت کنترل ایستگاه پایه می‌باشد. در این فصل ابتدا شروع به بررسی فرایندهایی می‌کنیم که موبایل‌ها مدام در آنها بین دو وضعیت یاد شده تغییر حالت می‌دهند و باید پاسخگو به تغییرات تحرکات کاربران باشند، این فرایندها شامل قطع S1، فراخوانی موبایل و درخواست سرویس هستند و در ادامه به بررسی فرایندهای مدیریت متحرک در آنها می‌پردازیم.

مشخصات فنی 3GPP مربوط به این فصل زیاد هستند. TS 36.304 [۱]، فرایندهای مدیریت متحرک را تعریف می‌کند، که موبایل‌ها باید از آنها از حالت RRC_IDLE پیروی کنند. در حالی که TS23.401 [۲] و TS36.300 [۳]، توصیف کننده فرایندهای سیگنالینگ در RRC_CONNECTED هستند و فرایندهایی که موبایل‌ها بین این دو وضعیت مدام در حال تغییر وضعیت هستند پشتیبانی می‌کند. به طور معمول، ویژگی‌های فنی 3GPP مرحله سوم [۴-۸]، جزئیات پیام‌های سیگنالینگ‌های منحصر بفرد را تعریف می‌کنند و ویژگی دیگر [۹] که تعریف کننده اندازه‌گیری‌هایی که موبایل‌ها باید در دو وضعیت آنها را مطابق نیازمندی‌های بهره‌وری انجام دهند، را شامل می‌شود.

۱-۱۴ تراکنش‌های بین وضعیت‌های مدیریت قابلیت تحرک

۱-۱-۱۴ فرایند قطع S1

بعد از آنکه موبایل فرایند اتصال به شبکه را در که فصل یازدهم بیان شد، را انجام داد، موبایل باید فرایندهای فعال‌سازی توان را به طور کامل به پایان برساند و در وضعیت‌های EMM-REGISTERED، ECM-CONNECTED و RRC_CONNECTED قرار بگیرد. کاربران

1. Mobile-Triggered

2. Network-Triggered

با استفاده از حامل پیش‌فرض EPS می‌تواند با دنیای خارج ارتباط برقرار کنند. اگر کاربر هیچگونه فعالیتی نداشته باشد، شبکه می‌تواند فرایندی به نام قطع S1^۱ را اجرا کرده [۱۰] و موبایل را در وضعیت ECM-IDLE و RRC_IDLE قرار دهد. به عنوان بخشی از این فرایند، شبکه همه حامل‌های سیگنالینگ رادیویی ۱ و ۲ را متوقف کرده و کلیه حامل‌های رادیویی و داده کاربری و حامل‌های S1 را پاک می‌کند. با استفاده از فرایند انتخاب مجدد سلول که ما بعداً آن را تشریح خواهیم کرد، موبایل می‌تواند از یک سلول به دیگری برود بدون آنکه نیازی به مسیریابی دوباره حامل‌های خود داشته باشد، بنابراین تأثیر حداقلی روی شبکه خواهد گذاشت.

شکل ۱۴-۱ دنباله پیام‌ها را نشان می‌دهد. بعد از یک دوره عدم تحرک کاربر، یک تایمر در ایستگاه پایه منقضی شده و فرایند آغاز می‌شود. در پاسخ ایستگاه پایه از MME می‌پرسد، که می‌تواند موبایل را به حالت ECM-IDLE ببرد (۱).

با دریافت این درخواست، MME به دروازه خدمت‌رسانی می‌گوید، که حامل‌هایی S1 را که برای این موبایل استفاده می‌شود را متوقف سازد (۲). دروازه خدمت‌رسانی چنین کرده است و پاسخ آن را بر می‌گرداند (۳). اما دروازه PDN این کار را انجام نمی‌دهد، در نتیجه، حامل‌های S5/S8 همچنان باقی می‌مانند. از این منظر، هر داده لینک فروسو می‌تواند تنها تا دروازه خدمت‌رسانی منتقل شوند. جایی که آنها فرایند فراخوانی را به صورتی که در زیر تشریح می‌نماید، شروع می‌کنند.

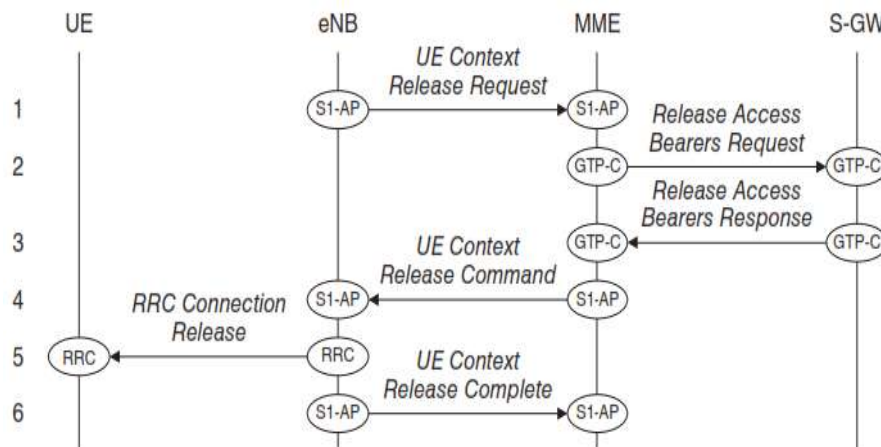
با استفاده از پیام‌هایی که قبلاً در فرایند فراخوانی ملاحظه شد، MME به ایستگاه پایه دستور می‌دهد تا ارتباط سیگنالینگ را با موبایل قطع کند (۴)، ایستگاه پایه نیز همان پیام را در واسط هوایی ارسال می‌کند (۵). در پاسخ، موبایل SRB1 و SRB2 را برچیده و کلیه حامل‌های داده خود را پاک می‌کند و به وضعیت ECM-IDLE و RRC_IDLE می‌رود. در اینجا نیازی به برگرداندن پاسخ نیست، در همان لحظه، ایستگاه پایه نیز کلیه رکودهای خود درباره حامل‌های رادیویی و S1 مربوط به موبایل را متوقف کرده و تصدیقی را به MME ارسال می‌کند (۶).

فرایندهای قطع S1 دارای چندین روش مختلف است. ایستگاه پایه می‌تواند فرایند فوق را به دلایل مختلف دیگری آغاز کند. به عنوان مثال، تکرار ناموفق چک کردن جامعیت یا از دست دادن ارتباط داده‌ای با موبایل. MME نیز می‌تواند این فرایند را از مرحله دوم آغاز نماید؛ برای مثال، بعد از آنکه یک فرایند احراز هویت شکست خورد. همچنین MME می‌تواند فرایند قطع

1. S1 Release

S1 را با ارسال یک پیام S1-AP به موبایل قبل از مرحله اول آغاز کند، به عنوان مثال، در طول دوره بازگشت به شبکه سودیچینگ مداری. در مورد روش آخر، ایستگاه پایه از قبل می‌داند، که MME درخواست قطع محتوای UE خودش را خواهد پذیرفت، بنابراین می‌تواند اتصال RRC موبایل را قطع کند و در عوض این پیام را تا مرحله ۵ به عقب بیندازد.

پس از اتمام فرایند قطع S1، بعضی وقتها MME حامل‌های GBR موبایل را بر اساس این که نمی‌تواند در دراز مدت پشتیبانی کند، قطع می‌کند. معمولاً این حالت زمانی اتفاق می‌افتد، که اتصال S1 به دلیل مسئله‌ای مثل از دست رفتن ارتباطات رادیویی موبایل اتفاق افتاده باشد. اما این اتفاق، به دلیل اینکه کاربر دوره‌ای غیرفعال باشد یا یک تغییر جهتی به یک فناوری رادیویی دیگر جهت ارتباط داشته باشد، رخ نمی‌دهد.



شکل ۱۴-۱ فرایند قطع S1، به دلیل عدم فعالیت کاربر اتفاق می‌افتد.

منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

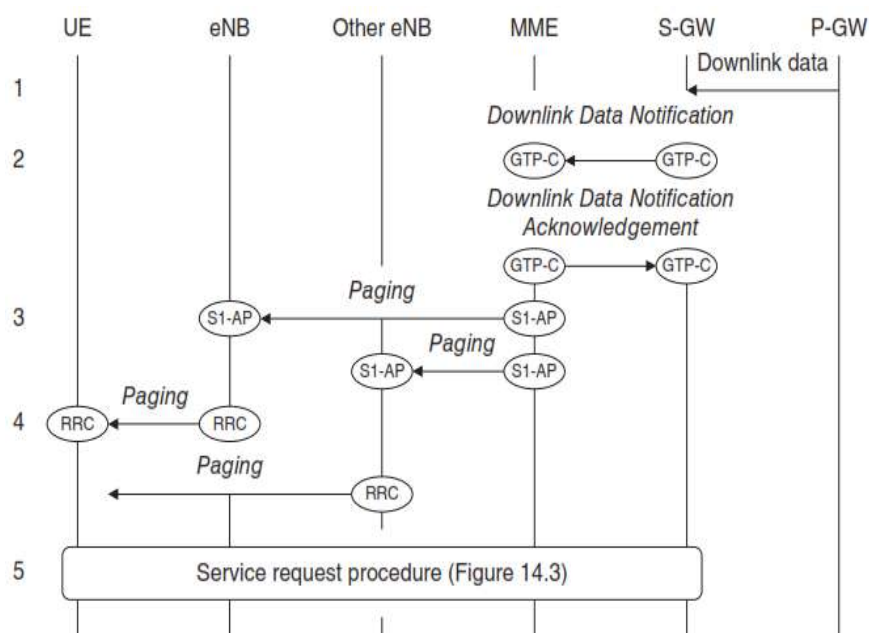
۱۴-۱-۲ فرایند فراخوانی

در انتهای فرایند قطع S1، موبایل در وضعیت ECM-IDLE و RRC_IDLE قرار دارد و حامل‌های S1 و رادیویی که در اختیار دارد همه آنها خاموش می‌باشند. اگر داده لینک فروسو از جانب دروازه خدمت‌رسانی بیاید چه اتفاقی می‌افتد؟

شکل ۱۴-۲ جواب این را سؤال را می‌دهد [۱۱]. دروازه PDN یک بسته داده ورودی را به دروازه خدمت‌رسانی منتقل می‌کند (۱)، اما دروازه خدمت‌رسانی قادر به انتقال آن به جلوتر

نمی‌باشد. در عوض، دروازه خدمت‌رسانی یک پیام هشدار داده لینک فراسو $GTP-C^1$ را به MME ارسال می‌کند (۹) تا به MME بگوید، که چه اتفاقی در حال رخ دادن است. اگر داده‌های بیش از اندازه به MME برسند، هشدار را به دروازه خدمت‌رسانی مبنی بر ارسال بیش از اندازه داده ارسال می‌کند.

حال MME یک پیام فراخوانی $S1-AP^2$ را ساخته و به ایستگاه‌های پایه ارسال می‌کند تا کلیه موبایل‌ها در نواحی ردیابی آنها قرار دارند (۳). در این پیام، MME اطلاعاتی مثل S-TMSI موبایل و کلیه اطلاعاتی را که ایستگاه پایه‌ها برای محاسبه فریم و موقع فراخوانی نیاز خواهد داشت، را مشخص می‌کند. در پاسخ، هر ایستگاه پایه یک پیام یکتا فراخوانی RRC^3 را به موبایل ارسال می‌کند (۴)، که مطابق فرایند دریافت ناپیوسته که در فصل هشتم بیان شد می‌باشد. موبایل پیام مذکور را گرفته و پاسخ خود را با استفاده از فرایند درخواست سرویس که در زیر بیان می‌شود، ارسال می‌کند.



شکل ۱۴-۲ فرایند فراخوانی منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

1. GTP-C Downlink Data Notification
2. S1- AP Paging
3. RRC Paging

۳-۱-۱۴ فرایند درخواست سرویس

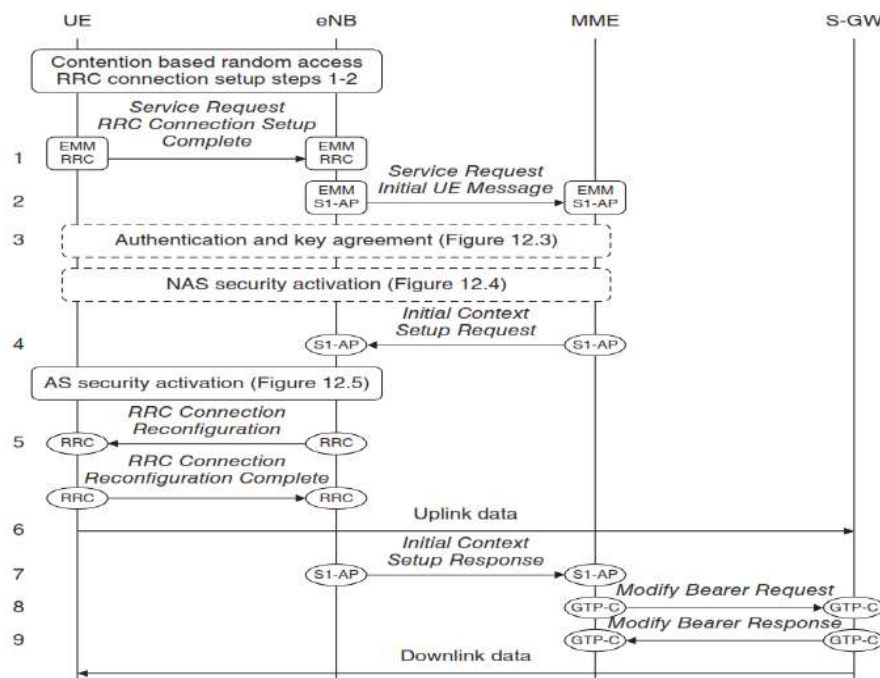
اگر موبایل در وضعیت ECM-IDLE باشد، اما بخواهد با شبکه ارتباط برقرار نماید، فرایند درخواست سرویس^۱ را اجر می‌کند [۱۲]. این فرایند به دو روش آغاز می‌شود، یا از طریق فرایند فراخوانی شروع به کار می‌کند که در بالا توضیح داده شد یا به صورت داخلی؛ برای مثال، کاربر در حال تلاش برای دریافت سرویس است، ولی، موبایل در وضعیت غیر فعال قرار دارد. در طول فرایند درخواست سرویس، شبکه موبایل را به وضعیت ECM-CONNECTED برده، SRB2 و SRB1 را دوباره برقرار می‌کند و حامل‌های رادیویی و S1 موبایل مجدداً راه‌اندازی می‌کند. بعد از آن، موبایل می‌تواند با جهان خارج مبادله اطلاعات کند. سلسله مراتب پیام فرایند مورد نظر در شکل ۳-۱۴ آورده شده است. در واقع در این شکل موارد جدیدی وجود دارند، مثل پیام‌های مهمی که در داخل فرایندهایی مثل ثبت‌نام و مدیریت نشست دیده می‌شوند.

موبایل شروع به برقراری ارتباط سیگنالینگ با یک eNB سرویس‌دهنده می‌کند، این فرایندها را برای فرایندهای دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت و برقراری اتصال RRC به کار می‌برد. سپس یک پیام درخواست سرویس EMM^۲ را ساخته و از MME سرویس‌دهنده می‌خواهد تا آن را به وضعیت ECM-CONNECTED ببرد. موبایل این درخواست را ضمیمه پیام اتمام برپایی ارتباط RRC می‌کند و هر دو را به ایستگاه پایه می‌فرستد (۱).

ایستگاه پایه پیام موبایل را بازگشایی کرده و آن را به MME هدایت می‌کند (۲). به طور اختیاری، حال MME می‌تواند موبایل را احراز صلاحیت کرده و امنیت NAS را با استفاده از کلیدهای حاصل شده به روزرسانی کند (۳). این مراحل در صورتی که پیام EMM در بررسی جامعیت ناموفق باشد اجباری بوده، در غیر این صورت اختیاری هستند.

1. Service Request

2. EMM Service Request



شکل ۱۴-۳ فرایند درخواست سرویس منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

حال MME به ایستگاه پایه دستور می‌دهد تا حامل‌های S1 و رادیویی موبایل را تنظیم کند (۴). این پیام‌ها دارای چندین پارامتر هستند، که MME بعد از فرایند اتصال به شبکه آنها را ذخیره کرده است. به عنوان مثال این پارامترها عبارتند از: شناسه‌ای برای احراز صلاحیت دروازه خدمت‌رسانی، شناسه‌های نقطه پایانی تونل (TEID) برای حامل‌های S1 لینک فراسو، قابلیت‌های دسترسی رادیویی موبایل و کلید امنیتی K_{eNB} . ایستگاه پایه در واکنش به این پارامترها، امنیت قشر دسترسی (AS) را فعال‌سازی می‌کند.

حال ایستگاه پایه می‌تواند یک پیام RRC به موبایل ارسال کند (۵) تا SRB2 و حامل‌های رادیویی داده موبایل را پیکربندی کند. موبایل این پیام را یک پذیرش ضمنی از درخواست رويس EMM تلقی می‌کند، تصدیقی را به ایستگاه پایه بر می‌گرداند و حال می‌تواند به جهان خارج داده لینک فراسو را ارسال کند (۶). در ادامه، ایستگاه پایه یک تصدیق ثانویه را به MME ارسال می‌کند (۷) و این پیام دارای شناسه‌های نقطه پایانی تونل (TEIDs) برای دروازه خدمت‌رسانی جهت استفاده در روی لینک فروسو است.

حال MME شناسه‌های TEID لینک فراسو را به دروازه خدمت‌رسانی ارسال می‌کند و ایستگاه پایه هدف را شناسایی می‌نماید (۸). دروازه خدمت‌رسانی جواب آن را بر می‌گرداند (۹) و

می‌تواند داده لینک فروسو را به موبایل بفرستد، به ویژه داده‌هایی که در فرایند فراخوانی که در شکل ۱۴-۲ نشان داده شده بودند، به موبایل ارسال می‌شود.

۱۴-۲ انتخاب مجدد سلول در حالت RRC_IDLE

۱۴-۲-۱ اهداف

برای موبایل‌هایی که در حال‌های ECM-IDLE و IDLE_RRC هستند، فرایندهای مدیریت تحرک دارای دو هدف است. هدف نخست، ماکزیمم کردن عمر باتری موبایل و دومین هدف به حداقل رساندن بار سیگنالینگ روی شبکه است.

LTE برای رسیدن به این اهداف چهار روش را به کار می‌برد. نخست، معمولاً موبایل تنها هنگامی بیدار می‌شود، که در چرخه دریافت ناپیوسته قرار دارد تا شبکه را برای فراخوانی پیام‌های فراخوانی زیر نظر بگیرد و اندازه‌گیری‌هایی را انجام دهد، که در زیر توصیف می‌گردد. با اجرای این روش، موبایل اغلب زمان خود را در وضعیت توان پایین سپری می‌کند. دوم، موبایل با توجه به این که می‌خواهد در سلول قبلی بماند یا به سلول جدید برود، تصمیم‌گیری می‌کند. با این عمل را با دنبال کردن فرایندی به نام *انتخاب مجدد سلول*^۱ انجام می‌دهد، که نیازی به هیچگونه سیگنالینگ RRC خاصی ندارد. سوم، موبایل هر وقت که سلول را عوض می‌کند، آن را به شبکه اطلاع نمی‌دهد؛ در عوض، تنها وقتی که به یک ناحیه ردیابی جدید می‌رود، که قبلاً در آن ثبت نشده بوده باشد، آن را به اطلاع شبکه می‌رساند. چهارم، موبایل مجبور نیست در سلولی که دارای قویترین سیگنال است قرار بگیرد، در عوض؛ تنها در سلولی قرار می‌گیرد که سیگنال خودش را بالاتر از سطح آستانه تعریف شده دریافت می‌کند.

در این بخش، ما فرایندهای مدیریت متحرک را برای موبایل‌هایی که این فرایندها را استفاده می‌کنند، را بررسی خواهیم کرد. ما به طور عمده مراحل که در نسخه هشت استفاده شده است، را دنبال خواهیم کرد، اما به ویژگی‌های جدیدی که در نسخه نهم معرفی شده‌اند نیز اشاره خواهیم کرد.

۱۴-۲-۲ راه‌اندازی اندازه‌گیری بر روی باند فرکانسی LTE یکسان

ما فرایند انتخاب مجدد سلول را با در نظر گرفتن این فرضیه که شبکه تنها از یک حامل فرکانسی LTE استفاده می‌کند، آغاز می‌کنیم [۱۳-۱۴]. در این حالت، موبایل به محض اخذ چرخه

1. Cell Reselection

غیرپیوسته در همان زیرفریم‌هایی که برای نظارت بر پیام‌های فراخوانی قرار دارد، بیدار می‌شود. در نسخه هشت، موبایل آن زیر فریم‌ها را برای اندازه‌گیری توان دریافتی سیگنال مرجع (RSRP) از سوی سلول سرویس دهنده، به کار می‌گیرد. اگر RSRP به اندازه کافی بالا باشد، موبایل به ماندن در آن سلول ادامه داده و نیازی به اندازه‌گیری چیزی در سلول‌های مجاور ندارد. این روش تعداد اندازه‌گیری‌ها را به حداقل رسانده و زمان بیدار ماندن را کاهش می‌دهد، در نتیجه عمر باتری آن بیشتر می‌شود.

این شرایط تا جایی ادامه پیدا می‌کند که RSRP به پایین‌تر از حد آستانه زیر برسد:

$$S_{rxlev} \leq S_{IntraSearchp} \quad (1-14)$$

در این رابطه، $S_{IntraSearchp}$ حد آستانه‌ای است، که سلول سرویس دهنده به عنوان بخشی از پیام SIB3 آن را اطلاع‌رسانی می‌کند. S_{rxlev} وابسته به RSRP سلول سرویس دهنده بوده و با استفاده از رابطه (۲-۱۱) محاسبه می‌شود. اگر شرط بالا اتفاق بیفتد، موبایل شروع به اندازه‌گیری سلول‌های مجاور می‌کند که روی همان فرکانس حامل LTE همان سلول سرویس دهنده قرار دادند، می‌کند. برای انجام این کار، موبایل سه مرحله از فرایند تملک سلول که در فصل هفتم بیان شده است، را اجرا می‌کند. بنابراین هنگامی که سیگنال‌های اولیه و ثانویه همزمان‌سازی را دریافت کند، موقعیت و محتوای سیگنال‌های مرجع لینک فراسو را شناسایی کرده و RSRP آنها را اندازه‌گیری می‌کند. از نسخه نهم به بعد، اگر کیفیت سیگنال دریافتی مرجع (RSRQ) به پایین‌تر از حد آستانه زیر سقوط کند، موبایل می‌تواند اقدام به اندازه‌گیری سلول‌های مجاور نماید:

$$S_{qual} \leq S_{IntraSearchq} \quad (2-14)$$

در این رابطه، $S_{IntraSearchq}$ یکی دیگر از حد آستانه‌هایی است، که ایستگاه پایه آن را به عنوان بخشی از SIB3 تبلیغ می‌کند. S_{qual} بستگی به RSRQ سلول داشته و از روی رابطه (۵-۱۱) محاسبه می‌شود.

بر خلاف سیستم‌های قبلی، موبایل می‌تواند سلول‌های LTE همسایه خود را خودش پیدا کند. ایستگاه پایه مجبور نیست لیست سلول‌های LTE همسایه را به عنوان بخشی از اطلاعات سیستم خودش به موبایل به گوید. این عمل سه مزیت دارد: نخست، اپراتورهای شبکه دسترسی رادیویی LTE را آسان‌تر از قبل می‌توانند پیکربندی کنند. دوم، در این روش هیچگونه ریسکی برای فراموشی سلول‌های مجاور موبایل به دلیل خطای اندازه‌گیری آن وجود ندارد. سوم، این

روش برای اپراتور شبکه آسان تر می باشد که ایستگاه های پایه خانگی را معرفی کند و کاربر می تواند در مکان هایی که سیگنال ماکروسل مجاور نامعلوم است، نصب کند.

ولی هنوز ایستگاه پایه می تواند سلول های همسایه ای را در SIB4 با استفاده از شناسه های فیزیکی سلول ها شناسایی کند و آنها را با استفاده از پارامترهای اختیاری ویژه سلول که ما بعداً خواهیم دید، معرفی کند.

۱۴-۲-۳ انتخاب مجدد سلول برای باند فرکانسی LTE یکسان

بعد از آنکه اندازه گیری سلول های مجاور انجام گرفت، موبایل رتبه بندی شاخص های زیر را به دست می آورد:

$$\begin{aligned} R_s &= Q_{\text{meas},s} + Q_{\text{hyst}} \\ R_s &= Q_{\text{meas},n} + Q_{\text{offset},s,n} \end{aligned} \quad (3-14)$$

در این رابطه، R_s و R_n شاخص های رتبه بندی سلول سرویس دهنده و یکی از همسایه های آن هستند، در حالی که، $Q_{\text{meas},s}$ و $Q_{\text{meas},n}$ توان های سینگال دریافتی مرجع مربوطه می باشد.

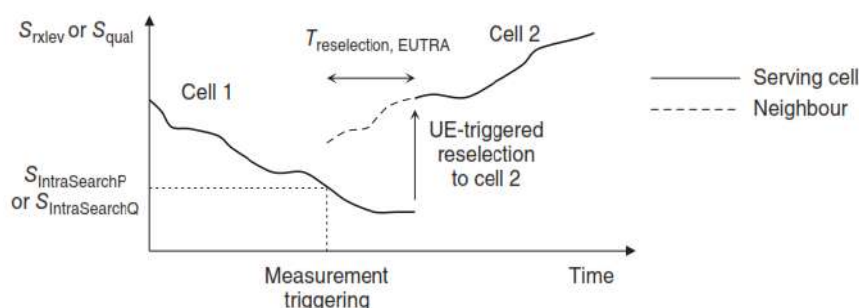
Q_{hyst} یک پارامتر هسترسیس است، که ایستگاه پایه آن را در SIB3 تبلیغ می کند، این پارامتر مانع از انتشار سیگنال موبایل به سلول های پشتی و روبروی مجاور می کند $Q_{\text{offset},s,n}$ یک گزینه اختیاری ویژه سلول است، که سلول سرویس دهنده می تواند در SIB4 تبلیغ نماید و برای ترغیب یا عدم ترغیب یک موبایل برای ورود به یکی از سلول های مجاور می باشد.

سپس موبایل به سلولی که دارای بهترین رتبه است و اگر سه شرط زیر اتفاق بیفتد، وارد می شود.

نخست، موبایل باید حداقل یک ثانیه در سلول سرویس دهنده قرار گرفته باشد. دوم، سلول جدید باید طبق معیارهایی که در فصل یازده گذشت، یک سلول مناسب باشد، سوم، سلول جدید باید رتبه بندی بهتری از سلول سرویس دهنده در یک دوره زمانی حداقل $T_{\text{reselection,EUTRA}}$ داشته باشد، که در SIB3 بیان شده است و مقداری از صفر تا ۷ ثانیه دارد. اگر همه سلول های مجاور متعلق به یک گروه مشترکین محرمانه (CSG) باشند، موبایل همان فرایند را استفاده می کند. بجز اینکه موبایل متعلق به گروهی باشد که در آن قرار دارد.

شکل ۱۴-۴ نتیجه نهایی را نشان می دهد. در این شکل، موبایل ابتدا در سلول ۱ قرار گرفته است، اما آن سلول را ترک کرده و به سلول ۲ می رود. هنگامی که S_{rxlev} پایین تر از $S_{\text{IntraSearchP}}$ یا پایین تر

از S_{qual} و $S_{IntraSearchQ}$ قرار بگیرد، موبایل اقدام به اندازه‌گیری سلول‌های همسایه می‌کند و سلول ۲ را پیدا می‌کند و با توجه به شرایطی که در بالا اشاره شد، انتخاب مجدد سلول را انجام می‌دهد.



شکل ۱۴-۴ انتخاب مجدد سلول داخل فرکانسی

۴-۲-۱۴ اندازه‌گیری راه‌انداز روی یک فرکانس LTE متفاوت

اگر شبکه بیش از یک فرکانس حامل LTE را به کار ببرد، در این صورت، سلول سرویس‌دهنده حامل‌های دیگری را به عنوان بخشی از SIB5 تبلیغ خواهد کرد. مثل قبل، این کار ممکن است دارای آفست‌های فرکانسی برای سلول‌های همسایه خاصی باشد، اما مجبور به انجام آن نیست. سلول سرویس‌دهنده هر فرکانس حامل، یک اولویت‌بندی از ۰ تا ۷ را ارائه می‌دهد، که ۷ بالاترین اولویت آن است. با این اولویت‌ها، شبکه می‌تواند موبایل را تشویق به استفاده از حامل‌های خاصی کرده یا مانع انتخاب حامل‌های فرکانس خاصی شود. این اولویت ویژگی است که در شبکه‌های لایه‌بندی شده مفید می‌باشد، مثلاً میکروسل‌ها دارای یک حامل فرکانسی متفاوت‌تری از ماکروسل‌ها هستند و از اولویت بالاتری را برخوردارند.

فرایند اندازه‌گیری راه‌انداز بستگی به اولویت‌های مربوط به دو فرکانس حامل دارد. موبایل همیشه سلول‌هایی که دارای حامل‌های با اولویت بالاتری هستند را اندازه‌گیری می‌کند، بدون توجه به اینکه چه سیگنال قوی‌تری از سلول سرویس‌دهنده دریافت می‌کند. این ویژگی این امکان را فراهم می‌آورد، که موبایل به صورت مستقلی اندازه‌گیری از چرخه دریافت ناپیوسته را انجام دهد. به طوری که موبایل نمی‌تواند پیام‌های فراخوانی را روی یک حامل دنبال کرده و اندازه‌گیری سلول را روی حامل دیگر در همان لحظه انجام دهد. با این حال، موبایل مجبور است تا تنها یک حامل فرکانسی را در هر دقیقه اندازه‌گیری کند. در نتیجه بار روی موبایل کم می‌شود. در نسخه هشت اگر شرط زیر اتفاق بیفتد موبایل شروع به اندازه‌گیری می‌کند:

$$S_{rxlev} \leq S_{NonIntraSearchP} \quad (۱۴-۴)$$

در این رابطه، $S_{NonIntraSearchP}$ آستانه‌ای است، که ایستگاه پایه در SIB3 آن را تبلیغ کرده است و در حالی که S_{rxlev} بستگی به RSRP سلول سرویس‌دهنده مثل قبل دارد. همچنین در نسخه نهم، موبایل شرایطی که RSRQ به پایین‌تر از حد آستانه زیر سقوط کند، شروع به اندازه‌گیری می‌نماید.

$$S_{qual} \leq S_{NonIntraSearchQ} \quad (۱۴-۵)$$

۱۴-۲-۵ انتخاب مجدد سلول روی یک فرکانس LTE متفاوت

همچنین، انتخاب مجدد سلول به وسیله اولویت‌های در نظر گرفته شده برای دو فرکانس حامل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اگر سه شرط زیر برقرار شود، موبایل به یک سلول جدید با بالاترین اولویت می‌رود. حال ما دوتای اولی را بیان می‌کنیم: موبایل باید به مدت یک ثانیه (1S) در سلول سرویس‌دهنده قرار داشته باشد و سلول جدید نیز طبق معیارهایی که در فصل یازده بیان شد، مناسب باشد. در نسخه هشت (۸) RSRP سلول جدید باید شرایط زیر را داشته، که در حداقل زمانی از $T_{reselection,EUTRA}$ اتفاق می‌افتد:

$$S_{rxlev,x,n} > Thresh_{x,HighP} \quad (۱۴-۶)$$

در رابطه بالا، $Thresh_{x,HighP}$ آستانه‌ای بروی فرکانس x است، که سلول سرویس‌دهنده در SIB5 آن را تبلیغ کرده است. $S_{rxlev,x,n}$ بستگی به RSRP سلول جدید دارد و از طریق رابطه (۱۱-۲) محاسبه می‌شود. موبایل اندازه‌گیری RSRP را از روی سلول سرویس‌دهنده خود برای تصمیم‌گیری استفاده نمی‌کند. بنابراین، موبایل به سلولی که دارای بالاترین اولویت فرکانسی است، می‌رود، که آن سلول را تا حدودی بهتر می‌داند. از نسخه نهم به بعد، ایستگاه پایه به طور اختیاری می‌تواند شرط قبلی را با یک شرط مشابه بر پایه RSRQ جایگزین کند.

اگر این پنج شرط اتفاق بیفتند، موبایل به یک سلول با اولویت حامل کمتر می‌رود. دو شرط اولی همانند قبل هستند. موبایل باید حداقل به مدت 1S در سلول سرویس‌دهنده کمپ زده باشد (مانده باشد) و سلول جدید نیز طبق معیارهایی که در فصل یازدهم بیان شد مناسب و مفید باشد. به علاوه موبایل نباید بتواند یک سلولی مطلوب‌تری روی فرکانس اولیه پیدا کند و یا فرکانسی با اولویت بالاتر یا برابر را بیابد. در نسخه هشت همچنین RSRP سلول‌های مجاور و سلول سرویس‌دهنده باید شرایط زیر را برای حداقل زمانی از $T_{reselection,EUTRA}$ را تأمین نماید:

$$S_{rxlev} < Thresh_{serving,LowP} \quad (V-14)$$

$$S_{rxlev,x,n} < Thresh_{x,LowP}$$

مثل قبل، $Thresh_{serving,LowP}$ و $Thresh_{x,LowP}$ حدود آستانه‌هایی هستند، که ایستگاه پایه آنها را در SIB5 تبلیغ می‌کند. در حالی که S_{rxlev} و $S_{rxlev,x,n}$ وابسته به RSRP سلول سرویس‌دهنده و سلول‌های همسایه دارد. از نسخه نهم بعد، ایستگاه پایه می‌تواند به طور اختیاری این شرایط را با شرایط مشابه دیگر مبتنی بر RSRQ جایگزین کند.

موبایل در حامل‌هایی با اولویت برابر با استفاده از معیارهایی شبیه به همان معیارهای که روی فرکانس مشابه بیان شد، به سلول جدید وارد می‌شود. تنها تفاوت در رابطه (۱۴-۳) این است، که سلول سرویس‌دهنده می‌تواند به طور اختیاری یک آفست ویژه فرکانسی $Q_{offset,frequency}$ را به آفست سلول ویژه $Q_{offset,s,n}$ اضافه می‌کند.

در پایان، تنها یک تنظیم روی موبایل‌های متعلق به یک گروه کاربران محرمانه (CSG) وجود دارد. اگر یک موبایل در یک سلول بدون CSG قرار داشته باشد (کمپ زده باشد) و یک سلول CSG مناسب که دارای بالاترین رتبه‌بندی در یک حامل دیگر باشد، را شناسایی کند، در این صورت، موبایل بدون در نظر گرفتن اولویت حامل سلول جدید که کمپ زده است، به سلول CSG می‌رود.

۱۴-۲-۶ موبایل‌هایی با تحرک بالا

در الگوریتم‌های بالا، موبایل می‌تواند تنها به سلول همسایه‌ای که دارای توان سیگنال دریافتی بالا با یک حد آستانه مناسب در حداقل دوره‌ای از $T_{reselection,EUTRA}$ باشد، برود. معمولاً مقدار $T_{reselection,EUTRA}$ ثابت است، اما برای موبایل‌هایی که تحرک بالایی دارند، استفاده از یک مقدار ثابت می‌تواند تأخیرهای ناخواسته‌ای در داخل این فرایند را به همراه داشته باشد. حتی در مجموع می‌تواند به طور کامل از انتقال یک موبایل به سلول جدیدی که در دسترس است، جلوگیری نماید.

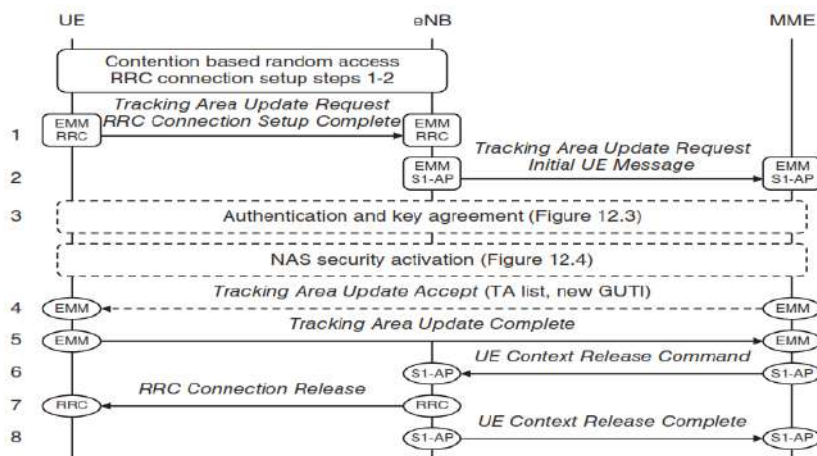
برای حل این مشکل، موبایل ابتدا سرعتی را که در آن می‌تواند فرایند انتخاب مجدد سلول را انجام دهد، را اندازه‌گیری می‌کند و از هر فرایندی که باعث ناموفق بودن انتخاب مجدد سلول در سلول‌های مجاور می‌شود پرهیز می‌کند. به توجه به نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری، خود را در یکی از حالت‌های قابلیت تحرک عادی، قابلیت تحرک متوسط و یا خیلی سریع قرار می‌دهد.

در حالت‌های متوسط و خیلی سریع موبایل دو اندازه‌گیری انجام می‌دهد. نخست، زمان انتخاب مجدد $T_{\text{reselection,EUTRA}}$ را کاهش می‌دهد. این عمل را با استفاده از یک وضعیت وابسته فاکتور پیمایش که بین ۰.۲۵ و یک قرار دارد، انجام می‌دهد. این عمل باعث کاهش زمان فرایند انتخاب مجدد سلول شده و اجازه می‌دهد تا موبایل هرچه سریع‌تر به سلول جدید برود. دوم، موبایل پارامتر Q_{hyst} بیان شد، را کاهش می‌دهد، این کار باعث می‌شود تا موبایل علاقه کمتری برای ماندن در سلول فعلی داشته باشد، در نتیجه، فرایند انتخاب مجدد سلول آسان‌تر می‌شود. شبکه کلیه حدود آستانه‌ها و تنظیمات ضروری خود که بخشی از SIB3 هستند را انجام می‌دهد.

۱۴-۲-۷ فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی

بعد از اینکه موبایل یک سلول جدید را انتخاب کرد، اطلاعات سیستمی سلول را خوانده و کد ناحیه ردیابی را مورد سنجش قرار می‌دهد. اگر موبایل به ناحیه ردیابی‌ای وارد شود، که قبلاً در آن ثبت‌نام نشده باشد، با استفاده از فرایندی به نام به روزرسانی ناحیه ردیابی^۱ به EPC اطلاع-رسانی می‌کند.

شکل ۱۴-۵ نسخه ابتدایی از فرایند این را نشان می‌دهد. در این شکل موبایل‌ها در ابتدا در حالت‌های RRC_IDLE, ECM-IDLM قرار دارند و همچنین فرض بر این است که موبایل‌ها در ناحیه MME pool و دروازه خدمت‌رسانی (S-GW) یکسانی باقی مانده‌اند، در نتیجه MME و دروازه خدمت‌رسانی بدون تغییر باقی می‌مانند.



شکل ۱۴-۵ فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی، شروع از RRC_IDLE با باقی‌ماندن در ناحیه MME و دروازه

خدمت‌رسانی منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

1. Tracking Area Update

این فرایند از همان روشی که درخواست سرویس آغاز می‌کند را شروع می‌شود، که ما آن را قبلاً دیده بودیم. موبایل فرایند دسترسی تصادفی را اجرا کرده و مراحل ۱ و ۲ برقراری ارتباط RRC را انجام می‌دهد. در نتیجه، به طور موقت به حالت RRC_CONNECTED می‌رود. سپس یک پیام درخواست به روزرسانی ناحیه ردیابی ^۱EMM را ساخته و آن را با ضمیمه کردن در پیام اتمام برپایی ارتباط RRC خود به ایستگاه پایه ارسال می‌کند (۱). در ادامه، ایستگاه پایه این پیام را به MME سرویس‌دهنده منتقل می‌کند (۲). مثل قبل MME می‌تواند موبایل را تأیید کرده و امنیت NAS را به روزرسانی کند (۳).

MME به بررسی منطقه ردیابی جدید می‌پردازد و در این مثال تصمیم می‌گیرد، که دروازه خدمت‌رسانی را بدون تغییر باقی بماند. در پاسخ، MME یک پیام پذیرش به روزرسانی ناحیه ردیابی ^۲EMM را به موبایل بر می‌گرداند (۴)، که لیستی از نواحی ردیابی و ناحیه ردیابی فعلی که موبایل در آن ثبت شده است، را به موبایل می‌دهد و به صورت اختیاری یک شناسه منحصر بفرد موقت جهانی (GUTI) را به موبایل می‌دهد. در صورتی که GUTI تغییر کرده باشد، موبایل یک تصدیق می‌فرستد (۵). حال MME می‌تواند به ایستگاه پایه دستور دهد، که در قالب بخشی از پیام قطع S1 موبایل را به حالت RRC_IDLE برگرداند (مراحل ۶-۸).

همچنین موبایل فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی را به طور دوره‌ای اجرا می‌کند، حتی اگر در همان ناحیه ردیابی باقیمانده باشد تا به MME بگوید، که هنوز روشن است و تحت پوشش یک ناحیه از LTE قرار دارد. این تایمر به طور معمول مقادیری از ۵۴ دقیقه است، اما MME می‌تواند مقادیر دیگری در پیام‌های پذیرش اتصال به شبکه یا پذیرش به روزرسانی ناحیه ردیابی انتخاب کند.

در اینجا دو مشکل وجود دارند. اگر موبایل به ناحیه MME pool جدید وارد شود در نتیجه، ایستگاه پایه جدید به MME قبلی متصل نخواهد بود. در عوض، بعد از مرحله (۱)، ایستگاه پایه MME جدیدی را انتخاب می‌کند، این کار را با استفاده از روشی مشابه فرایند اتصال به شبکه انجام می‌دهد، که ما قبلاً آن را دیده بودیم. MME جدید جزئیات موبایل را از روی MME قدیمی بازیابی کرده و با سرور خانگی مشترکین (HSS) تماس می‌گیرد تا رکوردهایش را در مورد مکان موبایل به روزرسانی کند. همچنین MME به دروازه خدمت‌رسانی می‌گوید، که حال از موبایل پشتیبانی می‌کند.

1. EMM Tracking Area Update Request

2. EMM Tracking Area Update Accept

به طور مستقل، ممکن است موبایل به یک ناحیه سرویس S-GW تغییر وضعیت بدهد، به جای آخرین فعل و انفعالات از پاراگراف بالا، MME به دروازه خدمت‌رسانی جدید دستور می‌دهد تا همه حامل‌های EPS را برای موبایل تنظیم کرده و حامل‌های S5/S8 را به وسیله دروازه PDN تغییر جهت بدهد. MME همچنین به دروازه خدمت‌رسانی قبلی دستور می‌دهد تا کلیه حامل‌های موبایل را آزاد کند. در صورتی که خود MME نیز عوض شده باشد، این مراحل از سوی MME قبلی و MME جدید انجام خواهد شد.

۱۴-۲-۸ انتخاب مجدد شبکه

اگر انتخاب شبکه توسط موبایل به صورت خودکار پیکربندی شده باشد و در حالت رومینگ در یک شبکه ملاقات شونده قرار داشته باشد، پس به صورت دوره‌ای فرایندی به نام/انتخاب مجدد شبکه^۱ را هر زمان که در وضعیت RRC_IDLE قرار داشته باشد، اجرا می‌کند تا شبکه‌ای را که با کد کشوری یکسان اما اولویت بالاتری است پیدا کند [۱۶-۱۷]. این دوره جستجو در USIM ذخیره شده و یک مقدار پیش‌فرض ۶۰ دقیقه‌ای دارد [۱۸].

انتخاب مجدد شبکه شبیه به فرایند انتخاب مجدد سلول است، بجز اینکه شرایط برای یک سلول مناسب (روابط ۲-۱۱ و ۵-۱۱) به صورت زیر اصلاح شده است:

$$S_{rxlev} = Q_{rxlevmeas} - Q_{rxlevmin} - Q_{rxlevminoffset} - P_{compensation} \quad (۸-۱۴)$$

$$S_{qual} = Q_{qualmeas} - Q_{rxlevmin} - Q_{qualminoffset} \quad (۹-۱۴)$$

در رابطه نخست، سلول سرویس دهنده اولیه مقدار $Q_{rxlevminoffset}$ را به عنوان بخشی از SIB1 مشخص می‌کند. این پارامتر حداقل RSRP را به اندازه‌ای که در سلول مقصد مورد نیاز است افزایش می‌دهد و موبایل را از انتخاب شبکه‌ای با اولویت بالاتری که فقط سلول‌های ضعیف دارد، باز می‌دارد. این پارامتر $Q_{rxlevminoffset}$ از نسخه نهم به بعد به مشخصات 3GPP افزوده شده است.

۱۴-۳ اندازه‌گیری‌های RRC_CONNECTED

۱۴-۳-۱ اهداف

در صورتی که موبایل در وضعیت‌های RRC_CONNECTED و ECM-CONNECTED باشد، فرایندهای مدیریت تحرک کاملاً متفاوت خواهند بود. در این وضعیت‌ها، موبایل در حال ارسال و

دریافت اطلاعات با سرعت بالایی است. بنابراین، این فرایندها به طور مؤثری توان مصرفی یا بار سیگنالینگ را افزایش نمی‌دهند. در عوض، هدف حداکثر کردن نرخ داده موبایل و ظرفیت کلی آن است.

LTE با به کار بردن سه روش به این هدف می‌رسد، که همگی تفاوت اساسی با آنچه در حالت‌های RRC_IDLE و ECM-IDLE بیان شد، دارند. نخست، همیشه ایستگاه پایه می‌داند، که کدام سلول به موبایل سرویس ارایه می‌دهد. دوم، ایستگاه پایه سلول سرویس‌دهنده را به وسیله پیام‌های سیگنالینگ RRC ویژه موبایل انتخاب می‌کند. سوم، ایستگاه پایه مطمئن است، که سلول سرویس‌دهنده قوی‌ترین سیگنال را در بین تمامی سلول‌ها دارد نه فقط سلولی که تنها قدرت سیگنال آن کمی بالاتر از حد آستانه است.

پس فرایند حاصل شده، یک فرایند دو مرحله‌ای است. در اولین مرحله، موبایل سطوح سیگنال سلول سرویس‌دهنده و همسایه‌های مجاور را اندازه‌گیری کرده و نتیجه اندازه‌گیری‌ها را به صورت گزارش به eNB سرویس‌دهنده ارسال می‌کند در مرحله دوم، eNB سرویس‌دهنده می‌تواند از این اندازه‌گیری‌ها برای درخواست دست به دست کردن به یک سلول مجاور استفاده کند.

۱۴-۳-۲ فرایند اندازه‌گیری

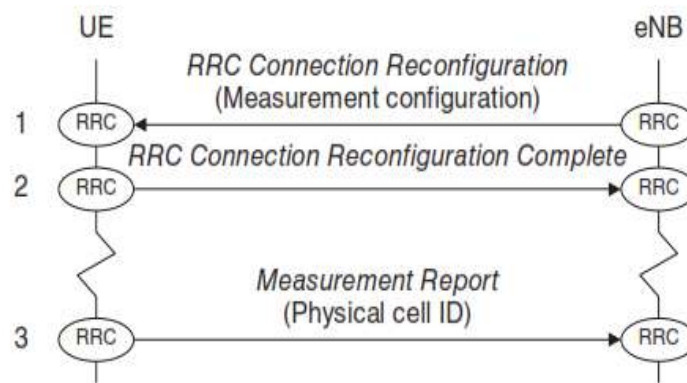
فرایند اندازه‌گیری در شکل ۱۴-۶ نشان داده شده است [۱۹-۲۰]. برای آغاز این فرایند، eNB سرویس‌دهنده یک پیام پیکربندی مجدد ارتباط RRC را به موبایل ارسال می‌کند (مرحله ۱). ما این پیام را برای پیکربندی مجدد حامل‌های موبایل، در همه جاهایی که فرایند اتصال به شبکه وجود داشت، مشاهده کرده بودیم. اما این فرایند می‌تواند برای تعیین اندازه‌گیری‌هایی که موبایل باید انجام دهد، به کار برود.

در پیام RRC، اندازه‌گیری‌ها با استفاده از یک عنصر اطلاعاتی به نام پیکربندی اندازه‌گیری^۱ مشخص شده است.

این عنصر اطلاعاتی دارای لیستی از اشیاء اندازه‌گیری^۲ است، که هر کدام از آنها، فرکانس حامل LTE و پهنای باند لینک فروسو آنها را توصیف می‌کند. همچنین یک لیست گزارش پیکربندی^۳ها نیز است، که به موبایل می‌گوید، چه زمانی نتایج را گزارش دهد. نهایتاً، عنصر

-
1. Measurement Configuration
 2. Measurement Object
 3. Reporting Configuration

اطلاعاتی هر اندازه‌گیری خاصی را با استفاده از شناسه/اندازه‌گیری^۱ تعریف می‌کند، که یک جفت ساده از شیئی اندازه‌گیری با یک پیکربندی گزارش است.



شکل ۱۴-۶ فرایند گزارش اندازه‌گیری

مثل قبل، موبایل خودش می‌تواند سلول‌های اطراف را شناسایی کند و ایستگاه پایه لیستی را در اختیار آن قرار نمی‌دهد. اما شئی اندازه‌گیری می‌تواند دارای چندین فیلد اختیاری مثل یک لیست از سلول‌های که موبایل موقع اندازه‌گیری باید از آنها پرهیز کند و فرکانس و آفست‌های ویژه سلول برای استفاده در گزارش‌دهی اندازه‌گیری، را داشته باشد. در این فیلدها ایستگاه پایه می‌تواند با استفاده از شناسه فیزیکی سلول خود، هر سلول را شناسایی کند.

موبایل اطلاع‌رسانی کرده (مرحله ۲) و اندازه‌گیری را انجام می‌دهد. سرانجام، موبایل یک گزارش/اندازه‌گیری RRC^۲ را به eNB سرویس‌دهنده ارسال می‌کند (مرحله ۳) و سلولی را که گزارش را با استفاده از شناسه فیزیکی سلول شروع کرده است، شناسایی می‌کند. در پاسخ، eNB سرویس‌دهنده می‌تواند فرایند دست به دست کردن را آغاز کند، که ما به طور مختصری آن را بیان خواهیم کرد.

۱۴-۳-۳ گزارش اندازه‌گیری

ایستگاه پایه به موبایل می‌گوید، که چه موقعی می‌تواند یک گزارش اندازه‌گیری را با استفاده از گزارش پیکربندی که در بالا بیان شد، را برگرداند و ما آن را قبلاً در بالا اشاره کرده بودیم. اغلب مکانیزم گزارش‌گیری عمومی در LTE، گزارش دوره‌ای آغاز شده از رویداد می‌باشد، که اگر سطح سیگنال از یک سطح آستانه تجاوز کند، شروع به ارسال گزارش اندازه‌گیری دوره‌ای می‌کند

1. Measurement Identity

2. RRC Measurement Report

و اگر سیگنال به پایین‌تر از آن سطح آستانه برسد، این گزارش متوقف می‌شود. با ساده‌سازی این مکانیزم، مشخصات فنی 3GPP از گزارش‌های «یکی کردن بر اساس یک اتفاق»^۱ و همچنین از گزارش غیر دوره‌ای و «یکی کردن گزارش‌ها»^۲ پشتیبانی می‌کنند.

جدول ۱۴-۱ لیستی از رویدادهایی که برای اندازه‌گیری سایر سلول‌های LTE به کار می‌روند را آورده است و برخی از برنامه‌های احتمالی را میسر می‌داند. ما برخی از رویدادهایی اندازه‌گیری را زمانی که در فصل پانزدهم درباره عملیات بین سلولی بحث خواهیم کرد، را شرح خواهیم داد.

به عنوان مثال، اجازه بدهید رویداد اندازه‌گیری A3 را در نظر بگیریم، که اکثراً در دست به دست کردن‌ها شروع می‌شود. موبایل وقتی که در وضعیت گزارش رویداد A3 قرار می‌گیرد، که شرط زیر برای حداقل یک دوره زمانی از Time to Trigger (۰ تا ۵۱۲۰ میلی ثانیه) اتفاق بیفتد:

$$M_n + Of_n + Oc_n > M_s + Of_s + Oc_s + Off + Hys \quad (10-14)$$

در صورتی که در این حالت، موبایل گزارش‌های اندازه‌گیری را در دوره‌ای از ReporInterval (۲۰ میلی ثانیه تا ۶۰ دقیقه) تا حداکثری از گزارش ReportAmount (۱ تا ۶۴ یا بی نهایت) به ایستگاه پایه می‌فرستد. زمانی موبایل از وضعیت گزارش رویداد A3 خارج می‌شود، که شرط زیر در حداقل دوره‌ای از TimeToTrigger اتفاق بیفتد:

$$M_n + Of_n + Oc_n < M_s + Of_s + Oc_s + Off - Hys \quad (14-11)$$

جدول ۱۴-۱ رویداد اندازه‌گیری به کار رفته برای گزارش سلول‌های همسایه LTE

Event	Description	Possible application
A1	Serving cell > Threshold	Remove measurement gaps and stop measuring other carriers Add secondary cell (Release 10)
A2	Serving cell < Threshold	Insert measurement gaps and start measuring other carriers RRC connection release with redirection to 2G/3G carrier Remove secondary cell (Release 10)
A3	Neighbour > Serving cell + Offset	Handover to LTE cell on same carrier Handover to LTE cell on equal priority carrier
A4	Neighbour > Threshold	Handover to LTE cell on higher priority carrier
A5	Serving cell < Threshold 1 & Neighbour > Threshold 2	Handover to LTE cell on lower priority carrier
A6	Neighbour > SCell + Offset	Change of secondary cell (Release 10)

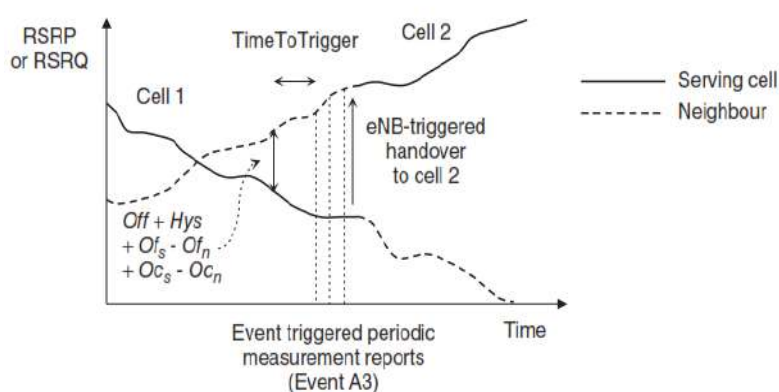
1. One Off Event Reporting

2. One Off Reporting

در این رابطه، M_s و M_n اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط موبایل با توجه به سلول سرویس‌دهنده و سلول‌های همسایه می‌باشد. به عنوان بخشی از این گزارش پیکربندی، ایستگاه پایه می‌تواند به موبایل دستور بدهد تا موبایل یا توان دریافتی سیگنال مرجع سلول‌ها و یا کیفیت سیگنال دریافتی مرجع آنها را اندازه بگیرد [۲۱]. در مورد اندازه‌گیری رویداد A3، سلول همسایه معمولاً روی همان فرکانس قرار دارد، که سلول سرویس‌دهنده در آن است یا در فرکانس دیگری است، که اولویت یکسانی با سلول سرویس‌دهنده دارد.

Hys پارامتر هیستریسیس برای گزارش اندازه‌گیری است. اگر موبایل وارد وضعیت گزارش‌گیری رویداد A3 شود، در نتیجه Hys اجازه خروج موبایل از آن وضعیت تا زمانی که سطوح سیگنال به $2 \times Hys$ تغییر نکند، را نمی‌دهد. به طور مشابه، Off یک پارامتر هیستریسیس برای دست به دست کردن‌ها است. اگر گزارش اندازه‌گیری دست به دست کردنی را آغاز کرده باشد، پارامتر Off موبایل را از بازگشت به سلول اولیه تا هنگامی که سطح سیگنال آن به $2 \times Off$ تغییر نکرده باشد، باز می‌دارد. Of_s و Of_n آفست‌های اختیاری ویژه فرکانس هستند، که قبلاً اشاره شده بودند، در حالی که Oc_s و Oc_n آفست‌های ویژه سلول می‌باشند.

شکل ۷-۱۴ نتیجه نهایی را نشان می‌دهد. همان طور که در شکل قبلی دیدیم، موبایل در آغاز توسط سلول سرویس می‌شد، اما از آن سلول خارج شده و به سلول ۲ رفت. هنگامی که RSRP یا RSRQ به ترم‌های رابطه (۱۴-۱۰) رسید، موبایل شروع به ارسال گزارش اندازه‌گیری دوره‌ای برای رویداد A3 می‌کند. بعد از آن، ایستگاه پایه از این گزارش برای آغاز یک دست به دست کردن به شیوه‌ای که در زیر اشاره شده است، می‌نماید.

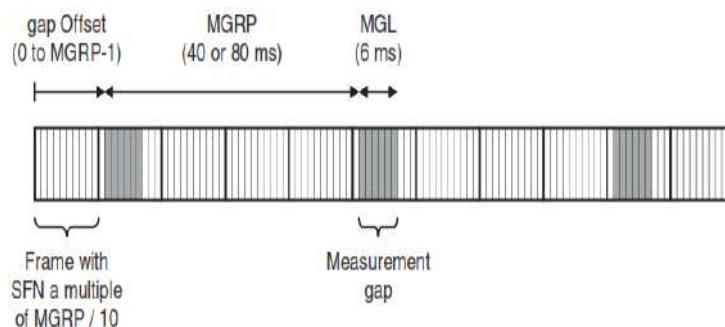


شکل ۷-۱۴ گزارش اندازه‌گیری و دست به دست کردن با استفاده از اندازه‌گیری رویداد A3

۱۴-۳-۴ اندازه‌گیری شکاف‌ها

اگر یک سلول مجاور در همان فرکانسی قرار داشته باشد، که eNB سرویس دهنده است، موبایل می‌تواند همیشه آن را اندازه‌گیری کند. اگر این سلول در فرکانس حامل متفاوتی باشد، در این صورت اوضاع کمی فرق خواهد کرد چرا که، موبایل دارای یک گیرنده فرکانس دوگانه گران قیمت است، نمی‌تواند روی یک فرکانس ارسال و دریافت داشته باشد و اندازه‌گیری را روی گیرنده دیگری در همان لحظه انجام دهد.

برای حل این مشکل، ایستگاه پایه می‌تواند شکاف‌های اندازه‌گیری^۱ (شکل ۱۴-۸) را به عنوان بخشی از پیکربندی اندازه‌گیری تعریف کند. شکاف‌های اندازه‌گیری زیرفریم‌هایی هستند، که ایستگاه پایه متعهد است تا آنها را برای انتقالی به موبایل و یا از سوی موبایل، زمان‌بندی نکند. در طول این زیرفریم‌ها، موبایل می‌تواند به فرکانس حامل دیگر برود و یک اندازه‌گیری را انجام دهد، که داده‌های دریافتی از لینک فروسو و فرصت‌های انتقال مربوط به لینک فراسو، را از دست نمی‌دهد. هر شکاف یک طول شکاف/اندازه‌گیری (MGL)^۲ دارد. MGL شش زیرفریم بوده و برای اندازه‌گیری سیگنال‌های مرجع اولیه و ثانویه هم‌زمانی کافی است و نیز یک دوره تکرار شکاف/اندازه‌گیری (MGRP)^۳ دارد، که ۴۰ و یا ۸۰ زیر فریم است. یک موبایل آفست خاصی در این دوره دریافت می‌کند، که به عنوان بخشی پیکربندی اندازه‌گیری خودش می‌باشد.



شکل ۱۴-۸ شکاف‌های اندازه‌گیری

1. Measurement Gaps
2. Measurement Gaps Length
3. Measurement Gap Repetition Period

۱۴-۴ دست به دست کردن در وضعیت RRC_CONNECTED

۱۴-۴-۱ فرایند دست به دست کردن بر پایه X2

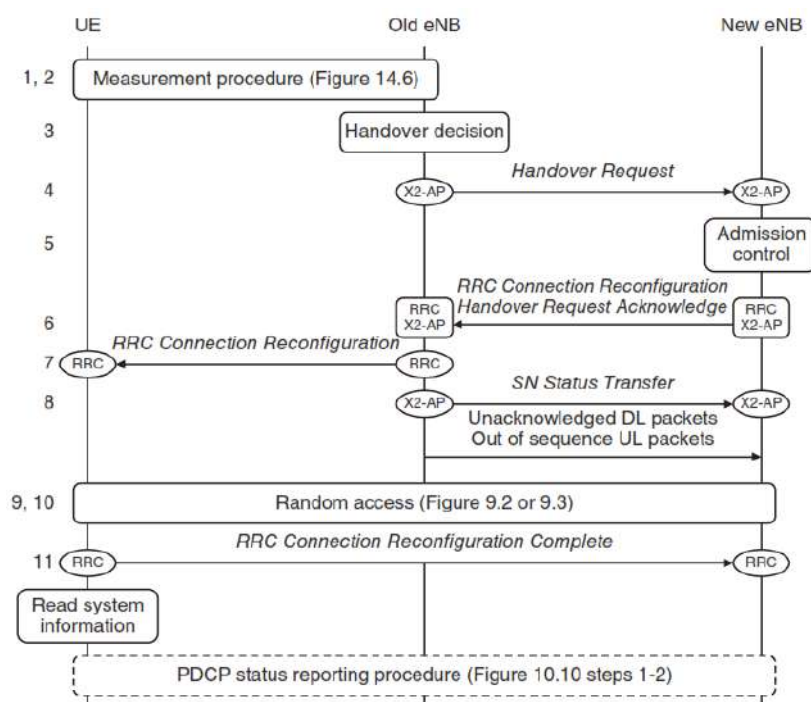
بعد از دریافت یک گزارش اندازه‌گیری، eNB سرویس دهنده تصمیم می‌گیرد، که موبایل را به سلول دیگر بفرستد (دست به دست کند). در اینجا چند سناریو وجود دارند، رایج‌ترین آن فرایند دست به دست کردن بر پایه X2^۱ است. در این فرایند، ایستگاه پایه با استفاده از پیام‌های سیگنالینگ روی واسط X2، تغییر می‌کنند، اما دروازه خدمت‌رسانی یا MME بدون تغییر باقی می‌مانند.

این فرایند در شکل ۱۴-۹ نشان داده شده، که در آن شماره طرح‌های استفاده شده از TS 36.300 است [۲۲]. موبایل یک سلول مجاور را با استفاده از گزارش اندازه‌گیری مشخص می‌کند (۱ و ۲) و ایستگاه پایه قدیمی تصمیم می‌گیرد، که موبایل را به سلول فوق دست به دست (هندور) کند (۳) و با استفاده از یک درخواست دست به دست کردن X2-AP^۲ (۴)، ایستگاه پایه قدیمی از ایستگاه پایه جدید می‌خواهد تا موبایل را کنترل کرده و یک شناسه (ID) عمومی سلول، یک شناسه موبایل، MME سرویس دهنده، کلید امنیتی جدید K_{eNB}^* و قابلیت‌های دسترسی رادیویی موبایل را به آن اختصاص دهد. ایستگاه پایه قدیمی همچنین حامل‌هایی که امکان دارند، موبایل بخواهد روی آن انتقالی داشته باشد را مشخص می‌کند و کیفیت سرویس این حامل‌ها را مشخص می‌نماید.

ایستگاه پایه جدید، لیست حامل را بازبینی کرده و حامل‌هایی که مایل به قبول آنهاست را بررسی می‌کند (۵). ممکن است، ایستگاه پایه جدید در صورتی که سلول جدید با سرریز مواجه شود، برخی از آنها را نپذیرد. برای مثال ممکن است ایستگاه پایه جدید پهنای باند کمتری نسبت به سلول قدیمی داشته باشد، بنابراین برخی از حامل‌ها را نمی‌پذیرد. سپس یک پیام پیکربندی مجدد/ارتباط RRC^۳ را ساخته به موبایل می‌فرستد و به موبایل می‌گوید، که چگونه با سلول جدید تماس بگیرد. در این پیام، ایستگاه پایه قدیم همچنین یک C-RNTI جدید را به موبایل می‌دهد و پیکربندی‌های SRB1 و SRB2، حامل‌های رادیویی داده، که مایل به پذیرش آنها است را در آن پیام قرار می‌دهد. همچنان که در فصل نهم بیان شد، این پیام می‌تواند دارای فرایند دسترسی تصادفی مبتنی بر بدون رقابت را نیز در شاخص آغازین خود داشته باشد. ایستگاه پایه

-
1. X2- Based Handover
 2. X2- Based Handover
 3. X2-AP Handover Request

جدید پیام RRC خود را ضمیمه یک تصدیق درخواست دست به دست کردن $X2-AP^1$ می‌کند تا به درخواست ایستگاه پایه جواب دهد و لیستی از حامل‌هایی را که مایل به پذیرش آنهاست را اعلام می‌کند. سپس هر دوی این پیام‌ها را به ایستگاه پایه قدیمی ارسال می‌کند (۶). ایستگاه پایه قدیمی این پیام را باز کرده و آن را به موبایل ارسال می‌کند (۷). در همان لحظه، ایستگاه پایه قدیمی یک پیام انتقال وضعیت $X2-AP^2$ را به ایستگاه پایه جدید می‌فرستد (۸). این پیام بیان‌گر واحدهای داده سرویس PDCP است، که به طور موفقیت‌آمیزی در مسیر لینک فراسو روی حامل‌هایی با استفاده از روش RLC تصدیق شده دریافت شده‌اند. همچنین، ایستگاه پایه قدیمی بسته‌های لینک فراسو که خارج از ترتیب دریافت کرده است، بسته‌های لینک فراسو را که هنوز موبایل دریافت آنها را تصدیق نکرده است و همه بسته‌های لینک فراسو را که از دروازه خدمت‌رسانی رسیده است، را به ایستگاه پایه جدید منتقل می‌کند.



شکل ۹-۱۴ فرایند دست به دست کردن برپایه X2. (۱) تصمیم‌گیری برای دست به دست کردن،

آماده‌سازی و اجرا منبع: TS 23.401 و TS 36.300 بازنشر با مجوز ETSI

1. X2-AP Handover Request Acknowledge
2. X2- AP Status Transfer

موبایل از روی پیام RRC دریافت شده، خود را برای سلول جدید پیکربندی مجدد کرده و یکی از فرایندهای دسترسی تصادفی مبتنی بر رقابت یا مبتنی بر بدون رقابت را اجرا می‌کند (۹) و (۱۰)، که بستگی به دریافت یک شاخص آغازگر دارد. سپس، موبایل پیام RRC را تصدیق می‌کند (۱۱) و اطلاعات سیستمی سلول جدید را خوانده و به طور اختیاری موبایل و ایستگاه پایه می‌توانند فرایند گزارش‌گیری وضعیت PDCCP که در فصل دهم بیان شد، را اجرا نمایند تا مقادیر انتقال‌های مجدد بسته‌های تکراری را به حداقل برسانند.

در اینجا هنوز یک فرایند باقی‌مانده است، که در شکل ۱۴-۱۰ نشان داده شده است. دروازه خدمت‌رسانی هنوز بسته‌های لینک فروسو را به ایستگاه پایه قدیمی می‌فرستد، بنابراین نیاز است تا با آن ارتباط برقرار شده و مسیر لینک فروسو آن را تغییر دهیم. برای انجام این کار، ایستگاه پایه جدید یک درخواست تغییر میسر $S1\text{-}AP^1$ را به MME می‌فرستد (۱۲)، این پیام لیستی از حامل‌هایی که ایستگاه پایه جدید قبول کرده است و شناسه‌های نقطه پایانی تونل (TEID) که دروازه خدمت‌رسانی آن را برای لینک فروسو به کار می‌برد را در خود جای داده است. MME این TEIDها را به دروازه خدمت‌رسانی منتقل می‌کند (۱۳) که به همراه آنها آدرس IP ایستگاه پایه جدید نیز وجود دارد.

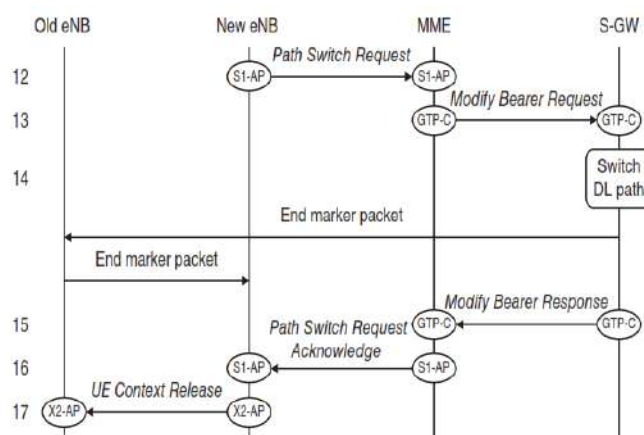
با دریافت این پیام، دروازه خدمت‌رسانی تونل‌های GTP-U را برای حامل‌هایی که ایستگاه پایه جدید پذیرفته است، تغییر مسیر می‌دهد (۱۴) و حامل‌هایی را که ایستگاه پایه جدید نپذیرفته بود، را حذف می‌کند. برای نشان دادن پایان جریان داده، دروازه خدمت‌رسانی یک بسته نشانگر پایان $GTP\text{-}U^2$ را به ایستگاه قدیمی می‌فرستد، که آن را به ایستگاه پایه جدید منتقل نماید. هنگامی که ایستگاه پایه جدید تمامی بسته‌های منتقل شده از ایستگاه پایه قدیمی را به موبایل ارسال کرد و به انتهای نشانگر رسید، می‌تواند مطمئن شود، که دیگر بسته‌های انتقالی به پایان رسیده است و به طور مستقیم ارسال بسته‌های جدید را از دروازه خدمت‌رسانی آغاز کند.

برای نتیجه‌گیری این فرایند، دروازه خدمت‌رسانی تصدیقی را به MME می‌فرستد (۱۵) که آن دارای TEIDهایی است که ایستگاه پایه آن را برای لینک فراسو، به کار می‌برد. MME یک تصدیق به ایستگاه پایه ارسال می‌کند (۱۶) و دارای TEIDهای دروازه خدمت‌رسانی و پارامترهای امنیتی است و به عنوان گام بعدی (NH) شناخته می‌شوند. در ادامه، ایستگاه پایه جدید به ایستگاه پایه قدیمی اطلاع می‌دهد که فرایند دست به دست کردن به طور کامل با موفقیت به اتمام رسیده

1. S1-AP Path Switch Request

2. GTTP-U End Marker

است (۱۷). هنگامی که ایستگاه پایه قدیمی این پیام را دریافت کرد، نشانگر انتهای بسته را منتقل کرده، سپس ایستگاه پایه قدیمی کلیه منابعی را که مربوط به موبایل بود، را حذف می‌کند.



شکل ۱۴-۱۰ فرایند دست به دست کردن مبتنی بر X2. (۲) تکمیل دست به دست کردن

منبع: TS 23.401 و TS 36.300 بازنشر با مجوز ETSI

برای انجام این عمل، ایستگاه پایه جدید می‌تواند NH را برای محاسبه مجموعه‌ای از عملکردهای امنیتی جدید به کار بگیرد و آنها را با استفاده از فرایند پیکربندی مجدد ارتباط RRC استفاده نماید. مزیت کار از این جهت است، که ایستگاه پایه قدیمی کلیدهای امنیتی قشر دسترسی (AS)، که ایستگاه پایه جدید استفاده می‌کند، را نمی‌داند. به عبارت دیگر، ایستگاه پایه جدید می‌تواند NH را تا زمانی که دست به دست کردن مبتنی بر X2 بعدی اتفاق بیفتد ذخیره کرده، که در این صورت جداسازی کلید به جای یک فرایند، بعد از دو فرایند دست به دست کردن اتفاق می‌افتد.

به عنوان یک نتیجه‌گیری از فرایند دست به دست کردن، موبایل می‌تواند به ناحیه ردیابی تغییر مکان دهد، که قبلاً در آن ثبت نشده است. در این صورت، بعد از تکمیل فرایند دست به دست کردن، فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی را به اجرا در می‌آورد. در اینجا چند تا مرحله ساده وجود دارند، که موبایل می‌تواند آنها را آغاز کرده و در حالت RRC_CONNECTED به پایان برساند، و نیازی به تغییر MME یا دروازه خدمت‌رسانی وجود ندارد.

۱۴-۴-۲ انواع دست به دست کردن

فرایندهای پایه‌ای که در بالا به آنها اشاره شد، انواع مختلفی دارند [۲۳]، که اولین آن جهت ساده سازی فرایند دست به دست کردن می‌باشد. اگر همان ایستگاه پایه، هر دو سلول را کنترل کند، پس ما می‌توانیم همه دنباله پیام‌های X2 بالا نادیده گرفته و مسیر لینک فروسو را بدون تغییر نگه داریم.

اگر موبایل ایستگاه پایه خود را عوض کند و به یک ناحیه دروازه خدمت‌رسانی S-GW جدید وارد شود، در این صورت، MME باید دروازه خدمت‌رسانی آن را در مراحل ۱۳ تا ۱۵ تغییر دهد. برای انجام این عمل، MME به دروازه خدمت‌رسانی قدیمی دستور می‌دهد تا کلیه حامل‌هایی را که برای موبایل استفاده می‌شده را آزاد کند و به دروازه خدمت‌رسانی جدید می‌گوید تا مجموعه جدیدی از حامل‌ها را تنظیم کند. در ادامه، دروازه خدمت‌رسانی جدید با دروازه PDN تماس می‌گیرد تا مسیر ترافیک را روی واسط S5/S8 تغییر دهد.

چنانچه در فصل دوم اشاره کردیم، واسط X2 اختیاری است، اگر واسط X2 بین دو ایستگاه پایه وجود نداشته باشد، پس فرایند توصیف شده در بالا بلااستفاده خواهد بود، بنابراین فرایند مربوط به دست به دست کردن مبتنی بر S1^۱ انجام خواهد شد. در این فرایند، ایستگاه‌های پایه از طریق MME، پیام‌هایی که روی واسط X2 ارسال می‌کردند، از روی واسط S1 ارسال می‌کنند.

اگر موبایل به یک ناحیه MME pool جدید وارد شود، فرایند دست به دست کردن مبتنی بر S1 اجباری است، مثل قبل، ایستگاه پایه قدیمی درخواست دست به دست کردن را به MME قدیمی ارسال می‌کند و MME قدیمی، دست به دست شدن موبایل به MME جدید را کنترل می‌نماید و MME جدید درخواست دست به دست کردن را به ایستگاه پایه جدید منتقل می‌سازد.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 36.304 (2013) User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, September 2013.
2. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, September 2013.

1. S1-Based Handover Procedure

3. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, September 2013.
4. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS); Stage 3, Release 11, September 2013.
5. 3GPP TS 29.274 (2013) 3GPP Evolved Packet System (EPS); Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control Plane (GTPv2-C); Stage 3, Release 11, September 2013.
6. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, September 2013.
7. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Release 11, September 2013.
8. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, September 2013.
9. 3GPP TS 36.133 (2013) Requirements for Support of Radio Resource Management, Release 11, September 2013.
10. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.3.5, September 2013.
11. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.3.4.3, September 2013.
12. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.3.4.1, September 2013.
13. 3GPP TS 36.304 (2013) User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, Section 5.2.4, September 2013.

14. 3GPP TS 36.133 (2013) Requirements for Support of Radio Resource Management, Release 11, Section 4.2, September 2013.
15. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.3.3, September 2013.
16. 3GPP TS 23.122 (2012) Non-Access-Stratum (NAS) Functions Related to Mobile Station (MS) in Idle Mode, Release 11, Section 4.4.3.3, December 2012.
17. 3GPP TS 36.304 (2013) User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode, Release 11, Section 5.2.3, September 2013.
18. 3GPP TS 31.102 (2013) Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) Application, Release 11, Section 4.2.6, September 2013. 254 An Introduction to LTE
19. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.5, 6.3.5, September 2013.
20. 3GPP TS 36.133 (2013) Requirements for Support of Radio Resource Management, Release 11, Sections 8.1.2.1, 8.1.2.2, 8.1.2.3, September 2013.
21. 3GPP TS 36.214 (2012) Physical Layer; Measurements, Release 11, Sections 5.1.1, 5.1.3, December 2012.
22. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 10.1.2, September 2013.
23. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.5.1, September 2013.

فصل پانزدہم: تعامل با

UMTS و GSM

در مراحل اولیه توسعه LTE، این طرح تنها در شهرهای بزرگ و هات اسپات‌های جداگانه قابل دستیابی بود. اما در شبکه‌های دیگر، اپراتورهای شبکه از فناوری‌های قدیمی‌تر نظیر GSM، UMTS و cdma2000 استفاده می‌کردند. از طرف دیگر، اغلب گوشی‌های موبایل LTE تجهیزات چندگانه هستند و همه یا بخشی از آن تکنولوژی‌ها را پشتیبانی می‌کنند. برای مقابله با این وضعیت، LTE به گونه‌ای طراحی شد، که با سیستم‌های دیگر تعامل داشته باشد، مخصوصاً زمانی که موبایل به خارج از منطقه پوشش LTE وارد شود، فرایند دست به دست کردن را انجام دهد.

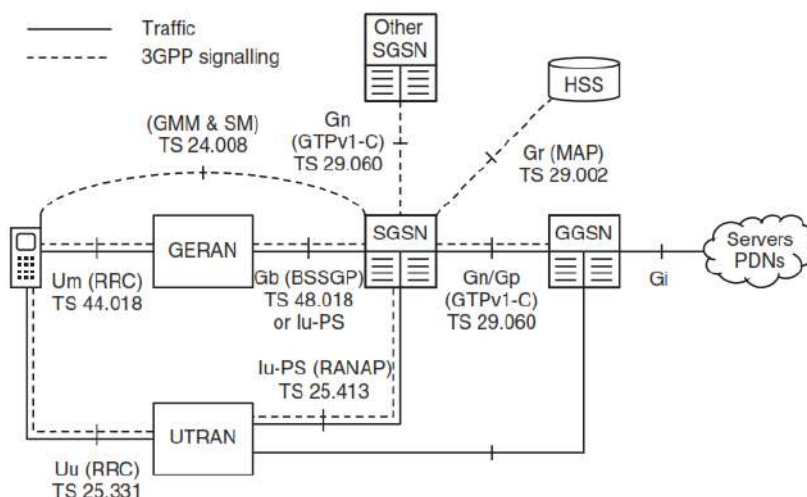
در این فصل، یکی از مهم‌ترین مسائل به نام تعامل LTE با فناوری‌های قبلی 3GPP نظیر GSM و UMTS را بررسی خواهیم کرد. برای انجام این کار، دو نوع معماری تعاملی ممکن وجود دارند: یکی از این معماری‌ها نیازمند توسعه‌هایی در حوزه سوئیچینگ بسته‌ای سیستم‌های قبلی 2G/3G است تا بتوانند قابلیت آنها را برای تعامل با LTE فراهم نمایند، در حالی که، معماری دوم افزودن قابلیت‌ها و توابع اضافی به LTE است تا بتواند با سیستم‌های قبلی تعامل برقرار کند. مشخصات 3GPP از قابلیت تحرک بین LTE و UMTS یا GSM پشتیبانی می‌کنند. این قابلیت تحرک در هر دو حالت RRC_IDLE و RRC_CONNECTED وجود دارد و داری امکاناتی برای بهینه‌سازی دست به دست کردن‌ها جهت انتقال موبایل بدون از دست دادن بسته و کمترین احتمال قطعی ارتباط است. ما بحث خود درباره تعامل با فناوری بدون 3GPP را در فصل بعدی پی می‌گیریم و هر بحثی درباره نحوه بازگشت به حوزه 2G/3G را در فصل بیست و یکم ادامه خواهیم داد.

این فصل نیز همان خصوصیات و ویژگی‌های 3GPP فصل‌های قبلی را به کار می‌برد. مهم‌ترین ویژگی‌هایی که به آن پرداخته می‌شوند، فرایندهایی هستند، که در حالت RRC_IDLE موبایل برای تعامل با UMTS و GSM در حالت [1] و RRC_CONNECTED هستند [2]. سایر ویژگی‌ها اندازه‌گیری‌هایی را که موبایل در هر دو وضعیت یاد شده به کار می‌برد، را پوشش می‌دهند [3] و همچنین فرایندهای مخصوص برخی از سیگنالینگ‌های خاص در [4-7] پوشش داده خواهد شد. همچنین، برای مطالعه بیشتر درباره GSM و UMTS می‌توان به مراجع [8-11] مراجعه کرد.

۱-۱۵ معماری سیستم

۱-۱-۱۵ معماری ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای 2G/3G

در فصل یک، ما به طور خلاصه معماری ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای 2G/3G را معرفی کردیم. در شکل ۱-۱۵ این معماری دوباره آورده شده است و جزئیات بیشتری به آن افزوده‌ایم. در این معماری از ناحیه سوئیچینگ مداری 2G/3G صرف‌نظر شده است، چرا که آن را به فصل بیست و یکم واگذار کردیم.



شکل ۱-۱۵ معماری ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای GSM و UMTS

شبکه ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای دو عنصر اصلی دارد. گره پشتیبانی دروازه (GGSN) ^۱، نقطه تماس با شبکه‌های داده بسته‌ای است و به صورت یک دروازه PDN عمل می‌کند. گره پشتیبانی از خدمات (SGSN) ^۲ با شبکه دسترسی تجهیزات رادیویی (UTRAN) ^۳ و شبکه دسترسی رادیویی (GERAN) ^۴ ارتباط برقرار می‌کند و وظایف MME و دروازه خدمات‌رسانی در MME را با هم ترکیب می‌کند. با استفاده از تکنیکی اختیاری به نام تونل مستقیم ^۵

1. Gateway GRRS Support Node
2. Serving GPRS Support Node
3. UMTS Terrestrial Radio Access Network
4. GSM Edge Radio Access Network
5. Direct Tunneling

بسته‌های داده به طور مستقیم بین UTRAN و GGSN با عبور از SGSN منتقل می‌شود. اگرچه در شکل نشان داده نشده است، شبکه هسته می‌تواند با عناصر شبکه برای کنترل شارژینگ و اعمال سیاست‌های شارژینگ ارتباط برقرار کند، که ما آنها را در فصل سیزدهم بیان کرده‌ایم.

در اینجا چندین پروتکل سیگنالینگ وجود دارند. SGSN با سرور خانگی مشترکین (HSS) با استفاده از MAP^۱ ارتباط برقرار می‌کند [۱۲]، در حالی که، واسط‌های سیگنالینگ دیگر شبکه هسته از پروتکل GPRS کنترل بخش تولینگ نسخه ۱ (GPRS-I-C) استفاده می‌کند [۱۳]. SGSN شبکه دسترسی رادیویی UMTS را با استفاده از پروتکل بخش کاربردی شبکه دسترسی رادیویی (RANAP)^۲ کنترل می‌نماید [۱۴]. همچنین SGSN شبکه دسترسی رادیویی GSM را با استفاده از RANAP یا پروتکل سیستم ایستگاه پایه (BSSGP) GRRS^۳ مدیریت می‌کند [۱۵]. SGSN قشر بدون دسترسی (NAS) موبایل را با استفاده از دو پروتکل سیگنالینگ [۱۶] که به نام‌های پروتکل مدیریت قابلیت تحرک (GMM) GRRS^۴ هستند و از سازمان‌دهی داخلی شبکه مراقبت می‌کند و پروتکل مدیریت نشست (SM)^۵ جریان‌های داده موبایل را مدیریت می‌کند. نهایتاً، شبکه دسترسی رادیویی قشر دسترسی (AS) موبایل را با استفاده از پروتکل کنترل منابع رادیویی (RRC) برای UMTS و GSM به خوبی کنترل می‌کند [۱۷-۱۸].

شبکه هسته، در چندین ناحیه مسیریابی (RA)^۶ سازمان‌دهی شده است، که شبیه به نواحی ردیابی هستند، اما لیستی که دقیقاً شبیه به ناحیه ردیابی موبایل باشد، را ندارد. شبکه هسته هر کاربری را با استفاده از یک شناسه موقت بسته‌ای کاربر موبایل (P-TMSI)^۷ شناسایی می‌کند، ولی، شبکه‌های هسته و دسترسی رادیویی رکوردهای وضعیت موبایل کاربران را با یک روش شبیه به دیاگرام‌های وضعیت برای LTE ثبت و ضبط می‌کنند.

-
1. Mobile Application Part
 2. GPRS Tunneling Protocol Control Part Version1
 3. Radio Access Network Application Part
 4. Base Station System GPRS Protocol
 5. GPRS Mobility Management
 6. Session Management
 7. Routing Area
 8. Paket Temporary Mobile Subscriber Identity

شبکه هسته، بسته‌های داده را با استفاده از شریان‌های داده به نام حامل‌های UMTS^۱ منتقل می‌کند، که با استفاده از ساختارهای داده‌ای به نام محتوای پروتکل داده بسته (PDP)^۲ انتقال داده و حامل‌های UMTS داده‌ها را به شیوه‌ای که در حامل‌های EPS منتقل می‌شد، منتقل کرده و از تضمین کیفیت سرویس پشتیبانی می‌کنند. اما دارای پارامترهای QoS متفاوتی است و به گونه‌ای پیکربندی شده، که از پیام‌های سیگنالینگ مختلف پشتیبانی می‌کند.

یک حامل UMTS با یک فرایندی به نام فعال‌سازی محتوای PDP^۳ تنظیم می‌شود. این فرایند از دو جهت با اتصال حامل EPS متفاوت می‌باشد. نخست، فعال‌سازی محتوای PDP به وسیله موبایل صورت می‌گیرد، ولی، برقراری حامل EPS توسط دروازه PDN آغاز می‌شود. دوم، موبایل محتوای PDN را در طول اجرای فرایند اتصال به شبکه 2G/3G انجام نمی‌دهد. در عوض، آن را بعداً انجام می‌دهد. یعنی زمانی که موبایل می‌خواهد با جهان خارج ارتباط برقرار نماید.

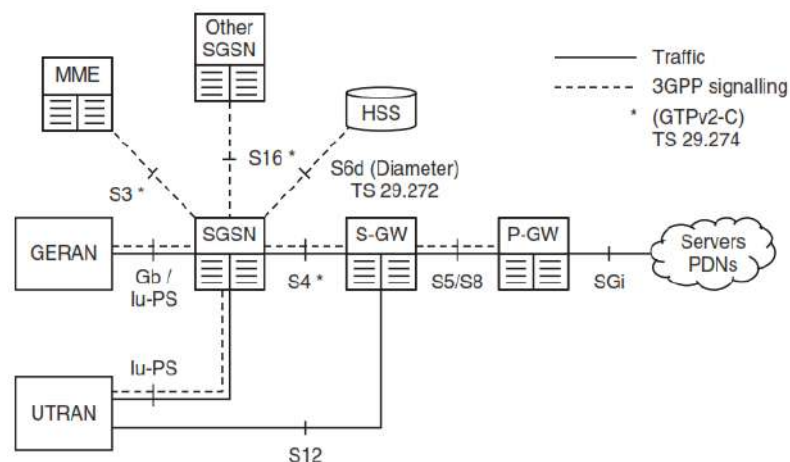
۲-۱-۱۵ معماری تعاملی برپایه S3/S4

LTE می‌تواند با دو معماری قابل پیاده‌سازی با هسته شبکه‌های 2G/3G تعامل کند. اولین روش، یک راه حل بلند مدت است، که در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است [۱۹]. این شکل در واقع تنها اجزاء و واسط‌های را که دقیقاً در این تعامل به کار می‌روند، را نشان می‌دهد و سایر اجزاء دیگر مثل واسط سیگنالینگ S11 بین MME و دروازه خدمت‌رسان را حذف نموده است.

هنگامی که، یک موبایل از شبکه LTE به شبکه GSM یا UMTS دست به دست می‌شود، MME کنترل آن را به یک SGSN می‌سپارد. در عوض، دروازه‌های PDN و خدمت‌رسانی هر دو به عنوان مسیر داده باقی می‌مانند. استفاده از دروازه PDN به موبایل اجازه می‌دهد تا آدرس IP و حامل‌های EPS خود را حفظ کرده و بعد از دست به دست کردن ارتباط آن با جهان خارج حفظ شود. استفاده از دروازه خدمت‌رسانی این امکان را فراهم می‌کند، که این وسیله به عنوان یک نقطه ارتباطی برای رومینگ موبایل باشد، هر کدام از آن‌ها فناوری‌های خاصی استفاده می‌کنند و این باعث آسان شدن برخی از فرایندهایی مثل اتصال به شبکه می‌شود. همچنین، این معماری سرور خانگی مشترکین (HSS) را به عنوان یک پایگاه داده مشترک برای شبکه‌های 2G، 3G و 4G در نظر می‌گیرد.

-
1. UMTS Bearers
 2. Packet Data Protocol Context
 3. PDP Context Activation

معمولاً بسته‌های داده از طریق SGSN هدایت می‌شوند. اما واسط اختیاری S12 این اجازه را می‌دهد، که جریان‌های بسته‌ها به طور مستقیم بین دروازه خدمت‌رسانی و شبکه دسترسی رادیویی UMTS منتقل شود. بنابراین، به عنوان تکرار روش تونلینگ مستقیم در UMTS از این روش استفاده می‌کند. اگر شبکه از تونلینگ مستقیم استفاده کند، SGSN تنها پیام‌های سیگنالینگ موبایل را منتقل می‌سازد، در نتیجه، این حامل‌ها تا حدود بسیار زیادی شبیه به حامل‌های MME خواهند بود.



شکل ۱۵-۲ معماری تعامل با GSM و UMTS با استفاده S3/S4 تکامل یافته

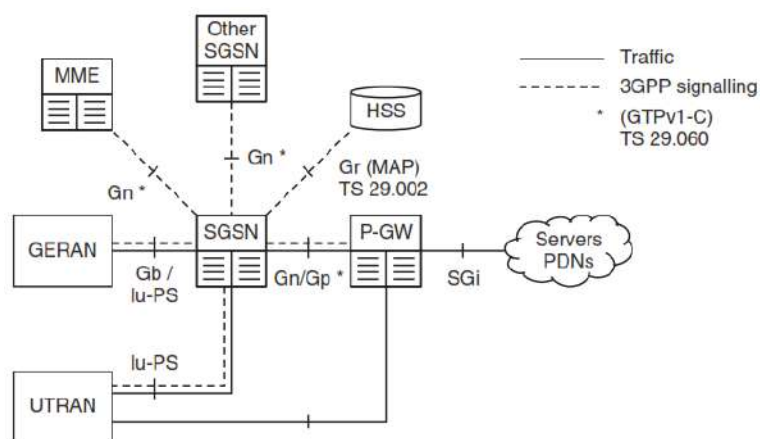
برای استفاده از معماری نشان داده شده در شکل ۱۵-۲، SGSN باید توسعه یابد، در نتیجه باید بتواند از پیام‌های سیگنالینگ GTP_{v2}-C روی واسط‌های S3 و S4 و S16 و همچنین از ارتباطات قطری روی S6d پشتیبانی کند. اگر سیستم یاد شده از انتخاب مجدد سلول و هندور (دست به دست کردن) برای بازگشت به LTE پشتیبانی کند، باید شبکه‌های دسترسی GSM و UMTS نیز تکامل یافته باشند، در نتیجه، آنها باید بتوانند به موبایل‌ها درباره همسایگی فرکانس‌های حامل LTE و سلول‌های آن اطلاع‌رسانی کنند.

هنگامی که از معماری مبتنی بر S3/S4 استفاده می‌شود، هسته بسته تکامل یافته (EPC) به حامل‌های EPS از طریق پیام‌های سیگنالینگ در واسط S4 و S5/S8 اشاره دارد، ولی موبایل و شبکه دسترسی رادیویی به محتواهای PDP اشاره می‌کنند. SGSN ارتباط بین این دو را با استفاده از قوانین نگاشت QoS برقرار سازد، که این قوانین در مشخصات 3GPP بیان شده‌اند [۲۰]. با وجود این مسئله، بسته‌های داده در واقع به طور یکسانی منتقل می‌شوند. بنابراین نیازی به هیچگونه گفتگو در پلان کاربری نیست.

در GSM و UMTS یک موبایل می‌تواند به طور صریحی درخواست ایجاد یک محتوای PDP اضافه از طریق فرایندی به نام فعال‌سازی محتوای PDP ثانویه را داشته باشد. این عمل با آنچه که در LTE برای درخواست یک جریان داده سرویس روی می‌دهد، متفاوت است. چرا که، در آن دروازه PDN با استفاده از یک حامل EPS جدید از طریق یک حامل EPS موجود انجام می‌دهد. برای تشخیص این تمایز یک شبکه برپایه S3/S4 همواره یک حامل EPS اختصاصی را در پاسخ به یک درخواست به وسیله فعال‌سازی محتوای PDP ثانویه ایجاد می‌کند [۲۱] و تلاشی برای گذاشتن یک SDF جدید در داخل یک حامل موجود انجام نمی‌دهد.

۳-۱-۱۵ معماری تعاملی برپایه Gn/Gp

شکل ۳-۱۵ یک معماری موقتی را نشان می‌دهد [۲۲]. در این شکل، SGSN مجبور نیست، که در کل، توسعه یابد در واقع SGSN تنها پیام‌های سیگنالینگ GTP_{V1-C} روی واسطه‌های Gn و Gp و پیام‌های سیگنالینگ MAP روی Gr را هدایت می‌کند. در عوض، MME و دروازه PDN به گونه‌ای ساخته شده‌اند، که قابلیت پشتیبانی از ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای 2G/3G را دارا هستند. در این صورت، این گره‌ها می‌توانند پیام‌هایی که از طریق GTP_{V1-C} نوشته شده‌اند را هدایت کنند.



شکل ۳-۱۵ معماری تعاملی LTE با GSM و UMTS

از طریق Gm/Gp مبتنی بر SGSN

معماری Gn/Gp تنها از محتواهای PDP استفاده می‌کند. بنابراین، هنگامی که موبایل به نسل دوم یا نسل سوم می‌رود، MME حامل‌های EPS موبایل را به محتواهای PDP تبدیل می‌سازد. اگر تاریخ تولید SGSN قبل از نسخه هفتم یا نسخه هشتم باشد، می‌تواند یک محتوای PDP را به همراه یک آدرس IP نسخه چهار یا نسخه ششم را هدایت کند، اما نمی‌تواند از طریق هر دوی

آنها این کار را انجام دهد. برای مقابله با این مسئله، یک دروازه PDN هرگز یک نشست حامل EPS را که از هر دو نسخه IP_{v4} و IP_{v6} استفاده می‌کنند، را به کار نمی‌برد، چرا که ممکن است، این موبایل به حوزه یک SGSN نسخه هفت یا نسخه‌های بعد از آن برود. در عوض، دو حامل یکی را با استفاده از IP_{v4} و دیگری را با استفاده از IP_{v6} تنظیم می‌کند.

معماری Gn/Gp دو مزیت دارد: نخست، به اپراتورهای شبکه اجازه می‌دهد تا شبکه LTE خود را بدون به روزرسانی SGSN های قدیمی خود پیاده‌سازی نمایند و ثانیاً، این معماری به یک موبایل اجازه می‌دهد تا از یک شبکه ملاقات شونده رومینگ کند، بدون آنکه هنوز به شبکه LTE به روزرسانی شده باشد. با این مزیت‌ها اما برخی از محدودیت‌ها را نیز داراست. نخست، تنها دست به دست کردن از شبکه LTE برپایه واسطه‌های S5/S8 که مبتنی بر GTP هستند، را فراهم می‌کند و بر عکس برای PMIP این قابلیت را ندارد. دوم، این معماری از روش کاهش سیگنالینگ حالت غیر فعال را که در زیر توصیف می‌کنیم، پشتیبانی نمی‌کند.

در بحث فرایندهای سیگنالینگ انتهای این فصل، ما تمرکز اصلی خود را روی تعامل بین سیستمی مبتنی بر S3/S4 که در معماری شکل ۱۵-۲ بیان شد، قرار می‌دهیم. فرایندهای مربوط به معماری مبتنی بر Gn/Gp بسیار شبیه به آن معماری هستند.

۱۵-۲ فرایندهای فعال‌سازی توان

چنانچه در فصل یازدهم اشاره شد، USIM دارای لیست اولویت‌بندی شده‌ای از شبکه خانگی و یا هر شبکه‌ای که کاربر یا اپراتور شبکه مشخص کرده می‌باشد. هر شبکه می‌تواند لیست اولویت‌بندی شده‌ای از فناوری‌های رادیویی نه تنها فقط LTE بلکه GSM، UMTS و cdma2000 را داشته باشد. در طول فرایندهای انتخاب شبکه و انتخاب سلول، موبایل می‌تواند از این لیست‌ها برای یافتن فناوری‌های رادیویی که متعلق به آن است، استفاده کند [۲۳]. موبایل برای انجام آن، از فرایندهای مناسب هر فناوری استفاده می‌کند. برای UMTS و GSM فرایندهایی به ترتیب در [۲۴] و [۲۵] آورده شده‌اند.

اگر موبایل یک سلول GSM یا UMTS را انتخاب کرده باشد، پس فرایند مناسب برای ارتباط با آن شبکه را به کار برده و در یک SGSN خود را به ثبت می‌رساند [۲۶]. موبایل یک محتوای PDP را در آن لحظه فعال نمی‌سازد، در عوض، بعداً از آن استفاده می‌کند، یعنی زمانی که نیاز دارد تا با یک شبکه خارجی ارتباط برقرار نماید. در صورتی که، شبکه از معماری مبتنی بر S3/S4 استفاده کرده باشد (شکل ۱۵-۲)، موبایل همواره از طریق یک دروازه PDN با جهان

خارج ارتباط برقرار می‌کند، حتی هیچ قابلیت LTE نداشته باشد. در مواردی که از معماری مبتنی بر Gn/Gp که در شکل ۳-۱۵ بیان شد، استفاده شده باشد، یک موبایل دارای قابلیت LTE از یک دروازه PDN استفاده می‌کند، ولی سایر موبایل‌ها با استفاده از یک گره GGSN قبلی به ارتباط خود ادامه می‌دهند.

۳-۱۵ مدیریت قابلیت تحرک در حالت RRC_IDLE

۱-۳-۱۵ انتخاب مجدد سلول

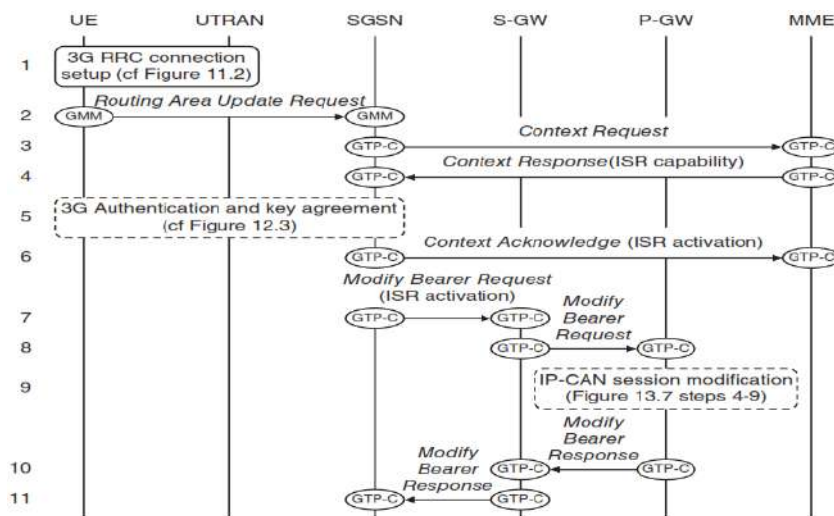
در حالت RRC_IDLE یک موبایل می‌تواند به یک سلول 2G یا 3G با استفاده از فرایند انتخاب مجدد سلول، که در فصل چهارده بیان شده، برود [۲۷-۲۸]. برای پشتیبانی از این فرایند، ایستگاه پایه لیستی از فرکانس‌های حامل‌های UMTS و GSM همسایه‌ها را با استفاده از اطلاعات موجود در SIB6 و SIB7 را در اختیار دارد. هر فرکانس حامل یک سطح اولویت دارد، که باید با اولویت سلول سرویس‌دهنده LTE متفاوت باشد. لیست همسایه‌ها دارای همه اطلاعات لازم در مورد سلول‌های مربوط به UMTS و GSM نیست. بنابراین، خود موبایل باید اطلاعات این سلول‌ها را به دست بیاورد.

الگوریتم واقعی همان الگوریتم انتخاب مجدد بین سایر فرکانس‌های LTE با یک اولویت بالا یا پایین است، که در فصل چهاردهم بیان شد. تنها تفاوت بین این دو، مقادیر برخی از تفاسیر دوباره در ارتباط با استفاده بهینه از فناوری دسترسی رادیویی هدف می‌باشد.

۲-۳-۱۵ فرایند به روزرسانی ناحیه مسیریابی

بعد از انجام فرایند انتخاب مجدد سلول، موبایل اطلاعات سیستمی سلول جدید را می‌خواند، که این اطلاعات شامل شناسه ناحیه مسیریابی 2G/3G است. موبایل فرایندی به نام به روزرسانی ناحیه مسیریابی^۱ را اجرا می‌کند [۲۹-۳۰]، که شبیه فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی در LTE است. شکل ۴-۱۵ آغاز این فرایند را نشان می‌دهد، که در این مورد یک موبایل از یک MME به یک SGSN مبتنی بر S3/S4 می‌رود ولی دروازه خدمت‌رسانی خود را تغییر نمی‌دهد.

1. Routing Area Update



شکل ۴-۱۵ به روزرسانی ناحیه مسیریابی از یک MME به یک SGSN مبتنی بر S3/S4 با حفظ دروازه

خدمت‌رسانی (۱) درخواست به روزرسانی ناحیه مسیریابی منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

در ابتدا، موبایل فرایند نسل سوم برای برقراری ارتباط RRC را اجرا می‌کند (۱) بنابراین، برقراری ارتباطات را با کنترل کننده رادیویی شبکه (PNC) انجام داده و به طور موقت در وضعیت RRC_CONNECTED قرار می‌گیرد. سپس موبایل یک درخواست به روزرسانی ناحیه مسیریابی GMM^۱ را به RNC می‌فرستد (۲) که پیام را به SGSN مناسب منتقل سازد. در این پیام، موبایل خود را با نگاشت کردن شناسامه موقت یکتای عمومی (GUTI) خودش به یک TMSI بسته‌ای (P-TMSI) و یک شناسه ناحیه مسیریابی 3G به SGSN معرفی می‌کند و به SGSN می‌گوید، که این شناسه‌ها را از روی یک GUTI ساخته است.

SGSN شناسه موبایل را بازسازی کرده، شناسه‌های MME سرویس دهنده را پیدا کرده و IMSI موبایل را درخواست می‌کند، دروازه خدمت‌رسانی همچنین توضیحات حامل EPS موبایل را با استفاده از درخواست محتوای GTPv2-C^۲ شناسایی می‌کند (۳). MME اطلاعات خواسته شده را با استفاده از یک پاسخ محتوا^۳ به SGSN بر می‌گرداند (۴). بعد از یک فرایند احراز صلاحیت اختیاری (۵)، SGSN حامل‌های EPS را به محتواهای PDP نگاشت می‌کند و آنچه که از موبایل دریافت شده را در قالب یک تصدیق محتوا^۴ تأیید می‌کند (۱۶). همچنین به عنوان بخشی از پیام چهار

1. GMM Routing Area Update Request

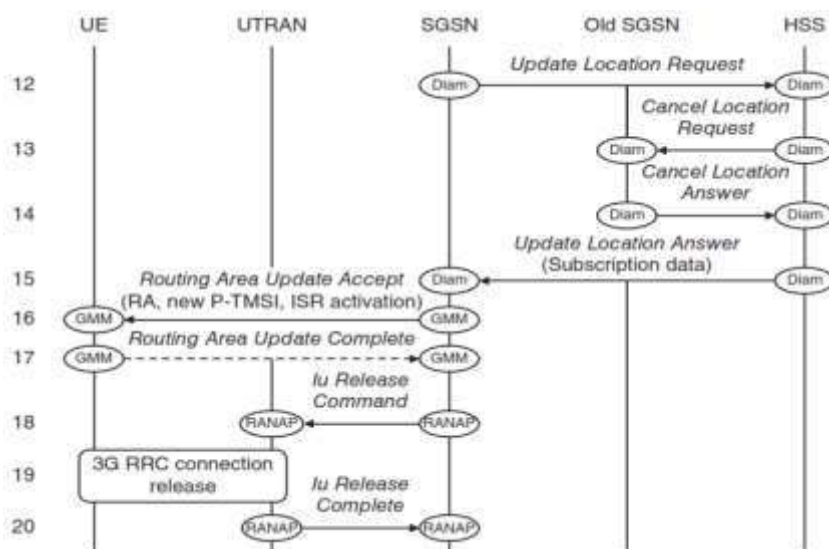
2. GTPv2-C Context Request

3. Context Response

4. Context Acknowledge

و شش، MME و SGSN درباره فعال‌سازی روشی به نام کاهش سیگنالینگ حالت غیرفعال (ISR)^۱ تصمیم‌گیری می‌کنند، که در زیر این روش را توضیح می‌دهیم. حال SGSN به دروازه خدمت‌رسانی اطلاع می‌دهد، که از این لحظه به بعد کنترل موبایل را در دست دارد (۷). به عنوان بخشی از این پیام، SGSN درباره نحوه تغییر فناوری دسترسی رادیویی، به دروازه دسترسی دستور می‌دهد: دروازه خدمت‌رسانی این اطلاعات را به دروازه PDN منتقل می‌سازد و در صورت امکان با استفاده از سیستم شارژینگ (۸-۱۰) آن را به PCRF می‌رساند و تصدیق آن را به SGSN بر می‌گرداند (۱۱).

برای تکمیل این فرایند (شکل ۱۵-۵)، SGSN به سرور خانگی مشترکین (HSS) اطلاع می‌دهد، که او کنترل موبایل را در دست گرفته و از HSS اطلاعات کاربری آنها را درخواست می‌کند (۱۲). HSS ثبت نام موبایل توسط SGSN‌های قبلی را لغو کرده (۱۳ و ۱۴) و داده کاربری مشترکین را همانگونه که خواسته شده بود، به SGSN بر می‌گرداند (۱۵). HSS ثبت نام موبایل در MME را لغو نمی‌کند: HSS به طور همزمان جزئیات یک MME و معماری SGSN مبتنی بر S3/S4 را برای هر موبایل نگهداری می‌کند تا از روش کاهش سیگنالینگ حالت Idle (غیر فعال) موبایل پشتیبانی کند.



شکل ۱۵-۵ به روزرسانی ناحیه مسیریابی از یک MME به یک SGSN مبتنی بر S3/S4 با حفظ دروازه

خدمت‌رسانی (۲) پذیرش به روزرسانی ناحیه مسیریابی منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

SGSN درخواست به روزرسانی ناحیه مسیریابی موبایل را پذیرفته و به صورت اختیاری یک P-TMSI جدید را به موبایل می‌فرستد (۱۶). بعد از ارسال آن، موبایل دریافت آن را تصدیق می‌کند (۱۷) در انتها، SGSN موبایل را به حالت RRC_IDLE بر می‌گرداند (18-20) که این عمل را با استفاده از پیام‌های شبیه به مراحل ۴، ۵، ۶ و فرایند قطع S1 که در فصل چهاردهم بیان شد، انجام می‌دهد.

پس از آن، موبایل می‌تواند به یک ناحیه پوشش LTE برگردد. اگر شبکه 2G/3G به پشتیبانی از LTE و پخش سراسری اطلاعات در مورد فرکانس‌های مجاور LTE در اطلاعات سیستم خودشان مجهز شده باشند، موبایل می‌تواند با انتخاب مجدد سلول به یک سلول LTE منتقل شده و به شبکه LTE برگردد. پس از انتخاب مجدد سلول، موبایل درخواست به روزرسانی ناحیه ردیابی را می‌کند و MME کنترل موبایل را از SGSN پس می‌گیرد.

۱۵-۳-۳ کاهش سیگنالینگ حالت بیکار

اگر یک موبایل در گوشه ناحیه پوشش LTE قرار داشته باشد، در نتیجه می‌تواند به سادگی به داخل سلول LTE برگردد و یا می‌تواند به یک سلول UMTS یا GSM پرش نماید. در اینجا یک ریسک وجود دارد و آن این است، که موبایل تعدادی زیادی از به روز رسانی نواحی مسیریابی و نواحی ردیابی را انجام خواهد داد، که سیگنالینگ بیش از اندازه را به بار خواهد آورد.

برای جلوگیری از این مسئله، شبکه‌های مبتنی بر معماری S3/S4 می‌توانند یک روش اختیاری به نام کاهش سیگنالینگ حالت بیکار (Idle) (ISR) را اجرا کنند [۳۱]. این روش شباهت بسیاری با ثبت مشترک در چندین ناحیه ردیابی رفتاری می‌کند. هنگامی که از ISR استفاده می‌شود، شبکه می‌تواند به طور همزمان یک موبایل را در یک ناحیه مسیریابی که به وسیله یک SGSN مبتنی بر S3/S4 سرویس‌دهی می‌شود، ثبت کرده و در همان زمان نیز در یک یا چند ناحیه ردیابی در محدوده یک MME سرویس دهد. در چنین شرایطی، موبایل می‌تواند به طور آزادانه سلول‌هایی که در دسترسی رادیویی سه فناوری قرار دارند، را انتخاب مجدد کند و تنها مجبور است در صورتی که به یک ناحیه ردیابی یا ناحیه مسیریابی که قبلاً در آن ثبت‌نام نکرد است، وارد شود، آن را به شبکه اطلاع دهد.

شبکه ISR را یا در دوره به روزرسانی ناحیه مسیریابی که در شکل ۴-۱۵ و یا در ۵-۱۵ بیان شد، انجام می‌دهد یا آن را در دوره به روزرسانی ناحیه ردیابی برای بازگشت به شبکه LTE انجام می‌دهد. در مورد به روزرسانی ناحیه مسیریابی، MME به SGSN می‌گوید، تا از ISR به عنوان بخشی از پاسخ محتوای PDP خودش، پشتیبانی می‌کند. (مرحله ۴). SGSN تصمیم می‌گیرد، که از ISR پشتیبانی می‌کند یا نه و تصمیم خود را در قالب بخشی از پیام تصدیق محتوای PDP به MME اطلاع می‌دهد (۶) و آن را در قالب بخشی از پیام درخواست تصحیح حامل خودش به اطلاع دروازه خدمت‌رسانی می‌رساند (۷). در پایان، SGSN درباره فعال‌سازی ISR به عنوان بخشی از پیام پذیرش به روزرسانی ناحیه مسیریابی به موبایل اطلاع‌رسانی می‌کند (۱۶) حال موبایل مذکور هم در SGSN و هم در MME ثبت شده است.

اگر داده مسیر لینک فروسو از دروازه PDN برسد، در این صورت، فرایند فراخوانی تصحیح خواهد شد. بنابراین دروازه خدمت‌رسانی با هر دوی SGSN و MME تماس برقرار می‌کند. MME مثل سابق، موبایل را در داخل تمامی نواحی ردیابی که ثبت شده است، فراخوانی می‌کند. ولی، SGSN آن را در داخل ناحیه مسیریابی خود صدا می‌کند. بعد از پاسخ دادن موبایل، شبکه آن را به حالت ارتباط با استفاده از فناوری دسترسی رادیویی مناسب بر می‌گرداند.

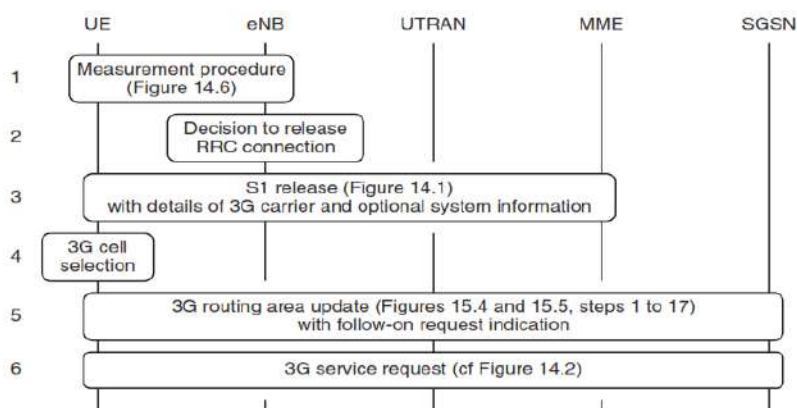
۴-۱۵ مدیریت قابلیت تحرک در حالت RRC_CONNECTED

۴-۱۵-۱ قطع ارتباط RRC با تغییر جهت

به طور کلی، شبکه‌های LTE اخیر موبایل‌های فعال را از طریق فرایندی به نام قطع/ارتباط با RRC با تغییر جهت^۱ به شبکه UMTS یا GSM برمی‌گردانند. در این فرایند شبکه LTE موبایل را به حالت RRC_IDLE منتقل می‌کند. در این فرایند، شبکه موبایل را به حالت RRC_IDLE می‌برد، ولی جزئیات فرکانس حامل 2G/3G را در اختیار آن قرار می‌دهد تا موبایل بداند، که باید در کدام سلول مناسب جست و جو کند. پس از آن، موبایل می‌تواند یک سلول 2G/3G را انتخاب کرده و یک ارتباط RRC معمول را به طور معمولی برقرار کند. شکل ۴-۱۵ این فرایند برای حالتی که شبکه هدف یک فناوری رادیویی نسل سوم است، نشان می‌دهد.

1. RRC Connection Release With Redirection

دنباله پیام‌ها زمانی شروع می‌شوند، که موبایل یک گزارش اندازه‌گیری را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند (۱). در این فرایند، موبایل مجبور نیست، که هر اطلاعاتی درباره سلول‌های 3G را گزارش بدهد. در عوض، معمولاً زمانی که سیگنال دریافتی آن از یک سلول سرویس‌دهنده LTE بسیار ضعیف باشد و در نزدیکی آن هیچ سلول مناسب LTE دیگری موجود نباشد، یک گزارش اندازه‌گیری با استفاده از رویداد اندازه‌گیری A2، را ارسال می‌کند.



شکل ۱۵-۶ قطع ارتباط RRC با تغییر جهت به یک فرکانس حامل UMTS

در پاسخ، ایستگاه پایه تصمیم به قطع ارتباط سیگنالینگ RRC موبایل گرفته (۲) و فرایند قطع S1 را که در فصل چهاردهم بیان شد، آغاز می‌کند (۳). در این پیام قطع ارتباط RRC، ایستگاه پایه جزئیات فرکانس حامل 3G را که موبایل را روی یک سلول مناسب نگه می‌دارد، به آن موبایل ارسال می‌کند. موبایل به وضعیت درخواست فرکانس حامل رفته و یک سلول 3G را انتخاب می‌کند (۴) و فرایند به روزرسانی مسیریابی 3G را به اجرا می‌گذارد (۵). در این فرایند، با درخواست به روزرسانی ناحیه مسیریابی، موبایل می‌تواند مشخص کند، که پیام دیگری برای ارسال دارد یا نه و SGSN با نگهداری از ارتباطات سیگنالینگ RRC موبایل، به آن پاسخ می‌دهد. سپس موبایل می‌تواند فرایندی را برای درخواست سرویس 3G بکند و در نتیجه حامل‌های خود را دوباره فعال‌سازی نماید (۶).

با پایان یافتن این فرایند، موبایل می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی به یک شبکه 3G متصل شود. در طول این فرایند، قطع ارتباط داده‌ای در حدود چند ثانیه همانند انتقال موبایل در طول RRC_IDLE وجود دارد. بنابراین، بعضی از بسته‌های داده از بین خواهند رفت یا به صورت

انتها به انتها توسط پروتکل TCP مجدداً ارسال خواهند شد. این فرایند دارای چندین مزایا است: نخست، موبایل مجبور نیست، که اندازه‌گیری زیادی از سلول‌های مجاور 3G را داشته باشد و دوم، پیام‌های سیگنالینگ این روش، بسیار سراسرتر از پیام‌های دست به دست کردن بهینه هستند. سوم، بنا به دلیلی که ما در انتهای این فصل بیان خواهیم کرد، این فرایند (قطعاً ارتباط RRC با تغییر جهت) می‌تواند بسیار انعطاف‌پذیرتر از یک دست به دست کردن بهینه باشد و ارتباطات داده از دست رفته‌ی کمتری را به همراه داشته باشد.

در اینجا باید یک نکته پایانی را مدنظر قرار داد. در فرایند پایه‌ای که در اینجا بیان شد، موبایل مجبور است تا اطلاعات سیستمی سلول جدید را بخواند، که آن را در مرحله (۴) انجام می‌دهد و به عنوان بخشی از فرایند انتخاب سلول می‌باشد. این عمل می‌تواند چند ثانیه‌ای زمان ببرد. برای کاهش این تأخیر، مشخصات 3GPP نسخه نهم، به ایستگاه پایه اجازه می‌دهد تا اطلاعات سیستمی سلول‌های 3G همسایه را در داخل پیام قطع ارتباط RRC در مرحله (۳) را در اختیار موبایل قرار بدهند. بعد از یافتن سلول‌های مجاور، موبایل می‌تواند اطلاعات سیستمی آنها را از جزئیاتی که ایستگاه پایه آن را فراهم کرده جستجو کند. این کار باعث افزایش دقت فرایند انتخاب مجدد می‌شود، اما جایی این سؤال باقی است، که ایستگاه پایه چگونه در وهله اول این اطلاعات سیستمی را کشف می‌کند. بعد از آنکه در فصل هفدهم، خود بهینه‌سازی شبکه‌ها را بحث کردیم به این سؤال پاسخ خواهیم داد.

۱۵-۴-۲ فرایندهای اندازه‌گیری

برای پشتیبانی از یک دست به دست کردن (هندور) بهینه، ایستگاه پایه می‌تواند به موبایل دستور دهد تا اندازه‌گیری‌هایی از سلول‌های مجاور 2G/3G با استفاده از فرایند اندازه‌گیری که در فصل چهاردهم بیان شد، انجام دهد [۳۲]. در این لحظه، ایستگاه پایه مجبور است تا به موبایل درباره همسایه‌هایی که بخشی از فرایند اندازه‌گیری هستند، اطلاعاتی را ارایه دهد. چرا که، ایستگاه پایه این موضوع را در نظر گرفته است، که پیدا کردن سلول‌های GSM یا MTS توسط خود موبایل در طول شکاف‌های اندازه‌گیری بسیار سخت است. مثل قبل، در فصل هفدهم خواهیم دید، که ایستگاه پایه چگونه ممکن است، سلول‌های مجاور را در حالی که شبکه‌های خود بهینه‌سازی را مطرح می‌کنند، انجام می‌دهد.

گزارش‌های اندازه‌گیری موبایل می‌تواند با اندازه‌گیری دو رویداد آغاز شوند. رویدادهای B1 و B2 که در جدول ۱۵-۱ آورده شده‌اند. برای توضیح رفتار آنها، موبایل زمانی وارد وضعیت گزارش‌دهی B2 می‌شود، که دو شرط زیر در یک حداقلی از زمان Trigger To Time اتفاق بیفتد. نخست، سیگنال از یک سلول سرویس دهنده LTE باید زیر یک حد آستانه زیر قرار بگیرد:

$$M_s < \text{Thresh}_1 - \text{Hys} \quad (1-15)$$

دوم، سیگنالی که از سلول همسایه غیر LTE دریافت می‌شود، باید بالاتر از حد آستانه زیر قرار بگیرد:

$$M_n + \text{Of}_n > \text{Thresh}_2 + \text{Hys} \quad (2-15)$$

ولی، در این وضعیت، موبایل گزارش‌های اندازه‌گیری دوره‌ای را به شیوه‌ای که در فصل چهاردهم توصیف شد، ارسال می‌کند. موبایل وضعیت گزارش‌دهی B2 را وقتی که یکی از دو شرایط زیر در حداقلی از زمان TimeToTrigge اتفاق بیفتد، ترک می‌کند:

$$M_s > \text{Thresh}_1 + \text{Hys} \quad (3-15)$$

$$M_n + \text{Of}_n < \text{Thresh}_2 - \text{Hys} \quad (4-15)$$

در این رابطه‌ها، M_s توان دریافتی سیگنال مرجع یا کیفیت سیگنال دریافتی مرجع از سوی سلول سرویس‌دهنده LTE است. M_n اندازه‌گیری از سلول مجاور به نام شاخص قدرت سیگنال دریافتی (RSSI)^۱ در مورد GSM و یا توان کدیگ سیگنال دریافتی (RSCP)^۲ یا SINR به ازای چیپ (chip) (Ec/No) در مورد UMTS می‌باشد [۳۳]. Thresh_1 و Thresh_2 حدود آستانه هستند، Hys پارامتر هیسترسیس برای گزارش اندازه‌گیری بوده و Of_n یک آفست اختیاری ویژه فرکانس است.

1. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

2. Received Signal Code Power

جدول ۱-۱۵ رویدادهای اندازه‌گیری به کار رفته برای گزارش

همسایگی سلول‌های GSM، UMTS و cdma2000

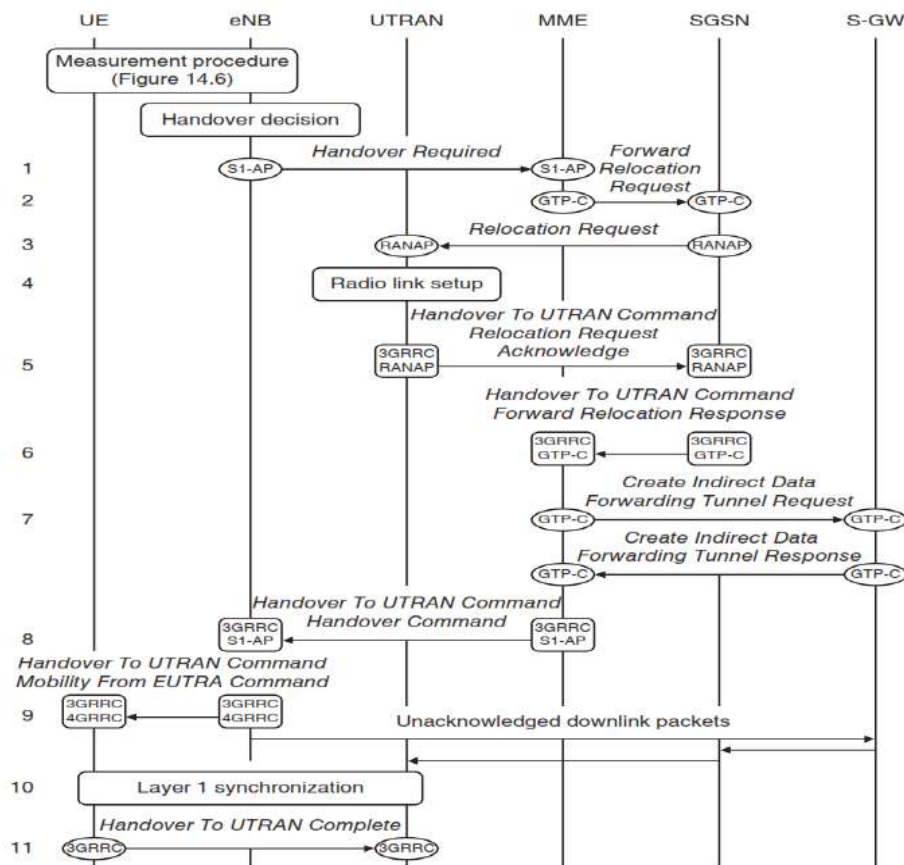
Event	Description	Possible application
B1	Neighbour > Threshold	Handover to 2G/3G cell on higher priority carrier
B2	Serving cell < Threshold 1 & Neighbour > Threshold 2	Handover to 2G/3G cell on lower priority carrier

با استفاده از این رویداد اندازه‌گیری، موبایل می‌تواند در صورتی که سیگنال دریافتی از سلول سرویس‌دهنده LTE بسیار ضعیف باشد و در حالی که، سیگنال دریافتی از سلول همسایه UMTS یا GSM تا حدودی قوی باشد، را به اطلاع eNB برساند. معمولاً سیگنال دریافتی از سلول مجاور در اندازه‌گیری رویداد B2 می‌تواند دارای اولویت پایینی باشد، یا دارای اولویت بالایی در اندازه‌گیری رویداد B1 باشد. برپایه گزارش این رویداد، ایستگاه پایه می‌تواند موبایل را به یک سلول GSM یا UMTS تحویل دهد (دست به دست کند).

۱۵-۴-۳ دست به دست کردن بهینه‌سازی شده

دست به دست کردن بهینه بین LTE و UMTS یا GSM شبیه دست به دست کردنی است، که در داخل شبکه LTE اتفاق می‌افتد. این نوع دست به دست کردن‌ها دو ویژگی اصلی دارند. ویژگی نخست، MME و SGSN پیام‌های سیگنالینگ را قبل از آنکه واقعاً دست به دست کردن اتفاق بیفتد را جهت اهداف زیر با همدیگر مبادله می‌کند: این مبادله اطلاعات برای آماده‌سازی شبکه 3G است تا شکاف بسیار کم شده و احتمال خطر از دست دادن بسته به حداقل برسد. ویژگی دوم، شبکه موبایل را به یک سلول خاصی از 2G/3G دست به دست می‌کند.

برای توضیح این فرایند، شکل ۱۵-۷ و شکل ۱۵-۸ به طور معمول، فرایندی که برای یک دست به دست کردن از LTE به UMTS اتفاق می‌افتد، را نشان می‌دهند [۳۴]. اگرچه در اولین نگاه این فرایند پیچیده به نظر می‌رسد، در واقع این فرایند بسیار شبیه به دست به دست کردن مبتنی بر S1 معمولی است. در این شکل‌ها، فرض ما بر این است، که شبکه از یک واسطه مبتنی S5/S8 و یک SGSN مبتنی بر S3/S4 را استفاده می‌کند و واسطه تونل مستقیم S12 در آن استفاده نمی‌شود. همچنین در اینجا فرض ما این است، که شبکه‌های دسترسی رادیویی به طور مستقیم در ارتباط نیستند. بنابراین این دست به دست کردن یک روش انتقال غیرمستقیم داده را به کار می‌برد، که در آن eNB بسته‌های لینک فروسو تصدیق نشده را به RNC هدف از طریق یک دروازه خدمت‌رسانی منتقل می‌کند. نهایتاً، فرض ما بر این است، که دروازه خدمت‌رسانی بدون تغییر باقی می‌ماند.



شکل ۱۵-۷ دست به دست کردن از LTE به UMTS (۱) آماده‌سازی و اجرای آن

منبع: TS 23.401 بازنشر با مجوز ETSI

این فرایند در شکل ۱۵-۷ شروع می‌شود. بر اساس یک گزارش اندازه‌گیری، معمولاً برای اندازه‌گیری رویداد B1 و B2، eNB تصمیم می‌گیرد تا موبایل را به یک سلول UMTS دست به دست کند. eNB به MME می‌گوید، که یک دست به دست کردن نیاز است (۱) و NodeB هدف، کنترل کننده رادیویی شبکه (RNC) و ناحیه مسیریابی را مشخص می‌کند. MME یک SGSN مناسب را مشخص کرده و از آن می‌خواهد تا موبایل را تغییر مکان دهد و حامل‌های EPS موبایل را که موبایل هم اکنون آن را به کار می‌برد، را اطلاع‌رسانی می‌کند (۲). SGSN در جواب، پارامترهای QoS حامل EPS را در داخل پارامترهای محتوای PDP مربوط به آن نگاشت می‌کند. سپس SGSN از RNC می‌خواهد تا منابع مورد نیاز موبایل را بر آورد کرده

و حامل‌هایی را که می‌خواهد تنظیم نماید، را مشخص سازد^(۳)، این کار با استفاده از یک درخواست تغییر مکان^۱ که در پیام کاربردی شبکه دسترسی رادیویی (RANAP) نوشته می‌شود، صورت می‌گیرد. RNC گره NodeB را پیکربندی کرده (۴) و یک تصدیق را به SGSN برمی‌گرداند^(۵). RNC در تصدیق خود، لیستی از حامل‌هایی را که حاضر به پذیرش آنهاست، را مشخص می‌کند و دارای یک دستور دست به دست کردن به UTRAN^۲ ضمیمه شده است و به موبایل می‌گوید، چگونه با سلول هدف ارتباط برقرار نماید. این پیام آخر با استفاده از پروتکل RRC شبکه UMTS که در این شکل به نام 3GRRCS نشان داده شده است، نوشته می‌شود.

SGSN درخواست MME را تصدیق کرده و حامل‌هایی را که گرفته است را مشخص می‌کند و پیام RRC شبکه UMTS را که از RNC دریافت کرده بود را ضمیمه آن تصدیق می‌کند^(۶). همچنین SGSN می‌تواند یک شناسه نقطه انتهایی تونل (TEID) را به آن پیام اضافه کند تا دروازه خدمت رسانی از این شناسه برای ارسال داده‌های لینک فروسویی که هنوز از سوی موبایل تصدیق نشده اند، استفاده کند. MME، این TEID را به دروازه خدمت رسانی ارسال می‌کند^(۷) تا تونل درخواست شده به همان شکلی که درخواست شده است، را ایجاد کند. پس از آن MME می‌تواند به eNB دستور بدهد تا موبایل را به UMTS دست به دست کند^(۸). در این پیام، MME مشخص می‌کند، که کدام یک از حامل باید حفظ شده و کدام یک از آنها باید قطع گردند و دارای پیام RRC شبکه UMTS که از SGSN دریافت بود، است.

برای آغاز دست به دست کردن، eNB یک دستور قابلیت تحرک از سوی EUTRA^۳ را به موبایل ارسال می‌کند^(۹). این پیام با استفاده از پروتکل RRC شبکه LTE نوشته می‌شود، که در شکل به نام 4GRRCS نشان داده شده است. در این پیام دستور دست به دست کردن UMTS ضمیمه شده که در ابتدا به وسیله RNC هدف نوشته شده است. موبایل هر دو پیام RRC را خوانده، به UMTS سوئیچ کرده و با سلول جدید همزمان می‌شود^(۱۰) و یک تصدیق به RNC می‌فرستد^(۱۱). در همین لحظه، eNB شروع به بازگرداندن بسته‌های لینک فروسوی تصدیق نشده از سوی موبایل و نیز بسته‌های جدیدی که در حال دریافت هستند به دروازه خدمت رسانی می‌کند. دروازه خدمت رسانی این بسته‌ها را با استفاده از تونلی که قبلاً ایجاد کرده است به SGSN منتقل می‌کند و SGSN نیز آنها را به RNC هدایت می‌کند.

شبکه باید منابع قدیمی را آزاد کرده و مسیر انتقال داده‌ها را از دروازه خدمت رسانی تغییر دهد (شکل ۸-۱۵). برای رسیدن به این هدف، RNC به SGSN می‌گوید که فرایند تغییر موقعیت

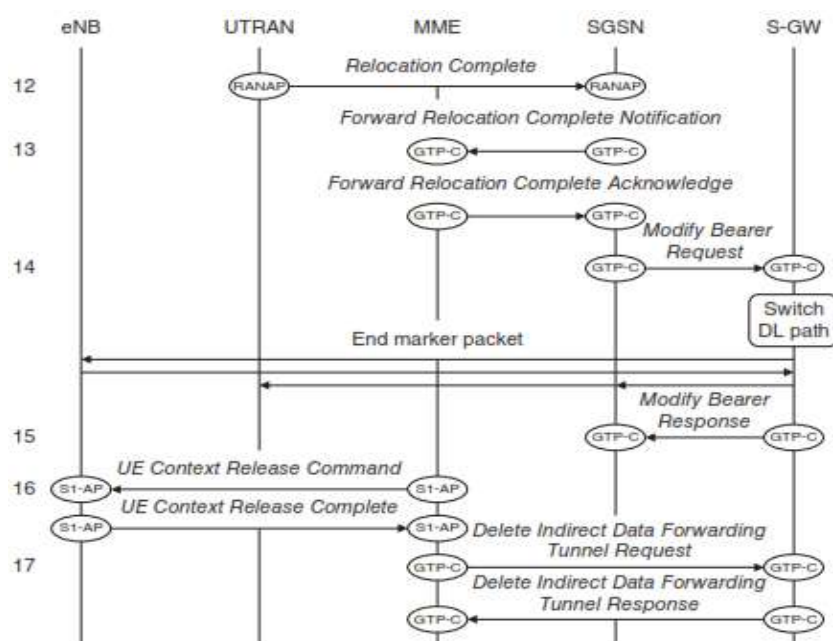
1. Relocation Request

2. Handover To UTRAN Command

3. Mobility From UTRAN Command

به اتمام رسیده است (۱۲) و SGSN این اطلاعات را به MME منتقل می‌کند (۱۳). همچنین SGSN به دروازه خدمت‌رسانی می‌گوید، که مسیر لینک فروسو را تغییر دهد (۱۴) تا ارسال بسته های لینک فروسو در آینده را به SGSN ارسال کند. دروازه خدمت‌رسانی این کار را انجام داده، با ارسال یک شناسه انتهای بسته پایان جریان داده، روی لینک فروسو قدیمی به سمت eNB را اعلام می‌کند و تصدیقی را به SGSN ارسال می‌کند (۱۵).

از روی انقضای یک تایمر، MME به eNB می‌گوید، که منابع موبایل را آزاد کند (۱۶) و به دروازه خدمت‌رسانی اطلاع می‌دهد، تونل انتقال غیر مستقیمی که قبلاً ایجاد کرده بود، را مسدود کند (۱۷). در همین لحظه، به موبایل اطلاع داده می‌شود تا به یک ناحیه مسیریابی 2G/3G منتقل شده است. در پاسخ، موبایل یک فرایند به روزرسانی ناحیه مسیریابی را اجرا می‌کند، به جز این که موبایل حالت کاهش سیگنالینگ حالت خواب (غیر فعال) را اجرا کرده باشد و در یک ناحیه مسیریابی ثبت شده باشد.



شکل ۱۵-۸ دست به دست از LTE به UMTS (۲) تکمیل دست به دست کردن

منبع: TS 23.401 باز نشر با مجوز ETSI

دست به دست کردن از LTE به GSM بسیار شبیه به فرایند بالا است. همچنین مشخصات 3GPP از دست به دست کردن از UMTS و GSM به LTE پشتیبانی می‌کنند، اما این فرایندها کم اهمیت هستند، به طوریکه، شبکه دارای چندین نواحی خواهد بود، که در آنجا تنها از LTE پوشش خواهیم داشت و از فناوری‌های دیگر پوششی نخواهند داشت.

این فرایند هیچ شکاف قابل توجهی در ارتباطات ایجاد نمی‌کند، اما دارای چندین عیب است. نخست، این پیام‌های سیگنالینگ نسبتاً پیچیده هستند، بنابراین ممکن است، اپراتورهای شبکه آن را به کار نبرند. دوم، شبکه باید لیستی از سلول‌های همسایه 2G/3G را برای موبایل فراهم کند. سوم، ممکن است در اینجا تأخیر قابل توجهی بین اندازه‌گیری موبایل و دستورات دست به دست کردن وجود داشته باشد، که در طول آن، قدرت سیگنال دریافتی از سلول هدف افت پیدا کند و عمل دست به دست شدن ناموفق باشد. به همین دلایل، قطع ارتباط RRC با تغییر جهت به این روش ترجیح داده می‌شود.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TR 36.902 (2011) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions, Release 9, April 2011.
2. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 22, September 2013.
3. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, September 2013.
4. Hämmäläinen, S., Sanneck, H. and Sartori, C. (2011) *LTE Self-Organizing Networks: Network Management Automation for Operational Efficiency*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
5. Ramiro, J. and Hamied, K. (2011) *Self-Organizing Networks: Self Planning, Self Optimization and Self Healing for GSM, UMTS and LTE*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.

6. 4G Americas (2011) Self-Optimizing Networks: The Benefits of SON in LTE, July 2011.
7. 3GPP TS 32.501 (2012) Telecommunication Management; Self-Configuration of Network Elements; Concepts and Requirements, Release 11, Section 6.4.2, September 2012.
8. 3GPP TS 32.762 (2013) Telecommunication Management; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS), Release 11, Section 6, March 2013.
9. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Release 11, Section 8.7.3, September 2013.
10. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 22.3.3, September 2013.
11. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Section 8.3.3, September 2013.
12. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Section 8.3.1, September 2013.
13. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Section 8.3.6, 8.3.7, September 2013.
14. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Sections 8.3.8, September 2013.

15. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Sections 8.3.9, 8.3.10, September 2013.
16. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Sections 8.3.5, 8.3.11, September 2013
17. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.15, September 2013.
18. 3GPP TS 48.018 (2013) General Packet Radio Service (GPRS); Base Station System (BSS) – Serving GPRS Support Node (SGSN); BSS GPRS Protocol (BSSGP), Release 11, Section 8c, September 2013.
19. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Sections 8.13, 8.14, Release 11, Annex B, September 2013.
20. 3GPP TS 37.320 (2013) Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Measurement Collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall Description; Stage 2, Release 11, March 2013.
21. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.6.6, 5.6.7, 5.6.8, September 2013.
22. 3GPP TS 32.422 (2013) Telecommunication Management; Subscriber and Equipment Trace; Trace Control and Configuration Management, Release 11, Sections 4.2.8, 6, July 2013.

فصل شانزدهم: تعامل با فناوری های غیر

3GPP

در فصل قبل، مشاهده کردیم، که LTE چگونه می‌تواند با فناوری‌های 3GPP قدیمی یعنی UMTS و GSM تعامل برقرار کند. قابلیت LTE تنها به این موارد محدود نمی‌شود، بلکه می‌تواند با شبکه‌های ارتباطی دیگر در تعامل باشد، که توسط استانداردهای دیگر تعریف شده‌اند. این قابلیت به اپراتورهای شبکه‌ها کمک می‌کند تا ترافیک را روی فناوری‌های ارتباطی دیگر مانند شبکه‌های بی‌سیم محلی (WLAN) رهاسازی^۱ نمایند و به اپراتورهای فناوری‌های دیگر مثل cdma2000 کمک می‌کند تا به شبکه LTE به روزرسانی شوند.

ما بحث خود را با گزینه‌های معماری و فرایندهای سیگنالینگ که از طریق آنها شبکه LTE می‌تواند با شبکه ارتباطی عمومی غیر 3GPP تعامل کند، آغاز می‌کنیم. این مشخصات 3GPP اجازه می‌دهند تا موبایل بین LTE و سایر فناوری‌های دیگر منتقل شود؛ ولی آدرس‌های IP آن و ارتباطات خارجی آن را با سرورهای خارجی دیگر حفظ می‌کنند. اما این مشخصات از دست به دست کردن بهینه پشتیبانی نمی‌کنند، پس ما بحث را به بررسی فرایندهای خاص روی تعامل بین LTE و cdma2000 متمرکز می‌کنیم. در ادامه، مشخصاتی 3GPP که از دست به دست کردن بهینه‌سازی، بین LTE و cdma2000 پشتیبانی می‌کنند را بحث می‌کنیم. این مشخصات اجازه می‌دهند تا یک موبایل بین دو فناوری یاد شده منتقل شود؛ درحالی که از دست رفتن بسته نداشته و از حداقل ریسک قطع ارتباط برخوردار می‌باشند.

مهم‌ترین مشخصات 3GPP این فصل TS 23.402 است [۱]، که معماری تعاملی آن را تعریف کرده و فرایندهای سیگنالینگ از دیدگاه سطح بالا را ارایه می‌دهد. سایر مشخصات 3GPP پیام‌های سیگنالینگ لایه سه را روی واسطه‌های خاص تعریف می‌کنند. درحالی که دو مشخصات 3GPP [۲ و ۳] تعامل بین LTE و cdma2000 را از دیدگاه سیستم‌های اخیر بررسی می‌کنند. علاوه براین، در این فصل چند فناوری دیگر به ویژه [۴-۶] cdma2000، [۷-۸] WiMAX و [۹] WLAN را پوشش خواهیم داد.

۱. آن چه در این کتاب با عنوان «رهاسازی» آورده شده است، در کتاب اصلی به نام Offloading بیان شده است، که در این فناوری ترافیک شبکه 3G یا 4G را در بخش شبکه دسترسی روی WLAN رهاسازی می‌کند، به همین جهت در سراسر این کتاب از واژه رهاسازی استفاده می‌شود.

۱-۱۶ معماری کلی سیستم

۱-۱-۱۶ معماری قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه

LTE می‌تواند با استفاده از دو معماری اصلی با فناوری‌های غیر 3GPP تعامل برقرار سازد [۱۰]، که مسیریابی بسته‌های داده و انجام قابلیت تحرک و رومینگ به ترتیب از طریق توابع در شبکه و موبایل انجام می‌گیرد.

شکل ۱-۱۶ معماری قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه را نشان می‌دهد. در این معماری سرور خانگی مشترکین (HSS) و دروازه PDN حفظ می‌شوند، که به ترتیب به عنوان پایگاه داده عمومی کاربران و نقطه تماس عمومی با جهان خارج عمل می‌کنند. موبایل توسط تجهیزات داخل شبکه دسترسی غیر 3GPP کنترل می‌شود، ولی سرور، غیر 3GPP /حراز هویت^۱، تأیید دسترسی^۲ و حسابرسی^۳ (AAA) موبایل را تصدیق کرده و اجازه دسترسی آن به سرویس‌ها را از طریق دروازه PDN فراهم می‌کند. واسط‌های سیگنالینگ به سرور AAA با استفاده از پروتکل‌های قطری انجام می‌گیرند [۱۱].

هنگامی که از معماری قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه استفاده می‌شود، موبایل یک آدرس IP را از دروازه PDN می‌گیرد. دروازه PDN بسته‌های لینک فروسو موبایل را از طریق فرایندهای تونل شبیه به فرایندهای هسته بسته تکامل یافته (EPC) به شبکه دسترسی تحویل می‌دهند. شبکه دسترسی بسته‌ها را بازگشایی کرده و آنها را به موبایل ارسال می‌کند، این فرایند هیچگونه عملیات اضافه‌ای را در موبایل نیاز ندارد.

معمولاً این تونل‌ها از طریق GRE^۴ پیاده‌سازی می‌شوند که ما آن را به عنوان یکی از گزینه‌های واسط S5/S8 EPC برای EPC دیده بودیم. تونل‌های GRE با استفاده از پیام‌های سیگنالینگ بین شبکه دسترسی و دروازه PDN مدیریت می‌شوند، که این پیام‌ها یا با استفاده از پروکسی موبایل IP نسخه ۶ (PMIPv6)^۵ [۱۲] یا یک پروتکل قدیمی‌تر به نام موبایل IP نسخه ۴ (MIPv4)^۶ [۱۳]

-
1. Authentication
 2. Authorization
 3. Accounting
 4. Generic Routing Encapsulation
 5. Proxy Mobil IP_{v6}
 6. Mobile IP_{v4}

درموردی که از S2a استفاده می‌شود، نوشته می‌شوند. نسخه دهم پشتیبانی از GTP روی واسط S2b را بیان کرد، که این امکان را در اختیار اپراتورها قرار می‌دهد، بدون آنکه از PMIP پشتیبانی شود، از دروازه GTP استفاده کنند. نسخه یازدهم پشتیبانی محدودی از GTP مبتنی بر قابلیت تحرک S2a (SaMOG)^۱ را فراهم کرد، که در موارد محدودی از شبکه WLAN قابل اعتماد به کار می‌رفت، نسخه دوازدهم پشتیبانی بیشتری را از فراهم آورد [۱۲].

این معماری همچنین بین دو شبکه قابل اعتماد^۲ و غیر قابل اعتماد^۳ تفاوت قایل می‌شود. یک شبکه قابل اعتماد از یک امنیت کافی پشتیبانی می‌کند و برای ارتباطات رادیویی موبایل از روش‌های نظیر رمزنگاری و محافظت از جامعیت داده‌ها استفاده می‌کند، ولی یک شبکه غیر قابل اعتماد این روش‌ها را برای برقراری امنیت استفاده نمی‌کند. اینکه چه شبکه‌ای قابل اعتماد یا غیر قابل اعتماد است، تشخیص آن، جزء وظایف سرور AAA می‌باشد.

معماری شبکه غیر قابل اعتماد مناسب برای سناریوهایی نظیر شبکه‌های بی سیم محلی (WLAN) است و دارای یک جزء اضافه‌ای به نام دروازه داده بسته تکامل یافته (ePDG)^۴ می‌باشد. موبایل و دروازه امن هر دو داده را از طریق رمزنگاری و حفاظت از جامعیت در حالت تونل IPsec مخابره می‌کنند [۱۵]. شبکه دسترسی مجبور است تا ترافیک لینک فراسو که پروتکل‌های سیگنالینگ آنها خارج از مشخصات 3GPP قرار دارند، را از طریق این دروازه با به کار بردن پیام‌های سیگنالینگ روی واسط SWn ارسال کند.

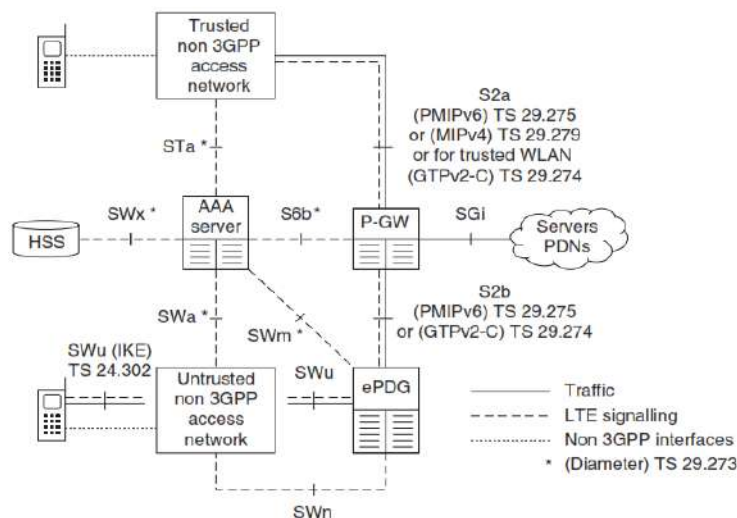
همچنین این معماری توابع قوانین شارژینگ و سیاست‌گذاری (PCRF) را حفظ می‌کند، که به عنوان منبع مشترک کنترل کننده شارژینگ و سیاست‌گذاری با هسته بسته تکامل یافته (EPC) عمل می‌کند. دروازه PDN دارای یک تابع اجرایی شارژینگ و سیاست‌گذاری (PCEF) مثل قبل می‌باشد. ولی شبکه دسترسی قابل اعتماد و هسته سیستم تکامل یافته (EPC) هر دو دارای یک تابع گزارش رویداد و حامل ارتباطی (BBERF) هستند.

1. S2a Mobility Based On GTP

2. Trusted

3. Untrusted

4. Evolved Packet Data Gateway



شکل ۱۶-۱ معماری برای تعامل با فناوری‌های دسترسی غیر 3GPP
با استفاده از قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه

اگر موبایل در حالت رومینگ باشد، این معماری از هر دو ترافیک مسیریابی شده خانگی و انتقالی از شبکه‌های دیگر پشتیبانی می‌کند. شبکه دسترسی قابل اعتماد و ePDG هر دو با PCRF ملاقات شونده ارتباط برقرار می‌کنند. در حالی که، دروازه PDN یا با PCRF خانگی یا ملاقات شونده با توجه به مکان آن ارتباط برقرار می‌کند. همچنین سرور AAA در شبکه خانگی و شبکه ملاقات شونده از هم جدا می‌شوند.

موبایل خود را با استفاده از شناسه دسترسی شبکه (NAI)^۱ با قالب Username&realm به سرور AAA معرفی می‌کند [۱۶]. بخش realm متشکل از کد شبکه موبایل و کد کشوری موبایل است، بنابراین نشان دهنده شبکه خانگی اپراتور می‌باشد. بخش username متشکل از IMSI یا اسم مستعار ارایه شده توسط سرور AAA می‌باشد. در مورد آخر، شناسه شبکه دسترسی مقرراتی شبیه به یک شناسه کاربر مشترک موقت موبایل دارد.

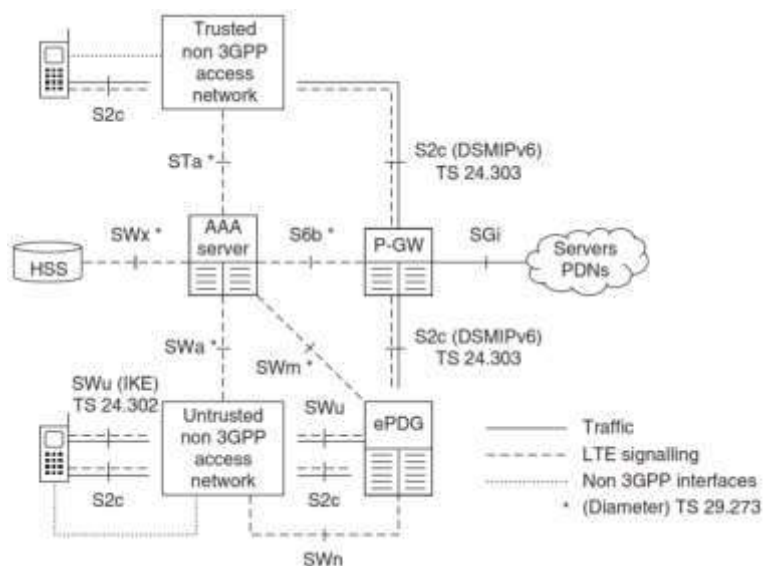
۱۶-۲ معماری قابلیت تحرک مبتنی بر میزبان

شکل ۱۶-۲ یک معماری جایگزینی را نشان می‌دهد، که در آن توابع مدیریت قابلیت تحرک در موبایل قرار دارد. هنگامی که از این روش استفاده می‌شود، موبایل یک آدرس IP را به همان شیوه قبل، از دروازه PDN دریافت می‌کند. اما، در این حالت، موبایل یک آدرس IP محلی را نیز از

1. Network Access Identifier

شبکه دسترسی دریافت می‌کند و به دروازه PDN اطلاع می‌دهد، که از پیام‌های بر روی واسطه S2c استفاده می‌کند. سپس دروازه PDN می‌تواند بسته‌های لینک فروسو را از طریق تونلی که همواره در ارتباط با موبایل است، به آن تحویل دهد. این تونل توسط پروتکلی به نام موبایل IP دو پشته‌ای نسخه شش^۱ ($DSMIP_{v6}$) مدیریت می‌شود، که این پروتکل در موبایل و دروازه PDN اجرا می‌شود. در اینجا هیچگونه عملیات مدیریت تحرک در شبکه دسترسی به کار نمی‌رود، بلکه تنها به صورت یک مسیر یاب ساده عمل می‌کند.

انتخاب معماری قابلیت تحرک و پروتکل می‌تواند یا به صورت ثابت در موبایل و شبکه یا به صورت پویا در طول یک فرایند اتصال به شبکه غیر 3GPP پیکربندی شود. ما مثالی از پیکربندی پویا را به زودی خواهیم دید.



شکل ۱۶-۲ معماری جهت تعامل با فناوری‌های دسترسی غیر 3GPP
با استفاده از قابلیت تحرک مبتنی بر میزبان

۱۶-۱-۳ تابع کشف و انتخاب شبکه دسترسی

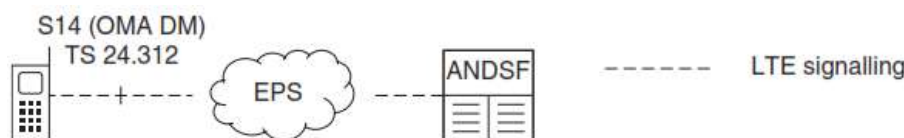
یک عنصر مهم وجود دارد، که برای دسترسی رادیویی غیر 3GPP بسیار حائز اهمیت است و آن عنصر تابع کشف و انتخاب شبکه ($ANDSF$)^۲ است [19-18]. $ANDSF$ از دو مجموعه‌ای مهمی

1. Dual Stack Mobile Ip Version 6

2. Access Network Discovery And Selection Function

از اطلاعات به نام‌های جزئیات شبکه‌های دسترسی رادیویی و مقررات اپراتور پشتیبانی می‌کند و برای انتخاب شبکه دسترسی که موبایل بر می‌گزیند، بسیار تأثیرگذار است.

شکل ۱۶-۳ این معماری را نشان می‌دهد. موبایل از طریق واسطه S14 با ANDSF ارتباط برقرار می‌کند و تحویل اطلاعات را با استفاده از شیء مدیریتی (MOS)^۱ که مطابق با مشخصات اتحادیه موبایل باز (OMA)^۲ برای مدیریت تجهیزات است، انجام می‌دهد [۲۰ و ۲۱]. این ارتباطات از دید EPC شفاف و پنهان بوده و می‌تواند هر نوعی از فناوری رادیویی را استفاده کند. اگر موبایل در رومینگ باشد، می‌تواند با یک ANDSF در شبکه خانگی، شبکه ملاقات شونده یا هر دو ارتباط برقرار کند، برای تبادل این اطلاعات، اولویت‌بندی ارایه می‌شود، که موبایل با در نظر گرفتن این مسئله می‌تواند هر اطلاعاتی را از ANDSF ملاقات شونده دریافت نماید.



شکل ۱۶-۳ معماری برای تابع کشف و انتخاب شبکه منبع: TS 23.402 بازنشر با مجوز ETSI

موبایل بعد از اتصال به شبکه LTE، کد شبکه موبایل و کد کشوری موبایل را برای ساختن نام ناحیه ANDSF به کار می‌برد [۲۲] و آدرس IP مطابق با آن را در DNS جستجو می‌کند. سپس موبایل با ANDSF ارتباط برقرار کرده و جزئیاتی از موقعیت خود نظیر شناسه عمومی سلول E-UTRAN (ECGI) خود را به آن می‌فرستد.

در پاسخ، ANDSF دو اطلاعات را به موبایل می‌فرستد، اطلاعات نخست، مربوط به اطلاعات کشف شبکه دسترسی^۳ است که دارای جزئیاتی از شبکه‌های دسترسی مجاور مثل SSID^۴ یک Wifi و شناسه‌های پشتیبانی از دسترسی رادیویی شبکه WiMAX (NAP-IDS)^۵ می‌باشد، را به موبایل می‌فرستد. دوم، سیاست‌های قابلیت تحرک تعاملی^۶ را که یک لیست اولویت‌بندی شده از قوانین سیاست‌گذاری می‌باشد که تنها یکی از آنها در هر زمان فعال است را به موبایل می‌فرستد. هر یک این

1. Management Object
2. Open Mobile Alliance
3. Access Network Discovery Information
4. Service Set Identifier
5. Network Access Provider Identities
6. Inter System Mobility Policy

سیاست‌گذاری‌ها دارای لیست اولویت‌بندی شده از فناوری‌های دسترسی رادیویی مثل 3GPP، Wifi و WiMAX به همراه اطلاعات اختیاری می‌باشند، که بیانگر اعتبار این سیاست‌ها از نظر موقعیت موبایل، تاریخ و زمان می‌باشند.

با دریافت این اطلاعات، موبایل اعتبار و اولویت هر یک از قوانین سیاست‌گذاری را بازبینی کرده، و معین می‌کنند، که کدام از قوانین باید فعال گردد. با کمک اطلاعات کشف شده، موبایل می‌تواند تشخیص دهد، که کدام شبکه دسترسی رادیویی در همسایگی آن قرار دارد. سپس موبایل قوانین سیاست‌گذاری انتخابی را فعال کرده و در صورت نیاز به یک فناوری دسترسی رادیویی دیگر از طریق فرایند انتخاب مجدد که در زیر بیان خواهد شد، منتقل می‌شود. همچنین موبایل می‌تواند قوانین سیاست‌گذاری را ذخیره کرده و اطلاعات کشف شده را برای شروع مجددهای بعدی استفاده کند.

۱۶-۲ فرایندهای عمومی سیگنالینگ

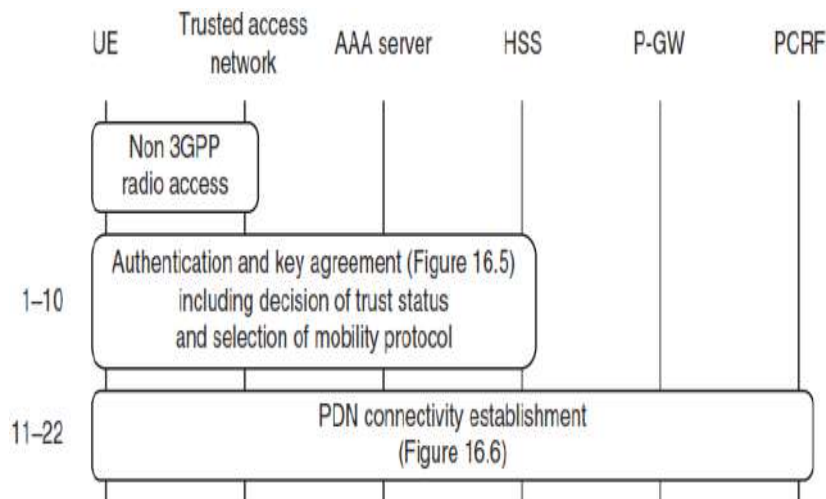
۱۶-۲-۱ مروری بر فرایند اتصال به شبکه

برای بررسی چگونگی تعامل این فرایندها با یک شبکه غیر 3GPP، ابتدا اجازه دهید، یک مدیریت قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه را در یک شبکه دسترسی قابل اعتماد در نظر بگیریم، که از پیام‌های سیگنالینگ که با استفاده از PMIPv6 نوشته شده است، استفاده می‌کند. این گزینه احتمالاً برای تعامل با شبکه‌های غیر 3GPP مثل WiMAX موبایل یا شبکه دسترسی محلی قابل اعتماد مناسب باشد و همچنین یک پیش نیاز مناسب برای بحث درباره cdma2000 است. دنباله این پیام‌ها در شکل ۱۶-۴ خلاصه شده است.

این فرایند زمانی آغاز می‌شود، که موبایل در یک ناحیه تحت پوشش یک شبکه غیر 3GPP روشن می‌شود. هرگونه مقررات تعاملی از طریق آنچه که موبایل قبلاً از ANDSF دریافت کرده است، انجام می‌گیرد. موبایل یک ارتباط رادیویی از طریق روش‌های منبسط بر انتخاب شبکه، انتخاب سلول و برقراری ارتباط RRC در LTE، را با یک شبکه دسترسی غیر 3GPP برقرار می‌سازد.

پس از آن، شبکه شناسه موبایل را بازبینی کرده و با سرور AAA که موبایل را احراز هویت کرده است، ارتباط برقرار می‌کند. در طول مرحله دوم، سرور AAA درباره این که شبکه دسترسی که برقرار خواهد شد، قابل اعتماد یا بدون اعتماد باشد، تصمیم‌گیری می‌کند. اطلاعات و داده‌های مشترکین را به شبکه دسترسی منتقل می‌کند و درباره پروتکل قابلیت تحرکی که استفاده خواهد

کرد، تصمیم‌گیری می‌کند. در مرحله سوم، موبایل به شبکه دسترسی متصل می‌شود، یک IP آدرس اختیار کرده و به شبکه داده بسته خارجی متصل می‌گردد. در زیر نگاهی دقیق‌تر به مرحله دوم و سوم خواهیم انداخت.



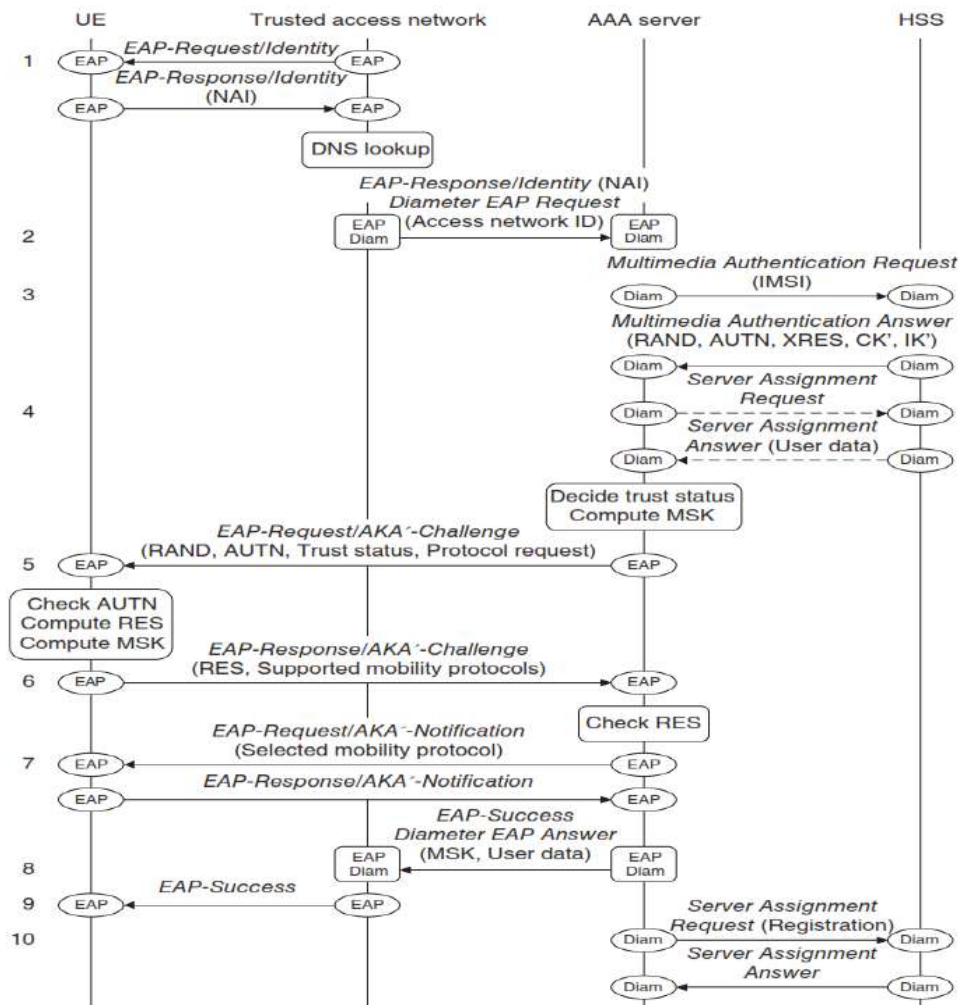
شکل ۱۶-۴ مروری بر فرایند اتصال به یک شبکه غیر 3GPP

۱۶-۲-۲ توافق کلید و تصدیق هویت

فرایندهای امنیتی برای شبکه‌های غیر 3GPP رادیویی بسیار شبیه با آنچه که در LTE دیدیم، می‌باشند [۲۳]. موبایل و شبکه همدیگر را از طریق پروتکلی به نام EAP-AKA^۱ تصدیق می‌کنند [۲۴]. این پروتکل بهبودهایی را بر پروتکل قبلی EAP-AKA داشته است [۲۵]. این بهبودها را با استفاده از محاسبه کلیدهای امنیتی که شامل شناسه شبکه دسترسی است، انجام می‌دهد و این کلیدها در جای دیگر غیر قابل استفاده می‌باشد. در ادامه، EAP-AKA یک پیاده‌سازی گسترش یافته از پروتکل تصدیق هویت IETF (EAP) را انجام می‌دهد [۲۶].

شکل ۱۶-۵ فرایندی برای تصدیق هویت و توافق کلید در یک شبکه دسترسی قابل اعتماد را نشان می‌دهد [۲۷]. در این شکل فرض بر این است، که شبکه از یک پیکربندی پویا برای پروتکل موبایل IP استفاده می‌کند و موبایل نیز در رومینگ نیست.

1. Improved Extensible Authentication Protocol Method For 3G Authentication And Key Agreement



شکل ۱۶-۵ فرایند اتصال به شبکه غیر 3GPP (۱) تصدیق هویت و پذیرش کلید در یک شبکه قابل

اعتماد منبع: TS 33.402 باز نشر با مجوز ETSI

در شروع فرایند، موبایل یک ارتباط رادیویی را با شبکه دسترسی غیر 3GPP برقرار می‌سازد. شبکه دسترسی شناسه موبایل را از طریق پیام درخواست/شناسه EAP^۱، درخواست می‌کند (۱). موبایل اگر اسم مستعار قبلی داشته باشد، آن را به عنوان شناسه دسترسی خود به شبکه و به ایستگاه پایه و در غیر این صورت، IMSI خود را بر می‌گرداند. شبکه دسترسی نام ناحیه اپراتور

1. EAP Request/Identity

شبکه 3GPP موبایل را از روی NAI استخراج کرده و به دنبال آدرس IP سرور AAA می‌گردد. سپس پاسخ موبایل را با ضمیمه کردن یک پیام درخواست قطری^۱ EAP به سرور AAA منتقل می‌کند(۲)، که این پیام دارای شناسه شبکه دسترسی و انواع دسترسی‌های رادیویی است، که استفاده خواهند شد.

با دریافت این پیام، سرور AAA شناسه IMSI موبایل را جستجو کرده و از سرور خانگی مشترکین (HSS) مجموعه اطلاعات تصدیق هویت کاربر را درخواست می‌کند (۳). HSS با ارسال پارامترهای تصدیق هویت RAND، AUTN، XRES؛ CK' و IK' پاسخ را آن را می‌دهد، که ما قبلاً سه تای اول این پارامترها را در فرایندهای امنیتی LTE دیده بودیم، در حالی که CK' و IK' از روی CK و IK از طریق شناسه شبکه دسترسی استخراج می‌شود. اگر سرور AAA رونوشتی از داده اشتراکی کاربران را نداشته باشد، در نتیجه، می‌تواند آن را از روی این پارامترها بازیابی کند(۴).

با استفاده از CK' و IK'، سرور AAA یک کلید نشست اصلی (MSK)^۲ تولید می‌کند، که روشی شبیه به ساختن کلید LTE را به کار می‌گیرد و برای ساختن کلیدهای واقعی برای رمزنگاری و حفظ جامعیت استفاده می‌شود. همچنین، این کلید اطلاعاتی که در مرحله (۲) فراهم می‌شود، را به کار می‌برد تا درباره قابل اعتماد بودن یا نبودن شبکه تصمیم بگیرد. در برای مثال شکل فوق، شبکه قابل اعتماد است. پس از آن، سرور AAA یک چالش تصدیق هویت را به موبایل می‌فرستد، که در آن پارامترهای RAND و AUTN موجود بوده و وضعیت قابل اعتماد بودن یا نبودن آن را مشخص می‌کند و از موبایل درباره پروتکل مدیریت قابلیت تحرکی که پشتیبانی می‌کند، سؤال می‌نماید (۵). این پیام یک پیام قطری پاسخ EAP^۳ را به آن ضمیمه کرده و آن را به شبکه دسترسی منتقل می‌کند و این کار به همان روش مرحله ۲ انجام می‌گیرد. پس از آن، شبکه دسترسی می‌تواند این پیام EAP را بررسی کرده و آن را به موبایل منتقل کند.

با دریافت این پیام، موبایل توکن تصدیق هویت را بررسی می‌کند. رونوشتی از کلید نشست اصلی (MSK) خود را محاسبه کرده، پاسخ خود را با چالشی که شبکه برای آن در نظر گرفته است، محاسبه می‌کند. پس از آن، موبایل پاسخ خود را به همراه لیستی از پروتکل‌های مدیریت قابلیت تحرکی که پشتیبانی می‌کند، را به سرور AAA بر می‌گرداند (۶) سرور AAA پاسخ

-
1. Diameter EAP Request
 2. Master Session Key
 3. Diameter EAP Responce

موبایل را بررسی کرده و یک پروتکل مدیریت قابلیت تحرک را انتخاب می‌کند. و انتخاب خود را نیز مشخص می‌کند (۷). در این مثال، ما در فرض کردیم، که سرور AAA قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه، با استفاده از PMIP_{v6} را که نیازمند یک سری خصوصیات اضافی در داخل موبایل است، را انتخاب می‌کند.

برای تکمیل این فرایند، سرور AAA داده اشتراکی کاربران و کلید نشست اصلی (MSK) را به شبکه دسترسی منتقل می‌کند و به موبایل اعلام می‌کند، که فرایند تصدیق هویت با موفقیت به اتمام رسیده است (۸-۹). شبکه دسترسی، می‌تواند کلیه کلید نشست اصلی را برای فرایندهای امنیتی واسط هوایی خودش به کار بگیرد. سرور AAA همچنین به سرور خانگی مشترکین (HSS) اطلاع می‌دهد، که موبایل را با موفقیت در شبکه ثبت کرده است (۱۰).

در اینجا، همین شیوه نیز به طور یکسان در مورد شبکه غیر قابل اعتماد به کار گرفته می‌شود، به جای تکیه بر خصوصیات امنیتی شبکه دسترسی خودش، این فرایند یک تونل سراسری بین موبایل و دروازه EPC برقرار می‌کند و پس از آن، موبایل و EPC می‌توانند مخابره اطلاعات را با استفاده از پروتکل امنی مثل IPsec انجام دهند.

۱۶-۲-۳ برقراری ارتباط PDN

در آخرین مرحله از فرایند اتصال به شبکه، موبایل یک آدرس IP را دریافت کرده و با شبکه خارجی داده بسته (PDN) ارتباط برقرار می‌کند. شکل ۱۶-۶ مراحل موجود در آن را نشان می‌دهد. فرض بر این است، که موبایل در رومینگ نیست و شبکه که مورد استفاده قرار می‌گیرد، از قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه در داخل یک شبکه دسترسی قابل اعتماد به همراه پیام‌های سیگنالینگ که از PMIP_{v6} استفاده می‌کند [۲۸] پشتیبانی می‌کند.

به عنوان بخشی از این شکل، شبکه تنها به موبایل اطلاع می‌دهد، که فرایندهای تصدیق هویت و توافق کلید را با موفقیت به اتمام رسیده است. در پاسخ، موبایل یک درخواست اتصال به شبکه لایه سوم را به شبکه دسترسی ارسال می‌کند (۱۱)، این کار با استفاده از پیام‌هایی که در مراحل ۱ و ۲ از LTE استفاده می‌شود، انجام می‌گیرد. موبایل ممکن است، قادر باشد تا یک درخواست نام نقطه دسترسی ترجیحی را به عنوان بخشی از این پیام، درخواست کند، که بستگی به نوع شبکه دسترسی که استفاده می‌کند، دارد.

شبکه دسترسی یک نام نقطه دسترسی مناسب را به همراه دروازه PDN مربوطه انتخاب می‌کند، برای این کار، یا از APN ای استفاده می‌کند، که موبایل درخواست کرده است یا یک APN پیش‌فرض را از روی داده اشتراک کاربران پیدا می‌کند. در مرحله ۱۲، حامل ارتباطی شبکه

دسترسی و همچنین تابع گزارش‌دهی، یک فرایند برقراری نشست کنترل دروازه را اجرا می‌کند، که ما در فصل سیزدهم به آنها اشاره کردیم. در این فرایند، دروازه PDN ارتباط سیگنالینگ را با PCRF برقرار کرده و کیفیت سرویس پیش‌فرضی را که در داده اشتراکی کاربران دریافت کرده است، را اجرا می‌کند و یک قاعده کنترل شارژینگ موقتی را در ادامه دریافت می‌کند.

پس از آن، شبکه دسترسی یک پیام به روزرسانی ارتباطی پروکسی $PMIP_{v6}$ ^۱ را به دروازه PDN انتخابی ارسال می‌کند (۱۳)، که مشخص کننده موبایل است، درخواست تونل GRE واسط S2a را کرده و یک کلید GRE برای شناسایی تونل به کار می‌گیرد. پس از آن دروازه PDN می‌تواند یک آدرس IP پویا را به موبایل اختصاص دهد می‌تواند فرایند معمول برقراری نشست IP-CAN را اجرا کند (۱۴). همچنین دروازه PDN شناسه خود به اطلاع سرور AAA می‌رساند، پس، سرور AAA می‌تواند این اطلاعات را در HSS برای استفاده در انتخاب‌های مجدد آتی فناوری دسترسی رادیویی ذخیره می‌کند (۱۵-۱۸). پس از آن، سرور AAA درخواست شبکه دسترسی را با یک تصدیق ارتباط پروکسی $PMIP_{v6}$ ^۲ تصدیق می‌کند (۱۹)، که شامل آدرس IP موبایل و یک کلید GRE لینک فراسو است.

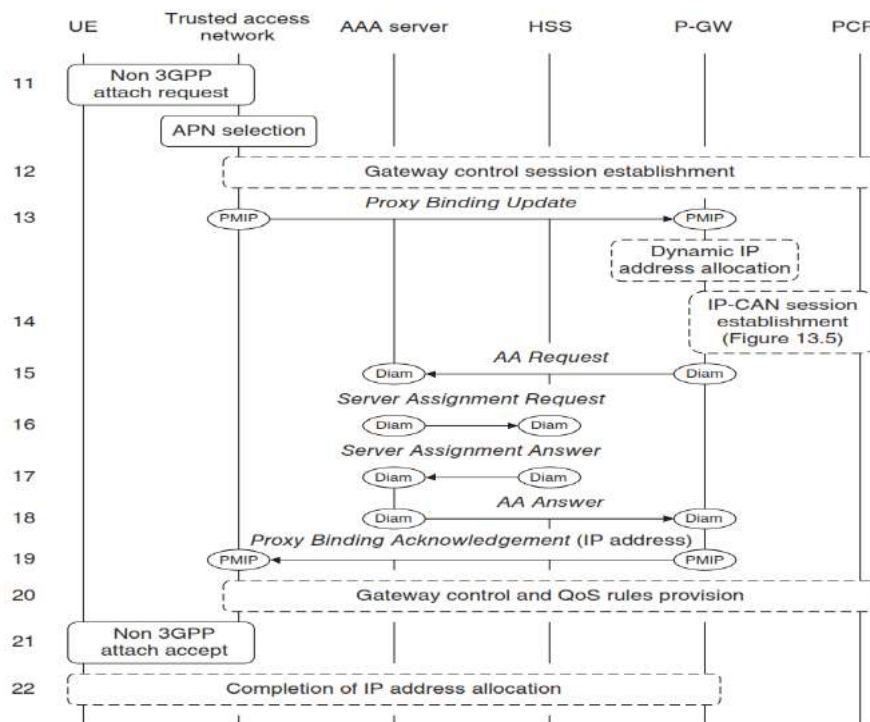
اگر PCRF قواعد کنترل شارژینگ و سیاست‌گذاری قبلی را در طول برقراری نشست IP-CAN تغییر دهد، این تغییرات با استفاده از فرایند کنترل دروازه و قواعد تدارک QoS با شبکه رادیویی دسترسی در میان می‌گذارد (۲۰). پس از آن، شبکه دسترسی درخواست اتصال به شبکه موبایل را می‌پذیرد که این درخواست دارای یک نام نقطه دسترسی و آدرس IP را که به موبایل اختصاص یافته است، می‌باشد (۲۱). موبایل تمامی مراحل را که برای اتمام تخصیص آدرس IP نیاز دارد، را انجام می‌دهد (۲۲) و بعد با دروازه PDN از طریق توابع شبکه‌ی دسترسی غیر 3GPP ارتباط برقرار می‌کند.

در اینجا دو تفاوت در مورد یک شبکه محلی بی‌سیم قابل اعتماد وجود دارد. نخست، پیام‌های PMIP می‌توانند با یک درخواست و پاسخ ایجاد نشست GTP_{v2}-C جایگزین شوند، که در آن مورد فرایندهای کنترل دروازه نیاز نیستند. دوم، راه کار نسخه یازده 3GPP هیچ تأثیری روی موبایل ندارد و نمی‌تواند یک نام نقطه دسترسی خودش را از مرحله ۱۱ مشخص نماید و نمی‌تواند دست به دست کردن‌ها با آدرس IP موقتی را که ما در ادامه پوشش می‌دهیم، استفاده کند. این محدودیت‌ها با یک پروتکل سیگنالینگ بین موبایل و شبکه دسترسی در بخشی از نسخه دوازدهم برطرف گردیده است [۲۹].

1. PMIP_{v6} Proxy Binding Update

2. PIMP_{v6} Proxy Binding Acknowledgment

همچنین در اینجا یک فرایند مشابه برای قابلیت تحرک مبتنی بر میزبان بر روی S2c وجود دارد [۳۰]. در این فرایند، شبکه دسترسی مراحل سیزده تا نوزده را حذف کرده و در عوض درخواست ارتباط موبایل را می‌پذیرد و دروازه PDN را معین کرده و یک آدرس IP را به موبایل می‌دهد تا بتواند با شبکه محلی ارتباط برقرار کند. (۲۱) در پاسخ، موبایل یک نشست امنیتی را با دروازه PDN برقرار می‌کند و یک پیام به روزرسانی ارتباطی $DSMIP_{v6}^1$ به آن می‌فرستد، این پیام دارای یک آدرس IP شبکه دسترسی اختصاص یافته است. دروازه PDN یک آدرس IP از روی فضای آدرس‌دهی خود به موبایل می‌دهد تا موبایل از طریق آن با جهان خارج ارتباط برقرار کرده و شناسایی خواهد شود. پس از آن، فرایندی را برای نشست IP-CAN معمولی برقرار کرده و با یک تصدیق ارتباطی $DSMIP_{v6}^2$ جواب می‌دهد. دروازه PDN حال می‌تواند یک تونلی برای هر بسته داده ورودی به موبایل با آدرس IP محلی در سراسر شبکه دسترسی برقرار کند.



شکل ۱۶-۶ فرایند اتصال به شبکه غیر 3GPP (۲) برقراری ارتباط PDN در یک شبکه دسترسی با استفاده

از قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه و استفاده از $PMIP_{v6}$ منبع: TS 23.402 باز نشر با مجوز ETSI

1. DSMIPv6 Binding Update
2. DSMIPv6 Binding Acknowledgement

۱۶-۲-۴ انتخاب مجدد شبکه دسترسی رادیویی

موبایل می‌تواند از شبکه LTE به یک شبکه غیر 3GPP رفته و برگردد. امکان آن از طریق اطلاعاتی است، که موبایل آنها را از ANDSF دریافت می‌کند. با این حال، این معماری کلی شبکه غیر 3GPP، همه واسط‌های سیگنالینگ به سوی MME یا هر واسطی که اجازه مبادله بسته های داده را با دروازه خدمت‌رسانی را می‌دهد، را در اختیار ندارد. در نتیجه، این شبکه از دست به دست کردن‌های بهینه شده‌ای که قبلاً آنها را دیده‌ایم، پشتیبانی نمی‌کند.

این کار دو پیامد دارد: نخست، MME نمی‌تواند هر اطلاعات از پیش آماده‌ای درباره شبکه رادیویی دسترسی غیر 3GPP مانند پارامترهایی را که موبایل نیاز دارد، تا به سلول هدف یا فرکانس حامل دست پیدا کند، ارسال کند. در عوض، موبایل مجبور است تا شبکه دسترسی را خودش مجدداً انتخاب کند و آن را از طریق قطع ارتباط خود از شبکه LTE و اتصال برقرار کردن با فناوری غیر 3GPP انجام می‌دهد. بنابراین فرایند حاصل [۳۱] شبیه شکل‌های ۱۶-۴ تا ۱۶-۶ است و یک شکاف ارتباطی قابل توجهی را ایجاد می‌کند. دوم، در این معماری هیچگونه مکانیسمی برای انتقال بسته‌های داده تصدیق نشده از LTE به یک شبکه غیر 3GPP وجود ندارد. به همین دلیل این بسته‌ها در طول مخابره به احتمال زیاد دارای شکاف ارتباطی خواهند بود.

اما برای انجام فرایند انتخاب مجدد، این فرایند توابع و امکانات بیشتری از فرایند پایه‌ای اتصال به شبکه دارد. در طول فرایند احراز هویت (شکل ۱۶-۵) سرور AAA نام نقطه دسترسی فعلی و دروازه PDN را از سرور خانگی مشترکین (HSS) که این اطلاعات در آنجا ذخیره شده اند، را به دست می‌آورند و روش آن را در انتهای فصل یازدهم بیان کرده بودیم. سپس، سرور AAA این داده‌ها را به شبکه دسترسی منتقل می‌سازد. به عنوان بخشی از درخواست اتصال به شبکه غیر 3GPP (مرحله ۱۱ شکل ۱۶-۶)، ممکن است، که موبایل از شبکه بخواهد تا نشست اولیه و آدرس IP آن را با توجه به نوع شبکه دسترسی که استفاده می‌کند، از پیش حفظ کند. شبکه دسترسی با برقراری تماس با دروازه PDN اولیه جواب موبایل را در مرحله ۱۳ می‌دهد و دروازه PDN می‌تواند به جای استفاده از آدرس IP جدید، با آدرس IP قدیم موبایل ادامه دهد. در نتیجه موبایل با این عمل، آدرس IP و آدرس نشست خودش در طول دست به دست کردن را حفظ خواهد کرد. پس، می‌تواند ارتباطات خود را با سرور خارجی حفظ نماید.

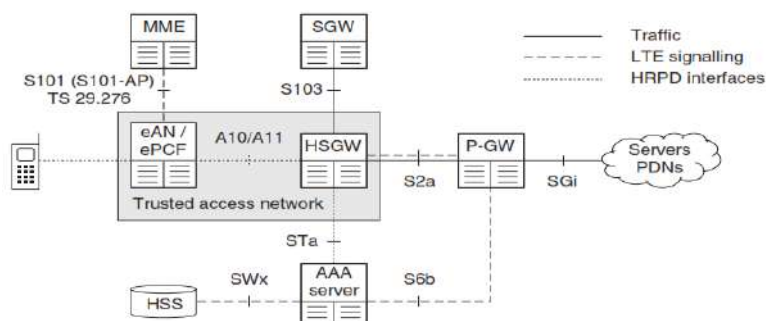
۱۶-۳ تعامل با cdma2000 HRPD

۱۶-۳-۱ معماری سیستم

چنانچه در فصل یک دیدیم، اغلب اپراتورهای cdma2000 در حال برنامه‌ریزی برای انتقال به LTE هستند، در مراحل اولیه این فرایند انتقال، اپراتورهای شبکه تنها سلول‌های LTE را در نقاط شلوغ^۱ شهرهای بزرگ استفاده می‌کردند، که منجر به انجام دست به دست کردن‌های مکرر بین دو سیستم شد. بهتر بود، که این دست به دست کردن‌ها تا حدودی کارآمد باشند. برای پشتیبانی از آن، مشخصات LTE نوع دیگری از معماری بهینه شده را برای شبکه‌های غیر 3GPP تعریف کرد، که برای استفاده با شبکه‌های cdma2000 سرعت بالای مخابره داده (HRPD)^۲، که همچنین به نام EV-DO^۳ هم شناخته می‌شود، استفاده می‌شد. شبکه HRPD ای که از این معماری پشتیبانی می‌کند، به نام HRPD توسعه یافته (eHRPD)^۴ نیز شناخته می‌شود.

شکل ۱۶-۷ معماری ذکر شده را نشان می‌دهد [۳۲-۳۴]. این معماری بر پایه یک قابلیت تحرک مبتنی بر شبکه در یک شبکه دسترسی غیر 3GPP قابل اعتماد اما با دو واسط جدید می‌باشد. نخست، MME می‌تواند پیام‌های سیگنالینگ را با یک تابع کنترل بسته توسعه یافته/ شبکه دسترسی توسعه یافته HRPD (eAN/ePCF)^۵ در طول یک واسط S101 مخابره کند. این واسط پروتکل برنامه کاربردی S101 (S101-AP)^۶ را به کار می‌برد [35]، که به طور ساده پیام‌های سیگنالینگ HRPD را بین دو وسیله مبادله می‌نماید. دوم، دروازه خدمت‌رسانی بسته‌های داده را با یک دروازه خدمت‌رسانی HRPD (HSGW)^۷ در طول یک واسط S103 منتقل می‌کند، در نتیجه خطر از دست داده بسته‌ها در طول دست به دست کردن را به حداقل می‌رساند.

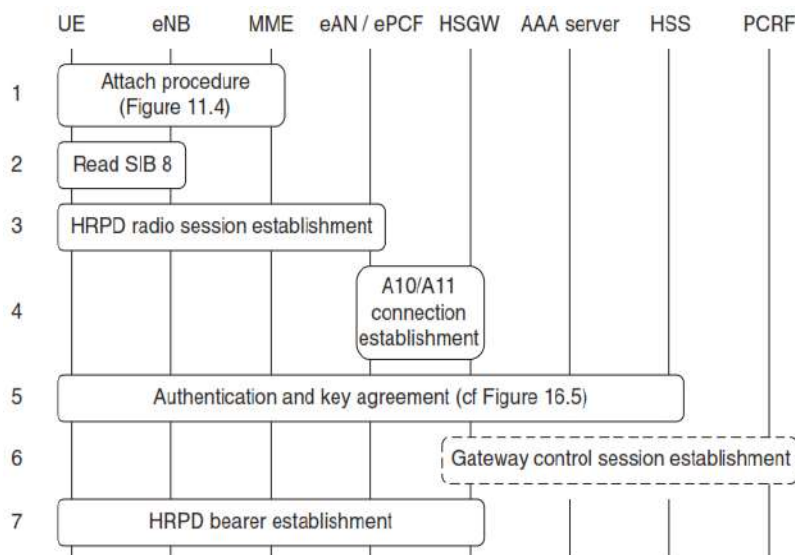
-
1. Hot Spot
 2. High – Rate Packet Data
 3. Evolution Data Optimized
 4. Evolved HRPD
 5. HRPD Evolved Access Network/Evolved Packet Control Function
 6. S101 Application Protocol
 7. HRPD Serving Gateway



شکل ۱۶-۷ معماری جهت استفاده در تعامل با cdma2000 HRPD

۱۶-۳-۲ پیش ثبت نام با cdma2000

در صورتی که موبایل در یک ناحیه‌ای از شبکه تحت پوشش LTE روشن شود، پس از آن، به روش معمولی به شبکه LTE متصل می‌شود، سپس، آن شبکه می‌تواند به موبایل دستور دهد تا فرایندی به نام پیش ثبت نام *HRPD* را اجرا کند [۳۶-۳۸]. با استفاده از این فرایند، موبایل نشستی را در شبکه HRPD برقرار می‌کند، که برای هرگونه دست به دست یا انتخاب مجدد می‌تواند سرعت ببخشد. این فرایند به طور خلاصه در شکل ۱۶-۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۸ فرایند پیش ثبت نام با cdma2000 HRPD منبع: TS 23.402 بازنشر با مجوز ETSI

1. HRPD Pre Registration

بعد از اجرای فرایند معمولی اتصال به شبکه LTE (۱)، موبایل SIB8 را می‌خواند، که در آن پارامترهایی که موبایل برای پیش ثبت‌نام cdma2000 به آنها نیاز دارد، موجود است (۲). یکی از این پارامترها، آغازگر پیش ثبت‌نام است، که به موبایل دستور می‌دهد تا با چه شبکه HRPD باید پیش ثبت‌نام را انجام دهد. با تنظیم این آغازگر بر اساس سلول به سلول، اپراتورهای شبکه موبایل می‌توانند به موبایل دستور دهند تا اگر سلولی در نزدیکی پوشش نواحی LTE وجود دارد، با آن شبکه HRPD پیش ثبت‌نام انجام دهد.

اگر این آغازگر تنظیم شود، موبایل می‌تواند با استفاده از پیام‌های HRPD، که روی واسط هوایی و بر روی S1 و S101 تونل شده‌اند، در یک شبکه دسترسی HRPD ثبت‌نام کند. این شبکه یک ارتباط سیگنالینگ برای موبایل با HSGW برقرار می‌کند (۴) و موبایل می‌تواند خود را در سرور AAA احراز هویت نماید (۵). در طول فرایند تصدیق هویت، سرور AAA شناسه موبایل را از سرور خانگی مشترکین (HSS) به همراه اطلاعاتی مثل نام نقطه دسترسی موبایل و دروازه PDN را بازیابی کرده و این اطلاعات را به eAN/ePCF می‌فرستند.

داخل HSGW حامل ارتباطی و همچنین تابع گزارش‌دهی فرایندی از برقراری نشست کنترلی را اجرا می‌کند (۶) تا ارتباط با PCRF برقرار کند. در نهایت، HSGW مجموعه‌ای از پیام‌های HRPD را با موبایل مبادله می‌کند (۷) تا مجموعه‌ای از حامل‌های HRPD خفیف که بر عکس آنهایی که در هسته سیستم توسعه یافته بود، برقرار کند. با وجود این حامل، هرگونه دست به دست کردن یا انتخاب مجدد بعدی به HRPD با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد.

بعدها ممکن است، EPC حامل‌های جدیدی را برای موبایل ایجاد کند یا کیفیت سرور حامل‌های موجود را اصلاح کند. در این صورت، موبایل پیام‌های اضافه‌ای را بین خود و HSGW رد و بدل می‌کند. طوری که حامل‌های HRPD را به روز نگه دارد.

۱۶-۳-۳ انتخاب مجدد سلول در حالت RRC_IDLE

در حالت RRC_IDLE، موبایل می‌تواند یک سلول HRPD cdma2000 را با استفاده از همان فرایندی که در GSM و UMTS استفاده می‌کرد، مجدداً انتخاب کند. تنها تفاوت این است، که SIB8 داری لیستی از سلول‌های همسایه cdma2000 است، بنابراین موبایل انتظار ندارد آن را به تنهایی پیدا کند.

هنگامی که انتخاب مجدد به اتمام می‌رسد، دو امکان وجود دارد. اگر موبایل قبلاً با HRPD پیش ثبت‌نام کرده باشد، پس، موبایل با شبکه دسترسی HRPD تماس می‌گیرد تا به آن نشان دهد، که وارد

شبکه شده است و شبکه نیز مجموعه‌ای از منابع جدید را برای موبایل آماده می‌کند. تأثیر آن به اندازه فرایند دست به دست کردن cdma2000 است، که در زیر بیان می‌شود، هر چند که مراحل کمتری دارد. در صورتی که موبایل پیش ثبت‌نام را انجام نداده باشد، موبایل باید یک فرایند دست به دست کردن عمومی شبکه غیر 3GPP را که قبلاً پوشش داده بودیم، را انجام می‌دهد.

باید توجه کرد که هیچگونه حالت شبیه به روش غیرفعال کاهش سیگنالینگ (ISR) برای cdma2000 وجود ندارد. همچنین اپراتورهای شبکه ممکن است، بخواهند پارامترهای انتخاب مجدد سلول را پیکربندی کرده باشند تا به این ترتیب خطر بازگشت موبایل از cdma2000 به LTE و بر عکس را کاهش دهند.

۱۶-۳-۴ اندازه‌گیری‌ها و دست به دست کردن در حالت RRC_CONNECTED

در حالت RRC_CONNECTED ایستگاه پایه مانند روشی که برای GSM و UMTS استفاده می‌کرد؛ می‌تواند ارتباط سیگنالینگ RRC موبایل را قطع کرده و موبایل را به حامل cdma2000 HRPD منتقل کند. در مرحله بعد به موبایل می‌گوید، که نرخ سیگنال به نویز سلول‌های cdma2000 مجاور (همسایه) را اندازه بگیرد. موبایل رویدادهای اندازه‌گیری B1 و B2 را برای آغاز یک دست به دست کردن از LTE به یک سلول cdma2000 HRPD به کار می‌گیرد. برای انجام آن، موبایل فرایندهای که در شکل زیر نشان داده‌ایم، را دنبال می‌کند [۳۹-۴۱]. در این فرایند، فرض ما این است، که موبایل قبلاً پیش ثبت‌نام را با یک شبکه cdma2000 HRPD انجام داده باشد. در غیر این صورت، مجبور است، که به جای آن یک فرایند دست به دست کردن شبکه غیر 3GPP را انجام دهد، که ما آن را قبلاً بررسی کرده‌ایم.

برای انجام این فرایند (شکل ۱۶-۹)، موبایل یک سلول HRPD همسایه را در یک گزارش اندازه‌گیری مشخص می‌کند (۱۱) و ایستگاه پایه تصمیم می‌گیرد، که موبایل را به آن سلول منتقل کند (۲). در مرحله سوم، ایستگاه پایه از موبایل می‌خواهد تا با شبکه HRPD با استفاده از یک مسیر سیگنالینگ، که موبایل قبلاً در طول فرایند پیش ثبت‌نام ایجاد کرده بود، تماس بگیرد. در پاسخ، موبایل یک پیام درخواست ارتباط^۱ HRPD را می‌سازد و در این پیام موبایل پارامترهای یک کانال ترافیک فیزیکی^۲ را درخواست می‌کند، موبایل از این کانال برای برقراری ارتباط با یک

1. HRPD Connection Request

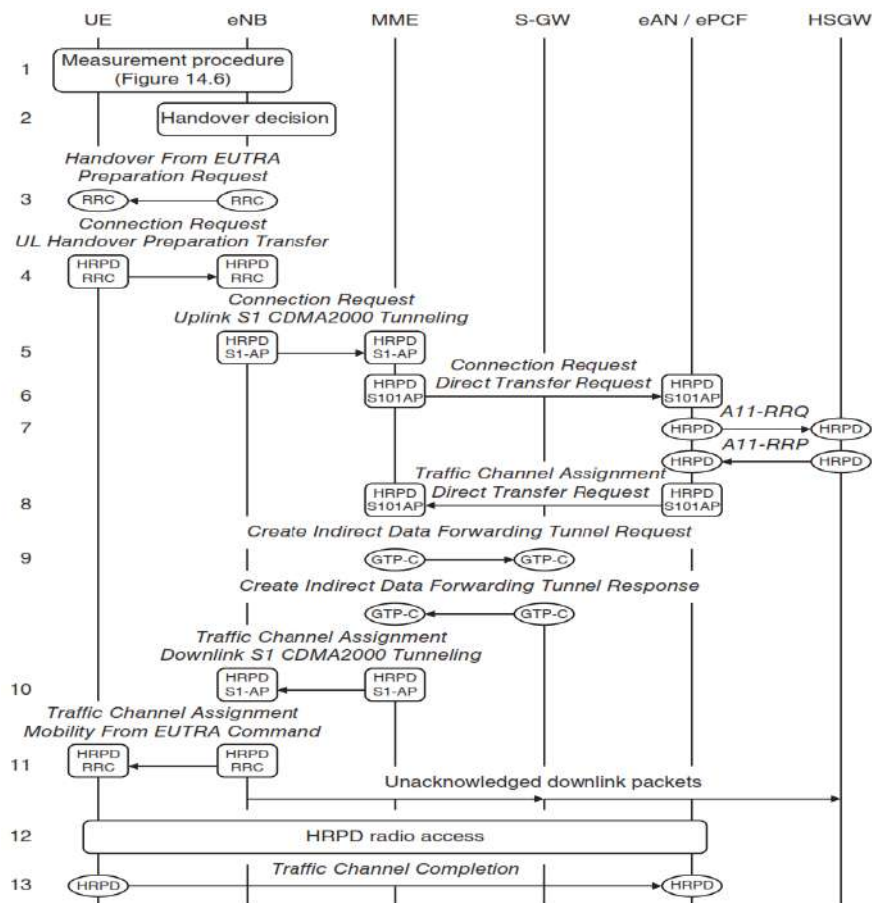
2. Physical Traffic Channel

یک واسطه هوایی شبکه HRPD استفاده می‌کند. در مرحله ۴، ۵ و ۶ این پیام، از طریق واسطه‌های S1،Uu و S101 به eAN/ePCF منتقل می‌شود.

با دریافت این پیام، eAN/ePCF نام نقطه دسترسی و شناسه دروازه PDN موبایل را از روی آنچه که در مرحله پیش ثبت‌نام ذخیره کرده بود، بازیابی می‌کند و این اطلاعات را به HSGW می‌فرستد (۷). در پاسخ، HSGW یک آدرس IP را که از طریق آن دروازه خدمت‌رسانی می‌تواند هر بسته اطلاعاتی لینک فروسو تصدیق نشده به موبایل برگرداند، را در اختیار موبایل قرار می‌دهد. پس از آن، eAN/ePCF مجموعه‌ای از منابع رادیویی را برای موبایل تخصیص می‌دهد و یک پیام تخصیص کانال ترافیکی^۱ HRPD که موبایل را با جزئیات کامل از آنچه که در مرحله دوم درخواست داده بود، پشتیبانی می‌کند. eAN/ePCF این پیام را به با ضمیمه کردن در یک انتقال مستقیم S101-AP به MME ارسال می‌کند (۸)، همچنین این پیام، دارای آدرس انتقالی است، که قبلاً HSGW ارسال کرده بود. MME این آدرس را به دروازه خدمت‌رسانی می‌فرستد (۹) و با ایجاد یک تونل درخواست به آن جواب می‌دهد.

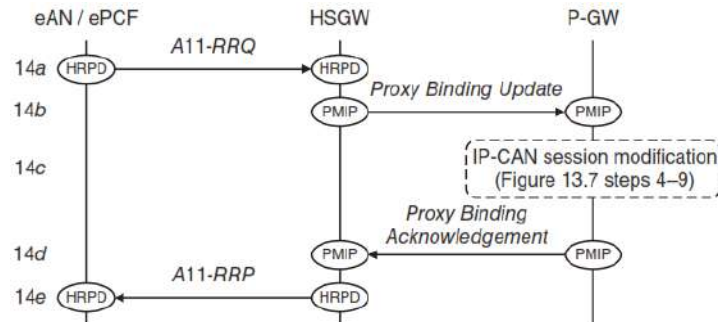
حال MME می‌تواند پیام تخصیص کانال ترافیکی را به ایستگاه پایه ارسال کند (۱۰) در ادامه، ایستگاه پایه این پیام را به موبایل ارسال می‌کند (۱۱) و در این مرحله شروع به بازگرداندن همه بسته‌های اطلاعاتی تصدیق نشده لینک فروسو را به دروازه خدمت‌رسانی می‌کند. دروازه خدمت‌رسانی با استفاده از آدرسی که قبلاً دریافت کرده بود، این بسته‌ها را از طریق واسطه S103 به HSGW به همراه بسته‌های دیگری که بعداً روی لینک فروسو دریافت شده‌اند، به موبایل ارسال نماید. با دریافت پیام ایستگاه پایه، موبایل به شبکه cdma2000 منتقل شده و یک کانال ترافیکی مشخص شده را می‌گیرد (۱۲) و با استفاده از پیام تصدیق شبکه HRPD به نام/تمام کانال ترافیکی^۲ HRPD، عملیات را تصدیق می‌کند (۱۳).

-
1. HRPD Traffic Channel Assignment
 2. HRPD Traffic Channel Completion



شکل ۱۶-۹ دست به دست کردن تعاملی از cdma2000 HRPDR LTE (۱) آماده‌سازی و اجرای دست به دست کردن منبع: TS 23.402 باز نشر با مجوز ETSI

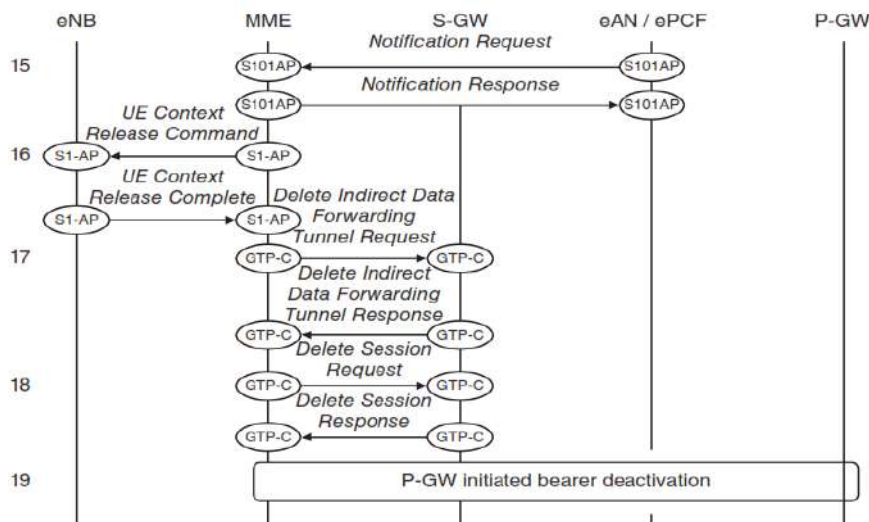
در مرحله ۱۴ (شکل ۱۶-۱۰)، شبکه دسترسی HRPD به HSGW دستور می‌دهد تا حامل‌هایی را که در طول پیش ثبت‌نام ایجاد کرده بود، را فعال‌سازی کند. HSGW از دروازه PDN می‌خواهد، یک تونل GRE برای انتقال اطلاعات دایر کند، که در آن فرایند اصلاح نشست IP-CAN را آغاز کند، در این فرایند، دروازه PDN قوانین کنترل سیاست‌گذاری و شارژینگ مربوطه را مورد بازبینی قرار می‌دهد. بعد از تصدیق عملیات، ترافیک می‌تواند در لینک فراسو و فروسو بین شبکه دسترسی HRPD، HSGW و دروازه PDN جریان پیدا کند. در صورت نیاز، شبکه این مراحل را برای هر نقطه دسترسی که موبایل استفاده می‌کند، تکرار خواهد کرد.



شکل ۱۶-۱۰ دست به دست کردن تعاملی از LTE به cdma2000 HRPD (۲)

فعال‌سازی حامل منبع: TS 23.402 بازنشر با مجوز ETSI

ما همچنان نیاز داریم تا منابعی را که موبایل قبلاً در شبکه LTE در اختیار داشت، را قطع کنیم (شکل ۱۶-۱۱). برای انجام آن، شبکه دسترسی HRPD به MME اطلاع می‌دهد، که دست به دست کردن به تمام رسیده است (۱۵). در پاسخ، MME به ایستگاه پایه می‌گوید تا منابع را قطع کند (۱۶) و همین پیام را نیز به دروازه خدمت‌رسانی می‌فرستد (۱۷-۱۸). در حدود همین زمان، دروازه PDN با اجرای فرایندی به نام غیر فعال‌سازی حامل اولیه PDN GW^۱ (۱۹) منابع باقی‌مانده در EPC را بر می‌چیند.



شکل ۱۶-۱۱ دست به دست کردن تعاملی از LTE به cdma2000 HRPD (۳)

اتمام دست به دست کردن منبع: TS 23.402 بازنشر با مجوز ETSI

1. PDN Gw Initiated Bearer Deactivation

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, June 2013.
2. 3GPP2 A.S0022-0 (2010) Interoperability Specification (IOS) for Evolved High Rate Packet Data (eHRPD) Radio Access Network Interfaces and Interworking with Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN), Version 2.0, April 2010.
3. 3GPP2 X.S0057-0 (2010) E-UTRAN – eHRPD Connectivity and Interworking: Core Network Aspects, Version 3.0, September 2010.
4. Etemad, K. (2004) CDMA2000 Evolution: System Concepts and Design Principles, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
5. Vanghi, V., Damnjanovic, A. and Vojcic, B. (2004) *The cdma2000 System for Mobile Communications: 3G Wireless Evolution*, Prentice Hall.
6. Yang, S. (2004) 3G CDMA2000 Wireless System Engineering, Artech.
7. Ahmadi, S. (2010) Mobile WiMAX: A Systems Approach to Understanding IEEE 802.16 m Radio Access Tech-nology, Academic Press.
8. Andrews, J.G., Ghosh, A. and Muhamed, R. (2007) *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wire- less Networking*, Prentice Hall.
9. Gast, M. (2011) 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, 2nd edn, O'Reilly.
10. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Sections 4.2.2, 4.2.3, 16.1.1, June 2013.
11. 3GPP TS 29.273 (2013) Evolved Packet System (EPS); 3GPP EPS AAA Interfaces, Release 11, September 2013.
12. 3GPP TS 29.275 (2013) Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) Based Mobility and Tunnelling Protocols; Stage 3, Release 11, June 2013.

13. 3GPP TS 29.279 (2012) Mobile IPv4 (MIPv4) Based Mobility Protocols; Stage 3, Release 11, September 2012.
14. 3GPP TR 23.852 (2013) Study on S2a Mobility based on GPRS Tunnelling Protocol (GTP) and Wireless Local Area Network (WLAN) Access to the Enhanced Packet Core (EPC) network (SaMOG); Stage 2, Release 12, September 2013.
15. 3GPP TS 24.302 (2013) Access to the 3GPP Evolved Packet Core (EPC) via Non-3GPP Access networks, Release 11, Section 7, June 2013.
16. 3GPP TS 23.003 (2013) Numbering, Addressing and Identification, Release 11, Section 19.3, September 2013.
17. 3GPP TS 24.303 (2013) Mobility Management Based on Dual-Stack Mobile IPv6, Release 11, June 2013.
18. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 4.8, June 2013.
19. 3GPP TS 24.302 (2013) Access to the 3GPP Evolved Packet Core (EPC) via Non-3GPP Access Networks, Release 11, Sections 5.1, 6.8, June 2013.
20. 3GPP TS 24.312 (2013) Access Network Discovery and Selection Function (ANDSF) Management Object (MO), Release 11, March 2013.
21. Open Mobile Alliance OMA-ERELD-DM-V1_2 (2008) Enabler Release Definition for OMA Device Management, Version 1.2.1, June 2008.
22. 3GPP TS 23.003 (2013) Numbering, Addressing and Identification, Release 11, Section 22, September 2013.
23. 3GPP TS 33.402 (2012) Security Aspects of Non-3GPP Accesses, Release 11, June 2012.
24. IETF RFC 5448 (2009) Improved Extensible Authentication Protocol Method for 3rd Generation Authentication and Key Agreement (EAP-AKA), May 2009.
25. IETF RFC 4187 (2006) Extensible Authentication Protocol Method for 3rd Generation Authentication and Key Agreement (EAP-AKA), January 2006.
26. IETF RFC 3748 (2004) Extensible Authentication Protocol (EAP), June 2004.

27. 3GPP TS 33.402 (2012) Security Aspects of Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 6.2, June 2012.
28. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 6.2.1, June 2013.
29. 3GPP TS 24.244 (2014) Wireless LAN control plane protocol for trusted WLAN access to EPC, Release 12, March 2014.
30. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 6.3, June 2013.
31. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 8.2.2, June 2013.
32. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 9.1, June 2013.
33. 3GPP2 A.S0022-0 (2010) Interoperability Specification (IOS) for Evolved High Rate Packet Data (eHRPD) Radio Access Network Interfaces and Interworking with Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN), Version 2.0, Section 1.4, April 2010.
34. 3GPP2 X.S0057-0 (2010) E-UTRAN – eHRPD Connectivity and Interworking: Core Network Aspects, Version 3.0, Section 4, September 2010.
35. 3GPP TS 29.276 (2012) Optimized Handover Procedures and Protocols between E-UTRAN Access and cdma2000 HRPD Access, Release 11, September 2012.
36. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses, Release 11, Section 9.3.1, June 2013.
37. 3GPP2 A.S0022-0 (2010) Interoperability Specification (IOS) for Evolved High Rate Packet Data (eHRPD) Radio Access Network Interfaces and Interworking with Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN), Version 2.0, Section 3.2.1, April 2010.
38. 3GPP2 X.S0057-0 (2010) E-UTRAN - eHRPD Connectivity and Interworking: Core Network Aspects, Version 3.0, Section 13.1.1, September 2010.

39. 3GPP TS 23.402 (2013) Architecture Enhancements for non-3GPP Accesses, Release 11, Section 9.3.2, June 2013.
40. 3GPP2 A.S0022-0 (2010) Interoperability Specification (IOS) for Evolved High Rate Packet Data (eHRPD) Radio Access Network Interfaces and Interworking with Enhanced Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN), Version 2.0, Section 3.2.2.2, April 2010.
41. 3GPP2 X.S0057-0 (2010) E-UTRAN – eHRPD Connectivity and Interworking: Core Network Aspects, Version 3.0, Section 13.1.2, September 2010.
42. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.4.4.1, September 2013.

فصل هفدهم: شبکه‌های خودبینه‌سازی

یک شبکه LTE همانند سایر فناوری‌های ارتباطی موبایل، توسط یک سیستم مدیریت شبکه کنترل می‌شود. این کار از طریق مجموعه گسترده‌ای از توابع امکاپذیر می‌شود، برای مثال، مجموعه‌ای از پارامترها را برای استفاده از عناصر شبکه تنظیم می‌کند، نرم‌افزارها این عناصر را مدیریت می‌کنند و هرگونه خرابی در عملکرد آنها را تصحیح یا حذف می‌کنند. با استفاده از یک چنین سیستم مدیریت شبکه، یک اپراتور شبکه می‌تواند از راه دور هر ایستگاه پایه‌ای در یک شبکه دسترسی رادیویی و هر جزئی از شبکه هسته را پیکربندی و بهینه‌سازی کند. اما چنین فرایندی نیازمند دخالت دست است، که ممکن است توأم با هدر رفتن زمان، افزایش هزینه و مستعد به خطا باشد. برای حل این مشکلات، 3GPP رفته رفته روشی به نام خود بهینه‌سازی یا شبکه‌های خود سازمانده (SON)^۱ را در داخل LTE معرفی کرد.

در این فصل، ما خصوصیات اصلی خود بهینه‌سازی، که در هر یک از نسخه‌های آن به LTE اضافه شد، را بیان خواهیم کرد. این مشخصات فنی در چهار دسته، به نام‌های خود پیکربندی یک ایستگاه پایه LTE، هماهنگی داخلی، مدیریت قابلیت تحرک و به حداقل رسانی درایو تست تقسیم‌بندی می‌شوند. همچنین، در این فصل روشی به نام مدیریت اطلاعات شبکه دسترسی رادیویی (RIM) را بحث خواهیم کرد، که توسط آن یک ایستگاه پایه شبکه LTE می‌تواند داده‌های خود بهینه‌سازی را با شبکه‌های دسترسی رادیویی دیگر مثل UMTS و GSM مبادله کند.

شبکه‌های خود بهینه‌ساز در TR 36.902 [۱] و TS 36.300 [۲] خلاصه‌سازی شده است. مهمترین تأثیر آنها روی فرایندهای سیگنالینگ شبکه دسترسی رادیویی به خصوص آن دسته از فرایندهایی که روی واسط X2 هستند، می‌باشد. برای مطالعه بیشتر درباره شبکه‌های خود بهینه‌ساز در LTE می‌توانید منابع [۴-۶] را مطالعه کنید.

۱۷-۱ خود پیکربندی یک eNB

۱۷-۱-۱ خود پیکربندی خودکار شناسه فیزیکی سلول

LTE طوری طراحی شده است، که یک اپراتور موبایل می‌تواند یک سلول جدید را با حداقل اطلاعات از جهان خارج راه‌انداز کند. که ممکن است، دارای نام دامنه سیستم مدیریت شبکه و نام‌های دامنه MME ها و دروازه‌های خدمت‌رسانی باشند. ایستگاه پایه سایر اطلاعات مورد نیاز خود را به وسیله فرایندی به نام خود پیکربندی بدست بیاورد (۷). در طول این فرایند، ایستگاه

1. Self Optimizing Or Self Organizing Networks

پایه می‌تواند به سیستم مدیریت متصل شده و نرم‌افزاری که برای عملیات خود به نیاز دارد، را دانلود کند. علاوه بر آن، مجموعه دیگری از پارامترهای پیکربندی را دانلود می‌کند (۸). این پارامترها شامل کد ناحیه ردیابی، لیستی از شناسه‌های PLMN، شناسه عمومی سلول و نیز بیشترین توان انتقالی روی هر سلول هستند.

در پارامترهای پیکربندی، این سیستم مدیریت می‌تواند به طور صریحی یک شناسه فیزیکی سلول را به هر یک از ایستگاه‌های پایه هر سلول اختصاص دهد. اما، این مکان‌ها یک بار اضافی روی طراح شبکه هستند، به طوریکه، هر سلول باید یک شناسه متفاوت‌تر از سایر سلول‌هایی که در مجاورت آن سلول قرار دارد، داشته باشد. همچنین این کار، باعث ایجاد تداخل در شبکه‌هایی می‌شود، که دارای ایستگاه‌های پایه خانگی هستند، چرا که که بدون هیچگونه اطلاعاتی از همسایگان خود، دایر می‌شوند.

به عنوان یک جایگزین، سیستم مدیریت می‌تواند به طور ساده یک لیست از شناسه‌های فیزیکی سلول مجاز را در اختیار ایستگاه‌های پایه قرار دهد. اگر ایستگاه پایه‌ای یک گیرنده لینک فرسوی مناسب داشته باشد، می‌تواند به سلول‌های LTE نزدیک دیگر گوش کند. شناسه‌های فیزیکی سلولی آنها را حذف کرده و یک شناسه تصادفی از باقی‌مانده لیست مذکور برای خود انتخاب کند. برای پیکربندی سلول‌های بعدی، ایستگاه پایه می‌تواند هر شناسه‌ای را که در طول دریافت گزارش اندازه‌گیری دریافت کرده است و لیست همه ایستگاه‌های پایه مجاور خود، در طول فرایند برقراری X2 را از لیست خود حذف نماید، که این فرایند در ادامه توضیح داده می‌شود.

به عنوان بخشی از فرایند خود پیکربندی، ایستگاه پایه همچنین می‌تواند یک فرایندی به نام برپایی S1^۱ را اجرا کند [۹] تا به وسیله آن، یک ارتباط با تمام MME‌هایی که به آن متصل است، برقرار کند. در این فرایند، ایستگاه پایه اطلاعاتی راجع به کد ناحیه ردیابی، شناسه‌های PLMN هر سلول خودش و همچنین گروه‌های کاربران محرمانه (CSG) خودش را به MME اطلاع می‌دهد. MME با یک پیامی که مشخص کننده شناسه یکتای عمومی آن است، جواب ایستگاه پایه را می‌دهد و حال MME می‌تواند از طریق واسط S1 با ایستگاه پایه ارتباط برقرار کند.

۱۷-۱-۲ روابط همسایگی خودکار

در طول فرایند پیکربندی که در بالا اشاره شد، ایستگاه پایه نیازی به پیدا کردن هم اطلاعات درباره سلول‌های همسایه خود ندارد و نیز نیازی به ایجاد یک لیست از همسایه‌های آن توسط آن

1. S1 Setup

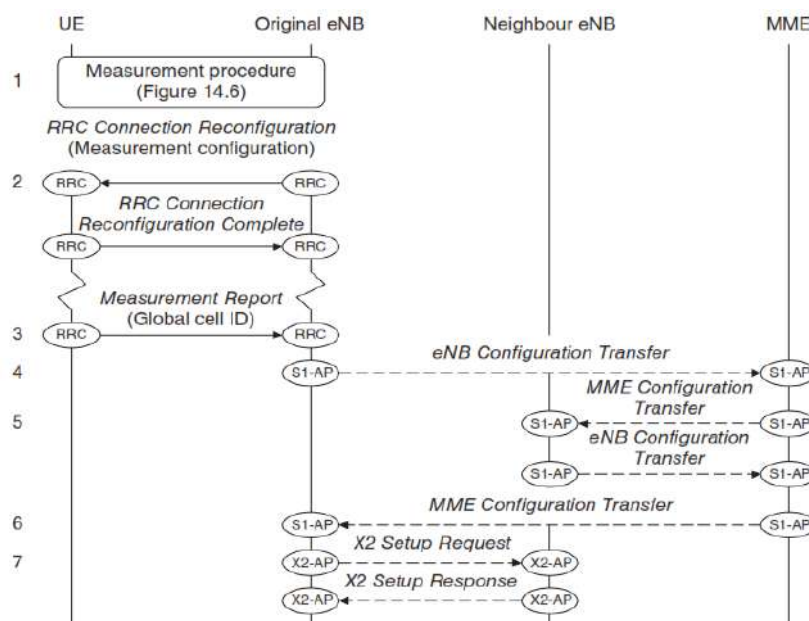
ایستگاه پایه نیست. این کار باعث حذف بارهای اضافی از اپراتور شبکه شده و بخش بزرگی از خطاهای منبع بالقوه را از میان برمی‌دارد. در عوض، یک موبایل می‌تواند یک سلول همسایه را خود به تنهایی شناسایی کند و سپس آن را به اطلاع ایستگاه پایه خودش برساند، این کار را به وسیله گزارش‌های اندازه‌گیری RRC که در فصل چهاردهم بیان شد، انجام می‌دهد. پس از آن، ایستگاه پایه با بکار بردن فرایندی به نام رابطه همسایگی خودکار^۱ که در شکل ۱۷-۱ نشان داده شده است، با سلول مجاور خود ارتباط برقرار می‌کند [۱۰].

این فرایند زمانی آغاز می‌شود، که ایستگاه پایه یک گزارش اندازه‌گیری را دریافت می‌کند، که در آن، شناسه فیزیکی سلول قرار دارد و ایستگاه پایه از قبل از وجود آن با خبر بوده است (۱). ایستگاه پایه در همین لحظه نمی‌تواند با سلول جدید ارتباط برقرار کند. بنابراین یک پیکربندی اندازه‌گیری ثانویه را به موبایل می‌فرستد تا اطلاعات بیشتری درباره آن سلول بداند (۲). در پاسخ، موبایل فرایند تملک سلول را برای سلول همسایه به طور کامل انجام داده، بلاک شماره یک اطلاعات سیستمی آن را خوانده و شناسه عمومی سلول، کد ناحیه ردیابی و لیست PLMN را در گزارش اندازه‌گیری ثانویه برمی‌گرداند (۳). حال ایستگاه پایه اطلاعات کافی برای آغاز دست به دست کردن مبتنی بر S1 را به سلول جدید را در اختیار دارد.

برای پشتیبانی از دست به دست کردن‌های مبتنی بر X2، ایستگاه پایه شناسه عمومی سلول (cell ID) را به MME می‌فرستد و از آن می‌خواهد، یک آدرس IP را که ایستگاه پایه همسایه برای ارتباط روی X2 استفاده می‌کند، را به آن برگرداند (۴). در حال حاضر MME روی واسط S1 با ایستگاه پایه همسایه ارتباط دارد، بنابراین می‌تواند در خواست بعدی را بفرستد (۵)، همچنین می‌تواند جواب همسایه را برگرداند (۶). حال دو ایستگاه پایه همسایه می‌توانند از طریق واسط X2 با همدیگر یک ارتباط برقرار کنند (۷). این کار با اجرای فرایندی به نام برپایی X2^۲ انجام می‌گیرد [۱۱]. در طول این فرایند، ایستگاه‌های پایه کلیه اطلاعاتی مثل شناسه‌های عمومی سلول، شناسه‌های فیزیکی سلول و حامل‌های فرکانسی در سلول کنترل می‌کنند را با همدیگر رد و بدل می‌کنند. آخرین فیلد، ممکن است دارای فرکانس‌هایی باشد، که ایستگاه پایه اولیه در ابتدا از وجود آنها آگاه نبوده باشد و می‌تواند آن را برای انتشار لیست فرکانس‌های همسایگی در SIB5 به کار ببرد.

1. Automatic Neighbour Relation

2. X2-Setup



شکل ۱۷-۱ فرایند روابط همسایگی خودکار

۱۷-۱-۳ بهینه‌سازی کانال دسترسی تصادفی

پیکربندی دستی کانال‌های دسترسی تصادفی یکی دیگر از بارهای بالقوه برای اپراتورهای شبکه است. از نسخه نهم به بعد، ایستگاه‌های پایه می‌توانند اطلاعاتی درباره پارامترهایی که آنها برای کانال‌های دسترسی تصادفی در طول فرایند برپایی X2 استفاده می‌کنند، را با همدیگر ردوبدل کنند. این اطلاعات شامل فرکانسی PRACH و شاخص پیکربندی PRACH می‌باشند، که شاخص پیکربندی PRACH مشخص کننده بلاک‌های منابعی است، که توسط این کانال‌ها استفاده می‌شوند. علاوه بر این، اطلاعاتی نظیر پیکربندی ناحیه همبستگی صفر، شاخص دنباله ریشه و پرچم سرعت بالا^۱ هستند. با استفاده از این اطلاعات، ایستگاه‌های پایه می‌توانند تداخل بین انتقالات دسترسی تصادفی در سلول‌های مجاور را به حداقل برسانند، این کار، با تخصیص مجموعه بلاک‌های منابع مختلف و آغازگرها مختلف صورت می‌گیرد.

متعاقباً، ایستگاه پایه می‌تواند یک پیام RRC به نام درخواست اطلاعات UE^۲ را برای بازیابی اطلاعات درباره آخرین تلاش‌های دسترسی تصادفی یک موبایل به کار ببرد. این اطلاعات شامل

1. High Speed Flag
2. UE Information Request

شامل تعداد آغازگرهای است، که موبایل قبل از دریافت جواب ارسال کرده است و شاخصی از یک فرایند تفکیک‌پذیری رقابتی است، که در هر مرحله‌ای ناموفق بوده است. با استفاده از این اطلاعات، ایستگاه پایه می‌تواند توان کانال‌های دسترسی تصادفی را تنظیم کرده و همچنین تخصیص بلاک‌های منابع را درست تنظیم کند، بنابراین، باری که این کانال‌ها روی واسط هوایی ایجاد می‌کند، را به حداقل برساند.

۱۷-۲ هماهنگی تداخل بین سلولی

فرایند نشانگر بار $X2-AP$ [۱۲] کمک می‌کند تا یک شبکه تداخل بین ایستگاه‌های همسایه را به حداقل برساند و بتواند از طرح‌های استفاده مجدد از فرکانس بخشی، که ما در فصل چهارم بررسی کردیم، استفاده کند. برای اجرای این فرایند، یک ایستگاه پایه یک پیام/اطلاعات بار $X2-AP$ را به یکی از همسایه‌های خود ارسال می‌کند. در این پیام، ایستگاه پایه می‌تواند سه عنصر اطلاعاتی را برای هر سلولی که کنترل می‌کند، قرار دهد. اولین عنصر اطلاعاتی، توان نسبی TX باند باریک^۳ است، که بیانگر توان ارسالی در هر یک بلاک‌های منابع لینک فروسو می‌باشد، که بین حد آستانه بالا و پایین قرار دارد. سلول همسایه این اطلاعات را می‌تواند برای فرایند زمان بندی خودش استفاده کند. این کار، باعث عدم ارسال انتقالات برای موبایل‌های دور دست در بلاک‌های منابعی می‌شود، که مستعد به تداخل بالا در لینک فروسو هستند.

دومین عنصر اطلاعاتی، شاخص تداخل بالایی UL ^۴ است، که لیستی از بلاک‌های منابع لینک فراسو است، که ایستگاه پایه قصد برنامه‌ریزی برای موبایل‌های راه دور را دارد. سلول همسایه می‌تواند این اطلاعات را به همین روش استفاده کند، یعنی انتقال‌های لینک فراسو از موبایل‌های راه دور در بلاک‌های منابعی که تداخل لینک فراسوی بالایی دارند، را برنامه‌ریزی نمی‌کند. سومین عنصر اطلاعاتی، نشانگر سرریز تداخل UL ^۵ است، که نشان دهنده آن می‌باشد، که چه تداخل دریافتی در هر بلاک منبع لینک فراسو، دارای تداخل بالا، متوسط و پایین است. در اینجا، نیز سلول همسایه از برنامه‌ریزی برای موبایل راه دوری که دارای بلاک‌های منابع با بار سرریز است،

-
1. X2- AP Load Indicator Procedure
 2. X2-AP Load Information
 3. Relative Narrowband Power
 4. UL High Interference Indication
 5. UL High Interference Indication

را برای انتقال‌های لینک فراسو انجام نمی‌دهد، در این مرحله، این کار برای اطمینان از ایجاد تداخل‌های سطح بالا در لینک فراسو انجام می‌گیرد.

از نسخه دهم به بعد، ایستگاه پایه می‌تواند چهارمین عنصر اطلاعاتی پیام اطلاعات بار X2-AP را که به نام اطلاعات ABS^۱ (زیر فریم بلاک اکثریت)^۲ شناخته می‌شود، را در آن پیام قرار دهد. این عنصر اطلاعاتی، از روش‌های هماهنگی تداخل بین سلولی در سطوح پیشرفته‌تری پشتیبانی می‌کند. که ما آن را در فصل نوزدهم بیان خواهیم کرد.

۱۷-۳ مدیریت قابلیت تحرک

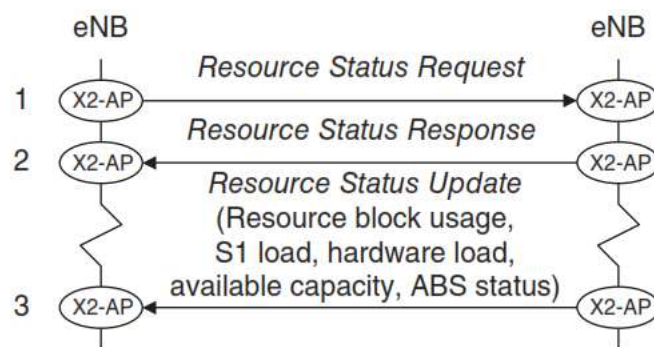
۱۷-۳-۱ توازن بار قابلیت تحرک

در ادامه، ما درباره سه روش خود بهینه‌سازی که مربوط به مدیریت تحرک در LTE هستند، بحث خواهیم کرد. شکل ۱۷-۲، اولین روش از آنها را نشان می‌دهد، که به نام توازن بار قابلیت تحرک یا گزارش‌دهی وضعیت منبع^۳ است [۱۳]. با استفاده از این فرایند، ایستگاه‌های پایه مجاور می‌توانند برای تنظیم بار در شبکه دسترسی رادیویی با همدیگر همکاری کنند و ظرفیت‌نهایی سیستم را به حداکثر برسانند.

با استفاده از یک درخواست گزارش وضعیت منبع X2-AP^۴ (۱)، یک ایستگاه پایه از نسخه هشتم می‌تواند از یکی از همسایه‌های خودش درباره سه عنصر اطلاعاتی گزارش بگیرد. اولین عنصر اطلاعاتی، درصد بلاک‌های منابعی است، که ایستگاه پایه همسایه برای ترافیک GBR و غیر GBR استفاده می‌کند. دومین عنصر اطلاعاتی، بار روی واسط S1 و سومین نیز بار سخت افزار می‌باشد. همسایه یک تصدیقی را به آن ایستگاه پایه بر می‌گرداند (۲) و سپس به طور متناوب برای هر دو لینک فراسو و فروسو با استفاده از یک به روزرسانی وضعیت منبع X2-AP^۵، گزارش می‌دهد (۳). در نتیجه، ایستگاه پایه‌ای که با ازدحام روبرو شده است، می‌تواند موبایل را به سلولی که دارای ظرفیت کافی باشد دست به دست کند و به این ترتیب می‌تواند بار در شبکه دسترسی رادیویی را متعادل سازد.

-
1. ABS Information
 2. Almost Blank Subframe
 3. Mobility Load Balancing Or Resource States Rerouting
 4. X2-AP Resource Status Report
 5. X2-AP Resource Status Update

از نسخه نهم به بعد، ایستگاه پایه همسایه می‌تواند یک فیلد چهارمی را در پیام به روزرسانی وضعیت منبع خود، به نام ظرفیت گروهی قابل دستیابی مرکب^۱ را ارایه دهد، که در آن، ایستگاه پایه همسایه ظرفیت در دسترس برای اهداف توازن بار در لینک فراسو و فرسو را بیان می‌کند. ایستگاه پایه اولیه می‌تواند از این اطلاعات برای تصمیمات دست به دست کردن خودش استفاده کند. از نسخه دهم به بعد، ایستگاه پایه همسایه می‌تواند فیلد پنجم را گزارش‌دهی خود به نام وضعیت ^۲ABS را گزارش دهد، که ما آن را در فصل نوزدهم بیان خواهیم کرد.



شکل ۱۷-۲ گزارش‌دهی وضعیت منبع

پس از چنین دست به دست کردنی، این خطر وجود دارد، که ایستگاه پایه جدید موبایل را به طور مستقیم به سلول قبلی بازگرداند. برای جلوگیری از این مسئله، نسخه نهم فرایند X2 دیگری به نام تغییر تنظیمات قابلیت تحرک^۳ را معرفی کرده است [۱۴]. با استفاده از این روش، ایستگاه پایه می‌تواند از همسایه خود بخواهد تا حد آستانه‌ها را با استفاده از افست‌های ویژه سلول، که در فصل چهاردهم بیان شد، طوری تنظیم کند، که این حد آستانه‌ها برای گزارش اندازه گیری استفاده شوند و بعد از این تنظیم آن، موبایل باید به جای اینکه به سلول قبلی برگردد، باید در سلول دست به دست شده، باقی‌بماند.

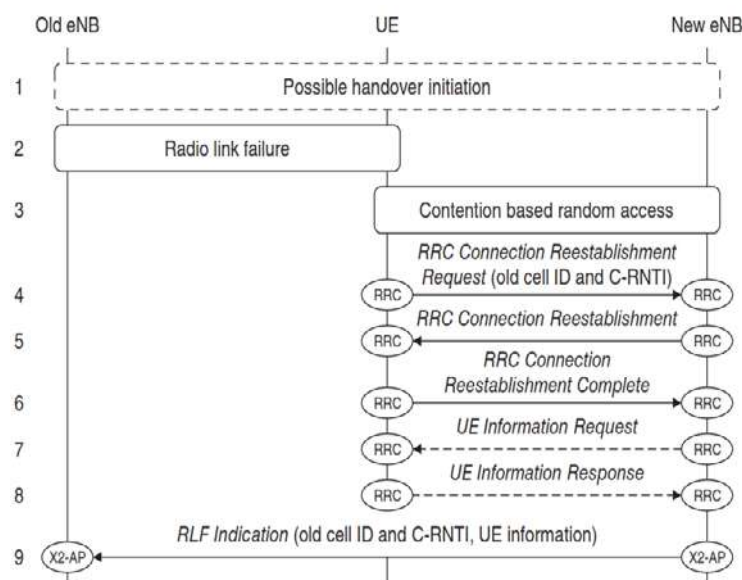
۱۷-۳-۲ بهینه‌سازی پایدار قابلیت تحرک

بهینه‌سازی پایدار قابلیت تحرک روشی است، که اولین بار در نسخه نهم مطرح شد [۱۵]. با استفاده از این روش، یک ایستگاه پایه اطلاعاتی در مورد هر مشکلی که به دلیل استفاده نامناسب

-
1. Composite Available Capacity Group
 2. ABS Status
 3. Mobility Settings Change

از گزارش اندازه‌گیری حد آستانه به وجود می‌آید، را جمع‌آوری می‌کند. سپس آن ایستگاه پایه می‌تواند، این اطلاعات را برای تنظیم حد آستانه‌هایی که استفاده می‌کند، به کار بگیرد و اشکالات موجود را برطرف کند.

در اینجا سه دلیل اصلی برای مشکل مذکور وجود دارد، که یکی از آنها در شکل ۱۷-۳ نشان داده شده است. در اینجا، ایستگاه پایه اقدام به شروع دست به دست کردن نموده است (۱) اما آن را خیلی دیر به پایان رسانده است، چرا که حد آستانه‌های گزارش اندازه‌گیری به شکل بسیار ضعیفی تنظیم شده است.



شکل ۱۷-۳ بهینه‌سازی پایدار قابلیت تحرک، شروع دست به دست کردنی که خیلی دیر شده است

در واقع، ممکن است، در نهایت ایستگاه پایه دست به دست کردن را آغاز نکرده باشد. قبل از اجرای دست به دست کردن، توان سگینال دریافتی موبایل به پایین‌تر از حد آستانه سقوط کرده و لینک رادیویی آن موبایل از بین می‌رود. (۲) در پاسخ، موبایل شروع به اجرای فرایند انتخاب سلول می‌کند و سلولی را که باید به آن حرکت داده شود، را کشف می‌کند. با سلول جدید از طریق فرایند دسترسی تصادفی (۳) و فرایندی به نام برقراری مجدد اتصال RRC^۱ (۴، ۵ و ۶) با سلول جدید

1. RRC Connection Reestablishment

تماس می‌گیرد و بیان می‌دارد، که آن سلول را خود به خود و از روی شناسه فیزیکی سلول قدیمی و C-RNTI قبلی خودش پیدا کرده است. در مرحله ششم، همچنین، موبایل می‌تواند نشان دهد، که اندازه‌گیری‌های قبل از دست دادن توان دریافتی از لینک رادیویی از سلول قبلی را داراست و سلول جدید همسایه آن سلول می‌باشد. در چنین حالتی، ایستگاه پایه می‌تواند این اطلاعات را با استفاده از فرایندی به نام اطلاعات RRC دستگاه موبایل ($RRCUE$)^۱، بازیابی کند (۷و۸).

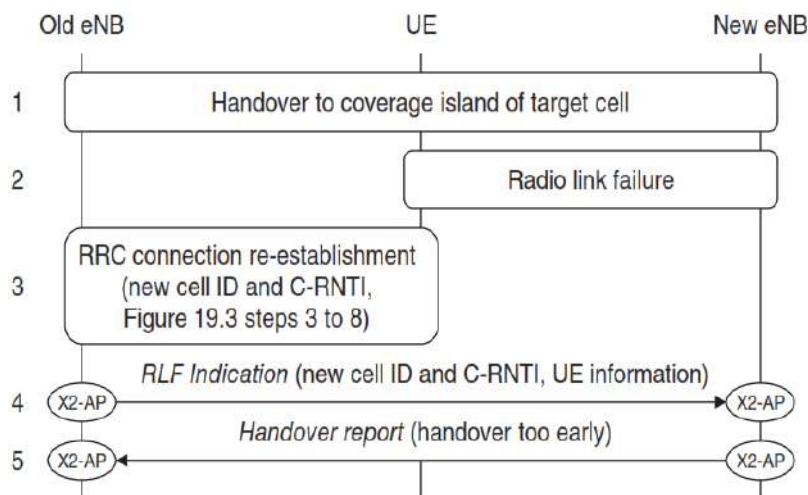
حال ایستگاه پایه جدید با استفاده از پیامی به نام شاخص قطع لینک رادیویی $X2-AP(RLF)$ ^۲ دوباره مشکل پیش آمده به ایستگاه پایه قدیمی توضیحاتی را بدهد (۹). این پیام در نسخه نهم معرفی شده است. بعد از ردوبدل کردن چنین گزارش‌هایی، ایستگاه پایه قدیمی می‌تواند حد آستانه‌های گزارش اندازه‌گیری خود را تنظیم کند و این کار را به وسیله نرم‌افزار بهینه‌سازی اختصاصی که خارج از مشخصات 3GPP است، انجام دهد.

مشکل بعدی در شکل ۱۷-۴ اتفاق می‌افتد. در این شکل، ایستگاه پایه یک دست به دست کردن را بسیار سریع‌تر به اتمام می‌رساند (۱)، شاید در یک منطقه دور افتاده‌ای که موبایل به طور مختصری در منطقه تحت پوشش دید مستقیم (LOS) در حال دریافت سیگنال از سلول جدید قرار دارد، موبایل به طور کامل دست به دست کردن را به اتمام رسانده باشد. اما خیلی سریع لینک رادیویی خودش را از دست می‌دهد (۲). روی اجرای فرایند انتخاب سلول، موبایل دوباره سلول قدیمی را پیدا می‌کند و دوباره یک ارتباط RRC را برقرار می‌سازد (۳) و خودش را با استفاده از شناسه فیزیکی سلول جدید و C-RNTI آن معرفی می‌کند. سلول قدیمی می‌فهمد، که همانند حالت قبل، این شناسه سلول جدید است (۴). با این حال، ایستگاه پایه جدید متوجه می‌شود، موبایلی که هنداور را انجام داده است، از سلول قدیمی سیگنال دریافت می‌کند. بنابراین، با استفاده از یک پیام نسخه نهم دیگری به نام گزارش دست به دست کردن $X2-AP$ ^۳ آن را به ایستگاه پایه قدیمی اطلاع می‌دهد (۵). یک بار دیگر ایستگاه پایه قدیمی از این اطلاعات برای تنظیم حد آستانه‌های اندازه‌گیری خودش استفاده کند.

1. RRC UE Information

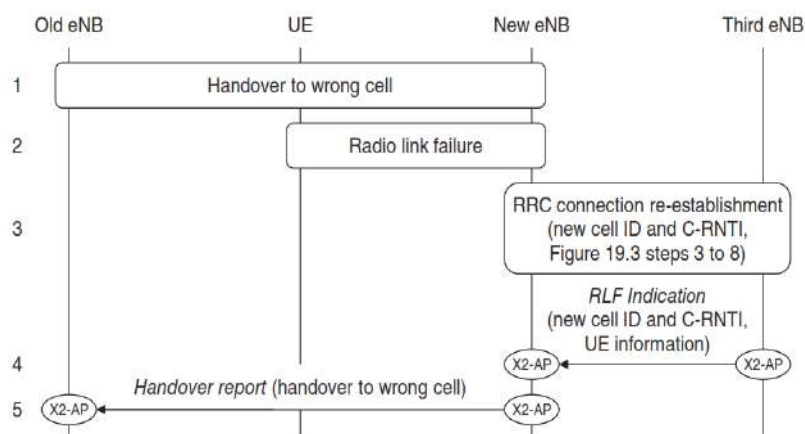
2. X2-AP Radio Link Failure Indication

3. X2- AP Handover Report



شکل ۱۷-۴ بهینه‌سازی پایدار قابلیت تحرک، آغاز کردن دست به دست کردنی که خیلی زود انجام شده است

مشکل سوم و نهایی را می‌توان در شکل ۱۷-۵ مشاهده کرد. در این شکل، ایستگاه پایه موبایل را به یک سلول اشتباه دست به دست کرده است. احتمالاً، این مشکل به دلیل صحیح نبودن افست اندازه گیری ویژه سلول اتفاق افتاده است (۱). مثل قبل، لینک رادیویی موبایل قطع می‌شود (۲) و موبایل اقدام به برقراری مجدد ارتباط RRC با سلول سوم، که باید با آن در مرحله اول هنداور می‌شد، را می‌نماید (۳). در پاسخ، ایستگاه پایه سوم یک شاخص قطع لینک رادیویی را به سلول دوم ارسال می‌کند (۴) تا به استفاده از یک گزارش دست به دست کردن مثل قبل به سلول اولیه اطلاع دهد (۵).



شکل ۱۷-۵ بهینه‌سازی پایدار قابلیت تحرک، هندآوری که یک سلول اشتباه انجام داده است

۱۷-۳-۳ صرفه‌جویی در انرژی

هدف‌نهایی از فرایند مدیریت قابلیت تحرک، که اولین بار در نسخه نهم بیان شد، صرفه‌جویی در انرژی است، که با خاموش کردن سلول‌هایی که استفاده نمی‌شوند، اتفاق می‌افتد. یک مثال عینی از آن، استفاده از پیکوسل‌ها در مغازه‌ها است، که در آنها می‌توان در خارج از ساعت کاری مغازه سلول‌ها را خاموش کرد تا به ظرفیت شبکه کمک کند، اما به پوشش شبکه کمکی نمی‌کند. اگر، یک ایستگاه پایه از این ویژگی برخوردار باشد، می‌تواند در صورتی که بعد از یک دوره طولانی بار پایینی از یک سلول دریافت نکند، آن را خاموش کند. برای انجام آن، موبایل‌های باقی مانده را به سلولی که دارای پوشش مشترک دارند، منتقل کرده و به آنها درباره این دست به دست کردن از طریق یک پیام به روزرسانی پیکربندی *X2-AP eNB* اطلاع می‌دهد و سپس سلول را خاموش می‌کند. خود ایستگاه پایه روشن باقی می‌ماند. بنابراین، در زمان بعد، یک همسایه می‌تواند از ایستگاه پایه بخواهد تا سلول مذکور را روشن کند. این همسایه این درخواست را با استفاده از فرایندی به نام درخواست فعال‌سازی سلول *X2-AP*^۲ انجام می‌دهد.

۱۷-۴ مدیریت اطلاعات شبکه دسترسی رادیویی

۱۷-۴-۱ مقدمه

تاکنون ما فقط انتقال اطلاعات در شبکه دسترسی رادیویی LTE را بحث کردیم و مدیریت اطلاعات شبکه دسترسی رادیویی (*RIM*)^۳ [۱۷-۱۹] اولین بار برای انتقال اطلاعات در داخل شبکه دسترسی رادیویی GSM ایجاد شد. بعداً، این سیستم گسترش یافت تا انتقال اطلاعات بین شبکه‌های دسترسی رادیویی GSM، UMTS و LTE را انجام دهد، مخصوصاً بین کنترل کننده ایستگاه پایه (BSC)، شبکه GSM، کنترل کننده شبکه رادیویی UMTS یعنی (RNC) و eNB به کار می‌رود.

در پایین‌ترین سطح، شبکه هسته اطلاعات را با ضمیمه کردن آنها در داخل پیام‌های سیگنالینگ روی واسطه‌های درگیر در سه شبکه دسترسی یاد شده منتقل می‌کند. در سطح بالا، اطلاعات انتها به انتها با یک پروتکل جداگانه RIM مدیریت می‌شود، که از گزارش‌دهی منفرد و رویداد محور پشتیبانی می‌کند و یک تحویل انعطاف‌پذیر تضمین شده‌ای را به وسیله تصدیق سه مرحله‌ای انجام

-
1. X2-AP eNB Configuration Update
 2. X2-AP Cell Activation Request
 3. Radio Access Network Information Management

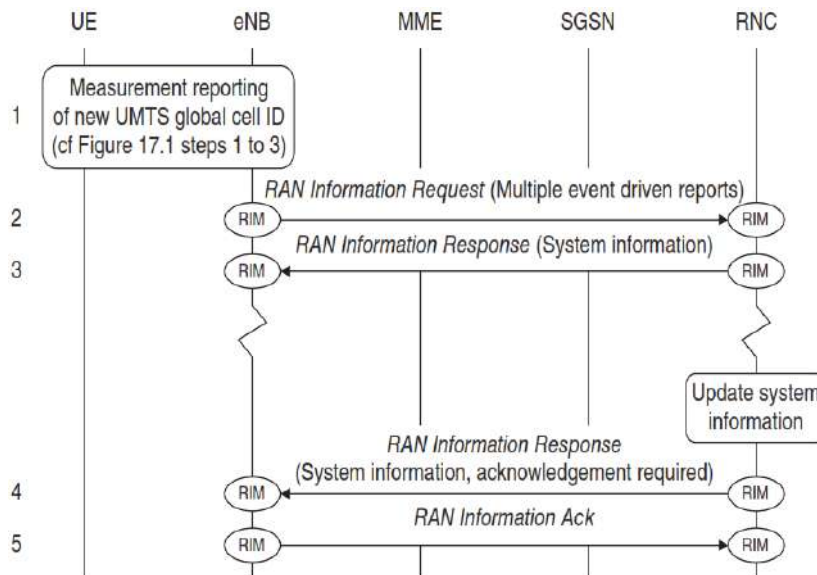
می‌دهد. در بالاترین سطح، مشخصات 3GPP، کاربردهای و برنامه‌های RIM مختلفی برای هدایت و کنترل انواع مختلفی از اطلاعات را تعریف می‌کنند. این برنامه‌ها به یک ایستگاه پایه LTE اجازه می‌دهند تا اطلاعات سیستمی سلول‌های همسایه UMTS و GSM را یافته و قابلیت‌های شبکه‌های خود بهینه‌سازی را برای پوشش داده تعامل بهینه با آنها را به کار بگیرد.

۱۷-۴-۲ انتقال اطلاعات سیستمی

شکل ۱۷-۶ یک فرایند سیگنالینگ را برای استفاده از این روشن را نشان می‌دهد. در این شکل یک فرایند دو مرحله وجود دارد در مرحله اول، یک سلول جدید LTE اقدام به شناسایی و کشف یکی از سلول‌های همسایه UMTS می‌کند و آن را در لیست همسایه‌های خود برای اشیاء اندازه‌گیری 3G خود اضافه می‌کند. در مرحله دوم، این ایستگاه پایه یک فرایند RIM را به کار می‌برد تا اطلاعات سیستمی همسایه را در خواست کند.

این فرایند زمانی آغاز می‌شود، که ایستگاه پایه یک گزارش اندازه‌گیری درباره یک همسایه UMTS دریافت می‌کند، که قبلاً از وجود آن خبر نداشت. موبایل در ابتدا سلول را خود به تنهایی با آنکه در حالت RRC_IDLE بوده پیدا کرده است. با این حال، پس از آن که به حالت RRC_CONNECTED می‌رود، اندازه‌گیری خود از آن سلول را ادامه می‌دهد. موبایل سلول مذکور را با استفاده از شناسه فیزیکی 3G آن توصیف می‌کند. ولی ایستگاه پایه آن را تشخیص نمی‌دهد و اطلاعات بیشتری را از موبایل درخواست می‌کند. در پاسخ، موبایل فرایند تملک سلول 3G خود را تکمیل کرده، اطلاعات سیستمی سلول را می‌خواند و شناسه عمومی سلول، کد موقعیت مکانی^۱، کد ناحیه مسیریابی و شناسه PLMN را بر می‌گرداند (۱). حال ایستگاه پایه می‌تواند موبایل را به سلول جدید منتقل کند. همچنین این سلول می‌تواند سلول 3G مذکور را به لیست اشیاء اندازه‌گیری 3G خودش اضافه کند. بنابراین آن سلول از این به بعد می‌تواند توسط موبایل‌هایی که قبلاً در حالت RRC_CONNECTED بوده‌اند، اندازه‌گیری شود.

1. Location Area Code



شکل ۱۷-۶ انتقال اطلاعات سیستمی از یک سلول جدید UMTS به LTE

حال سلول LTE می‌تواند، درخواست اطلاعات RAN RIM ^۱ را بسازد، که در آن گزارش‌دهی مبتنی بر رویداد اطلاعات سیستمی سلول جدید را می‌پرسد (۲). شبکه این پیام را به کنترل کننده شبکه رادیویی مقصد، با ضمیمه کردن آن پیام در داخل یک پیام انتقال اطلاعات مستقیم $S1-AP$ eNB یا $GTP_{v1}-C$ ، یک پیام تقویت اطلاعات $GTP_{v2}-C$ RNA^۳ و یک پیام انتقال اطلاعات مستقیم $Iu-PS$ ^۴ منتقل می‌کند. پس از آن، RNC جواب را بر می‌گرداند (۳)، ایستگاه پایه می‌تواند این اطلاعات سیستمی را در طول فرایند قطع ارتباط RRC با تغییر جهت آن، که در فصل پانزدهم بیان شد به موبایل ارسال کند، که این کار برای افزایش سرعت آن فریند انجام می‌گیرد. بعد از آن، RNC می‌تواند آن اطلاعات سیستمی را به روزرسانی کند. چون که درخواست قبلی برای گزارش‌دهی متنی بر رویداد چندگانه بوده است. RNC ایستگاه پایه LTE را در جریان قرار می‌دهد (۴) و برای اطمینان از تحویل قابل اعتماد یک تأییدیه را از ایستگاه پایه LTE درخواست می‌کند.

1. RIM RAN Information Request
2. S1-AP Enb Direct Information
3. Gtpv1-C Gtpv-2 RNA Information Relay
4. Iu-PS Direct Information Transfer

۱۷-۴-۳ انتقال داده خود بهینه‌سازی

ما می‌توانیم فرایندهای یکسانی را برای انتقال سه نوع از داده‌های خود بهینه‌سازی استفاده کنیم. اول، شبکه‌های دسترسی رادیویی می‌توانند اطلاعات بار سلول را برای پشتیبانی از توازن بار قابلیت تحرک با همدیگر ردوبدل کنند. یک سلول LTE می‌تواند ظرفیت گروهی در دسترس ترکیبی را گزارش دهد درحالی که، سلول‌های UMTS و GSM اطلاعات مشابهی را به نام *اطلاعات گروهی بار سلول*^۱ را گزارش کنند.

دوم، شبکه‌های دسترسی رادیویی می‌توانند اطلاعات را برای پشتیبانی از بهینه‌سازی قابلیت تحرک پایدار مخابره کنند تا به آنها در یافتن دست به دست بین سیستمی (تعاملی) غیرضروری کمک کند. بعد از یک انتقال از LTE به GSM یا UMTS، شبکه دسترسی رادیویی جدید می‌تواند از موبایل بخواهد تا به اندازه‌گیری توان سیگنال دریافتی از سلول‌های LTE مجاور ادامه دهد. در صورتی که، توان سیگنال به اندازه کافی بالا باشد، شبکه می‌تواند به ایستگاه پایه LTE بگوید، که دست به دست کردنی که اخیراً آغاز کرده است، غیرضروری است. ایستگاه پایه یک سری از چنین گزارشاتی را برای تنظیم حد آستانه‌های گزارش اندازه‌گیری خودش استفاده می‌کند.

سومین نوع از اطلاعات، مخابره اطلاعات بین شبکه‌های دسترسی رادیویی برای پشتیبانی از صرفه‌جویی در انرژی شبکه‌های تعاملی است. این فرایند مثل روش صرفه‌جویی انرژی در LTE است، که قبلاً به آن اشاره شده است. این کار به یک سلول اجازه می‌دهد، تا هنگامی که خاموش می‌شود یا از یک همسایه‌ای می‌خواهد تا آن را روشن کند، را گزارش می‌دهد.

۱۷-۵ کمینه‌سازی درایو تست

اپراتورهای شبکه به طور سنتی برای ارزیابی ناحیه تحت پوشش شبکه‌های رادیویی خود، تجهیزات اندازه را ناحیه پوششی مد نظر خود می‌گردانند، که این روش به نام درایو تست شناخته می‌شد. که این کار پر هزینه و زمان بر است. گزارش‌های این روش، تنها به محدوده پوششی که تجهیزات درایو تست گردانده می‌شود، محدود شده و هیچگونه اطلاعاتی در مورد نواحی سرپوشیده شبکه ارایه نمی‌دهند. با این حال، اپراتورهای شبکه یک وسیله اندازه‌گیری را در شکل و شمایل موبایل کاربران را استفاده می‌کنند. در تکنیکی که در نسخه دهم ارایه شد، روشی به نام *کمینه‌سازی درایو تست (MDT)*^۲ ارایه

1. Cell Load Information Group

2. Drive Test Minimization

شده است [۲۰-۲۲]، که در آن یک اپراتور می‌تواند از موبایل‌ها بخواهد اندازه‌گیری‌های ترکیبی‌شان را برگرداند یا حتی این اندازه‌گیری‌های را جایگزین اطلاعات درایوتست بکند.

به عنوان بخشی از فرایند جلب نظر مشتری^۱، اپراتورهای مجبور هستند، با استفاده از موبایل کاربران، درایو تست را به حداقل برسانند. شبکه اطلاعات مربوطه را در سرور خانگی مشترکین نگهداری می‌کند و قبل از فعال‌سازی اندازه‌گیری آنها را بررسی می‌کند.

اگر کاربر اجازه دهد، دو نوع اندازه‌گیری وجود دارد. یکی اندازه‌گیری آنی برای موبایل‌های که در حالت RRC_CONNECTED است و دیگری اندازه‌گیری حاصل از ثبت رویداد کاربران برای حالت RRC_IDLE می‌باشد. این اندازه‌گیری، همان روشی را استفاده می‌کند، که ما در فصل چهاردهم دیدیم. موبایل RSRP یا RSRQ را اندازه‌گیری کرده و به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. همچنین این گزارش شامل همه داده‌های مکان‌های در دسترس می‌باشد، ولی دلیلی برای اندازه‌گیری همه نواحی وظیفه MDT نیست. پس از آن، ایستگاه پایه می‌تواند این اطلاعات را به سیستم مدیریت برگرداند تا با استفاده از روش‌های بررسی گزارش مدیریت شبکه، آنها را بررسی کند.

علاوه بر این ایستگاه پایه می‌تواند یک پیام RRC را به نام پیکربندی/اندازه‌گیری ثبت واقع^۲ را به یک موبایل فعال ارسال کند تا بتواند زمانی که موبایل به حالت RRC_IDLE می‌رود، اندازه‌گیری‌های ثبت واقع را پیکربندی کند. در حالت غیرفعال، موبایل اندازه‌گیری‌های خود را به صورت دوره‌ای انجام می‌دهد، که یک چرخه چندگانه از دریافت غیر پیوسته است؛ سپس این اطلاعات را به صورت ثبت به همراه برچسب‌های زمانی و داده‌های هر منطقه در دسترس ذخیره می‌کند. هنگامی که موبایل در دفعه بعد یک ارتباط RRC برقرار می‌کند، می‌تواند داده‌ها ثبت وقایع اندازه‌گیری‌های خود را در فیلد یک پیام اتمام تنظیمات ارتباط RRC قرار دهد و آن را به ایستگاه پایه ارسال کند، سپس ایستگاه پایه می‌تواند ثبت وقایع مربوط به اندازه‌گیری را از روی فرایند اطلاعات RRCUE بازیابی کند و مثل قبل آن را به سیستم مدیریت ارسال کند.

در مشخصات نسخه یازدهم کمیته‌سازی درایو تست پیشرفته دو روش دارد. اول، موبایل اندازه‌گیری‌های اضافی را به ایستگاه پایه برمی‌گرداند. نرخ گذردهی داده لینک فراسو و لینک فروسو کاربران نشان دهنده کیفیت سرویس آنهاست، حجم داده لینک فراسو و لینک فروسو بیانگر جاهایی است، که ترافیک متمرکز شده است، حداکثر توان لینک فراسو بیانگر پوشش لینک فراسو و در نهایت تعداد از دست رفتن لینک‌های رادیویی و ارتباطات RRC اطلاعات بیشتری درباره هرگونه نقاط کور

1. Customer Care

2. Logged Measurement

پوششی است. ثانیاً، شبکه می‌تواند به موبایل بگوید، که اندازه‌گیری‌ها را انجام داده و موقعیت خود را تنها برای اهداف کمینه‌سازی درایو تست برگرداند. این کار باعث تولید اطلاعات ارزشمند بیشتری برای اپراتور موبایل می‌شود؛ ولی مصرف توان موبایل را افزایش می‌دهد. این کار را می‌توان به عنوان گزینه اضافی در سرور خانگی مشترکین (HSS) مدیریت کرد.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TR 36.902 (2011) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions, Release 9, April 2011.
2. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 22, September 2013.
3. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, September 2013.
4. Hamolcinen, S., Sanneck, H. and Sartori, C. (2011) *LTE Self-Organizing Networks: Network Management Automation for Operational Efficiency*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
5. Ramiro, J. and Hamied, K. (2011) *Self-Organizing Networks: Self Planning, Self Optimization and Self Healing for GSM, UMTS and LTE*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
6. 4G Americas (2011) *Self-Optimizing Networks: The Benefits of SON in LTE*, July 2011.
7. 3GPP TS 32.501 (2012) Telecommunication Management; Self-Configuration of Network Elements; Concepts and Requirements, Release 11, Section 6.4.2, September 2012.
8. 3GPP TS 32.762 (2013) Telecommunication Management; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Network Resource Model (NRM)

- Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS), Release 11, Section 6, March 2013.
9. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Release 11, Section 8.7.3, September 2013.
 10. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 22.3.3, September 2013.
 11. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Section 8.3.3, September 2013.
 12. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Section 8.3.1, September 2013.
 13. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Section 8.3.6, 8.3.7, September 2013.
 14. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Sections 8.3.8, September 2013.
 15. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Sections 8.3.9, 8.3.10, September 2013.
 16. 3GPP TS 36.423 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 Application Protocol (X2AP), Release 11, Sections 8.3.5, 8.3.11, September 2013.

17. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.15, September 2013.
18. 3GPP TS 48.018 (2013) General Packet Radio Service (GPRS); Base Station System (BSS) – Serving GPRS Support Node (SGSN); BSS GPRS Protocol (BSSGP), Release 11, Section 8c, September 2013.
19. 3GPP TS 36.413 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP), Sections 8.13, 8.14, Release 11, Annex B, September 2013.
20. 3GPP TS 37.320 (2013) Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Measurement Collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall Description; Stage 2, Release 11, March 2013.
21. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.6.6, 5.6.7, 5.6.8, September 2013.
22. 3GPP TS 32.422 (2013) Telecommunication Management; Subscriber and Equipment Trace; Trace Control and Configuration Management, Release 11, Sections 4.2.8, 6, July 2013.

فصل هجدهم: بهبود یاد‌نسخه نهم

هنگامی که مشخصات برای LTE نسخه هشتم نوشته می‌شد، رقابت بین LTE و WiMAX برای پشتیبانی از اپراتورهای شبکه و تجهیزات سازندگان در اوج خود بود. از این دیدگاه رقابتی، قابل درک بود، که 3GPP بخواند تا مشخصات نسل هشتم را قبل از آنها نهایی کند. برای رسیدن به این هدف، آنها برخی از ویژگی‌های جانبی این سیستم را به نسخه نهم واگذار کردند، که در دسامبر سال ۲۰۰۹ نهایی شد.

این فصل قابلیت‌هایی را که برای اولین بار در نسخه نهم معرفی شد، را پوشش می‌دهد. از این قابلیت‌ها می‌توان به سرویس چند رسانه‌ای پخش سراسری/ سرویس چند بخشی، سرویس‌های موقعیتی و شکل‌دهی طیف دو لایه‌ای اشاره کرد. مطالب مربوط به نسخه نهم در مشخصات 3GPP مربوط به آن خلاصه‌سازی شده است [۱] و یک بررسی مفیدی در قالب فایل‌های منظم وجود دارد، که توسط 4G آمریکا به روزرسانی شده است [۲].

۱-۱۸ سرویس چند رسانه‌ای پخش سراسری/ چند بخشی (MBMS)

۱-۱-۱۸ مقدمه

شبکه‌های سلولی موبایل معمولاً برای سرویس‌های ارتباطی یک به یک مثل تماس‌های تلفنی و جستجوی صفحات وب استفاده شد، اما آنها می‌توانند برای سرویس‌های یک به چند نظیر تلویزیون موبایلی نیز به کار بروند. دو نوع سرویس یک به چند وجود دارد. سرویس‌های چند بخشی سراسری^۱، که برای همگان در دسترس است، ولی سرویس‌های چند بخشی^۲ تنها برای کاربرانی که در گروه‌های چند بخشی عضو شده‌اند، قابل دسترسی می‌باشد. سرویس‌های پخش سراسری و چند بخشی نیازمند روش‌های متفاوت‌تری از تک پخش‌های سنتی می‌باشند. برای مثال، شبکه باید با استفاده از IP چند بخشی داده‌ها را توزیع کند. درحالی که، باید روش‌های رمزنگاری اصلاح شوند تا هم کاربرانی که حق اشتراک دارند، بتوانند سرویس‌های چند بخشی و جریان‌های اطلاعاتی را دریافت کنند.

UMTS این روش‌ها را با استفاده از سرویس‌های چند رسانه‌ای پخش سراسری/ پخش چند بخشی (MBMS)^۳ اجرا کرده است، که در نسخه ششم 3GPP معرفی شده بود. اگرچه این

1. Broadcast Services

2. Multicast Services

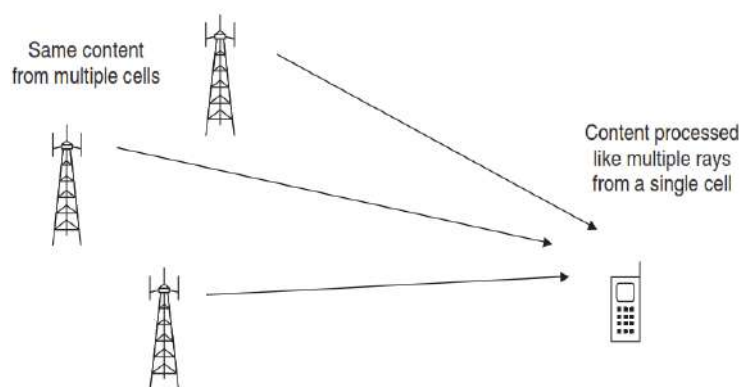
3. Multimedia Broadcast/Multicast Services

سرویس به شکل وسیعی مورد استقبال واقع نشد، اما در برخی از بازارها مثل ژاپن و کره جنوبی از مقبولیت عام برخوردار شد. سرویس چند رسانه‌ای پخش سراسری / چند پخش LTE در نسخه نهم معرفی شد و اغلب به نام MBMS تکامل یافته (eMBMS)^۱ نام برده می‌شود. جدای از نام سرویس، در حال حاضر LTE تنها از سرویس‌های پخش سراسری که نیازی به خرید اشتراک برای یک گروه سرویس چند پخش ندارند، پشتیبانی می‌کند.

برای انتقال جریان‌های داده MBMS، LTE از روشی به نام چندپخش / پخش سراسری روی یک شبکه تک فرکانسی (MBSFN)^۲ در واسط هوایی استفاده می‌کند. MBSFN به طور کامل در نسخه هشتم بیان شده بود، اما ما به طور کامل MBMS و MBSFN را در این فصل پوشش خواهیم داد تا دو مبحث مرتبط به همدیگر را در کنار هم داشته باشیم.

۱۸-۲ چند پخش / پخش سراسری روی یک شبکه تک فرکانسی

هنگامی که یک سرویس پخش سراسری یا چند پخش ارائه می‌شود، شبکه دسترسی رادیویی همان جریان اطلاعات را از سلول‌های همسایه زیادی پخش می‌کند، این روش متفاوت از روشی است، که در سیستم‌های مخابراتی موبایل اتفاق می‌افتد، که در آنها سلول‌های مجاور اطلاعات کاملاً متفاوت‌تر از سلول همسایه خود ارسال می‌کنند. LTE از این روش برای بهبود انتقال سرویس‌های پخش سراسری و چند پخش بهره‌برداری می‌کند، که با استفاده از روش MBSFN انجام می‌گیرد (شکل ۱۸-۱).



شکل ۱۸-۱ پخش سراسری / چند پخش روی تک فرکانس شبکه

1. Evolved MBMS
2. Multicast/Broadcast Over A Single Frequency Network

هنگامی که از MBSFN استفاده می‌شود، ایستگاه‌های مجاور همزمان هستند، بنابراین، آنها می‌توانند محتواهای یکسان را در یک زمان و در زیر حامل‌های یکسان پخش کنند. موبایل رونوشت‌هایی از اطلاعات را دریافت می‌کند، که آنها مشخص هستند، که در زمان‌های مختلفی رسیده‌اند و دارای فازها و دامنه‌های مختلفی هستند. پس، موبایل می‌تواند این اطلاعات را دقیقاً به همان روشی که ما قبلاً در فصل چهارم برای کنترل چند مسیری انجام می‌داد، پردازش می‌کند. حتی ممکن است، که موبایل بداند این اطلاعات از سلول‌های متعددی رسیده است. چون که سلول‌های زیادی در حال ارسال یک نوع اطلاعات هستند، در نتیجه، آنها باعث ایجاد تداخل در موبایل نمی‌شوند، در عوض، آنها به افزایش توان سیگنال دریافتی کمک می‌کنند، این عمل آنها باعث افزایش SINR و حداکثر نرخ داده می‌شود. به خصوص در گوشه سلول‌های که در آنها قدرت سیگنال تداخل‌کننده بیشتر می‌باشد. در ادامه، این عمل باعث رسیدن LTE به یک بهره‌وری طیفی هدف $1 \text{ bit s}^{-1} \text{ H}^{-1}$ برای ارایه اطلاعات MBMS می‌شود [۴]، که برابر با ۱۶ کانال تلویزیونی در یک پهنای باند 5MHz در یک نرخ بیت 300kbps به ازای هر کانال است.

۱۸-۱-۳ پیاده‌سازی MBSFN در LTE

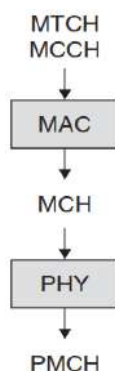
در LTE ایستگاه‌های پایه همزمان که در بالا اشاره شد، در یک ناحیه‌ای به ناحیه MBSFN^۱ قرار دارند، نواحی MBSFN روی هم پوشش دارند، بنابراین، یک ایستگاه پایه می‌تواند چندین مجموعه متعدد از محتوا را از مناطق MBSFN مختلف ارسال کند.

در هر ناحیه MBSFN، یک واسط هوایی LTE، MBMS را با استفاده از کانال‌های نشان داده شده در شکل ۱۸-۲ تحویل می‌دهد. که در اینجا، دو نوع کانال منطقی وجود دارد. کانال ترافیکی چند پخش، که ترافیک پخش سراسری مثل یک ایستگاه تلویزیون را بر عهده دارد، در حالی که کانال کنترل چند پخش، پیام‌های سیگنال‌یابی RRC را منتقل می‌کند، که توصیف کننده چگونگی انتقال این داده‌ها در کانال‌های ترافیکی یاد شده هستند. هر ناحیه MBSFN دارای یک کانال کنترلی چند پخش و یک کانال ترافیکی چند پخش است.

کانال‌های ترافیکی چند پخش و کنترل چند پخش از طریق کانال چند پخش (MCH) و کانال چند پخش فیزیکی (PMCH) منتقل می‌شوند. هر ناحیه MBSFN شامل چند نمونه از

1. MBSFN Area

PMCH است، که هر کدام از آن یا کانال ترافیکی چند پخش یا کانال کنترل چند پخش را کنترل می‌کند.



شکل ۱۸-۲ کانال‌های استفاده شده برای MBSFN و MBMS

در اینجا چند تفاوت جزئی بین روش‌های انتقال PMCH و PDSCH وجود دارد [۵]. از روش‌های MBSFN، که در بالا بیان شد، پشتیبانی می‌کند و همیشه از پیشوند چرخشی گسترده برای کنترل تأخیرات گسترده استفاده می‌کند، که این تأخیرات گسترده نتیجه استفاده از چند ایستگاه پایه می‌باشد و بر روی پورت ۴ آنتن منتقل می‌شود تا آن را از سایر انتقال‌ات ایستگاه پایه دور نگه دارد و از چندگانگی انتقال، مالتی پلکسینگ فضایی یا ARQ ترکیبی (HARQ) استفاده نمی‌کند. هر نمونه از این کانال‌ها یک طرح کدینگ و مدولاسیون ثابت استفاده می‌کند، که توسط پیام‌های سیگنالینگ RRC پیکربندی می‌شوند.

PMCH مجموعه‌ای متفاوت از سیگنال‌های مرجع را به کار می‌برد، که از نوع معمول متفاوت می‌باشد و به نام سیگنال‌های مرجع MBSFN^۱ شناخته می‌شوند. این سیگنال‌ها دارای برچسب‌هایی با شناسه ناحیه MBSFN هستند و به جای استفاده از شناسه فیزیکی سلول از این برچسب‌ها^۲ استفاده می‌کنند تا مطمئن شوند، که موبایل سیگنال‌های مرجع را که از سلول‌های مختلف می‌گیرد، به درستی با همدیگر ترکیب می‌کند.

تا به امروز MBMS تنها روی حامل‌هایی که با ترافیک تک پخش به اشتراک گذاشته شده‌اند، ارایه می‌شود. این عمل به وسیله مالتی پلکسینگ تقسیم زمانی (TDM) میسر شده است. در هر یک از

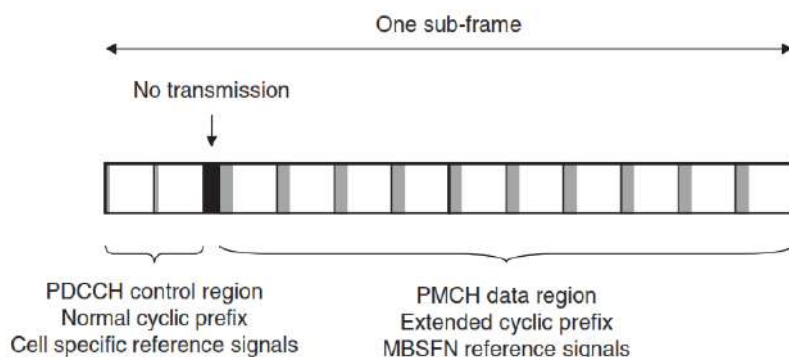
1. MBSFN Reference Signals

2. Tag

سلول‌ها، هر زیر فریم فروسو برای ترافیک تک پخش روی PDSH و یا برای ترافیک پخش سراسری روی PMCH، تخصیص داده شده است، که این کار طبق یک نگاشتی از آنچه که در SIB2 تعریف شده می‌باشد. به این ترتیب، یک زیر فریم، یا دارای PDSCH و یا PMCH است، اما هر دو را دارا نمی‌باشد. علاوه بر این، هر زیر فریم پخش سراسری تنها به یک ناحیه MBSFN تخصیص داده می‌شود. در داخل یک ناحیه MBSFN، هر زیرفریم پخش سراسری یا پیام‌های سیگنالینگ روی کانال کنترل پخش سراسری یا ترافیک چند پخش روی یک نمونه تکی از کانال ترافیکی چند پخش را منتقل می‌کنند. یک زیر فریم چند پخش هنوز با یک ناحیه کنترل PDCCH آغاز می‌شود، اما تنها برای زمان‌بندی لینک فراسو و دستورات کنترل توان لینک فراسو به کار می‌رود و فقط یک یا دو سمبل را اشغال می‌کند.

ناحیه کنترل دوره پیشوند چرخشی سلول (معمولی یا گسترده) سیگنال‌های مرجع ویژه سلول را استفاده می‌کند. سایر زیر فریم به وسیله PMCH اشغال می‌شود، که پیشوند چرخشی گسترده و سیگنال‌های مرجع MBSFN را استفاده می‌کند. شکل ۱۸-۳ ساختار شیار حاصل را که در آن ناحیه کنترل پیشوند چرخشی معمولی را استفاده می‌کند و دارای دو سمبل است، را نشان می‌دهد. باید دقت کرد، که شکاف در انتقال لینک فروسو به عنوان تغییرات سلول از یک دوره پیشوند چرخشی به یک پیشوند چرخشی دیگر است.

در نتیجه، باید در نظر داشت، که LTE نیز از سلول‌های که به MBMS تخصیص یافته است، پشتیبانی خواهد کرد، که این سلول‌ها تنها سیگنال‌های همزمانی و مرجع، کانال پخش سراسری فیزیکی و کانال چند پخش فیزیکی را به کار خواهند برد و از هیچ یک از انتقال‌های لینک فراسو پشتیبانی نخواهد کرد. این کاربردها هنوز به طور کامل تعریف و بهینه‌سازی نشده‌اند، اما لازم به ذکر است که، می‌توان از ساختارهای خاصی از این شیارها برای استفاده در سلول‌های بزرگ بهره برد. در ساختار این شیارها، فاصله زیر حامل‌ها به 7.5 KHz کاهش یافته است، که دوره سمبل را به 133.3 میکرو ثانیه افزایش داده و دوره پیشوند چرخشی تا ۳۳۰ میکروثانیه افزایش پیدا کرده است. این گزینه در مشخصات واسط هوایی نسخه هشتم به بعد ارایه شده است [۶]، که هنوز کاربردی نشده است و می‌توان به طور کامل از آن صرف نظر کرد.



شکل ۱۸-۳ مثالی از ساختار یک زیر فریم MBSFN، برای یک ناحیه کنترل دو سمبلی با استفاده از پیشوند چرخشی معمولی

۱۸-۱-۴ معماری MBMS

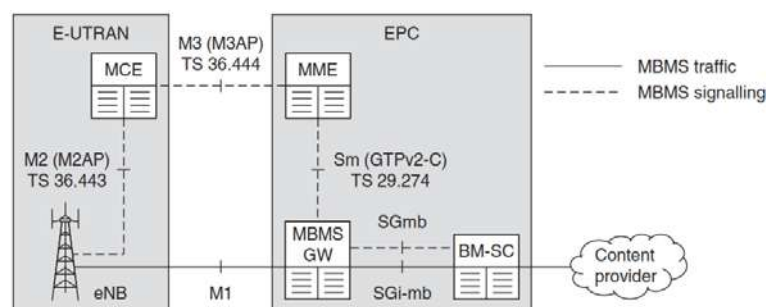
شکل ۱۸-۴ معماری را که برای ارائه MBMS روی LTE به کار می‌رود، را نشان می‌دهد [۷] و [۸]. مرکز سرویس چند پخششی/پخش سراسری (BM-SC)^۱ محتوای MBMS را از یک ارائه دهنده محتوا دریافت می‌کند. دروازه MBMS (MBMS-GW)^۲ این محتوا را به ایستگاه‌های پایه مناسب توزیع می‌کند، در حالی که، نهاد هماهنگی چند پخششی/پخش سراسری (MCE)^۳ انتقال‌ها از همه ایستگاه‌های پایه را در یک ناحیه MBSFN زمان‌بندی و برنامه‌ریزی می‌کند.

MB-SC آغاز هر نشست MBMS را با ارسال یک پیام سیگنالینگ در واسطه SGMB تعیین می‌کند. این واسطه توسط مشخصات 3GPP معرفی نشده است، اما این پیام کیفیت سرویس را توصیف کرده و به دروازه MBMS دستور می‌دهد تا منابع را برای آن سرویس از پیش ذخیره کند. این پیام در واسطه‌های Sm [۹]، M3 [۱۰] و M2 [۱۱] پخش می‌شود، که M2 همچنین طرح مدولاسیونی، نرخ کدینگ و زیر فریم تخصیص یافته را که ایستگاه‌های پایه در یک ناحیه MBSFN باید استفاده کنند، را تعریف می‌کند.

پس از آن، BM-SC داده را روی واسطه Sgi-mb با استفاده از IP چند پخششی، منتشر می‌کند. هر دروازه MBMS این داده‌ها را به ایستگاه پایه مناسب هدایت می‌کند، که از طریق M1 صورت می‌گیرد و به همراه سرایندی است، که زمان انتقال هر بسته با یک دقت 10 ms ارسال می‌شود [۱۲]. ایستگاه

1. Broadcast/Multicast Serviced Center
2. MBMS Gateway
3. Broadcast/Multicast Coordination Entity

پایه می‌تواند، با ترکیب این اطلاعات زمان‌بندی را که از نهاد هماهنگی چند پخش / پخش سراسری (MCE) دریافت کرده است، یک انتقال دقیق برای هر پیام را انجام دهد.



شکل ۱۸-۴ معماری MBMS در LTE

۱۸-۱-۵ عملکرد MBMS

بهترین روش برای درک عملکرد MBMS این است، که نگاهی به فرایندهای داخلی موبایل بیندازیم [۱۶-۱۳]. بعد از روشن شدن موبایل، SIB2 را می‌خواند. سپس، موبایل کشف می‌کند، که چه زیر حامل‌هایی روی PMCH برای انتقال‌های MBMS و چه زیر فریم‌های روی PDSCH برای انتقال‌های تک پخش ذخیره شده‌اند. زیر فریم‌های MBSFN با یک دوره از ۱ تا ۳۲ فریم تکرار می‌شوند. این زیر حامل‌ها تصادمی با زیر فریم‌هایی که توسط سیگنال‌های همزمان‌سازی یا کانال پخش فیزیکی یا با زیر فریم‌های فراخوانی ندارند.

اگر کاربر بخواهد سرویس‌های سراسری را دریافت کند، موبایل خواندن بلاک اطلاعات سیستمی جدید SIB13 را ادامه دهد. این SIB نواحی MBSFN را که سلول متعلق به آنهاست، را لیست می‌کند. برای هر ناحیه MBSFN، این SIB همچنین زیر فریم‌هایی را که کانال کنترل چند پخش را حمل می‌کنند و به همراه طرح مدولاسیونی و نرخ داده‌های انتقال را که آنها منتقل می‌کنند، را تعریف می‌کند.

حال موبایل می‌تواند کانال کنترل چند پخش که یک پیام سیگنالینگ RRC و پیکربندی ناحیه MBSFN^۱ را منتقل می‌کنند، را دریافت کند. این پیام لیستی از کانال‌های چند پخش فیزیکی را که ناحیه MBSFN به کار می‌برد، را ارائه می‌دهد. برای هر PMCH، این پیام لیستی از کانال‌های ترافیکی چند پخش مربوطه را ارائه می‌دهد و زیر فریم‌هایی را که استفاده خواهند شد،

1. MBMS Radio Network Temporary Identifier

طرح مدولاسیون، نرخ کدینگ و یک پارامتر دیگری به نام دوره زمان‌بندی MCH که بین ۸ تا ۱۰۲۴ قدیم قرار دارد، را تعریف می‌کند.

حال موبایل می‌تواند هر نمونه از $PMCH$ را دریافت کند. اما هنوز باید یک بخش دیگر از اطلاعات را پیدا کند، یعنی روشی را باید بیابد، که زیر فریم‌های $PMCH$ در میان کانال‌های ترافیکی متعدد مختلفی که موبایل حمل می‌کند، به اشتراک گذاشته می‌شود. ایستگاه پایه این اطلاعات را در یک عنصر کنترلی MAC جدید به نام *اطلاعات زمان‌بندی MCH* ^۱ قرار می‌دهد. ایستگاه پایه این اطلاعات را در ابتدای هر دوره زمان‌بندی MCH منتقل می‌کند. هنگامی که ایستگاه پایه این عنصر کنترلی را می‌خواند، موبایل می‌تواند هر نمونه از $MTCH$ را دریافت کند. اگر محتوای کانال کنترل چند بخشی تغییر کند، پس ایستگاه پایه با نوشتن یک دستور زمان‌بندی $PDCCH$ موبایل را آگاه می‌کند، این عمل را با استفاده از نوع دیگری از قالب DCI به نام iC انجام می‌دهد و آن را در شناسه موقت شبکه رادیویی $(M-RNTI)MBMS$ ^۲ آدرس‌دهی می‌کند.

دو پیشرفت اصلی در نسخه‌های اخیر برای $MBMS$ وجود دارد، نسخه دهم فرایندی به نام شمارش $MBMS$ ^۳ را به آن اضافه می‌کند، که شبکه می‌تواند کشف کند، تا چه تعداد موبایل‌هایی علاقه‌مند به استفاده از سرویس $MBMS$ هستند تا توجیهی برای انتقال آنها با استفاده از $MBSFN$ داشته باشد. نسخه یازده اجازه می‌دهد تا شبکه یک سرویس $MBMS$ را در یک ناحیه کوچکتر از ناحیه $MBSFN$ ارسال کند. در صورتی که، این سرویس مربوط به برخی از نقاط نه همه نقاط باشد، سلول سرویس‌هایی را که پشتیبانی می‌کند، را از طریق یک بلاک اطلاعات سیستم جدید به نام $SIB15$ اعلام می‌کند.

۱۸-۲ سرویس‌های موقعیتی

۱۸-۲-۱ مقدمه

سرویس‌های موقعیتی (LCS) ^۴ [۱۷ و ۱۸] همچنین با نام سرویس‌های مبتنی بر موقعیت (LBS) ^۵ نیز شناخته می‌شوند، به سرویس‌هایی اطلاق می‌شوند، که یک برنامه کاربردی یا یک سرویس بر

-
1. MCH Scheduling Information
 2. MBMS Radio Network Temporary Identifier
 3. MBMS Counting
 4. Location Services
 5. Location Based Services

اساس موقعیت جغرافیایی برای یک موبایل در دسترس قرار می‌گیرد. UMTS از سرویس‌های موقعیتی از نسخه نود و نهم به بعد پشتیبانی می‌کرد، اما این سرویس‌ها در نسخه نهم برای LTE معرفی شدند.

اصلی‌ترین هدف از ارایه این سرویس‌ها، تنها تماس‌های اضطراری است. این موضوع مخصوصاً در ایالت متحده آمریکا (USA) بسیار مهم می‌باشد، که در آنجا، سازمان فدرال ارتباطات ایالت متحده (FCC) اپراتورهای تلفن همراه را ملزم می‌کند تا یک تماس تلفنی ضروری را با دقتی بین ۵۰ تا ۳۰۰ متر را با توجه به فناوری محلی که استفاده می‌کنند، را پشتیبانی کنند [۱۹]. همچنین سرویس‌های موقعیتی برای کاربران نیز دارای ارزش هستند، که برنامه‌های کاربردی مثل ناوبری و بازی‌های تعاملی را در اختیار آنها قرار می‌دهند. برنامه‌های کاربردی دیگر دارای ردیابی توسط پلیس یا سرویس‌های امنیتی و استفاده از موقعیت تلفن همراه برای پشتیبانی از توابع مبتنی بر شبکه مثل دست به دست کردن از سرویس‌های موقعیتی موبایل هستند.

۱۸-۲-۲ روش‌های تعیین موقعیت

LTE همگام با سایر سیستم‌های مخابراتی دیگر، می‌تواند به سه روش موقعیت کاربر یا یک موبایل را محاسبه کند. روش بسیار دقیق و در حال افزایش، استفاده از سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS)^۱ است، که مجموعه‌ای از سیستم‌های ناوبری مثل سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)^۲ می‌باشند. دو نوع دیگر از این روش‌ها وجود دارند، که با روش مبتنی بر موقعیت UE^۳، موبایل گیرندگی کاملی از ماهواره دارد و از روی آن موقعیت خودش را محاسبه می‌کند. شبکه نیز می‌تواند اطلاعات مکانی موبایل را برای کمک به محاسبه موقعیت موبایل مثل یک تخمین اولیه‌ای از موقعیت آن و لیستی از ماهواره‌های قابل رؤیت را به موبایل ارسال می‌کند. با موقعیت‌یابی کمکی UE^۴، موبایل یک گیرنده پایه‌ای از ماهواره را در اختیار دارد. در نتیجه می‌تواند مجموعه‌ای اولیه‌ای از اندازه‌گیری‌ها را به شبکه ارسال می‌کند و شبکه موقعیت فعلی آن را محاسبه می‌نماید، با به کار گیری این روش‌ها، دقت اندازه‌گیری به ده متر کاهش پیدا می‌کند.

-
1. Global Navigation Satellite System
 2. Global Position System
 3. UE-Based Positioning
 4. UE-Assisted Positioning

دومین روش، به نام موقعیت‌یابی لینک فرسوسو یا اختلاف زمان بین مشاهده شدن و رسیدن (OTDOA)^۱ است. در این روش، موبایل زمان رسیدن سیگنال‌ها از سلول سرویس دهنده خودش و سلول‌های مجاورش را اندازه می‌گیرد تا مشاهده کند، که کدام سیگنال زودتر می‌رسد و این اختلاف زمانی را به شبکه اطلاع می‌دهد. سپس شبکه موقعیت موبایل را به وسیله روابط مثلثاتی محاسبه می‌کند. اندازه‌گیری‌های زمانی از روی سیگنال مرجع جدیدی به نام سیگنال‌های مرجع موقعیت‌یابی^۲ ساخته می‌شوند [۲۰]، که بر روی پورت جدیدی به نام پورت ۶ آنتن ارسال می‌شوند. دقت این موقعیت‌یابی با چند مسیری محدود شده و چیزی در حدود ۱۰۰ متر می‌باشد [۲۱]. بنابراین، این روش به سختی می‌تواند نیازمندی‌های سازمان ارتباطات فدرال ایالت متحده آمریکا (US-FCC) را فراهم کند. معمولاً از آن به عنوان یک پشتیبانی برای موقعیت‌یابی ماهواره‌های استفاده می‌شود، به عنوان مثال در صورتی، که یک موبایل به دلیل محصور شدن در بین ساختمان‌های بلند یا در مکان‌های سرپوشیده، سیگنال‌های ماهواره‌ای مناسبی را نمی‌گیرد، این روش استفاده می‌شود. نسخه یازدهم یکی دیگر از روش‌های موقعیت‌یابی به نام اختلاف زمانی سیگنال رسیدن لینک فراسو (UT POA)^۳ را معرفی کرده است، که در آن، شبکه با استفاده از سیگنال مرجع صداگذاری که از ایستگاه‌های پایه مختلف به موبایل می‌رسند، موقعیت آن را محاسبه می‌کند.

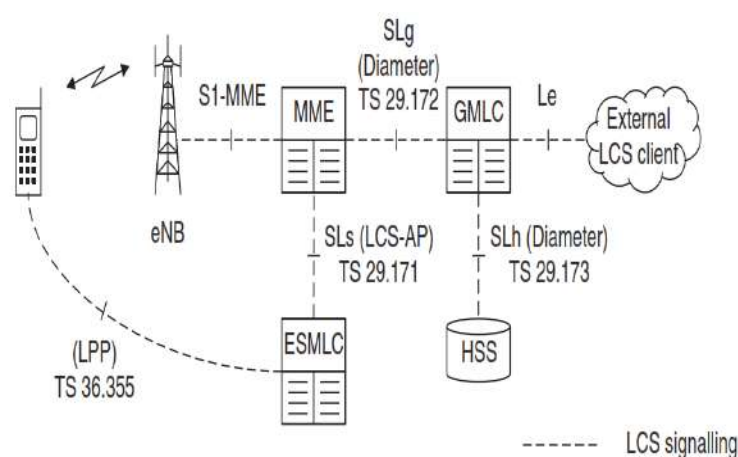
آخرین روش موقعیت‌یابی، موقعیت‌یابی پیشرفته شناسه سلول^۴ است. در این روش، شبکه موقعیت موبایل را از روی اطلاعات خود از شناسه سلول سرویس دهنده و سایر اطلاعات اضافی مثل تنظیم پیش‌برد زمانی موبایل تخمین می‌زند، دقت این موقعیت‌یابی بستگی به اندازه سلول دارد، در فمتوسل‌ها این دقت بسیار بالاست (موقعیت سلول به طور واقعی مشخص است) و در ماکروسل‌ها بسیار ضعیف می‌باشد.

۱۸-۲-۳ معماری سرویس تعیین موقعیت

شکل ۱۸-۵ مهم‌ترین تجهیزات سخت‌افزاری که LTE برای سرویس‌های تعیین موقعیت به کار می‌برد، را نشان می‌دهد [۲۲-۲۳]. مرکز موقعیت دروازه موبایل (GMLC)^۵ درخواست‌های

-
1. Download Positioning or Observed Time Difference of Arrival
 2. Positioning Reference Signals
 3. Uplink Time Difference Of Arrival
 4. Enhanced Cell ID Positioning
 5. Gateway Mobile Location Center

موقعیت‌یابی را از کاربران خارجی در واسطه LTE دریافت می‌کند. سپس شناسه MME سرویس-دهنده موبایل را از روی سرور خانگی مشترکین (HSS) بازیابی می‌کند و در خواست موقعیت‌یابی را به آن منتقل می‌سازد. در ادامه MME مسئولیت محاسبه موقعیت موبایل را به مرکز سرویس‌دهنده پیشرفته موقعیت‌یابی موبایل (E-SMLC)^۱ محول می‌کند.



شکل ۱۸-۵ معماری برای سرویس‌های تعیین موقعیت در LTE

دو جزء دیگر نیز وجود دارند، که می‌توانند جدا از هم یا در داخل GMLC یکپارچه شده باشند. پروفایل ثبت حریم خصوصی (PPR)^۲ دارای جزئیات اطلاعات محرمانه کاربران است و تعیین می‌کند، که چه درخواست تعیین موقعیتی از سوی یک مشتری خارجی قابل قبول می‌باشد. دستگاه میانجی مستعار (PMD)^۳ شناسه IMSI یک موبایل را از روی شناسه‌ای که برای کاربر خارجی فراهم شده، استخراج می‌کند.

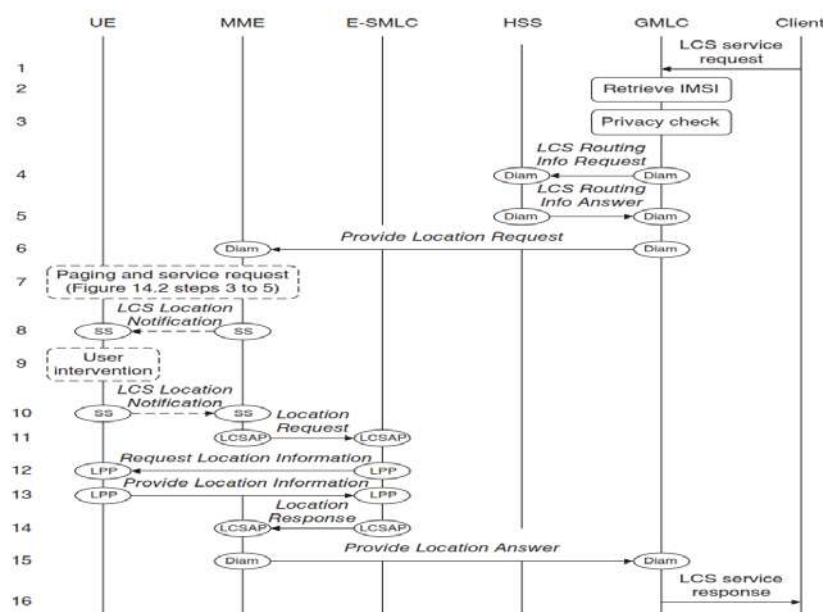
این معماری چندین پروتکل سیگنالینگ را استفاده می‌کند. GMLC با استفاده از برنامه‌های کاربردی قطری با HSS و MME ارتباط برقرار می‌کند [۲۴-۲۵]. در حالی که، MME از طریق پروتکل برنامه کاربردی LCS (LCS-AP)^۴ با E-SMLC ارتباط برقرار می‌کند [۲۶]. همچنین MME می‌تواند اطلاعات مربوط به موقعیت‌یابی را از طریق پیام‌های سرویس‌های مکمل (SS)^۵ به موبایل ارسال می‌کند، که این پیام‌ها در داخل پیام‌های EMM ضمیم شده و روی واسطه هوایی

1. Evolved Serving Mobile Location Center
2. Privacy Profile Register
3. Pseudonym Mediation Device
4. LCS Application Protocol
5. Supplementary Services

ارسال می‌شوند [۲۷]. E-SMLC از طریق پروتکل تعیین موقعیت *LTE (LPP)*^۱ با موبایل و ایستگاه پایه تماس می‌گیرد [۲۸]. پیام‌های موبایل و ایستگاه پایه در داخل یک پروتکل سطح پایین LCS-AP و پیام EMM ضمیمه شده و ارسال می‌گردد. GMLC می‌تواند با روش‌های مختلف مثل معماری سرویس‌باز (OSA)^۲ با یک کاربر مشترک خارجی ارتباط برقرار کند.

۱۸-۲-۴ فرایندهای سرویس تعیین موقعیت

برای توصیف عمل کرد یک سرویس تعیین موقعیت، شکل ۱۸-۶ چگونگی پاسخ شبکه به درخواست تعیین موقعیت با کاربر خارجی را نشان می‌دهد [۲۹]. در این شکل فرض بر این است، که موبایل در رومینگ نیست و GMLC می‌تواند به طور مستقیم با MME سرویس دهنده ارتباط برقرار کند. همچنین در این شکل فرض شده، که از یک روش تعیین موقعیت مبتنی بر موبایل UE یا به کمک موبایل مثل GNSS یا OTDOA استفاده شده است.



شکل ۱۸-۶ فرایند درخواست تعیین موقعیت در حالی که موبایل آن را دبه اتمام می‌رساند

منبع: TS 23.271 بازنشر با مجوز ETSI

1. LCS . Application Protocol
2. Open Service Architecture

این فرایند زمانی آغاز می‌شود، که یک مشترک خارجی از GMLC می‌خواهد تا موقعیت یک موبایل را از طریق آدرس IP آن شناسایی کند (۱). GMLC در ادامه IMSI موبایل را از دستگاه میانجی مستعار بازیابی می‌کند (۲) و از پروفایل ثبت حریم خصوصی درباره این که چه درخواست تعیین موقعیتی را می‌تواند قبول کند، تحقیق می‌کند (۳). پس از آن، شناسه MME سرویس‌دهنده موبایل را از طریق سرور خانگی مشترک بازیابی می‌کند (۴ و ۵) و درخواست تعیین موقعیتی را که می‌تواند قبول کند، پرس و جو می‌کند (۶). به عنوان بخشی از این پیام، می‌تواند کیفیت سرویس تعیین موقعیت را از نظر دقت و زمان پاسخگویی، از روی اطلاعاتی که یا از طریق کاربر و یا از داده‌های اشتراکی کاربر به دست می‌آورد، مشخص کند. اگر موبایل در حالت ECM-LDLE باشد. MME آن را از طریق فرایند فراخوانی بیدار می‌کند تا موبایل از طریق آغاز یک درخواست سرویس پاسخ دهد (۷). اگر اطلاعات محرمانه حریم خصوصی مشخص کند، که کاربر باید توسط یک درخواست تعیین موقعیت هشدار داده شود، در این صورت، MME یک پیام هشدار را به موبایل ارسال می‌کند (۸). موبایل از کاربر می‌پرسد، که چه درخواستی را می‌تواند بپذیرد (۹) و جواب کاربر را به MME انتقال می‌دهد (۱۰). مگر اینکه کاربر اجازه ندهد، MME یک E-SMLC را انتخاب کرده و درخواست تعیین موقعیت را به آن ارسال می‌کند (۱۱). این پیام دارای قابلیت‌های تعیین موقعیت موبایل است، که با عنوان بخشی از قابلیت‌های قشر غیردسترسی (NAS) در طول یک فرایند ارتباط به شبکه می‌باشد.

با استفاده از قابلیت‌های موبایل و کیفیت سرویس درخواستی، E-SMLC تصمیم می‌گیرد تا چه روش تعیین موقعیت را به کار گیرد. با در نظر گرفتن روش مبتنی بر موبایل (UE) یا به کمک موبایل، یک درخواست تعیین موقعیت را به موبایل ارسال می‌کند (۱۲). در پاسخ، E-SMLC روش تعیین موقعیت انتخابی را مشخص کرده و اطلاعاتی که برای مواردی نظیر ماهواره‌های قابل رؤیت یا سیگنال‌های مرجع تعیین موقعیت که از ایستگاه پایه مجاور ارسال می‌شود، را در اختیار موبایل قرار می‌دهد. این پیام با ضمیمه کردن در داخل یک پیام‌های سطح پایین LCS-AP و EMM به موبایل ارسال می‌شود.

موبایل اندازه‌گیری‌هایی را که خواسته شده را انجام داده و به E-SMLC جواب را برمی‌گرداند (۱۳) در ادامه، E-SMLC موقعیت تخمین زده شده را به مشترک برمی‌گرداند (۱۴)، (۱۵، ۱۶).

۱۸-۳ سایر بهبودها در نسخه نهم

۱۸-۳-۱ شکل‌دهی پرتو دو لایه

در LTE نسخه هشتم، ایستگاه پایه می‌توانست آنتن‌های چندگانه را در دو پیکربندی مجزا انجام دهد، که به نام مالتی پلسینگ فضایی معروف بود. در این روش، دو آنتن فاصله زیادی از هم داشتند یا دارای پولاریزاسیون مختلف بودند یا از شکل‌دهی پرتو استفاده می‌کردند، که در این وضعیت‌ها این آنتن‌ها فاصله کمی از هم داشتند. اما در پیاده‌سازی‌های عملی، ایستگاه پایه اغلب این پیکربندی‌ها را باهم ترکیب کرده و دو آرایه آنتن با فاصله فضایی کمتر اما پولاریزاسیون مختلف را استفاده می‌کند.

LTE در نسخه نهم، این آرایش آنتنی را به نام شکل‌دهی پرتو دو لایه^۱ معرفی کرد [۳۰-۳۲]. در این روش، ایستگاه پایه دو پرتو مستقل از هم را با استفاده از دو آرایه آنتنی که دارای پولاریزاسیون‌های مختلفی هستند می‌سازد و برای هر کدام یا جریان داده متفاوتی را ارسال می‌کند. موبایل این پرتوها را با به کار بردن دو آنتن دریافت کرده و با استفاده از روش‌های معمول مالتی پلسینگ فضایی جریان‌های داده دریافتی را بازسازی می‌کند. شکل‌دهی پرتو دو لایه از این رو نرخ داده دریافتی را دو برابر می‌کند و نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل بالایی را پشتیبانی می‌کند.

برای استفاده از شکل‌دهی پرتو دو لایه، ایستگاه پایه موبایل را در یک روش انتقال جدیدی به نام حالت هشت پیکربندی کرد و آن را با استفاده از قالب DCI جدید 2B برنامه‌ریزی می‌کند. پس از آن، یا با استفاده از دو پورت جدید شده ۷ و ۸ یا یکی از آنها اقدام به ارسال داده به موبایل می‌کند. این پورت‌های آنتن از یک مجموعه سیگنال‌های مرجع ویژه UE استفاده می‌کنند، که تنها روی بلاک‌های منابع فیزیکی ارسال می‌شوند، که موبایل آن را استفاده می‌کند و مشابه رفتاری که سیگنال‌های مرجع در حالت شکل‌دهی پرتو تک لایه‌ای روی پورت ۵ استفاده می‌کند، رفتار می‌نماید. مثل قبل، ایستگاه پایه همان سیگنال مرجع را با همان وزن‌های آنتنی که آن را برای PDSCH به کار می‌برد، در اینجا نیز استفاده می‌کند. بنابراین، این وزن‌ها برای موبایل شفاف بوده و به عنوان تأثیرات جانبی تخمین کانال حذف می‌شوند.

1. Dual Layer Beamforming

۱۸-۳-۲ سیستم هشدار تجاری موبایل

کمیسیون ارتباطات فدرال ایالت متحده آمریکا در سال ۲۰۰۶ در پاسخ به شبکه اعلان هشدار و واکنش آمریکا، سیستم هشدار تجاری موبایل (CMAS)^۱ را راه اندازی کرد. با استفاده از این سیستم، اپراتورهای عضو می توانند سه نوع پیام اضطراری را ارسال کنند: هشدارهای ریاست جمهوری، که در مواقع و شرایط اضطراری محلی یا منطقه ای و یا ملی هشدار منتشر می شوند و در مورد خطر قریب الوقوع و بلایای طبیعی مثل طوفان، کودکربایی و هشدارهای اضطراری اطلاع رسانی می کند.

نسخه نهم LTE از CMAS با تولید سیستم های هشدار سونامی و زلزله در یک سیستم هشدار عمومی (PWS)^۲ پشتیبانی می کند، که این سیستم هر دو نوع اطلاعات یاد شده را پوشش می دهد [۳۳]. ایستگاه پایه هشدارهای زلزله و سونامی را بر روی SIB10 و SIB11 ارسال می کند و هشدارهای تجاری موبایل را روی یک بلاک اطلاعات سیستمی جدید به نام SIB12 ارسال می نماید.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3rd Generation Partnership Project (2013) FTP Directory, http://ftp.3gpp.org/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/ (accessed 15 October 2013).
2. 4G Americas (2012) 4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and Beyond: HSPA+, SAE/LTE and LTE-Advanced, October 2012.
3. 3GPP TS 23.246 (2012) Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and Functional Description, Release 11, March 2012.
4. 3GPP TR 25.913 (2009) Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN), Release 9, Section 7.5, January 2009.
5. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 6.5, 6.10.2, September 2013.

1. Commercial Mobile Alert System
2. Pubwe Warning System

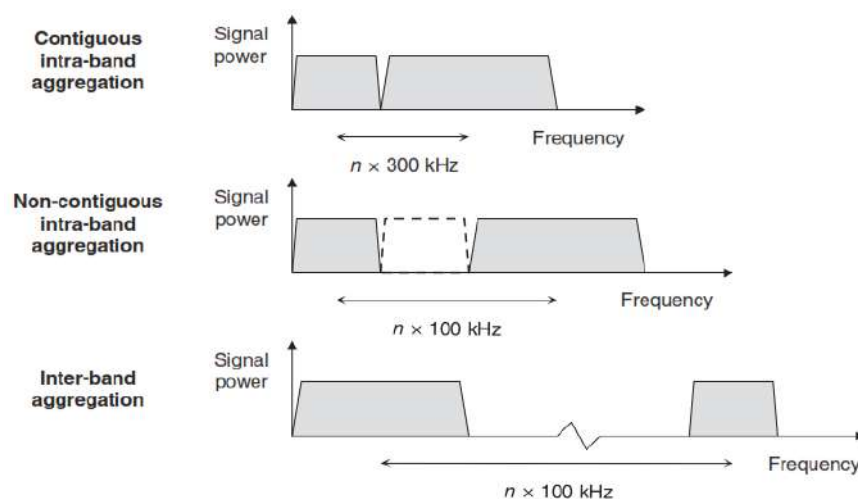
6. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 6.2.3, 6.10.2.2, 6.12, September 2013.
7. 3GPP TS 23.246 (2012) Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and Functional Description, Release 11, Sections 4.2.2, 4.3.3, 5, March 2012.
8. 3GPP TS 36.440 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); General Aspects and Principles for Interfaces Supporting Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) within E-UTRAN, Release 11, Section 4, March 2013.
9. 3GPP TS 29.274 (2013) 3GPP Evolved Packet System (EPS); Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control Plane (GTPv2-C); Stage 3, Release 11, Section 7.13, September 2013.
10. 3GPP TS 36.444 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); M3 Application Protocol (M3AP), M3 Application Protocol (M3AP), Release 11, June 2013.
11. 3GPP TS 36.443 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); M2 Application Protocol (M2AP), M2 Application Protocol (M2AP), Release 11, June 2013.
12. 3GPP TS 25.446 (2012) MBMS Synchronisation Protocol (SYNC), Release 11, September 2012.
13. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Sections 5.8, 6.2.2 (MBSFNAreaConfiguration), 6.3.1, 6.3.7, September 2013.
14. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Sections 5.12, 6.1.3.7, July 2013.
15. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 11, September 2013.

فصل نوزدهم: LTE پیشرفته و نسخه دهم

1. IMT-Advanced
2. LTE -Advanced
3. Heterogeneous Networks
4. Carrier Aggregation

هر کدام حداکثر 20 MHz پهنای باند دارند. این روش به نام *تجمیع حامل‌ها (CA)*^۱ معروف است [۴].

برای CA سه نوع سناریو وجود دارند، که در شکل ۱۹-۱ نشان داده شده است. *تجمیع درون‌باندی*^۲ که در آن، مؤلفه‌های حامل‌ها در باندهای فرکانسی مختلفی جاسازی شده‌اند و با چند فاصله ۱۰۰ کیلوهرتزی که معمولاً فاصله حامل‌های LTE هستند، از هم جدا می‌شوند. در *تجمیع/انتراباندی ناهم‌جوار*^۳، حامل‌ها در باند یکسانی هستند، در حالی که در *تجمیع/انتراباندی هم‌جوار*^۴، حامل‌ها در همان باند و در مجاورت همدیگر هستند. در سناریو سوم، حامل‌ها با یک مضرربی از 300 kHz از هم جدا شده‌اند و می‌توانند باهم متعامد باشند، که در فصل چهارم بیان شده است. بنابراین آن زیر حامل‌ها نسبت به یکدیگر عمود بوده و هیچگونه تداخلی نسبت به همدیگر ندارند.



شکل ۱۹-۱ حالت‌های تجمیع حامل‌ها

در اینجا چند محدودیت وجود دارد: در روش FDD، حامل‌های تخصیص یافته به لینک فراسو و لینک فروسو می‌توانند متفاوت باشند، اما همیشه تعداد مؤلفه‌های حامل‌های لینک فروسو

1. Carrier Aggregation
2. Inter-Band Aggregation
3. Non-Contiguous Interband Aggregation
4. Contiguous Inter-Band Aggregation

بزرگتر یا مساوی مؤلفه‌های استفاده شده در لینک فراسو هستند. در روش TDD، هر مؤلفه حاملی باید همان پیکربندی TDD را در نسخه دهم داشته باشد. اما این محدودیت در نسخه یازدهم برداشته شده است. نهایتاً، مؤلفه‌های حامل‌ها باید روش کارکردی (FDD یا TDD) یکسانی تا نسخه یازدهم داشته باشند. ولی این محدودیت در نسخه دوازدهم برداشته شده است.

مؤلفه‌های حامل‌ها در داخل یک سلول اولیه (Pcell)^۱ و تا چهار سلول ثانویه (SCell)^۲ می‌توانند سازماندهی شوند. سلول اولیه دارای یک مؤلفه حاملی در روش TDD یا یک CC لینک فروسو و یا CC لینک فراسو در روش FDD است. این روش دقیقاً مشابه روشی است، که در یک سلول در نسخه هشتم استفاده می‌شد. سلول‌های ثانویه تنها توسط موبایل در حالت RRC_CONNECTED استفاده می‌شوند و توسط پیام‌های سیگنالینگ ویژه موبایل حذف یا اضافه می‌شوند. هر سلول ثانویه دارای یک مؤلفه حاملی در روش TDD یا یک CC لینک فروسو یا به طور اختیاری یک CC لینک فراسو در روش FDD است.

تجمع حامل‌ها تنها روی لایه فیزیکی و پروتکل MAC روی واسط هوایی و پروتکل‌های سیگنالینگ RRC، S1-AP و X2-AP تأثیر می‌گذارد و هیچ تأثیری روی RLC یا PDCP روی انتقال داده روی شبکه ثابت ندارد.

۱۹-۱-۲ قابلیت‌های UE

تجمع حامل‌ها اجازه می‌دهد تا یک موبایل بتواند ارسال و دریافت را روی پنج مؤلفه حاملی در باندهای فرکانسی گوناگون انجام دهد. این حامل‌ها بر روی یک رده‌بندی، به نام رده‌بندی هشت منتقل می‌شوند، که از نرخ بیت حداکثر 3000 Mbps در لینک فروسو و 1500 Mbps در لینک فراسو پشتیبانی می‌کند. با این وجود، یک موبایل رده هشتمی مجبور نیست که از همه خصوصیات حداکثر نرخ بیت رده‌بندی هشت پشتیبانی کند؛ در عوض، موبایل برخی از ویژگی‌های خاص این رده‌بندی را به عنوان بخشی از قابلیت UE اطلاع‌رسانی می‌کند. علاوه بر این، 3GPP تا به این لحظه پشتیبانی کامل از رده‌بندی هشتم را اعلام نکرده است.

در اینجا دو نکته اصلی وجود دارند [۵]: نخست، حداکثر تعداد مؤلفه‌های حامل‌ها در نسخه دهم و یازدهم از دو تا ۵ است، در حالی که، حداکثر تعداد مؤلفه‌های حاملی لینک فراسو در تجمع انتراباندی همجوار حداکثر دو و در سایر موارد یک می‌باشد. دوم، مشخصات 3GPP از

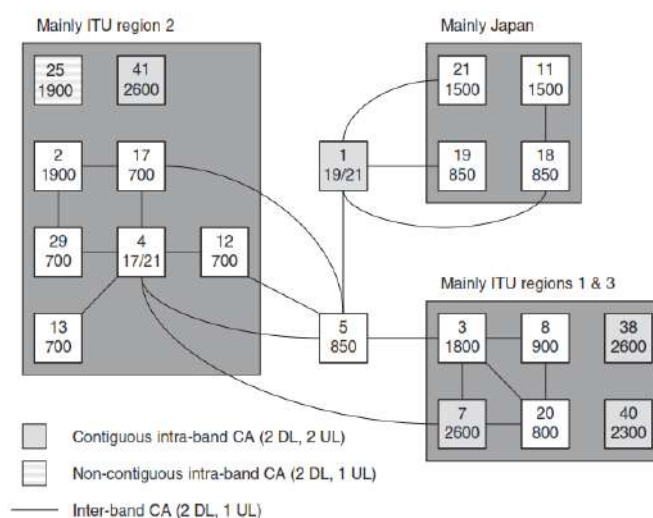
1. Primary Cell

2. Secondary Cell

تجمع حامل‌ها تنها در تعدادی از باندهای فرکانسی پشتیبانی می‌کنند. این محدودیت پاشنه آشیل مشخصات 3GPP می‌باشد. چرا که برخی از باندهای فرکانس رادیویی نیازمند تعاریف خاصی برای هر باند یا تجمعی از آنهاست.

شکل ۱۹-۲ ترکیب باندها را نشان می‌دهد، که از تجمع حامل‌ها در نسخه یازدهم پشتیبانی می‌کند و نشان دهنده تقریبی از فرکانس‌های حامل آنها و مناطقی است، که استفاده می‌شوند. چند ترکیب جدیدی از تجمع حامل‌ها برای نسخه دوازدهم زمان‌بندی شده‌اند، که شامل تجمع دورن باندی با استفاده سه مؤلفه تجمعی بر روی لینک فروسو و یک مؤلفه تجمعی بر روی لینک فراسو، تجمع دورن‌باندی با استفاده از دو مؤلفه تجمعی بر روی لینک فروسو و دو مؤلفه تجمعی نیز بر روی لینک فراسو هستند.

یک موبایل باندهای فرکانسی و ترکیبی از آنها را پشتیبانی می‌کند، را مشخص می‌نماید [۶] و [۷]. همچنین، موبایل یک قابلیت دیگری به نام کلاس پهنای باند CA^۱ برای هر باند خاص یا ترکیب خاصی از آنها را مشخص می‌کند، که بیان‌کننده تعداد مؤلفه‌های حاملی است، که آن موبایل پشتیبانی می‌کند و مجموع تعداد بلاک‌های منابعی است، که آن موبایل می‌تواند کنترل کند. جدول ۱۹-۱ لیست کلاس‌هایی که توسط LTE-A پشتیبان می‌شود، را نشان می‌دهد. کلاس A، B و C در نسخه دهم پشتیبانی می‌شوند و کلاس‌های D، E و F برای نسخه‌های آینده ذخیره شده‌اند.



شکل ۱۹-۲ باندهای فرکانسی که از تجمع حامل‌ها در نسخه یازدهم پشتیبانی می‌کنند

جدول ۱۹-۱ کلاس‌های پهنای باند تجمیع حامل‌ها

Carrier aggregation bandwidth class	Release	Maximum number of component carriers	Maximum number of resource blocks
A	R10	1	100
B	R10	2	100
C	R10	2	200
D	R12 or beyond	Not yet determined	Not yet determined
E	R12 or beyond	Not yet determined	Not yet determined
F	R12 or beyond	Not yet determined	Not yet determined

منبع: TS 36.101 باز نشر با مجوز ETSI

۱۹-۱-۳ زمان‌بندی

در نسخه هشت، مطرح شد، که یک موبایل چگونه پیام‌های زمان‌بندی PDCCH فضاها را جستجوی عمومی و ویژه UE را جستجو می‌کند و این پیام در ناحیه کنترل لینک فروسو و در ابتدای شروع هر زیر فریم قرار دارد. نسخه دهم این فرایند را ادامه می‌دهد، اما اصلاحاتی را در آن ایجاد کرده [۸-۹].

هر مؤلفه حاملی به طور مستقل از هم زمان‌بندی شده و به طور مستقلی بیت‌های فیدبک HARQ تولید می‌کند. اما، این سیستم از زمان‌بندی حامل‌های متقابل پشتیبانی می‌کند: ایستگاه پایه یک انتقال لینک فروسو یا فراسو را روی یک مؤلفه حاملی با استفاده از یک پیام زمان‌بندی روی مؤلفه حاملی دیگری آغاز می‌کند. نسخه دهم یک زمان‌بندی حامل متقاطع را با اضافه کردن یک فیلد نشانگر حامل (CIF)^۱ برای هر قالب DCI پیاده‌سازی می‌کند، که حامل استفاده شده برای انتقال بعدی را نشان می‌دهد.

با استفاده از زمان‌بندی حامل متقاطع، یک ایستگاه پایه می‌تواند پیام‌های زمان‌بندی را روی مؤلفه حاملی که دارای بزرگترین پوشش است، ارسال کند. در نتیجه، باعث افزایش قابلیت اطمینان در دریافت داده به حداکثر میزان خود می‌رسد. همچنین ایستگاه پایه می‌تواند روشی برای توازن بارترافیک و زمان‌بندی را در میان مؤلفه‌های حامل‌های مختلف برقرار کند. فضای جستجوی عمومی همیشه روی سلول اولیه قرار دارد، اما فضاها را جستجوی ویژه سلول می‌تواند روی سلول اولیه یا هر سلول ثانویه باشند.

1. Carrier Indicator Field

۱۹-۴ انتقال و دریافت داده

تجمع حامل تأثیری روی داده انتقالی لینک فروسو ندارد، اما، برخی از تغییرات را در لینک فراسو ایجاد می‌کند. در نسخه هشتم موبایل SC-FDMA را استفاده می‌کند، که فرض می‌کند، موبایل روی یک بلاک همجوار از زیر حامل‌ها در حال ارسال است. در نسخه دهم این فرضیه دیگر معتبر نیست: در عوض، موبایل یک روش کلی‌تری به نام دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی‌های متعامد گسترده فوریه گسسته (DFT-S-OFDMA)^۱ را استفاده می‌نماید. این روش دسترسی شبیه SC-FDMA است. جز این که DFT-S-OFDMA از انتقال‌های روی یک تخصیص ناهمجوار از زیر حامل‌ها پشتیبانی می‌کند. برای بهره‌برداری از روش دسترسی جدید، مشخصات 3GPP دو نوع روش دیگر را پیشنهاد کرده است. نخست، موبایل می‌تواند روی هر مؤلفه حاملی با استفاده از زیر حامل‌هایی که به جای یک بلاک در دو بلاک گروه‌بندی شده‌اند، ارسال کند. این انتقال‌ها با استفاده از یک طرح زمان‌بندی تخصیص منبع لینک فراسو جدید صورت می‌گیرد، که به نام نوع 1 شناخته می‌شود. دوم، همزمان روی PUCCH و PUSCH ارسال کند. هر دوی این ویژگی‌ها برای موبایل اختیاری می‌باشند، که به عنوان قابلیت‌هایی که موبایل پشتیبانی می‌کند، بیان می‌شوند [۱۰].

هنگامی که یک موبایل از DFT-S-OFDMA استفاده می‌کند، حداکثر توان لحظه‌ای (پیک) آن بالاتر از زمانی است، که از SC-FDMA است. این عامل باعث می‌شود، که تقویت کننده توان موبایل بزرگ باشد و این مسئله باعث افزایش قیمت تقویت کننده و مصرف توان آن می‌شود.

۱۹-۵ بازخورد لینک فراسو و لینک فروسو

تجمع حامل یک سری تغییراتی را در انتقال اطلاعات لینک فروسو و فراسو فراهم می‌کند [۱۱-۱۳]، مهم‌ترین از آنکه موبایل تنها PUCCH را روی سلول اولیه ارسال می‌کند. اما می‌تواند اطلاعات کنترلی لینک فراسو را با استفاده از PUSCH روی سلول اولیه یا هر سلول‌های ثانویه‌ای بفرستد.

اگر موبایل نیاز داشته باشد تا تصدیق‌های HARQ را ارسال کند، آنها را در گروه‌هایی در داخل یک مؤلفه حاملی یکتا قرار می‌دهد. وقتی که موبایل از PUSCH استفاده می‌کند، به دو روش می‌تواند تصدیق‌ها را ارسال کند. نخستین روش برای ارسال روی منابع چندگانه PUCCH، استفاده از قالب 1B، PUCCH است، این روش شبیه روشی است، که از مالتی پلکسینگ ACK/NACK در حالت TDD استفاده می‌کند. روش دوم، استفاده از قالب جدید شماره سه

1. Discrete Fourier Transform Spread Orthogonal Frequency Division Multiple Access

PUCCH است. این قالب، به طور همزمان تا ۱۰ بیت HARQ را در روش FDD و بیست بیت را در روش TDD با استفاده از یک بیت اختیاری زمان‌بندی منتقل می‌کند. این کار، از طریق زوج‌های بلاک منابع، که در بین پنج موبایل به اشتراک گذاشته شده‌اند، انجام می‌شود. در این روش، تغییر مؤثری برای انتقال و دریافت فرایندهای لینک فراسو دیده نمی‌شود. به خصوص، یک ایستگاه پایه تصدیق‌های PHICH خود را روی همان سلول (سلول اولیه یا ثانویه) که موبایل برای انتقال داده لینک فراسوی خودش استفاده می‌کند، ارسال می‌نماید.

۱۹-۱-۶ سایر فرایندهای لایه فیزیکی و MAC

تجمع حامل چند تغییر جزئی دیگر را روی لایه فیزیکی و فرایندهای MAC، که در فصل‌های هشتم تا دهم بیان شد، ایجاد می‌کند. چنانچه قبلاً هم اشاره شد، ایستگاه پایه سلول‌های ثانویه را با استفاده از پیام‌های پیکربندی مجدد ارتباط RRC ویژه سلول اضافه یا حذف می‌کند. به علاوه، ایستگاه پایه می‌تواند فوراً سلول‌های ثانویه را با ارسال یک عنصر کنترلی فعال‌سازی/غیرفعال سازی^۱ MAC^۱ به موبایل هدف، فعال یا غیر فعال کند [۱۴].

مثل قبل، ایستگاه پایه توان انتقال PUSCH یک موبایل را با استفاده از DCI قالب‌های 0، 3 و 3A کنترل می‌کند. در LTE پیشرفته، هر مؤلفه حامل یک حلقه کنترل توان جداگانه‌ای دارد. هنگامی که از DCI قالب صفر استفاده می‌شود، ایستگاه پایه آن مؤلفه حاملی را با استفاده از فیلد شناساننده حامل، مثل قبل شناسایی می‌کند. در مورد قالب‌های 3 و 3A، ایستگاه پایه مقادیر مختلفی از PUSCH-RNTI TPC را برای هر مؤلفه حاملی اختصاص می‌دهد و از این مقادیر برای اهداف دستورات کنترل توان استفاده می‌نماید.

۱۹-۱-۷ فرایندهای RRC

تجمع حاملی تغییرات جزئی را روی برخی از فرایندهای RRC نه همه آنهایی که در فصل‌های یازدهم تا پانزدهم بیان شد، ایجاد می‌کند. در حالت RRC_IDLE، موبایل مثل قبل، انتخاب سلول و انتخاب مجدد سلول را با استفاده از یک سلول در یک زمان را انجام می‌دهد. فرایند برپایی اتصال RRC نیز بدون تغییر باقی‌مانده است: در پایان این فرایند، موبایل تنها با یک سلول اولیه ارتباط برقرار می‌کند. به محض آن که موبایل به حالت RRC_CONNECTED می‌رود، ایستگاه

1. MAC Activation/Deactivation

پایه می‌تواند سلول‌های ثانویه را از طریق پیام‌های پیکربندی مجدد اتصال RRC ویژه موبایل، حذف یا اضافه نماید.

در حالت RRC_CONNECTED، موبایل اندازه‌گیری سلول‌های همسایه خاصی را تا حدودی شبیه به قبل انجام می‌دهد. سلول سرویس دهنده رویدادهای اندازه‌گیری سلول اولیه در A3، A5 و B2 را با سلول اولیه یا سلول ثانویه در رویدادهای اندازه‌گیری A1 و A2 تطبیق می‌دهد. در اینجا، همچنین یک رویداد اندازه‌گیری جدید A6 وجود دارد، که اگر قدرت یک سلول همسایه به اندازه کافی از قدرت یک سلول ثانویه بالاتر رفته باشد، را گزارش می‌دهد. ممکن است ایستگاه پایه از این گزارش برای آغاز کردن تغییر سلول ثانویه استفاده کند.

در طول یک دست به دست کردن، سلول جدید درباره سلول‌های جدید ثانویه با استفاده از دستورات پیکربندی مجدد ارتباط RRC خود اطلاعاتی را در اختیار موبایل قرار می‌دهد. برای این عمل، از همان روشی که موبایل به شاخص آغازگر دسترس تصادفی منتقل شده بود، استفاده می‌کند. این کار اجازه می‌دهد تا شبکه کلیه سلول‌های ثانویه را به عنوان بخشی از فرایند دست به دست کردن تغییر دهد و همچنین این امکان را فراهم می‌آورد تا ایستگاه‌های پایه با پشتیبانی متفاوت از نسخه هشتم و دهم موبایل را دست به دست کنند.

۱۹-۲ MIMO پیشرفته لینک فروسو

۱۹-۲-۱ اهداف

نسخه دهم 3GPP پشتیبانی LTE را برای انتقال آنتن‌های چندگانه لینک فروسو با استفاده از یک روش جدید *مالتی‌پلکسینگ فضایی* هشت لایه^۱ توسعه داد. این روش سه اهداف اصلی دارد: نخست، این روش از انتقال‌های MIMO تک کاربری با حداکثر هشت لایه پشتیبانی می‌کند. دوم، این روش از انتقال‌های MIMO چند کاربری برای حداکثر چهارموبایل به همراه بازخورد دقیقی از MU-MIMO آنها پشتیبانی می‌کند. سوم، این روش اجازه می‌دهد تا ایستگاه یک موبایل را بین دو روش در هر زیرفریم بدون نیاز به سیگنالینگ RRC اضافه‌ای سویچ کند.

در حال حاضر به نظر می‌رسد، که حداکثر نرخ لحظه‌ای داده لینک فروسو در نسخه دهم به 1200 Mbps برسد. این مقدار چهار برابر بیشتر از نسخه هشتم است و در نتیجه استفاده از مؤلفه‌های حاملی می‌باشد، که هر کدام از آنها هشت لایه انتقالی را به جای چهار لایه انجام

1. Eight Layer Spatial Multiplexing

می‌دهند. در نتیجه، LTE باید از نرخ داده حداکثر لحظه‌ای در لینک فروسو تا حداکثر 3000 Mbps پشتیبانی کند، در صورتی این اتفاق می‌افتد، که از پنج مؤلفه حاملی استفاده کرده باشد.

۱۹-۲-۲ سیگنال‌های مرجع لینک فروسو

سیگنال‌های مرجع دو کاربرد دارند: آنها از یک مرجع فازی و دامنه‌ای برخوردارند، که برای پشتیبانی از دمدولاسیون و تخمین کانال استفاده می‌شوند، علاوه بر این آنها از یک مرجع برای پشتیبانی از اندازه‌گیری‌های کیفیت کانال و زمان‌بندی وابسته به فرکانس پشتیبانی می‌کنند. در لینک فروسو نسخه هشتم، سیگنال‌های مرجع ویژه سلول از هر دو تابع پشتیبانی می‌کنند. حداقل در حالت‌های انتقال ۱ تا ۶ این اتفاق می‌افتد.

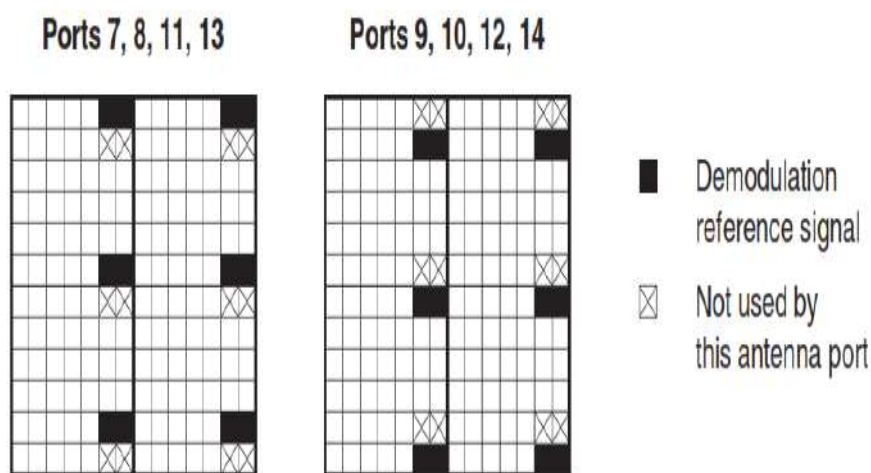
در اصل، طراحان LTE پیشرفته باید هشت آنتن MIMO را به همان روشی که از چهار آنتن MIMO پشتیبانی می‌شد، را مد نظر قرار دهند. این کار با افزودن چهار پورت جدید اتفاق می‌افتد، که هر پورت سیگنال‌های مرجع ویژه سلول را منتقل می‌کند. اما این رویکرد ممکن است، چند مشکل داشته باشد: سیگنال مرجع ممکن است، عناصر منابع بیشتری را اشغال کند، که در این صورت، سرایند موبایل‌هایی که به عنوان نسخه دهم شناخته می‌شوند، بیشتر می‌شود و برای موبایل‌های نسخه هشت که منابع کمتری را اشغال می‌کنند، تداخل ایجاد می‌گردد. همچنین احتمال دارد، سیگنال‌های مرجع مذکور تأثیری برای بهبود عمل کرد MIMO چند کاربری نداشته باشند.

در عوض، نسخه دهم چند سیگنال مرجع لینک فروسو را معرفی کرده است [۱۵]، که آنها را در دو گروه مجزا طبقه‌بندی می‌کند. سیگنال‌های مرجع ویژه UE - (شکل ۱۹-۳)، که از تخمین کانال و دمدولاسیون به همان روشی که سیگنال‌های مرجع دمدولاسیون روی لینک فراسو به کار می‌برد، پشتیبانی می‌کنند و در پورت‌های آنتن ۷ تا ۱۴ منتقل می‌شوند. سیگنال‌های ۷ و ۸ مشابه قبلی بوده و توسط شکل‌دهی پرتو دو لایه استفاده می‌شوند، ولی، سیگنال‌هایی که در پورت‌های ۹ تا ۱۴ هستند، از MIMO تک کاربری با حداکثر هشت پورت آنتن پشتیبانی می‌کنند. (یک ایستگاه پایه می‌تواند همچنان با استفاده از روش‌هایی که در این فصل بیان شد، دو یا چهار پورت را به جای هشت پورت به کار ببرد).

همان طور که این شکل نشان می‌دهد، هر سمبل مرجع، در واقع بین چهار پورت آنتن با استفاده از مالتی‌پلکسینگ تقسیم کدهای متعامد به اشتراک گذاشته می‌شوند. در اینجا آفست فرکانسی ویژه سلول وجود ندارد. در عوض؛ این سمبل‌های مرجع در مکان‌هایی ثابت با توجه به

بلاک‌های اطراف منبع قرار دارند. این ویژگی به معرفی انتقال چند نقطه همبسته در نسخه یازدهم کمک می‌کند.

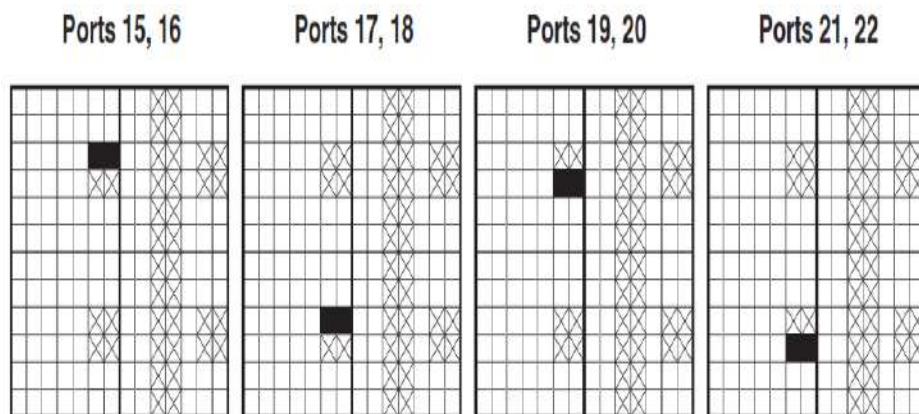
ایستگاه پایه می‌تواند سیگنال‌های مرجع ویژه UE را با استفاده از همان ماتریس پیش‌کدینگ که برای PDSCH به کار برده بود، پیش‌کد کند. این کار باعث می‌شود تا عملیات پیش‌کدینگ برای موبایل قابل درک نباشد، در نتیجه، ایستگاه پایه می‌تواند هر گونه ماتریس پیش‌کدینگ را که مایل باشد، را به کار گیرد، که باعث بهبود MIMO چند کاربری می‌شود، در این صورت، یک انتخاب آزادی از ماتریس پیش‌کدینگ فراهم می‌شود تا ایستگاه پایه مطمئن شود، که سیگنال‌ها با تداخل‌های سازنده یا مخرب به موبایل خواهند رسید. به عبارت دیگر، ایستگاه پایه تنها سیگنال‌های مرجع ویژه UE را در بلاک‌های منابع فیزیکی که در واقع آنها را موبایل‌های هدف استفاده می‌کنند، ارسال می‌نماید. بنابراین، این سیگنال‌های مرجع هیچگونه تداخل یا سرریزی را برای سایر موبایل‌ها در آن سلول ایجاد نمی‌کنند. با این حال، این سیگنال‌های مرجع همچنان غیر قابل استفاده برای اندازه‌گیری‌های کیفیت کانال هستند، که در کل باند لینک فروسو قرار دارند.



شکل ۱۹-۳ نگاشت عناصر منبع برای سیگنال‌های مرجع دمدولاسیون ویژه UE با استفاده از حالت FDD و یک پیشوند چرخشی نرمال منبع: TS 36.211 بازنشر با مجوز ETSI

برای مقابله با این مشکل، همچنین ایستگاه پایه سیگنال‌های مرجع CSI^1 را روی هشت پورت دیگر از ۱۵ تا ۲۲ منتقل می‌کند. این سیگنال‌ها پیش کد نشده هستند. بنابراین پورت‌های آنتن‌ها متفاوت‌تر از آن سیگنال‌هایی هستند، که برای سیگنال‌های مرجع ویژه UE استفاده شده‌اند و ما قبلاً به آنها اشاره کردیم. سیگنال‌های مرجع CSI از اندازه‌گیری‌های کیفیت کانال و زمان‌بندی وابسته به فرکانس را به همان روشی که سیگنال‌های صداگذاری در لینک فراسو استفاده می‌کردند، را به کار می‌گیرند.

هر سلول می‌تواند سیگنال‌های مرجع را با استفاده از دو، چهار یا هشت عناصر منبع به ازای هر زوج بلاک منبع ارسال کند، که بستگی به تعداد پورت‌های آنتن آن دارد. سلول این بلاک‌های منابع را از یک مجموعه به بزرگی ۴۰ عنصر انتخاب می‌نماید، در این مجموعه سلول‌های اطراف نیز عناصر منابع مختلفی را انتخاب می‌کنند تا بدین‌ترتیب تداخل در بین آنها را به حداقل می‌رساند. شکل ۱۹-۴ مثالی برای انتقال یک سلول با هشت پورت آنتن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹-۴ مثالی از نگاشت عناصر منبع برای سیگنال‌های مرجع CSI با استفاده از حالت FDD و پیشوند

چرخشی معمولی منبع: TS 36.211 بازنشر با مجوز ETSI

پس از آن، ایستگاه پایه این سیگنال‌ها را برای هر موبایل با یک پیکربندی سیگنال مرجع CSI^2 فراهم می‌کند. این پیکربندی زیرفریم‌هایی را تعریف می‌کند، که در آنها، موبایل باید اندازه‌گیری سیگنال‌های مذکور را انجام دهد و عناصر منبعی را به همراه اندازه‌گیری‌هایی به فاصله پنج تا هشتاد میلی ثانیه با توجه به سرعت موبایل مورد ارزیابی و بازبینی قرار دهد. علاوه بر آن، ایستگاه پایه

1. CSI Reference Signals

2. CSI Reference Signal Configuration

می‌تواند پیکربندی‌های سیگنال مرجع CSI توان صفر^۱ را به صورت اضافی برای موبایل فراهم کند. با توجه به نام آنها، این پیکربندی‌ها به آسانی عناصر منبع دیگری را تعریف می‌کنند، که ایستگاه پایه آنها را با سیگنال مرجع CSI تخصیص می‌دهد، به طور معمول این سیگنال به موبایل‌های دیگری که اغلب این سیگنال را اندازه‌گیری می‌کنند و موبایل‌هایی که موقع دریافت کانال PDSCH باید از لیست خارج شوند، تخصیص داده می‌شوند.

سیگنال‌های مرجع CSI عامل اصلی برخی از سرریزها در موبایل‌های نسخه دهم هستند. اما، فواصل زمانی انتقال‌های طولانی مدت باعث می‌شود، که این سرریزها از میزان قابل قبول کوچکتر باشند. علاوه بر آن، این سیگنال‌ها باعث عدم موفقیت‌آمیز بودن بررسی CRC در موبایل‌های نسخه هشتم شوند، که این سیگنال‌ها در آنها قابل تشخیص نیستند، اما ایستگاه پایه می‌تواند با استفاده از زمان‌بندی موبایل‌های نسخه هشتم در بلاک‌های منابع مختلفی بر این مشکل غلبه کند.

۱۹-۲-۳ بازخورد و انتقال لینک فراسو

برای استفاده از مالتی‌پلکسینگ فضایی هشت لایه [۱۶-۱۸]. ایستگاه پایه موبایل را در حالت انتقالی جدید پیکربندی ۹ وارد می‌کند و آن را با استفاده از یک قالب DCI جدید 2C زمان‌بندی می‌نماید. ایستگاه پایه در دستورات زمانی خود، هر بلاک منبع را به دو روش مجزا تخصیص می‌دهد. با استفاده از MIMO تک کاربری، ایستگاه پایه حداکثر هشت لایه را روی پورت ۷ تا $7 + n$ منتقل می‌کند، که n تعداد لایه‌هایی است، که موبایل آن را دریافت می‌کند. با استفاده از MIMO چند کاربری، ایستگاه پایه حداکثر دو لایه روی پورت هفت و دو لایه روی هشت آنتن، روی هم رفته چهار لایه ارسال می‌کند. سپس، ایستگاه پایه می‌تواند این دو پورت را به روش‌های مختلفی استفاده کند. در سناریو اول، چهار موبایل می‌توانند یکی از لایه‌های ارسال شده را دریافت کنند، که این موبایل‌ها با استفاده از شکل‌دهی پرتو از هم مجزا شده‌اند. در روش دیگر، دو موبایل یک لایه را روی پورت هفت و لایه دیگری را روی پورت هشت با استفاده از روش‌های شکل‌دهی پرتو-دو لایه که در فصل هیجدهم بیان کردیم، دریافت می‌کنند.

به محض تغییر انتشار رادیویی، ایستگاه پایه می‌تواند به طور پویا موبایل را بدون تغییر حالت انتقال آن، بین دو روش سوییچ کند. برای مثال، ممکن است، موبایل در یک محیط مملو از چند مسیر ناهمبسته قرار داشته باشد، در این صورت با استفاده از SU-MIMO زمان‌بندی می‌گردد اما،

1. Zero Power CSI Reference Signal Configuration

اگر موبایل به یک محیط با تجهیزات دید مستقیم وارد شود، وضعیت زمان‌بندی آن را به MU-MIMO تغییر می‌دهد.

به طور اختیاری، ایستگاه پایه می‌تواند به موبایل دستور دهد تا شاخص ماتریس پیش‌کدینگ را به عنوان بازخورد برگرداند، که آن شاخص نشان‌دهنده، اختلاف بین پیش‌کدینگ که ایستگاه پایه به صورت شفاف پشتیبانی می‌کند و پیش‌کدینگ که موبایل تمایل به دریافت آن دارد، است. برای رسیدن به این هدف، مشخصات فنی 3GPP یک روش پیشرفته بازخورد را معرفی کرده‌اند، که ایستگاه‌های پایه را با هشت پورت آنتن در نسخه دهم محدود کرده است، اما در نسخه دوازدهم ایستگاه پایه می‌تواند چهار پورت نیز داشته باشد.

هنگامی که از این روش استفاده می‌شود، موبایل دو شاخص به نام i_1 و i_2 را برمی‌گرداند، که از روی آنها مشخص می‌شود، که کدام ایستگاه پایه ماتریس پیش‌کدینگ درخواست شده را بازسازی کرده است. هر دو شاخص از صفر تا ۱۵ متغیری باشند، که بازخوردی با دقت بسیار جزئی‌تر از PMI را ارائه می‌دهد و کارایی MIMO چند کاربری را افزایش می‌دهد. تعریف دقیق آنها در یک سناریو گسترده عمومی هدف‌گذاری شده است، که ایستگاه پایه دارای دو آرایه دو قطبی است، که هر کدام چهار آنتن نزدیک به هم جداگانه در نظر گرفته شده‌اند. شاخص i_1 رابطه بین سیگنال‌های دریافتی از آنتن‌های مختلف را می‌گیرد، که به آهستگی تغییر می‌کند و گاه به گاه گزارش داده می‌شود. شاخص i_2 ارتباط بین دو پلازیاسیون را می‌گیرد، که با سرعت بیشتری تغییر می‌کنند و بیشتر مواقع گزارش داده می‌شوند.

۱۹-۳ MIMO پیشرفته لینک فراسو

۱۹-۳-۱ اهداف

تنها طرح آنتن چندگانه‌ای که توسط لینک فراسو نسخه هشتم پشتیبانی می‌شد، MIMO چند کاربری بود. این طرح ظرفیت سلول را بالا می‌برد، ولی تنها به موبایلی نیاز داشت، که دارای یک آمپلی‌فایر توان انتقال بود و به مراتب آسان‌تر از لینک فراسو اجرا می‌شد. اما این طرح هیچ چیزی برای نرخ داده حداکثر لحظه‌ای یک موبایل نداشت.

در LTE پیشرفته، لینک فراسو برای پشتیبانی از MIMO تک کاربری توسعه یافت، که از چهار آنتن و چهار پورت انتقالی استفاده می‌کند. موبایل مشخص می‌کند، که چه تعداد پورت آنتن را به عنوان بخشی از قابلیت‌های لینک فراسوی خود استفاده می‌کند [۹]. نرخ داده حداکثر لحظه‌ای

در نسخه دهم برابر 600 Mbps است. این مقدار هشت برابر بیشتر از نسخه هشتم است و در نتیجه استفاده از چهار لایه انتقالی و دو مؤلفه حاملی است و در نهایت نرخ داده LTE در حالت لینک فراسو حداکثر لحظه‌ای تا 1500 Mbps را پشتیبانی می‌کند، که با استفاده از پنج مؤلفه حاملی مسیر می‌شود.

۱۹-۳-۲ پیاده‌سازی

برای پشتیبانی از MIMO چند کاربری، ایستگاه پایه موبایل‌های نسخه دهم در یکی از مدل‌های انتقالی لیست شده در جدول ۱۹-۲ پیکربندی می‌کند [۲۰]، این حالت‌ها روش‌های یکسانی را در حالت‌های انتقالی لینک فروسو به کار می‌برند. حالت یک (۱) مطابق انتقال آنتن منفرد است، در حالی که، حالت دو، برابر با MIMO تک کاربری بوده و به طور خاص مالتی‌پلکسینگ فضایی حلقه بسته را استفاده می‌کند.

هنگامی که موبایل در حالت دو پیکربندی می‌شود، ایستگاه پایه اعطای زمان‌بندی آن را برای مالتی‌پلکسینگ فضایی حلقه بسته استفاده از یک قالب DCI جدید شماره چهار را انجام می‌دهد [۲۱]. به عنوان بخشی از اعطای زمان‌بندی آن، ایستگاه پایه تعداد لایه‌هایی را که موبایل برای انتقال خودش استفاده می‌کند و ماتریس‌های پیش‌کدینگ که باید به کار بگیرد را مشخص می‌کند. حداکثر تعداد کلمه‌های کدینگ روی لینک فراسو مثل لینک فروسو بوده و حداکثر تا دو کلمه کد می‌باشد.

جدول ۱۹-۲ حالت‌های انتقال لینک فراسو در 3GPP نسخه دهم

Mode	Purpose
1	Single antenna transmission
2	Closed loop spatial multiplexing

پس از آن، فرایند انتقال PUSCH برای افزودن مراحل نگاشت لایه‌ای و پیش‌کدینگ تغییر و اصلاح می‌شود [۲۲]، که همان روش‌های هستند، که در لینک فروسو به کار می‌روند. پورت آنتن (جدول ۱۹-۳) با یک روش غیر معمول نام‌گذاری شده است. پورت ۱۰ برای انتقال آنتن منفرد PUSCH، پورت‌های ۲۰ و ۲۱ برای انتقال آنتن دو گانه و پورت‌های ۴۰ تا ۴۳ برای انتقال چهار آنتنی استفاده می‌شوند، در حالی که، همین پورت‌های آنتن‌ها نیز توسط سیگنال مرجع صداگذاری

استفاده می‌شوند. PUCCH می‌تواند از روی پورت ۱۰۰ یا از روی آنتن با استفاده از چندگانگی حلقه باز روی پورت‌های ۲۰۰ و ۲۰۱ ارسال شود.

جدول ۱۹-۳ پورت‌های آنتن لینک فراسو در 3GPP نسخه ۱۰

Antenna port	Channels	Application
10	PUSCH, SRS	Single antenna transmission
20-21		2 antenna closed loop spatial multiplexing
40-43		4 antenna closed loop spatial multiplexing
100	PUCCH	Single antenna transmission
200-201		2 antenna open loop transmit diversity

۱۹-۴ بازپخش کننده‌ها

۱۹-۴-۱ مفاهیم کاربردی

تکرار کننده‌ها^۱ و باز پخش کننده‌ها^۲ (شکل ۱۹-۵) تجهیزات هستند، که ناحیه تحت پوشش یک سلول را افزایش می‌دهند. آنها در مناطق کم جمعیت که کارکرد شبکه محدود بوده و پوشش به جای ظرفیت دارای اهمیت است، مفید می‌باشند. همچنین باز پخش کننده‌ها نرخ داده را در گوشه یک سلول با بهبود نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل (SNIR) افزایش می‌دهند.

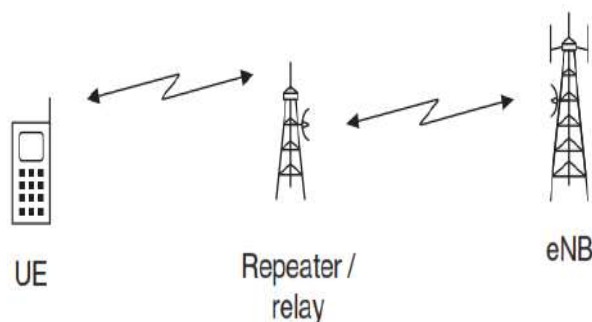
تکرار کننده یک سیگنال رادیویی را دریافت کرده و آن را تقویت و سطح آن را بهبود می‌دهد، بنابراین برای گیرنده به عنوان یک منبع چندمیسیری ظاهر می‌شوند. متأسفانه تکرار کننده‌ها نویز و تداخل دریافتی را مثل سیگنال اصلی تقویت می‌کنند، که در نهایت کارایی سیگنال اصلی را کاهش می‌دهند. تکرار کننده‌های FDD به طور کامل در نسخه هشت با مشخصاتی که نشان دهنده بهبود نیازمندی‌های رادیویی بود، تعریف شدند [۲۳]. تکرار کننده‌های TDD از لحاظ پیاده‌سازی مشکل هستند، چرا که خطر تداخل بین لینک فراسو و فروسو را افزایش می‌دهد و هنوز مشخصات آنها نهایی نشده است.

بازپخش کننده با کد گشایی سیگنال رادیویی دریافتی قبل از رمزنگاری مجدد و تقویت این سیگنال‌ها یک قدم بیشتر از تکرار کننده‌ها برمی‌دارند. با انجام این کار، بازپخش کننده‌ها نویز و تداخل را از سیگنال دریافتی حذف می‌کنند. بنابراین، کارایی بهتری را نسبت به تکرار کننده‌ها

1. Repeaters

2. Relays

دارند. باز پخش کننده‌ها برای اولین بار برای هر دو حالت FDD و TDD در نسخه دهم مشخص و تعریف شدند.



شکل ۱۹-۵ عملکرد تکرار کننده‌ها و باز پخش کننده‌ها

۱۹-۴-۲ معماری باز پخش کنندگی

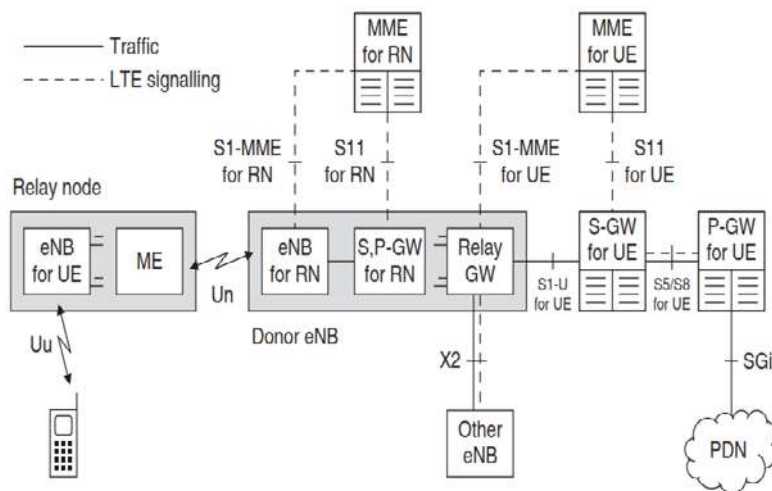
شکل ۱۹-۶ معماری که برای بازپخش کنندگی به کار می‌رود، را نشان می‌دهد [۲۴-۲۶]. این معماری دارای دو بخش است. در بخش درونی آن گره باز پخش کننده (RN)^۱ به عنوان یک موبایل به سمت شبکه عمل می‌کند. قشر بدون دسترسی (NAS) آن به وسیله یک MME کنترل می‌شود، ولی، قشر دسترسی (NS) توسط یک eNB دهنده (DeNB)^۲ کنترل می‌گردد. علاوه بر این، eNB دهنده (DeNB) توابع دروازه PDN و دروازه خدمت‌رسانی را با هم ترکیب می‌کند، که یک آدرس IP را به گره باز پخش کننده تخصیص می‌دهند و ترافیک آن را هدایت می‌کنند.

در بخش بیرونی، گره بازپخش کننده (RN) به عنوان یک eNB به سمت موبایل عمل می‌کند و قشر دسترسی (AS) موبایل را کنترل می‌کند. برای انجام آن، این گره یک یا تعداد بیشتری شناسه فیزیکی سلول برای خود دارد، که سیگنال‌های همزمان‌سازی و اطلاعات سیستمی خود را پخش کرده و تمامی انتقال‌های خود را روی واسطه Uu زمان‌بندی می‌کند. علاوه بر این، گره می‌تواند از طریق واسطه X2 برای پشتیبانی از دست به دست کردن با ایستگاه‌های پایه دیگر ارتباط برقرار نماید. قشر بدون دسترسی (NAS) موبایل به وسیله یک MME کنترل می‌شود و می‌تواند متفاوت‌تر از MME باشد، که گره بازپخش کننده را کنترل می‌کند.

1. Relay Node

2. Donor Enb

یک eNB دهنده (DeNB) دارای تابعی به نام *دروازه باز پخش کننده*^۱ است. این دروازه یک دروازه eNB است و شبکه هسته را پوشش می‌دهد و سایر ایستگاه‌های پایه از طریق آن اطلاعات مورد نیاز بازپخش کنندگی خودشان را می‌گیرند.



شکل ۱۹-۶ معماری باز پخش کنندگی در LTE

واسط Un یک واسط هوایی بین گره RN و DeNB است. این واسط ممکن است، به عنوان یک واسط هوایی معمولی یا به عنوان یک لینک ماکروویو نقطه به نقطه پیاده‌سازی شود. در صورتی که به عنوان یک لینک ماکروویو و نقطه به نقطه پیاده‌سازی شود، یک محدوده فاصله بسیار بیشتری از واسط هوایی را به موبایل خواهد داشت.

واسط‌های هوایی Un و Uu می‌توانند یک فرکانس یکسان یا فرکانس‌های حامل مختلفی را به کار ببرند. در حالی که فرکانس‌های حامل مختلف باشند، واسط Un دقیقاً همانند یک واسط هوایی معمولی پیاده‌سازی شوند. برای مثال، یک گره باز پخش کننده همانند یک ایستگاه پایه روی واسط Uu به سمت یک eNB دهنده (DeNB) شاره می‌کند. اگر فرکانس‌های حامل مشابه هم باشند، در این صورت، واسط هوای Un برخی از توابع را نیاز دارد، که در بخش بعدی پوشش داده شده است و این توابع اضافی برای اشتراک‌گذاری منابع واسط هوایی با Uu است. در اینجا، دو محدودیت برای استفاده از پخش کنندگی در نسخه دهم وجود دارد. گره‌های باز پخش کننده به صورت بدون تحرک ایستا در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین یک گره باز پخش

کننده نمی‌تواند از یک DeNB به DeNB دیگری دست به دست شود. به علاوه، از پخش کنندگی چند پرشی نیز پشتیبانی نمی‌شود. پس، یک گره بازپخش کننده نمی‌تواند گره باز پخش کننده دیگری را کنترل کند. اما این دو محدودیت تأثیری روی موبایل ندارند. چرا که، موبایل از این که توسط یک باز پخش کننده کنترل می‌شود آگاه نیست. این ویژگی باعث می‌شود، که موبایل‌های نسخه هشتم نیز به همان روش موبایل‌های نسخه دهم از باز پخش کنندگی برخوردار باشند.

۱۹-۴-۳ پیشرفت‌های روی واسط هوایی

اگر واسط‌های Uu و Un از یک فرکانس حامل یکسان استفاده کنند، برخی از به روزرسانی‌ها روی Uu نیاز است تا منابع آن واسط هوایی بتواند به اشتراک گذاشته شود. این به روزرسانی‌ها و پیشرفت‌های لایه فیزیکی در یک مشخصات 3GPP خلاصه شده‌اند [۲۷]. در حالیکه برخی از پیام‌های سیگنالینگ RRC نیز مورد نیاز است [۲۸]. در اینجا این پیام‌های سیگنالینگ هیچ تأثیری روی قابلیت‌های واسط Uu ندارند، بلکه تنها برای اطمینان از پشتیبانی آن برای موبایل‌های نسخه هشت یا روی پروتکل‌های لایه دو می‌باشد.

منابع واسط هوایی با استفاده از مالتی پلگسینک تقسیم زمانی با زیر فریم‌های خاصی که به Uu یا Un اختصاص داده شدند، به اشتراک گذاشته شده است. اینکار به دو روش پیاده‌سازی می‌شود. نخست، eNB سرویس‌دهنده به گروه بازپخش کننده درباره این تخصیص با استفاده از پیام پیکربندی مجدد $RRC\ RN$ ^۱ اطلاع می‌دهد. دوم، گره بازپخش کننده زیر فریم‌های Uu را به عنوان زیر فریم‌های MBSFN روی Uu پیکربندی می‌کند. اما هیچگونه داده MBSFN لینک فروسو را در آنها ارسال نمی‌کند و هیچگونه انتقال‌های داده‌ای روی لینک فراسو را در آنها زمان-بندی انجام نمی‌دهد. اینکار کمی ناخوشایند است. اما با موبایل‌های که قابلیت‌های نسخه هشتم را دارند، سازگار می‌باشد.

متأسفانه، شروع یک زیرفرم MBSFN به وسیله انتقال‌های PDCCH روی واسط هوایی Uu به کار گرفته می‌شود. به طور معمول، اعطاهای زمان‌بندی برای انتقال‌های لینک فراسو در چند زیرفریم بعدی رخ می‌دهد. این کار جلوی استفاده از PDCCH روی واسط Uu را می‌گیرد. در عوض، مشخصات 3GPP کانال کنترل فیزیکی بازپخش کننده لینک فروسو ($R-PDCCH$)^۲ را معرفی کرده است، که جای PDCCH را روی واسط Uu می‌گیرد. انتقال‌های R-PDCCH تا

1. RN Reconfiguration Messages

2. Relay Physical downlink Control Channel

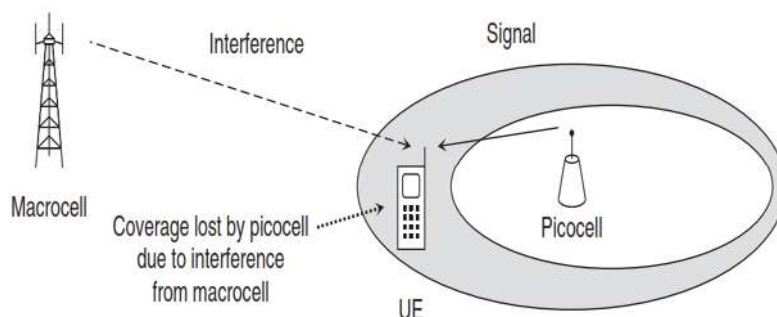
حدودی شبیه انتقال‌های PDCCH معمولی هستند، اما در گروه‌های عناصر منابع رزو شده در بخشی از زیر فریمی که به طور معمول برای داده به کار می‌رود، رخ می‌دهند. انتقال‌ها در اولین شیار یک زیر فریم برای دستورات زمان‌بندی لینک فرسو استفاده می‌شود، در حالیکه انتقال‌های دومین شیار آن برای اعطای زمان‌بندی لینک فراسو به کار می‌رود.

واسط Un از کانال شاخص HARQ فیزیکی استفاده نمی‌کند. در عوض، eNB دهنده (DeNB) به طور غیر مستقیم انتقال‌های لینک فراسو گره بازپخش کننده را با استفاده از اعطاهای زمان‌بندی روی R-PDCCH تصدیق می‌کند. در غیاب PDCCH و PHICH کانال شاخص قالب کنترل فیزیکی نیز مورد نیاز نمی‌باشد.

۱۹-۵ شبکه‌های ناهمگن

۱۹-۵-۱ مقدمه

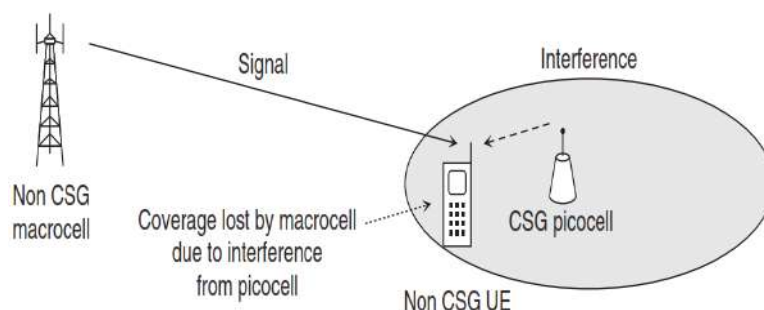
شبکه‌های دسترسی رادیویی اغلب دارای لایه‌هایی از سلول‌ها مثل میکروسل‌ها، ماکروسل‌ها و پیکوسل‌ها هستند. اپراتور شبکه برای غلبه یا حداقل کردن تداخل بین این لایه‌ها، آنها را با فرکانس‌های حامل مختلفی پیاده‌سازی می‌کند. اما همیشه این روش عملی نیست، چرا که مثلاً ممکن است، یک اپراتور باندهای فرکانسی کافی در اختیار نداشته باشد و همچنین نتواند استفاده کاملاً بهینه‌ای از همه پهنای باند در اختیار خود، داشته باشد. به عنوان یک روش جایگزین، یک اپراتور شبکه می‌تواند لایه‌هایی را روی آن فرکانس حامل ایجاد کند، در نتیجه، این لایه‌ها فرکانس یکسانی را اشغال خواهند کرد. چنین شبکه‌ای به نام شبکه‌های ناهمگن یا *HetNet*^۱ نامیده می‌شوند [۲۹]. شبکه‌های ناهمگن از دو مسئله تداخلی رنج می‌برند: نخستین آن (شکل ۱۹-۷) هنگامی رخ می‌دهد، که یک ایستگاه پایه توان بالا مثل یک ماکروسل خیلی نزدیک به یک ایستگاه پایه توان پایین مثل یک پیکوسل باشد. تداخل ناشی از ماکروسل ناحیه پوششی پیکوسل را کاهش می‌دهد. در نتیجه، مزایایی را که ایستگاه پایه پیکوسل برای آن ایجاد شده بود، را محدود می‌کند.



شکل ۷-۱۹ کاهش ناحیه پوششی یک پیکوسل به دلیل تداخل ایجاد شده از سمت یک ماکروسل همسایه

منبع: TS 36.300 بازنشر با مجوز ETSI

مسئله دوم زمانی رخ می‌دهد، که پیکوسل متعلق به یک گروه کاربران مجرمانه (CSG) باشد (شکل ۸-۱۹). اگر موبایل مجاوری که متعلق به آن CSG نباشد، به احتمال زیاد به دلیل تداخلی که از پیکوسل می‌گیرد، نتواند با ماکروسل ارتباط برقرار کند. به تفاوت بین دو سناریو توجه شود. در سناریوی نخست، ماکروسل تداخلگر و پیکوسل قربانی است. در حالی که، در سناریوی دوم دقیقاً نقش‌ها برعکس می‌شود.



شکل ۸-۱۹ کاهش ناحیه پوششی یک ماکروسل بدون CSG به دلیل تداخل ناشی از یک پیکوسل CSG

منبع: TS 36.300 بازنشر با مجوز ETSI

۱۹-۵-۲ هماهنگی تداخل بین سلولی تکامل یافته

مسائل مربوط به تداخل می‌تواند با استفاده از روشی به نام هماهنگی تداخل حوزه زمان^۱ یا هماهنگی تداخل بین سلولی تکامل یافته (EICIC)^۲ کاهش یابد. هنگامی که از این روش استفاده

1. Time Domain Interference Coordination
2. Enhanced Inter-Cell Interference Coordination

می‌شود، سلول تداخل‌گر در زیر فریم‌های دقیقی مثل زیر فریم‌های تقریباً خالی (ABS)^۱ پیکربندی می‌شوند، بنابراین سطوح تداخل را در سلول قربانی کاهش می‌دهند.

داخل یک زیر فریم تقریباً خالی (ABS)، سلول تداخل‌گر حداقل اطلاعات مورد نیاز را برای سازگاری با قابلیت نسخه‌های قدیمی هشتم و نهم مثل سگینال‌های مرجع ویژه سلول، PHICH و PCFICH را حمل می‌کند. این سلول اطلاعات مربوط به زمان‌بندی سایر زیر فریم‌ها مثل اکثر دستورات زمان‌بندی روی PDCCH و انتقال‌های مربوطه به داده روی PDSCH را ارسال نمی‌کند. سلول قربانی می‌تواند موبایل‌های آسیب‌پذیر را در داخل آن زیر فریم‌های تقریباً خالی زمان‌بندی کند، که در آنجا تداخل کمتر است. زیر فریم‌های تقریباً خالی با یک الگو ویژه سلول ظاهر می‌شوند، که این الگو با دوره ۴۰ زیر فریم در حالت FDD و دوره دیگری که بستگی به پیکربندی TDD در حالت TDD دارد، ظاهر می‌شوند. اپراتورهای شبکه‌ها می‌توانند زیر فریم‌های تقریباً خالی را به دو روش پیکربندی کنند: دستی و یا با استفاده روش‌های خود بهینه‌سازی که ما آن را در زیر توصیف می‌کنیم.

به کار بردن زیر فریم‌های تقریباً خالی تعداد زیر فریم‌های موجود در سلول تداخل‌گر را کاهش می‌دهد. بنابراین، این عمل متوسط بهره‌وری طیفی آن سلول را کاهش می‌دهد. اما این کار باعث می‌شود، که هم سلول تداخل‌گر و هم سلول قربانی روی یک فرکانس حامل به طور مشترک کار کنند و این کار پهنای باند در دسترس در هر دوی آنها را افزایش می‌دهد. در یک شبکه مناسب، تأثیر دوم آثار بزرگ‌تری را نسبت به اولی دارد، بنابراین ظرفیت آن شبکه افزایش می‌یابد.

زیر فریم‌های تقریباً خالی (ABS) باعث ایجاد یک مشکل دیگری می‌شوند: تداخل در سلول قربانی باعث انسداد و اتصال‌های مداوم از یک زیر فریم به زیر فریم دیگری می‌شوند و می‌توانند اندازه‌گیری‌های موبایل را تخریب کنند. شبکه با استفاده از الگوهای محدودیت اندازه‌گیری منابع^۲ آن را حل می‌کند. این الگوها اندازه‌گیری‌های یک موبایل موجود در یک سلول تداخل‌گر را مخدوش می‌کنند، که این کار را برای زیر فریم تقریباً خالی و یا برای زیر فریم‌های باقی‌مانده اعمال می‌کنند و به موبایل اجازه می‌دهد، یک مجموعه استوار و محکم از اندازه‌گیری‌ها را برای انتخاب مجدد سلول، دست به دست کردن و گزارش‌دهی اطلاعات وضعیت کانال درست کند.

۱۹-۵-۳ پیشرفت‌های انجام شده روی شبکه‌های خود بهینه‌ساز

معرفی زیر فریم‌های تقریباً خالی دو پیشرفت را در توابع خود بهینه‌ساز به همراه داشت، که آنها را در فصل هفدهم بیان کردیم. در این روش، ایستگاه پایه برای هماهنگی تداخل بین سلولی

1. Almost Blank Subframes

2. Measurement Resource Restriction Patterns

می‌تواند یک عنصر اطلاعاتی اضافه‌ای به نام /اطلاعات ABS^۱ را به پیام اطلاعات بار X2-AP خودش اضافه کند. این فیلد لیست زیر فریم‌های تقریباً خالی است، که سلول‌های آن پیکربندی شده است و یک سلول همسایه می‌تواند آنها را برای زمان‌بندی موبایل‌های آسیب‌پذیر به تداخل به کار بگیرد.

در فرایندی که برای قابلیت تحرک و توازن بار به کار می‌رود، سلول همسایه یک عنصر اطلاعاتی اضافه‌ای به نام وضعیت ABS^۲ را به پیام به روزرسانی وضعیت منبع X2-AP خودش اضافه می‌کند. این فیلد گزارش دهنده مقدار منابع استفاده شده همسایه است، که در داخل آن زیر فریم‌هایی قرار دارد و ایستگاه پایه اولیه آن را قبلاً به عنوان زیر فریم‌های تقریباً خالی پیکربندی کرده بود. ایستگاه پایه اولیه می‌تواند این اطلاعات را برای تنظیم تعداد ABS‌هایی که پیکربندی شده‌اند، به کار بگیرد. برای مثال، اگر منابع استفاده شده توسط همسایه بالا باشد، تعداد ABS‌های بیشتری اضافه می‌کند.

۱۹-۶ روش‌های رهاسازی^۳ ترافیک

۱۹-۶-۱ دسترسی IP محلی

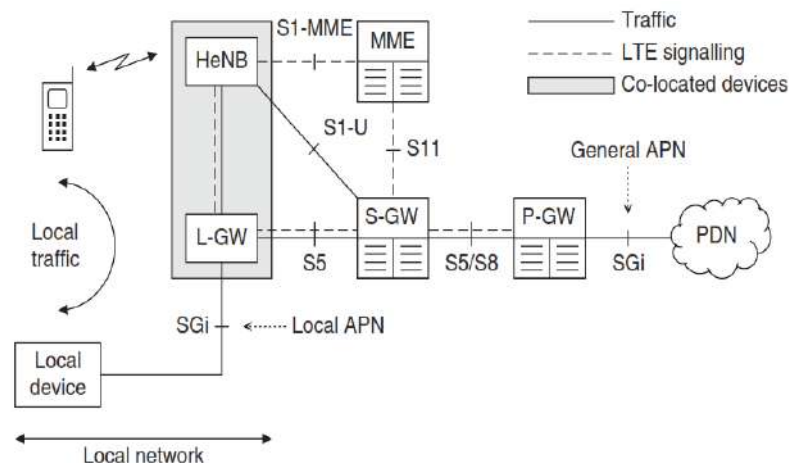
چنانچه در فصل اول دیدیم، افزایش داده موبایل تهدیدی چالش برانگیز برای اپراتورهای شبکه موبایل بوده است و آنها را بر آن داشت، که ترافیک خود را در جاهای دیگر و از طریق فناوری‌های دیگر رهاسازی نمایند. مشخصات 3GPP نسخه دهم چهار روش برای نیل به این هدف را معرفی کرد. در دسترسی IP محلی (LIPA)^۴ یک eNB خانگی دارای یک دروازه محلی (LGW)^۵ است، که شبیه یک دروازه PDN عمل می‌کند [۳۰-۳۱]. موبایل می‌تواند دروازه محلی را برای ارتباط با یک ابزار محلی مثل یک پرینتر استفاده کند: این ترافیک نیازی نیست، که حتماً از طریق EPC منتقل شود. این معماری در شکل ۱۹-۹ نشان داده شده است.

برای کمک به پشتیبانی از دسترسی IP محلی، eNB خانگی آدرس IP دروازه دسترسی محلی را به MME در قالب بخشی از هر پیام انتقال NAS لینک فراسو S1-AP یا پیام آغازین UE

-
1. Offloading
 2. Local IP Access
 3. Traffic Offload
 4. Local IP Access
 5. Local Gateway

ارسال می‌کند. اگر درخواست ارتباطی کاربر به یک نام نقطه دسترسی برای LIPA پذیرفته شود، در نتیجه، MME می‌تواند دروازه محلی را به جای یک دروازه PDN عملی انتخاب کند و این کار را به eNB خانگی موبایل اطلاع می‌دهد. حال ترافیک محلی به طور مستقیم بین eNB خانگی و دروازه محلی متصل شده به آن رد و بدل می‌شود، بدون آنکه نیازی به انتقال ترافیک از طریق دروازه خدمت‌رسانی باشد.

برای کمک به پشتیبانی از دسترسی محلی IP، eNB خانگی آدرس IP دروازه دسترسی محلی را به MME در قالب بخشی از هر پیام انتقال NAS لینک فراسوی S1-AP یا پیام اولیه UE ارسال می‌کند. اگر درخواست ارتباطی کاربر به یک نام نقطه دسترسی برای LIPA پذیرفته شود، سپس MME می‌تواند دروازه محلی را به جای یک دروازه PL عملی انتخاب کند و آن را به eNB خانگی موبایل اطلاع می‌دهد. حال ترافیک محلی به طور مستقیم بین eNB خانگی و دروازه محلی متصل شده به آن رد و بدل شود بدون آنکه نیازی به انتقال ترافیک از طریق دروازه خدمت‌رسانی باشد.



شکل ۱۹-۹ مثالی از معماری شبکه برای LIPA

منبع: TR 23.829 باز نشر با مجوز ETSI

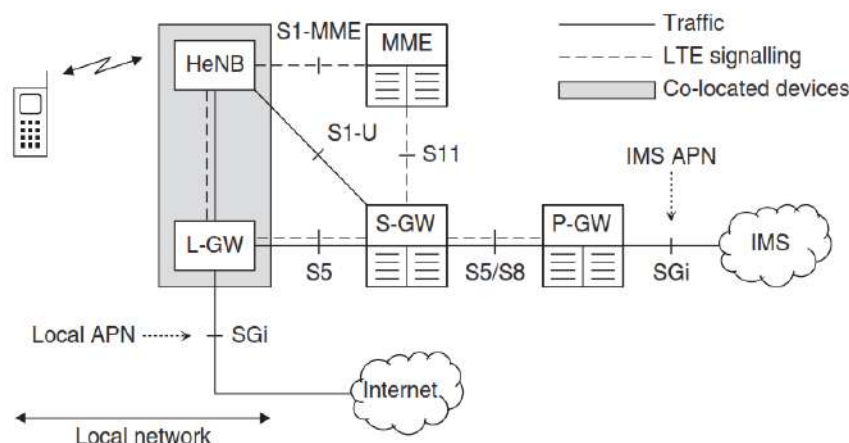
در اینجا تنها مشکل زمانی به وجود می‌آید، که داده‌ها در لینک فروسو رسیده باشند در حالی که، کاربر در حالت RRC_IDLE قرار داشته باشد. در این وضعیت، دروازه محلی اولین بسته لینک فروسو را از طریق واسطه S5 به دروازه خدمت‌رسانی ارسال می‌کند و فرایند معمول فراخوانی آغاز می‌شود و موبایل را به حالت RRC_CONNECTED می‌برد. سپس، دروازه محلی به طور مستقیم می‌تواند بسته‌های لینک فروسو بعدی را به eNB خانگی تحویل دهد.

۱۹-۶-۲ آزادسازی ترافیک IP انتخابی

با استفاده از آزادسازی ترافیک IP انتخابی (SIPTO) [۳۲]، MME می‌تواند اطلاعات خود را از موقعیت موبایل‌های مجاور افزایش دهد تا یک دروازه خدمت‌رسانی و یک دروازه PDN در آن نزدیکی انتخاب کند. در پیاده‌سازی اولیه از نسخه دهم، دروازه خدمت‌رسانی و دروازه PDN هر دو در شبکه هسته اپراتور قرار دارند. ترافیک از طریق EPC (هسته بسته تکامل یافته) منتقل می‌شود، اما یک مسیر کوتاه‌تری از حالت‌های دیگر را سپری می‌کند.

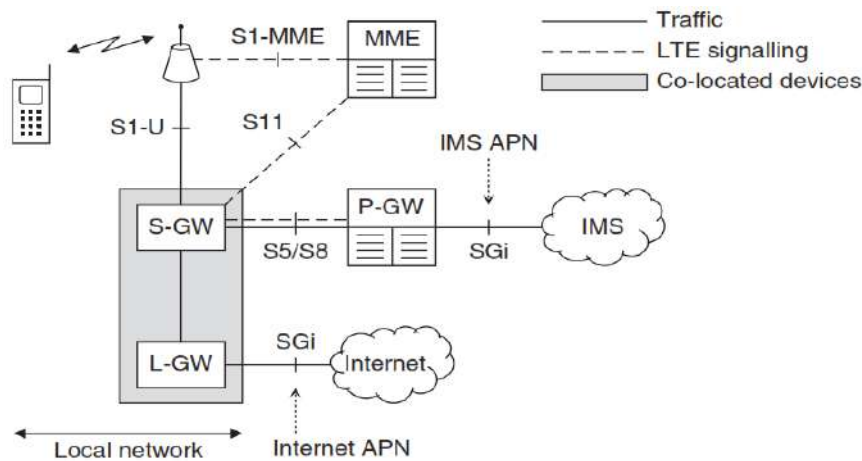
در نسخه دوازدهم، یک دروازه محلی می‌تواند جایگزین یک دروازه PDN شود، که آن دروازه دسترسی در شبکه دسترسی محلی قرار داشته دارد. برای این منظور دو معماری ممکن است، وجود داشته باشد: نخست، دروازه محلی می‌تواند مشترکاً با eNB خانگی در یک مکان باشد، که به عنوان یک الحاقیه به معماری LIPA است و ما آن را در بالا بیان کردیم (شکل ۱۹-۱۰).

دوم، دروازه محلی می‌تواند با یک دروازه خدمت‌رسان به طور مشترک داخل یک پیکوسل شبکه باشند (شکل ۱۹-۱۱). هر دو معماری اشاره شده به تنهایی برای دسترسی به اینترنت در نظر گرفته شده است و به اپراتورهای شبکه اجازه می‌دهد تا ترافیک اینترنت را از بسته هسته تکامل یافته (EPC) رهاسازی سازی کنند. ترافیک سایر شبکه‌های داده بسته‌ای مثل زیر سیستم چند رسانه‌ای (IMS) IP بدون تغییر باقی ماند.



شکل ۱۹-۱۰ مثالی از معماری SIPTO در یک شبکه محلی با دروازه محلی جای‌سازی شده با یک eNB

خانگی منبع: TR 23.829 بازنشر با مجوز ETSI



شکل ۱۹-۱۱ مثالی از معماری SIPTO در یک شبکه محلی که دروازه محلی با یک دروازه خدمت‌رسانی مشترکاً در یک مکان قرار دارند منبع: TR 23.829 بازنشر با مجوز ETSI

۱۹-۶-۳ دسترسی چندگانه ارتباطی PDN

با استفاده از دسترسی چندگانه ارتباطی PDN (MAPCON)^۱ اپراتور یک شبکه می‌تواند موبایل را به نقاط دسترسی مختلفی در یک لحظه با استفاده از فناوری‌های دسترسی گوناگون بویژه یک شبکه 3GPP و یک شبکه غیر 3GPP متصل کند. برای مثال، شکل ۱۹-۱۲، یک اپراتور، ممکن است یک کاربر ثابت شهری را به یک زیر سیستم چند رسانه IP (IMS) با استفاده از یک پیکوسل LTE متصل نماید. به طوری که، از تضمین کیفیت سرویس شبکه LTE برخوردار می‌شود. در همان لحظه ممکن است، همان اپراتور برنامه کاربردی را به استفاده از یک شبکه WLAN خانگی به اینترنت متصل کند. بنابراین، رهاسازی ترافیک اینترنت از پیکوسل انجام می‌گیرد. همچنین اپراتور شبکه APN‌های خاصی از یک فناوری دسترسی رادیویی به یک فناوری دیگری منتقل می‌کند. مثلاً، اگر کاربر از ناحیه تحت پوشش شبکه دسترسی خود خارج شده باشد، این اتفاق رخ می‌دهد.

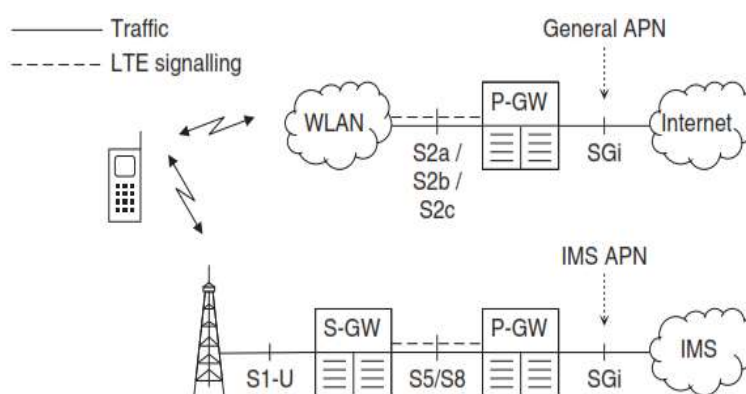
برای کمک به پشتیبانی از MAPCON، تابع کشف شبکه دسترسی و انتخاب آن (ANDSF)، لیست اولویت‌بندی شده قواعد سیاست‌گذاری و خط مشی مسیریابی بین سیستمی مبتنی بر سرویس (ISRP)^۲ را در اختیار موبایل قرار می‌دهد. هر قاعده دارای یک نام نقطه دسترسی، یک لیست اولویت‌بندی شده از فناوری‌های دسترسی رادیویی و شناسه‌های سلول یا شبکه و نیز

1. Multi-Access PDN Connectivity

2. Service Based Intersystem Routing Policy Rules

دارای اطلاعات اختیاری است، که توصیف کننده اعتبار این قواعد در شرایط مکانی و زمانی موبایل است.

در درخواست یک ارتباط PDN جدید، موبایل قواعد سیاست‌گذاری مسیریابی بین سیستمی را بررسی می‌کند، که این قواعد را ANDSF دریافت کرده است و موبایل تصمیم می‌گیرد، که آیا باید از طریق LTE و یا از طریق یک فناوری غیر 3GPP این ارتباط را برقرار سازد. پس از آن، موبایل یک یا تعداد بیشتری APN را از یک فناوری دسترسی رادیویی به دیگری با استفاده از فرایندهای انتخاب مجدد تغییر می‌دهد، که ما آنها را در فصل شانزدهم بیان کردیم.



شکل ۱۹-۱۲ مثالی از معماری شبکه برای MAPCON

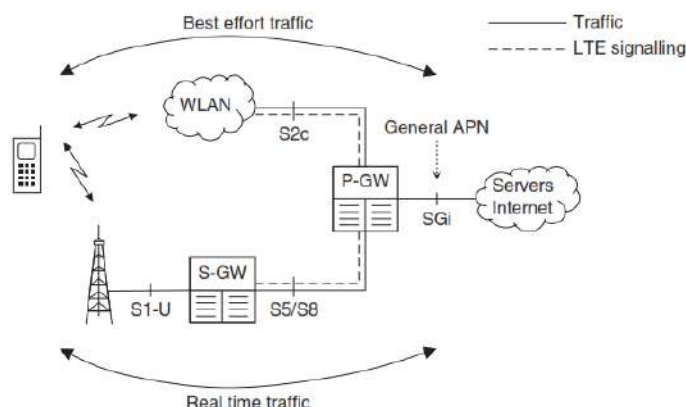
۱۹-۶-۴ قابلیت تحرک جریان IP

قابلیت تحرک جریان IP (IFOM) شبیه MAPCON است، اما کمی پیچیده‌تر از آن می‌باشد. با استفاده از IFOM، یک اپراتور شبکه می‌تواند جریان‌های ترافیک IP مختلفی را برای تمام نقاط دسترسی یکسان با بهره‌گیری از فناوری‌های دسترسی رادیویی مختلف کنترل کند و جریان‌های خاص را از یک فناوری به فناوری دیگر منتقل نماید. در یک سناریو معمولی (شکل ۱۹-۱۳) یک کاربر ممکن است، از طریق یک APN عمومی به سرورهای اپراتور شبکه و اینترنت وصل شده باشد. در نتیجه، اپراتور شبکه می‌تواند با استفاده از یک شبکه بی‌سیم محلی (WLAN) برای ارتباط اینترنت و هر شبکه دیگر با ترافیک بهترین تلاش (best effort) متصل شود، ولی شبکه دسترسی LTE را برای ترافیک بلادرنگ مثل صوت و جریان‌های ویدیویی از سرورهای خودش

ذخیره می‌کند. در مورد شبکه‌های بی‌سیم دسترسی محلی قابلیت تحرک جریان IP به عنوان رهاسازی بدون درز WLAN^۱ نیز هم شناخته می‌شود.

برای کمک به پشتیبانی از IFOM، گره ANDSF از یک لیست اولویت‌بندی شده قوانین و قواعد سیاست‌گذاری بین سیستمی مبتنی بر جریان^۲ موبایل پشتیبانی می‌کند. این قواعد شبیه به قواعد ISRP مبتنی بر سرویس هستند، که MAPCON آنها را به کار می‌گیرد. به جز این که هر قاعده یک جریان ترافیک را با استفاده از فیلترهای مسیریابی که شامل اطلاعاتی نظیر آدرس‌های IP مبدأ و مقصد و شماره پورت‌های آن است، را به کار می‌گیرد.

IFOM به یک معماری قابلیت متحرک بدون 3GPP مبتنی بر میزبان نیاز دارد، که ما آن را در فصل شانزدهم بیان کردیم. موبایل به IPv6 موبایل پشته دوگانه (DSMIPv6) نیاز دارد [۳۵-۳۶]، که دارای ضمایمی است، و جریان‌های ترافیکی را از طریق فیلترهای مسیریابی تعریف می‌کنند {۳۷-۳۸} برای اجرای IFOM، موبایل شروع به برقراری ارتباط با یک دروازه PDN از طریق LTE و یک شبکه دسترسی غیر 3GPP می‌کند. پس از آن، موبایل اقدام به تخصیص یک جریان ترافیکی به یک فناوری دسترسی می‌نماید. موبایل آن را با ساختن یک پیام به روزرسانی ارتباطی^۳ DSMIPv6 انجام می‌دهد، که خود این پیام دارای فیلترهای مسیریابی است و موبایل این پیام را در سراسر یک شبکه دسترسی ارسال کرده و به یک دروازه PDN می‌رساند. دروازه PDN اطلاعات مسیریابی خودش را به روزرسانی کرده و جهت بسته‌های لینک فراسوی بعدی را روی شبکه دسترسی درخواست شده موبایل تغییر می‌دهد.



شکل ۱۹-۱۳ مثالی از معماری شبکه برای IFOM

1. Seamless WLAN Offloading
2. Flow-Based Intersystem Routing Policy Rules
3. DSIPv6 Binding Update

۱۹-۷ کنترل سرریز برای ارتباطات از نوع ماشین

مثل سایر شبکه‌های ارتباطی موبایل، LTE نیز برای استفاده مردم طراحی شده بود، اما یک بازار در حال افزایش برای ارتباطات ماشین به ماشین (M2M)^۱ وجود دارد، که مشخصات 3GPP این ارتباطات را به عنوان ارتباطات از نوع ماشین (MTC)^۲ می‌نامند [۳۹-۴۰]. در MTC یک وسیله خودکار با یک سرور خارجی برای پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی مثل ردیابی وسایط نقلیه و کالا، ابزارهای اندازه‌گیری بی‌سیم و تجهیزات الکترونیکی مشتریان تماس می‌گیرد.

شمار تجهیزات نوع ماشین از هر نوعی که باشند، می‌توانند با پتانسیلی که برای هزاران وسیله به ازای هر سلول دارند، بسیار زیاد باشند. هر وسیله‌ای می‌تواند تنها مقدار کوچکی از ترافیک را تولید کند، بنابراین بار ترافیکی آنها معمولاً خیلی مشکل‌ساز نیست. اما دو مسئله دیگر در اینجا قابل مطرح هستند. نخست، هر یک از این تجهیزات مثل سیستم‌های موبایل قدیمی تنها پیام‌های سیگنالینگ بسیار عظیمی را تولید می‌کنند. بنابراین، مجموع بار نهایی سیگنالینگ همه آنها می‌تواند خیلی بزرگ باشد. دوم، ترافیک و پیام‌های می‌توانند در قالب برست به حالت انفجاری برسند، دلیل آن مثلاً می‌تواند به سبب انتخاب‌های مجدد شبکه بعد از دست دادن PLMN خانگی باشد.

نسخه دهم برخی از ویژگی‌ها را برای جلوگیری از سرریزهایی که از سوی تجهیزات نوع ماشین در شبکه اتفاق می‌افتد، را ارایه کرده است [۴۱-۴۲]. نقطه شروع آنجاست، که به یک وسیله نوع ماشین مجموعه‌ای از پارامترهای پیکربندی قشر بدون دسترسی (NAS) را تخصیص می‌دهد، که این پیکربندی‌ها در USIM ذخیره شده و می‌تواند آن را از یک سرور مدیریت تجهیزات دریافت کند [۴۳-۴۴] اصلی‌ترین و مهم‌ترین این پارامترها یک اولویت دسترسی پائینی^۳ را بر پایه برنامه‌های ارتباط نوعی ماشینی ارایه می‌دهد، که دارای تحمل پذیری تأخیر بالایی هستند.

اگر وسیله‌ای دارای یک اولویت دسترسی پائینی باشد، این اولویت دسترسی را از طریق درخواست‌های ارتباط RRC و پیام‌های سیگنالینگ خودش به NAS شبکه اعلام می‌کند. اگر شبکه با سرریز بار مواجه شده باشد، می‌تواند به چند روش به آن درخواست پاسخ دهد. به عنوان مثال، ممکن است، شبکه آن پیام را رد کند و یک تایمر بازگشت به عقب برای آن فراهم نماید،

-
1. Machine To Machine Communications
 2. Machine Type Communications
 3. Low Access Priority

به طوری که، آن وسیله تا به اتمام رسیدن آن تایمر منتظر می ماند و قبل از آن اقدام به ارتباط مجدد نمی کند. همچنین MME می تواند از دروازه خدمت رسانی بخواهد تا شمار هشدارهای داده لینک فروسو اولویت پایین را با درصد مشخصی کاهش دهد. دروازه خدمت رسانی با حذف تصادفی بسته های دریافتی مربوط به تجهیزات اولویت پایین به MME پاسخ لازم را برمی گرداند. در نتیجه، به کاهش شرایط سرریز کمک شایانی می کند. روش های کنترل سرریز بار از نسخه دهم به بعد، به موبایل هایی که فرایند دسترسی تصادفی را به اتمام رسانده اند، اعمال می شود. همچنین این موبایل ها که فرایند دسترسی تصادفی را به اتمام رسانده اند، در برابر سرریز بار آسیب پذیر هستند. نسخه یازدهم این مشکل را با استفاده از روشی به نام محدود کردن دسترسی تصادفی^۱ شناسایی می کند [۴۶-۴۵] تا اپراتور بتواند به طور انتخابی تعداد نرخ تلاش های دسترسی را محدود کند. این کار چنانچه گفته شد، به طور انتخابی نرخ تلاش هایی که توسط تجهیزات MTC برای اتصال به شبکه انجام می گیرد، را محدود می کند و با استفاده از اطلاعات پخش سراسری که از سوی یک بلاک اطلاعات سستمی جدید به نام SIB 14 پخش می شود، انجام می گیرد.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TR 36.912 (2012) Feasibility Study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced), Release 11, September 2012.
2. 3rd Generation Partnership Project (2013) FTP Directory, ftp://ftp.3gpp.org/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/ (accessed 15 October 2013).
3. 4G Americas (2012) 4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and Beyond: HSPA+, SAE/LTE and LTE-Advanced, October 2012.
4. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Sections 5.5, 6.4, 7.5, September 2013.
5. 3GPP TS 36.101 (2013) User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 11, Sections 5.5A, 5.6A, September 2013.

1. Extended Access Barring

6. 3GPP TS 36.306 (2013) User Equipment (UE) Radio Access Capabilities, Release 11, Sections 4.1, 4.3.5.2, September 2013.
7. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.6 (UE-EUTRA-Capability), September 2013.
8. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.3.1, June 2013.
9. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Sections 7.1, 8.0, 9.1.1, September 2013.
10. 3GPP TS 36.306 (2013) User Equipment (UE) Radio Access Capabilities, Release 11, Sections 4.3.4.12, 4.3.4.13, 4.3.4.14, September 2013.
11. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 5.4.2A, September 2013.
12. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Sections 5.2.2.6, 5.2.3.1, June 2013.
13. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Sections 7.3, 10, September 2013.
14. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Sections 5.13, 6.1.3.8, July 2013.
15. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 6.10.3, 6.10.5, September 2013.
16. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 6.3.4.2.3, 6.3.4.4, September 2013.
17. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.3.1.5C, June 2013.
18. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 7.1, September 2013.
19. 3GPP TS 36.306 (2013) User Equipment (UE) Radio Access Capabilities, Release 11, Section 4.3.4.6, September 2013.

20. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 8.0, September 2013.
21. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.3.1.8, June 2013.
22. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 5.2.1, 5.3.2A, 5.3.3A, September 2013.
23. 3GPP TS 36.106 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); FDD Repeater Radio Transmis- sion and Reception, Release 11, March 2013.
24. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Sections 4.3.20, 4.4.10, September 2013.
25. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 4.7, September 2013.
26. 3GPP TR 36.806 (2010) Relay Architectures for E-UTRA (LTE-Advanced), Release 9, Section 4.2, April 2010.
27. 3GPP TS 36.216 (2012) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer for Relaying Operation, Release 11, September 2012.
28. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 5.9, Septem-ber 2013.
29. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terres-trial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 16.1.5, Annex K, September 2013.
30. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 4.3.16, September 2013.

31. 3GPP TS 36.300 (2013) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2, Release 11, Section 4.6.5, September 2013.
32. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 12, Sections 4.3.15, 4.3.15a, September 2013.
33. 3GPP TR 23.861 (2012) Multi Access PDN Connectivity and IP Flow Mobility, Release 12, Annex A, November 2012.
34. 3GPP TS 23.261 (2012) IP flow Mobility and Seamless Wireless Local Area Network (WLAN) Offload, Release 11, September 2012.
35. 3GPP TS 24.303 (2013) Mobility Management Based on Dual-Stack Mobile IPv6, Release 11, June 2013.
36. IETF RFC 5555 (2009) Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers, June 2009.
37. IETF RFC 5648 (2009) Multiple Care-of Addresses Registration, October 2009.
38. IETF RFC 6089 (2011) Flow Bindings in Mobile IPv6 and Network Mobility (NEMO) Basic Support, January 2011.
39. 3GPP TS 22.368 (2012) Service Requirements for Machine-Type Communications (MTC), Release 11, September 2012.
40. 3GPP TR 37.868 (2011) Study on RAN Improvements for Machine-Type Communications, Release 11, Annex B, October 2011.
41. 3GPP TR 23.888 (2012) System Improvements for Machine-Type Communications (MTC), Release 11, Sections 7.1, 8.1, September 2012.
42. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 4.3.17, September 2013.
43. 3GPP TS 31.102 (2013) Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) Application, Release 11, Section 4.2.94, September 2013.

-
44. 3GPP TS 24.368 (2012) Non-Access Stratum (NAS) Configuration Management Object (MO), Release 11, September 2012.
 45. 3GPP TS 31.102 (2013) Characteristics of the Universal Subscriber Identity Module (USIM) Application, Release 11, Sections 4.2.15, 4.2.94, September 2013.
 46. 3GPP TS 22.011 (2013) Service Accessibility, Release 11, Section 4, March 2013.

فصل بیستم: نسخه‌های یازدهم و دوازدهم

ما در این فصل دو نسخه اصلی اخیر از مشخصات 3GPP به نام‌های نسخه یازدهم و دوازدهم را بررسی می‌کنیم. نسخه یازدهم در سال ۲۰۱۳ نهایی شد و این فصل را با بحث درباره مشخصات اصلی آن آغاز می‌کنیم. این مشخصات، شامل انتقال و دریافت چند نقطه هماهنگ، کانال کنترل فیزیکی لینک فروسو پیشرفته، پرهیز از تداخل بین فناوری‌های دسترسی رادیویی مختلف و پیشرفت‌ها در ارتباطات نوع ماشین و داده‌های کاربردی موبایل هستند.

نسخه دوازدهم در سپتامبر ۲۰۱۴ طبق زمان‌بندی به اتمام می‌رسد. بنابراین این ویژگی‌ها هنگام چاپ این کتاب هنوز نهایی نشده‌اند. ما ابتدا مهم‌ترین ویژگی‌های این نسخه را پوشش خواهیم داد، این ویژگی‌های اصلی شامل ارتباطات وسایل به وسایل، تطبیق پویایی پیکربندی TDD، پیشرفت‌های بیشتر برای ارتباطات نوع ماشین و داده‌های کاربردی موبایل و تعامل توسعه یافته با شبکه‌های محلی دسترسی بی‌سیم هستند. علاوه بر این، در طول این فصل دو مورد از مطالعات 3GPP به نام‌های بهبودهای روی سلول‌های کوچک و شبکه‌های ناهمگن و شکل‌دهی پرتو پیشرفته بررسی خواهد شد. برخی از ویژگی‌های نسخه دوازدهم با گذر زمان با نهایی شدن این نسخه تغییر خواهند کرد، اما ما به آنهایی که بدون تردید بدون تغییر باقی خواهند ماند، توجه خواهیم کرد.

جزئیات نسخه‌های یازدهم و دوازدهم را می‌توان از روی خلاصه نسخه 3GPP مربوطه پیدا کرد [۱]. علاوه بر این، اطلاعاتی درباره آخرین نسخه 3GPP را می‌توان از به روزرسانی‌های 4G Americans استخراج نمود [۲]، که اطلاعاتی درباره نسخه‌های سیزدهم، چهاردهم و بعد از آن را جمع‌آوری کرده است.

۲۰-۱ انتقال و دریافت چند نقطه هماهنگ

۲۰-۱-۱ اهداف

اگر موبایل از آنتن‌های ایستگاه پایه دور شده باشد و به گوشه سلول برسد. در این صورت، موبایل سیگنال‌های ضعیف شده از سلول سرویس‌دهنده خواهد گرفت و در مقابل تداخل بیشتری را از سلول‌های دیگری که در مجاورت آن وجود دارند، دریافت می‌کند. روی هم رفته این دو تأثیر باعث کاهش نرخ داده موبایل شده و سرویس کاربر قطع می‌گردد. در روش انتقال و دریافت چند نقطه هماهنگ (CoMP) [۳]، آنتن‌های مجاور با هم هماهنگ هستند، بنابراین با دریافت

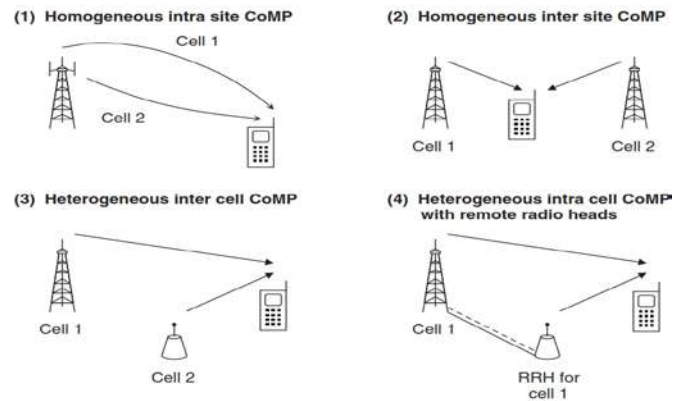
توان دریافتی بالا توسط موبایل در گوشه سلول، تداخل آن را کاهش می‌دهد و نرخ قابل دستیابی داده را افزایش می‌دهد. در مقابل CoMP تأثیر چندانی روی میانگین نرخ داده در داخل سلول ندارد.

۲۰-۱-۲ سناریوها

برای طراحی این که بتوان از CoMP در LTE پشتیبانی کرد، 3GPP چهار سناریو را مدنظر قرار داده است، که آنها را در شکل ۱-۲۰ می‌توانیم مشاهده کنیم. سناریو نخست یک شبکه همگن است، که در آن آنتن‌های ایستگاه پایه به طور هماهنگ سکتورهای مختلف را تنها در یک سایت کنترل می‌کنند. سناریو دو مشابه سناریوی اول است با این تفاوت، که آنتن‌ها در سایت‌های مختلفی قرار دارند. سناریو سه، یک شبکه ناهمگن دارای پیکوسل‌ها و ماکروسل‌هاست. در حالی که، در سناریو چهار کلاهایک‌های رادیویی راه دور (RRH)^۱ جایگزین پیکوسل‌ها شده‌اند و همان شناسه فیزیکی سلول والدین خود را دارند.

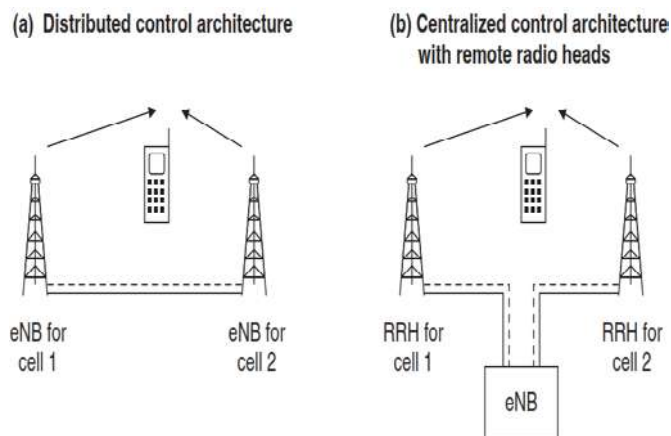
هر یک از این سناریوها مسایل مربوط به خود دارند. اول، اگر آنتن‌های سلول‌های مختلف در یک سایت یکسان قرار داشته باشند (سناریو ۱)، هماهنگی نسبت به حالتی که این آنتن‌ها در مکان‌های مختلف قرار دارند، به آسانی صورت می‌گیرد (سناریو ۲ و ۳). اما یک اپراتور شبکه می‌تواند سایت‌های مختلف را به دو روش پیکربندی کند، که در شکل ۲-۲۰ نشان داده شده است. بارزترین پیکربندی استفاده از eNB های مختلف است، که در سراسر واسطه X2 و یا با استفاده از روش‌های اختصاصی با هم هماهنگ عمل می‌کنند، می‌باشد. این سایت‌ها همچنین با استفاده از کلاهایک‌های رادیویی راه دور (RRH) پیکربندی می‌شوند، که با یک eNB مرکزی ارتباط برقرار کنند. این عمل، از طریق یک لینک ارتباطی دیجیتال ظرفیت بالا انجام می‌گیرد. گزینه دوم، پیاده‌سازی درون سایتی CoMP است و اجرای آن را بسیار آسان‌تر از روش‌های ممکن دیگر می‌سازد.

روش دوم این است، که آنتن‌های هماهنگ می‌توانند در سلول‌های مختلف و یا در همان سلول قرار داشته باشند، که مورد دوم در سناریو ۴ شکل ۱-۲۰ نشان داده شده است و این شکل کاربرد دیگری از کلاهایک‌های رادیویی راه دور (RRH) را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰-۱ سناریوهایی برای انتقال و دریافت چند نقطه‌ای هماهنگ در نسخه یازدهم

برای بیان حالت‌های اختیاری این معماری، مشخصات 3GPP یک نقطه^۱ را به عنوان مجموعه‌ای از آنتن‌های مجاور هم از لحاظ جغرافیایی تعریف می‌کند. بطوری که، نقاط مختلف می‌توانند با استفاده روش‌های CoMP با هم تعامل و هماهنگی داشته باشند. سکتورهای مختلف داخل همان سایت به عنوان نقاط مختلف در نظر گرفته می‌شوند، مثل سناریو اول، ولی کلاهی‌های رادیویی مختلف در همان سکتور نیز می‌توانند به عنوان نقاط مختلف تلقی شوند مانند سناریو چهار.



شکل ۲۰-۲ معماری‌های توزیع و تجمیع شده برای شبکه دسترسی رادیویی

۲۰-۱-۳ روش‌های CoMP

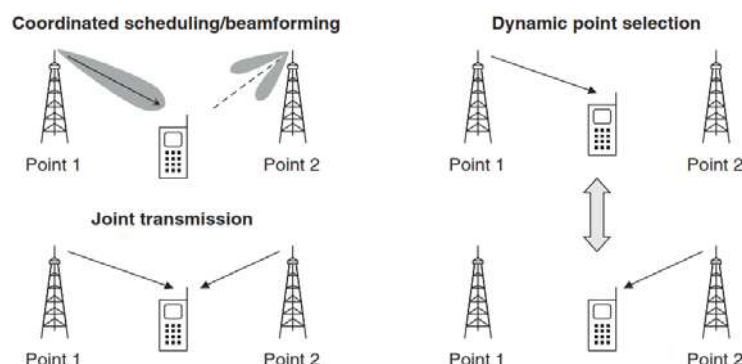
CoMP لینک فروسو با استفاده از روش‌های مختلف پیاده‌سازی شوند، که در شکل ۲۰-۳ نشان داده شده‌اند. در زمان‌بندی شکل‌دهی پرتو هماهنگ (CSKB)^۱ داده‌های موجود برای انتقال تنها در یک نقطه قرار دارند، که با استفاده از فرایندهای معمول دست به دست کردن انتخاب شده‌اند و گاهی تغییر پیدا می‌کنند. نقاط همسایه تصمیمات زمان‌بندی خودشان را با هم هماهنگ می‌کنند تا با این روش، تداخلی را که در ارسال داده به موبایل به آن تحمیل می‌کنند را به حداقل برسانند. برای مثال، ارسال داده را روی بلاک‌های منابع مختلف انجام می‌دهند. همچنین این نقاط همسایه می‌توانند تصمیمات شکل‌دهی پرتو را با همدیگر هماهنگ کنند، مثلاً با جهت‌دهی پورت‌های خالی الگوهای آنتن‌شان به سوی موبایل هدف.

در پردازش مشترک (JP)^۲، داده‌های موجود برای انتقال در نقاط مختلف قرار دارند. دو نوع مختلفی از پردازش مشترک (JP) وجود دارند. در انتخاب نقطه پویا (DPS)^۳، در واقع شبکه فقط از یک نقطه در یک لحظه اقدام به ارسال داده می‌کند، که با تغییرات انتخاب به صورت بالقوه‌ای از یک زیر فریم به زیر فریم بعدی اتفاق می‌افتد. در انتقال مشترک (JT)^۴، شبکه می‌تواند به طور همزمان از چند لحظه ارسال داشته باشد. به این ترتیب، دو نوع انتقال مشترک مختلف وجود دارند. در انتقال مشترک هم‌دوس^۵ شبکه رابطه فازی بین مسیرهای طیفی مختلف را می‌داند، بنابراین می‌تواند مطمئن شود، که آن انتقال‌ها با همان زاویه فاز به موبایل می‌رسند، که شبیه به روشی است، که در چندگانگی انتقال حلقه بسته یا شکل‌دهی پرتو به کار گرفته می‌شود. در انتقال مشترک غیر هم‌دوس^۶، شبکه هیچگونه اطلاعاتی از قبل ندارد. بنابراین، رابطه فاز بین انتقال‌های دریافت شده کاملاً دلخواه می‌باشد. مثل چند پخش/پخش سراسری بر روی یک فرکانس منفرد شبکه (MBSFN).

یک بار دیگر، این گزینه‌ها نیازمند چندین فناوری جدید هستند. مجموعه همکاری CoMP^۷ مجموعه نقاطی هستند، که در همه این فناوری‌ها شرکت دارند. یک نقطه مشارکتی می‌تواند

-
1. Coordinated Scheduling/Beamforming
 2. Joint Processing
 3. Dynamic Point Selection
 4. Joint Transmission
 5. Coherent Joint Transmission
 6. Non-Coherent Joint Transmission
 7. Comp Cooperating Set

مستقیم باشد، که در این صورت، داده‌های آن برای انتقال در دسترس قرار می‌گیرد. یا غیر مستقیم باشد، که در آن داده‌هایی برای انتقال وجود ندارد، اما هنوز با زمان‌بندی و شکل‌دهی پرتور در آن مشارکت می‌کند. یک نقطه در واقع در یک زیر فریم خاص به نام *نقطه انتقال COMP*^۱ کار انتقال را انجام می‌دهد.



شکل ۲۰-۳ روش‌های انتقال چند نقطه هماهنگ

CoMP در لینک فراسو همان روش‌های لینک فروسو را با به طور مستقیم به کار می‌برد، چرا که داده‌های موجود در نقاط دریافت چندگانه آماده می‌باشند. در زمان‌بندی شکل‌دهی پرتو هماهنگ نقاط مجاور هم تصمیمات زمان‌بندی و شکل‌دهی پرتو خودشان را هماهنگ می‌کنند. بنابراین، نتیجه آن حداقل کردن تداخل از سایر موبایل‌ها می‌باشد. در انتخاب نقاط پویا، شبکه داده‌ها را از چندین نقطه دریافت می‌کند، ولی تنها داده‌ها را از یک نقطه در آن واحد انتخاب می‌کند. در دریافت مشترک (JR)^۲، شبکه داده‌ها را در چندین نقاط دریافت می‌کند و آنها را برای بهبود کیفیت سیگنال دریافتی با هم ترکیب می‌کند. هر کدام از این روش‌ها یا روش‌هایی که به کار می‌روند، مجموعه هماهنگی CoMP را که در لینک فراسو و فروسو استفاده می‌شوند می‌توانند متفاوت‌تر از یکدیگر باشند و نقاط دریافت CoMP می‌توانند متفاوت‌تر از نقاط انتقال CoMP باشند.

۲۰-۱-۴ استانداردسازی

مشخصات نسخه یازده از CoMP در لینک فراسو و فروسو با استفاده از زمان‌بندی/ شکل‌دهی پرتو هماهنگ با انتخاب نقطه پویا و انتقال و دریافت مشترک بدون همدوسی پشتیبانی می‌کند [۷-۴].

1. Comp Transmission Point
2. Joint Reception

اصلی‌ترین پیشرفتی که در آن اتفاق افتاده است، معرفی یک روش گزارش‌گیری اطلاعات وضعیت کانال جدید است تا CoMP را در لینک فروسو پشتیبانی کند. در این روش، ایستگاه پایه موبایل را با یک مجموعه اندازه‌گیری CoMP^۱ که تا چهار پردازش CSI^۲ است، پیکربندی می‌کند. هر پردازش دارای یک پیکربندی سیگنال مرجع CSI مشابه آن در نسخه دهم می‌باشد، که عناصر منبع را بر اساس این که کدام موبایل اندازه‌گیری توان سیگنال مرجع CSI را انجام می‌دهد، پیکربندی کند. با اینحال، هر پردازش CSI دارای یک پیکربندی اندازه‌گیری تداخل CSI^۳ جداگانه‌ای می‌باشد، که روی موبایل مربوطه سطح تداخل را اندازه‌گیری می‌کند.

برای زمان‌بندی/شکل‌دهی پرتو هماهنگ، همه پردازش‌های CSI به یک نقطه انتقال CoMP یگانه رجوع می‌کنند. اما در اغلب آنها، پیکربندی‌های مختلف از اندازه‌گیری تداخل‌های CSI گوناگون، مجموعه عناصر منابع گوناگونی را روی نقاط همسایگی تعریف می‌کنند، که ممکن است، با توجه به سطوح مختلف تداخل، انتقالی را داشته باشند. موبایل برای هر پردازش CSI خودش شاخص کیفیت کانال را گزارش می‌دهد و ایستگاه پایه این نتایج را برای زمان‌بندی انتقال‌های لینک فروسوی خود مقایسه و مطابقت می‌دهد. برای پردازش مشترک JP، پردازش‌های CSI به نقاط انتقال مختلفی رجوع می‌کنند. موبایل مثل قبل، شاخص کیفیت کانال را برای هر یک از پردازش‌های CSI خودش گزارش می‌دهد و ایستگاه پایه این نتایج را برای کمک به تصمیم‌گیری در مورد نقاط انتقالی که استفاده می‌کند، به کار می‌برد.

همچنین، شبکه دسترسی رادیویی موبایل را با بیش از چهار مجموعه پارامتر PDSCH پیکربندی می‌کند. هر کدام از این پارامترها، با یک یا تعداد بیشتری از نقاط انتقال در مجموعه هماهنگ لینک فروسو آورده می‌شوند و نگاشت عناصر منبع PDSCH را با استفاده از حداکثر اندازه ناحیه کنترل لینک فروسو و هر پیکربندی از سیگنال مرجع CSI توان صفر تعریف می‌کند. پس از آن، شبکه موبایل را در حالت انتقال جدید شماره 0 قرار می‌دهد و آن را با استفاده از یک قالب DCI جدید، به نام 2D زمان‌بندی می‌کند. این قالب شبیه قالب 2C (مالتی پلکسینگ هشت لایه) است، اما این قالب موبایل را برای دریافت PDSCH با استفاده از مجموعه پارامترهایی که پیش‌تر تعریف شده بود، ترغیب می‌کند. برای انتخاب نقاط پویا، شبکه به طور ساده‌ای این مجموعه پارامتر را از یک زیر فریم به زیر فریم بعدی تغییر می‌دهد، ولی برای انتقال مشترک غیر

-
1. COMP Measurement Set
 2. CSI Processes
 3. CSI Interference Measurement Configuration

همدوس، شبکه باید از انتخاب نقاط انتقال CoMP نیز برای به اشتراک گذاشتن همان مجموعه پارامتر مطمئن گردد.

مشخصات نسخه یازدهم سه موضوع اصلی مهم را نادیده گرفته است. نخست، در اینجا هیچگونه اندازه‌گیری RRC برای کمک به ایستگاه پایه وجود ندارد، تا ایستگاه پایه را برای تصمیم در مورد این که چه نقاطی باید در مجموعه اندازه‌گیری CoMP باشد، یاری کند. دوم، هیچگونه پشتیبانی از انتقال مشترک همدوس وجود ندارد، که در آن نیاز به بازخوردهای اضافه‌ای برای توصیف ارتباط فاز بین انتقال‌های ورودی باشد. سوم، در اینجا تلاشی برای استانداردسازی هر چیزی در داخل شبکه وجود ندارد، بنابراین واسطه‌های S1 و X2 تحت تأثیر قرار نمی‌گیرند. به همین جهت، CoMP در سکتورهای مختلف یک سایت یا با استفاده از کلاهای رادیویی به بهترین شکل پیاده‌سازی می‌شود، اما از eNBهای گوناگون استفاده نمی‌کند.

۲۰-۱-۵ کارایی

3GPP شبیه‌سازی‌هایی از روش‌های مختلف CoMP را در چهار سناریو اجرا کرده است، که قبلاً همه آنها را بیان کردیم، که تنوع زیادی در نتایج آنها وجود دارد و بستگی به مواردی مثل روش CoMP استفاده شده و پیکربندی آنتن دارد، اما یک مجموعه پیش‌فرض برای انتقال و دریافت، انتقال مشترک در یک شبکه ناهمگن بدون داشتن تداخل هماهنگ داخل سلولی ارتقاء یافته است [۸] در آن، نرخ داده در گوشه سلول تا ۲۴ درصد در لینک فروسو و تا ۴۰ درصد در لینک فراسو افزایش پیدا می‌کند، در حالی که ظرفیت سلول تا سه درصد در لینک فروسو و تا ۱۴ درصد در لینک فراسو بیشتر می‌شود. همانگونه که تصور شده بود CoMP در گوشه سلول بیشتر از سایر نقاط آن روی موبایل تأثیر می‌گذارد و علاوه بر آن بیشتر از لینک فروسو روی لینک فراسو تأثیرگذار است.

۲۰-۲ کانال کنترل فیزیکی ارتقاء یافته لینک فروسو

کانال کنترلی فیزیکی لینک فروسو (PDCCH) اغلب زمان‌ها در بهترین حالت کار می‌کند، اما چند محدودیت دارد. نخست، این کانال به سه یا چهار سمبل کنترلی ابتدایی در یک زیر فریم محدود شده است، که باعث کاهش ظرفیت سلول می‌شود، و دارای تعداد زیادی تجهیزات داده با نرخ مخابره پایین است. دوم، PDSCH و PUSCH از MIMO چند کاربری پشتیبانی می‌کنند، بنابراین آنها می‌توانند با تجهیزات زیادی ارتباط برقرار کنند، مثلاً ایستگاه پایه‌هایی که آنتن‌های آنها در

حال افزایش است، ولی PDCCH چنین ویژگی را ندارد. سوم، انتقال‌های PDCCH به موبایل‌ها، کل پهنای باند فرکانسی آنها را اشغال می‌کند و نمی‌تواند آزمایای هماهنگی تداخل بین سلولی حوزه فرکانس برخوردار باشد.

نسخه یازده، با درک این محدودیت‌ها یک کانال کنترل فیزیکی جدیدی را به نام کانال کنترل فیزیکی ارتقاء یافته لینک فروسو (EPDCCH)^۱ معرفی کرده است [۹-۱۱]. EPDCCH همان اطلاعات مشابه PDCCH را حمل می‌کند، اما آن را در حوزه داده لینک فروسو ارسال می‌کند. در داخل هر زیرفریم، ایستگاه پایه زوج‌های بلاک منابعی را یا به PDSCH و یا به EPDCCH اختصاص می‌دهد، بنابراین EPDCCH یک ظرفیت قابل تنظیم دارد و می‌تواند برای هماهنگی تداخل مؤثر واقع شود.

EPDCCH روی چهار پورت آنتن جدید از ۱۰۷ تا ۱۱۰ ارسال می‌شود. این پورت‌ها به همراه سیگنال‌های مرجعی هستند، که همان عناصر منابع را با پورت‌های ۷ الی ۱۰ اشغال می‌کنند، اما اطلاعات نسبتاً متفاوتی را حمل می‌نمایند. ایستگاه پایه EPDCCH و سیگنال‌های مرجع آن را با استفاده از یک ماتریس پیش‌کد کننده ویژه موبایل پیش‌کد می‌کند، در نتیجه فرایند پیش‌کدینگ در سمت موبایل قابل درک نمی‌باشد. کانال EPDCCH به طور همزمان از ارتباطات MU-MIMO برای چهار موبایل پشتیبانی می‌کند و هر موبایل روی یک لایه و در روی یک پورت آنتن دریافت می‌شوند.

قبل از استفاده از EPDCCH ایستگاه پایه موبایل هدف را به روش معمول روی PDCCH برنامه‌ریزی می‌کرد و منتظر می‌ماند تا موبایل بازخود خود را برای برخی از اطلاعات وضعیت کانال برگرداند. همچنین ایستگاه پایه به موبایل می‌گوید که کدام زیر فریم‌ها و بلاک‌های منبع پیام‌های زمان بندی EPDCCH را با استفاده از سیگنالینگ RRC ویژه موبایل سرکشی می‌کنند. در هر زیر فریم که دارای EPDCCH است، موبایل به دنبال پیام‌های زمان‌بندی می‌گردد، که این پیام‌ها به شناسه موقت شبکه رادیویی آن اشاره می‌کنند. این شناسه‌ها علامتی را جهت آغاز کردن انتقال یا دریافت اطلاعات به روش معمول دارند. در مورد دریافت داده لینک فروسو، EPDCCH و PDSCH به صورت موازی دریافت می‌گردند، بنابراین موبایل کل زیرفریم را بافر کرده و EPDCCH را پردازش می‌کند و در نهایت اگر لازم باشد، PDSCH را نیز پردازش خواهد کرد.

1. Enhanced Physical Downlink Control Channel

۲۰-۳ اجتناب از تداخل برای همزیستی تجهیزات

اغلب تجهیزات LTE از فناوری‌های ارتباطی دیگر مثل WiFi، بلوتوث و GPS پشتیبانی می‌کنند. اگر یک وسیله LTE بخواهد از طریق آنها نیز ارسال و دریافت اطلاعات داشته باشد، در نتیجه این همزیستی دستگاه^۱، گاهی می‌تواند توأم با تداخل باشد [۱۲]. برای مثال در باند هفت، LTE با اندکی فاصله در باند 2.4 GHz قرار دارد، که این پهنای باند برای تجهیزات صنعتی، علمی و پزشکی کنار گذاشته شده است. اگر یک وسیله از هر دو این باندهای فرکانسی استفاده کند، ممکن است انتقال‌های LTE آن در داخل گیرنده WiFi نشت کند و در آن تداخل ایجاد نماید.

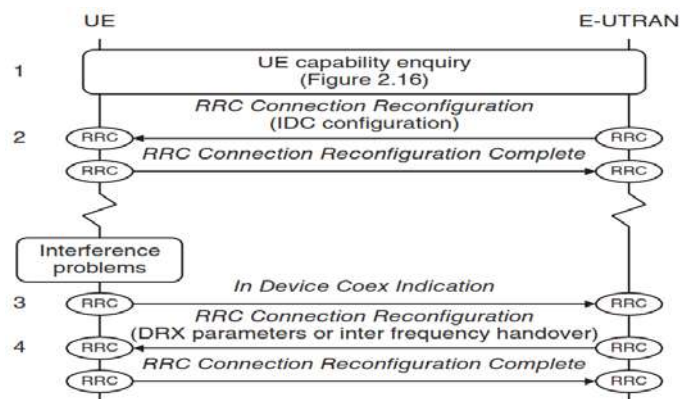
در نسخه یازدهم، شبکه می‌تواند این مسائل تداخلی را با استفاده از فرایند سیگنالیابی حل کند. که در شکل ۲۰-۴ نشان داده شده است [۱۳]. این سلسله پیام‌ها با فرایند مرسوم قابلیت پرس و جو آغاز می‌شود (۱)، که در آن موبایل توانایی‌های خود را برای گزارش مشکلات تداخل IDC بیان می‌کند. در پاسخ، ایستگاه پایه یک پیام پیکربندی IDC^۲ را در یک فرایند پیکربندی مجدد ارتباط RRC مرسوم اضافه کرده و آن را به موبایل بر می‌گرداند (۲)، که در آن پیام، ایستگاه پایه گزارش‌هایی را که مایل به دریافت آن است، را به موبایل اعلام می‌نماید.

بعدها احتمال دارد، که موبایل یک مسئله تداخلی داشته باشد و خود به تنهایی قادر به حل آن نباشد. بنابراین موبایل با ارسال یک پیام شاخص همزیستی تجهیزات RRC^۳ به آن واکنش نشان می‌دهد (۳) و این پیام بیانگر حامل‌های فرکانسی LTE است، که مسبب تداخل یا متحمل تداخل شده است. موبایل به طور اختیاری، می‌تواند مشخص کند، که می‌تواند این مشکل را با جایگزین کردن LTE با فناوری ارتباطی دیگر حل کند و نیز یک الگوی دریافت غیر پورسته LTE مناسب را پیشنهاد دهد.

1. In Device Coexistence

2. IDC Configuration

3. RRC In Device Coex Indication Message



شکل ۲۰-۴ فرایند شاخص همزیستی در تجهیزات

منبع: TS 36.331 بازنشر با مجوز ETSI

ایستگاه پایه می‌تواند با دو روش اصلی به گزارش موبایل پاسخ دهد (۴)، ایستگاه پایه یا موبایل را به یک باند LTE دیگری که تداخل ندارد، دست به دست می‌کند یا آن را در یک حالت دریافت غیر پیوسته قرار می‌دهد. به عنوان یک روش جایگزین، ایستگاه پایه به طور موقت DRX را اجرا می‌کند، که به عنوان یک راه حل موقت تا زمان جمع‌آوری گزارش‌های اندازه‌گیری مورد نیاز برای یک دست به دست کردن داخل فرکانسی می‌باشد.

برای تکمیل فرایند اصلی، موبایل می‌تواند انتقال‌های گاه به گاه در زیرفریم‌های لینک فراسو را لغو کند تا فناوری دیگر را از تداخل مصون نگه دارد. ایستگاه پایه چنین وقوع/انکارهای خود به خودی^۱ زیرفریم‌ها را به عنوان بخشی از مرحله (۲) محدود می‌کند.

۲۰-۴ ارتباطات نوع - ماشین

۲۰-۴-۱ راه اندازی تجهیزات

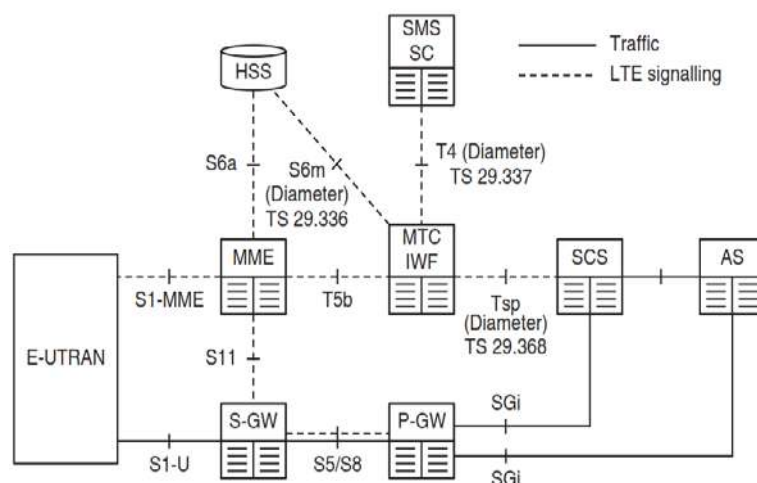
در فصل قبل ملاحظه شد که نسخه دهم چند روش کنترل سرریز را برای ارتباطات نوع ماشین (MTC) معرفی کرد و نسخه یازدهم پشتیبانی بیشتری از MTC را با راه‌اندازی تجهیزات آدرس‌دهی و شناسایی آغاز کرد.

ارتباطات نوع ماشین در ابتدا برای سیستم‌های 2G و 3G توسعه داده شده بودند. این سیستم‌ها ارتباطات دائمی را تضمین نمی‌کنند؛ در عوض، وسیله‌ای که به شبکه متصل می‌شود، با

1. Autonomous Denial

دو روش مجزا با شبکه داده بسته‌ای ارتباط برقرار می‌کند و لزومی ندارد، که یک ارتباط PDN یا یک آدرس IP را داشته باشد. اما یک سرور برنامه کاربردی ممکن است، هنوز بخواهد با یک وسیله ارتباط برقرار کند و اقدام به راه‌اندازی آن نماید. بنابراین این سرور برای انجام کار خود به یک روش دیگری نیاز دارد. رایج‌ترین روش، استفاده از ارسال SMS به موبایل است، بنابراین، با وجود پشتیبانی از ارتباط دائمی، انجام این روش در LTE می‌تواند برای آن مفید باشد.

شکل ۲۰-۵ معماری راه‌اندازی تجهیزات در LTE نسخه یازدهم را نشان می‌دهد [۱۴]. سرور برنامه کاربردی (AS) توسط یک سرویس دهنده شخص ثالث اداره می‌شود، که می‌تواند با دو روش با این تجهیزات به طور مستقیم روی واسط S-Gi و یا غیر مستقیم از طریق یک سرور قابلیت سرویس (SCS)^۱ ارتباط برقرار کند. همچنین SCS یا می‌تواند بطور مستقیم با این وسیله ارتباط برقرار کند یا یک درخواست راه‌اندازی را روی واسط STP به هسته بسته تکامل یافته (EPC) ارسال کند [۱۵] با دریافت چنین پیامی راه‌اندازی تجهیزات، تابع تعامل ارتباطات نوع ماشین (MTC-IWF)^۲ جزئیات حساب اشتراکی کاربران در HSS (سرور خانگی مشترکین) را بررسی می‌کند [۱۶]. درباره مکانیزم تحویلی را که به کار خواهد برد، تصمیم‌گیری کرده و دستگاه را روی پلان کنترلی LTE راه‌اندازی می‌کند.



شکل ۲۰-۵ معماری برای ارتباطات نوع ماشین در LTE

منبع: TS 23.682 بازنشر با مجوز ETSI

1. Server Capability Server
2. Machine-Type Communication Interworking Function

LTE در نسخه یازدهم فقط از یک مکانیزم تحویل پشتیبانی می‌کند، که در آن MTC-IWF با مرکز سرویس SMS روی واسط T4 تماس می‌گیرد [۱۷] و از آن می‌خواهد که روش راه‌اندازی دستگاه را با استفاده از روش SMS منتهی موبایل انجام دهد. سپس این مرکز سرویس، پیام‌ها را با استفاده از روش‌هایی که ما در فصل بیست و یکم و بیست و دوم بررسی خواهیم کرد، تحویل می‌دهد. در انتها MTC-IWF باید قادر به تماس مستقیم با MME روی واسط T5b باشد، اما تا آن موقع آن واسط باید مشخص شده باشد.

۲۰-۴-۲ شماره‌گذاری، آدرس‌دهی و شناسایی

به طور سنتی، سرویس پیام کوتاه یک دستگاه را با استفاده از یک شماره تلفن شناسایی می‌کند، که در قالب یک شماره ISDN کاربر موبایل^۱ (MSISDN) است. متأسفانه، ممکن است با گسترش تجهیزات نوع ماشین شماره‌های MSISDN با کمبود مواجه شود. برای حل این مشکل، مشخصات 3GPP در نسخه یازدهم شناسه جدیدی را به عنوان شناسه خارجی^۲ برای استفاده روی واسط‌های Tsp، T4، S6m و SGi معرفی کرده است. شناسه خارجی یک شناسه دسترسی شبکه (NAI) با قالب زیر است:

<local identifier>@<domain identifier>

شناسه محلی به IMSI دستگاه نگاشت می‌شود. در واقع، این شناسه ممکن است IMSI واقعی باشد، اما در آن مورد تنها ممکن است برای برنامه‌های کاربردی و خدمات دهندگان سرویس قابل اعتماد ساخته شده باشند. به طور مشابه، شناسه حوزه، به اپراتور شبکه نگاشت می‌شود. تا جایی که به آدرس IP مربوط می‌شود، آدرس IP نسخه ششم برای مکانیزم اصلی آدرس‌دهی به دستگاه‌های نوع ماشین در نظر گرفته شده است [۱۹]. اگر چه هنوز از آدرس IP نسخه چهار پشتیبانی می‌شود، ولی تنها به عنوان یک راه کار موقتی بوده و مناسب نیست.

۲۰-۵ برنامه‌های کاربردی داده‌ی موبایل

در ابتدا LTE برای برنامه‌های کاربردی داده‌ی سنتی مثل مرور صفحات وب و انتقال فایل طراحی شده بود. در این برنامه‌های کاربردی، یک مقصد مشخص بین یک وضعیت فعال که در آن دستگاهی در حال ارسال یا در حال دریافت است و یک وضعیت غیر فعال که در آن یک کاربر در

1. Mobile Subscriber ISDN Number

2. External identifier

حال تماشای محتوای دانلود شده است، قرار دارد. ایستگاه پایه می‌تواند انتقال‌ها بین این وضعیت‌ها را تشخیص دهد، که آن را با تماشای جریان ترافیک انجام می‌دهد و می‌تواند با سوییچ کردن دستگاه LTE بین وضعیت‌های RRC_CONNECTED و RRC_IDLE به آن پاسخ دهد.

هنگامی که از برنامه‌های کاربردی جدیدی مثل فیسبوک و تویتر استفاده می‌شود، دستگاه باید بسته‌های کوچک و پی در پی مثل گزارش وضعیت و شناسه‌های زنده نگهداری خط را رد و بدل کند، حتی اگر هیچگونه فعالیتی از سوی کاربر انجام نگیرد [۲۰]. این کار فرق بین وضعیت‌های فعال و غیرفعال را کاهش می‌دهد و ایستگاه پایه را برای پاسخ‌گویی مناسب با مشکل روبرو می‌کند، برای مثال، اگر یک دستگاه به همان روشی که برای کاربردهای مرور صفحات وب رخ می‌دهد، به وضعیت RRC_IDLE تغییر وضعیت دهد، در این صورت باید وضعیت RRC خود را تغییر دهد حتی اگر در حال دریافت یا ارسال باشد، که خود باعث افزایش سیگنالینگ بیش از حد می‌شود. اگر در وضعیت RRC_CONNECTED بماند و کاربر هنوز در وضعیت فعال باشد. در چنین حالتی، مصرف توان آن به شدت افزایش پیدا می‌کند.

نسخه یازدهم یک راه حل نسبتاً آسانی را ارائه می‌دهد، که در آن دستگاه می‌تواند به ایستگاه پایه کمک کند تا یک روش مناسب را برای مدیریت آن به کار ببرد. با تشخیص یک دوره غیر فعال بودن کاربر، دستگاه یک پیام *اطلاعات کمکی RRC تجهیزات کاربر*^۱ را به ایستگاه پایه می‌فرستد. آن وسیله در این پیام از ایستگاه پایه می‌خواهد تا آن را به یک وضعیت مصرف توان پایین ببرد. ایستگاه پایه می‌تواند به روش‌های مختلفی به آن پاسخ دهد. این پاسخ‌ها به پیکربندی ایستگاه پایه و پروفایل ترافیکی آن وسیله بستگی دارد. اما معمولاً ممکن است ایستگاه پایه آن وسیله را به یک وضعیت دریافت ناپیوسته با چرخه DRX طولانی مدت ببرد تا یک مصالحه بین وضعیت‌های RRC_CONNECTED و RRC_IDLE برقرار کند.

۶-۲۰ ویژگی‌های جدید در نسخه دوازدهم

۶-۲۰-۱ سرویس‌های مجاورتی و ارتباطات دستگاه به دستگاه

در شبکه‌های 3GPP قدیمی تجهیزات به تنهایی با ایستگاه پایه ارتباط برقرار می‌کردند و قادر به برقراری ارتباط مستقیم با یکدیگر نبودند. اما این قابلیت به شکل دیگری، بخشی از فناوری‌های

1. UE Assistance information

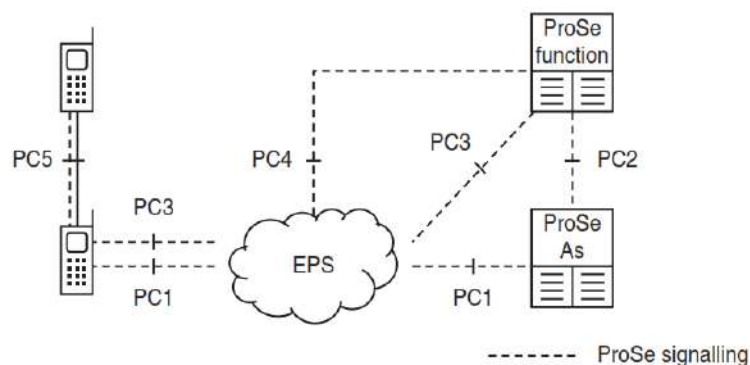
ارتباطی بی‌سیم دیگر مانند *TETRA*^۱، WiFi و بلوتوث است. به عنوان بخشی از نسخه دوازدهم، 3GPP شروع به افزودن قابلیت‌های تحت عنوان سرویس‌های مجاورتی^۲ (*ProSe*) یا ارتباطات دستگاه به دستگاه (*D2D*)^۳ به LTE را آغاز کرد.

برای سرویس‌هایی مثل صوت، ویدئو، فایل، سرویس‌های مجاورتی با افزایش نرخ داده آن سرویس‌ها و کاهش توان مصرفی آن‌ها برای کاربر مفید می‌باشد و با رهاسازی ترافیک از ایستگاه پایه برای شبکه نیز سودمند خواهد بود. اما مهم‌ترین برنامه کاربردی واحد شبکه‌های امنیت عمومی هستند، که به عنوان ارتباطات بحرانی^۴ نیز شناخته می‌شوند [۲۲]. در سال ۲۰۱۱ کمیسیون ارتباطات فدرال ایالت متحده LTE را به عنوان فناوری برتر برای یک شبکه ملی انتخاب کرد تا برای سرویس‌های اضطراری ایالت متحده به کار برده شود. به عنوان شبکه‌ای که باید پوششی با درصد بالا و قابلیت اطمینان بالایی داشته باشد. سرویس‌های مجاورتی، می‌توانند به این سیستم کمک کند تا این دو نیازمندی که اشاره شد، را تأمین کند. این کار را به این طریق انجام می‌گیرد: اگر دو کاربر امن عمومی خارج از ناحیه پوششی شبکه دسترسی رادیویی باشند یا شبکه قطع شده باشد، اجازه برقرار ارتباط به طور مستقیم به آنها داده شود.

گرچه سرویس‌های مجاورتی نیاز به ایجاد تغییرات اساسی در مشخصات 3GPP را دارند، برنامه‌های کاربردی امنیت عمومی، باعث شد تا 3GPP اقدام به پشتیبانی از اغلب ویژگی‌های اصلی آن در نسخه دوازدهم نماید. توضیحاتی که به دنبال مشخصات فنی دسامبر ۲۰۱۳ به بعد آورده شده است، دارای نیازمندی‌ها و معماری سطح بالای سرویس‌های مجاورتی است اما هنوز جزئیات معماری آنها تعریف نشده یا پیاده‌سازی آنها انجام نیافته است [۲۳-۲۷].

شکل ۲۰-۶ معمار سطح بالا را برای سرویس‌های مجاورتی نشان می‌دهد. سرور برنامه‌های کاربردی ProSe یک وسیله تولید کننده ثالث است و برنامه‌های کاربردی که سرویس‌های مجاورتی را تولید می‌کنند، را اجرا می‌نماید.

-
1. Terrestrial Trunked Radio
 2. Proximity Services
 3. Device to Device (D2D) Communications
 4. Critical Communications



شکل ۲۰-۶ معماری سرویس‌های مجاورتی LTE

این سرور روی واسط PCI با برنامه کاربردی موبایل ارتباط برقرار می‌کند، که فعلاً در خارج از مشخصات 3GPP قرار دارد. تابع ProSe یک دستگاه LTE است، که توابع سرویس‌های مجاورتی موبایل را مدیریت می‌کند. این تابع روی واسط PC3 با پشته پروتکلی LTE ارتباط برقرار می‌کند، که در طول پلان کاربری LTE اجرا می‌شود. با استفاده از این معماری، دو موبایل می‌توانند یک مسیر ارتباطی مستقیم در واسطی که به نام PC5 شناخته می‌شود، برقرار کنند.

سرویس‌های مجاورتی باید توسط اپراتور شبکه احراز هویت شود و این کار دو فاز کشف و ارتباط دارد. در فاز کشف، دو موبایل در می‌یابند، که در همسایگی هم هستند. دو روش کشف در نسخه دوازده در نظر گرفته شده است. اولین روش، کشف بر پایه شبکه است، که در آن تابع ProSe به عنوان یک کاربر سرویس موقعیت مکانی روی واسط PC4 عمل می‌کند. موقعیت‌های مکانی موبایل‌ها را محاسبه و اندازه‌گیری کرده و همسایگی آنها را برقرار می‌کند.

روش دوم، کشف مستقیم روی واسط هوایی LTE است، که در آن موبایل یک کد ProSe را می‌فرستد و در آن کد برنامه‌های کاربردی ProSe را که تمایل به آنها دارد را مشخص می‌کند و موبایل دیگر آن کد را آشکارسازی می‌کند. برای برنامه‌های کاربردی غیر از برنامه امنیت عمومی، شبکه LTE فرایند کشف را مدیریت می‌کند، بنابراین هر دو موبایل باید در داخل ناحیه پوششی LTE قرار داشته باشد. اما این موبایل‌ها می‌توانند در سلول‌های مختلف باشند.

در فاز ارتباطی، شبکه LTE یک مسیر ارتباطی مستقیم بین دو موبایل برقرار می‌کند. تنها روش برنامه‌ریزی شده فعلی در نسخه دوازده ارتباط مستقیم از طریق WiFi می‌باشد. این فاز با فرایند کشف که در بالا بیان شد، آغاز می‌شود. زمانی که تابع ProSe به هر دو موبایل درباره شناسه‌های هر کدام اطلاعاتی می‌دهد، پارامترهای ضروری مثل کلیدهای امنیتی را برای آنها فراهم می‌کند و به آنها کمک

می‌کند تا یک مسیر ارتباطی مستقیم را برقرار کنند. فاز ارتباطی همچنین ممکن است واسطه هوایی LTE را به کار ببرد، که در این صورت شبکه دسترسی رادیویی موارد استفاده از منابع رادیویی را کنترل می‌کند تا درباره کیفیت کانال رادیویی بازخورد لازم را برگرداند.

ارتباطات امنیت عمومی نیاز به یک سطح مجوز بالاتر از مجوز اپراتور شبکه دارند، اما، برای آنها چند ویژگی اضافی در نظر گرفته شده است. دو موبایل امنیت عمومی می‌توانند به طور مستقل همدیگر را کشف کنند. بنابراین آنها می‌توانند بیرون از ناحیه پوششی LTE قرارداشته باشند. یک راه کار کشف برای نسخه دوازده در نظر گرفته شده است، که در آن تابع ProSe موبایل‌ها را از قبل پیکربندی می‌کند. تابع ProSe این موبایل‌ها را به صورت نظیر به نظیر در نظر گرفته و برای آنها مجوزهای لازم را می‌گیرد و در ادامه پارامترهایی که آنها نیاز خواهند داشت را برای آن موبایل‌ها فراهم می‌کند. یک موبایل امنیت عمومی می‌تواند به عنوان یک بازپخش کننده عمل می‌کند تا از مسیرهای ارتباطی جدید مختلفی پشتیبانی نماید. این کار از طریق روش بازپخش کننده‌های موبایل به شبکه^۱ که در نسخه دوازدهم لحاظ شده است، انجام می‌گیرد. همچنین باز پخش کننده‌های موبایل به موبایل^۲ در حال مطالعه و بررسی است. در پایان، برنامه‌های کاربردی امنیت عمومی تنها از ارتباطات یک به یک سنتی پشتیبانی نمی‌کند بلکه از ارتباطات پخش سراسری و ارتباطات که در داخل یک گروه چند پخش صورت می‌گیرد، نیز پشتیبانی می‌کند.

۲۰-۶-۲ انطباق پویای پیکربندی TDD

در حالت TDD، یک سلول زیر فریم‌هایی را به لینک فراسو یا لینک فروسو خود از طریق پیکربندی TDD تخصیص می‌دهد. در نسخه‌های هشت تا یازده پیکربندی TDD با استفاده از توازن بلند مدت بین سطوح ترافیک روی لینک فراسو و لینک فروسو انتخاب می‌شود و معمولاً بدون تغییر باقی می‌ماند. در نسخه دوازده، مشخصات 3GPP به گونه‌ای توسعه یافته است، که از تغییرات پویا در پیکربندی TDD پشتیبانی می‌کند [۲۸]. دو دلیل برای آن وجود دارند، که مربوط به معرفی سلول‌های کوچک می‌شوند: یک سلول کوچک تعداد موبایل کمتری نسبت به یک سلول بزرگ دارد، بنابراین تغییرات سطوح ترافیک آن بیشتر است، اما سلول‌های کوچک در کلاسترهای کوچک قرار دارند، که در آنها تداخل آسان‌تر مدیریت می‌شود.

1. Mobile-To-Network Relay

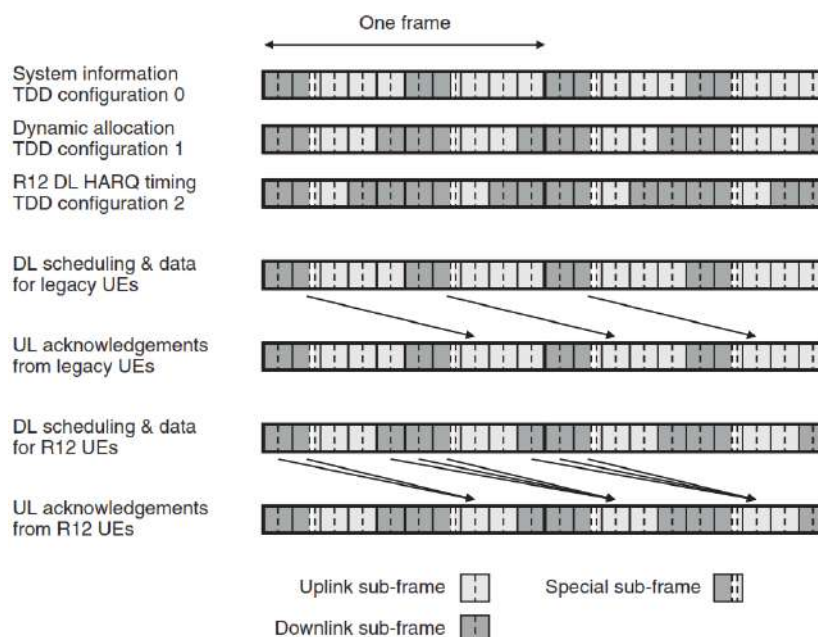
2. Mobile-to Mobile relay

برای پیاده‌سازی انطباق پویا، یک سلول در واقع سه پیکربندی TDD جداگانه را استفاده می‌کند. نخست، سلول یک پیکربندی ثابت را با استفاده از اطلاعات سیستمی خود ادامه می‌دهد. این پیکربندی به سمت لینک فراسو است که سلول همواره استفاده خواهد کرد: زیر فریم‌های لینک فراسو آن ممکن است مجدداً به عنوان بخشی از فرایند انطباق در لینک فراسو قرار داشته باشند، اما زیر فریم‌های لینک فروسو آن ثابت است. موبایل‌های قدیمی اغلب از پیکربندی ثابت استفاده می‌کنند، در حالی که موبایل‌های نسخه دوازده از این روش برای اندازه‌گیری‌ها استفاده می‌کنند.

مسئله بعدی زمان‌بندی فرایند HARQ برای موبایل‌های نسخه دوازدهم می‌باشد، به عبارت دیگر، فواصل زمانی بین پیام‌های زمان‌بندی، انتقال داده و تصدیق‌های HARQ. زمان‌بندی لینک فراسو یک پیکربندی ثابتی را از روی اطلاعات سیستمی به کار می‌برد. این روش اغلب پیکربندی از سمت لینک فروسو است که سلول همواره استفاده می‌کند و آن را توسط سیگنالینگ RRC به موبایل ارسال می‌نماید.

در نهایت، سلول موبایل‌های نسخه دوازده را از طریق اطلاعات کنترلی لینک فروسو خود روی EPDCCH یا PDCCH از پیکربندی TDD پویای خود با خبر می‌سازد. این مسئله نشان می‌دهد، که زیرفریم‌ها هم اکنون به لینک فروسو تخصیص داده شده‌اند. در نتیجه، یک موبایل نسخه دوازدهم می‌تواند این پیکربندی‌ها را برای پیام‌های زمان‌بندی بازرسی کند.

برای بیان نتیجه‌گیری پایانی، شکل ۲۰-۷ مثالی را نشان می‌دهد، که در آن اطلاعات سیستمی پیکربندی TDD صفر را اعلام می‌کند، سلول هم اکنون از پیکربندی ۱ استفاده می‌کند و موبایل‌های نسخه دوازده زمان‌بندی HARQ لینک فروسو را دنبال کرده و از پیکربندی ۲ استفاده می‌کنند. موبایل‌های قدیمی از پیکربندی ۰ در سراسر شبکه استفاده می‌کنند و می‌توانند داده‌های لینک فروسو را در زیر فریم‌های ۱ و ۶ به روش معمول دریافت کنند. داده‌ها در زیر فریم‌های ۰ و ۵ هستند و تصدیق‌ها معمولاً در زیر فریم‌های ۴ و ۹ شروع می‌شوند. اما این زیر فریم‌ها معمولاً به لینک فروسو اختصاص داده می‌شوند و در دسترس نیستند. در نتیجه، در این شکل مقداری از ظرفیت موبایل‌های قدیمی از دست می‌رود. موبایل‌های نسخه دوازدهم پیکربندی ۱ را استفاده می‌کنند، در اینجا استثنایی هم وجود دارد: موبایل‌های نسخه دوازدهمی که از زمان‌سنجی لینک فروسو پیروی می‌کنند پیکربندی آنها ۲ است و حتی اگر پیکربندی پویای TDD آنها تغییر کند، در همان پیکربندی باقی می‌مانند.



شکل ۲۰-۷ مثالی از زمان سنجی‌های انتقال لینک فروسو برای زمانی که از پیکربندی TDD انطباق پویا استفاده می‌کنند.

برای کمک به این که سلول بتواند تداخل حاصل شده را مدیریت کند، اطلاعات خودش را در همسایه‌های خود پخش می‌کند تا درباره سطوح تداخل خود و پیکربندی TDD که می‌خواهد از آن استفاده کند، اطلاع‌رسانی نماید. ایستگاه پایه اینکار آن را توسط سیگنالینگ X2 انجام می‌دهد. سپس، سلول‌های همسایه می‌توانند این اطلاعات را برای حداکثر کردن ظرفیت خودشان به کار بگیرند. برای مثال، این سلول‌ها همان پیکربندی را استفاده می‌کنند یا موبایل‌های آسیب‌پذیر را در زیرفریم‌هایی زمان‌بندی می‌نمایند که تحت تأثیر تداخل قرار نمی‌گیرند.

۲۰-۶-۳ پیشرفت‌های انجام گرفته برای ارتباطات نوع ماشین و داده موبایل

قبلاً انگیزه‌های کمتری از سوی سازندگان تجهیزات ماشین به ماشین برای پشتیبانی از LTE وجود داشت. چرا که تجهیزات GSM بسیار ارزان قیمت و پوشش شبکه GSM عالی بود. این دیدگاه متضاد آن چیزی بود، که اپراتورهای شبکه می‌خواستند. چرا که بهره طیفی تجهیزات GSM ضعیف بود و وجود آن‌ها باعث می‌شد مانع از خاموش شدن شبکه GSM شوند. به عنوان بخشی از نسخه دوازدهم، 3GPP شروع به تعریف مشخصات فنی دستگاهی برای ارتباطات ماشین به ماشین کرد، به طوری که قیمت تمام شده آن با قیمت یک مودم GPRS قابل رقابت باشد [۲۹]. این دستگاه توسط دسته‌بندی UE جدید LTE پشتیبانی می‌شود، که قابلیت‌های آن

شامل یک آنتن گیرنده لینک فروسو، حداکثر یک بلاک انتقال به اندازه ۱۰۰۰ بیت و حداکثر شش بلاک منابع لینک فروسو هستند.

تجهیزات نوع ماشین اغلب برای کاربردهای خانگی توسعه داده شده‌اند، که ممکن است در آنجا پوشش ضعیف باشد. برای حل این مشکل، 3GPP شروع به بهبود پوشش تجهیزات نرخ داده پایینی کرد که قبلاً سیگنال آنها ضعیف‌تر از 15 dB بود. به دلیل این که نرخ داده پایین است، این روش‌ها علاوه بر اعمال در PDSCH و PUSCH، باید در سایر کانال‌های فیزیکی و سیگنال‌ها پیاده‌سازی شوند. برخی از روش‌های ارتقاء یافته مثل روش تکرار هزینه بهره‌وری طیفی را افزایش می‌دهند، بنابراین آنها باید تنها در دسته بندی‌های جدید UE که در بالا به آنها اشاره شد و موبایل‌هایی که شدیداً به آنها نیاز دارند، به کار گرفته شوند.

همچنین 3GPP کار روی کاهش توان مصرفی تجهیزات نوع ماشین و موبایل‌هایی که از برنامه‌های داده موبایل استفاده می‌کنند، نمود [۳۰-۳۱]. این راه حل برای نسخه دوازده برنامه‌ریزی شده است و مقدمه‌ای برای تعریف وضعیت جدید ذخیره انرژی است، که در آن موبایل به طور متناوب به روزرسانی ناحیه ردیابی را انجام می‌دهد، به طور که در وضعیت RRC_IDLE قرار دارد. اما ایستگاه پایه پیام‌های فراخوانی را تا زمانی که موبایل فعال شود، نظارت نمی‌کند. امکان دیگر، معرفی یک چرخه دریافت غیر پیوسته توسعه یافته در حالت‌های RRC_CONNECTED و RRC_IDLE یا هر دو می‌باشد.

در اوایل این فصل، دیدیم که یک موبایل نسخه یازده می‌توانست یک درخواست تغییر وضعیت به یک حالت توان پایین را بنماید، که برای کاربردهای داده موبایل مثل فیسبوک و توییتر مناسب است. این روش ساده است اما چند عیب دارد؛ برای مثال، این روش تنها توسط موبایل نسخه یازده قابل استفاده است و بستگی به پیاده‌سازی موبایل و شبکه دارد. 3GPP اقدام به کار کردن روی یک روش بهتر در نسخه دوازده کرد در طول دوره فرایند قطع ارتباط با S1، ایستگاه پایه درباره وضعیت پارامترهای فعلی موبایل به MME اطلاعاتی را می‌دهد. این اطلاعات مثل طول چرخه DRX موبایل که به طرق مختلف آن را از دست داده است. سپس، MME می‌تواند این پارامترها را به ایستگاه پایه دیگر در طول دوره فرایند درخواست سرویس بعدی بفرستد. در نتیجه، آن ایستگاه پایه فوراً می‌تواند موبایل را با روش بهینه‌ای کنترل کند.

۲۰-۶-۴ پیشرفت‌های رها سازی ترافیک

در فصل‌های شانزده و نوزده دیدیم، که نسخه دوازدهم قابلیت‌های LTE را برای توانمندسازی تعامل با شبکه‌های محلی بی‌سیم (LAN) بهبود داده است و رها سازی ترافیک IP انتخابی را انجام می‌دهد. به عبارت دیگر، کشف آن شبکه دسترسی و تابع انتخاب (ANDSF) آن برای تطبیق آن با مشخصات مشترک با WiFi برای نقاط گذر^۱ و در موارد دیگر نقاط ازدحام^۲ 2.0 توسعه یافته است [۳۲-۳۳]. با استفاده از مجموعه داده سیاست‌گذاری/انتخاب WLAN^۳، ANDSF می‌تواند اطلاعاتی مانند حداکثر بهره‌وری مورد نظر واسط هوایی شبکه محلی بی‌سیم و نیز ظرفیت مورد نیاز شبکه واسط را برای موبایل فراهم کند. موبایل این اطلاعات را با اطلاعات پخش سراسری توسط یک نقطه دسترسی سازگار- نقطه گذر مقایسه می‌کند تا مطمئن شود، که نقطه دسترسی ظرفیت لازم برای کنترل موبایل را دارد. همچنین ANDSFN می‌تواند نقاط دسترسی را با استفاده از اطلاعات دیگر از مجموعه شناسه سرویس WiFi تشخیص دهد. به خصوص، حوزه نقطه دسترسی و شناسه یکتا سازمانی (OUI)^۴ آن را بشناسد.

۲۰-۷ مطالعات نسخه دوازدهم

۲۰-۷-۱ پیشرفت‌های انجام گرفته برای سلول‌های کوچک و شبکه‌های ناهمگن

3GPP مطالعاتی را طول نسخه دوازدهم انجام داد و در آنها راه‌حلهایی را برای بهبود کارایی سلول‌های کوچک و شبکه‌های ناهمگن یافته است [۳۴-۳۶]. در این مطالعات دو روش برای افزایش نرخ داده یک سلول کوچک بیان شده است. نخست، توان سیگنال دریافتی یک سلول کوچک بیشتر و بالاتر از یک سلول معمولی می‌باشد، در نتیجه موبایل‌ها می‌توانند با سفارش دادن طرح‌های مدولاسیون بالاتر از این ویژگی استفاده بهینه کنند. یک طرح مدولاسیون جدید 256-QAM لینک فروسو است، که شبیه بخشی از مشخصات نسخه دوازدهم می‌باشد. دوم، تأخیر گسترده پایین در یک پهنای باند همدوس بالا نتایج بهتری از شرایط معمول دارد، در حالی که نتایج یک موبایل سرعت پایین در یک زمان همدوسی بالا بهتر می‌شود. این موارد باعث شده است، که 3GPP اقدام به

1. Passpoint

2. Hotspot 2.0

3. WLAN Selection Policy

4. Organizational Unique Identifier

معرفی سیگنال‌های مرجع ویژه- موبایل جدید کند، که در آن بلاک منابع کمتری نسبت به حالت معمول اشغال می‌شود، در نتیجه ظرفیت PDSCH و PUSCH افزایش پیدا می‌کند. در مباحث قبلی درباره شبکه‌های خود بهینه‌ساز، مشاهده کردیم که یک سلول می‌تواند هنگامی که از آن استفاده نمی‌شود خاموش شود تا مصرف توان خود را به حداقل برساند. در نسخه یازدهم یک سلول می‌تواند این کار را در چند ثانیه انجام دهد، یک مقیاس زمانی برای اندازه‌گیری و سیگنالینگ دست به دست کردن تخصیص داده می‌شود. اگر سلولی بتواند بیش‌تر از حد معمول خاموش و روشن شود، در این صورت مصرف توان آن کاهش می‌یابد، در نتیجه تداخلی را که برای نقاط دیگر تولید می‌کند کاهش می‌یابد. مقیاس‌های زمانی ۱۰ میل ثانیه‌ی با اندکی اغماض روی مشخصات 3GPP قابل دستیابی هستند، به عنوان مثال، این کار زمانی انجام می‌گیرد که مطمئن شویم تا سلول‌های خاموش هر از گاهی سیگنال‌های همزمان‌سازی را منتشر خواهند کرد و این موارد شباهت زیادی به بخشی از مشخصات نسخه دوازدهم دارد. هدف نهایی این است که یک سلول بتواند به ازای هر زیرفریم خاموش و روشن شود. اگر چه تأثیر آن بر مشخصات نسخه دوازدهم بیشتر می‌شود.

قابلیت ارتباط دو گانه^۱ توانایی است که یک موبایل بتواند همزمان به دو ایستگاه پایه به نام‌های ایستگاه پایه اصلی (MeNB)^۲ و ایستگاه‌های پایه جانشین (SeNB)^۳ متصل شود، که این eNB ها معمولاً یک ماکروسل و یک پیکوسل با استفاده از فرکانس‌های حامل متفاوت هستند. قابلیت ارتباط دو گانه دارای سه انگیزه اصلی است، اصلی‌ترین و مهم‌ترین انگیزه آن کاهش تعداد دست به دست کردن‌های ناموفق در یک شبکه ناهمگن می‌باشد. دست به دست کردن‌ها برای موبایلی که به بیرون از پیکوسل می‌رود، دشوار است، چرا که ممکن است موبایل زمان کافی برای یافتن یک ماکروسل مجاور قبل از دست دادن سیگنال اصلی خود نداشته باشد. با نگهداری سیگنالینگ RRC در داخل ماکروسل، یک دست به دست کردن قوی می‌تواند بهبود پیدا کند. به علاوه، بار سیگنالینگ شبکه نیز می‌تواند با کاهش تعداد مجموع دست به دست کردن‌ها کاهش پیدا کند، اما ظرفیت شبکه و نرخ گذردهی کاربر هر دو می‌توانند افزایش یابند.

همچنین 3GPP مطالعه‌ای روی معرفی نوع جدیدی از حامل‌ها انجام داده است، که به نام حامل Lean می‌باشد. این حامل‌های جدید اطلاعاتی مثل سیگنال‌های مرجع ویژه سلول یا PDCCH سابق

-
1. Dual Connectivity 30 Slave Enb
 2. Master eNB
 3. Slave eNB

را حمل نمی‌کنند در نتیجه توسط موبایل‌های قبلی قابل استفاده نیستند یا سلول‌های مستقل نمی‌توانند آنها را استفاده کنند؛ در عوض، این حامل برای استفاده به عنوان سلول ثانویه در طول تجمیع حامل‌ها یا به عنوان یک ایستگاه ثانویه در طول قابلیت ارتباط دو گانه در نظر گرفته می‌شوند.

۲۰-۷-۲ ارتقاء شکل‌دهی پرتو و MIMO ابعاد کامل

در نسخه هشت تا یازده، آنتن‌های یک ایستگاه پایه در یک سطح افقی قرار داشتند، در نتیجه پرتوهای حاصل در زاویای مختلف از Azimuth محدود می‌شوند. بهره‌وری یک سلول می‌تواند با استفاده از آرایه‌های آنتن دو بعدی به طور بالقوه‌ای بهبود پیدا کند، که در آن آرایه‌های آنتن‌ها نیز در یک سطح عمودی قرار داشته و پرتوها نیز در ارتفاع‌های مختلفی قرار دارند. چنین آنتن‌هایی می‌توانند برای شکل‌دهی پرتو مرتفع ویژه کاربر استفاده شوند. این آنتن‌ها همچنین می‌توانند برای یک روش نسبتاً پیچیده‌ای به نام MIMO حجیم^۱ یا MIMO/ابعاد کامل (FD-MIMO)^۲ به کار روند، که در این روش ایستگاه پایه یک آرایه دو بعدی دارد و دارای آنتن‌های زیادتری در مقایسه با پیاده‌سازی‌های قبلی است. 3GPP مدل‌های کانال مربوطه و مزایای کارایی آن را به عنوان بخشی از مطالعات نسخه دوازده قرار داده است [۳۷]، احتمالاً این تحقیقات به عنوان بخشی از مشخصات نسخه‌های آتی ارائه شود.

منابع و ماخذ این فصل

1. 3rd Generation Partnership Project (2013) FTP Directory, http://ftp.3gpp.org/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/ (accessed 15 October 2013).
2. 4G Americas (2012) 4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and Beyond – HSPA, SAE/LTE and LTE-Advanced, October 2012.
3. 3GPP TR 36.819 (2013) Coordinated Multi-point Operation for LTE Physical Layer Aspects, Release 11, September 2013.
4. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Section 5.5.1.5, 6.10.3.1, 6.10.5.1, September 2013.

1. Massive MIMO

2. Full dimension MIMO

5. 3GPP TS 36.212 (2013) Multiplexing and Channel Coding, Release 11, Section 5.3.3.1.5D, June 2013.
6. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 7.1.9, 7.1.10, 7.2.5, September 2013.
7. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (CSI-IM-Config, CSI-Process, CSI-RS-ConfigNRP, CSI-RS-ConfigZP, PDSCH-Config), September 2013.
8. 3GPP TR 36.819 (2013) Coordinated Multi-point Operation for LTE Physical Layer Aspects, Release 11, Sections 7.3.1.1, 7.3.2, September 2013.
9. 3GPP TS 36.211 (2013) Physical Channels and Modulation, Release 11, Sections 6.2.4A, 6.8A, 6.10.3A, September 2013.
10. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 9.1.4, September 2013.
11. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 6.3.2 (EPDCCH-Config), September 2013.
12. 3GPP TR 36.816 (2012) Study on Signalling and Procedure for Interference Avoidance for In-device Coexistence, Release 11, January 2012.
13. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 5.6.9, September 2013.
14. 3GPP TS 23.682 (2013) Architecture Enhancements to Facilitate Communications With Packet Data Networks and Applications, Release 11, September 2013.
15. 3GPP TS 29.368 (2013) Tsp Interface Protocol Between the MTC Interworking Function (MTC-IWF) and Service Capability Server (SCS), Release 11, September 2013.
16. 3GPP TS 29.336 (2012) Home Subscriber Server (HSS) Diameter Interfaces for Interworking With Packet Data Networks and Applications, Release 11, December 2012.

17. 3GPP TS 29.337 (2013) Diameter-based T4 Interface for Communications with Packet Data Networks and Applications, Release 11, June 2013.
18. 3GPP TS 23.003 (2013) Numbering, Addressing and Identification, Release 11, Section 19.7, September 2013.
19. 3GPP TS 23.221 (2013) Architectural Requirements, Release 11, Section 5.1, June 2013.
20. 3GPP TR 36.822 (2012) LTE Radio Access Network (RAN) Enhancements for Diverse Data Applications, Release 11, September 2012.
21. 3GPP TS 36.331 (2013) Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, Release 11, Section 5.6.10, September 2013.
22. 3rd Generation Partnership Project (2013) Delivering Public Safety Communications with LTE, <http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1455-public-safety> (accessed 26 November 2013).
23. 3GPP TR 22.803 (2013) Feasibility Study for Proximity Services (ProSe), Release 12, June 2013.
24. 3GPP TS 22.278 (2012) Service Requirements for the Evolved Packet System (EPS), Release 12, Section 7A, September 2012.
25. 3GPP TR 23.703 (2013) Study on Architecture Enhancements to Support Proximity Services (ProSe), Release 12, October 2013.
26. 3GPP TS 23.303 (2014) Architecture Enhancements to Support Proximity Services (ProSe), Release 12, January 2014.
27. 3GPP TR 36.843 (2013) Feasibility Study on LTE Device to Device Proximity Services – Radio Aspects, Release 12, October 2013.
28. 3GPP TR 36.828 (2012) Further Enhancements to LTE Time Division Duplex (TDD) for Downlink-Uplink (DL-UL) Interference Management and Traffic Adaptation, Release 11, June 2012.

29. 3GPP TR 36.888 (2013) Study on Provision of Low-cost Machine-Type Communications (MTC) User Equip- ments (UEs) Based on LTE, Release 12, June 2013.
30. 3GPP TR 23.887 (2013) Machine-Type and Other Mobile Data Applications Communications Enhancements, Release 12, October 2013.
31. 3GPP TR 37.869 (2013) Study on Enhancements to Machine-Type Communications (MTC) and other Mobile Data Applications; Radio Access Network (RAN) aspects, Release 12, September 2013.
32. WiFi Alliance (2013) Wi-Fi CERTIFIED Passpoint&, <http://www.wi-fi.org/discover-and-learn/wi-fi-certified-passpoint> (accessed 15 October, 2013).
33. 3GPP TR 23.865 (2013) Study on Wireless Local Area Network (WLAN) Network Selection for 3GPP Terminals,Release 12, September 2013.
34. 3GPP TR 36.932 (2013) Scenarios and Requirements for Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN,Release 12, March 2013.
35. 3GPP TR 36.872 (2013) Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN – Physical Layer Aspects,Release 12, September 2013.
36. 3GPP TR 36.842 (2013) Study on Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN – Higher Layer Aspects,Release 12, June 2013.
37. 3GPP TR 36.873 (2013) 3D Channel Model for LTE, Release 12, September 2013.

فصل بیست و یکم: بازگشت مجدد

به سوی چنگمداری

چنانچه که ما در فصل یک بررسی کردیم، LTE به عنوان شریان‌های داده طراحی شده است. سیستمی که اطلاعات را از کاربران گرفته و به کاربران دیگر تحویل می‌دهد. اما در خودش برنامه‌های کاربردی هم‌پوشان را در نظر نگرفته است. اکثر سرویس‌های اصلی مثل ایمیل‌ها و مرورگرهای وب این برنامه‌های کاربردی از سیستم‌های تحویل جدا شده‌اند و این برنامه‌های کاربردی از طریق شرکت‌های ثالث تأمین می‌شوند، در نتیجه این رویکرد به خوبی کار می‌کند. با این حال، برای تماس‌های صوتی و پیام‌های متنی این برنامه‌های کاربردی از سوی اپراتورهای شبکه‌های سوئیچینگ مداری تأمین می‌شوند و این برنامه‌های کاربردی به شدت در داخل سیستم تحویل یکپارچه شده‌اند. این مفاهیم یک مفهوم بسیار متفاوتی با LTE دارد.

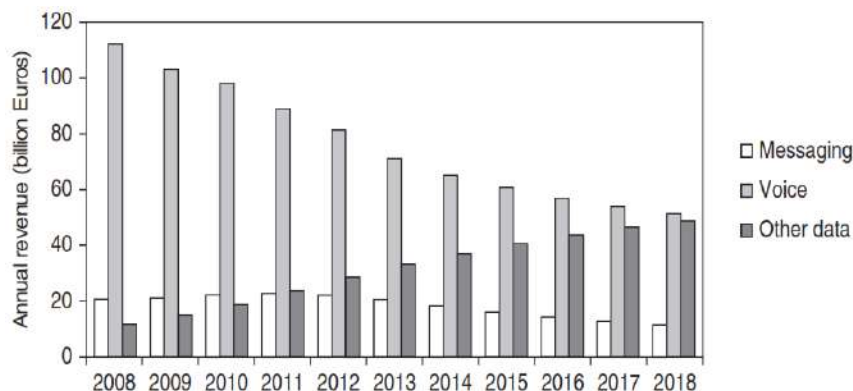
مشخصات 3GPP از دو رویکرد برای تحویل صوت روی LTE پشتیبانی می‌کنند. اصلی‌ترین راه کار کوتاه مدت بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری است. در این روش، موبایل به ناحیه سوئیچینگ‌مداری یک شبکه سنتی 2G یا 3G دسترسی پیدا می‌کند، که این کار از طریق انتقال آن به سلول 2G یا 3G صورت می‌گیرد. راه‌حل دراز مدت زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMS) است، که در آن یک شبکه خارجی توابع سیگنالینگ مورد نیاز برای صوت بر روی IP را فراهم می‌کند. علاوه بر این، سه رویکرد دیگر در این زمینه وجود دارند: تحویل سرویس‌های صوت بر روی IP از طریق یک بخش ثالث، که از یک وسیله رادیویی دوگانه استفاده می‌کند و روش دیگر تعامل 3G/2G به نام صوت بر LTE از طریق دسترسی عمومی است. هر کدام از این رویکردها می‌توانند برای تحویل پیام‌های متنی یا با استفاده از SMS یا یک برنامه کاربردی اختصاصی پیام به کار گرفته شوند.

در این فصل، مروری بر درآمد پیام‌های متنی و صوت خواهیم داشت و سپس برای هر کدام پنج رویکرد را معرفی خواهیم کرد. پس از آن جزییات بیشتری از سوئیچینگ‌مداری مجدد را بررسی خواهیم کرد و روشی را که در مرحله دوم مشخصات 3GPP مربوطه آورده شده است، را بیان می‌کنیم TS 23.272 [1]. در فصل بعد، زیر سیستم چند رسانه‌ای IP را پوشش خواهیم داد.

۱-۲۱ تحویل تماس‌های صوتی و پیام‌های متنی روی LTE

۱-۱-۲۱ درآمد تماس‌های صوتی و SMS

برای بیان اهمیت تماس‌های صوتی و SMS برای اپراتورهای موبایل، شکل ۱-۲۱ درآمدی که اپراتورهای اروپای غربی از سرویس‌های صوتی و پیام‌های متنی مثل SMS و سایر برنامه‌های کاربردی به دست آورده‌اند، را نشان می‌دهد. این اطلاعات، توسط تحلیل گر Mason انجام شده و با استفاده از داده‌های آن اپراتورها تا پایان سال ۲۰۱۲ و پیش‌بینی بعد از آن به دست آمده است. در اینجا یک اختلاف قابل توجهی بین اطلاعات ارائه شده در شکل ۱-۲۱ و اطلاعات ارائه شده درباره ترافیک شبکه در سراسر جهان که ما در شکل‌های ۵-۱ و ۶-۱ ارائه کرده بودیم، وجود دارد: برنامه‌های کاربردی داده اغلب ترافیک اپراتورها را اشغال می‌کند ولی صوت بخش اعظم درآمد آنها را تأمین می‌کند. باید توجه شود که عدم تعادل بین ترافیک صوت و داده در غرب اروپا بسیار شدیدتر از جاهای دیگر است. برای مثال، ۹۵ درصد داده‌های اروپای غربی در سال ۲۰۱۳ قابل مقایسه با ترافیک حدود ۸۵ درصد سراسر جهان است.



شکل ۱-۲۱ درآمد کسب شده اپراتورهای اروپای غربی از طریق سرویس‌های صوت،

پیام و سایر سرویس‌های داده تا سال ۲۰۱۳ و پیش‌بینی بعد از آن.

این اطلاعات توسط تحلیل گر mason تهیه شده است

نرخ داده صوت پایین است (64 Kbps) یا کمتر از آن در حوزه سوئیچینگ‌مداری (2G و 3G) و تنها درصد کوچکی از ترافیک کل شبکه را اشغال می‌کند. اما برنامه‌های کاربردی صوت خصوصیات ارزشمندی را برای کاربران ارائه می‌دهند، به ویژه سرویس‌های ارزش افزوده نظیر پست صوتی و انتقال تماس، قابلیت تماس با تلفن‌های ثابت روی شبکه‌ی تلفن عمومی و قابلیت

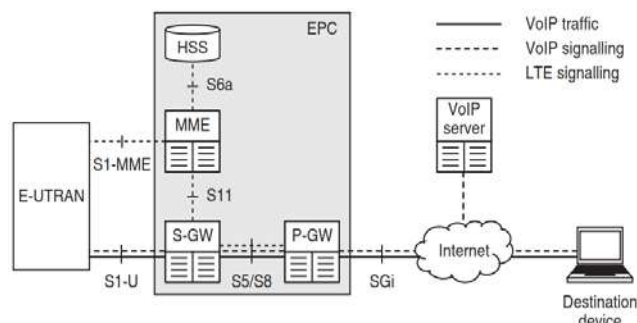
برقراری تماس‌های ضروری. به همین منظور، اپراتورهای موبایل هنوز اهمیت ویژه‌ای را برای آن قائل هستند. اما این اهمیت ویژه در حال کاهش است. با این وجود، صوت هنوز سهم بسیار بالایی از درآمدهای اپراتور را تولید می‌کند. وضعیت مشابه اما بسیار شدیدتری در مورد سرویس‌های پیام‌رسانی وجود دارد، که سهم ناچیزی از ترافیک شبکه را به خود اختصاص می‌دهد. در مقابل اغلب سرویس‌های داده موبایل نیازمند نرخ داده بالا هستند، در حالی که هنوز ارزش مالی زیادی را در برابر پهنای بندی که اشغال می‌کنند، ندارد.

۲۱-۱-۲ سرویس صوت روی IP تأمین‌کنندگان ثالث

ساده‌ترین روش برای سفارش سرویس صوت بر روی IP از طریق یک تأمین‌کننده ثالث نظیر Skype انجام می‌گیرد، که همان مفاهیم مشترک در برنامه‌های کاربردی مبتنی بر IP را به کار می‌برد. شکل ۲۱-۲ معماری اولیه آن را نشان می‌دهد. اگر چه این جزئیات از یک تأمین‌کننده به تأمین‌کننده دیگر فرق می‌کند.

در این معماری کاربر از طریق رد و بدل کردن پیام‌های سیگنالینگ VoIP با یک سرور خارجی و نهایتاً با یک وسیله VoIP دیگر تماس خود را برقرار می‌کند. از دیدگاه LTE، این پیام‌های سیگنالینگ شبیه هر نوع داده‌ای می‌توانند باشند و از طریق حامل‌های EPS دقیقاً با روش مشابه به داده‌های معمولی منتقل می‌شوند. همچنین تأمین‌کنندگان این سرویس‌ها، ممکن است از دروازه‌های چند رسانه‌ای پشتیبانی کنند، که بسته‌های VoIP را به صورت جریان‌های اطلاعاتی تبدیل می‌کند، که در شبکه‌های سوئیچینگ مداری سنتی به کار می‌رود. در صورت انجام این کار، کاربر می‌تواند با موبایل‌های 2G/3G و خطوط ثابت ارتباط برقرار کند.

این رویکرد نیازمند سرمایه‌گذاری اندکی از سوی اپراتورهای شبکه است و تماس‌های ارزان و رایگانی را به کاربران ارائه می‌دهد. اما این روش چند عیب دارد: نخست، اپراتور شبکه هیچ‌گاه صاحب سرویس صوتی نمی‌شود. دوم، کیفیت سرویس با توجه به کیفیت سرویسی که اینترنت ارائه می‌دهد محدود می‌شود. سوم، کیفیت سرویس کاربران در صورتی که موبایل به سلول نسل دوم یا سلول نسل سوم منتقل شود افت پیدا می‌کند یا نهایتاً ممکن است تماس قطع شود. چهارم Skype هنوز تا این لحظه که این کتاب نوشته می‌شود از تماس‌های اضطراری پشتیبانی نمی‌کند. در نتیجه، هنوز نمی‌تواند به عنوان یک جایگزینی برای سرویس صوتی تلقی شود. به همین دلیل، اپراتورهای شبکه موبایل می‌توانند درآمد کمتری از این رویکرد به دست آورند.



شکل ۲۱-۲ معماری عمومی یک سیستم VoIP و تأمین کننده ثالث

۲۱-۱-۳ زیر سیستم چند رسانه‌ای IP

اصلی‌ترین رویکرد دراز مدت برای سرویس صوت روی LTE زیرسیستم چند رسانه‌ای IP (IMS) است. همچنان که در فصل اول مشاهده کردیم، IMS یک شبکه خارجی می‌باشد، که دارای توابع سیگنالینگ است، و تماس‌های VoIP را برای تجهیزات LTE مدیریت می‌کند. هنگامی که از این دیدگاه بررسی می‌شود، IMS بسیار شبیه به سرویس‌های VoIP رایج شده از سوی تأمین‌کنندگان ثالث است که ما در بالا به آن اشاره کردیم. با این حال IMS دو مزایا نسبت به آن همراه دارد. اولین مزیت IMS این است، که متعلق به خود اپراتور شبکه است و توسط یک تأمین‌کننده ثالث مدیریت نمی‌شود. دوم مزیت IMS این است، که بسیار قوی‌تر از هر سیستم تأمین شده توسط تأمین‌کنندگان ثالث است، برای مثال IMS کیفیت سرویس یک تماس صوتی را تضمین می‌کند. از دست به دست کردن به سلول‌های 2G یا 3G پشتیبانی می‌کند و نیز پشتیبانی کامل از تماس‌های ضروری را داراست. به خاطر این مزایا، IMS احتمالاً درآمد زیادی را برای اپراتور شبکه تولید خواهد کرد.

با این حال، IMS یک سیستم پیچیده‌ای است و به همین دلیل اجرایی شدن آن چندین سال به طول انجامیده است، که پس چند سال از اجرای LTE زمان برده است. این مسئله باعث شده است که به دنبال رویکرد‌های موقت باشیم تا این شکاف زمانی بین اجرا شدن IMS در LTE پر شود.

VoLGA ۴-۱-۲۱

رویکرد موقتی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته، صوت بر روی *LTE* از طریق دسترسی عمومی (VOLGA) بود. این روش در سه مشخصات اصلی 3GPP تعریف شده است [۲-۴] و در [۵] معرفی کاملی هم از آن شده است.

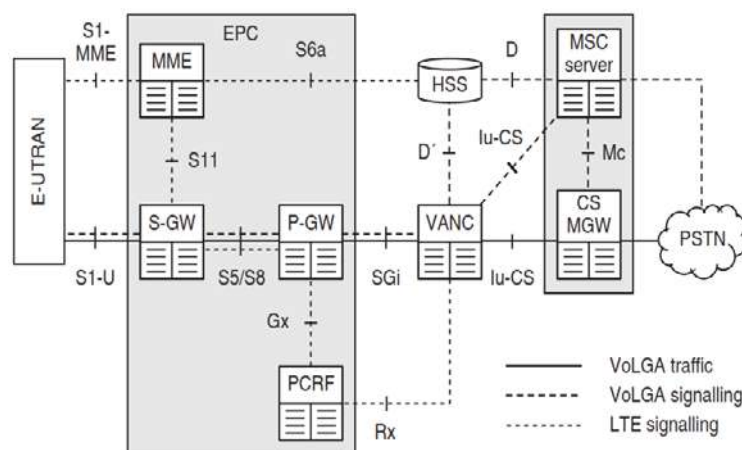
این روش مبتنی بر مشخصات قبلی 3GPP است [۶]، که از طریق آن یک موبایل می‌تواند به شبکه هسته 2G/3G از طریق یک شبکه دسترسی عمومی متصل گردد. این شبکه دسترسی عمومی می‌تواند به عنوان مثال یک شبکه محلی بی‌سیم باشد. چنانچه که در شل ۲۱-۳ نشان داده شده است، معماری VoLGA این رویکرد را با اتصال یک دروازه PDN به یک ناحیه سوئیچینگ مداری 2G/3G از طریق وسیله ای به نام کنترل کننده شبکه دسترسی VoLGA (VANC)^۲ به بهره‌برداری می‌رساند. VANC سه وظیفه اصلی دارد: VANC موبایلی که روی واسط D' قرار دارد را احراز هویت می‌کند، پیام‌های سیگنالینگ 2G/3G را بین موبایل و ناحیه سوئیچینگ مداری منتقل می‌کند و ترافیک صوتی کاربر را به VoIP و سوئیچینگ مداری تبدیل می‌کند.

این معماری VoLGA دو مزایای دیگری را نیز به همراه دارد. نخست، VANC می‌تواند واسط Rx را جهت درخواست یک کیفیت سرویس مناسب برای یک تماس صوتی به کار برد و هسته تکامل یافته بسته (EPC) نیز می‌تواند با فعال‌سازی یک حامل اختصاصی به آن پاسخ دهد. دوم، VANC نمی‌تواند یک تماس صوتی (VOIP) روی *LTE* را به یک تماس سوئیچینگ مداری 2G/3G تبدیل کند، در صورتی این اتفاق روی می‌دهد که کاربر به خارج از ناحیه پوششی شبکه *LTE* رفته باشد. این دست به دست شدن از سوئیچینگ بسته‌ای به سوئیچینگ مداری یک روش IMS به نام پیوستگی تماس صوتی رادیویی منفرد^۳ (SRVCC) را مجدداً به کار می‌برد، که ما آن را در فصل بعدی بحث خواهیم کرد.

مشخصات VoLGA با مشارکت صنعتی گروهی به نام انجمن VoLGA^۴ [۷] نوشته شده است، که در مارس سال ۲۰۰۹ تشکیل شد. اگر چه قبلاً در این مورد علاقه‌ای وجود داشت، اما اغلب سازندگان تجهیزات و اپراتورهای شبکه تصمیم گرفتند، که روی سوئیچینگ مداری مجدد و زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMS) متمرکز شوند و این روش هرگز راه خود را به مشخصات

-
1. Voice Over LTE Via Generic Access
 2. Volga Access Network Controller
 3. Signal Radio Voice Call Continuity
 4. Volga Forum

3GPP باز نکرده است. مشخصات VoLGA از سال ۲۰۱۰ به روز رسانی نشده است و بعید به نظر می‌رسد که به صورت روش فراگیری به کار گرفته شود.



شکل ۲۱-۳ معماری VoLGA

۲۱-۱-۵ تجهیزات رادیویی دوگانه

رویکرد موقتی دوم، استفاده از موبایل‌هایی با دو فرستنده و گیرنده کاملاً جداگانه‌ای بود، که یکی برای ارتباطات داده روی LTE و دیگری برای ارتباطات صوتی روی یک شبکه سنتی 2G/3G به کار می‌رود. این رویکرد دو مزایا دارد: این رویکرد دارای طراحی راحت‌تر و سریع‌تر است و ارتباط پیوسته صوتی و داده‌ای را برای کاربران را به ارمغان می‌آورد. اما این روش دارای دو عیب نیز می‌باشد: دستگاه موبایل مذکور خیلی بزرگ بوده و عمر باتری آن به شدت کاهش پیدا می‌کند. رویکرد مذکور توسط اپراتورهای شبکه‌های cdma2000 قدیمی مثل Verizon در ایالت متحده آمریکا اتخاذ شده بود. به دلیل این که گیرنده/فرستنده‌های cdma2000 و LTE به صورت جداگانه‌ای کار می‌کنند و نیز چون سایر حالت‌های تعاملی نسبتاً پیچیده هستند، این رویکرد مناسب اپراتورهای شبکه‌های 3GPP سنتی نبود. چرا که هنوز مشخصات فنی 3GPP اجازه نداده است تا موبایلی از طریق دو فناوری دسترسی رادیویی 3GPP بتواند در یک لحظه ارتباط برقرار کند.

۲۱-۱-۶ بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری

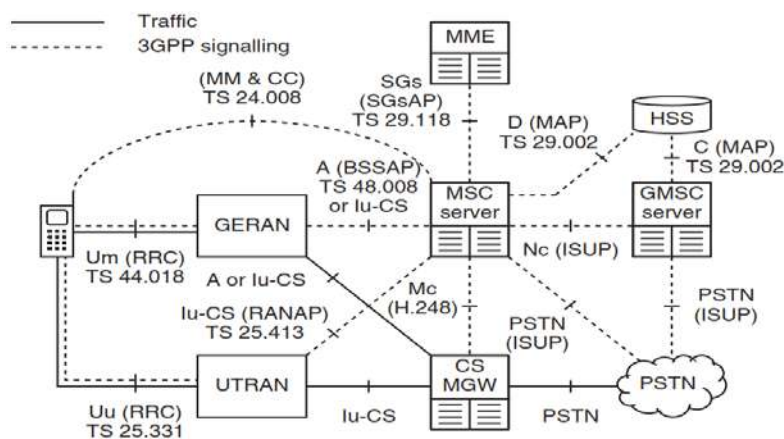
مهم‌ترین رویکرد موقتی که اغلب در پیاده‌سازی‌های LTE از آن استفاده می‌شود، بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری (CSFB) است. با استفاده از این رویداد، شبکه موبایل LTE را به یک سلول

قدیمی 2G/3G منتقل می‌کند. در نتیجه با این روش، صوت از طریق ناحیه سوئیچینگ‌مداری 2G/3G به روش سنتی منتقل می‌شود. در سایر بخش‌های این فصل ما درباره معماری بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری بحث خواهیم کرد و فرایندهایی برای ثبت نام مدیریت قابلیت تحرک، برقراری تماس و تحویل پیام‌های SMS را مورد بحث قرار خواهیم داد.

۲-۲۱ معماری سیستم

۱-۲-۲۱ معماری ناحیه سوئیچینگ‌مداری 2G/3G

در فصل پانزدهم درباره معماری تعاملی بین LTE و ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای شبکه‌های نسل دوم و سوم بحث کردیم. شکل ۲۱-۴ به آن معماری اضافه شده است، که مقدمه‌ای بر معرفی ناحیه سوئیچینگ 3G/2G است [۸]. زمانی که یک تماس تلفنی دایر می‌شود، موبایل اطلاعات صوت را دیجیتالی کرده و با یک نرخ نمونه‌برداری و با دقتی که معمولاً 8k Hz و هشت بیت می‌باشد، یک نرخ بیت 64 kbps را تولید می‌کند. سپس، موبایل با استفاده از یک کد کننده^۱ نرخ داده را پایین‌تر می‌آورد. مهم‌ترین کد کننده در UMTS کد کننده چند نرخ‌ی^۲ (AMR) است [۹] و در آن هشت نرخ داده فشرده شده و اندازه بین 4.75 تا 12.2 kbps قرار می‌گیرد.



شکل ۲۱-۴ معماری بازگشت به سوئیچینگ‌مداری

منبع: TS 23.272 بازنشر با مجوز ETSI

1. Codec
2. Adaptive Multi Rate Codec

دروازه چند رسانه‌ای سوئیچینگ/مداری (CS-MGW)^۱ ترافیک صوتی کاربران را منتقل کرده، آن را از طرح‌های کدینگ مختلف به پروتکل‌های انتقالی مختلف تبدیل می‌کند و به عنوان یک واسطه پلان کاربری با شبکه‌های مختلف عمل می‌کند. این دروازه شبیه دروازه خدمت‌رسانی و دروازه PDN در LTE است. مرکز سوئیچینگ موبایل (MSC) از موبایل‌ها پشتیبانی می‌کند و دارای یک رونوشت محلی از مشترکین موبایل می‌باشد و این موبایل‌ها را از طریق پیام‌های سیگنالینگ کنترل می‌کند. بنابراین، شباهت بسیار زیادی به MME دارد. دروازه سرور (GMSC) MSC از تمامی توابع MSC پشتیبانی کرده همچنین می‌تواند پیام‌های سیگنالینگ از شبکه دیگر در زمینه تماس‌های دریافتی را دریافت کند.

این معماری برای اولین بار در نسخه چهار از مشخصات 3GPP ارائه شد. در نسخه‌های قبلی رونوشت محلی از داده‌های کاربری مشترکان در یک وسیله دیگری ذخیره می‌شد، که به نام گره ثبت نام محلی ملاقات شونده (VLR)^۲ نامیده می‌شد. سایر توابع سرور MSC با دروازه رسانه آنها ادغام شدند. تا این که به صورت مرکز سوئیچینگ موبایل (MSC) درآمد.

شبکه فوق از چندین پروتکل سیگنالینگ استفاده می‌کند. یک سرور MSC موبایل را با استفاده از رفتار سطح بالای آن از طریق دو پروتکل قشر بدون دسترسی (NAS) کنترل می‌کند [۱۰]: پروتکل مدیریت قابلیت تحرک (MM)^۳، ساماندهی داخلی موبایل در حوزه سوئیچینگ مداری انجام می‌دهد، در حالی که پروتکل کنترل تماس (CC) پیام‌های سیگنالینگ در لایه کاربرد قرار دارد و از طریق آنها تماس‌های تلفنی را مدیریت می‌کند. سرورهای MSC با شبکه سوئیچینگ تلفن عمومی تماس برقرار می‌کنند و بین آنها پروتکل‌های استاندارد سیگنالینگ تلفن به کار می‌روند. اصلی‌ترین پروتکل عمومی پروتکل بخش کاربری (ISUP)^۴ شبکه دیجیتال سرویس‌های یکپارچه (ISDN)^۵ می‌باشد [۱۱-۱۴]، که بخشی از سیستم سیگنالینگ شماره هفت (SS7)^۶ است و پروتکل کنترل تماس مستقل از حامل (BICC)^۷ که پروتکل توسعه یافته‌ای از ISUP می‌باشد و از تمام پروتکل‌های انتقال تحت لایه انتقال پشتیبانی می‌کند. در داخل ناحیه سوئیچینگ مداری سرورهای MSC با سرور خانگی مشترک (HLR)

-
1. Circuit Switched Media Gateway
 2. Visitor Location Register
 3. Mobility Management
 4. ISDN User Part
 5. Integrated Services Digital Network
 6. Signaling System 7
 7. Bearer Independent Call Control

از طریق پروتکل بخش کاربردی موبایل (MAP) تماس می‌گیرند [۱۶] دروازه‌های چند رسانه‌ای را از طریق یک پروتکل ITU به نام H.248 یا پروتکل کنترل دروازه (GCP)^۱ کنترل می‌کنند [۱۷]. پروتکل GCP با همکاری کار گروه مهندسين اینترنت (IETF) تعريف شد و از سوی IETF به نام کنترل دروازه چند رسانه‌ای (MEGACO)^۲ نامگذاری شد.

ناحیه سویچینگ مداری رکوردهای وضعیت موبایل را به صورت مستقل از حوزه سویچینگ بسته‌ای موبایل جدا می‌کند. از نقطه نظر شبکه دسترسی رادیویی 2G/3G، یک موبایل تنها در حالتی در وضعیت RRC_IDLE قرار می‌گیرد، که به طور همزمان هردو ناحیه سویچینگ مداری و سویچینگ بسته‌ای از شبکه هسته غیر فعال باشند. ناحیه سویچینگ مداری در داخل حوزه مکانی (LA)^۳ سازماندهی شده هستند، هر یک از LA ها متشکل از یک یا چند ناحیه مسیریابی سویچینگ بسته‌ای است. LA مشخص کننده کاربر با یک شناسه کاربر موقت موبایل (TMSI)^۴ است.

به طور اختیاری، سرور MSC همچنین می‌تواند روی واسط Gs با یک SGSN ارتباط برقرار کند. MSC این کار را از طریق پروتکل سیگنالینگ BSSAP+^۵ انجام می‌دهد [۱۸] اگر واسط Gs موجود باشد، گفته می‌شود که شبکه در وضعیت عملیاتی I (NMO)^۶ قرار دارد، و موبایل مسیریابی ترکیبی را اجرا کرده و از طریق SGSN موقعیت خود را به روزرسانی می‌کند. در صورتی که واسط Gs موجود نباشد گفته می‌شود که شبکه در NMO II قرار دارد و موبایل مسیریابی و به روز رسانی موقعیت خود را به صورت مستقل انجام می‌دهد.

۲-۲-۲۱ معماری بازگشت مجدد به سویچینگ مداری

برای پشتیبانی از بازگشت مجدد به سویچینگ مداری، معماری شبکه با اضافه شدن یک واسط سیگنالینگ جدید به نام SGS ارتقاء داده می‌شود که بین MME و سرور MSC قرار دارد. پیام‌ها روی این واسط از طریق پروتکل کاربردی SGS (SGsAP)^۷ نوشته می‌شود [۱۹] و با استفاده از

-
1. Gateway Control Protocol
 2. Media Gateway Control
 3. Location Area
 4. Temporary Mobile Subscriber Identifier
 5. Base Station Subsystem Application Part Plus
 6. Network Made Of Operation
 7. SGS Application

این پیام‌ها MME موبایل را در ناحیه سوئیچینگ‌مداری 2G/3G ثبت‌نام می‌کند و دسترسی به سوئیچینگ‌مداری آن شبکه را برای کاربر فراهم می‌سازد.

بعد از آن، ما می‌توانیم این معماری را برای هر نوع سرویس متمایز استفاده کنیم. موبایل تماس‌های صوتی، تماس‌های ویدیویی و سرویس‌های مکمل را با انتقال به یک سلول 2G یا 3G کنترل می‌کند. در نقطه مقابل، موبایل می‌تواند پیام‌های SMS را در داخل یک سلول LTE با استفاده از سرویسی به نام SMS بر روی SGs^۱ مخابره نماید. در این سرویس پیام‌ها روی واسطه‌های S1-MME و واسطه SGs به سرور MSC منتقل می‌شوند. اپراتورهای شبکه و سازندگان تجهیزات فقط می‌توانند پشتیبانی از SMS بر روی SGs انتخاب کنند که می‌تواند برای تجهیزات نوع ماشین مناسب باشد و نیازی به سرویس‌های صوتی برای 2G و 3G نیست.

۲۱-۳ فرایند اتصال به شبکه

۲۱-۳-۱ فرایند اتصال به شبکه ترکیبی EPS/IMSI

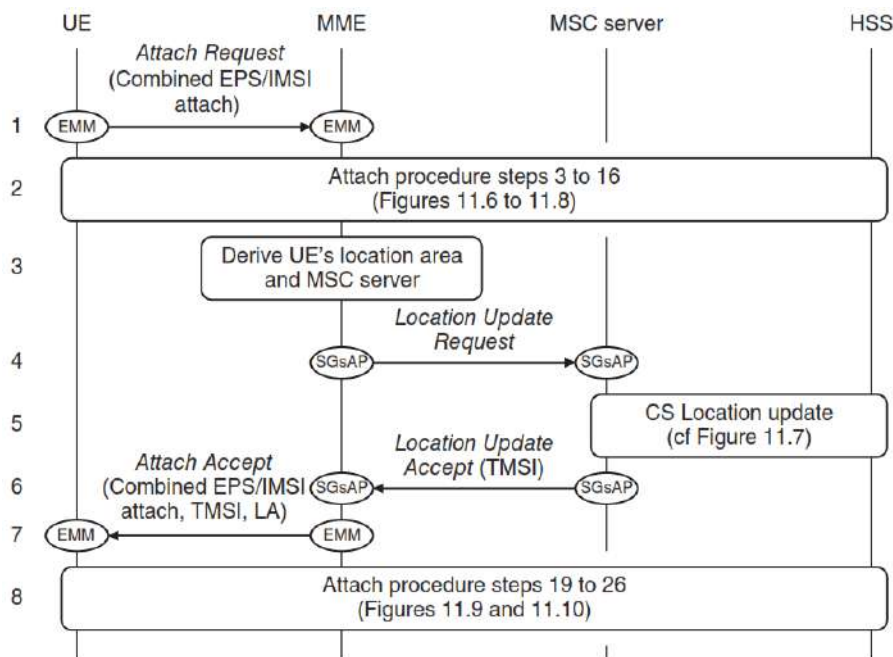
موبایل برای ثبت نام بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری بخشی از فرایند اتصال به شبکه را اجرا می‌کند، که این فرایند در فصل یازدهم بیان شده است. این فرایند، از دنباله پیام‌هایی که در شکل ۲۱-۵ نشان داده شده است، استفاده می‌کند. موبایل در فرایند اتصال به شبکه خود (۱) می‌خواهد تا در یک سرور MSC ثبت شود، که این کار را با تنظیم نوع اتصال به شبکه EPS^۲ به یک «اتصال به شبکه ترکیبی EPS/IMSI» انجام می‌دهد و درباره این که آیا می‌خواهد به طور کامل از سرویس‌های بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری (CSFB) پشتیبانی کند یا تنها سرویس SMS، از طریق نوع به روزرسانی/اضافی^۳ سؤال می‌کند. در کنار سایر عناصر اطلاعاتی، موبایل نوع کدکننده‌هایی که پشتیبانی می‌کند را اعلام می‌کند، همچنین دو پارامتر دیگری که ما در زیر به آن اشاره خواهیم کرد، را نیز مشخص می‌کند. این دو پارامتر به نام‌های حوزه اولویت صوت و تنظیم کاربری UE می‌باشند.

1. SMS Over Sgs

2. EPS Attach Type

3. Additional Update Type

موبایل طبق شیوه‌های معمول، یک درخواست اتصال به شبکه را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند و ایستگاه پایه نیز یک MME را انتخاب می‌نماید. MME درخواست ارتباط موبایل را به سرور MSC ارسال کرده و ناحیه ردیابی را که موبایل در آن قرار دارد مشخص می‌کند.



شکل ۲۱-۶ فرایند اتصال به شبکه ترکیبی EPS/IMSI

منبع: TS 23.272 بازنشر با مجوز ETSI

در پاسخ، MME مراحل سه تا شانزده از فرایند اتصال به شبکه را به اجرا درمی‌آورد (۲) که مرحله‌ای برای پوشش نیازمندی‌های شناسایی و امنیت، به روزرسانی موقعیت و ایجاد حامل پیش‌فرض هستند.

با استفاده از ناحیه ردیابی که موبایل از ایستگاه پایه گرفته است، MME حوزه مکانی 2G/3G را شناسایی می‌کند، که موبایل در آن واقع شده است و یک سرور MSC را که حوزه مکانی را کنترل می‌کند، را می‌یابد (۳) پس از آن، MME یک درخواست به روزرسانی موقعیت SGsAP^۱ را به سرور MSC می‌فرستد (۴) و از MSC می‌خواهد تا موبایل را برای سرویس‌های سوئیچینگ‌مداری ثبت‌نام کند و موقعیت موبایل و IMSI آن را مشخص نماید. سرور MSC موبایل

1. Sgsap Location Update Request

را در سرور خانگی مشترکین (HSS) ثبت کرده (5) و آن را به MME اطلاع می‌دهد (۶) موبایل را با یک شناسه کاربری موبایل موقت (TMSI) پشتیبانی می‌کند. در نتیجه این پیام‌های SGs، سرور MSC و MME یک رابطه مجازی به نام اتحاد SGs^۱ را ایجاد می‌کنند، که از طریق آن می‌توانند وضعیت ثبت موبایل برای بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری اطلاع پیدا کنند و شناسه‌های همدیگر را استخراج کنند.

حال MME می‌تواند درخواست اتصال به شبکه جدیدی از سوی موبایل را بپذیرد (۷). اگر این موفقیت‌آمیز بوده باشد، پس از آن MME شناسه حوزه مکانی و TMSI را برای آن فراهم می‌کند و حاصل اتصال به شبکه EPS^۲ را برای تعیین یک ارتباط EPS/IMS ترکیبی استفاده می‌کند و حاصل به روزرسانی اضافه^۳ به کار می‌گیرد تا بفهمد که نوع ثبت‌نام موبایل برای استفاده کامل از سرویس‌های CSFB یا تنها سرویس‌های SMS است. این فرایند در نهایت با مراحل باقیمانده از فرایند اتصال به شبکه به اتمام می‌رسد (۸).

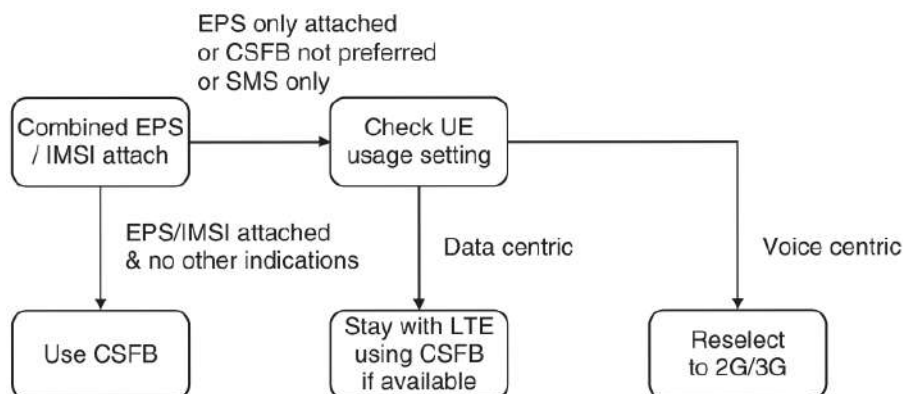
۲۱-۳-۲ اولویت حوزه صوت و تنظیم کاربرد UE

اگر یک موبایل با استفاده از دو پارامتر داخلی که به نام‌های اولویت حوزه صوت^۴ و تنظیم کاربرد UE^۵ می‌باشد، ثبت شود، بسیار مؤثر خواهد بود [۲۰]. اولویت حوزه صوت تعیین‌کننده این است، که موبایل چه روش‌هایی صوتی را تجهیزات پشتیبانی می‌کنند و اگر امکان‌پذیر باشد کدام از آنها ترجیح داده می‌شوند و برای آن چهار مقدار ممکن وجود دارد: فقط صوت سوئیچینگ‌مداری (SC)، فقط صوت سوئیچینگ بسته‌ای IMS (IMS-PS)، اولویت صوتی سوئیچینگ بسته‌ای IMS (IMS-PS) به صوت سوئیچینگ‌مداری (CS) و سوئیچینگ‌مداری به عنوان اولویت دوم و برعکس برتری صوت سوئیچینگ‌مداری (۸) به صوت سوئیچینگ بسته‌ای IMS (IMSPS) به عنوان اولویت دوم. تنظیم کاربرد UE نیز دارای دو مقدار ممکن است: مرکزیت صوت و مرکزیت داده. این دو مقدار تعیین‌کننده این هستند، که موبایل ترجیح می‌دهد تا کدامیک از سرویس صوتی 2G و 3G یا سرویس‌های بسته‌ای پرسرعت LTE را مقدم بشمارد حتی در صورتی که شبکه LTE به طور کلی از صوت پشتیبانی نمی‌کند. این دو مقدار توسط

-
1. SGS Association
 2. EPS Attach Result
 3. Additional Update Result
 4. Voice Domain Preference
 5. UE Usage Setting

تجهیزات موبایل ذخیره شده‌اند و اپراتورهای شبکه قادر هستند تا ناحیه صوتی را از طریق یک سرور مدیریت تجهیزات به روزرسانی کنند [۲۱].

برای بیان چگونگی عملکرد این تنظیمات، شکل ۶-۲۱ نحوه عملکرد یک موبایل را در صورتی که اولویت حوزه صوت تنها صوت سوییچینگ مداری در نظر گرفته شده باشد را نشان می‌دهد. موبایل ابتدا تلاش می‌کند تا در شبکه LTE ثبت شود و فرایند اتصال به شبکه CSFB ترکیبی را به کار ببرد. اگر شبکه از بازگشت مجدد به سوییچینگ مداری پشتیبانی کند، پس درخواست اتصال به شبکه را پذیرفته و به فرایند آغاز شده از سوی موبایل خاتمه می‌دهد.



شکل ۶-۲۱ رفتار یک موبایل در حالتی که برتری حوزه صوتی آن روی صوت CS تنظیم شده باشد

منبع: TS 23.221 باز نشر با مجوز ETSI

اگر شبکه از بازگشت مجدد به سوییچینگ مداری (CSFB) پشتیبانی نکند، شبکه درخواست اتصال به شبکه موبایل را قبول می‌کند، با این تفاوت که حاصل اتصال به شبکه آن را به صورت «فقط EPS¹» قرار می‌دهد. پس از آن، رفتار موبایل بستگی به تنظیمات کاربرد UE از LTE دارد: یک وسیله با مرکزیت داده (مثل یک تبلت) در وضعیت اتصال به شبکه LTE باقی می‌ماند، در حالی که یک دستگاه با مرکزیت صوت (مثل یک تلفن هوشمند) تلاش می‌کند تا از شبکه LTE ارتباط خود را قطع کرده و به یک شبکه 2G یا 3G مجدداً متصل شود. اگر MME یک اتصال به شبکه ترکیبی EPS/IMS با یک نتیجه به روزرسانی اضافی از «فقط SMS» را تعیین نماید، تا تعیین کند که موبایل تنها از SMS بر روی SGS پشتیبانی می‌کند و از صوت پشتیبانی نمی‌کند در این صورت وضعیت یکسان خواهد بود.

1. EPS Only

آخرین وضعیت ممکن این است که MME یک اتصال به شبکه ترکیبی EPS/IMSI را تعیین کرده باشد، اما حاصل به روزرسانی اضافه را به بازگشت مجدد به سوئیچینگ مدار (CSFB) بدون اولویت^۱ تنظیم کرده باشد. در این وضعیت، یک وسیله با مرکزیت داده در وضعیت اتصال به LTE باقی می‌ماند اما به استفاده از CSFB ادامه می‌دهد، در حالی که یک دستگاه با محوریت صوت از LTE اتصال خود را قطع کرده و تلاش می‌کند تا به یک شبکه 2G یا 3G مثل روش قبل مجدداً متصل گردد.

۲۱-۴ مدیریت قابلیت تحرک

۲۱-۴-۱ فرایند ردیابی ناحیه/ به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی ترکیبی

اگر یک موبایلی وارد ناحیه ردیابی شود، که قبلاً در آن ثبت نشده باشد، در چنین وضعیتی، موبایل فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی را به اجرا در می‌آورد، که در فصل چهاردهم بیان شد. موبایل در درخواست به روزرسانی ناحیه ردیابی خود نوع به روزرسانی EPS^۲ را به روز رسانی TA/LA ترکیبی تنظیم می‌کند تا مشخص کند که می‌خواهد یک به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی را نیز انجام دهد.

مثل فرایند اتصال به شبکه، MME ناحیه ردیابی را می‌خواند، که آن را از ایستگاه پایه دریافت کرده است و حوزه مکانی مربوطه را شناسایی می‌کند و سرور MSC که باید تغییر دهد، را کشف می‌کند. سپس یک درخواست به روزرسانی موقعیت GSsAP را به سرور MSC ارسال می‌کند. در نتیجه این فرایند، موقعیت موبایل در هسته بسته تکامل یافته و ناحیه سوئیچینگ مدار 2G/3G به روزرسانی می‌شود.

۲۱-۴-۲ تنظیم نواحی ردیابی و حوزه های موقعیت مکانی

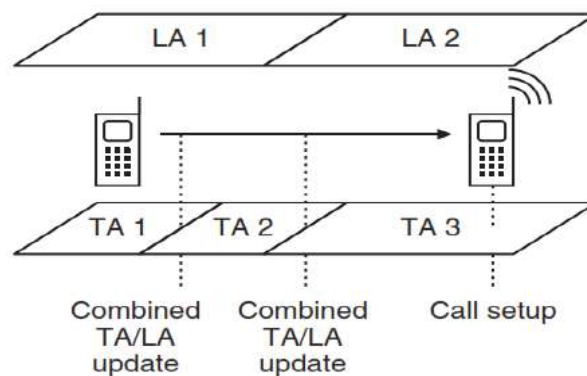
در فرایندهای مربوط به اتصال به شبکه ترکیبی و ردیابی ناحیه به روزرسانی/ حوزه موقعیت مکانی ترکیبی، MME یک شناسه ردیابی ناحیه را از ایستگاه پایه دریافت می‌کند. به حوزه موقعیت مکانی مربوطه نگاه کرده و یک سرور MSC که موبایل را کنترل می‌کند را شناسایی می‌نماید. برای این که این فرایند به درستی کار کند، MME باید دارای یک نگاشت قابل اعتمادی از نواحی ردیابی به حوزه‌های موقعیت مکانی را داشته باشد.

1. CS Fallback Not Preferred

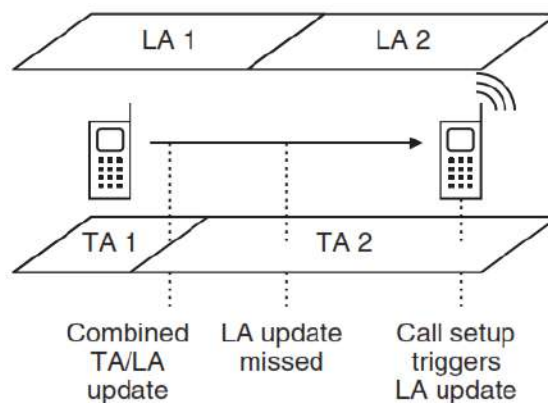
2. EPS Update Type

این امر از قاعده زیر پیروی می‌کند. برای اعمال بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری مورد نظر، اپراتورهای موبایل باید از گسترش یک ناحیه ردیابی در چند حوزه موقعیت مکانی اجتناب کنند؛ در عوض، آنها باید مرزهای نواحی ردیابی و حوزه‌های موقعیت مکانی را تا حد امکان با هم تمرکز سازند. در نتیجه یک حوزه موقعیت مکانی بر یک یا چند ناحیه ردیابی تقسیم می‌شود. همین شیوه نیز برای هر لیست نواحی ردیابی ویژه موبایل اعمال می‌گردد. علاوه بر این برای شبکه‌ای که کاربر در حال رومینگ دارد، نیز این روش اعمال می‌گردد.

شکل ۲۱-۷ تأثیر این روش را نشان می‌دهد. اگر حوزه‌های موقعیت مکانی و نواحی ردیابی به درستی تنظیم شده باشند (شکل ۲۱-۷a)، تغییر یک حوزه موقعیت مکانی، همواره به همراه تغییر یک ناحیه ردیابی خواهد بود. در نتیجه همیشه MME از حوزه موقعیت مکانی که موبایل در آن قرار دارد، باخبر خواهد بود و می‌تواند موبایل را در یک سرور MSC درست ثبت کند.



شکل ۲۱-۷a) حوزه‌های موقعیت مکانی و ناحیه ردیابی به درستی تنظیم شده است



شکل ۲۱-۷b) حوزه موقعیت مکانی و ناحیه ردیابی به درستی تنظیم نشده است

اگر یک ناحیه ردیابی بیش از یک حوزه موقعیت مکانی را در بر بگیرد (شکل ۲۱-۷(b))، موبایل می‌تواند از یک حوزه موقعیت مکانی به یک حوزه موقعیت مکانی دیگر تغییر مکان بدهد بدون آن که فرایند به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی/ناحیه ردیابی ترکیبی را اجرا کند. بعد از آن اگر تماسی را برقرار نماید، به یک سلول 2G/3G می‌رود. اطلاعات سیستمی جدید را می‌خواند و تنها حوزه موقعیت مکانی جدید خود را کشف می‌کند. این کشف حوزه موقعیت مکانی فرایند به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی را آغاز می‌کند، که قبلاً انجام یافته است و در فرایند برقراری تماس تأخیر ایجاد می‌کند در صورتی که حوزه موقعیت مکانی جدید توسط یک سرور MSC متفاوت‌تر از قبل کنترل شود، این تأخیر بیشتر هم خواهد بود. چرا که عملیات سیگنالینگ جدیدی را برای انتقال موبایل نیاز خواهد بود. اگر MME یک لیست ناحیه ردیابی ویژه موبایل را استفاده کند که بیش از یک حوزه موقعیت مکانی را پوشش می‌دهد، چنین شرایط مشابهی روی می‌دهد. تنظیم حوزه موقعیت مکانی و نواحی ردیابی به طور کامل امکان‌پذیر نیست. حتی اگر سلول‌های 2G، 3G و LTE از طریق سایت‌های مشابه کنترل شوند، چرا که سلول‌ها روی فرکانس‌های حامل مختلفی عمل می‌کنند و دارای نواحی پوششی متفاوتی هستند. با این اوصاف، اپراتورهای شبکه‌های موبایل می‌توانند به طور قابل توجهی بهره‌وری بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری با اعمال قواعدی که در بالا اشاره شد، را بهبود دهند.

۲۱-۴-۳ انتخاب مجدد سلول UMTS یا GSM

اگر یک موبایل غیر فعال به خارج از ناحیه پوششی یک شبکه LTE برود و در داخل ناحیه‌ای که تنها توسط 2G یا 3G پوشش داده می‌شود، قرارگیرد. در این صورت، آن موبایل یک انتخاب مجدد به یک سلول 2G یا 3G را به اجرا درمی‌آورد. پس از آن، موبایل اطلاعات سیستمی سلول جدید را می‌خواند که در آن وضعیت عملیاتی شبکه، مسیریابی و حوزه موقعیت مکانی سلول جدید درج شده است. در ادامه بحث، فرض بر این است که حوزه موقعیت مکانی بدون تغییر باقی می‌ماند.

در وضعیت عملیاتی شبکه I، موبایل یک درخواست به روزرسانی ناحیه مسیریابی را به روشی که در فصل پانزدهم بیان شد، ارسال می‌کند، اما نوع به روزرسانی را به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی/ناحیه ردیابی ترکیبی تنظیم می‌کند. SGSN اطلاعات کاربری موبایل را مثل روش قبل از MME می‌گیرد و MME با قطع کردن ارتباط SGs خود به SGSN پاسخ می‌دهد.

در همین حال، SGSN یک پیام درخواست به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی BSSAP+ را به سرور MSC ارسال می‌کند، که با قطع کردن سایر ارتباطاتی که به SGSN ختم می‌شود، به آن درخواست پاسخ می‌دهد.

حال موبایل از ناحیه تحت پوشش بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری (CSFB) خارج شده است و از تماس‌های صوتی به شیوه مرسوم شبکه‌های GSM یا UMTS پشتیبانی می‌کند. اگر موبایل بعد به داخل ناحیه پوششی LTE برگردد، فرایند به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی/ناحیه ردیابی ترکیبی را مثل قبل اجرا می‌کند و MME نیز با برقراری مجدد ارتباطات SGSN به آن پاسخ می‌دهد.

اگر شبکه در وضعیت عملیاتی II باشد، موبایل همچنان یک درخواست به روزرسانی ناحیه مسیریابی را به SGSN ارسال می‌کند. اما نوع به روزرسانی را تنها به روزرسانی ناحیه مسیریابی محدود می‌کند. مثل قبل SGSN اطلاعات اشتراکی موبایل را از MME بازیابی می‌کنند، ارتباطات SGSN خود را برمی‌چیند، اما در این لحظه هیچ ارتباطی با سرور MSC برقرار نمی‌شود و سرور MSC از تغییر سلول موبایل به یک سلول 2G/3G بی‌اطلاع است. این مشکل را بعداً در طول تنظیم برقراری تماس منتهی به موبایل خواهیم دید.

اگر شبکه بخواهد حالت غیرفعال کاهش سیگنالینگ (ISR) را برای یک موبایلی که از CSFB پشتیبانی می‌کند، فعال‌سازی کند، می‌تواند آن را به اجرا درآورد. بنابراین می‌تواند آن را در طول فرایند به روزرسانی ناحیه ردیابی انجام دهد، ولی در طول فرایند به روزرسانی ناحیه مسیریابی نمی‌تواند این کار را بکند، چرا که این وضعیت کمک می‌کند تا موبایل از برقراری ارتباطات SGSN مطمئن باشد، زمانی که ISR فعال می‌شود، سرور MSC همیشه از طریق واسط SGSN با MME تماس می‌گیرد و این کار را هیچ‌گاه مستقیماً انجام نمی‌دهد.

۲۱-۵ برقراری تماس

۲۱-۵-۱ برقراری تماس از سمت موبایل با استفاده از قطع ارتباط RRC

برای برقراری تماس از طریق بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری (CSFB)، ما می‌توانیم یکی از روش‌های معرفی شده در فصل پانزده را برای انتقال یک موبایل از LTE به UMTS و GSM را به کار ببریم.

شکل ۲۱-۸ روش بسیار مرسوم را نشان می‌دهد. این روش از طریق قطع ارتباط RRC با تغییر جهت به یک حامل دیگر است و همه چیز به شکل ساده باقی می‌ماند. شکل مذکور موبایل را از ابتدا در وضعیت RRC_CONNECTED فرض کرده است، منشأ تماس موبایل بوده و فناوری دسترسی موبایل هدف هم شبکه UMTS است.

در مرحله (۱) کاربر یک شماره تلفن را از طریق موبایل می‌گیرد و موبایل با ارسال یک درخواست سرویس گسترده^۱ به MME به درخواست کاربر پاسخ می‌دهد. در حالت‌های عمومی، این پیام موبایل دارای یک الحاقیه درخواست سرویس MME می‌باشد. در اینجا MME تعیین می‌کند، که کدام موبایل یک تماس را با استفاده از بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری برقرار سازد و موبایل هم به عنوان منشأ تماس می‌باشد. در پاسخ (۲ و ۳) MME یک درخواست/اصلاح محتوای^۲ UE را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند، که یک شاخص CSFB است، و به ایستگاه پایه می‌گوید تا موبایل را به یک سلول 2G یا 3G منتقل کند.

در این سلسله پیام، ایستگاه پایه تصمیم می‌گیرد تا موبایل را با قطع ارتباط سیگنالینگ RRC منتقل کند (۴). بنابراین ایستگاه پایه فرایند قطع S1 را که در فصل چهاردهم بیان شد (۵) را اجرا می‌کند. در پیام قطع ارتباط RRC، ایستگاه پایه موبایل را به یک حامل 3G تغییر می‌دهد و از نسخه نهم به بعد می‌تواند به طور اختیاری اطلاعات سیستمی سلول‌های مجاور 3G را جمع‌آوری کند.

موبایل به حامل فرکانس درخواست شده منتقل می‌شود، یک سلول 3G را انتخاب می‌کند (۶) و یک فرایند 3G را برای برقراری ارتباط RRC به اجرا درمی‌آورد (۷). اگر موبایل قبلاً اطلاعات سیستمی سلول جدید را دریافت نکرده باشد، پس باید اطلاعات سیستمی را به عنوان بخشی از این فرایند بخواند، که فرایند برقراری تماس را با تأخیر مواجه می‌سازد.

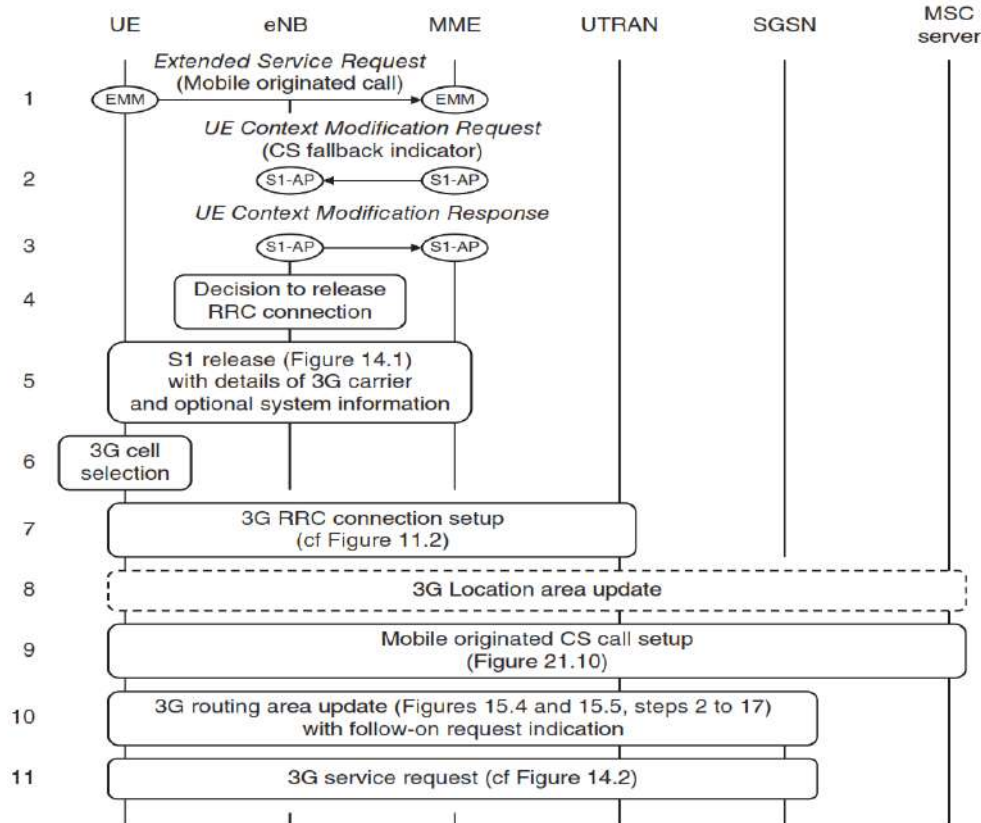
علاوه بر این، اگر موبایل خود را در یک حوزه موقعیت مکانی دور از انتظار به دلیل تنظیم غلط مرزهای ناحیه ردیابی و حوزه موقعیت مکانی پیدا کند، پس باید فرایند به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی 3G را به اجرا درآورد (۸). این عامل باعث تأخیرهای اضافی می‌شود، که اگر به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی منجر به تغییر سرور MSC گردد این تأخیرها بزرگتر خواهد بود.

حال موبایل می‌تواند فرایند معمول 3G را برای برقراری تماس موبایل اجرا کند (۹) که در ادامه توضیح داده خواهد شد. در همین لحظه، موبایل همچنین می‌تواند فرایندهایی را برای به روزرسانی ناحیه مسیریابی اجرا کند و درخواست سرویس 3G را بکند (۱۰ و ۱۱). دومین بخش

1. EMM Extended Service Request

2. UE context modification request

از این فعال‌سازی مجدد، فعال‌سازی مجدد حامل‌های داده است ولو این که پس از قطع تماسی اتفاق بیافتد و به یک نرخ داده پایین‌تر از قبل سقوط کند.



شکل ۲۱-۸ برقراری تماس با منشأ موبایل روی یک موبایل در حالت RRC_CONNECTED با استفاده از

CSFB با تغییر جهت به یک حامل 3G منبع: TS 23.272 بازنشر با مجوز ETSI

اگر موبایل در حالت RRC_IDLE شروع کند، می‌تواند فرایندهای معمول دسترسی تصادفی و برقراری ارتباط RRC را به انجام برساند. به جای مراحل ۲ و ۳ MME یک درخواست تنظیم محتوای آغازین S1-AP را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند، که دارای شناسه CSFB است و ایستگاه پایه موبایل را به یک حالت ECM-CONNECTED می‌برد، این کار با استفاده از فرایند درخواست سرویس انجام می‌گیرد. فرایند برقراری تماس پس از مرحله ۴ ادامه پیدا می‌کند، که با حذف درخواست سرویس حاصل شده 3G صورت می‌گیرد.

اگر فناوری رادیویی هدف GSM باشد و نیز اگر هم موبایل و هم شبکه از حالت انتقال دوگانه $GSM^{(DTM)}$ پشتیبانی کنند در این صورت، موبایل تنها می‌تواند داده را در طول تماس انتقال دهد. در غیر این صورت، MME بعد از فرایند قطع ارتباط S1 با دروازه‌های خدمت رسانی و PDN ارتباط برقرار کند (مرحله ۵) تا اینکه حامل‌های EPS موبایل را در وضعیت تعلیقی^۲ قرار دهد، که در آن دروازه PDN بسته‌های ورودی موبایل را دور می‌ریزد [۲۲]. در هنگام ورود موبایل به سلول هدف، یک درخواست تعلیق را به SGSN ارسال می‌کند تا SGSN را از فراخوانی موبایل بازدارد [۲۳] و درخواست سرویس 3G یک بار دیگر حذف می‌شود.

۲۱-۵-۲ برقراری تماس با منشأ موبایل با استفاده از دست به دست کردن

شکل ۲۱-۹ نشان می‌دهد، که اگر بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری با استفاده از یک دست به دست کردن سوئیچینگ بسته‌ای پیاده‌سازی می‌شود، چه اتفاقی می‌افتد. یکبار دیگر، فرض کرده‌ایم، که موبایل در حالت RCC_CONNECTED شروع به کار می‌کند و تماس از سوی موبایل آغاز می‌گردد و فناوری دسترسی رادیویی هدف یک UMTS می‌باشد.

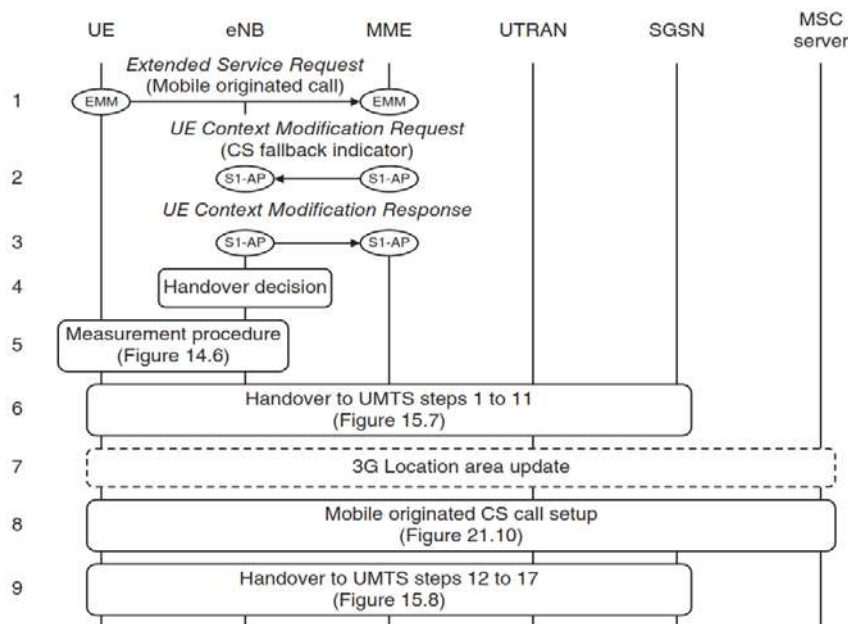
مثل قبل، موبایل یک درخواست سرویس گسترش یافته را به MME ارسال می‌کند (۱)، که در آن به ایستگاه پایه گفته می‌شود که موبایل را به یک 2G یا 3G منتقل کند (۲ و ۳). ایستگاه پایه تصمیم می‌گیرد، که انتقال موبایل را با استفاده از سوئیچینگ بسته‌ای انجام دهد (۴). ایستگاه پایه هنوز نمی‌داند که کدام سلول هدف بهترین است، بنابراین از موبایل می‌خواهد تا سلول‌های 3G مجاور را اندازه‌گیری کند و یک گزارش اندازه‌گیری برگرداند (۵)، پس از آن ایستگاه پایه فرایند تعامل بین سیستمی را که در فصل پانزدهم بیان شده را به اجرا درمی‌آورد و از مراحل آن برای آماده‌سازی و اجرای دست به دست کردن استفاده می‌کند (۶).

موبایل به سلول هدف وارد می‌شود. در صورت نیاز یک به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی انجام می‌دهد (۷) و فرایند برقراری تماس که در زیر بیان می‌شود، را اجرا می‌کند (۷) در همین لحظه، شبکه مراحل را برای اتمام دست به دست کردن اجرا می‌کند (۹). این کار با کاهش نرخ بیت مسیر و برچیدن منابع در اختیار موبایل در eNB انجام می‌شود.

1. Dual Mode Transfer

2. Suspected

این فرایند نیز مانند دست به دست کردن معمول که در فصل پانزدهم توصیف شد، دو مزایا و دو معایب دارد: در اینجا هیچگونه وقفه‌ای برای جریان داده وجود ندارد، اما خطر عدم موفقیت دست به دست کردن وجود دارد. این ریسک مخصوصاً در مواردی که از بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری استفاده می‌شود، جدی‌تر می‌شود. چرا که یک دست به دست کردن ناموفق نه تنها انتقال داده را قطع می‌کند، بلکه قطع تماس را به همراه نیز خواهد داشت. به همین دلیل اغلب از این روش استفاده نمی‌شود، حداقل در پیاده‌سازی‌های اخیر آن را به کار نمی‌برند. همچنین این فرایند می‌تواند برای موبایل‌هایی که در حالت IDLE_RRC هستند، به کار برود. اما در این مورد انگیزه کمی برای انجام آن وجود دارد، چرا که موبایل هیچ‌گونه انتقال داده فعال ندارد. در صورتی که فناوری رادیویی هدف GSM باشد و موبایل یا شبکه از حالت انتقال دوگانه (DTM) پشتیبانی نکنند در نتیجه حامل‌های EPS مثل شرایطی که قبلاً دیدیم برجسته خواهند شد.



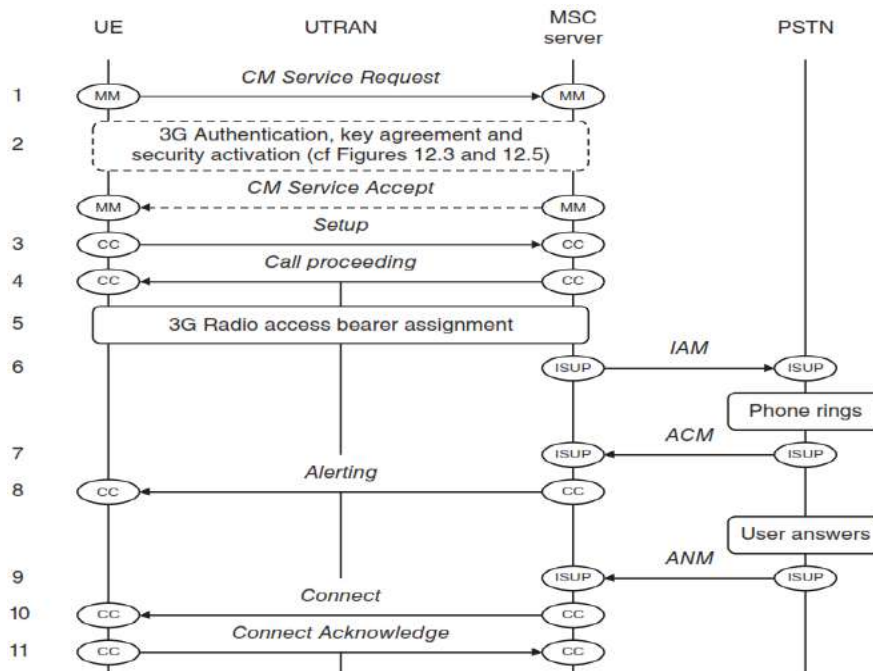
شکل ۲۱-۹ برقراری تماس با منشأ موبایل از سوی موبایلی که در وضعیت RRC_CONNECTED است و

از CSFB استفاده می‌کند تا به یک سلول 3G دست به دست شود

منبع: TS 23.272 بازنشر با مجوز ETSI

۲۱-۵-۳ پیام‌های سیگنالینگ در ناحیه سوئیچینگ مداری

در فرایندهای اشاره شده قبلی از بیان پیام‌های برقراری تماس در ناحیه سوئیچینگ مداری اجتناب کردیم، شکل ۲۱-۱۰ پیام‌های که یک تماس با منشأ موبایل را انجام می‌دهند، را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱-۱۰ پیام‌های سیگنالینگ در شبکه سوئیچینگ مداری برای یک تماس آغازی با منشأ موبایل

منبع: TS 23.018 باز نشر با مجوز ETSI

موبایل پس از وارد شدن به یک سلول هدف و به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی خود، یک درخواست سرویس CC (مدیریت ارتباط)^۱ را به سرور MSC ارسال می‌کند تا درخواست انتقال به یک وضعیت ارتباط سوئیچینگ مداری بکند (۱). سرور MSC می‌تواند در همان لحظه درخواست موبایل را با استفاده از یک پیام پذیرش سرویس CC^۲ بپذیرد یا موبایل را احراز صلاحیت نماید و لایه‌های امنیتی قشر دسترسی (AS) را فعال‌سازی کند (۲). در مورد فرایندهای امنیتی قشر دسترسی، موبایل اتمام فرایند وضعیت امنیتی 2G/3G را به منزله پذیرش درخواست ضمنی سرویس تلقی می‌کند.

1. CM(Connection Management)

2. CC Service Accept

حال موبایل یک پیام برقراری^۱ را به سرور MSC ارسال می کند (۳)، که این پیام با استفاده از پروتکل کنترل تماس 2G/3G نوشته شده است. به عنوان بخشی از این پیام، موبایل قابلیت های مربوط به خود را به طور کامل شرح می دهد، مثلاً کد کننده هایی که پشتیبانی می کند و شماره های که با آن تماس گرفته شده است. سرور MSC این پیام ها را تصدیق می کند (۴). حامل های دسترسی رادیویی را برای انجام تماس تنظیم می کند (۵) و یک پیام آدرس شروع (IAM)ISUP^۲ را به دستگاه مقصد ارسال می کند (۶).

موبایل مقصد زنگ می خورد، که یک پیام تمام آدرس (ACM)^۳ را به سرور MSC ارسال می کند (۷) و یک پیام هشدار^۴ به موبایل آغاز کننده تماس برمی گردد (۸) نهایتاً کاربر پاسخ می دهد، که در آن یک پیام پاسخ گویی (ANM)^۵ به سمت سرور MSC ارسال می کند (۹) و یک پیام اتصال^۶ را نیز به موبایل برمی گرداند (۱۰) بعد از آگاه کردن موبایل (۱۱) تماس می تواند انجام شود.

۲۱-۵-۴ برقراری تماس منتهی به موبایل

شکل ۲۱-۱۱ پیام های سیگنالینگ که برای تماس هایی که منتهی به موبایل می شوند را نشان می دهد، که در این حالت، موبایل در حالت RRC_CONNECTED می باشد. برای آغاز این فرایند، شبکه آغاز کننده تماس یک پیام آدرس شروع ISUP را می سازد، که این پیام دارای شماره های گرفته شده است و آن را به سمت دروازه سرور MSC مسیریابی می کند، که در شبکه خانگی موبایل قرار دارد (۱). سرور GMSC سرور MSC را جستجو می کند تا بفهمد که موبایل در کدام یک از آنها ثبت شده است (۲) تا پیام را به آنجا ارسال کند (۳) در ادامه، سرور MSC به ارتباطات SGs نگاه می کند و از طریق یک درخواست فراخوانی SGsAP^۷ با یک MME مناسب تماس می گیرد. به عنوان بخشی از این پیام، به سرور MSC مشخص می کند که این سرویس ورودی یک تماس صوتی است و شناسه خط تماس (CLI)^۸ دستگاه تماس گیرنده را تفسیر می کند.

1. ISUP Initial Address Message

2. Initial Address Message

3. Address Complete Message

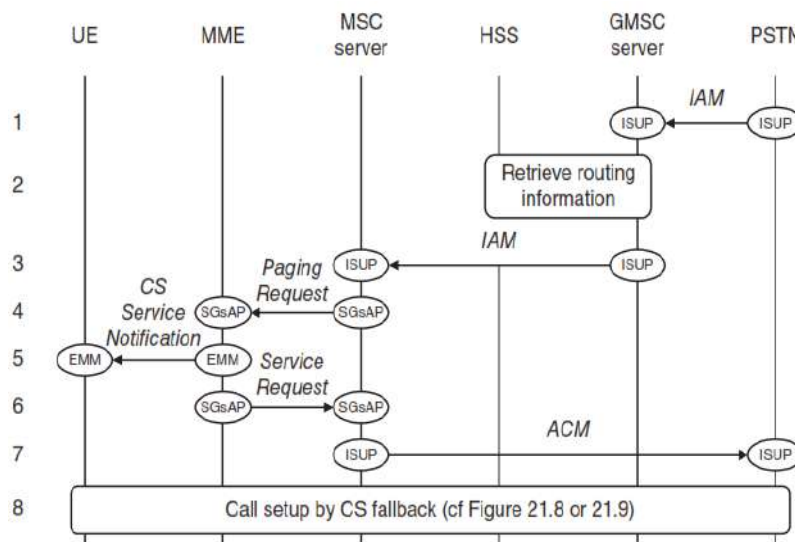
4. Alerting

5. Answer

6. Connect Message

7. Sgsap Paging Request

8. Calling line identification. CS service notification



شکل ۲۱-۱۱ برقراری تماس منتهی به موبایل در حالتی که موبایل در حالت RRC_CONNECTED باشد و از CSFB استفاده می‌کند. منبع: TS 23.272 بازنشر با مجوز ETSI

اگر موبایل هدف در حالت RRC_CONNECTED باشد، پس MME به طور مستقیم از طریق یک/اعلان سرویس^۱ با موبایل تماس می‌گیرد، که این پیام اطلاعات خط تماس است (۵) به محض آن که موبایل این پیام را تحویل می‌گیرد، MME یک پیام تصدیقی را به سرور MSC می‌فرستد (۶) که تماس گیرنده را از کاربری که هشدار را دریافت کرده است، آگاه سازد (۷) کاربر تماس را قبول یا رد می‌کند و موبایل یک پاسخی را مبنی بر جواب کاربر از طریق درخواست سرویس گسترده به MME برمی‌گرداند. اگر کاربر به تماس گرفته شده پاسخ دهد، سلسله پیام‌هایی که ما در یکی از فرایندهای قبلی بیان کردیم ادامه پیدا می‌کند (۸) برخی از پیام‌های سیگنالینگ سوئیچینگ مداری متضاد جهت قبلی هستند، اما تأثیر نهایی آنها تغییری نمی‌کند.

در صورتی که موبایل هدف در حالت RRC_IDLE قرار داشته باشد، در نتیجه MME موبایل را در پیام (۵) فراخوانی می‌کند و تا زمانی که موبایل پاسخ دهد جواب خود سرور MSC را به تأخیر می‌اندازد. MME نمی‌تواند اطلاعات خط تماس را به عنوان بخشی از فرایند فراخوانی تحویل دهد؛ به جای آن، این پیام‌ها بعداً به عنوان بخشی از سیگنالینگ سوئیچینگ مداری به موبایل می‌رسند. در غیر این صورت، این فرایند تغییر نمی‌کند.

1. CS Service Notification

اگر یک تماس منتهی به موبایل به آن برسد، در حالی که موبایل در وضعیت فعال سازی کاهش سیگنالینگ قرار داشته باشد. پس سرور MSC درخواست صدا کردن SGsAP خود به MME را به روش معمول می فرستد. MME از طریق واسط S3 با SGSN ارتباط برقرار می کند و هر دو وسیله موبایل را صدا می زنند و موبایل از طریق یک سلول LTE به MME یا از طریق یک سلول 2G/3G به سرور MSC پاسخ می دهد. در اینجا هیچ گونه ارتباط مستقیمی بین سرور MSC و SGSN وجود ندارد.

اگر یک تماس منتهی به موبایل بعد از انتخاب مجدد سلول 2G/3G در حالت عملیاتی شبکه II برسد، ممکن است، سرور MSC از انتقال موبایل بی خبر باشد. در این حالت، سرور MSC پیام درخواست فراخوانی SGsAP را به روش مرسوم به MME ارسال می کند، اما MME با یک پیام رد درخواست فراخوانی SGsAP^۱ پاسخ آن را برمی گرداند. پس از آن، سرور MSC با فراخوانی موبایل در داخل شبکه های دسترسی 2G و 3G واکنش نشان می دهد، که بعد از آن موبایل پاسخ می دهد. سپس سلسله مراحل پیام با فرایندهای معمول برای 2G یا 3G ادامه پیدا می کند.

۲۱-۵-۵ بازگشت به LTE

در پایان تماس، ناحیه سوئیچینگ مداری ارتباطات سیگنالینگ موبایل را با استفاده از پیامهای مشابهی که برای فرایند قطع ارتباط S1 در فصل چهاردهم دیدم، برمی چیند. اگر عملیات بیشتری وجود نداشته باشد، موبایل در سلول 3G باقی می ماند، اگر موبایل یک نشست داده بسته ای فعال داشته باشد در وضعیت RRC_CONNECTED است، و در غیر این صورت، در حالت RRC_IDLE می باشد و تا زمانی که یک انتخاب مجدد سلول نهایی یا دست به دست کردن انجام ندهد در همان وضعیت می ماند. همین فرایند نیز در مورد شبکه های 2G اتفاق می افتد.

در اینجا روش هایی برای انتقال موبایل به شبکه LTE وجود دارند، که به عنوان بخشی از پایان تماس هستند و در مجموع به نام بازگشت سریع به LTE^۲ شناخته می شوند. هنگام قطع ارتباط سیگنالینگ موبایل، ناحیه سوئیچینگ مداری می تواند به یک شبکه دسترسی رادیویی نسخه دهم بگوید تا ارتباطات را به قبل از بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری بازگرداند. شبکه دسترسی رادیویی نیز با این اطلاعات بلافاصله موبایل را به شبکه LTE برمی گرداند، این کار را با استفاده از قطع ارتباط RRC با تغییر جهت دادن یا دست به دست کردن به سوئیچینگ بسته ای

1. SGsAP Paging Reject

2. Fast Return To LTE

انجام می‌دهد. همچنین موبایل می‌تواند از شبکه دسترسی رادیویی بخواهد تا همه ارتباط سیگنالینگ RRC را قطع کند. در نتیجه، به عنوان یک انتخاب مجدد سلول از سوی موبایل تلقی می‌شود، که بستگی به روش پیاده‌سازی موبایل دارد.

۶-۲۱ پیام کوتاه (SMS) روی SGs

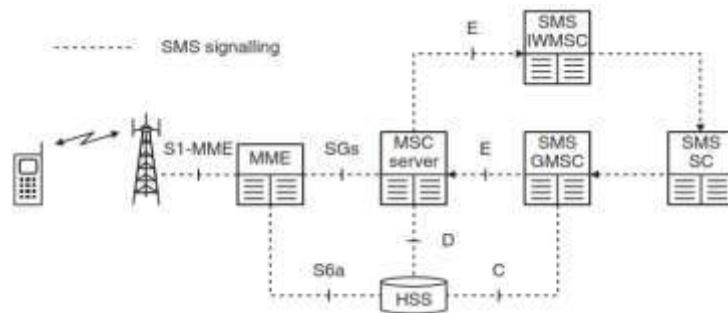
۶-۲۱-۱ معماری سیستم

همچنین می‌توانیم از معماری بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری برای تحویل پیام‌های کوتاه (SMS) استفاده کنیم، که آن را می‌توان در شکل ۶-۲۱ مشاهده کرد [۲۵]. در این معماری، مرکز خدمات SMS (SMS-SC)^۱ یک وسیله استاندارد SMS است، که پیام‌های کوتاه ارسالی از سوی موبایل را دریافت کرده آن را ذخیره می‌کند و سپس آن را به عنوان یک پیام کوتاه منتهی به موبایل، به مقصد هدایت می‌کند. SMS-SC با یک سرور MSC از طریق دو وسیله ارتباط برقرار می‌کند، که هر از دو مورد از ارتباطاتی که منشأ آن موبایل است یا به موبایل ختم می‌شود، پشتیبانی می‌کنند. این وسیله‌ها یکی به نام نقطه تعامل MSC و SMS (SMS-IW MSC)^۲ و دروازه MSC برای SMS (SMS-GMSC)^۳ نامیده می‌شوند. خوشبختانه موبایل مجبور نیست تا قبل از ارسال یا دریافت پیام به سلول 3G یا 2G منتقل شود؛ در عوض، شبکه SMS ها را با ضمیمه کردن در پیام‌های سیگنالینگ لایه‌های پایین بر روی واسطه‌های Uu, S1-MME و SGs منتقل می‌کند. این روش به نام SMS بر روی SGS^۴ شناخته می‌شود.

مشخصات نسخه یازدهم نوع دیگری از این روش‌ها را به نام SMS در MME را تعریف می‌کند، که در آن توابع SMS سرور MSC در داخل خود MME تعبیه شده‌اند [۲۶]. تجهیزات SMS با استفاده از برنامه‌های کاربردهای قطری با MME و HSS ارتباط برقرار می‌سازند [۲۷]، این کار یا به صورت مستقیم و یا از طریق توابع تعاملی (IWF)^۵ انجام می‌گیرد. IWF پیام‌های MAP قدیمی را به دستورات قطری تبدیل می‌کند. این روش برای هدایت و کنترل تجهیزات

-
1. SMS Service Center
 2. SMS Inter Working MSC
 3. SMS-Gateway MSC
 4. SMS Over Sgs
 5. Interworking Function

ارتباطی نوع ماشین مناسب می‌باشد، که در فصل بیستم معرفی شدند، چرا که یک اپراتور شبکه ممکن است بخواهد این تجهیزات را دور از سرورهای MSC قدیمی نگهداری کند. به دلیل این که این کار سرورهای MSC را از سر ریز بار دور نگه می‌دارند.



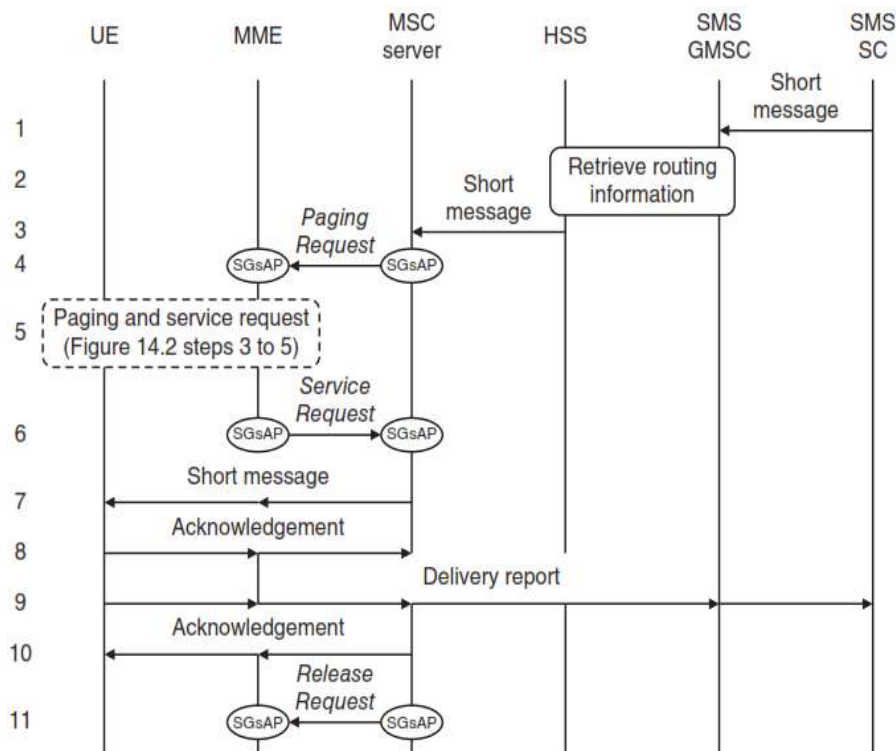
شکل ۲۱-۱۲ معماری SMS بر روی SGs

۲۱-۶-۲ تحویل SMS

شکل ۲۱-۱۳ خلاصه‌ای از فرایند تحویل SMS را برای تماس‌هایی که منشأ آنها موبایل است، را نشان می‌دهد. این مراحل تقریباً برای فرایندهای تحویل معمولی SMS یکسان است، به جز این که مسیرهای تحویل آنها ممکن است متفاوت باشد. برای آغاز این فرایند مرکز خدمات SMS یک پیام را به دروازه SMS و MSC (SMS-GMSC) ارسال می‌کند (۱)، SMS-GMSC نگاه می‌کند، که موبایل توسط کدام سرور MSC ثبت‌نام شده است (۲) و پیام را به آن منتقل می‌کند (۳). در ادامه، سرور MSC با MME تماس می‌گیرد و نوع سرویس ورودی را مشخص می‌کند (۴). اگر موبایل در حالت RRC_IDLE باشد. در این صورت، MME یک پیام فراخوانی را به موبایل ارسال می‌کند و موبایل نیز با استفاده از روش‌های معمولی به آن پاسخ می‌دهد (۵). پس از آن، MME یک تصدیق را به سرور MSC ارسال می‌کند (۶)، هر دو وسیله پیام را با ضمیمه کردن آن در یک پیام واحد داده لینک فروسو^۱ SGsAP و انتقال NAS لینک فروسو^۲ EMM تحویل می‌دهند (۷).

1. Sgsap Downlink Unit Data

2. EMM Downlink NAS Transport



شکل ۲۱-۱۳ دنباله پیام‌هایی برای یک SMS منتهی به موبایل، با استفاده از SMS بر روی SGsAP

منبع: TS 23.272 بازنشر با مجوز ETSI

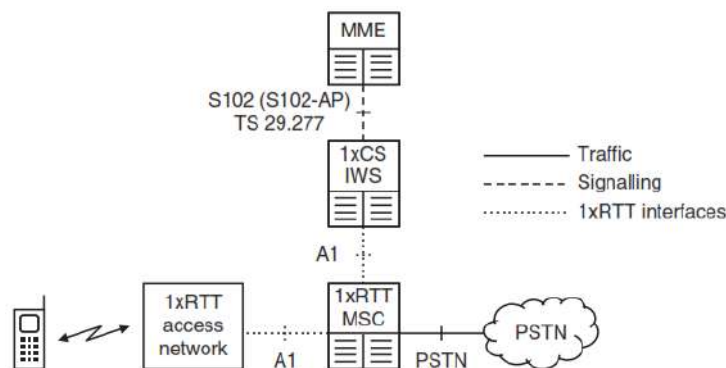
با دریافت این پیام، موبایل تصدیقی را به سرور MSC ارسال می‌کند، که این پیام در داخل یک پیام انتقال NAS لینک فراسو EMM^۱ و واحد داده لینک فراسو SGsAP^۲ تحویل داده می‌شود (۸). علاوه بر این، موبایل یک گزارش تحویل SMS را به مرکز خدمات SMS می‌فرستد (۹)، که این خود یک تصدیقی دیگر از سوی سرور MSC برای تصدیق بیشتر SMS است (۱۰). اگر پیام بیشتری برای تحویل موجود نباشد، پس سرور MSC پایان فرایند را با ارسال یک تاییدیه نهایی به MME اعلام می‌کند (۱۱).

1. EMM Uplink NAS Transport
2. Sgsap Uplink Unitdata

۷-۲۱ بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری cdma2000 1×RTT

همچنین مشخصات 3GPP از بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری به شبکه‌های cdma2000 1×RTT پشتیبانی می‌کنند [۲۸]، که شکل ۲۱-۱۴ این معماری را نشان می‌دهد.

این روش مفاهیمی را به کار می‌برد، که ما قبلاً در فصل پانزدهم برای تعامل با شبکه سوئیچینگ بسته‌ای cdma2000 HRPD آنها را بیان کرده بودیم. موبایل پس از اتصال به LTE با یک MSC شبکه‌های cdma2000 1×RTT پیش ثبت‌نام انجام می‌دهد. این کار با استفاده از پیام‌های سیگنالینگ 1×RTT انجام می‌گیرد که از روی واسطه S102 منتقل می‌شوند. [۲۹]. برای آغاز یک تماس صوتی، موبایل یک درخواست سرویس گسترده به MME را به روشی که قبلاً بیان شد، ارسال می‌کند و MME به ایستگاه پایه می‌گوید تا موبایل را برای بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری انتقال دهد.



شکل ۲۱-۱۴ معماری به کار رفته برای بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری به cdma 2000 1×RTT

منبع: TS 23.272 بازنشر با مجوز ETSI

مشخصات نسخه هشتم تنها از یک مکانیزم انتقال حمایت و پشتیبانی می‌کنند: ایستگاه پایه ارتباطات RRC موبایل را قطع می‌کند و آن را به یک حامل cdma 2000 1×RTT تغییر جهت می‌دهد. حامل‌های سوئیچینگ بسته‌ای موبایل برای دوره‌ای از تماس با استفاده مجدد از فرایند قطع GSM به حالت تعلیق درمی‌آید. با این فرض، که موبایل نمی‌تواند بطور همزمان با استفاده از cdma 2000 1×RTT و HRPD ارتباط برقرار کند. از نسخه نهم به بعد، ایستگاه پایه نیز می‌تواند موبایل را به یک سلول 1×RTT در قالب فرایندی به نام بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری

پیشرفته به $1 \times RTT$ دست به دست کند. اگر موبایل به طور همزمان از ارتباطات صوت و داده با استفاده از $1 \times RTT$ و HRPD پشتیبانی کند، در نتیجه می‌تواند حامل‌های بسته‌ای موبایل را نیز دست به دست کند.

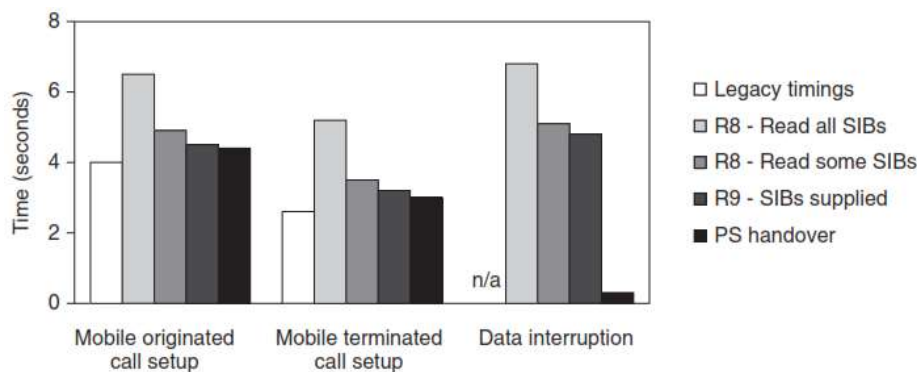
اگر یک تماس ورودی وارد موبایل شود، سرور MSC $1 \times RTT$ یک پیام فراخوانی را از طریق واسط S102 به موبایل ارسال می‌کند. این آغازگر یک درخواست سرویس گسترده از روی موبایل است و فرایند برقراری تماس مثل قبل ادامه پیدا می‌کند. همچنین موبایل می‌تواند پیام‌های متنی کوتاه (SMS) با استفاده از تونل کردن آنها به $1 \times RTT$ MSC و برعکس بر روی S102 رد و بدل کند.

نسخه نهم همچنین پشتیبانی از موبایل‌هایی را آغاز کرد، که یک فرستنده ولی دو دریافت کننده دارند. چنین موبایل‌هایی می‌توانند به طور همزمان در یک سلول LTE و $1 \times RTT$ cdma 2000 قرار داشته باشند، اما در آن واحد تنها می‌توانند یک فناوری دسترسی رادیویی را فعال سازند. به این ترتیب، رفتار آنها بین تجهیزات رادیویی منفرد استفاده شده برای بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری متداول و تجهیزات رادیویی دوگانه قرار می‌گیرد، که ما قبلاً به آنها اشاره کرده‌ایم.

۸-۲۱ عملکرد بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری

با استفاده از بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری، اپراتورهای شبکه‌ها می‌توانند یک سرویس صوتی را برای کاربران LTE خودشان فراهم کنند، بدون آن که نیاز به پیاده‌سازی زیر سیستم چند رسانه‌ای (IMS) IP داشته باشند. اما به کارگیری این روش چند عیب دارد: نخست، موبایل تنها زمانی از این روش استفاده می‌کند، که به طور همزمان در ناحیه پوششی LTE و 2G یا 3G قرار داشته باشد. دوم، این روش اپراتورها موبایل‌ها را مجبور می‌سازد تا محدوده حوزه موقعیت مکانی، نواحی ردیابی و لیست‌های نواحی ردیابی را تنظیم کنند. سوم، ممکن است تأخیر قابل ملاحظه‌ای در فرایند برقراری تماس آنها به وجود آید، مخصوصاً این که موبایل مجبور باشد تا اطلاعات سیستمی سلول جدید را بخواند یا یک به روزرسانی موقعیت مکانی انجام دهد. نهایتاً،

نرخ داده کاربر کمتر از حالت عادی از طریق سلول خواهد بود، در حالی که فرایند قطع ارتباط RRC جریان‌های داده‌ای را با وقفه مواجه می‌سازد و تماس در حال برقراری است.



شکل ۲۱-۱۵ اندازه‌گیری‌های تأخیر برقراری تماس و زمان وقفه داده، هنگامی که از استفاده از بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری استفاده می‌شود

با این اوصاف، عملکرد بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری بهتر از آن است که نگران شد. برای توصیف این مسئله شکل ۲۱-۱۵ اندازه‌گیری انجام شده توسط کوالکام را برای تأخیر برقراری تماس و زمان وقفه داده را نشان می‌دهد، که در آنها بازگشت مجدد به سوئیچینگ‌مداری به حامل‌های یک شبکه 3G انجام شده است [۳۰]. با توجه به این نتایج، تأخیر برقرار تماس اضافه حدود دو نیم ثانیه است، که در یک پیاده‌سازی قطع ارتباط RRC با تغییر جهت در نسخه هشتم اتفاق افتاده است. این تأخیر در صورتی که ایستگاه پایه از پیش به موبایل درباره اطلاعات سیستمی سلول مجاور گفته باشد یا موبایل را به یک سلول 3G دست به دست کرده باشد، به نیم تا یک ثانیه کاهش پیدا می‌کند. همچنین، اگر موبایل در ابتدا فقط اطلاعات سیستمی مهم را بخواند و از گرفتن اطلاعاتی نظیر لیست همسایه سلول‌های مجاور اجتناب کند، این تأخیر باز کاهش پیدا می‌کند، اما این قابلیت مخصوص پیاده‌سازی‌های یک موبایل می‌باشد. در این شکل، یک تأخیر اضافه یک تا دو ثانیه‌ای وجود دارد، که اگر موبایل بعد از رسیدن به سلول جدید مجبور به به روزرسانی حوزه موقعیت مکانی خود باشد، اتفاق می‌افتد یا یک تأخیر چهار تا پنج ثانیه‌ای نیز برای زمانی که سرور MSC تغییر پیدا کند، رخ می‌دهد. زمان وقفه داده برای هر پیاده‌سازی‌ای از قطع اتصال RRC به همراه تغییر مسیر آن، چندین ثانیه است و تنها کاهش آن تأخیر استفاده از دست به دست کردن می‌باشد.

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 23.272 (2012) Circuit Switched (CS) Fallback in Evolved Packet System (EPS); Stage 2, Release 11, September 2012.
2. VoLGA Forum (2010) Voice over LTE via Generic Access; Requirements Specification; Phase 2, Version 2.0.0, April 2010.
3. VoLGA Forum (2010) Voice over LTE via Generic Access; Stage 2 Specification; Phase 2, Version 2.0.0, June 2010.
4. VoLGA Forum (2010) Voice over LTE via Generic Access; Stage 3 Specification; Phase 2, Version 2.0.0, June 2010.
5. Sauter M. (2009) Voice Over LTE via Generic Access (VoLGA) – A Whitepaper, <http://cm-networks.de/volga-a-whitepaper.pdf> (accessed 15 October 2013).
6. 3GPP TS 43.318 (2012) Generic Access Network (GAN); Stage 2, Release 11, September 2012.
7. VoLGA Forum (2010) VoLGA Forum – Start, <http://www.volga-forum.com> (accessed 15 October 2013).
8. 3GPP TS 23.002 (2013) Network Architecture, Release 11, Sections 4.1.2, 6.4.1, June 2013.
9. 3GPP TS 26.071 (2012) AMR Speech CODEC; General Description, Release 11, September 2012.
10. 3GPP TS 24.008 (2013) Mobile Radio Interface Layer 3 Specification; Core Network Protocols; Stage 3, Release 11, September 2013
11. ITU-T Recommendation Q.761 (1999) Signalling System No. 7 – ISDN User Part Functional Description.
12. ITU-T Recommendation Q.762 (1999) Signalling System No. 7 – ISDN User Part General Functions of Messages and Signals.
13. ITU-T Recommendation Q.763 (1999) Signalling System No. 7 – ISDN User Part Formats and Codes.

14. ITU-T Recommendation Q.764 (1999) Signalling System No. 7 – ISDN User Part Signalling Procedures.
15. ITU-T Recommendation Q.1901 (2000) Bearer Independent Call Control Protocol.
16. 3GPP TS 29.002 (2013) Mobile Application Part (MAP) Specification, Release 11, September 2013.
17. ITU-T Recommendation H.248.1 (2013) Gateway Control Protocol: Version 3.
18. 3GPP TS 29.018 (2013) Serving GPRS Support Node (SGSN) – Visitors Location Register (VLR); Gs Interface Layer 3 Specification, Release 11, March 2013.
19. 3GPP TS 29.118 (2013) Mobility Management Entity (MME) – Visitor Location Register (VLR) SGs Interface Specification, Release 11, September 2013.
20. 3GPP TS 23.221 (2013) Architectural Requirements, Release 11, Section 7.2a, Annex A, June 2013.
21. 3GPP TS 24.167 (2012) 3GPP IMS Management Object (MO), Release 11, Section 5.27, December 2012.
22. 3GPP TS 29.274 (2013) Evolved General Packet Radio Service (GPRS) Tunnelling Protocol for Control Plane (GTPv2-C); Stage 3, Release 11, Section 7.4, September 2013.
23. 3GPP TS 23.060 (2013) General Packet Radio Service (GPRS); Service Description; Stage 2, Release 11, Section 16.2.1, September 2013.
24. 3GPP TS 23.018 (2013) Basic Call Handling; Technical Realization, Release 11, Section 5.1, March 2013.
25. 3GPP TS 23.272 (2012) Circuit Switched (CS) Fallback in Evolved Packet System (EPS); Stage 2, Release 11, Section 8, September 2012.
26. 3GPP TS 23.272 (2012) Circuit Switched (CS) Fallback in Evolved Packet System (EPS); Stage 2, Release 11, Annex C, September 2012.

27. 3GPP TS 29.338 (2013) Diameter Based Protocols to Support Short Message Service (SMS) Capable Mobile Management Entities (MMEs), Release 11, September 2013.
28. 3GPP TS 23.272 (2012) Circuit Switched (CS) Fallback in Evolved Packet System (EPS); Stage 2, Release 11, Annex B, September 2012.
29. 3GPP TS 29.277 (2012) Optimised Handover Procedures and Protocol Between EUTRAN Access and Non-3GPP Accesses (S102); Stage 3, Release 11, December 2012.
30. Qualcomm (2012) Circuit-Switched Fallback. The First Phase of Voice Evolution for Mobile LTE Devices, <http://www.qualcomm.com/media/documents/files/circuit-switched-fallback-the-first-phase-of-voice-evolutionfor-mobile-lte-devices.pdf> (accessed 15 October 2013).

فصل بیست و دوم: VoLTE وزیر سیستم

چند رسانه ای IP

در این فصل ما راه کار طولانی مدت LTE برای تماس‌های صوتی را که به نام صوت روی جریان‌های IP است، را بحث خواهیم کرد و این راه کار دائمی توسط زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMS) کنترل می‌شود. IMS بخشی از LTE نیست؛ در عوض، یک شبکه جداگانه‌ای است که با شبکه LTE مثل یک شبکه اینترنت در ارتباط است. اما حائز اهمیت است که در این کتاب IMS را به عنوان بخشی از این کتاب تحت پوشش قرار دهیم، چرا که تماس‌های صوتی LTE خیلی مهم هستند، همچنین IMS جنبه‌هایی از کارکرد LTE را دربرمی‌گیرد. تحویل تماس‌های صوتی بر روی LTE و IMS اغلب به نام صوت بر روی LTE (VoLTE) خوانده می‌شود.

در این قسمت از فصل بیست و دوم ما مروری بر تاریخچه IMS و VoLTE خواهیم داشت و درباره معماری و پروتکل‌های IMS و همچنین فرایندهای آن برای ثبت‌نام و برقراری تماس را بحث خواهیم کرد. سپس سه جنبه از تعامل بین سیستمی از IMS و ناحیه سوئیچینگ مداری حوزه 2G/3G را به نام‌های انتخاب ناحیه دسترسی، تماس صوتی پیوسته رادیویی منفرد و سرویس‌های متمرکز IMS را پوشش خواهیم داد و با بحث درباره تماس‌های اضطراری روی IMS و SMS این فصل را به پایان می‌رسانیم. در اینجا منابع مفید زیادی وجود دارد که درباره IMS می‌توان به آنها مراجعه کرد و با جزییات بیشتری از این شبکه آشنا شد [۱-۳].

۲۲-۱ مقدمه

۲۲-۱-۱ زیر سیستم چند رسانه‌ای IP

زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMS) در ابتدا برای مدیریت و تحویل سرویس‌های چند رسانه‌ای بلادرنگ بر روی ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای 3G ایجاد و توسعه یافت. IMS برای اولین بار در نسخه پنجم تعریف شد، که در سال ۲۰۰۲ به اتمام رسید. این ویژگی‌ها علاقمندان زیادی پیدا کرد و بعداً برای پشتیبانی از فناوری‌های دسترسی دیگر نظیر شبکه‌های بی‌سیم محلی (نسخه ششم) و شبکه‌های ثابت مبتنی بر خطوط مشترکین دیجیتال (DSL) و فناوری کابلی (نسخه هفتم) توسعه یافت.

اگر چه در ابتدا پیاده‌سازی‌هایی از IMS ثابت انجام گرفت، ولی اپراتورهای موبایل، در آغاز به این نتیجه رسیدند که آنها درآمد قابل توجهی از IMS به دست نمی‌آورند. ناحیه سوئیچینگ مداری 3G می‌توانست تماس‌های صوتی و ویدیویی را به انجام برساند. بنابراین IMS می‌توانست

به عنوان سرویس‌های جانبی مثل گفتگو بر روی شبکه‌های سلولی (POC)^۱، پیام‌های فوری و حضوری محدود شود. اپراتورهای شبکه‌ها نمی‌توانستند هزینه استفاده از IMS را به تنهایی توجیه‌پذیر بدانند. بنابراین شانس خیلی کمی برای پیاده‌سازی آن داشتند. اما متعاقباً، هنگامی LTE طراحی شد، بدون استفاده از شبکه هسته سوئیچینگ مداری طراحی گردید و با این هدف طراحی شد، که تماس‌های صوتی LTE باید با استفاده از صوت بر روی IP منتقل شود. این یک کاربردی ایده‌آل برای زیر سیستم چند رسانه‌ای IP است و یک تجدید حیاتی را برای استفاده از آن ایجاد کرد.

زیرسیستم چند رسانه‌ای IP توسط 3GPP مانند GSM، UMTS و LTE تعریف و استانداردسازی شد. TS 23.218 [4] معرفی بسیار مفیدی از آن ارائه می‌دهد، ولی TS 23.228 [5] دومرحله از مشخصات آن را بیان می‌کند. علاوه بر این، می‌توان مروری بر فرایندهای سیگنالینگ آن را در TS 24.228 [6] یافت، اما این فایل‌های مطالعاتی از نسخه پنجم تا حالا به روزرسانی نشده‌اند. بنابراین محتوای آنها به روز نیستند و پس باید با احتیاط خوانده شوند. ما چند مشخصات دیگر آن را در طول این فصل خواهیم دید.

۲-۱-۲۲ VoLTE

مشخصات IMS پیچیده بوده و دارای گزینه‌های پیاده‌سازی متعددی است. بعد از معرفی LTE، سازندگان تجهیزات و اپراتورهای شبکه‌ها بر این شدند، که این پیچیدگی می‌تواند IMS را با تأخیر بیشتری مواجه سازد و آن را برای سازگاری با سرویس‌های صوتی با مشکل مواجه کند، علاوه بر این آنها می‌ترسیدند که فناوری‌های دیگر از IMS پیشی بگیرند، مثلاً از فناوری‌های دیگر مثل VoLGA و صوت بر روی IP تولید کنندگان ثالث عقب بیفتد.

این نگرانی‌ها منجر به شکل‌گیری یک ابتکار صنعتی به نام یک صدا^۲ در سال ۲۰۰۹ شد. هدف انجمن یک صدا تعریف یک پروفایل^۳ برای برقراری تماس بر روی LTE با استفاده از IMS بود. به عبارت دیگر، از کمترین قابلیت‌های IMS استفاده می‌کرد تا تولید کنندگان تجهیزات را برای این ابتکار ترغیب نماید. این ابتکار عمل موجب شد که در سال ۲۰۱۰ توسط انجمن تجارت اصلی به نام اتحادیه GSM^۴ تحت نام صوت بر روی LTE (VoLTE)^۵ پذیرفته شود [۷].

1. Push To Talk Over Cellular

2. ONE VOICE

3. Profile

4. GSM Association

5. Voice Over LTE

علاوه براین، این عبارت پنهان کننده برخی از پیچیدگی‌هاست: این عبارت بیانگر تحویل تماس‌های صوتی بر روی LTE و IMS می‌باشد که مشخصات VoLTE توسط اتحادیه GSM تطبیق داده شده است.

VoLTE در سه فرایند اصلی تعریف شده است. مهم‌ترین آن، پروفایلی برای صوت بر روی LTE با استفاده از IMS است [۸]، در حالی که، سایر پروفایل‌ها دستورالعمل‌هایی برای رومینگ و تعامل با شبکه‌های دیگر است [۱۰-۱۱]. اگر چه این فرایندها مسایل مختلفی را توصیف می‌کنند، که مشخصات 3GPP آنها را به عنوان گزینه‌های اختیاری پیاده‌سازی در نظر گرفته است. به عنوان مثال، مشخصات 3GPP به یک وسیله اجازه می‌دهند تا از IP نسخه چهار، نسخه شش و هر دو پشتیبانی کند، در حالی که مشخصات VoLTE تنها از IP نسخه شش پشتیبانی می‌کند.

برای پرهیز از طولانی شدن این فصل، مشخصات VoLTE را تقریباً به طور کامل دنبال خواهیم کرد و تنها کمی درباره سایر سرویس‌های IMS، فناوری‌های دسترسی و گزینه‌های پیاده سازی سخن خواهیم گفت. به عنوان یک مرجع، جدول ۱-۲۲ لیستی از محدودیت‌های اصلی را که به VoLTE تحمیل شده است، را آورده است و آنها را با گزینه‌های موجود تحت نام مشخصات 3GPP بیان کرده است.

جدول ۱-۲۲ تفاوت‌های کلیدی بین مشخصات GSMA برای VoLTE و

مشخصات 3GPP برای LTE و IMS

Feature	VoLTE requirements	3GPP requirements
Supported UE IP versions	Both IPv4 and IPv6	Both IPv4 and IPv6 IPv4 alone IPv6 alone
Supported UE voice domain preferences	IMS only IMS preferred/CS secondary	IMS only IMS preferred/CS secondary CS preferred/IMS secondary CS only
Support of MMTEL voice service	Mandatory	Optional
Support of AMR voice codec	Mandatory	Mandatory if MMTEL voice is supported
Support of MMTEL supplementary services	Some mandatory services	All services optional
Support of emergency calls	Mandatory	Optional
Support of SMS	Mandatory	Optional
Support of SRVCC	Mandatory if CS is supported	Optional
IMS access point name	IMS well-known APN	Any APN
Location of PGW and PCSCF	Visited network	Home or visited network
PCSCF discovery technique	During default bearer activation	Four techniques supported
Transport of SIP signalling	Default bearer (QCI 5)	Any bearer and QCI
Transport of VoIP traffic	One dedicated bearer (QCI 1)	Any bearer and QCI
VoIP SDF establishment	Triggered by PCSCF	Triggered by PCSCF or UE

۲۲-۱-۳ سرویس ارتباطی غنی

مشخصات VoLTE یک رویکرد امیدوار کننده برای صوت بر روی LTE است. اما این مشخصات سخن کوتاهی درباره سایر سرویس‌ها یا فناوری‌های دسترسی می‌گوید. این موارد توسط مشخصات اتحادیه GSM برای سرویس ارتباطی غنی (RCS)^۱ مشخص شده‌اند. همچنین این مشخصات به نام مجموعه ارتباطی غنی^۲ نیز شناخته می‌شوند [۱۱-۱۳].

RCS مجموعه‌ای از سرویس‌ها را تعریف می‌کند، که اپراتورهای شبکه با استفاده از زیر سیستم چند رسانه‌ای IP آن را تحویل می‌دهند، از جمله این سرویس‌ها می‌توان به تماس‌های صوتی و ویدئویی، پیام‌های فوری، گفتگو (چت) های یک به یک و گروهی، انتقال فایل، سرویس‌های حضور و مکانی اشاره کرد. این سرویس‌ها می‌توانند از طریق فناوری دسترسی رادیویی تحویل داده شود، که شامل LTE، HSPA و سوئیچینگ مداری می‌باشند و بر روی یک چهارچوبی ساخته می‌شود، که اجازه می‌دهد تا تجهیزات RCS بتواند هم‌دیگر و قابلیت‌های هم‌دیگر را پیدا کنند. تجهیزات و شبکه‌ها می‌توانند خود را با مشخصات RCS از طریق پشتیبانی از این چهارچوب و حداقل یک سرویس مطابقت دهند. کاربران از طریق یک برنامه کاربردی به نام Joyn می‌توانند به RCS دسترسی پیدا کنند، که همان مجموعه سرویس‌ها را بدون در نظر گرفتن اپراتور شبکه، فناوری دسترسی یا موقعیت کاربر که یک شبکه خانگی یا ملاقت شونده باشد، ارائه دهد. سرویس‌های ارتباطی غنی توسعه یافته (RCS-e)^۳ نوع دیگری از RCS‌ها هستند، که گروهی از اپراتورهای شبکه در سال ۲۰۱۱ ارائه کردند تا از قیمت سرویس‌ها و شبکه‌های RCS بکاهند. RCS-e تنها برخی از سرویس‌های RCS را ارائه می‌دهد و از مکانیزم‌های ساده‌تری برای کشف تجهیزات موجود و قابلیت‌های تجهیزات دیگر استفاده می‌کند. مشخصات RCS-e در RSC نسخه 5 گنجانده شد که در سال ۲۰۱۲ منتشر شد.

RCS شباهت‌هایی را هم با VoLTE دارد: RCS سرویس‌هایی را به وسیله IMS تعریف کرده و سرویس‌های صوتی بر روی LTE را به مشخصات VoLTE ارجاع می‌دهد. اما تفاوت‌هایی هم را با VoLTE دارد. اصلی‌ترین تفاوت این است، اجباری جهت پشتیبانی تجهیزات از هر سرویس یا فناوری دسترسی خاصی ندارد، به دلیل پیچیدگی و اندازه آن ما بیشتر از این RCS را ادامه نمی‌دهیم.

1. Rich Communication Services

2. Rich Communication Suite

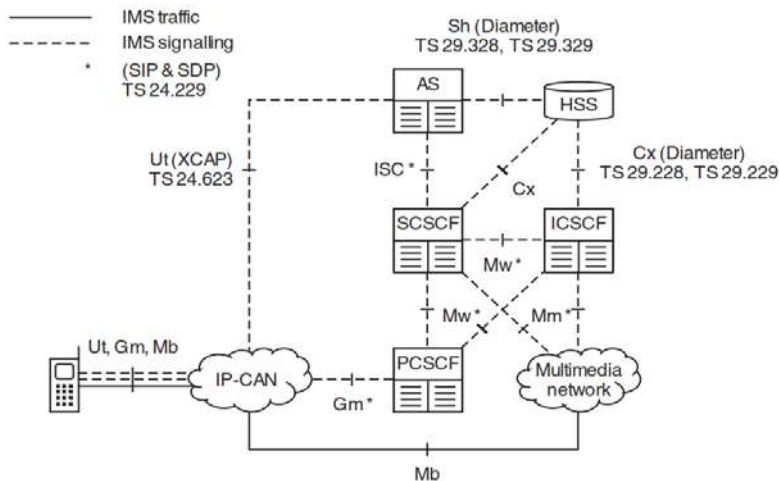
3. Rich Communication Services Enhanced

۲-۲۲ معماری سخت‌افزاری IMS

۱-۲-۲۲ معماری سطح بالا

شکل ۱-۲۲ اجزاء اصلی یک زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMS) را نشان می‌دهد [۱۴-۱۵]. IMS عمدتاً بر اساس سیگنالینگ است و ما اجزاء اصلی سیگنالینگ مربوط به آن را در ادامه بحث خواهیم کرد. علاوه بر این، IMS می‌تواند ترافیک کاربران را از طریق سایر اجرایی که ما در ادامه بیان خواهیم کرد، هدایت کند. اما IMS یک نیاز همیشگی نیست. بنابراین ترافیک می‌تواند IMS را دور بزند.

کاربران از طریق یک شبکه دسترسی/ارتباطی IP (IP-CAN)^۱ مثل 3G، LTE یا شبکه‌های بی‌سیم محلی (WLAN) به IMS دسترسی پیدا کند. اغلب مشخصات IMS مستقل از شبکه دسترسی هستند. اما مشخصات ویژه شبکه دسترسی نیز یافت می‌شوند [16-17]. IMS می‌تواند با شبکه‌های چند رسانه‌ای IP در ارتباط باشد. برای مثال، با شبکه‌های IMS دیگر که مربوط به اپراتورهای دیگر شبکه‌هاست. مهم‌ترین و اصلی‌ترین پروتکل سیگنالینگ IMS پروتکل آغازگر نشست (SIP)^۲ است، ولی پروتکل‌های دیگری هم هستند، که در انتهای این فصل معرفی خواهیم کرد.



شکل ۱-۲۲ اصلی‌ترین عناصر معماری IMS

منبع: TS 23.228 بازنشر با مجوز ETSI

1. IP Connectivity Access Network
2. Session Initiation Protocol

۲-۲-۲۲ توابع کنترل نشست تماس

اصلی‌ترین و مهم‌ترین اجزاء شبکه IMS توابع کنترل نشست تماس (CSFS)^۱ نام دارد. CSCF‌ها سه نوع هستند. هرکاربر توسط یک CSCF سرویس‌دهنده (S-CSCF)^۲ ثبت‌نام می‌شود، که موبایل را کنترل می‌کند و به کاربر اجازه می‌دهد تا به سرویس‌هایی نظیر تماس‌های صوتی دسترسی داشته باشد. CSCF سرویس‌دهنده (S-CSCF) همانند MME عمل می‌کند. اما یک تفاوت اصلی با آن دارد. CSCF سرویس‌دهنده همیشه در شبکه خانگی موبایل قرار دارد تا به کاربران کمک کند بتوانند مجموعه ثابتی از سرویس‌های IMS را دریافت کنند، حتی وقتی که موبایل در رومینگ باشد.

پروکسی CSCF (P-CSCF)^۳ اولین نقطه‌ای است، که یک موبایل با IMS ارتباط برقرار می‌کند. دو وسیله از طریق یک واسط به نام Gm به همدیگر متصل می‌شوند. P-CSCF پیام‌های را در شبکه دسترسی ارتباطی IP (IP-CAN) امن می‌کند و این کار از طریق رمزنگاری و برقراری حفاظت از جامعیت انجام می‌گیرد و پیام‌های آن را بین موبایل و CSCF سرویس‌دهنده بازپخش می‌کند. علاوه بر این، P-CSCF کیفیت سرویس جریان‌های رسانه را در طول شبکه دسترسی کنترل می‌کند. برای مثال، با فعال‌سازی یک تابع برنامه کاربر (AF) LTE به سمت هسته تکامل یافته IP این کار را به انجام می‌رساند.

CSCF بازجو^۴ (I-CSCF) نقطه تماس برای پیام‌های سیگنالینگ است، که از شبکه‌های چند رسانه‌ای IP دیگر وارد IMS می‌شوند. با دریافت چنین پیام‌هایی I-CSCF از سرور خانگی مشترکین (HSS) می‌خواهد تا موبایل هدف را برای CSCF سرویس‌دهنده کنترل کرده و پیام‌های سیگنالینگ را به CSCF سرویس‌دهنده منتقل می‌کند.

۲-۲-۲۳ سرورهای برنامه‌های کاربردی

یک سرور برنامه‌های کاربردی (AS)^۵ سرویس‌هایی نظیر تلفن‌های چند رسانه‌ای، ایمیل صوتی و SMS را برای کاربران فراهم می‌کند. این سرویس‌ها به وسیله CSCF سرویس‌دهنده کاربر فراخوانی می‌شوند، اما کاربران نیز می‌توانند داده سرور برنامه‌های کاربردی نظیر اولویت ایمیل صوتی یا پیکربندی سرویس‌های تکمیلی را اصلاح نمایند، که در یک واسط جداگانه‌ای به نام Ut انجام

-
1. Call Session Control Functions
 2. Serving Call Session Control Function
 3. Proxy CSCF
 4. Interrogating CSCF
 5. Application Server

انجام می‌گیرد. یک سرور برنامه‌های کاربردی نباید با یک تابع برنامه کاربردی LTE (AP) اشتباه گرفته شود. چرا که AS خارج از هسته بسته تکامل یافته است و در IMS قرار دارد و توسط P-CSCF احاطه شده است.

اغلب سرور برنامه‌های کاربردی تجهیزات مستقلی هستند، اما دو نوع خاصی از ASها وجود دارند، که به عنوان یک واسطی برای محیط‌های سایر برنامه‌های کاربردی عمل می‌کنند. سرور قابلیت سرویس OSA (SCS)^۱ (دسترسی سرویس باز)^۲ دسترسی با سرور برنامه‌های کاربردی از طریق واسط برنامه‌نویسی برنامه کاربردی (API)^۳ را می‌دهد. اما تابع سوئیچینگ سرویس چند رسانه‌ای IP (IM-SSF)^۴ دسترسی به محیط سرویس برای برنامه‌های کاربردی دلخواه برای CAMEL^۵ را مهیا می‌کند.

۲۲-۴ سرور خانگی مشترکین

سرور خانگی مشترکین (HSS) یک سرور متمرکز پایگاه داده‌ای است، که داده‌های کاربر IMS در آن قرار دارد. عموماً IMS همان پایگاه داده‌ای را استفاده می‌کند، که شبکه دسترسی 3GPP آن را برای پشتیبانی از تعامل بین IMS و حوزه سوئیچینگ مداری 2G/3G استفاده می‌کند. با این حال، این دو پایگاه داده‌ای تفاوت ذاتی با یکدیگر می‌توانند داشته باشند، که اجازه دهند تا اپراتورهای مختلف بتوانند شبکه دسترسی و IMS یک کاربر را در آن مدیریت کنند و در IMS، توابع سرور خانگی مشترکین می‌توانند در بیش از یک تجهیزات فیزیکی پخش شوند.

هنگامی که از این معماری استفاده می‌شود، IMS باید یک دستگاهی به نام SLF^۶ را به معماری خودش اضافه کند تا نام HSS هایی را برگرداند، که بخشی از اطلاعات کاربران در آنجا ذخیره شده است.

-
1. Service Capability Server
 2. Open Service Access
 3. Application Programming Interface
 4. IP Multimedia Service Switching Function
 5. Customized Applications For Mobile Network Enhanced Logic
 6. Subscriber Locator Function

۲-۲-۵ تجهیزات کاربران

تجهیزات کاربران دارای برنامه‌های کاربردی سطح نرم‌افزاری است، که با IMS از طریق واسط‌های سیگنالینگ که قبلاً به آنها اشاره شد، ارتباط برقرار می‌کنند. مشخصات VoLTE بر این نکته تأکید دارند که تجهیزات کاربران باید از هر دو نسخه IPv4 و IPv6 پشتیبانی کنند.

کارت مدار مجتمع جهانی (UICC)^۱ دارای یک برنامه کاربردی به نام *ماژول شناسه سرویس‌های چند رسانه‌ای (ISIM)*^۲ IP است، که همان کاری را در IMS انجام می‌دهد، که در LTE این کار را USIM انجام می‌داد [۱۸-۱۹]. ISIM دارای یک نام حوزه IMS اپراتور شبکه خانگی و یک شناسه خصوصی چند رسانه‌ای (IMPI)^۳ و یک شناسه شبیه به IMSI که اپراتور شبکه آن را برای ساماندهی داخلی خود به کار می‌برد، می‌باشد.

علاوه بر این، ISIM دارای یک یا چند نمونه از شناسه عمومی چند رسانه‌ای (IMPU)^۴ و یک شناسه‌ای شبیه یک آدرس ایمیل با شماره تلفن که کاربر را به جهان خارج می‌شناساند، است. یک IMPU معمولاً یک شناسه منبع اطلاع‌دهنده SIP (URI)^۵ است، که کاربر اپراتور شبکه و برنامه کاربردی را با استفاده از قالبی به صورت زیر را مشخص می‌کند [۲۰]:

Sip:username@domain

علاوه بر این، یک IMPU از شماره تلفن‌های سنتی به دو روش پشتیبانی می‌کند: یک URI پروتکل SIP که دارای یک شماره تلفن با استفاده از قالبی مانند مثال زیر باشد:

Sip:+358-1234567@domain;user=phone

یک URL، شماره تلفن که بیانگر یک شماره تلفن مستقل با استفاده از قالب زیر باشد [۲۱].

Tel:+358-555-1234567

با افزودن برخی از جزئیات بیشتر، یک شناسه‌های عمومی کاربر، می‌تواند با همدیگر در داخل مجموعه‌های ثبت نام مجازی^۶ دسته‌بندی می‌شوند، کدام از آنها دارای مجموعه‌ای از شناسه‌های عمومی هستند، که همگی به طور همزمان وقتی که کاربر شبکه IMS ثبت می‌شود. فعال‌سازی می‌کردند [۲۲]. ISIM تنها یک شناسه عمومی را از هر مجموعه ثبت‌نام مجازی در خود

-
1. Universal Integrated Circuit Card
 2. IP Multimedia Services Identity Module
 3. IP Multimedia Private Identity
 4. IP Multimedia Services Identity Module
 5. IP Multimedia Public Identity
 6. Uniform Resource Identifier

ذخیره می‌کند: شناسه‌های دیگر توسط سرور خانگی مشترکین ذخیره شوند. گذشته از این، هر مشترک می‌تواند با بیش از یک ISIM ارتباط داشته باشد، که هر کدام از آنها دارای یک شناسه خصوصی متفاوت است. در نهایت، همچنین یک کاربر می‌تواند تنها با استفاده از USIM به IMS متصل شود، این کار با استفاده از فرایندهایی انجام می‌گیرد، که یک شناسه خصوصی را از روی IMSI به آن کاربر اختصاص می‌دهد.

۲۲-۲-۶ ارتباط با LTE

شکل ۲۲-۲ ارتباط بین LTE و زیر سیستم چند رسانه‌ای IP را برای یک طرح رومینگ را نشان می‌دهد، که درواقع مطابق با مشخصات VoLTE است. اگر موبایل در رومینگ باشد، پس موبایل می‌تواند از طریق دروازه PDN در شبکه ملاقات شونده به IMS متصل شود [۲۳]. این کار اجازه می‌دهد تا کاربر بتواند یک تماس تلفنی محلی را بدون این که رسانه‌ها و تجهیزات را به شبکه خانگی برگرداند، برقرار نماید. به این روش مسیریابی بهینه^۱ می‌گویند. علاوه بر این P-CSCF در شبکه ملاقات شونده قرار دارد، که قابلیت رویت شبکه سیگنالینگ IMS را برای آن شبکه فراهم می‌سازد. برای اطمینان از این که یک موبایل می‌تواند به IMS در حالت رومینگ، دسترسی پیدا کند، مشخصات VoLTE تلاش می‌کنند تا اپراتورهای هر شبکه‌ای الزاماً به IMS رجوع کنند. این کار را با استفاده از نام نقطه دسترسی مشخص IMS^۲ انجام می‌دهند.

اگر اپراتور شبکه ملاقات شونده هنوز IMS را پیاده‌سازی نکرده باشد، در چنین شرایطی موبایل می‌تواند به پروکسی CSCF در شبکه خانگی IMS از طریق یک دروازه PDN در شبکه خانگی EPC دسترسی پیدا کند. این معماری کاملاً سازگار با مشخصات VoLTE نیست و نمی‌تواند برای تماس‌های صوتی به کار برده شود، اما این معماری می‌تواند برای سایر سرویس‌های IMS نظیر SMS به کار برود.

هسته بسته تکامل یافته (EPC) پیام‌های سیگنالینگ SIP که بین موبایل و IMS رد و بدل می‌شود، را متوجه نمی‌شود. بنابراین EPC آنها را به پلان کاربری LTE از طریق یک حامل EPS پیش‌فرض با شناسه کیفیت کلاس سرویس (QCI) 5 منتقل می‌کند. این حامل قبل از ثبت نام موبایل با IMS تنظیم می‌شود و پس از آن که موبایل ثبت نام خودش را با IMS برچیند، این حامل نیز لغو می‌شود. همچنین هسته بسته تکامل یافته (EPC) ترافیک صوتی موبایل را با استفاده از حامل EPS اختصاصی با QC I1 را منتقل می‌کند، که در شروع یک تماس تنظیم می‌شود و با پایان یافتن تماس

1. Optimal Routing

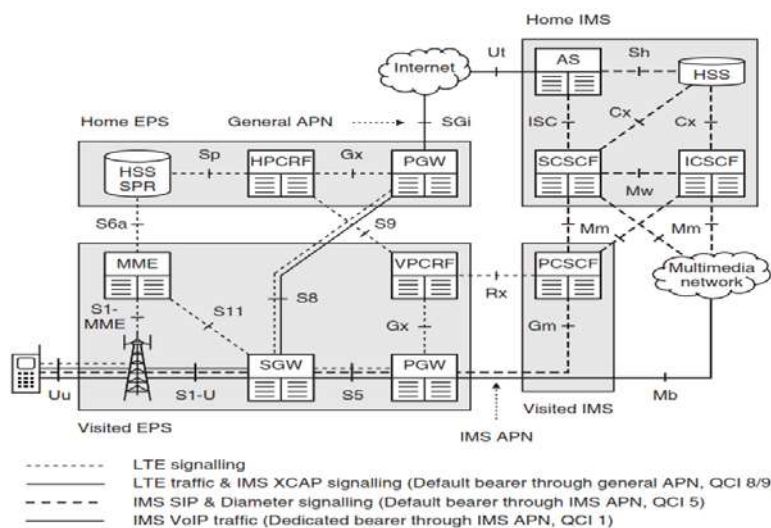
2. IMS Well- Known Access Point Name

نیز برچیده می‌شود. مشخصات VoLTE فرض را بر این می‌گذارند، که تنها از یکی این حامل‌ها را پشتیبانی می‌کند. در نتیجه، شبکه چندین جریان صوتی را در داخل همان حامل دسته‌بندی می‌کند و به آنها تخصیص یکسان و اولویت‌های یکسانی را در نظر می‌گیرد. در نهایت، EPC هر گونه جریان‌های غیر بلادرنگ مثل فایل‌های تصویری را با استفاده از حامل‌های اختصاصی EPC با QCI ۸ یا ۹ منتقل می‌کند.

سرور برنامه‌های کاربردی داده‌های کاربران را از طریق یک نام نقطه دسترسی عمومی که آن نیز توسط اپراتور شبکه خانگی کنترل می‌شود، اداره می‌کند. بنابراین واسطه Ut از طریق یک دروازه PDN در شبکه خانگی منتقل می‌شود. بطور معمول، این کار با استفاده از همان حاملی که برای ترافیک مسیریابی شده از شبکه دسترسی خانگی به اینترنت استفاده می‌شود، انجام می‌گیرد.

حال موبایل دو آدرس IP دارد: یکی برای اینترنت و دیگری برای دستیابی به IMS.

شبکه‌های مختلف ترافیک صوتی را با استفاده از پروتکل IPX^۱ مبادله می‌کنند [۲۴]. این پروتکل یک نسخه بهبود یافته‌ای از پروتکل GRX^۲ است، علاوه بر این کیفیت سرویس یک جریان چند رسانه‌ای را نیز تضمین می‌کند. با انتقال تماس‌های صوتی از طریق حامل‌های تخصیص یافته LTE و IPX، زیر سیستم چند رسانه‌ای IP می‌تواند کیفیت سرویس انتها به انتهای که کاربر دریافت خواهد کرد را تضمین نماید.



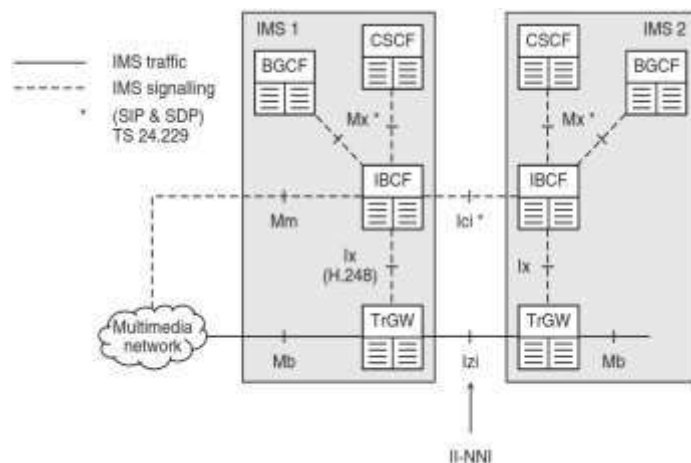
شکل ۲۲-۲ معماری سیستم برای یک موبایل VoLTE در حال رومینگ

1. IP Packet Exchange
2. GPRS Roaming Exchange

۷-۲-۲۲ توابع کنترل محدوده

IMS چندین عنصر دیگری دارد، که هنوز آنها را معرفی نکرده‌ایم. اولین آن تابع کنترل محدود است، که شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است [۲۵-۲۶]. تابع کنترل محدوده (IBCF)^۱ یک نقطه تماس است که برای ارتباطات سیگنالینگ SIP با سایر شبکه‌ها به کار می‌رود، بنابراین در مورد سیگنال‌های ورودی، این تابع بین I-CSCF و جهان خارج قرار دارد. دروازه انتقال (TrGW)^۲ توسط IBCF کنترل می‌شود و نقطه تماس برای تجهیزات IMS است. اگر شبکه دیگر یک زیر سیستم چند رسانه IP دیگری باشد، در این صورت ارتباط از طریق واسط شبکه به شبکه داخلی IMS (II-NNI)^۳ برقرار می‌گردد.

یکی از وظایف این تجهیزات کمک به مسیریابی رسانه است، با افزودن یک IBCF در مسیر سیگنالینگ و یک TrGW در مسیر ترافیک، زیر سیستم چند رسانه IP می‌تواند ترافیک صوتی کاربر را مجبور به انتقال از طریق IMS ملاقات شونده، IMS خانگی یا هر دو آنها نماید. اگر از طریق IMS ملاقات شونده صورت گیرد، برای کاربردهای رومینگ مناسب است، چرا که این کار اجازه می‌دهد تا IMS ملاقات شونده ترافیک کاربر را مشاهده کند اما مطمئن می‌شود که ترافیک نباید به شبکه خانگی IMS برگردد. سایر توابع و کارکردها می‌توانند غربال‌گیری پیام‌های SIP، تعدیلات کدینگ و تعامل بین شبکه‌هایی که از IP نسخه‌های چهار و شش استفاده شده، باشند.

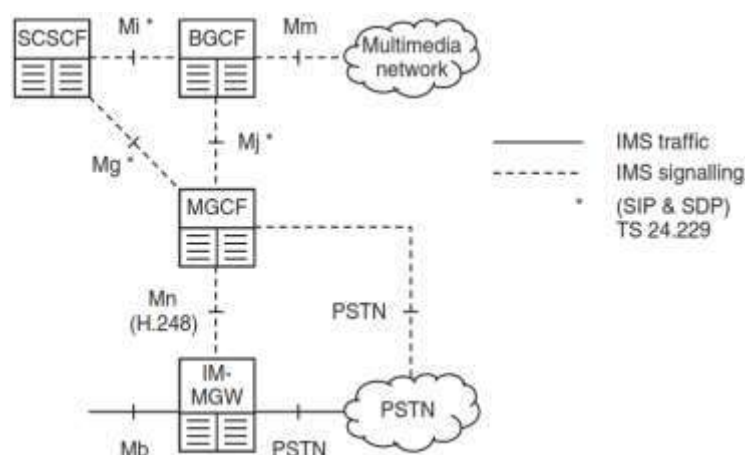


شکل ۳-۲۲ معماری کنترل محدوده IMS

1. Interconnection Border Control Function
2. Transaction Gateway
3. Inter-IMS Network-To-Network Interface

۲۲-۸-۲ توابع دروازه رسانه

IMS علاوه بر ارتباط با شبکه‌های مبتنی بر IP دیگر، می‌تواند با یک شبکه تلفن سوئیچینگ عمومی (PSTN) و نواحی سوئیچینگ مداری اپراتورهای 2G/3G ارتباط برقرار کند. شکل ۲۲-۴ تجهیزات به کار رفته را برای این هدف نشان می‌دهد.



شکل ۲۲-۴ معماری دروازه رسانه IMS

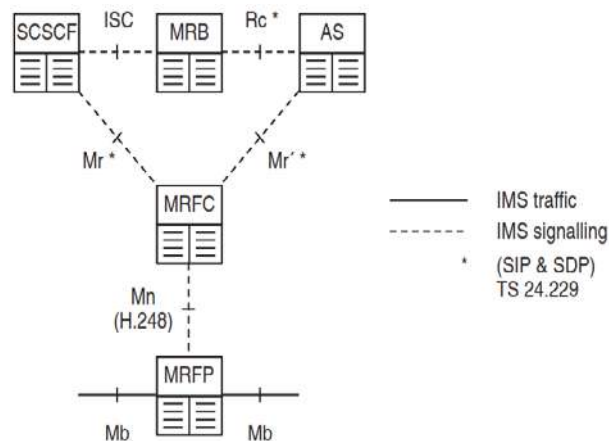
دروازه رسانه IMS (*IM-MGW*)^۱ یک واسطه پلان کاربردی بین IMS و شبکه سوئیچینگ مداری خارجی است، که وظایفی نظیر ترجمه کدینگ را انجام می‌دهد. IM-MGW وظایفی شبیه دروازه رسانه سوئیچینگ مداری (CS-MGW) 2G/3G را انجام می‌دهد. اما تفاوت آن با CS-MGW این است، که یک وسیله منطقی مختلف از یک شبکه دیگری است. این وسیله توسط یک تابع کنترل دروازه رسانه (*MGCF*)^۲ کنترل می‌گردد، که علاوه بر این، *MGCF* وظیفه ترجمه پیام‌های سیگنالینگ که بین دروازه‌های چند رسانه‌ای در IMS و شبکه رومینگ مداری به کار می‌رود، را بر عهده دارد. تابع کنترل دروازه محلی (*BGCF*)^۳ گام‌های بعدی را برای مسیریابی یک پیام سیگنالینگ خروجی تعیین می‌کند، که این پیام‌ها برای یک شبکه سوئیچینگ مداری بیان می‌شود. *BGCF* این کار را یا با انتخاب یک *MGCF* مناسب در همان شبکه یا با محول کردن انتخاب *MGCF* مناسب به یک *BGCF* دیگر به انجام می‌رساند.

1. IMS Media Gateway
2. Media Gateway Control Function
3. Break Out Gateway Control Function

انتخاب آخر برای حالتی که کاربر در حالت رومینگ باشد، مناسب می‌باشد. چرا که این کار اجازه می‌دهد تا یک BGCF در شبکه خانگی درخواست یک MGCF در شبکه ملاقات شونده را نماید. در نتیجه، ترافیک می‌تواند در شبکه تلفن عمومی محدود شود.

۹-۲-۲۲ توابع منبع چند رسانه‌ای

دو مجموعه تجهیزاتی که اخیراً مطرح شد، منحصراً با ارتباطات یک به یک برخورد دارند، با این حال، همچنان IMS می‌تواند به عنوان منبع ترکیبی عمل کند و نقاط را برای جریان‌های چند رسانه‌ای IP با استفاده از تجهیزاتی که در شکل ۵-۲۲ نشان داده شده است، ترکیب کند.



شکل ۵-۲۲ معماری تابع منبع چند رسانه‌ای IMS

پردازشگر تابع منابع چند رسانه‌ای^۱ (MRFP) یک تماس کنفرانسی پلان کاربری را با ترکیب جریان رسانه‌ها، بازگرداندن صدای بوق و اعلان‌ها و نیز ترجمه کدینگ مدیریت می‌کند. خود این وسیله توسط کنترل کننده تابع منابع چند رسانه‌ای (MRFC)^۲ کنترل می‌شود و این دو وسیله در کنار هم، تابع منابع چند رسانه‌ای (MRF)^۳ را می‌سازند. واسطه منابع رسانه (MRB)^۴ توابع منابع چند رسانه‌ای را انتخاب می‌کند، که که توسط یک جریانی منتقل می‌شوند، که با استفاده از نیازمندی‌های برنامه کاربردی و قابلیت‌های هر یک از وسیله‌ها انجام می‌گیرد.

1. Multimedia Resource Function Processor
2. Multimedia Resource Function Controller
3. Multimedia Resource Function
4. Multimedia Resource Function

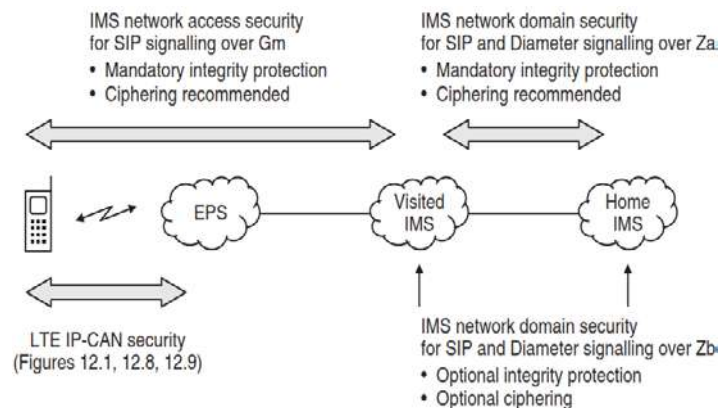
۱۰-۲-۲۲ معماری امنیتی

شکل ۶-۲۲ معماری امنیتی VoLTE را نشان می‌دهد [27]. IMS مکانیزم‌های امنیتی شبیه به LTE را استفاده می‌کند، اما این دو معماری به طور کامل مستقل از یکدیگرند. این کار اجازه می‌دهد تا موبایل روی یک شبکه دسترسی نامی مثل WLAN به شبکه IMS دسترسی پیدا کند و به تنهایی روی مکانیزم‌های امنیتی IMS کار کند.

در مورد امنیت شبکه دسترسی، IMS فرایندهای پذیرش کلید و تصدیق هویت UMTS را مجدداً استفاده می‌کند. این فرایندها دقیقاً مانند فرایندهای LTE است، که ما در فصل دوازده آنها را مطالعه کردیم. اما اصلی‌ترین تفاوت آنها این است، که کلیدهای CK و IK به جای این که از یک سلسله مراتب اضافه‌ای در شروع استفاده کنند، بطور مستقیم برای رمزنگاری و حفاظت از یکپارچگی استفاده می‌کند. این فرایند مبتنی بر کلید ویژه کاربر، K است، که در سرور خانگی مشترک قرار دارد و به طور امنی برای کاربر در USIM توزیع شده است، که این فرایند با فرایند کلید USIM در LTE تفاوت دارد.

در طول فرایند پذیرش کلید و تصدیق هویت، CSCF سرویس‌دهنده مقادیر CK و IK را به P-CSCF منتقل می‌کند. پس از آن، پروکسی CSCF یک نشست امنیتی با موبایل برگزار می‌کند. در نتیجه، برای به رمز درآوردن اختیاری و حفاظت از جامعیت اجباری برای پیام‌های سینگالینگ که دو وسیله با هم مبادله می‌کنند، به اجرا درمی‌آید. این فرایندها با استفاده از پروتکل امنیتی اینترنت (IPSec) پایلود امنیتی کپسوله سازی (BPS) در حالت انتقال به اجرا درمی‌آید.

امنیت حوزه شبکه در IMS با امنیت حوزه شبکه هسته بسته تکامل یافته (EPC) یکسان است. هر دو حوزه امنیتی در ابتدا همدیگر را تصدیق هویت می‌کنند و با استفاده از پروتکل امنیتی مبادله کلید اینترنت نسخه ۲ (IKX2) یک نشست امنیتی برگزار می‌کنند و پس از آن، ESP را در حالت تونل برای امن کردن داده‌هایی که مبادله می‌کنند، به کار می‌گیرند. IMS به تنهایی ترافیک پلان کاربری را امن نمی‌سازد. اما دو وسیله می‌توانند در طول برقراری یک تماس در لایه کاربرد با پروتکل‌های امنیتی مذاکرات آنها به انتهای ایمنی را برگزار کنند.



شکل ۲۲-۶ معماری امنیتی IMS منبع: TS 33.203 بازنشر با مجوز ETSI

۲۲-۱۱ معماری شارژینگ

IMS از یک معماری مشابه LTE را برای شارژینگ و صدور صورت حساب استفاده می‌کند [۲۸-۲۹]. هر یک از عناصر شبکه در IMS می‌توانند داده‌های رکورد شده شارژینگ را به سیستم شارژینگ آفلاین ارسال کنند، درحالی که CSCF سرویس‌دهنده، سرور برنامه کاربردی و کنترل-کننده تابع منابع چند رسانه‌ای می‌توانند با سیستم شارژینگ آنلاین در ارتباط باشند. علاوه بر این، سیستم شارژینگ همه اطلاعاتی را که برای صدور صورت حساب کاربر نیاز دارد، حتی IMS خانگی کاربر، قابلیت مشاهده داده‌های کاربران را ندارد.

۲۲-۳ پروتکل سیگنالینگ

۲۲-۳-۱ پروتکل آغاز کننده نشست

مهم‌ترین پروتکل سیگنالینگ IMS، پروتکل آغاز کننده نشست (SIP) می‌باشد. SIP روی یکی از واسطه‌های سیگنالینگ مهم IMS، بویژه بین موبایل و CSCF و سرورهای برنامه کاربردی به کار می‌رود. این پروتکل بسیار متفاوت‌تر از پروتکل‌های به کار رفته در LTE است. بنابراین نیاز است که مقداری توضیح داده شود. SIP توسط کارگروه مهندسين اینترنت (IETF) برای کنترل چند رسانه‌ای سوئیچینگ بسته‌ای بلادرنگ توسعه داده شد و بر پایه پروتکل HTTP است. RFC 3261 پروتکل پایه SIP را تعریف می‌کند [۳۰]. اما برخی از اضافات والحاقتی در سایر مشخصات IETF به خصوص RFC 3455 برای آن در نظر گرفته شده است [۳۱]، که این الحاقات، SIP را برای استفاده در IMS

قادر ساخته است. مهم‌ترین مشخصات و ویژگی‌های 3GPP برای این منظور TS 24.299 است [۳۲]، که کاربرد SIP در IMS را بیان می‌کند.

SIP بر خلاف پروتکل‌های قبلی، یک پروتکل متنی به جای باینری است، که باعث می‌شود پیام‌ها طولانی باشند، اما خواندن آن آسان است. مثل HTTP، SIP هم یک پروتکل کاربر-سرور است. یک کاربر درخواستی را به سرور ارسال می‌کند، که سرور به آن جواب می‌دهد، اما بر خلاف HTTP یک وسیله می‌تواند هم به عنوان کاربر و هم به عنوان سرور عمل کند. به طور پیش‌فرض، پیام‌های SIP به جای استفاده از TCP از UDP برای انتقال استفاده می‌کند. در این پروتکل، هیچ تضمینی برای تحویل مطمئن این پیام‌ها وجود ندارد. بنابراین SIP دارای مکانیزم‌هایی برای تصدیق و انتقال مجدد پیام‌های خود می‌باشد.

یک درخواست کاربر یک متن بسیار ساده می‌باشد. مثلاً مانند: REGISTER که در خواستی برای برقراری نشست بین موبایل و IMS را ارسال می‌کند و INVITE نیز یک تماس را برپا می‌کند. پاسخ سرور یک کد عددی سه رقمی و یک متن توصیفی کوتاه است. اولین رقم از کد پاسخ می‌تواند شش مقدار داشته باشد: (۱) مشخص کننده یک جواب موقت، (۲) بیانگر یک پاسخ موفقیت‌آمیز، (۳) از مشتری می‌خواهد عملیات بیشتری را انجام دهد و ۴ تا ۶ نیز انواع مختلفی از خطاها را معین می‌کند. درخواست‌ها و پاسخ‌ها با استفاده از فیلدهای سر/پایه^۱ اطلاعات اضافه‌ای را حمل می‌کنند، که قوانین و قواعدی مشابه با عناصر اطلاعات قبلی دارند که قبلاً بیان شده بودند، در حالی که گزینه‌های اضافی در داخل یک سراینده به برجسب‌ها^۲ معروفند، قرار دارند. علاوه بر آن، یک پیام SIP محتواهایی را به صورت ضمیمه دارد و می‌تواند توصیفات رسانه‌ای باشند، که با استفاده از پروتکل توصیف کننده نشست (SDP) نوشته می‌شوند.

در اینجا برخی از واژگان را معرفی می‌کنیم، که یکی از آنها، تراکنش^۳ است، که یک درخواست SIP را می‌سازد و شامل برخی از پاسخ‌های موقتی می‌باشد. یک دیالوگ^۴ دنباله‌ای از تراکنش‌ها است، که بین دو بخش مربوطه رد و بدل می‌شوند و اغلب به همراه یک نشست^۵

-
1. Header
 2. Tags
 3. Transaction
 4. Dialog
 5. Session

است، که یک مبادله رسانه مثل یک تماس VoIP را انجام می‌دهد. همان طور که از نام آن پیداست، هدف اصلی SIP برقراری و مدیریت نشست‌های رسانه‌ای مثل VoIP می‌باشد. علاوه بر این، در SIP برخی از نام اجزای کاربردی وجود دارند. عامل کاربر (UA)^۱ یکی از نقاط پایانی در یک دیالوگ SIP است، که نقش آن را اغلب موبایل ایفا می‌کند. یک سرور ثبت نام^۲ محلی است، که شناسه عمومی کاربر و آدرس IP را که کاربر را توسط آن می‌توان یافت، را ذخیره می‌کند. یک سرور پروکسی^۳ از طریق هدایت درخواست‌ها و پاسخ‌های SIP، افزودن سرایندهای جدید و ویرایش و تصحیح سرایندهای موجود در یک دیالوگ شرکت می‌کند، در حالی که یک عامل کاربر پشت به تماس (B2BUA)^۴، می‌تواند یک دیالوگ جدید را آغاز کند. ممکن است عناصر شبکه IMS با استفاده از ترکیب سرور پروکسی و B2BUA پیاده‌سازی شده باشد، اما CSCF سرویس دهنده نیز می‌تواند نقش سرور ثبت نام را در آن بازی کند.

۲۲-۳-۲ پروتکل توصیف کننده نشست

به خودی خود، SIP چیزی درباره یک نشست رسانه‌ای را که استفاده می‌کند را نمی‌گوید. این وظیفه به پروتکل توصیف کننده نشست (SDP)^۵ واگذار شده است [۳۳]. نسخه اصلی پروتکل SDP تنها برای یک جریان رسانه با استفاده از اطلاعات نشست، مثل آدرس IP تجهیزات و اطلاعات رسانه مثل نوع رسانه‌ها، نرخ داده‌ها و کد کننده‌ها تعریف شده است. اما بعداً پروتکل SDP از طریق یک مدل عرضه-تقاضا^۶ توسعه داده شد، که اجازه می‌دهد دو یا تعداد بیشتری از بخش‌ها در مورد رسانه و کد کننده‌هایی که استفاده می‌کنند، با هم مذاکره نمایند [۳۴]. IMS نیز SDP را به این صورت استفاده می‌کند، SDP درخواست‌ها و پاسخ‌های SIP منتقل شده، را به عرضه‌ها و تقاضاها تبدیل نموده و آنها را منتقل می‌سازد.

۲۲-۳-۳ سایر پروتکل‌های سیگنالینگ

علاوه بر آنچه که گفته شد، IMS سه پروتکل سیگنالینگ دیگر را نیز استفاده می‌کند. اولین آن، پروتکل پیکربندی دسترسی (XCAP)^۷ برای XML^۱ است [۳۵-۳۶]، که این پروتکل بر روی

-
1. User Agent
 2. Register Server
 3. Proxy Server
 4. Back To Back User Agent
 5. Session Description Protocol
 6. Offer-Answer Model
 7. XML Configuration Access Protocol

واسط Ut بین یک موبایل و یک سرور برنامه کاربردی به کار می‌رود. XCAP اجازه می‌دهد تا یک مشتری داده‌هایی که با استفاده از قالب XML ذخیره شده‌اند را ویرایش کند. این کار با نگاشت داده XML به شناسه‌های منابع یکنواخت (URIs) انجام می‌گیرد، که با استفاده از HTTP قابل دستیابی هستند. پس از آن، تجهیزات می‌توانند XCAP را برای خواندن و ویرایش اطلاعات ذخیره شده در سرورهای برنامه‌های کاربردی استفاده کنند. این اطلاعات می‌توانند تنظیمات ایمیل صوتی و پیکربندی‌های سرویس‌های تکمیلی باشند.

سرور خانگی مشترکین (HSS) و SLF می‌توانند با CSCF ها و سرورهای برنامه‌های کاربردی از طریق برنامه‌های کاربردی قطری ارتباط برقرار کنند [۳۷-۴۰]. این کار شبیه به روشی است، که در LTE استفاده می‌شود. در نهایت، دروازه تراکنش، دروازه رسانه و پردازشگر تابع منبع رسانه با استفاده از پروتکل H.248 کنترل می‌شوند [۴۱]، که همان روش دروازه رسانه سوئیچینگ مداری را به کار می‌برد.

۲۲-۴ ارایه سرویس در IMS

۲۲-۴-۱ پروفایل‌های سرویس

هر کاربری به همراه یک پروفایل کاربری IMS^۲ می‌باشد [۴۲]، که توسط سرور خانگی مشترک [HSS] ذخیره می‌شود. همان گونه که در شکل ۲۲-۷ نشان داده شده است، پروفایل کاربر دارای یک مجموعه از پروفایل‌های سرویس^۳ است، این پروفایل‌ها رفتار و خصوصیات یک سرویس خاص مثل SMS و تلفن چندرسانه‌ای را تعریف می‌کنند. هر پروفایل سرویس یک یا چند شناسه عمومی دارد و اگر یکی از این شناسه‌های عمومی فعال گردد، این پروفایل نیز در طول فرایند ثبت نام فعال‌سازی می‌شود. علاوه بر این، هر پروفایل سرویس دارای مجموعه‌ای از مقادیر مختلفی از معیارهای فیلتر/اولیه (IFC)^۴ است، که چگونگی واکنش CSCF سرویس‌دهنده در برابر سرورهای برنامه‌های کاربردی جهت فراخوانی سرویس را تعریف می‌کند.

با نگاه عمیق به این سلسله مراتب، می‌توان دریافت که هر مجموعه‌ای از معیارهای فیلترهای اولیه دارای یک شماره اولویت، جزئیاتی از سرور برنامه کاربردی مربوطه و مجموعه‌ای از

1. Extensible Markup Language

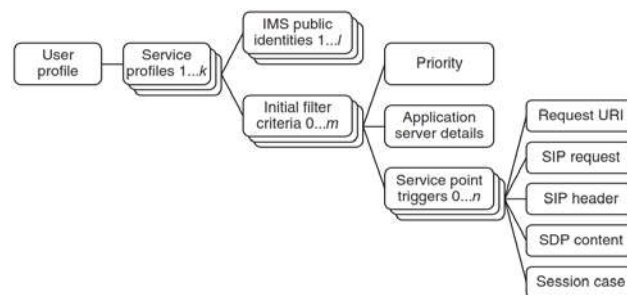
2. User Profile

3. Service Profiles

4. Initial Filter Criteria

آغازگرهای نقطه سرویس (SPTs)^۱ هستند. در نهایت، هر آغازگر نقطه سرویس شرایطی را که تحت آن CSCF سرویس‌دهنده با سرور برنامه‌های کاربردی ارتباط برقرار می‌کند، را تعریف می‌کند. این کار را با استفاده از اطلاعاتی نظیر URL مربوط به آن SIP، تجهیزات آغاز کننده درخواست SIP، حضور یا محتوای سراینده‌های SIP یا SDP ضمیمه شده به آن و موضوع نشست (آغاز کننده یا پایان‌دهنده) تعریف می‌کند.

زمانی که CSCF سرویس‌دهنده اولین درخواست SIP را در یک دیالوگ جدید دریافت کند، CSCF سرویس‌دهنده فرض می‌کند، که کاربر یک معیار فیلتر اولیه را طبق ترتیب اولویت‌اش آغاز کرده است و این درخواست را با هر یک از آغازگرهای نقطه سرویس مقایسه می‌کند. در صورتی که مطابق آن باشد، CSCF این درخواست را به سرور برنامه کاربردی هدایت می‌کند. پس از آن، سرور بر اساس آن کار می‌کند. برای مثال، با پردازش یک درخواست INVITE مطابق با پیکربندی سرویس تکمیلی کاربر عمل می‌شود. سرور برنامه‌های کاربردی همچنین برای اطمینان از این که همه سلسله درخواست‌ها را دریافت می‌کند و همه دیالوگ‌ها پاسخ می‌دهد، تعدادی فیلدهای سرایند SIP در مسیر پیام مسیریابی خود اضافه می‌کند. کل این پردازش‌ها شباهت زیادی به CAMEL در ناحیه سوئیچینگ‌مداری 2G/3G دارد.



شکل ۲۲-۷ محتویات اصلی پروفایل کاربری IMS

۲-۴-۲۲ برچسب‌های خصوصیات رسانه

یک عامل کاربر SIP می‌تواند از طریق برچسب‌های خصوصیات رسانه^۲ قابلیت‌های خود را اعلام کند [۴۳-۴۴]، که IMS آن را به دو روش به کار می‌برد. در طول ثبت‌نام، یک عامل کاربر می‌تواند دارای یک برچسب خصوصیات رسانه به عنوان بخشی از درخواست REGISTER را داشته

1. Service Point Triggers

2. Media Feature Tags

باشد. این برچسب قابلیت‌های تجهیزات (عامل کاربر) را به CSCF سرویس‌دهنده نشان می‌دهد و می‌تواند ثبت‌نام با یک سرور برنامه کاربردی را با استفاده از آن به عنوان یک آغازکننده نقطه سرویس، شروع کند. پس از آن، یک عامل کاربر می‌تواند دارای یک برچسب خصوصیات رسانه در یک درخواست SIP INVITE باشد. این نشان می‌دهد، که قابلیت‌های دستگاه مثل قبل است، که علاقمند به برقراری ارتباط با یک دستگاه دیگری است، که قابلیت‌های‌شان را به اشتراک گذاشته‌اند و می‌تواند تعاملات بیشتر، با سرور برنامه کاربردی را آغاز کند. مثال‌هایی از آن را در بخش‌های بعدی خواهیم دید.

مشخصات 3GPP این مفاهیم را با تعریف دو نوع از برچسب‌های خصوصیات رسانه توسعه داده است، که آنها در IMS مشخص شده است [۴۵-۴۶]. شناسه سرویس/ارتباطات (ICS)IMS^۱ پشتیبانی از یک سرور IMS را مشخص می‌کند و تعامل با یک سرور برنامه کاربردی IMS را به شیوه مرسوم انجام می‌دهد. این سرویس ممکن است توسط چندین برنامه کاربردی به کار گرفته شود. بنابراین شناسه مرجع برنامه کاربردی (IARI)IMS^۲ مشخص‌کننده پشتیبانی برای یک برنامه کاربردی است و یک تعامل با نرم‌افزار مربوطه در داخل سرور آغاز می‌کند.

۲۲-۴-۳ سرویس تلفن چند رسانه‌ای برای IMS

مهم‌ترین سرویس IMS سرویس تلفن چند رسانه‌ای (MMTel)^۳ برای (MTSD)IMS^۴ است [۴۷-۴۸]. این سرویس ارتباطات صوتی سنتی را پوشش می‌دهد و سرویس‌های تکمیلی مثل انتقال تماس و محدودیت تماس را تعریف می‌کند، که این سرویس‌ها را از شبکه سوئیچینگ مداري سنتی کپی‌برداری کرده است. علاوه بر این سرویس دارای سایر قابلیت‌هایی چون انتقال‌های ویدیو و فاکس (دورنگار) مبتنی بر UDP و همچنین به اشتراک‌گذاری فایل در طول یک تماس صوتی یا ویدیویی است. همه این قابلیت‌ها به عنوان گزینه اختیاری در سرویس 3GPP اولیه آمده است. اما مشخصات VoLTE پشتیبانی برای تماس‌های صوتی MMTel و برای برخی از سرویس‌های تکمیلی MMTel را اجباری کرده است. یک وسیله صوتی MMTel می‌تواند از همه کدکننده‌ها پشتیبانی کند، اما در این لیست باید کدکننده AMR موجود باشد، که آن را در فصل بیست و یکم معرفی کردیم [۴۹]. بطور اختیاری، این تجهیزات می‌توانند همچنین از ارتباطات صوتی باند وسیع پشتیبانی کنند. در صورت پشتیبانی از این ارتباطات، این تجهیزات باید از کدکننده چند نرخي وفقی باند وسیع (AMR-WB)^۵

1. IMS Communication Service Identifier

2. IMS Application Reference Identifier

3. Multimedia Telephony Service

4. Mmtel For IMS

5. Wideband Adaptive Multi Rate

پشتیبانی کند [۵۰]، که این کد کننده از سمبل‌های 16000 سمبل در هر ثانیه استفاده می‌کند و داده‌های فشرده سازی شده توسط آن تقریباً دو برابر AMR است.

IMS بسته‌های صوتی را با استفاده از UDP، IP و پروتکل انتقال بلادرنگ (RTP)^۱ ارسال می‌کند. RTP از تحویل سرویس‌های بلادرنگ بر روی یک شبکه IP پشتیبانی می‌کند. RTP این کار را با انجام عملیاتی مثل افزودن یک برچسب به بسته با استفاده از شماره ترتیب خودش و زمان انتقال انجام می‌دهد [۵۱]. علاوه بر این، این پروتکل دارای پروفایل‌های مختلفی است، که چگونگی ارسال برخی از برنامه‌های کاربردی خاص را تعریف می‌کند، پروفایل مربوطه برای صوت IMS پروفایل سمعی بصری (RTP/AVP)^۲ می‌باشد. در نهایت، این پروتکل چگونگی بیت‌های کد شده را که باید در پایلود RTP نگاشت می‌شوند را تعریف می‌کند. نگاشت‌های مربوط به AMR و AWR-WB در مرجع [۵۳] آورده شده است.

دو وسیله می‌توانند گزارش‌هایی را درباره کیفیت جریان رسانه از طریق پیام‌های کنترلی بدهند، که این گزارش‌ها با استفاده از پروتکل کنترل (RTCP) RTP^۳ نوشته می‌شود و بر روی مسیر رسانه انتقال می‌شود. در VoLTE یک وسیله می‌تواند RTCP را برای کمک به آغاز AMR با نرخ وفقی به کار ببرد [۵۴]. اگر یک سلول دچار ازدحام شود، ایستگاه پایه می‌تواند موبایل را از طریق تنظیم کردن یک فیلد هشدار/ازدحام صریح (ECN)^۴ در سرایند بسته IP لینک فروسو آگاه سازد. پس از آن، موبایل می‌تواند یک بسته RTCP را که دارای یک فیلدی به نام درخواست وضعیت کد کننده^۵ است، را به وسیله دیگر ارسال کند و هر دو وسیله می‌توانند به وضعیت AMR آهسته‌تر بروند و ارسال‌شان را کمتر نمایند.

۲۲-۵ فرایند ثبت نام VoLTE

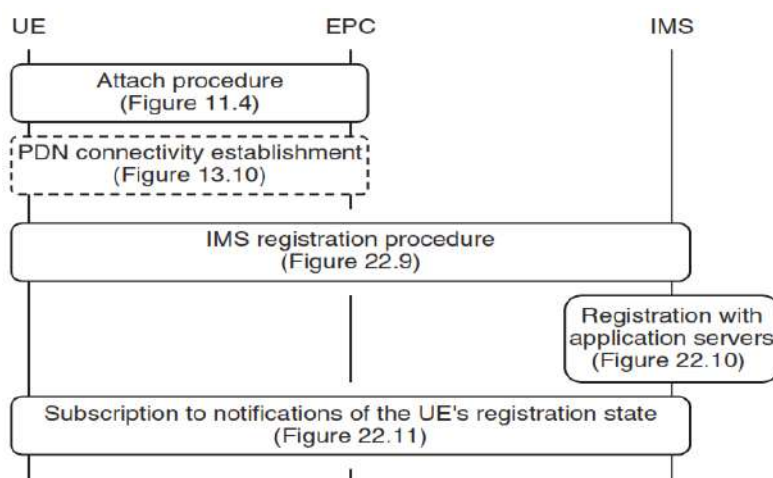
۲۲-۵-۱ مقدمه

فرایند ثبت نام VoLTE ارتباطات سیگنالینگ SIP را بین یک موبایل و یک CSCF سرویس دهنده در زیر سیستم چند رسانه IP برقرار می‌کند. در طول این فرایند، موبایل آدرس IP و نیز شناسه خصوصی خود را به CSCF سرویس‌دهنده ارسال می‌کند و یکی را به عنوان شناسه

-
1. Real Time Transport Protocol
 2. Rtpaudio Visual Profile
 3. RTP Audio Visual Profile
 4. Explicit Congestion Notification
 5. Code Rate Request

عمومی خود معرفی می‌کند. CSCF سرویس‌دهنده با سرور خانگی مشترکین (HSS) تماس می‌گیرد و سایر شناسه‌های عمومی را از روی مجموعه ملزومات ثبت نام مربوطه بازیابی می‌کند و یک نگاشتی را بین هر یک از فیلدها انجام می‌دهد. پس آن، کاربر می‌تواند تماس‌های ورودی را دریافت کند، که مستقیماً از سوی آن شناسه‌های عمومی انتقال داده می‌شوند و همچنین تماس‌های خروجی را به آن شناسه‌های عمومی برقرار می‌سازد.

در اینجا چهار مرحله وجود دارد، که به طور خلاصه در شکل ۸-۲۲ آورده شده است. در مرحله اول، موبایل به هسته بسته تکامل یافته (EPC) متصل می‌شود. یک ارتباطی را از طریق یک حامل EPS پیش‌فرض با یک نقطه دسترسی مناسب IMS برقرار می‌کند. این تماس یا در طول فرایند ارتباط به EPS توسط موبایل انجام می‌گیرد و یا بعداً موبایل آن را انجام می‌دهد. پس آن، موبایل خود را در یک CSCF سرویس‌دهنده ثبت نام می‌کند، که این CSCF یک ثبت نام با یک بخش ثالث را برای موبایل فراهم می‌کند. در نهایت، مشترکین موبایل برای اخطارهای آتی درباره وضعیت ثبت نام‌شان، برای پشتیبانی از امکان لغو ثبت نام‌هایی را که از سوی شبکه انجام می‌شود، را دریافت می‌کنند. حال این مراحل را در ادامه بررسی می‌کنیم.



شکل ۸-۲۲ مروری بر فرایند ثبت نام VoLTE

۲-۵-۲۲ فرایندهای LTE

موبایل با اجرای فرایند اتصال به شبکه که در فصل یازدهم بیان شد، شروع می‌کند. اگر شناسه داده کاربر نام نقطه دسترسی IMS را به عنوان یک نام نقطه دسترسی پیش‌فرض بشناسد و

موبایل نیز هیچگونه درخواست APN غیر از APN خودش را درخواست نکرده باشد. در نتیجه، MME موبایل را به یک IMS APN با استفاده از یک حامل EPS پیش‌فرض با QCI 5 متصل می‌کند. همچنین MME موبایل را با یک آدرس IP یک پروکسی CSCF به عنوان بخشی از درخواست محتوای حامل EPS پیش‌فرض فعال پشتیبانی می‌کند. بعلاوه، MME به موبایل می‌گوید، که از چه تماس‌های صوتی IMS بعنوان بخشی از پیام پذیرش ارتباط پشتیبانی می‌کند و به عنوان بخشی از درخواست به روزرسانی موقعیت موبایل به سرور خانگی مشترکین می‌گوید آن را اطلاع می‌دهد. (مشخصات VoLTE موبایل را از درخواست صریح نام نقطه دسترسی IMS در طول دروه فرایند اتصال به شبکه ممنوع کرده است [۵۵])، که این کار باعث می‌شود که از ناموفق بودن عمل اتصال به شبکه در صورت عدم پشتیبانی اپراتور شبکه خانگی از IMS جلوگیری گردد.

اگر موبایل در رومینگ باشد و هم شبکه خانگی و هم شبکه ملاقات شونده از IMS پشتیبانی کنند، در این صورت هم سرور PDN و هم پروکسی CSCF هر دو در شبکه ملاقات شونده قرار دارند و MME پشتیبانی از IMS را تعیین می‌کند. اگر شبکه خانگی از IMS پشتیبانی کند، ولی شبکه ملاقات شونده پشتیبانی نکند، در این صورت، دروازه PDN و پروکسی CSCF هر دو شبکه خانگی قرار می‌گیرند و MME پشتیبانی برای IMS صوتی را در نظر نمی‌گیرند. در این وضعیت (حالت آخر) موبایل می‌تواند IMS خانگی را برای سایر سرویس‌هایی نظیر SMS بکار ببرد، اما قادر به برقراری یک تماس صوتی IMS نخواهد بود و با استفاده از فرایندهای انتخاب حوزه دسترسی واکنش نشان می‌دهد، که ما آن را بعداً بحث خواهیم کرد.

اگر موبایل به یک APN متفاوت در طول دوره اتصال به شبکه متصل شده باشد، در این صورت، موبایل بعداً خواهد توانست که با استفاده از فرایند برقراری ارتباط با PDN که در فصل سیزدهم بیان کردیم به IMS متصل شود. موبایل در درخواست ارتباط با PDN خود، نام نقطه دسترسی IMS خودش را تعیین می‌کند، یک حامل مناسبی که برای پیام‌های سیگنالینگ SIP استفاده خواهد کرد را درخواست می‌کند و یک آدرس IP برای پروکسی CSCF می‌پرسد. MME یک حامل پیش‌فرض با QCI 5 را برقرار می‌کند و مثل قبل آدرس IP پروکسی CSCF را بر می‌گرداند.

۲۲-۵-۳ محتویات درخواست REGISTER

حال موبایل می‌تواند با زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMT) ارتباط برقرار سازد. پس می‌تواند یک درخواست REGISTER پروتکل SIP را بنویسد. جدول ۲۲-۲ محتویات پیش فرض یک

درخواست معمول را نشان می‌دهد [۵۶]. برای پرهیز از طولانی بودن بحث، ما هم فیلدهای سرایند آن را بررسی نخواهیم کرد، بلکه در عوض، بر روی فیلدهای بسیار مهم آن تمرکز خواهیم کرد.

جدول ۲-۲۲ مثالی از یک درخواست REGISTE برای VoLTE

```
REGISTER sip:registrar.home1.net SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP [5555::aaa:bbb:ccc:ddd]; branch=z9hG4bKnasiuen8
Max-Forwards: 70
P-Access-Network-Info: 3GPP-E-UTRAN-FDD;
    utran-cell-id-3gpp=234151D0FCE11
From: <sip:beatrice@home1.net>;tag=2hiue
To: <sip:beatrice@home1.net>
Call-ID: E05133BD26DD
CSeq: 1 REGISTER
Require: sec-agree
Proxy-Require: sec-agree
Supported: path
Contact: <sip:[5555::aaa:bbb:ccc:ddd]>;
    +sip.instance="urn:gsma:imei:90420156-025763-0";
    +g.3gpp.icsi-ref="urn:3Aurn-7%3A3gpp-service.ims.icsi.mmTel";
    +g.3gpp.smsip;expires=600000
Authorization: Digest username="beatrice_private@home1.net",
    +realm="registrar.home1.net", nonce="",
    uri="sip:registrar.home1.net", response=""
Security-Client: ipsec-3gpp; alg=hmac-sha-1-96;
    spi-c=23456789; spi-s=12345678; port-c=1234; port-s=5678
Content-Length: 0
```

خط اول وضعیت درخواست SIP را مشخص می‌کند و سروری را که باید درخواست تحویل به آن شود را مشخص می‌سازد. سرایند: From: دستگاهی که در خواست از آن ارسال می‌شود، را تعیین می‌کند، سرایند: To: دارای شناسه عمومی است که کاربر مایل به ثبت نام در آن می‌باشد. در این پیام سرایندهای: From: و: To یکسان هستند، اما آنها در تجهیزات و ثبت نام گره‌های ثالث با هم فرق می‌کنند. موبایل شناسه عمومی خودش را از روی ISIM می‌خواند و سرور ثبت‌نام را با استفاده از نام حوزه اپراتور شبکه شناسایی می‌کند.

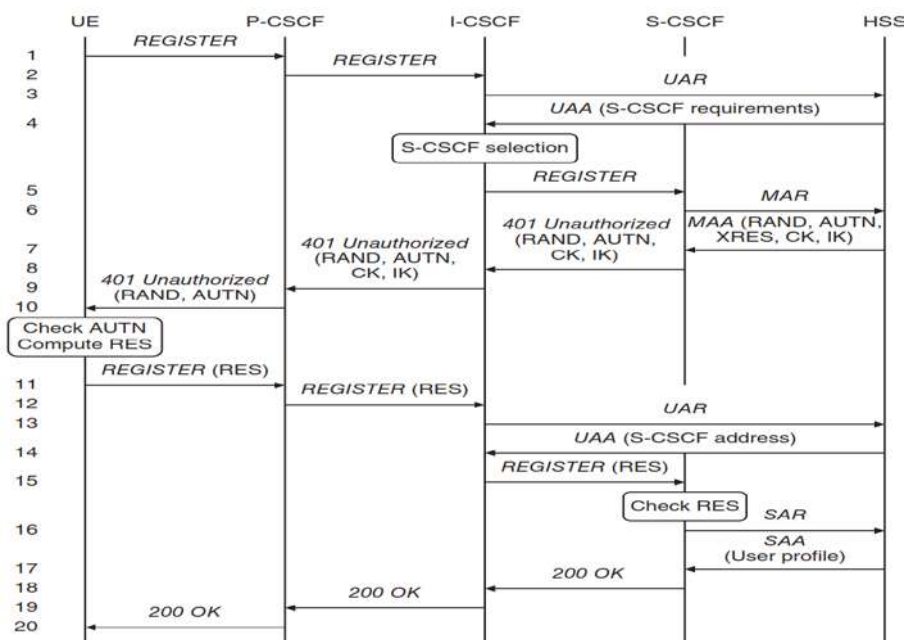
سرایند: Contact: دارای یک آدرس IP است، که موبایل در طول برقراری ارتباط با PDN دریافت کرده است. این سرایند بیانگر پشتیبانی از SMS با استفاده از برچسب خصوصیات رسانه g.3gpp.smsip، و پشتیبانی از سرویس تلفنی چند رسانه‌ای با استفاده از شناسه سرویس IMS urn%3Aurn-7%3A3gpp-service.ims.icsi.mmTel است. دنباله نامتعارف 3A% جایگزین فیلدهای کاراکتر دو نقطه (:): می‌شوند، که قالب برچسب خصوصیات رسانه می‌باشند و پشتیبانی

نمی‌شوند. این سرایند همچنین شناسه جهانی تجهیزات موبایل و زمان انقضای ثبت نام که به ثانیه محاسبه می‌شود را نشان می‌دهد.

در میان سرایندهای دیگر، سرایند: Authorization احراز صلاحیت داده به ویژه شناسه خصوصی که موبایل برای ثبت نام حمل می‌کند را انجام می‌دهد، اما سرایند: Security-Client الگوریتم‌های امنیتی را که تجهیزات پشتیبانی می‌کند، را مشخص می‌سازد. Call-ID یک شناسه یکتا برای دیالوگ می‌باشد، در حالی که: CSeq تراکنش‌های ویژه را در داخل دیالوگ معین می‌کند. سرایند: Via با استفاده از آدرس IP مقداردهی اولیه شده است و بعداً برای مسیریابی پاسخ به درخواست شبکه در موبایل به کار خواهد رفت.

۲۲-۵-۴ فرایند ثبت نام IMS

حال موبایل می‌تواند فرایند ثبت نام IMS را شروع کند [۵۷-۵۹]، که این فرایند را می‌توان در شکل ۲۲-۹ دید. در اینجا دو مرحله وجود دارد: در مرحله اول، موبایل درخواست REGISTER خود را به IMS ارسال می‌کند، که با یک چالش تصدیق هویت از سوی IMS پاسخ داده می‌شود. در مرحله دوم، موبایل درخواست دوم REGISTER را به IMS ارسال می‌کند، که این پیام جواب موبایل به چالش ارسال شده از سوی شبکه است و IMS درخواست ثبت نام موبایل را می‌پذیرد. برای جلوگیری از پیچیده شدن شکل و حفظ فضای شکل مذکور، نشانگرهای پروتکل معمولی از سوی پیام‌های ویژه در نظر گرفته است. کل ارتباطات با سرورهای خانگی مشترکین با استفاده از پروتکل قطری است، اما سایر پروتکل‌ها از SIP استفاده می‌کنند. ما در این شکل، موبایل را در رومینگ فرض کرده‌ایم، بنابراین موبایل و P-CSCF در شبکه ملاقات شونده قرار داشته و سایر تجهیزات در شبکه خانگی قرار دارند. شکل مذکور ارتباطات داخلی توابع کنترل محدوده که بین پروکسی CSCF شبکه ملاقات شونده و ارتباطات داخلی CSCF شبکه خانگی قرار می‌گیرد را در نظر نگرفته است.



شکل ۲۲-۹ فرایند ثبت نام IMS منبع: TS 23.228 بازنشر با مجوز ETSI

برای آغاز این فرایند، موبایل درخواست REGISTER خود را به پروکسی CSCF ارسال می‌کند (۱)، موبایل این کار را با استفاده از آدرس IP ای که قبلاً کشف کرده است، انجام می‌دهد. در ادامه، پروکسی CSCF این درخواست را به یک I-CSCF ارسال می‌کند (۲). (اگر موبایل در رومینگ باشد مرحله دوم از طریق توابع کنترل محدوده ارتباطی شبکه جایگزین می‌شود و از یک DNS برای یافتن یک نقطه اتصال در شبکه خانگی کمک می‌گیرد.) حال I-CSCF باید یک CSCF سرویس دهنده را پیدا کند تا موبایل را در آن ثبت نام نماید. برای انجام آن، I-CSCF یک درخواست قطری تصدیق هویت کاربری (UAR)^۱ را به سرور خانگی مشترکین (HSS) ارسال می‌کند و شناسه‌های عمومی و خصوصی کاربر را شناسایی می‌کند (۳). در یک نگاه غیر منتظره جهت پاسخگویی، HSS قابلیت‌هایی را که باید CSCF سرویس دهنده باید داشته باشد را بر می‌گرداند (۴). با بررسی لیست داخلی از تجهیزات و قابلیت‌های آن‌ها، I-CSCF می‌تواند یک CSCF مناسب را انتخاب کند و درخواست REGISTER را به آن منتقل نماید (۵).

1. User Authorization Request

حال CSCF سرویس‌دهنده باید کاربر را تصدیق هویت کرده باشد. برای انجام آن، CSCF سرویس‌دهنده یک درخواست قطری تصدیق هویت چند رسانه‌ای (MAR)^۱ را به سرور خانگی مشترکین ارسال می‌کند (۶) و HS نیز یک محور تصدیق هویت که دارای مقادیر RAND، XRES، CK و IK می‌باشد و در فصل دوازدهم بیان شدند، را برمی‌گرداند (۷). CSCF سرویس‌دهنده XRES را برمی‌گرداند. اما سایر مقادیر را به P-CSCF و I-CSCF در یک قالب پاسخ خطای عدم تصدیق هویت 401^۲ ارسال می‌کند (۸ و ۹). P-CSCF مقادیر CK و IK را برای استفاده در رمزنگاری و حفاظت از جامعیت برمی‌گرداند و RAND و AUTN را به موبایل ارسال می‌کند (۱۰).

موبایل توکن تصدیق هویت شبکه را بررسی می‌کند و پاسخ خود RES را محاسبه می‌کند و RES را به P-CSCF در درخواست دوم REGISTER ارسال می‌کند (۱۱). P-CSCF این درخواست را به یک I-CSCF مثل قبل ارسال می‌کند (۱۲). I-CSCF یک درخواست تصدیق هویت کاربر دیگری را به سرور خانگی مشترکین ارسال می‌کند (۱۳)، اما حال HSS درباره CSCF سرویس‌دهنده اطلاعات لازم را دارد و می‌تواند IP آدرس خود را برگرداند (۱۴). در ادامه، I-CSCF درخواست REGISTER را ارسال می‌کند (۱۵).

حال CSCF سرویس‌دهنده می‌تواند جواب موبایل به چالش تصدیق هویت شبکه را بررسی کند، اگر جواب درست باشد. CSCF سرویس‌دهنده می‌تواند به سرور خانگی مشترکین بگوید، که هم اکنون موبایل ثبت‌نام شده است و این کار را از طریق یک درخواست قطری واگذاری سرور (SAR)^۳ به HSS اطلاع می‌دهد (۱۶) و HSS نیز با برگرداندن پروفایل کاربر به آن پاسخ می‌دهد (۱۷). برای تکمیل این فرایند، CSCF سرویس‌دهنده یک پاسخ موفق 200 OK را به موبایل برمی‌گرداند (۱۸-۲۰)، که تمام شناسه‌ها از روی مجموعه ثبت‌نام برگردانده می‌شود. حال موبایل در شبکه IMS ثبت‌نام کرده است.

۲۲-۵-۵ پاسخ‌های مسیریابی SIP

درخواست‌ها و پاسخ‌های SIP در شکل ۲۲-۹ از طریق سرایندهای آن مسیریابی می‌شوند. هنگامی که اولین درخواست REGISTER از طریق شبکه منتقل می‌شود (مراحل ۱ تا ۵) CSCF های

-
1. Multimedia Authentication Request
 2. 401 Unauthorized error response
 3. Server Assignment Request

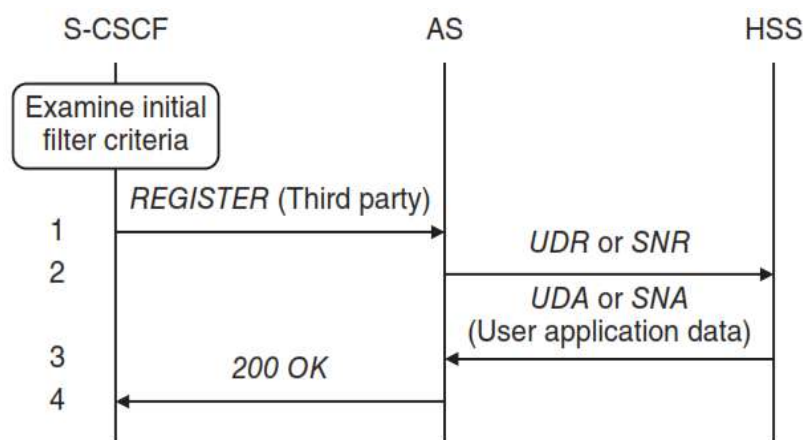
پروکسی و بازپرس شناسه‌های آنها را به سرایند: Via اضافه می‌کند، که ما قبلاً آنها را از طریق آدرس‌های IP و URI‌ها مشاهده کرده بودیم. CSCF سرویس دهنده این اطلاعات را در پاسخ عدم تصدیق ۴۰۱ خود رونوشت می‌کند و شبکه سرایند حاصل شده را برای پاسخ خود به شبکه استفاده می‌کند (مراحل ۸ تا ۱۰). در این روش، سرایند: Via برای مسیریابی همه جواب‌ها (پاسخ‌ها) به درخواست یک SIP استفاده می‌شود.

SIP چهار سرایندی دیگری را برای مسیریابی دنباله درخواست‌های خود استفاده می‌کند. در پیام دوم، P-CSCF شناسه خود را به یک سرایند جدید: Path اضافه می‌کند، که از CSCF سرویس دهنده می‌خواهد تا آن را در همه درخواست‌های لینک فروسوی آتی طول عمر ثبت‌نام موبایل اضافه کند. در پیام هیجده، CSCF سرویس دهنده شناسه خودش را به سرایند: Service-Route اضافه می‌کند، تا اطلاعات کاملی را از همه درخواست‌های لینک فراسو موبایل آگاه سازد. همچنین سرور می‌تواند شناسه خود را در یک سرایند: Record-Route در همه درخواست‌های اولیه SIP اضافه کند تا درخواست دربردارنده مسیر سیگنالینگ برای همه سلسله درخواست‌ها در دیالوگ بدست آمده باشد. همه این اطلاعات حاصل شده از همه این فیلدها برای انتشار یک سرایندی به نام: Route استفاده می‌شود، که این سرایند چنانچه خواهیم دید برای درخواست مسیر آنها به کار خواهد رفت.

۲۲-۵-۶ ثبت‌نام بخش ثالث با سرورهای برنامه‌های کاربردی

به عنوان بخشی از فرایند ثبت نام IMS، سرور خانگی مشترکین پروفایل کاربر موبایل را به CSCF سرویس‌دهنده ارسال می‌کند، که شناسه‌های عمومی آن را در مجموعه ثبت‌نام الزامی استخراج کرده و به موبایل ارسال می‌کند. حال CSCF سرویس‌دهنده می‌تواند این سرویس‌ها را که به همراه شناسه‌های عمومی‌شان هستند، را شناسایی کند نیز می‌تواند موبایل را با سرورهای برنامه‌های کاربردی مربوط به آنها به شیوه‌ای که در شکل ۲۲-۱۰ نشان داده شده است، ثبت‌نام کند [۶۰]. برای شروع این فرایند، CSCF سرویس دهنده درخواست REGISTER را بررسی کرده و آن را با آغازگرهای نقاط سرویس پروفایل کاربری مقایسه می‌کند. اگر مقادیر آنها با هم مطابقت داشته باشند، مثلاً اگر موبایل پشتیبانی از برچسب خصوصیات رسانه یا ICSI مربوطه را تعیین کرده باشد، در این صورت CSCF سرویس دهنده یک درخواست REGISTER بخش ثالث را از جانب موبایل می‌نویسد و آن را به سرور برنامه‌های کار برای ارسال می‌کند (۱). این درخواست شبیه به یکی از درخواست‌هایی است که قبلاً دیده بودیم. بجز اینکه سرایند From: CSCF را معین می‌کند، اما سرایند To: موبایل را معین می‌کنند.

حال سرور برنامه کاربردی می‌تواند هر گونه داده کاربری ویژه برنامه کاربردی را از سرور خانگی مشترکین بازیابی کند (۲). این کار را یا از طریق یک درخواست قطری داده کاربری (UDR)^۱ که به سادگی داده را درخواست می‌دهد یا با استفاده از یک درخواست/اعلان‌های کاربری (SNR)^۲ انجام دهد، که اگر داده به روزرسانی شده باشد، می‌تواند درخواست یک اعلان نماید. بعد پاسخ دادن سرور خانگی مشترکین (۳)، سرور برنامه کاربردی تصدیقی را به CSCF سرویس دهنده ارسال می‌کند (۴).



شکل ۲۲-۱۰ ثبت نام موبایل بخش ثالث با سرورهای برنامه کاربردی

منبع: TS 29.328 بازنشر با مجوز ETSI

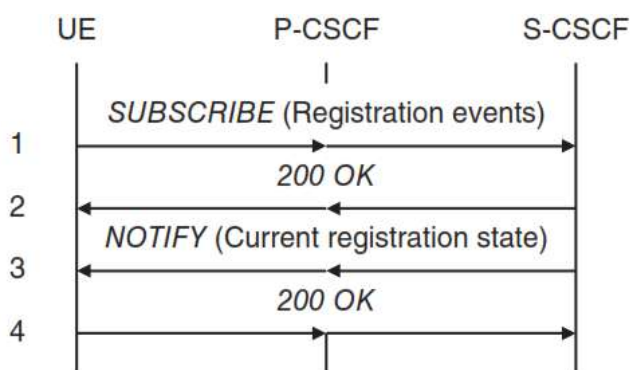
۲۲-۵-۷ مشارکت برای لغو ثبت نام از سوی شبکه

پروتکل اولیه SIP به کاربر اجازه می‌دهد تا برای لغو ثبت نام خود از شبکه با ارسال یک درخواست REGISTER با زمان انقضای صفر، این کار را انجام دهد، اما این روش در لغو ثبت نام‌های آغازی از سوی شبکه پشتیبانی نمی‌شود. برای این کار، دو افزونه به SIP اضافه می‌شود. افزونه اول، دو درخواست SIP را تعریف می‌کند: یکی *SUBSCRIBE* و دیگری *NOTIFY* است [۶۱]، که از طریق آنها یک دستگاه می‌تواند اگر اتفاقی رخ دهد را به اطلاع موبایل برساند. افزونه دوم یک بسته رویداد ثبت نامی را تعریف می‌کند [۶۲]، که در آن، یک دستگاه درباره هر تغییری که در وضعیت ثبت نام خودش اتفاق بیفتد، را هشدار می‌دهد.

1. User Data Request

2. Subscriber notification request

وقتی که فرایند ثبت نام به پایان برسد. موبایل در بسته رویداد ثبت نام عضو می‌شود، که در شکل ۱۱-۲۲ نشان داده شده است. موبایل درخواست SUBSCRIBE را به P-CSCF به شیوه معمول ارسال می‌کند. اما این درخواست دارای یک سرایند: Route است، که معین کننده CSCF سرویس دهنده موبایل می‌باشد. بنابراین P-CSCF می‌تواند این درخواست را مستقیماً به آن ارسال کند (۱)، سپس پاسخ خود (۲) CSCF سرویس دهنده فوراً یک درخواست NOTIFY را به موبایل ارسال می‌کند، که ثبت نام کاربر را تأیید می‌کند (۳ و ۴). اگر CSCF سرویس دهنده الزاماً باید موبایل را لغو ثبت نام کند، CSCF سرویس دهنده به سادگی یک درخواست NOTIFY دیگری را به آن ارسال می‌کند. P-CSCF بسته رویداد ثبت نام موبایل را به همانند روش معمول ثبت می‌نماید. در صورت نیاز، برنامه‌های کاربردی هم همین روال را انجام می‌دهند.



شکل ۱۱-۲۲ اشتراک شدن برای اعلان‌های آتی وضعیت ثبت نام موبایل

منبع: TS 24.228 بازنشر با مجوز ETSI

۶-۲۲ برقراری و برچیدن تماس

۱-۶-۲۲ محتویات درخواست INVITE

برای برقراری یک تماس صوتی IMS، یک موبایل می‌تواند یک درخواست SIP INVITE را ایجاد کرده و از طریق IMS به تجهیزات مقصد ارسال کند. جدول ۶-۲۲ محتویات یک درخواست INVITE معمولی را نشان می‌دهد [۶۳]، همانند قبل خط اول درخواست SIP و شناسه عمومی دستگاه مقصد را مشخص می‌کند. سرایند Contact: آدرس IP دستگاه مبدأ را نشان می‌دهد و پشتیبانی از سرویس تلفن چند رسانه‌ای را تأیید می‌کند، در حالی که سرایند Accept-Contact: نشان می‌دهد، که می‌خواهد با یک دستگاه تلفن چند رسانه‌ای دیگری ارتباط برقرار کند.

سرایند: Route مطمئن می‌گردد تا درخواست از سوی موبایل به P-CSCF و CSCF سرویس‌دهنده می‌رود. موبایل نخستین پیام از آنها را با استفاده از آدرس IP منتشر می‌سازد، که آن را در طول برقراری ارتباط PDN دریافت کرده است و دومین درخواست را با استفاده از شناسه‌ای که در طول ثبت‌نام IMS دریافت کرده، منتشر می‌سازد. سرایند: Supported پشتیبانی از دو افزونه SIP را تأیید می‌کند، که توسط VoLTE اجبار شده است. این افزونه‌ها عبارت از پیش شرط‌ها و تصدیق‌های قابل اعتماد از پاسخ‌های تدارک دیده شده هستند. در انتها سرایند‌های Content-Type و Content-Length بیانگر وضعیت پیامی هستند که عرضه رسانه SDP و طول آن وضعیت را بیان می‌کنند.

جدول ۲۲-۳ مثالی از یک درخواست INVITE در VoLTE که در LTE استفاده می‌شود.

```
INVITE sip:benedick@home2.net SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP [5555::aaa:bbb:ccc:ddd]; branch=z9hG4bKnashds7
Max-Forwards: 70
Route: <sip:[5555::ccc:ddd:eee:fff]:7531;lr>,
      <sip:orig@scscf1.home1.net;lr>
P-Preferred-Service: urn:urn-7:3gpp-service.ims.icsi.mmtel
P-Access-Network-Info: 3GPP-E-UTRAN-FDD;
      utran-cell-id-3gpp=234151D0FCE11
Privacy: none
From: <sip:beatrice@home1.net>;tag=171828
To: <sip:benedick@home2.net>
Call-ID: cb03a0s09a2sdfg1kj490333
Cseq: 127 INVITE
Require: sec-agree
Proxy-Require: sec-agree
Supported: precondition, 100rel
Contact: <sip:[5555::aaa:bbb:ccc:ddd]>;
      +g.3gpp.icsi-ref="urn:urn-7:3gpp-service.ims.icsi.mmtel"
Accept-Contact: *,+g.3gpp.icsi-ref=
      "urn:urn-7:3gpp-service.ims.icsi.mmtel"
Allow: INVITE, ACK, CANCEL, BYE, PRACK, UPDATE, REFER,
      MESSAGE, OPTIONS
Accept: application/sdp, application/3gpp-ims+xml
Security-Verify: ipsec-3gpp; alg=hmac-sha-1-96;
      spi-c=98765432; spi-s=87654321; port-c=8642; port-s=7531
Content-Type: application/sdp
Content-Length: (...)
```

جدول ۲۲-۴ محتوای SDP از ضمیمه را نشان می‌دهد. این پیشنهاد با اطلاعات نشست آغاز می‌شود، که در آن خط 0= مشخص کننده آدرس IP برای استفاده از سیگنالینگ SDP است. و خط c= مشخص کننده آدرس IP برای ارتباطات رسانه می‌باشد. اطلاعات رسانه با خط m= شروع می‌شود، که درخواست برقراری یک جریان صوتی با استفاده از پروفایل صوتی بصری RTP را روی پورت 49152 می‌کند و پشتیبانی از سه کد به شماره‌های ۹۷، ۹۸ و ۹۹ را بیان می‌سازد. این دستگاه می‌تواند جریان‌های صوتی بیشتری مثل ویدیو را درخواست کند، که این کار را با وسیله افزودن سایر اطلاعات رسانه به انتهای پیشنهاد خود انجام می‌دهد.

خط: b=AS: میزان نرخ بیت ذخیره شده برای ترافیک RTP تعیین می‌کند که به Kbps است، اما: b=RS: و b=RR: نرخ بیت‌های رزور شده برای پورت‌های فرستنده و گیرنده RTCP به bps نشان

می‌دهد. خط‌های $a=curr:qos$ و $a=des:qos$ نشان دهنده پشتیبانی از افزونه پیش شرط SIP هستند [۶۴]، این کار را با بیان این که وسیله هیچگونه تضمین کیفیت سرویس در حال حاضر ندارد و تنها می‌خواهد یک بار کیفیت سرویس مناسبی را از IMS خودش دریافت کند انجام می‌گیرد. در نهایت، خط $a=rtpmap$ بیانگر کد کننده‌های ۹۷ و ۹۸ هستند که تفاوت اندکی با قالب AMR دارند به عنوان پهنای باند موثر و کد هشتایی توازن می‌باشند. این کد کننده‌ها همچنین بیانگر پشتیبانی از سیگنالینگ آهنگ دوگانه چندفرکانسی^۱ (DTMF) با استفاده از کد کننده ۹۹ می‌باشند.

جدول ۲۲-۴ مثالی از پیشنهاد SDP در VoLTE

```
v=0
o=- 2987933615 2987933615 IN IP6 5555::aaa:bbb:ccc:ddd
s=-
c=IN IP6 5555::aaa:bbb:ccc:ddd
t=0 0
m=audio 49152 RTP/AVP 97 98 99
b=AS:38
b=RS:0
b=RR:4000
a=curr:qos local none
a=curr:qos remote none
a=des:qos mandatory local sendrecv
a=des:qos optional remote sendrecv
a=inactive
a=rtpmap:97 AMR/8000/1
a=fmtp:97 mode-change-capability=2; max-red=220
a=rtpmap:98 AMR/8000/1
a=fmtp:98 mode-change-capability=2; max-red=220; octet-align=1
a=rtpmap:99 telephone-event/8000/1
a=fmtp:99 0-15
a=ptime:20
a=maxptime:240
```

۲۲-۶-۲ آغاز درخواست و پاسخ INVITE

اکنون موبایل می‌تواند درخواست INVITE خود را به زیر سیستم چند رسانه‌ای IP (IMS) ارسال کند. گفتگوها و مذاکرات SIP و SDP به روش‌های مختلفی می‌توانند جایگزین شوند. بنابراین شکل‌های ۲۲-۱۲ و ۲۲-۱۳ پیام‌های سیگنالینگ پیام‌های سیگنالینگ که معمولاً بین دو موبایلی که در اپراتورهای شبکه‌های مختلفی ثبت شده‌اند، را نشان می‌دهند [۶۵-۶۶].

موبایل شروع کننده درخواست INVITE و پیشنهاد SDP خودش را به P-CSCF خود ارسال می‌کند که آن را به CSCF سرویس دهنده ارسال کند (۲۱). CSCF سرویس دهنده به نام حوزه موبایل مقصد نگاه می‌کند و این درخواست را به I-CSCF در شبکه مقصد از طریق ارتباطات داخلی توابع کنترل محدوده (BCF) ارسال می‌کند (۳). در ادامه، I-CSCF به جزییات

1. Dual-Tone Multi-Frequency

ثبت نام موبایل مقصد در سرور خانگی مشترکین (HSS) نگاه می‌کند و درخواست را به CSCF سرویس‌دهنده آن موبایل منتقل می‌کند (۴)، که آن پیام را به P-CSCF و موبایل ارسال کند (۵ و ۶). در یک مورد از درخواست INVITE، هر CSCF علاوه بر این یک پاسخ موقت 100 Trying را به والد (گره قبلی) خود ارسال می‌کند تا دریافت موفقیت‌آمیز درخواست را تأیید کند و تا نیازی به ارسال مجدد وجود نداشته باشد.

در طول مسیر، P-CSCF و CSCF سرویس‌دهنده پیشنهاد SDP را بازبینی و بازرسی می‌کنند تا مطابق با سیاست شبکه و شرایط عضویت کاربر باشد. چنانچه آنها مقادیری غیر از موارد پذیرفته شده را پیدا کند (مثل یک نرخ بیت بسیار بالا) آنها با درخواست عدم پذیرش 488 Not Acceptable Here و ضمیمه کردن توضیحات رسانه SDP که مایل به دریافت آن هستند، به آن جواب می‌دهند.

همچنین CSCF های سرویس دهنده درخواست INVITE را بررسی کرده و آن را با آغاز کننده نقاط سرویس موبایل‌های مربوطه مقایسه می‌کنند. در این مثال، آنها سرویس تلفنی چند رسانه‌ای دریافت کرده‌اند. بنابراین CSCF های سرویس دهنده این درخواست را به سرورهای برنامه کاربردی MMTel موبایل منتقل می‌کنند، که وظایفی مثل انتقال تماس یا ترجمه شماره تلفن را پردازش کند. با دستگاه‌های عمومی که در شکل نشان داده شده است، سرورهای برنامه‌های کاربردی خود را نیز در سرایند درخواست‌های Record-Route و Via قرار می‌دهند، در نتیجه آنها تمام دنباله درخواست‌ها و پاسخ‌های این دیالوگ را دریافت خواهند کرد.

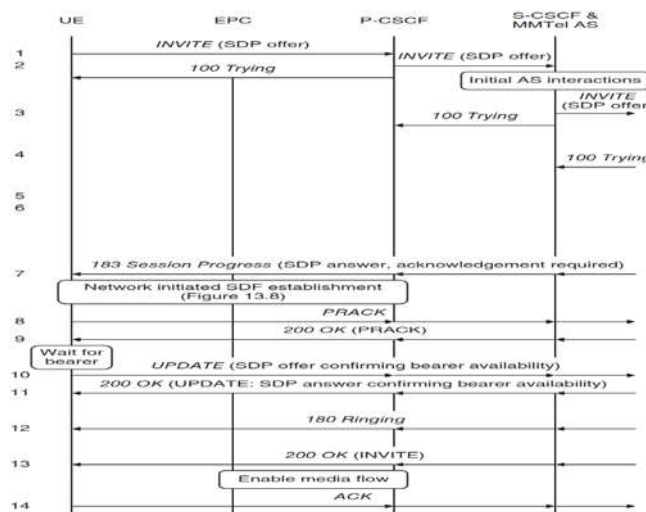
اگر موبایل مقصد در حالت ECM-IDLE قرار داشته باشد، پس هسته بسته تکامل یافته (EPC) نمی‌تواند درخواست INVITE را در همان لحظه تحویل دهد؛ در عوض، این درخواست به دروازه خدمت‌رسانی منتقل می‌شود تا از MME بخواهد با موبایل تماس بگیرد و این تماس نیز از طریق فرایند فراخوانی که در فصل چهاردهم بیان شد، انجام می‌گیرد.

موبایل با اجرای فرایند درخواست سرویس که آن را به وضعیت ECM-CONNECTED می‌برد، به آن پاسخ می‌دهد. پس از آن، دروازه خدمت‌رسانی می‌تواند درخواست INVITE را به موبایل تحویل دهد.

اگر موبایل مقصد خاموش باشد، پس در CSCF سرویس‌دهنده به کلی ثبت نام نکرده است. در این وضعیت، I-CSCF می‌تواند هنوز یک CSCF سرویس‌دهنده دیگری را انتخاب کند تا پیام درخواست INVITE را منتقل سازد. این کار به همان روشی که در طول فرایند ثبت نام استفاده می‌شد، انجام می‌شود. با دریافت این درخواست، CSCF سرویس دهنده پروفایل کاربری موبایل

و از HSS می‌خواند. درخواست را با آغازگرهای نقاط سرویس مقایسه می‌کند و آن درخواست را به یک سرور برنامه کاربری ایمیل صوتی منتقل می‌کند.

نهایتاً هنگامی که پیام درخواست INVITE دریافت شد، موبایل مقصد پیشنهاد SDP را بررسی می‌کند. چنانچه که این پیشنهاد حاوی هرگونه جریان رسانه‌ای باشد که آن را پشتیبانی نمی‌کند، مثلاً ویدیو در صورتی که آن دستگاه تنها از صوت پشتیبانی می‌کند، پس موبایل SDP را با تنظیم تعداد پورت‌های جریان رسانه به صفر، اصلاح می‌کند. پس یک کد کننده‌ای را برای هر جریان سرویسی که پشتیبانی می‌کند، انتخاب کرده، پشتیبانی اضافی برای تونهای DTMF را مشخص می‌کند و پاسخ SDP خود را در یک جواب آماده 183 Session Progress ضمیمه کرده و آن را به موبایل اولیه ارسال می‌کند (۷).

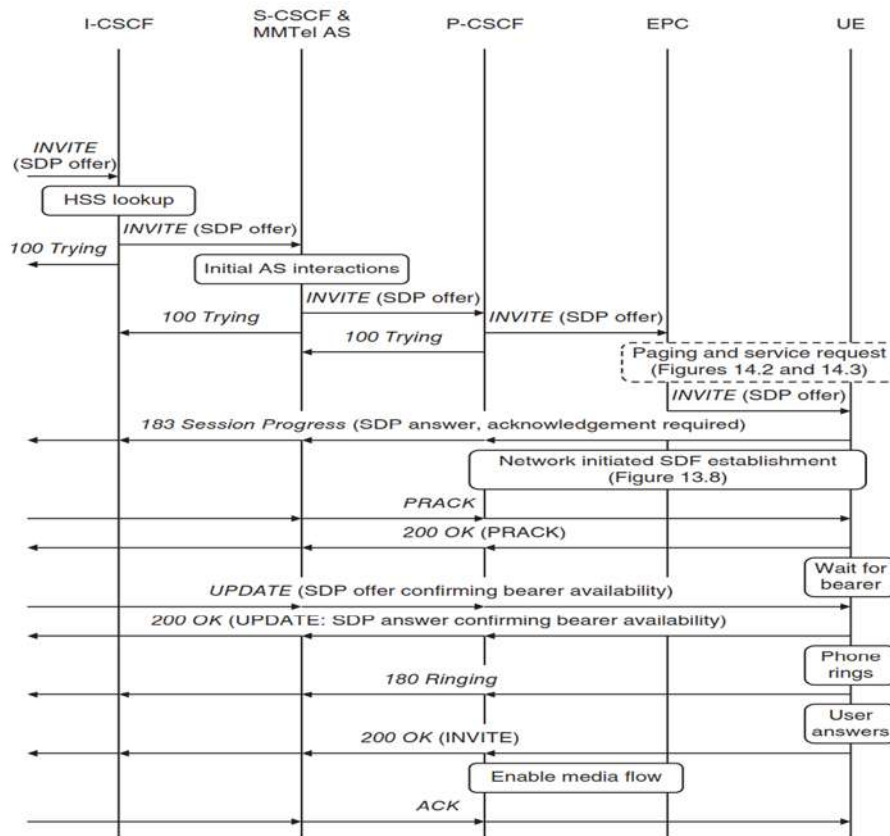


شکل ۲۲-۱۲ فرایند آغاز نشست IMS (۱) پیام‌ها در شبکه آغازکننده نشست

منبع: TS 23.228 بازنشر با مجوز ETSI

در طول این روش، هر CSCF پروکسی جواب SDP را بررسی می‌کند و پارامترهای کیفیت سرویسی که آن رسانه نیاز خواهد داشت را محاسبه می‌کند. پس از PCRF مربوطه می‌خواهد تا یک جریان داده سرویس جدید را تنظیم کند، این کار با استفاده از فرایندی که برای برقراری SDF آغاز شده از سوی شبکه که در فصل سیزدهم بیان شد، انجام می‌گیرد. دروازه PDN یک حامل اختصاصی جدید با QCI1 را برای اولین تماس صوتی موبایل ایجاد می‌کند یا اگر حامل موجودی برای یک تماس صوتی در حال انجام باشد، آن را اصلاح می‌کند. در این روش،

پارامترهای SDP آنها را به سوی EPC برمی‌گرداند و کیفیت سرویسی را که موبایل نیاز دارد، در اختیار آن قرار می‌دهد.



شکل ۲۲-۱۳ فرایند آغاز کردن نشست IMS. (۲) پیام‌ها در شبکه منتهی به نشست قرار دارند

منبع: TS 23.228 بازنشر با مجوز ETSI

۲۲-۶-۳ پذیرش INVITE آغازی

در این مرحله، موبایل مقصد یک پاسخ SDP را به مبدأ ارسال می‌کند، که به یک پاسخ از قبل آماده شده SIP ضمیمه شده است. پاسخ SDP حاوی اطلاعات بسیار مهمی است، بنابراین موبایل مقصد از موبایل مبدأ می‌خواهد تا تصدیقی را در قبال پاسخ خود در سرایند پیام هفت Require: 100rel به آن ارسال نماید [۶۷]. موبایل مبدأ تصدیقی را از طریق درخواست PRACK به موبایل مقصد ارسال می‌کند (۸). موبایل مقصد نیز با یک پیام 200 OK به آن پاسخ می‌دهد

(۹). موبایل‌ها می‌توانند این درخواست را به جای درخواست INNITE اولیه با PRACK بررسی کنند و این کار با بررسی کردن سرایندهای SIP صورت گیرد.

با تکمیل فرایند فعال‌سازی حامل اختصاصی، موبایل مبدأ می‌داند که شبکه دسترسی LTE می‌تواند کیفیت سرویس را که نیاز دارد، را در اختیار آن قرار دهد. موبایل مبدأ به موبایل مقصد اطلاع می‌دهد که کیفیت سرویس محلی آن به $a=curr:qos\ local\ sendrecv$ تغییر یافته است، موبایل مبدأ این پیام با استفاده از پیشنهاد ثانویه SDP به موبایل مقصد ارسال می‌کند. موبایل مبدأ این پیشنهاد را در یک درخواست SIP UPDATE قرار می‌دهد (۱۰)، این پیشنهاد یک افزونه‌ای را به SIP اضافه می‌کند و پارامترهای نشست را اصلاح می‌کند [۶۸] و موبایل مقصد نیز به شیوه مرسوم جواب آن را می‌دهد (۱۱). اگر فرایند تخصیص منابع موبایل مقصد تکمیل شده باشد، موبایل مقصد این موضوع را در پاسخ SIP خود، که نشان داده شده است، اعلام می‌نماید، در غیر این صورت، یک درخواست UPDATE را ارسال خواهد کرد.

این دنباله پیام‌ها ممکن است که مراحل زیادی از مذاکرات رسانه را نیاز داشته باشند. مثلاً اگر تجهیزات مقصد از همه کد کننده‌هایی که در تجهیزات آغاز کننده نشست سفارش شده است، پشتیبانی نکنند، در نتیجه، این نشست می‌تواند با پیشنهادات و پاسخ‌های مضاعف SDP ادامه پیدا کند و این پیشنهادات نیز در داخل درخواست‌ها و پاسخ‌های SIP منتقل می‌شوند. بطور جایگزین، ممکن است که فرایند فعال‌سازی حامل هنگامی که موبایل مبدأ تصدیق پاسخ موقت خودش را در پیام ۸ ارسال می‌فرستد، تکمیل شده باشد. اگر چنین باشد، موبایل مبدأ می‌تواند موبایل مقصد را در همان لحظه مطلع کند و دیگر نیازی به ارسال پیام ۱۰ وجود ندارد.

وقتی که همه مراحل این تکمیل شدند، موبایل مقصد زنگ می‌خورد و یک پاسخ موقت *180 Ringing* را به موبایل مبدأ برمی‌گرداند (۱۲). در اینجا نیازی به برگشت داده تاییدیه وجود ندارد، چرا که در اطلاعات الحاقیه SDP مضاعفی وجود ندارد. وقتی که کاربر پاسخ می‌دهد، موبایل مقصد یک پاسخ موفق 200 OK را به پیام درخواست INVITE آغازی برمی‌گرداند (۱۳). با دریافت این پاسخ، CSCF های پروکسی می‌دانند که سیگنالینگ‌های SIP و SDP تکمیل شده است. بنابراین CSCF های پروکسی از PCRF های مربوطه می‌خواهند تا جریان رسانه را فعال‌سازی کنند و PCRF ها به دروازه‌های PDN ها می‌گویند تا دروازه‌ها را بر روی ترافیک کاربران باز کنند. با اتمام این فرایندها، دستگاه مبدأ یک تصدیق درخواست SIP نهایی به نام ACK ارسال می‌کند (۱۴)، که نشان دهنده آغاز نشست می‌باشد.

۲۲-۶-۴ برقراری تماس با شبکه سوئیچینگ‌مداری

اگر گره مبدأ یا مقصد در یک شبکه سوئیچینگ‌مداری باشد، دنباله پیام‌ها اندکی فرق خواهند کرد. اما اصول اساسی آنها همچنان بدون تغییر باقی می‌ماند [۶۹]. اول اجازه دهید شرایطی را در نظر بگیریم که در آن دستگاه مقصد در یک شبکه سوئیچینگ‌مداری قرار داشته باشد. موبایل یک درخواست INVITE پروتکل SIP را مثل قبل به IMS ارسال می‌کند، اما مشخص می‌کند که دستگاه مقصد از شماره تلفن استفاده می‌کند که به عنوان یک Tel URL بیان شده است. CSCF سرویس‌دهنده مستقیماً نمی‌تواند این نوع تماس را هدایت کند، بنابراین این شماره تلفن را به یک DNS تبدیل می‌کند [۷۰] و DNS بدست آمده را در سرور DNS جستجو می‌کند و تلاش می‌کند تا شماره‌ها را به یک URL پروتکل SIP قابل مسیریابی ترجمه کند.

اگر این فرایند ناموفق باشد، پس دروازه خدمت‌رسانی درخواست INVITE را به یک تابع کنترل دروازه ارتباط (BGCF) می‌فرستند. با بررسی شماره تلفن، BGCF یا می‌تواند یک تابع کنترل دروازه رسانه در IMS خانگی را پیدا کند یا اگر موبایل در رومینگ باشد، این وظیفه را به یک BGCF در یک IMS ملاقات شونده محول می‌کند. حال MGCF می‌تواند به عنوان یک کاربر عامل SIP مقصد عمل کند و این پیام‌ها می‌توانند مثل سابق جریان پیدا کنند. به علاوه، MGCF دروازه رسانه خودش را پیکربندی می‌کند، پیام SIP INVITE را ترجمه کرده و در داخل یک پیام آدرس‌آغازی ISUP قرار می‌دهد و آن را به یک شبکه مقصد پس از پیام ۱۱ ارسال می‌کند. پس از آن، منتظر یک پیام تکمیل آدرس ISUP قبل از فرستادن پاسخ 180 Ringing می‌ماند و منتظر یک پیام پاسخ ISUP قبل از ارسال پیام نهایی 200 OK می‌ماند.

حال فرض کنیم که تلفن در یک شبکه تلفن سوئیچینگ‌مداری قرار دارد قصد تماس گرفتن با یک کاربر SIP را داشته باشد. شبکه تلفن عمومی با استفاده از شماره‌های گرفته شده پیام آدرس‌آغازین ISUP را مسیریابی می‌کند تا به یک تابع کنترل دروازه رسانه در IMS خانگی مشترک برسد. MGCF این پیام را به یک درخواست INVITE SIP ترجمه کرده و آن را به یک I-CSCF منتقل می‌کند. از این دیدگاه، دنباله پیام‌ها می‌توانند مثل قبل ادامه داشته باشند. با این تفاوت که MGCF به عنوان یک کاربر عامل SIP جایگاه موبایل مبدأ عمل را می‌گیرد.

۲۲-۶-۵ قطع تماس

برای خاتمه یک تماس [۷۲-۷۳]، یکی از تجهیزات یک پیام SIP BYE را می‌فرستد و سایر تجهیزات با یک پیام 200 OK به آن پاسخ می‌دهند. هنگامی که از یک شبکه دسترسی LTE

استفاده می‌شود، CSCF های پروکسی از PCRF های مربوطه آنها می‌خواهند تا جریان‌های داده سرویس را قطع کنند و دروازه‌های PDN یا حامل‌های اختصاصی را اصلاح می‌کنند و یا آنها برمی‌چینند و در این نقطه تماس به پایان می‌رسد.

اگر یک موبایل LTE به خارج از پوشش رادیویی شبکه LTE رفته باشد، در نتیجه ایستگاه پایه به موبایل هشدار می‌دهد، که نمی‌تواند ارتباط طولانی‌تری با موبایل داشته باشد. بنابراین، شروع به اجرای فرایند برچیدن S1 می‌کند که در فصل چهاردهم بیان شد. MME حامل‌ها با نرخ بیت‌های تضمین شده موبایل را برمی‌چیند [۷۳]، که دارای حامل اختصاصی است و برای برقراری تماس صوتی کاربرد داشته است. در ادامه، PCRF به CSCF پروکسی اطلاع می‌دهد که جریان داده سرویس پایان یافته است و CSCF یک درخواست SIP BYE را به منزله پایان تماس می‌فرستد. پس از آن، IMS می‌تواند تمامی منابعی را که در اختیار آن تماس گذاشته بود را آزاد کند و مطمئن شود که دیگر کاربر را شارژ نمی‌کند.

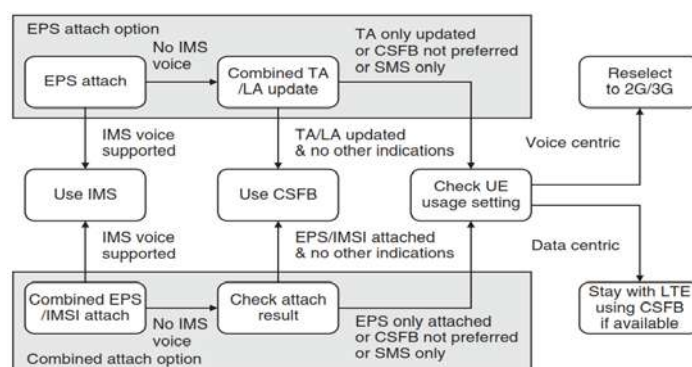
۷-۲۲ انتخاب حوزه دسترسی

۷-۲۲-۱ تماس‌های آغازی از سوی موبایل

تاکنون فرض ما بر این بوده است، که موبایل تنها از صوت بر روی IMS پشتیبانی می‌کند، همچنین اگر موبایل از سوئیچینگ مداری استفاده کند، پس موبایل حوزه دسترسی را برای تماس‌های خروجی انتخاب می‌کند، این کار با استفاده از دو پارامتر انجام می‌دهد: یعنی شاخصی که نشان دهد شبکه از صوت IMS پشتیبانی می‌کند و یک نام حوزه صوتی اولویت‌دار [۷۴-۷۵]. مشخصات VoLTE تأکید دارند که مکانیزم دوم از مکانیزم‌های یاد شده باید در حالت IMS PC/CS (یعنی اولویت اول با صوت سوئیچینگ بسته‌ای و اولویت دوم صوت سوئیچینگ مداری) باشد.

فرایند اتصال به شبکه LTE می‌تواند از دو روش جایگزین بهره ببرد، که آنها را در شکل ۷-۲۲ می‌توان مشاهده کرد. (انتخاب موبایل برای برخورداری از قابلیت SMS، توسط اولویت ناحیه دسترسی خودش تحت تأثیر قرار می‌گیرد، این کار به روشی که در انتهای فصل به آن اشاره می‌شود، صورت می‌گیرد). در اولین روش از روش‌های جایگزین، موبایل به تنهایی به شبکه LTE متصل می‌شود و این کار را با استفاده از فرایند اتصال به شبکه که در فصل یازدهم بیان شد، انجام می‌دهد. اگر شبکه از صوت IMS پشتیبانی می‌کند در این صورت، موبایل طبق آنچه که قبلاً گفته شد، خود را یک شبکه IMS ثبت می‌کند. در غیر این صورت، خود در قالب بازگشت مجدد به

سوئیچینگ مداری (CSFB) با استفاده از به روزرسانی ناحیه ردیابی / حوزه موقعیت مکانی ترکیبی مانند آنچه که در فصل بیست و یکم بیان شد، را ثبت می‌کند. در روش جایگزین دوم، موبایل از ابتدا از فرایند اتصال به شبکه EPS/IMS ترکیبی استفاده می‌کند. خروجی یکسان است، اما اگر شبکه هم از IMS و هم از بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری پشتیبانی کند، در این صورت موبایل در هر دو شبکه IMS و حوزه سوئیچینگ مداری 2G/3G ثبت نام نماید. بر اساس اولویت حوزه صوتی خودش، می‌تواند IMS را برای تماس‌های خروجی خود برگزیند.



شکل ۲۲-۱۴ رفتار موبایلی که اولویت حوزه صوتی آن حوزه صوتی IMS به عنوان اولویت اول و حوزه سوئیچینگ مداری به عنوان اولویت دوم آن می‌باشد.

منبع: TS 23.221 بازنشر با مجوز ETSI

اگر موبایل از ناحیه پوششی شبکه LTE خارج شده و به یک سلول 2G / 3G وارد شود، اپراتور شبکه می‌تواند سرویس‌های صوتی آن را به دو روش به آن پیشنهاد دهد. در یک سلول 3G، تأخیر ممکن است تا حدودی برای روش صوت بر روی HSPA^۱ کم باشد، که در آن، شبکه تماس‌های VoIP را با استفاده از ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای 3G منتقل می‌کند. چنانچه شبکه از این روش استفاده کرده باشد، SGSN پشتیبانی از صوت IMS را در پذیرش به روزرسانی ناحیه مسیریابی خود معین می‌کند و آن را به اطلاع سرور خانگی مشترکین (HSS) می‌رساند. در نتیجه، موبایل می‌تواند به استفاده از IMS در آن شبکه ادامه دهد.

در یک سلول 2G یا یک سلول پایه‌ای 3G تنها گزینه باقی‌مانده، سوئیچینگ مداری سنتی است، بنابراین SGSN پشتیبانی از صوت IMS را ملغی کرده و آن را به اطلاع سرور خانگی مشترکین می‌رساند. پس اگر موبایل تاکنون به یک شبکه 3G/3G متصل نشده باشد، با اجرای

1. Voice Over HSPA

فرایند اتصال به شبکه، به آن شبکه متصل می‌شود و سوئیچینگ مداری را برای تماس‌های صوتی خروجی خودش استفاده می‌کند. مثل قبل، موبایل به طور همزمان هم در یک IMS و هم در یک شبکه سوئیچینگ مداری ثبت‌نام کرده است.

۲۲-۷-۲ تماس‌های منتهی به موبایل

انتخاب حوزه دسترسی برای یک تماس منتهی به یک موبایل از پیچیدگی بیشتری برخوردار است [۷۶-۸۰]. اگر یک تماس ورودی در ناحیه سوئیچینگ مداری قرار داشته باشد، دروازه MSC(GMC) به ناحیه و موقعیت موبایل در سرور خانگی مشترکین نگاه می‌کند. اگر موبایل در ناحیه‌ای باشد، که از صوت IMS پشتیبانی می‌کند، HSS یک MGCF را برمی‌گرداند در غیر این صورت، سرور MSC این کار را انجام می‌دهد. بنابراین، این کار با استفاده از فرایندهای عادی حوزه دسترسی انتخاب شده انجام شود.

اگر یک تماس در IMS برقرار شود، درخواست INVITE ورودی به CSCF سرویس‌دهنده موبایل به روش مرسوم می‌رسد. CSCF سرویس‌دهنده آن در خواست را به یک سرور برنامه کاربردی جدیدی به نام سرور سرویس متمرکز و مداوم (SCC-AS) ' منتقل می‌کند. این سرور فعل و انفعالات بین IMS و حوزه سوئیچینگ مداری را مدیریت می‌کند. SCC-AS از سرور خانگی مشترکین می‌پرسد تا کشف کند که موبایل در چه ناحیه‌ای از شبکه است و از صوت IMS پشتیبانی می‌کند، اگر چنین باشد، پس SCC-AS درخواست INVITE را از طریق IMS به شیوه معمول مسیریابی می‌کند، در غیر این صورت، SCC-AS این درخواست را به تابع کنترل دروازه محلی (BGCF) منتقل می‌کند، تا از طریق آن، درخواست به یک دروازه MSC موبایل در حوزه سوئیچینگ مداری برسد.

انتخاب حوزه دسترسی دو محدودیت دارد: حوزه دسترسی نمی‌تواند یک تماس صوتی خروجی از LTE را به یک حوزه سوئیچینگ مداری 2G/3G انتقال دهد و سرویس‌های مختلفی را از طریق ناحیه سوئیچینگ مداری و IMS به کاربر پیشنهاد کند. ما این محدودیت‌ها را در بخش بعدی بررسی خواهیم کرد.

۸-۲۲ SRVCC

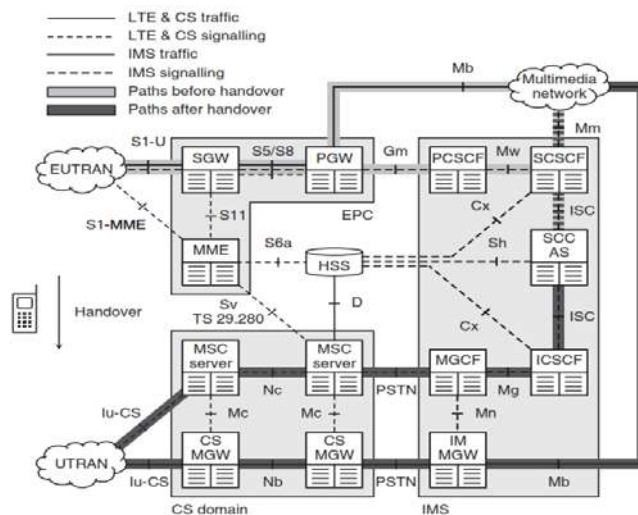
۸-۲۲-۱ مقدمه

اگر شبکه یک موبایل را از یک شبکه LTE به یک سلول 2G/3G در طول یک تماس صوتی دست به دست کند، باید مراحل اضافه‌تری را انجام دهد تا تماسی که در حال انجام است، قطع نشود. شبکه این کار را به دو روش انجام می‌دهد: اگر در شبکه صوت بر HSPA پیاده‌سازی شده باشد، در این صورت، به سادگی می‌تواند موبایل را به یک سلول 3G دست به دست کند. در غیر این صورت، شبکه مجبور است که تماس را از LTE به یک حوزه سوئیچینگ مداری 2G/3G منتقل کند و این کار را با استفاده از روشی به نام تماس صوتی رادیویی پیوسته منفرد (SRVCC) انجام می‌دهد [۸۱-۸۴].

در ادامه این بحث، ما پیاده‌سازی SRVCC بر روی ویرایش اولیه‌ای از نسخه هشتم 3GPP تمرکز خواهیم کرد. SRVCC اجازه می‌دهد تا یک تماس صوتی خروجی از LTE به یک حوزه رومینگ مداری 2G/3G دست به دست شود و یک ضرورت برای شبکه‌های LTE و موبایل‌هایی است که از صوت سوئیچینگ مداری پشتیبانی می‌کنند. پس از آن، ما مروری بر برخی از توسعه‌ها و پیشرفت‌های SRVCC در نسخه‌های بعدی که در VoLTE استفاده از آنها اجباری نیست، می‌پردازیم.

۸-۲۲-۲ معماری SRVCC

شکل ۸-۲۲-۱۵ معماری SRVCC را در نسخه هشتم از مشخصات 3GPP نشان می‌دهد. در اینجا دو ویژگی خیلی مهمی وجود دارند. نخست، حوزه سوئیچینگ مداری دارای یک یا تعداد بیشتری از سرورهای MSC است، که برای پشتیبانی از SRVCC توسعه یافته‌اند و از واسط سیگنالینگ جدیدی به نام Sv پشتیبانی می‌کنند. با استفاده از این واسط، MME می‌تواند موبایل را از LTE به حوزه سوئیچینگ مداری با استفاده از پروتکل‌های سیگنالینگ برپایه GTPv2-C دست به دست کند [۸۵]. موبایل از سوی MSC‌های مختلف کنترل می‌شود. بنابراین اپراتور شبکه مجبور به توسعه همه سرورهای MSC خودش در این زمینه نیست. دوم، IMS این فرایند را با استفاده از سرورهای برنامه کاربردی متمرکز و مداوم (SCC-AS) که ما قبلاً آن را بیان کرده بودیم، مدیریت می‌کند.



شکل ۲۲-۱۵ معماری SRVCC

فرایندهای SRVCC از دو پارامتر مهم استفاده می‌کنند [۸۶]. شماره انتقال نشست رادیویی منفرد (STN-SR)^۱ شماره تلفنی است، که SCC-AS را مشخص می‌کند و به عنوان یک شناسه SIP پیکربندی می‌شود و به عنوان یک شناسه عمومی سرویس^۲ شناخته می‌شود. شماره ISDN مشترک موبایل همبسته (C-MSISDN)^۳ یکی از شماره‌های موجود کاربر می‌باشد، که به طور یکتا با شناسه IMSI و IMPI کاربر آورده می‌شود و کاربر را مشخص می‌کند.

در نسخه هشتم، فرایند دست به دست کردن SRVCC یک حامل صوتی منفرد را اگر یک شبکه LTE به یک حوزه سوئیچینگ مداری 2G/3G دست به دست می‌کند. سایر حامل‌ها از سوئیچینگ بسته‌ای پشتیبانی کنند به سوئیچینگ بسته‌ای منتقل می‌کند و در غیر این صورت، این حامل‌ها برچیده می‌شوند. MME حامل‌های صوتی را با این فرض می‌شناسد که آنها دارای شناسه کلاس کیفیت سرویس یک (QCI 1) هستند، بنابراین PCRF باید QCI یک (۱) را به تنهایی برای حامل‌های صوتی ذخیره کند.

۲۲-۸-۳ فرایندهای اتصال به شبکه، ثبت نام و برقراری تماس

SRVCC نیازمند مراحل آماده‌سازی قبل از شروع دست به دست کردن است. در فرایند اتصال به شبکه، MME شناسه‌های STN-SR و C-MSISDN را از سرور خانگی مشترکین به عنوان بخشی

1. Session Transfer Number Single
2. Public Service Identity
3. Correlation Mobile Subscriber ISDN Number

از داده کاربری مشترکین بازبازی می‌کند و به ایستگاه پایه می‌گوید، که از SRVCC پشتیبانی می‌کند. در فرایند ثبت‌نام IMS، CSCF سرویس‌دهنده پروفایل سرویس SRVCC موبایل را بازبازی می‌کند و موبایل را با یک SCC-AS صحیح ثبت‌نام می‌کند. پس از آن، SCC-AS می‌تواند داده‌های برنامه کاربردی مربوطه بویژه C-C-MSISDN را از HSS بازبازی کند.

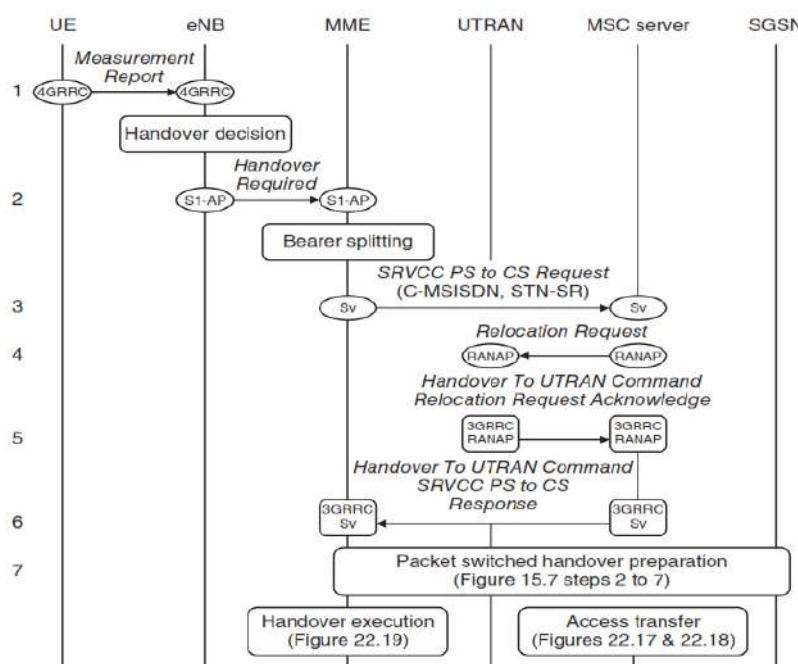
در فرایند برقراری تماس، درخواست INVITE از SCC-AS موبایل تماس گیرنده، با استفاده از مکانیزم‌های مسیریابی معمول به سرورهای برنامه‌های کاربردی می‌رسد. SCC-AS به عنوان یک عامل کاربر پشت به تماس (B2BVA) اقدام کرده و یک درخواست INVITE بخش ثالثی را ایجاد کرده و به شبکه مقصد ارسال می‌کند. این درخواست در SCC-AS مقصد دریافت می‌شود و یک درخواست INVITE دیگری را ایجاد کرده و به موبایل مقصد ارسال می‌کند. پس از آن، فرایند برقراری تماس می‌تواند روش معمول خود را سپری نماید، بجز این که در این مرحله، این فرایند سه دیالوگ جداگانه‌ای دارد، که اولین دیالوگ، بین دستگاه مبدأ و SCC-AS آن، دومی بین دو سرور برنامه کاربردی و سومی نیز بین SCC-AS مقصد و موبایل مقصد است.

۲۲-۸-۴ آماده‌سازی دست به دست کردن

حال مرحله انجام فرایند دست به دست کردن برای SRVCC است [۸۷-۸۸]، این مرحله سه هدف دارد: موبایل را از یک شبکه LTE به یک سلول 2G یا 3G انتقال می‌دهد، یک جریان صوتی یکتا (منفرد) را از یک ناحیه سوئیچینگ بسته‌ای به یک سوئیچینگ مداری منتقل می‌سازد. ترافیک تجهیزات مقصد را از دروازه PDN موبایل به یک دروازه رسانه سوئیچینگ مداری تغییر مسیر می‌دهد. شکل ۲۲-۱۶ اولین مرحله از این فرایند نشان می‌دهد، در این شکل فرض ما بر این است که موبایل در حال تغییر مکان به یک سلول نسل سوم (3G) است و توسط یک سرور MSC که از واسط Sv پشتیبانی می‌کند کنترل خواهد شد.

این فرایند زمانی آغاز می‌شود که موبایل گزارش اندازه‌گیری را که وضعیت و مشخصات سلول هدف را توصیف می‌کند، را برمی‌گرداند و این گزارش با استفاده از رویداد اندازه‌گیری B1 یا B2 انجام می‌شود (۱). ایستگاه پایه موبایلی که یک حامل صوتی با QCI1 دارد را آزاد (قطع) می‌کند. ایستگاه پایه از MME می‌خواهد تا موبایل را به سلول هدف منتقل کند و معین می‌کند که این دست به دست کردن با هدف SRVCC انجام می‌شود (۲).

MME حامل صوتی موبایل را با بررسی QCI آن از دیگری (حامل‌های دیگر) در یک تابعی به نام تقسیم حامل^۱ جداسازی می‌کند. سپس یک سرور MSC مناسب را انتخاب کرده و از آن می‌خواهد تا آن حامل صوتی را با استفاده از یک درخواست SRVCC PS به CS^۲ بپذیرد (۳). در این پیام، MME سلول هدف را تعیین می‌کند و دارای شناسه‌های STN-SR و C-MSISDN موبایل می‌باشد. سرور MSC از کنترل کننده شبکه رادیویی 3G (RNC) می‌خواهد تا آن حامل صوتی را بپذیرد (۴) و جواب RNC دارای یک دستور هنداور 3G به UTRAN است که چگونگی برقراری ارتباط موبایل با سلول هدف را بیان می‌دهد (۵). با دریافت این پاسخ، سرور MSC یک تصدیقی را به MME برمی‌گرداند (۶). در همان لحظه MME یک SGSN مناسب را انتخاب کرده و از آن می‌خواهد تا سایر حامل‌های موبایل را با آماده سازی یک دست به دست کردن به سوئیچینگ بسته‌ای بپذیرد (۷).



شکل ۲۲-۱۶ دست به دست کردن از یک LTE به یک UMTS با استفاده از SRVCC (۱) آماده‌سازی

دست به دست کردن منبع: TS 23.216 بازنشر با مجوز ETSI

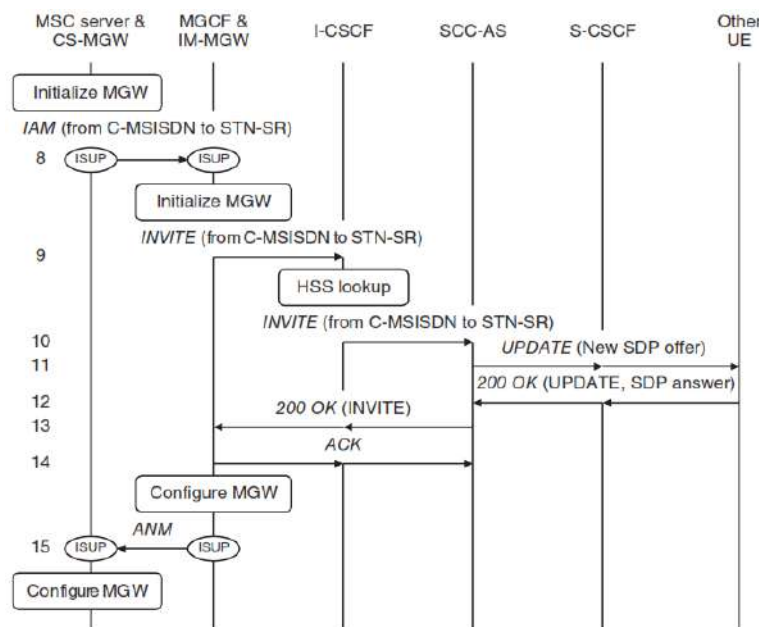
1. SRVCC PS To CS Request
2. Bearer Splitting

۲۲-۸-۵ به روزرسانی بخش راه دور

حال شبکه می‌تواند به صورت موازی دو کار را انجام دهد: یکی تغییر دادن مسیر ترافیک وسیله مقصد و دیگری نیز دست به دست کردن موبایل. شکل ۲۲-۱۷ چگونگی انجام اولین کار را نشان می‌دهد. بعد از باز گرداندن تصدیق به MME، سرور MSC شروع به پیکربندی دروازه رسانه آن می‌کند، و یک پیام آدرس آغازین ISUP را ایجاد می‌کند، که شماره شروع C-MSISDN می‌باشد و شماره پایانی هم STN-SR است (۸). این پیام به تابع کنترل دروازه رسانه در IMS ارسال می‌شود، STN-SR فقط در آن شبکه ثبت شده است.

MGCF دروازه رسانه خودش را پیکربندی می‌کند و پیام‌های دریافتی را به درخواست INVITE پروتکل SIP تبدیل می‌کند (۹)، که در این پیام MGCF دستگاه‌های مبدأ و مقصد را با استفاده از Tel URL هایی که دارای C-MSISDN و STN-SR است، را مشخص می‌کند و مسیر ترافیک را نیز استفاده از آدرس IP دروازه رسانه تعیین می‌نماید. پس از آن، MGCF آن درخواست را به I-CSCF ارسال می‌کند، که به STR-SR در سرور خانگی مشترکین نگاه کند و آن درخواست را به SCC-AC مربوطه بفرستد (۱۰).

SCC-AS هم C-MSISDN را بررسی کرده و فرایند برقراری تماس قبلی را به یاد می‌آورد و متوجه می‌شود، که موبایل در حال انجام یک تماس خروجی می‌باشد. (اگر در اینجا بیش از یک تماس در حال انجام باشد، آخرین تماس ممکن را انتخاب می‌کند). SCC-AC در اینجا به عنوان یک عامل کاربر پشت به تماس (B2BUA) عمل کرده و یک درخواست به روزرسانی (SIP UPDATE) SIP را با یک پیشنهاد SDP الحاقی می‌سازد، که به دستگاه مقصد می‌گوید تا مسیر ترافیک آن را به دروازه رسانه تغییر دهد و پس از آن، SCC-AS می‌تواند این درخواست به CSCF سرویس دهنده موبایل بفرستد تا این پیام را به مقصد انتقال دهد (۱۱). دستگاه مقصد مسیر ترافیک آن را به گونه‌ای که درخواست داده بود، تغییر جهت می‌دهد و به آن پاسخ را برمی‌گرداند (۱۲).



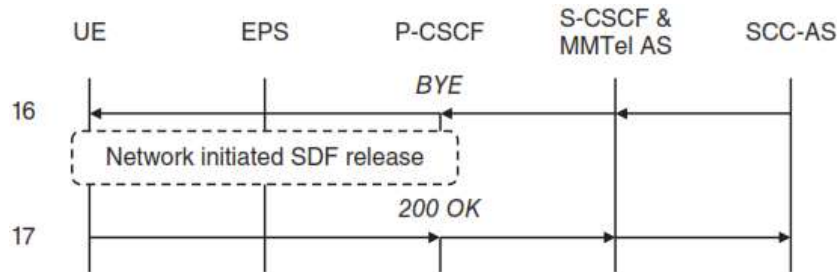
شکل ۲۲-۱۷ دست به دست کردن از LTE به UMTS با استفاده از SRVCC. (۲) انتقال دسترسی و به

روزرسانی بخش راه دور منبع: TS 23.237 بازنشر با مجوز ETSI

پس از آن، SCC-AS می‌تواند یک پاسخ 200 OK را به پیام INVITE اولیه ارسال کند (۳) که آغاز کننده یک درخواست ACK پروتکل SIP معمولی می‌باشد (۱۴). در همین زمان، MGCF با استفاده از پیام جواب ISUP به سرور MSC پاسخ دهد (۱۵) و دو دستگاه پیکربندی دروازه‌های رسانه خودشان را به انتها می‌رسانند.

۲۲-۸-۶ آزادسازی بخش مبدأ

حال تماس توسط ناحیه سوئیچینگ مداری تحت کنترل می‌باشد، بنابراین SCC-AS می‌تواند منابع سمت IMS را آزاد کند. شکل ۲۲-۱۸ مراحل که مورد نیاز است را نشان می‌دهد. برای آغاز این فرایند، SCC-AS یک پیام درخواست SIP BYE را می‌سازد و آن را از طریق CSCF های سرویس دهنده و پروکسی به موبایل ارسال می‌کند (۱۶). اگر جریان داده به عنوان بخشی از فرایند دست به دست کردن، هنوز قطع نشده باشد، در نتیجه CSCF پروکسی از PCRF می‌خواهد تا آن را آزاد کند و PCRF شروع به آزادسازی آن حامل اختصاصی می‌کند و پس از آنکه موبایل جواب داد (۱۷) وظایف IMS به اتمام می‌رسد.

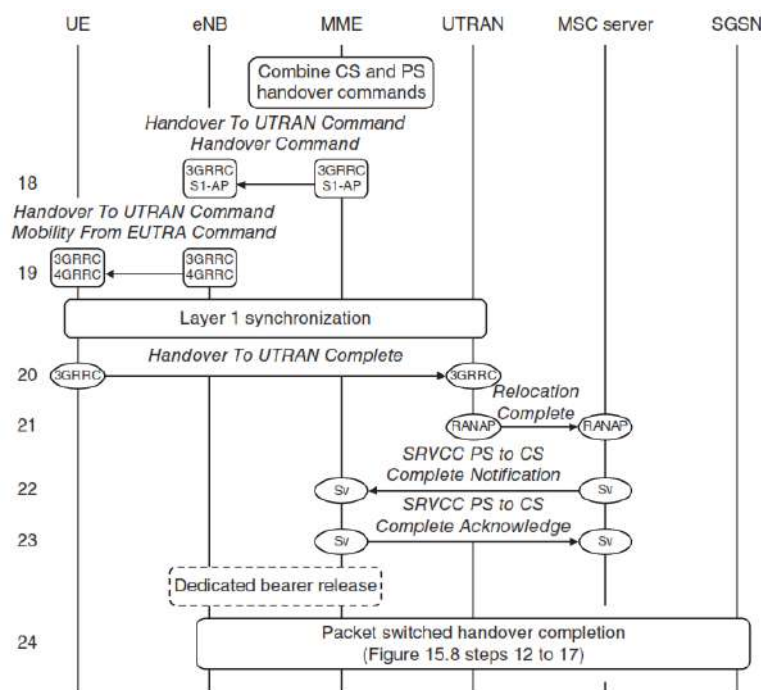


شکل ۲۲-۱۸ دست به دست کردن از LTE به UMTS با استفاده از SRVCC. (۳) آزادسازی دسترسی بخش مبدأ

۲۲-۸-۷ اجرا و اتمام دست به دست کردن

همزمان با پیام‌های قبل IMS، MME می‌تواند موبایل را به یک سلول هدف انتقال دهد، که شکل ۲۲-۱۹ نشان داده شده است. MME منتظر SGSN می‌ماند و سرور MSC در مراحل شش و هفت پاسخ می‌دهد و جواب آنها را در یک دستور دست به دست کردن از 3G به UTRAN مخلوط می‌کند. پس از آن، به ایستگاه پایه دستور می‌دهد تا موبایل را به سلول هدف منتقل کند و ایستگاه پایه نیز این دستورالعمل را به موبایل منتقل می‌کند (۱۸ و ۱۹). موبایل پیام 3G ضمیمه شده را بازگشایی کرده با سلول هدف همزمان‌سازی می‌کند و با کنترل کننده رادیویی (RNC) آن تماس می‌گیرد (۲۰). RNC به سرور MSC اطلاع می‌دهد که فرایند دست به دست کردن به اتمام رسیده است (۲۱) و سرور MSC آن را به MME نیز اطلاع می‌دهد (۲۲ و ۲۳). چنانچه هنوز دروازه PDN حامل صوتی موبایل را قطع نکرده باشد، MME آن را بر می‌چیند. در نتیجه، تمامی تماس‌های صوتی باقی‌مانده برچیده می‌شوند. در همین لحظه شبکه می‌تواند مراحل عادی برای یک دست به دست کردن سوئیچینگ بسته‌ای را به پایان برساند (۲۴).

در پایان این فرایند، شبکه یکی از تماس‌های صوتی موبایل را از LTE به حوزه سوئیچینگ مداری 3G دست به دست کرده است. موبایل حامل‌های غیر GBR خود شامل حامل IMS پیش‌فرض، که پیام‌های سیگنالینگ SIP را حمل می‌کند، را حفظ می‌نماید. اما این پیام‌ها از تماس‌های صوتی جداسازی شده‌اند و برای کنترل آن به کار گرفته نمی‌شوند؛ بجای آن، موبایل تا وقتی که تماس به پایان برسد، در شبکه دسترسی 2G/3G می‌ماند، حتی اگر به ناحیه پوششی LTE وارد شده باشد. اگر موبایل به یک سلول 2G هندور کرده باشد و در آنجا پشتیبانی برای حالت انتقال دوگانه وجود نداشته باشد، در این صورت حامل‌های غیر GBR معلق می‌شوند اما تأثیر آن روی تماس یکسان است.



شکل ۲۲-۱۹ دست به دست کردن از LTE به UMTS با استفاده از SRVCC. (۴) اجرا و اتمام دست به دست کردن منبع: TS 23.216 بازنشر با مجوز ETSI

۲۲-۸-۸ سیر تکامل SRVCC

از زمان معرفی SRVCC چندین بهبود روی آن اتفاق افتاده است. جدای پشتیبانی از تماس‌های اضطراری که بعداً پوشش می‌دهیم، هیچکدام از آنها توسط VoLTE اجباری نشده است، در نتیجه ما تنها آنها را بررسی کوتاهی می‌کنیم.

در فرایند SRVCC که ما قبلاً آن را بررسی کردیم، MME قادر بود که موبایل را قبل از تکمیل سیگنالینگ IMS دست به دست کند، به دلیل همین ویژگی، SRVCC نباید تأخیر بین گزارش اندازه‌گیری و دستور دست به دست کردن را افزایش دهد. در نتیجه، دست به دست کردن با استفاده از SRVCC نباید احتمال از دست رفتن تماس را افزایش دهد، با این حال، این عملیات می‌تواند شکاف بین ارتباطات صوتی را باعث شود، چرا که زمانی نیاز است تا IMS بتواند با وسیله مقصد تماس برقرار کند. این شکاف بویژه زمانی افزایش پیدا می‌کند که موبایل در رومینگ باشد، چرا که SCC-AS در شبکه خانگی موبایل قرار گرفته است.

برای حل این مشکل، مشخصات نسخه دهم به SCC-AS اجازه می‌دهد تا عملیات دست به دست کردن را به دو تابع جدید در IMS ملاقات شونده محول کند. این دو تابع، تابع کنترل انتقال دسترسی (ATCF)^۱ برای سیگنالینگ و دروازه انتقال دسترسی (ATGW)^۲ برای ترافیک می‌باشند [۸۹]. در طول فرایند ثبت‌نام، IMS تابع کنترل انتقال دسترسی از یک STN-SR خودش را انتخاب می‌کند و آن را به SCC-AS شبکه خانگی انتقال می‌دهد. در نتیجه SCC-AS می‌تواند سرور خانگی مشترکین (HSS) را از STN-SR جدید مطلع سازد و سرور خانگی مشترکین نیز می‌تواند MME را آگاه بسازد. در طول فرایند برقراری تماس تابع کنترل انتقال دسترسی، دروازه انتقال دسترسی را از ابتدا در داخل مسیر ترافیک وارد می‌کند. در طول دست به دست کردن MME، STN-SR جدید را جایگزین قبلی آن کرده و آن را به کار می‌برد، بنابراین پیام INVITE به جای ورود به تابع کنترل انتقال دسترسی (ATCF) به STN-SR جدید می‌رود. به جای پیام‌های مراحل یازده و دوازده تابع کنترل انتقال دسترسی (ATCF) به طور ساده‌ای مسیر ترافیک محلی را به دروازه انتقال دسترسی تغییر داده و نیازی به برقراری تماس با دستگاه مقصد را به طور کامل از بین می‌برد.

علاوه براین، نسخه هشت از یک روشی به نام تماس‌های صوتی رادیویی دوگانه پیوسته (DRVCC)^۳ پشتیبانی می‌کند. در این روش موبایل با سرور MSC به جای پیام ۳ روی شبکه دسترسی رادیویی مقصد تماس می‌گیرد، در نتیجه واسطه Sv مورد نیاز نمی‌باشد. این روش برای دست به دست کردن بین یک شبکه دسترسی محلی بی‌سیم و یک شبکه 2G/3G یا بین LTE و cdma2000 مناسب می‌باشد. نسخه یازده اجازه می‌دهد تا یک موبایل برای دست به دست کردن یک تماس ویدیویی از روشی به نام تماس ویدیویی رادیویی پیوسته (VSRVCC)^۴ استفاده کند. سایر بهبودهای انجام یافته روی SRVCC همگی نیازمند سرویس‌های متمرکز IMS هستند، که در بخش بعدی بیان خواهد شد. این بهبودها شامل دست به دست کردن در فاز هشدار برای تماس صوتی (نسخه ده)، پیش ذخیره سرویس‌های تکمیلی در حین تماس مثل تماس‌های کنفرانسی (نسخه ده) و قابلیت دست به دست کردن و باز گرداندن موبایل به سلول LTE قبل از پایان تماس (نسخه یازده) از قابلیت‌های یاد شده هستند.

-
1. Access Transfer Control Function
 2. Access Transfer Gateway
 3. Dual Radio Voice Call Continuity
 4. Single Radio Video Call Continuity

۹-۲۲ سرویس‌های متمرکز IMS

با استفاده از سرویس‌های متمرکز *IMS* (ICS) ^۱ [۹۰-۹۱]، یک موبایل می‌تواند از طریق یک شبکه دسترسی سوئیچینگ مداری به یک IMS برسد. در نتیجه موبایل همان مجموعه سرویس‌های IMS را در بسر یک سلول 2G یا 3G از طریق LTE دریافت می‌کند.

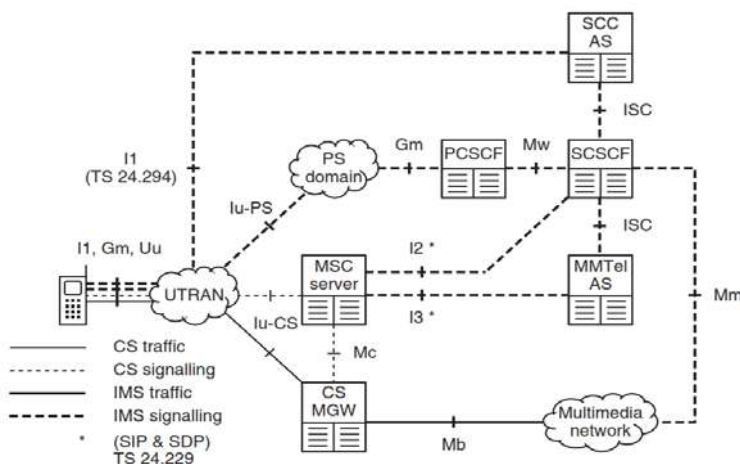
ICS یک بخش جدایی‌ناپذیر از سرویس‌های ارتباطی غنی (RCS) است، که ما قبلاً آن را بیان کرده بودیم و وجود آن در VoLTE ضروری نیست، بنابراین ما تنها آن را مرور می‌کنیم.

شکل ۲۰-۲۲ معماری ICS را نشان می‌دهد. این ارتباطات به وسیله سرور برنامه‌های کاربردی یکپارچه متمرکز و پیوسته مدیریت می‌شود، که قبلاً آن را معرفی کرده بودیم و به عنوان سه گزینه اختیاری به جای سرور برنامه‌های کاربردی یکپارچه متمرکز و پیوسته (SCC-AS) برای سیگنالینگ کنترل سرویس ^۲ به کار می‌رود. در اولین گزینه، موبایل توسط یک سرور MSC کنترل می‌شود که از دو واسط جدید I2 و I3 پشتیبانی می‌کند. با استفاده از این واسط‌ها، سرور MSC پیام‌های سیگنالینگ سوئیچینگ مداری موبایل را به پیام‌های متناظر در SIP و SDP تبدیل می‌کند، در نتیجه موبایل می‌تواند در یک CSCF سرویس دهنده ثبت‌نام کرده و به سرویس‌های مکمل مثل سرور برنامه کاربردی چند رسانه‌ای دسترسی داشته باشد.

در گزینه دوم، موبایل خود برای پشتیبانی از سرویس‌های متمرکز IMS بهبود یافته‌است و می‌تواند از طریق IMS به هسته یک شبکه سوئیچینگ بسته‌ای دسترسی پیدا کند. در این گزینه، موبایل به طور معمول با IMS ارتباط برقرار می‌کند و این کار را با توسعه و بهبود موبایل برای پیام‌های سیگنالینگ SIP و سوئیچینگ مداری رسانه امکان‌پذیر می‌کند.

در سومین گزینه، موبایل برای پشتیبانی از CS مثل قبل بهبود یافته است، اما به سوئیچینگ بسته‌ای از طریق IMS دسترسی ندارد. در این گزینه موبایل با یک SCC-AS از طریق یک واسطه جدید به نام I1 ارتباط برقرار می‌کند. این واسط پروتکل سیگنالینگ باینری را حمل می‌کند [۹۲]، که پیام‌ها در آن بر روی شبکه هسته سوئیچینگ بسته‌ای منتقل می‌شوند. این کار به روش معمولی، پیام‌ها در داخل یک داده سرویس مکمل بدون ساختار (USSD) ^۳ ضمیمه کرده منتقل می‌شود.

-
1. IMS Centralized Services
 2. Service Control Signaling
 3. Unstructured Supplementary Service Data



شکل ۲۰-۲۲ معماری سرویس‌های متمرکز IMS

منبع: TS 23.292 بازنشر با مجوز ETSI

۱۰-۲۲ تماس‌های اضطراری IMS

۱-۱۰-۲۲ معماری تماس اضطراری

تماس‌های اضطراری نیازمندی‌های متفاوت‌تری از تماس‌های عادی دارند. این تفاوت برای این است که این تماس‌ها بتواند در شرایطی که موبایل از نظر وضعیت سرویس دارای محدودیت است، از سرویس‌های اضطراری پشتیبانی کند و بتواند موقعیت موبایل را اندازه‌گیری نماید. IMS از نسخه نهم به بعد از تماس‌های اضطراری پشتیبانی می‌کند [۹۳]. به طوری که پشتیبانی از این سرویس‌ها برای VoLTE اجباری شد است. شکل ۲۱-۲۲ معماری به کار رفته برای آن را نشان می‌دهد.

هسته بسته تکامل یافته (EPC) یک نام نقطه دسترسی جداگانه‌ای را برای تماس‌های اضطراری تخصیص داده است. ویژگی‌های VoLTE هیچگونه APN خاصی را برای آن از پیش تعیین نکرده‌اند، اما نام SOS را برای آن پیشنهاد کرده است. اولین نقطه تماس موبایل با IMS، CSCF پروکسی است، اما این روند می‌تواند متفاوت‌تر از آن چیزی باشد، که برای تماس‌های صوتی معمولی استفاده می‌شود. تماس‌های اضطراری به وسیله یک CSCF/اضطراری^۱ در شبکه ملاقات شونده برقرار می‌شود و این تماس به یک نقطه پاسخ‌گویی است عمومی (PSAP)^۲

1. Emergency CSCF

2. Public Safety Answering Point

یک مسئله پیچیده در اینجا وجود دارد آن این است، که موبایل باید ثبت‌نام با یک CSF سرویس‌دهنده در شبکه خانگی خود را برای تماس‌های اضطراری انجام دهد، که این ثبت‌نام فارغ از ثبت‌نام معمول در IMS است. این کار به این دلیل است، که شبکه مطمئن شود تا موبایل می‌تواند در صورت نیاز یک تماس را از نقطه پاسخ‌گویی است عمومی دریافت کرده و پاسخ دهد.

Figure 1 illustrates the network architecture for VoLTE. The diagram shows a mobile phone connected to a "Visited EPS" cloud. The cloud is connected to a "Visited IMS" block, which contains several components: PCSCF, ECSCF, EATF, LRF, and PSAP. The "Home IMS" block contains SCSCF. Connections are labeled with interfaces: Gm, Mb, Mw, Mm, Ml, and Le. A legend indicates that solid lines represent LTE traffic, dashed lines represent LTE signalling, thick solid lines represent IMS traffic, and thick dashed lines represent IMS signalling (SIP & SDP) according to TS 24.229. An "Emergency APN" label points to the connection between the mobile phone and the Visited EPS.

منبع: TS 23.167 بازنشر با مجوز ETSI

1. Location Retrieval Function
2. Emergency Access Transfer Function

۲۲-۱۰-۲۲ فرایند برقراری تماس اضطراری

شکل ۲۲-۲۲ خلاصه‌ای از فرایند برقراری تماس‌های اضطراری را نشان می‌دهد. در طول فرایند اتصال به شبکه معمولی، MME به موبایل می‌گوید تا از تماس‌های اضطراری پشتیبانی می‌کند و می‌تواند موبایل را برای لیستی از تماس‌های اضطراری پشتیبانی نماید و این لیست را به موبایل ارائه می‌دهد. اگر IMS از تماس‌های اضطراری پشتیبانی نکند، موبایل بازگشت مجدد به سوئیچینگ مداری را جایگزین آن خواهد کرد. پس از آن، موبایل در یک IMS به شیوه معمول ثبت‌نام می‌کند (۱).

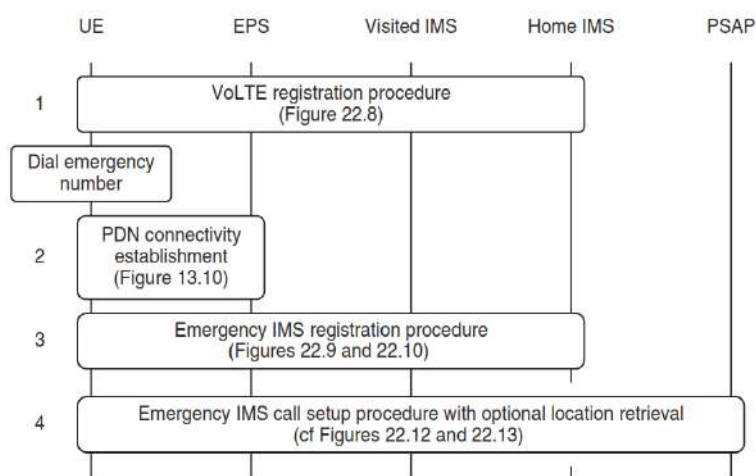
پس از آن، کاربر یک تماس اضطراری را شماره‌گیری می‌کند، موبایل با استفاده از یک لیست استاندارد یا هر لیستی که از MME برای شماره‌های اضطراری دریافت کرده است، آن تماس اضطراری را تشخیص می‌دهد و در پاسخ موبایل فرایند ارتباط PDN را اجرا می‌کند که در فصل سیزدهم بیان شد (۲). موبایل هیچگونه نام نقطه دسترس را مشخص نمی‌کند؛ در عوض، شرایط اضطراری را با استفاده از یک عنصر اطلاعاتی به نام نوع درخواست^۱ مشخص می‌سازد. شبکه آدرس IP جدیدی را به موبایل اختصاص می‌دهند. یک حامل با اولویت بالاتر را برای APN اضطراری دایر می‌کند و این آدرس IP را به عنوان آدرس CSCF پروکسی تامین می‌کند. پس از آن، موبایل در یک CSCF سرویس‌دهنده در شبکه خانگی خود ثبت نام می‌کند (۳)، اما مشخص می‌کند که این ثبت نام جداگانه‌ای برای ثبت نام تماس‌های اضطراری می‌باشد، این کار را با درج یک برچسب SOS در دنباله سرآیند Contact: خود بیان می‌کند. موبایل با استفاده از یک SIP URL ثبت نام می‌کند، اما باید آن را از یک مجموعه ثبت نام الزامی انتخاب کند، که دارای یک Tel URI می‌باشد تا تضمین کند که بعد از این فرایند موبایل می‌تواند هر تماسی را از شبکه تلفن عمومی دریافت می‌کند.

هنگامی که این مراحل به پایان رسید. موبایل می‌تواند یک تماس اضطراری برقرار کند (۴). برای انجام آن، یک درخواست INVITE پروتکل SIP را به شیوه مرسوم ایجاد می‌کند، بعضی از اطلاعات ابتدایی از موقعیت خود را با استفاده از شناسه جهانی سلول E-UTRAN تهیه کرده و این درخواست را به یک URI اضطراری ارسال می‌کند. CSCF پروکسی آن URI اضطراری را تشخیص داده و آن درخواست را به CSCF اضطراری ارسال می‌کند. CSCF اضطراری تابع انتقال دسترسی اضطراری را در مسیر سیگنالینگ قرار می‌دهد و همچنین می‌تواند از تابع بازیابی موقعیت

1. Emergency Access Transfer Function

بخواهد تا جزئیات بیشتری از موقعیت موبایل را در اختیار آن قرار دهد. پس از آن، E-CSCF این داده موقعیتی را برای انتخاب یک نقطه پاسخگویی امن عمومی به کار می‌برد و پیام INVITE را به آنجا انتقال می‌دهد. حال فرایند مسیریابی تماس اضطراری می‌تواند مثل قبل تکمیل شود.

حال اگر موبایل در شبکه‌ای قرار داشته باشد که آن شبکه قرار داد رومینگ با اپراتور شبکه خانگی موبایل نداشته باشد یا موبایل یک UICC نصب شده نداشته باشد، در نتیجه موبایل در آن سلول با یک وضعیت سرویس محدود قرار می‌گیرد (کمپ می‌زند). در این شرایط، موبایل مرحله ۱ را لغو می‌کند و فرایند اتصال به شبکه را بجای مرحله ۲ که در فصل یازدهم بیان شد، اجرا می‌کند و نوع اتصال به شبکه را یک ارتباط اضطراری EPS قرار می‌دهد. MME این فرایند اتصال به شبکه را مثل روش‌های معمول تکمیل می‌کند. اما موبایل را تصدیق هویت نمی‌کند و الگوریتم‌های حفاظت از جامعیت عادی را برای تنها اهداف تماس‌های اضطراری خاموش می‌کند. مرحله سوم حذف می‌شود. بنابراین کاربر نمی‌تواند پس از آن تماس برگشتی را بگیرد. در غیر این صورت فرایند برقراری تماس به صورتی که نشان داده شده است، ادامه می‌یابد.



شکل ۲۲-۲۲ فرایند آغاز یک تماس اضطراری

منبع: TS 23.167 بازنشر با مجوز ETSI

۲۲-۱۱ تحویل پیام‌های SMS بر روی IMS

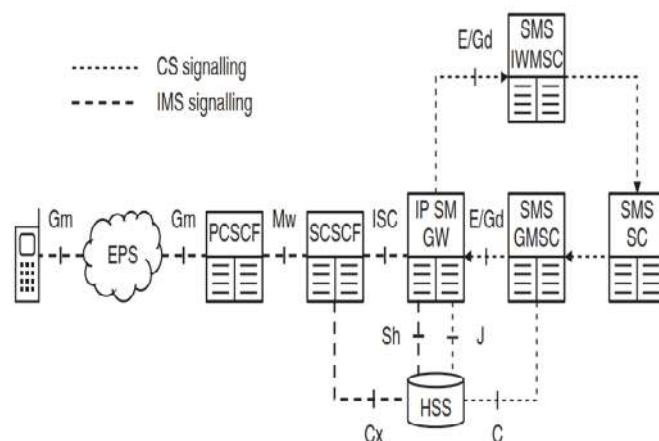
۲۲-۱۱-۱ معماری SMS

زیر سیستم چند رسانه‌ای IP با استفاده از معماری که در شکل ۲۲-۲۳ نشان داده شده است، می‌تواند SMS را تحویل دهد [۹۷-۹۸]. همانگونه که در شکل نشان داده شده است، در این معماری از SMS بر روی بسته IP^۱ استفاده شده است. مهم‌ترین عنصر این معماری دروازه پیام کوتاه IP-SM-GW^۲ است، که به عنوان یک سرور برنامه کاربردی به سمت شبکه IMS عمل می‌کند و به عنوان یک سرور MSC یا SGSN به سمت ارتباطات داخلی SMS یا دروازه‌های MSC رفتار می‌کند. IP-SM-GW برای یک موبایل VoLTE ضروری است تا از SMS بر بستر IP پشتیبانی کند، اما شبکه مجبور است یا از SMS بر روی IP یا از SMS بر SGS پشتیبانی کند. در طول فرایند ثبت‌نام، موبایل پشتیبانی خودش از سرویس SMS را از طریق قرار دادن برچسب خصوصیات رسانه g.3gpp.smsip در پیام درخواست REGISTER خود مشخص می‌کند. CSCF سرویس دهنده موبایل را در یک دروازه پیام کوتاه IP ثبت می‌کند، که به سرور خانگی مشترکین اطلاع می‌دهد تا پیام‌های کوتاهی که از سوی موبایل خواهد رسید را قبول کند. پس از آن، IMS می‌تواند یک پیام SMS را بین موبایل و IP-SM-GW با ضمیمه کردن آن در یک درخواست SIP MESSAGE منتقل کند، این کار را با روشی شبیه به آنچه که در اطلاعات SDP ضمیمه شده قبلاً دیده بودیم، انجام می‌دهد. فرایندهایی که برای SMS بر روی SGS هستند، تا حدودی شبیه فرایندهای موجود در ارسال SMS بر روی بستر SGS می‌باشند، بنابراین ما آنها را بیشتر بحث نخواهیم کرد.

IMS همچنین می‌تواند دو نوع دیگری از پیام‌ها را پشتیبانی کند [۹۹]. با استفاده از پیام‌رسانی روش فراخوانی IMS^۳ می‌تواند یک پیام را با ضمیمه کردن آن در یک درخواست SIP MESSAGE ارسال کند و آن را قبل از انتقال به کاربر مقصد، ذخیره کند. این روش شبیه به SMS است، اما پروتکل‌های SMS یا تجهیزات SMS سنتی موجود در شکل ۲۲-۲۳ را به کار نمی‌برد. IMS با استفاده از پیام‌رسانی روش نشست^۴ IMS، نشستی را بین تجهیزات ثبت شده برقرار می‌کند.

-
1. IP Short Message Gateway
 2. SMS Over IP
 3. Page Mode Messaging
 4. Session Mode Messaging

پس از آن، این پیام را به پلان کاربردی IMS منتقل کرده و با استفاده از پروتکل بازپخش نشست پیام (MSRP)^۱ پیام را ارسال می‌کند. هیچکدام از این روشها در VoLTE استفاده نمی‌شود.



شکل ۲۲-۲۳ معماری به کار رفته برای تحویل پیام‌های SMS بر روی IMS

منبع: TS 23.204 باز نشر با مجوز ETSI

۲۲-۱۱-۲۲ انتخاب حوزه دسترسی

توابع انتخاب حوزه دسترسی برای SMS شبیه تماس‌های صوتی هستند، اما وابسته به همدیگر هستند. موبایل حوزه دسترسی را برای پیام‌هایی که منشأ ارسال آنها یک موبایل می‌باشد، را با استفاده از پارامتری به نام شناسه SMS بر روی شبکه‌های IP^۲ انتخاب می‌کند و این شناسه توسط تجهیزات موبایل ذخیره می‌شوند، که توسط یک سرور مدیریت تجهیزات به روزرسانی می‌شود [۱۰۰]. انتخاب حوزه دسترسی بر روی اتصال به شبکه که در شکل ۲۲-۱۴ دیدیم، تأثیر می‌گذارد. اگر موبایل برای استفاده از SMS بر روی IP پیکربندی شده باشد، تنها می‌تواند یک فراخوانی به EPS را انجام دهد، اما باید یک اتصال به شبکه ترکیبی EPS/IMSI را قبل از استفاده از SMS بر روی SGs را اجرا کند.

دروازه پیام‌های کوتاه IP از یک لیست اولویت‌بندی شده از نواحی دسترسی برای SMS‌هایی که به موبایل می‌شوند را نگه داری می‌کند [۱۰۱]. اگر SMS دارای بالاترین اولویت باشد، این دروازه در ابتدا سعی می‌کند پیام‌هایی که به موبایل خاتمه می‌شوند را به شبکه تحویل

1. Message session relay protocol

2. SMS Over IP Networks Indication

دهد. در صورتی که این فرایند شکست بخورد، دروازه از سرور خانگی مشترکین می‌خواهد تا یک سرور MSC یا SGSN را پیدا کند تا موبایل در آنجا ثبت‌نام شده است و از طریق حوزه سوئیچینگ مداری یا بسته‌ی 2G یا 3G آن پیام را تحویل می‌دهد.

منابع و مآخذ این فصل

1. Camarillo, G. and Garcia-Martin, M.-A. (2008) *The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular Worlds*, 3rd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
2. Noldus, R., Olsson, U., Mulligan, C. et al. (2011) *IMS Application Developer's Handbook: Creating and Deploying Innovative IMS Applications*, Academic Press.
3. Poikselk, M., Holma, H., Hongisto, J. et al. (2012) *Voice over LTE (VoLTE)*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
4. 3GPP TS 23.218 (2013) *IP Multimedia (IM) Session Handling; IM Call Model; Stage 2*, Release 11, June 2013.
5. 3GPP TS 23.228 (2013) *IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2*, Release 11, September 2013.
6. 3GPP TS 24.228 (2006) *Signalling Flows for the IP Multimedia Call Control Based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3*, Release 5, October 2006.
7. GSM Association (2013) *GSMA VoLTE Initiative*, <http://www.gsma.com/technicalprojects/volte> (accessed 15 October 2013).
8. GSM Association IR.92 (2013) *IMS Profile for Voice and SMS, Version 7.1*, September 2013.
9. GSM Association IR.88 (2013) *LTE and EPC Roaming Guidelines, Version 10.0*, July 2013.
10. GSM Association IR.65 (2013) *IMS Roaming and Interworking Guidelines, Version 12.0*, February 2013.

11. GSM Association (2013) Rich Communications, <http://www.gsma.com/rcs/> (accessed 15 October 2013).
12. GSM Association RCC.07 (2013) Rich Communication Suite 5.1 Advanced Communications Services and Client Specification, Version 3.0, September 2013.
13. GSM Association IR.90 (2013) RCS Interworking Guidelines, Version 5.0, May 2013.
14. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Section 4, September 2013.
15. 3GPP TS 23.002 (2013) Network Architecture, Release 11, Sections 4a.7, 5.5, 6a.7, June 2013.
16. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Annexes E, L, N, September 2013.
17. 3GPP TS 24.229 (2013) IP Multimedia Call Control Protocol Based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3, Release 11, Annexes B, D, E, H, L, M, O, Q, R, S, September 2013.
18. 3GPP TS 23.003 (2013) Numbering, Addressing and Identification, Release 11, Section 13, September 2013.
19. 3GPP TS 31.103 (2012) Characteristics of the IP Multimedia Services Identity Module (ISIM) Application, Release 11, December 2012.
20. IETF RFC 3986 (2005) Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax, January 2005.
21. IETF RFC 3966 (2004) The tel URI for Telephone Numbers, December 2004.
22. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Section 5.2.1a, September 2013.
23. GSM Association IR.65 (2013) IMS Roaming and Interworking Guidelines, Version 12.0, Section 2, February 2013.
24. GSM Association IR.34 (2013) Guidelines for IPX Provider Networks, Version 9.1, May 2013.

25. 3GPP TS 29.162 (2012) Interworking between the IM CN Subsystem and IP Networks, Release 11, December 2012.
26. 3GPP TS 29.165 (2013) Inter-IMS Network to Network Interface (NNI), Release 11, September 2013.
27. 3GPP TS 33.203 (2012) Access Security for IP-Based Services, Release 11, June 2012.
28. 3GPP TS 32.240 (2013) Charging Architecture and Principles, Release 11, March 2013.
29. 3GPP TS 32.260 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Charging, Release 11, September 2013.
30. IETF RFC 3261 (2002) SIP: Session Initiation Protocol, June 2002.
31. IETF RFC 3455 (2003) Private Header (P-Header) Extensions to the Session Initiation Protocol (SIP) for the 3rd-Generation Partnership Project (3GPP), January 2003.
32. 3GPP TS 24.229 (2013) IP Multimedia Call Control Protocol Based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3, Release 11, September 2013.
33. IETF RFC 4566 (2006) SDP: Session Description Protocol, July 2006.
34. IETF RFC 3264 (2002) An Offer/Answer Model with the Session Description Protocol (SDP), June 2002.
35. IETF RFC 4825 (2007) The Extensible Markup Language (XML) Configuration Access Protocol (XCAP), May 2007.
36. 3GPP TS 24.623 (2012) Extensible Markup Language (XML) Configuration Access Protocol (XCAP) over the Ut Interface for Manipulating Supplementary Services, Release 11, December 2012.
37. 3GPP TS 29.228 (2013) IP Multimedia (IM) Subsystem Cx and Dx Interfaces; Signalling Flows and Message Contents, Release 11, September 2013.

38. 3GPP TS 29.229 (2013) Cx and Dx Interfaces Based on the Diameter Protocol; Protocol Details, Release 11, June 2013.
39. 3GPP TS 29.328 (2013) IP Multimedia (IM) Subsystem Sh Interface; Signalling Flows and Message Contents, Release 11, September 2013.
40. 3GPP TS 29.329 (2013) Sh Interface Based on the Diameter Protocol; Protocol Details, Release 11, June 2013.
41. ITU-T Recommendation H.248.1 (2013) Gateway Control Protocol: Version 3.
42. 3GPP TS 29.228 (2013) IP Multimedia (IM) Subsystem Cx and Dx interfaces; Signalling Flows and Message Contents, Release 11, Annex B, September 2013.
43. IETF RFC 3840 (2004) Indicating User Agent Capabilities in the Session Initiation Protocol (SIP), August 2004.
44. Internet Assigned Numbers Authority (2013) Media Feature Tags, <https://www.iana.org/assignments/media-feature-tags/media-feature-tags.xhtml> (accessed 15 October 2013).
45. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Section 4.13, September 2013.
46. 3rd Generation Partnership Project (2013) Uniform Resource Identifier (URI) List, <http://www.3gpp.org/Uniform-Resource-Name-URN-list> (accessed 15 October 2013).
47. 3GPP TS 26.114 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Multimedia Telephony; Media Handling and Interaction, Release 11, September 2013.
48. 3GPP TS 24.173 (2013) IMS Multimedia Telephony Communication Service and Supplementary Services; Stage 3, Release 11, March 2013.
49. 3GPP TS 26.071 (2012) AMR Speech CODEC; General Description, Release 11, September 2012.
50. 3GPP TS 26.171 (2012) Adaptive Multi-Rate – Wideband (AMR-WB) Speech Codec; General Description, Release 11, September 2012.

51. IETF RFC 3550 (2003) RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, July 2003.
52. IETF RFC 3551 (2003) RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control, July 2003.
53. IETF RFC 4867 (2007) RTP Payload Format and File Storage Format for the Adaptive Multi-Rate (AMR) and Adaptive Multi-Rate Wideband (AMR-WB) Audio Codecs, April 2007.
54. 3GPP TS 26.114 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Multimedia Telephony; Media Handling and Inter-action, Release 11, Section 10, September 2013.
55. GSM Association IR.92 (2013) IMS Profile for Voice and SMS, Version 7.1, Section 4.3.1, September 2013.
56. 3GPP TS 24.229 (2013) IP Multimedia Call Control Protocol Based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3, Release 11, Section 5.1.1, September 2013.
57. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Section 5.2.2.3, September 2013.
58. 3GPP TS 29.228 (2013) IP Multimedia (IM) Subsystem Cx and Dx Interfaces; Signalling Flows and Message Contents, Release 11, Annex A.4.1, September 2013.
59. 3GPP TS 33.203 (2012) Access Security for IP-Based Services, Release 11, Section 6.1.1, June 2012.
60. 3GPP TS 29.328 (2013) IP Multimedia (IM) Subsystem Sh Interface; Signalling Flows and Message Contents, Release 11, Annex B.1.1, September 2013.
61. IETF RFC 3265 (2002) Session Initiation Protocol (SIP)-Specific Event Notification, June 2002.
62. IETF RFC 3680 (2004) A Session Initiation Protocol (SIP) Event Package for Registrations, March 2004.

63. 3GPP TS 24.229 (2013) IP Multimedia Call Control Protocol Based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3, Release 11, Sections 5.1.2A, 5.1.3, 6.1, September 2013.
64. IETF RFC 3312 (2002) Integration of Resource Management and Session Initiation Protocol (SIP), October 2002.
65. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Sections 5.5.1, 5.6.1, 5.7.1, 5.11.3, September 2013.
66. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, Section 6.2, Annex B.2, B.3.2, September 2013.
67. IETF RFC 3262 (2002) Reliability of Provisional Responses in the Session Initiation Protocol (SIP), June 2002.
68. IETF RFC 3311 (2002) The Session Initiation Protocol (SIP) UPDATE Method, September 2002.
69. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Sections 4.3.5, 5.5.3, 5.5.4, 5.6.3, 5.7.3, 5.19, September 2013.
70. IETF RFC 3761 (2004) The E.164 to Uniform Resource Identifiers (URI) Dynamic Delegation Discovery System (DDDS) Application (ENUM), April 2004.
71. 3GPP TS 23.228 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2, Release 11, Sections 5.10, September 2013.
72. 3GPP TS 29.213 (2013) Policy and Charging Control Signalling Flows and Quality of Service (QoS) Parameter Mapping, Release 11, Section 6.2, Annex B.4, September 2013.
73. 3GPP TS 23.401 (2013) General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, Release 11, Section 5.4.4.2, September 2013.
74. 3GPP TS 23.221 (2013) Architectural Requirements, Release 11, Section 7.2a, Annex A.2, June 2013.

75. 3GPP TS 24.301 (2013) Non-Access-Stratum (NAS) Protocol for Evolved Packet System (EPS), Release 11, Section 4.3, March 2013.
76. 3GPP TS 23.221 (2013) Architectural Requirements, Release 11, Sections 7.2, 7.2b, 7.3, June 2013.
77. GSM Association IR.64 (2013) IMS Service Centralization and Continuity Guidelines, Version 6.0, Section 3, February 2013.
78. 3GPP TS 29.272 (2013) Mobility Management Entity (MME) and Serving GPRS Support Node (SGSN) Related Interfaces Based on Diameter Protocol, Release 11, Sections 5.2.1.1, 5.2.2.1, September 2013.
79. 3GPP TS 29.328 (2013) IP Multimedia (IM) Subsystem Sh Interface; Signalling Flows and Message Contents, Release 11, Section 7.6.18, Annex E, September 2013.
80. 3GPP TS 23.292 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Centralized Services; Stage 2, Release 11, Section 7.3.2.1.3, June 2013.
81. 3GPP TS 23.216 (2013) Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC); Stage 2, Release 11, June 2013.
82. 3GPP TS 23.237 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Stage 2, Release 11, September 2013.
83. 3GPP TS 24.237 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Stage 3, Release 11, September 2013.
84. GSM Association IR.64 (2013) IMS Service Centralization and Continuity Guidelines, Version 6.0, Section 4, February 2013.
85. 3GPP TS 29.280 (2013) 3GPP Sv Interface (MME to MSC, and SGSN to MSC) for SRVCC, Release 11, September 2013.
86. 3GPP TS 23.003 (2013) Numbering, Addressing and Identification, Release 11, Section 18, September 2013.
87. 3GPP TS 23.216 (2013) Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC); Stage 2, Release 11, Section 6.2.2.2, June 2013.
88. 3GPP TS 24.237 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Stage 3, Release 11, Sections 6.2.1.3, 6.2.2.3, 6.3.1.5, 6.3.1.6, 6.3.2.1.4, September 2013.

89. 3GPP TS 24.237 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Stage 3, Release 11, Sections 6.1.2, 6.2.1.4, 6.2.2.5, 6.3.2.1.9, September 2013.
90. 3GPP TS 23.292 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Centralized Services; Stage 2, Release 11, June 2013.
91. GSM Association IR.64 (2013) IMS Service Centralization and Continuity Guidelines, Version 6.0, Section 2, February 2013.
92. 3GPP TS 24.294 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Centralized Services (ICS) Protocol via I1 Interface, Release 11, September 2013.
93. 3GPP TS 23.167 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Emergency Sessions, Release 11, September 2013.
94. 3GPP TS 23.167 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Emergency Sessions, Release 11, Section 7, September 2013.
95. 3GPP TS 24.229 (2013) IP Multimedia Call Control Protocol Based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP); Stage 3, Release 11, Sections 5.1.6, September 2013.
96. 3GPP TS 24.237 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS) Service Continuity; Stage 3, Release 11, Section 6c, September 2013.
97. 3GPP TS 23.204 (2013) Support of Short Message Service (SMS) over Generic 3GPP Internet Protocol (IP) Access; Stage 2, Release 11, September 2013.
98. 3GPP TS 24.341 (2012) Support of SMS over IP Networks; Stage 3, Release 11, December 2012.
99. 3GPP TS 24.247 (2012) Messaging Service using the IP Multimedia (IM) Core Network (CN) Subsystem; Stage 3, Release 11, December 2012.
100. 3GPP TS 24.167 (2012) 3GPP IMS Management Object (MO), Release 11, Section 5.28, December 2012.
101. 3GPP TS 23.204 (2013) Support of Short Message Service (SMS) over Generic 3GPP Internet Protocol (IP) Access; Stage 2, Release 11, Section 6.5a, September 2013.

فصل بیست و سوم: عملکرد LTE و

LTE- ADVANCED

در یک سیستم مخابراتی موبایل، دو فاکتور اصلی یعنی پوشش و ظرفیت عملکرد یک سلول را محدود می‌کند. پوشش در یک ناحیه روستایی از اهمیت بیشتری برخوردار است، از آنجایی که موبایل ممکن است به اندازه کافی از ایستگاه پایه دور شده باشد و سیگنال نسبتاً قوی را دریافت نکند تا اطلاعات خودش را به آن منتقل کند. ظرفیت نیز در نواحی شهری از اهمیت بیشتری برخوردار است، چرا که هر سلولی بوسیله یک حداکثر نرخ بیت داده‌ای محدود شده است. ما این موارد را در فصل آخر مد نظر قرار خواهیم داد.

برای شروع، نرخ داده حداکثر لحظه‌ای یک موبایل LTE را بررسی می‌کنیم و مشکلاتی را که ممکن است مانع رسیدن به این نرخ داده باشد، را مرور می‌کنیم. سپس روش‌های استفاده شده برای تخمین بودجه لینک و مدل‌سازی انتشار در LTE را بحث می‌کنیم و این نتایج را برای تخمین پوشش یک سلول LTE به کار می‌بریم. ما این روش‌ها را برای پردازش تخمین اولیه از ظرفیت یک سلول LTE توسعه می‌دهیم و آن را با یک تخمین‌های قوی‌تر که از شبیه‌سازی‌ها به دست می‌آید، مقایسه می‌کنیم. در انتها نیز با بررسی نرخ‌های داده و ظرفیت‌های سلولی پیش‌فرض برای تماس‌های صوتی بر روی IP کتاب را به اتمام می‌رسانیم.

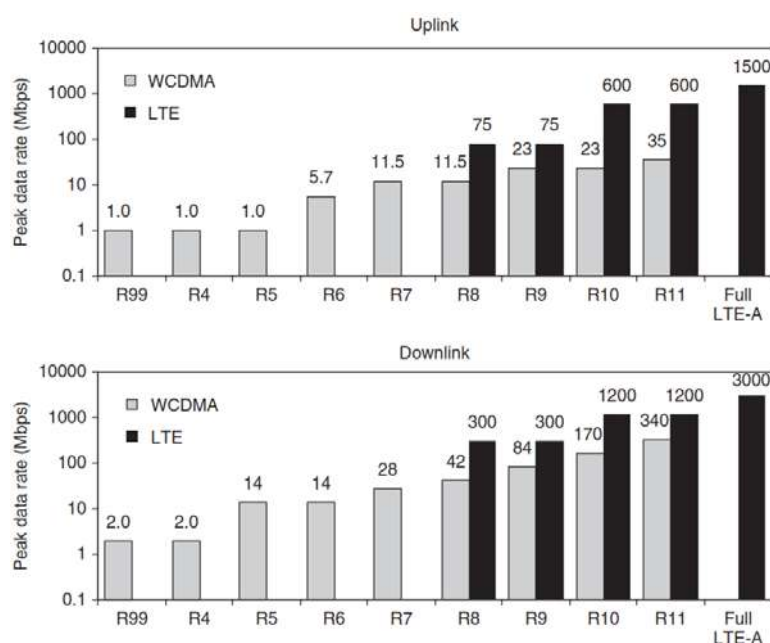
۲۳-۱ نرخ‌های بسته حداکثر لحظه‌ای LTE و LTE-Advanced

۲۳-۱-۱ افزایش نرخ داده حداکثر لحظه‌ای

شکل ۲۳-۱ چگونگی افزایش نرخ داده حداکثر لحظه‌ای LTE که در نسخه هشت معرفی شده است، را نشان می‌دهد و آن را با نرخ داده حداکثر لحظه‌ای WCDMA نسخه ۹۹ مقایسه می‌کند. این داده‌ها از قابلیت‌های توانمندی UE در حالت FDD در هر نسخه گرفته شده است [۱-۳]. محور عمودی لگاریتمی است و منطبق با افزایش زیاد نرخ داده حداکثر لحظه‌ای می‌باشد، که از زمان معرفی سیستم‌های 3G را نشان می‌دهد.

در نسخه ۹۹، WCDMA میزان نرخ بیت داده حداکثر لحظه‌ای در لینک فرسو برابر با دو مگابیت بر ثانیه در لینک فرسو و یک مگابیت بر ثانیه نیز در لینک فراسو بود. اما به طور عملی معمولاً این مقدار به 384kbps محدود شده بود. با معرفی دسترسی بسته‌ای لینک فراسو سرعت بالا (HSDPA) در نسخه پنجم نرخ داده حداکثر لحظه‌ای لینک فراسو به 14.4 Mbps افزایش پیدا کرد، زمانی این میزان نرخ بیت حاصل می‌شد که از نرخ کدینگ بالاتر و طرح مدولاسیونی جدید 16-QAM استفاده شده باشد. یک چنین بهبودی نیز برای لینک فراسو در نسخه ششم اتفاق افتاد،

که از طریق معرفی دسترسی بسته‌ای لینک فراسوی سرعت بالا (HSUPA) قابل دستیابی بود. نسخه‌های بعدی بهبودی‌های بیشتری را روی نرخ داده حداکثر لحظه‌ای (Peak) ایجاد کردند. این کار از طریق معرفی مدولاسیون 64-QAM، مالتی پلکسینگ فضایی و استفاده از حامل‌های چندگانه انجام شد.



شکل ۲۳-۱ تکامل نرخ‌های داده حداکثر لحظه‌ای

در WCDMA و LTE در حالت FDD

نرخ داده حداکثر لحظه‌ای در LTE نسخه هشتم برابر 299.6 Mbps در لینک فرسو و 75.4 Mbps در لینک فراسو می‌باشد (جدول ۲-۱). این شکل‌ها به سادگی قابل درک هستند. در لینک فراسو موبایل علاقه شدیدی به تخصیص ۹۶ بلاک منابع دارد، چرا که ما نیاز داریم تا تعدادی از این بلاک‌های منابع را برای PUCCH رزور کند و تنها نیازمند تخصیص عوامل اول ۲، ۳ یا ۵ هستیم. هر بلاک منابع حدود نیم میلی ثانیه طول می‌کشد و ۷۲ سمبل PUSCH را حمل می‌کند (شکل ۸-۸)، در نتیجه از یک نرخ سمبل 144 kbps پشتیبانی می‌کند. با یک طرح مدولاسیونی 64-QAM نرخ بیت حمل شده PUSCH برابر 82.9 Mbps است. علاوه بر این از یک نرخ اطلاعات 75.4 Mbps با استفاده از نرخ کدینگ ۰.۹۱ برخوردار است، که این رقم حداکثر عدد معقول می‌باشد. (تأثیر بیت‌های CRC کم است و ما می‌توانیم آن را نادیده بگیریم).

در لینک فروسو، نرخ سمبل به ازای هر بلاک منبع بستگی به تعداد آنتن‌های انتقال و اندازه محدوده کنترل لینک فروسو دارد، که در شکل ۲۳-۱ نشان داده شده است. با چهار آنتن ارسال و یک سمبل کنترلی حاصل برابر 136 kbps می‌شود. با استفاده از چهار لایه، ۱۰۰ بلاک منبع و یک طرح مدولاسیونی 64-QAM، نرخ بیت حاصل شده بر روی PDSCH برابر 326.4 Mbps می‌باشد. اگر مثل قبل از بیت‌های CRC چشم‌پوشی کنیم، می‌توانیم به یک نرخ اطلاعات 299.6 Mbps با استفاده از نرخ کدینگ 0.92 دسترسی پیدا کنیم. این عدد تقریباً برابر به نرخ کدینگ استفاده شده برای یک نشانگر کیفیت کانال 15 است (جدول ۴-۸).

جدول ۲۳-۱ نرخ سمبل بر هر بلاک منبع برای PDSCH بر حسب Kbps

Number of antennas	Number of control symbols			
	1	2	3	4 (1.4 MHz only)
1	150	138	126	114
2	144	132	120	108
4	136	124	112	100

نرخ داده حداکثر لحظه‌ای در نسخه‌های یازده و دوازده حدوداً 1200 Mbps برای لینک فروسو و 600 Mbps برای لینک فروسو می‌باشد. این ارقام از طریق دو مؤلفه حاملی به دست می‌آیند، هشت لایه در لینک فروسو و چهار لایه نیز در لینک فراسو و این نرخ داده حداکثر لحظه‌ای، نیازمندی‌های لحاظ شده برای IMT-Advanced را برآورد می‌کند. این نرخ داده حداکثر لحظه‌ای نهایتاً با استفاده از پنج مؤلفه حاملی تا 3000 Mbps و 1500 Mbps می‌رسد.

۲۳-۱-۲ محدودیت‌های نرخ داده حداکثر لحظه‌ای

چنانچه در فصل یک اشاره کردیم، ما تنها در شرایط خاص می‌توانیم به این نرخ داده حداکثر لحظه‌ای دست پیدا کنیم. در این جا پنج معیار برای نیل به نرخ داده حداکثر لحظه‌ای وجود دارد. نخست، سلول باید ارسال و دریافت حداکثر با پهنای باند 20 MHz داشته باشد. این پهنای باند یک مقدار غیر معمول و بسیار بزرگی می‌باشد و در نسخه‌های اولیه LTE دور از انتظار است، که امروزه LTE در نسخه‌های اولیه با پهنای باند ۵ یا ۱۰ مگاهرتز کار می‌کند. در این پهنای باندهای کم، نرخ بیت حداکثر لحظه‌ای دو یا چهار برابر پایین‌تر از معیار می‌باشد.

دوم، تجهیزات موبایل باید قابلیت‌های بسیار توانمند UE را داشته باشند، که در هر نسخه ارایه می‌شود. برای مثال در نسخه هشتم، موبایل‌های گروه‌بندی پنج تنها یا از چهار لایه مالتی

پلکسینگ فضایی بروی لینک فروسو را پشتیبانی یا از مدولاسیون 64-QAM بر روی لینک فراسو پشتیبانی می‌کنند. اگر ما به یک موبایل دسته‌بندی ۳، که از دستگاه‌های LTE اولیه است، تغییر وضعیت بدهیم، پس نرخ داده حداکثر لحظه‌ای ما در لینک فروسو کاهش پیدا خواهد کرد و سه برابر از وضعیت قبل پایین‌تر خواهد شد و نرخ بیت حداکثر لحظه‌ای لینک فراسو ما ۱.۵ برابر دیگر نیز پایین خواهد آمد.

سوم، موبایل باید به ایستگاه پایه نزدیک باشد. در غیر این صورت، نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل دریافتی ممکن است کم باشد و گیرنده قادر به اجرای طرح مدولاسیونی و نرخ‌های سریع نباشد، که برای یک نرخ داده بالا مورد نیاز است.

چهارم، سلول باید نسبت به سلول‌های همسایه ایزوله‌سازی شده باشد. چنین شرایطی اغلب در فمتوسل‌ها و پیکوسل‌ها قابل دستیابی است، که معمولاً پوشش داخلی داشته و توسط دیوارها محصور می‌شوند. چنین شرایطی اما ضعیف‌تری نیز برای ماکروسل‌ها می‌تواند میسر باشد، که با دخالت ساختمان‌ها این سلول‌ها همدیگر جداسازی می‌شوند. در ماکروسل‌ها جداسازی و ایزولاسیون نسبتاً کمتری وجود دارد، بنابراین ممکن است گیرنده تداخل قابل توجهی را از سلول‌های اطراف دریافت کند. این عامل باعث کاهش SINR می‌شود تا گیرنده نتواند طرح مدولاسیون سریع یا نرخ کدینگ بالاتری را هدایت کند.

آخرین شرط این است که موبایل باید تنها موبایل فعال در سلول باشد. در غیر این صورت، ظرفیت سلول بین تمام موبایل‌های موجود در آن سلول به اشتراک گذاشته خواهد شد. در نتیجه افت شدیدی در نرخ داده حداکثر لحظه‌ای برای هر یک از موبایل‌ها به وجود خواهد آمد.

۲-۲۳ پوشش یک سلول LTE

۲-۲۳-۱ بودجه لینک فراسو

در فصل سوم افت انتشار یا افت مسیر (PL) را تعریف کردیم، که عبارت از نسبت توان سیگنال ارسال شده (PT) به توان سیگنال دریافت شده (PR) است.

$$PL = \frac{P_T}{P_R} \quad (1-23)$$

در یک بودجه لینک^۱ تخمین ما این است که یک فرستنده می‌تواند بیشترین مقدار P_T را ارسال کند و با کمترین مقدار P_R می‌تواند اطلاعات را بازیابی کند. پس ما می‌توانیم از رابطه ۲۳-۱ برای تخمین بزرگترین مقدار افت انتشاری که سیستم می‌تواند تحمل کند، را محاسبه کنیم. با ترکیب این مقدار با نتایج حاصل از مدل انتشار، می‌توانیم بیشترین فاصله بین فرستنده و گیرنده را تخمین بزنیم. برای توصیف این فرایند، جدول ۲۳-۲ مثالی از بودجه لینک را برای کانال اشتراک‌گذاری لینک فراسو (PUSCH) نشان می‌دهد. این اعداد عموماً برای یک ماکروسل LTE می‌باشند. اما تنوع زیادی در اجرای یک سناریو نسبت به سناریوی دیگری وجود خواهد داشت. مراجع [۴-۸] برخی از مثال‌های دیگر همراه مقادیر پارامترهای را نشان می‌دهد.

اجازه دهید تا بحث را با بودجه لینک شروع کنیم، که از فرستنده موبایل شروع می‌شود. مشخصات 3GPP توان فرستنده موبایل را حدود 23dB (هر دسی بل برابر 1mW است) کرده است، که به عبارت دیگر حدود 200 mW می‌شود [۹]. بهره آنتن توصیف کننده تأثیرات تمرکز آنتن فرستنده موبایل است و در واحد دسی بل (dBi) نسبت به یک آنتن همسان گرد (ایزوتروپیک) سنجیده می‌شود، به عبارت دیگر آنتن همسان گرد عبارت از نسبت پرتو تابنده آنتن به همه جهات است. بهره یک آنتن موبایل به 0 dBi تنظیم می‌شود، اگر چه می‌تواند چند دسی بل به ازای روش‌های مختلف فرق کند. افت بدن توصیف کننده تأثیرات یک کاربر می‌باشد و برای سرویس‌های صوتی 3dB و برای سایر سرویس‌ها نیز 0 dB در نظر گرفته می‌شود. اگر این مقادیر را کنار هم قرار بدهیم ما به رابطه توان جهشی همسان گرد^۲ (EIRP) می‌رسیم.

سه ردیف بعدی نویز گیرنده در ایستگاه پایه را توصیف می‌کنند. چگالی طیفی نویز^۳ مقدار نویز حرارتی در یک پهنای باند 1 Hz می‌باشد، که برابر با KT می‌باشد. در اینجا K ثابت بولتزمن و T هم درجه حرارت گیرنده است و حدوداً 174 dBm Hz^{-1} در درجه حرارت اتاق می‌باشد. حال ما باید پهنای باندی که استفاده می‌کنیم، را بیان نماییم، که در واحد 1 Hz (dB Hz) بیان می‌شود. پهنای باند مناسب در یک لینک فراسو LTE پهنای باند انتقال موبایل است، که پهنای باندی است که توان فرستنده موبایل در داخل آن تزریق شده است و قبلاً آن را تعریف کرده‌ایم. در جدول ۲۳-۲ یک پهنای باند را به اندازه دو بلاک منبع فرض کرده‌ایم. (چنانچه بعداً بیان

1. Link Budget

2. Isotropic Receive level

3. Noise spectral density

خواهد شد، مقدار در نظر گرفته شده برای بودجه لینک فراسو در اینجا دقیقاً قابل لمس نخواهد بود.) نهایتاً عدد نویز^۱ بیانگر نویز اضافه‌ای است که ناشی از معایب اجزاء آنالوگ گیرنده می‌باشد.

جدول ۲۳-۲ مثالی از بودجه لینک برای PUSCH

Quantity	Value	Units	
UE transmit power	23	dBm	a
UE antenna gain	0	dBi	b
Body loss	0	dB	c
Equivalent isotropic radiated power	23	dBm	d = a + b - c
Noise spectral density	-174	dBm Hz ⁻¹	e
UE transmitter bandwidth (2 RBs)	55.6	dB Hz	f
eNB noise figure	3.5	dB	g
SINR target (0.28 bits per symbol)	-7.7	dB	h
Receiver sensitivity	-122.6	dBm	i = e + f + g + h
Cable and connector losses	0.5	dB	j
eNB antenna gain	18	dBi	k
Isotropic receive level	-140.1	dBm	l = i + j - k
Interference margin	3	dB	m
Penetration loss	12	dB	n
Slow fading margin	5	dB	o
Link losses and margins	20	dB	p = m + n + o
Maximum propagation loss	143.1	dB	q = d - l - p

$SINR$ هدف^۲ کمترین مقدار نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویزی است که برای یک دریافت رضایت‌بخش در نظر گرفته می‌شود. این مقدار وابسته به طرح مدولاسیونی و نرخ کدینگ است و همچنین این موارد به عواملی مثل شاخص‌های محو شدن کانال رادیویی و سرعت موبایل بستگی دارد. اغلب ما داده‌های سودمندی را از سوی سازنده‌ها به دست می‌آوریم، اما همچنین می‌توانیم $SINR$ هدف را با تنظیم محدودیت شانون برای محاسبه معایب تجهیزات گیرنده در یک پردازش سیگنال دیجیتال گیرنده به صورت زیر تخمین بزنیم [۱۰]:

$$\varepsilon = \text{Min}[\varepsilon_{\max}, \eta \log_2(1 + EAG \frac{SINR}{SINR_{\text{eff}}})] \quad (2-23)$$

در اینجا ε تعداد بیت‌های اطلاعات بر سمبل می‌باشد، η و $SINR_{\text{eff}}$ فاکتورهای همبستگی اند. با توجه به مراجع بالا، ما مقدار η را به 0.86 و $SINR_{\text{eff}}$ را به 1.05 و $\varepsilon_{\max}$ را به 3.2 را تنظیم می‌کنیم. بنابراین به عنوان مدل های انتقال در یک کانال محو شونده که نرخ آنها ۴/۵ می باشند، مدولاسیون 16-QAM را خواهد داشت. (این مقادیر مشابه با مرجع [۱۱] است اما شاخص‌ها اندکی محافظه کارانه

1. Noise Figure

2. SINR Target

در نظر گرفته شده‌اند.) با به کار بردن این اعداد، SINR هدف مربوطه در جدول ۲۳-۲ برابر 0.23 بیت بر سمبل می‌باشد، که برابر با یک شاخص کیفیت (CQI) لینک فراسوی بین ۲ و ۳ است.

با استفاده از پهنای باند با دو بلاک منبع، یک موبایل می‌تواند ۲۸۸ سمبل را به ازای هر زیر فریم منتقل کند. در ۰/۲۸ سمبل بر بیت، آن عدد برابر ۸۰ بیت اطلاعات می‌باشد؛ به عبارت دیگر، یک CRC بیست و چهار بیتی به یک بلاک ۵۶ بیتی انتقالی اضافه می‌شود. یک بلاک انتقال معادل بیشترین مقدار برای یک موبایل جهت ارسال یک درخواست ارتباط RRC است، که نیازمند یک پیام RRC چهل و هشت بیتی و یک سرایند MAC هشت بیتی می‌باشد. اگر سرایندهای لایه ۲ در پلان کاربری باشد، تا بیست و چهار بیت افزایش پیدا می‌کند. پس در این صورت، بلاک انتقال از یک نرخ داده لینک فراسوی 32 kbps را پشتیبانی خواهد کرد.

در میان این اعداد، تنها مقدار مهم اندازه بلاک انتقال در گوشه سلول یا نرخ داده لینک فراسو معادل آن است، اگر نرخ داده ثابت باقی بماند، ما می‌توانیم پهنای باند را افزایش داده و تعداد بیت بر سمبل را کاهش دهیم یا برعکس، بدون آنکه تأثیر چندانی بر روی بودجه لینک فراسو داشته باشد. ما این تأثیرات را در بخش ۲۳-۲-۴ بیان خواهیم کرد.

برای اندازه‌گیری سطح سیگنال در چندگانگی دریافت کننده ملاحظات وجود دارند، در جدول ۲۳-۲ و رابطه ۲۳-۲، ما SINR را برای هر آنتن دریافت کننده به صورت منحصر به فرد بیان کرده بودیم. علاوه بر این، این رابطه دارای یک بهره دقیق آرایه EAG است، که 3 dB برای چندگانگی دریافت دو آنتن می‌باشد. ما می‌توانیم از مقدار به دست آمده از دو آنتن دریافت به جای آن استفاده کنیم، در مواردی که SINR هدف بزرگتر از 3 dB باشد و بهره دقیق آرایه می‌تواند به بودجه لینک تبدیل شود.

با ترکیب SINR هدف با نویز گیرنده، ما به حساسیت گیرنده^۱ می‌رسیم، که ضعیف‌ترین سیگنالی است که گیرنده ایستگاه پایه می‌تواند آن را به طور موفقیت‌آمیزی دریافت نماید. حال ما نیاز به معرفی بهره آنتن دریافت داریم، که به طور معمول 18 dBi برای یک ایستگاه پایه سه سکتوره است و هر کابل و کانکتوری که بین آنتن و گیرنده وجود دارد، آن را می‌کاهد. پس از آن، ما به سطح دریافت همسانگرد (IRL)^۲ می‌رسیم، که بیانگر کمترین سیگنالی است که ایستگاه پایه می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی در آنتن دریافت خودش بگیرد.

1. Receiver Sensitivity

2. Isotropic Receiver Level

در جدول ۲۳-۲ فقط یک تقویت‌کننده دریافت را برای ایستگاه پایه در نظر گرفته‌ایم، که می‌تواند در دکل سایت مقابل باشد همانطور که در این مثال دیده می‌شود و یا در پای دکل، که با یک کابل بلند تا بالای دکل می‌رود و دارای افت بالا است. بعضی از گیرنده‌های ایستگاه‌های پایه دارای دو تقویت‌کننده هستند، که در یکی از این موقعیت‌ها قرار می‌گیرند. برای مدل سازی چنین پیاده‌سازی‌های، ما باید افت کابل و عدد نویز را از بودجه لینک فراسو حذف کرده و آن را با یک عدد نویز ترکیبی منفرد F_{total} جایگزین کنیم، که این مقدار با استفاده از فرمول نویز Friss محاسبه می‌شود:

$$F_{total} = F_1 \frac{F_2^{-1}}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots \quad (3-23)$$

در این رابطه F_i و G_i عدد نویز و بهره مرحله i ام گیرنده هستند و به جای دسی بل با اعداد حقیقی اندازه‌گیری می‌شوند. این عدد نویز بهره متقابل برای اجزای غیر فعال مثل کابل می‌باشد، در حالی که برای یک اجزای فعال مثل یک تقویت‌کننده این دو مقدار مستقل از هم هستند.

حال ما با مسئله واسطه‌هایی درگیر هستیم. اگر ایستگاه پایه در محیط باز^۱ باشد اما موبایل در یک محیط سرپوشیده^۲ قرار داشته باشد، در این صورت سیگنال توسط افت‌های ضریب نفوذ^۳ در سراسر دیوارهای منزل تضعیف می‌شود، که تخمین آنها سخت است ولی عموماً در محدوده ۱۰ الی ۲۰dB محاسبه می‌شوند. حاشیه تداخل^۴ مقداری است که برای محاسبه تداخل وارد شده از موبایل‌های LTE به سلول‌های مجاور است، که بر روی همان بلاک‌های منابع اقدام به ارسال می‌کنند. تخمین حاشیه تداخل لینک که قابلیت اتکاء داشته باشد، سخت است، چرا که این تداخل حساس به مکان بوده و توان انتقال کمی از موبایل‌های تداخل‌کننده است. بنابراین یک مقدار جایگزینی را برای آن در نظر می‌گیریم. عموماً حاشیه تداخل چند دسی بل برای ماکروسل‌ها می‌باشد، اما در مایکروسل‌ها این مقدار بزرگتر است چرا که افت‌های انتشار کوچک اجازه می‌دهند تا تداخل‌های سطح بالاتری در آنها وجود داشته باشد.

تا کنون فرض بر این بوده است، که قدرت سیگنال دریافتی ما ثابت بوده است. در عمل، توان سیگنال دریافتی با توجه به حرکت موبایل در زیر سایه‌ی تپه‌ها و ساختمان‌ها می‌تواند متغیر

-
1. Outdoor
 2. Indoor
 3. Penetration Losses
 4. Interference Margin

و کم و زیاد شود. این تأثیرات را محوشدگی کند^۱ یا محوشدگی ثبت وقایع عادی^۲ می‌گویند. گاهی اوقات محوشدگی کند برای موبایل چندان مهم نیست که آن را به عنوان تجربه ساده در دریافت متغیر نرخ داده در نظر می‌گیرد، اما اگر بخواهیم نرخ داده سرویس‌ها مقدار ثابتی باشد یا شرایط دریافت بد باشد، در این صورت ما باید مقداری بودجه لینک فراسو را با افزودن حاشیه محوشدگی کند^۳ محافظه‌کارانه در نظر بگیریم. ما می‌توانیم حاشیه محوشدگی امن را با استفاده از رابطه Jake در یک سلول منفرد تخمین بزنیم [۱۲]. حاشیه محوشدگی کند در یک شبکه وسیع‌تر نیاز است نه یک شبکه کوچک. چرا که ممکن است موبایل تعداد بیشتری از ایستگاه‌های پایه را ببینند ولی تنها نیاز به دریافت یک سیگنال مناسب از یک سلول دارد.

بودجه لینک برای UMTS و GSM نیز دارای یک حاشیه محوشدگی سریع^۴ است، که از روی نوسانات در سیگنال دریافتی به دلیل تداخل غیر سازنده بین طیف‌های ورودی ایجاد می‌شود. لینک فراسوی LTE گاهی نیاز به یک حاشیه محوشدگی سریع دارد، به خصوص در حالت‌هایی که تأخیر گسترده و سرعت موبایل هر دو پایین هستند. بنابراین موبایل ممکن در یک محوشدگی پهنای باند گسترده درگیر شود. در سایر حالات ما می‌توانیم تغییرات توان را با استفاده از زمان‌بندی وابسته به فرکانس به حداقل برسانیم و می‌توانیم این شرایط را در اینجا متصور باشیم که با ترکیب افت‌ها و حاشیه‌های بیان شده با EIRP و IRL ما به حداکثر افت انتشار می‌رسیم که ایستگاه پایه می‌تواند آن را تحمل کند.

۲-۲-۲۳ بودجه لینک فروسو

جدول ۲-۲۳ بودجه لینک مربوط به کانال اشتراک‌گذاری لینک فروسو فیزیکی (PDSCH) را نشان می‌دهد. اغلب این شرایط با لینک فراسو یکسان می‌باشند. بنابراین ما تنها روی تفاوت‌ها تمرکز خواهیم کرد.

مشخصات 3GPP توان ارسال ایستگاه پایه را در مورد انتقال نواحی گسترده تعریف نکرده است، اما به طور معمول این عدد چیزی در حدود 40 تا 46dBm (۱۰ الی ۴۰ وات) می‌باشد. با این حال، مشخصات 3GPP قدرت سیگنال ارسالی را محدود می‌کند که در آنها توان سیگنال دریافت شده در جاهایی که ایستگاه پایه نزدیک به کاربر است، محدود می‌باشد [۱۹]. پهنای باند

-
1. Slow Fading
 2. Log- Normal Fading
 3. Slow Fading Margin
 4. Fast Fading Margin

مناسب در لینک فروسو LTE پهنای باند کل سلول می‌باشد. از آنجایی که این پهنای باند توسط ایستگاه پایه تزریق توان می‌شود. در مثال نشان داده شده، ما یک پهنای باندی با ۵۰ بلاک منابع را استفاده کردیم که متناظر با یک سلول ۱۰ MHz می‌باشد.

SINR هدف لینک فروسو با همان روش SINR هدف لینک فراسو تخمین زده می‌شود. با مراجعه به مرجع [۲۰]، ما می‌توانیم μ را برابر ۰.۷۸، $SINR_{eff}$ را ۰.۹۵ و ϵ_{max} را ۴.۸ برای انتقال‌های یک کانال محو شونده در نظر بگیریم، که در آن روش چندگانگی الموتی و زمان‌بندی وابسته به فرکانس استفاده شده است و محدود به نرخ ۴/۵ در یک مدولاسیون ۴۶-QAM می‌باشد.

جدول ۲۳-۳ مثالی از بودجه لینک برای PDSCH

Quantity	Value	Units	
eNB transmit power	43	dBm	a
Cable and connector losses	0.5	dB	b
eNB antenna gain	18	dB	c
Equivalent isotropic radiated power	60.5	dBm	d = a - b + c
Noise spectral density	-174	dBm Hz ⁻¹	e
eNB transmitter bandwidth	69.5	dB Hz	f
UE noise figure	7	dB	g
SINR target (0.66 bits per symbol)	-4.2	dB	h
Receiver sensitivity	-101.7	dBm	i = e + f + g + h
UE antenna gain	0	dB	j
Body loss	0	dB	k
Isotropic receive level	-101.7	dBm	l = i - j + k
Interference margin	2.1	dB	m
Penetration loss	12	dB	n
Slow fading margin	5	dB	o
Link losses and margins	19.1	dB	p = m + n + o
Maximum propagation loss	143.1	dB	q = d - l - p

بر خلاف شرایط حاکم بر لینک فراسو ما می‌توانیم یک تخمین مناسبی را برای حاشیه تداخل لینک فروسو به صورت زیر در نظر بگیریم [۱۵]:

$$IM = \frac{1}{1 - \gamma \frac{SINR}{SIR_{min}}} \quad (۲۳-۴)$$

در این رابطه SIR_{min} نسبت سیگنال به نویز در گوشه سلول می‌باشند، که وابسته به هندسه شبکه است و معمولاً بین ۴- تا ۱۰dB قرار دارد، در حالی که SINR نسبت سیگنال به نویز به علاوه تداخل هدف است، که در گوشه سلول محاسبه می‌شود. γ بار سلول هدف است. به عبارت دیگر درصد عناصر منابعی است که واقعاً استفاده می‌شوند و M حاشیه تداخل حاصل شده

می باشد. SNR هدف در جدول ۲۳-۳ برابر 0.66 بیت بر سمبل برابر با CQI بین ۴ و ۵ می باشد. برای محاسبه حاشیه تداخل حاصل شده ما مقدار SIR_{min} را ۳ dB- و γ را تا ۵۰ درصد در نظر می گیریم. افت انتشار حاصل شده برابر مقدار آن در لینک فراسو می باشد.

۲۳-۲-۳ مدل سازی انتشار

مدل های انتشار مربوط به افت انتشاری هستند که در فاصله بین فرستنده و گیرنده اتفاق می افتد. مدل های انتشار مختلفی وجود دارند و اغلب اکثراً پیچیدگی زیادی دارند و ساده ترین و پرکاربردترین مدل انتشار مدل انتشار Okumura-Hata است، که پوشش سلول های ماکروسل را در فاصله فرکانسی ۱۵۰ تا 1500 MHz پیش بینی می کند [۱۶]. این مدل بعداً در محدوده 1500 تا 2000 MHz، که در قالب بخشی از یک پروژه همکاری اروپا در فناوری و علوم (COST) ^۱ که به نام COST 231 می باشد. توسعه یافت [۱۷] مثال دیگر، کنسرسیوم جهانی ابتکارات بی سیم رادیویی جدید (WINNER) ^۲ است، مدل های انتشار مختلفی را برای حالت های انتشار مختلف در باند فرکانسی 2 الی 6 GHz توسعه داده است [۱۸].

نتایج حاصل از یک مدل انتشار بستگی به فرکانس حامل دارد، که حامل های فرکانس پایین مثل 800 MHz یک پوشش گسترده ای را در اختیار قرار می دهند، در حالی که در حامل های فرکانسی بالاتر مثل 2000 MHz پوشش آنها محدود می باشد. اصلی ترین عامل این است که آنتن دریافت دارای یک ناحیه مؤثر با تناسب λ^2 دارد که در آن λ^2 طول موج امواج رادیویی دریافتی می باشد. چنانچه حامل های فرکانسی افزایش پیدا کنند، طول موج کاهش پیدا می کند. توان جمع آوری شده توسط آنتن دریافت به تدریج کاهش پیدا می کند. به همین دلیل اپراتورهای شبکه ها حامل های فرکانس پایین را برای شبکه های محلی وسیع را ترجیح می دهند. در حالی که ذخیره کردن حامل های فرکانسی بالاتر برای افزایش ظرفیت شبکه در نواحی شهری یا برای تجمع حامل ها صورت می گیرد.

با این حال، ما باید یک هشدار درباره استفاده از یک مدل انتشار بدهیم. این پارامترها با کنار هم چیدن پیش بینی ها در کنار تعداد زیادی از اندازه گیری ها تخمین زده می شوند. اما در عمل، افت انتشار واقعی می تواند تفاوت بسیار بزرگی از یک محیط به محیط دیگر داشته باشد. برای مقابله با این مشکل، برای یک اپراتور شبکه مهم است، که افت انتشار رادیویی واقعی منطقه ای که در آن می خواهد شبکه را برپا کند را با استفاده از درایور تست به درستی محاسبه کند و تنظیم پارامترها

-
1. European cooperation in science and technology
 2. Wireless World Initiative New Radio

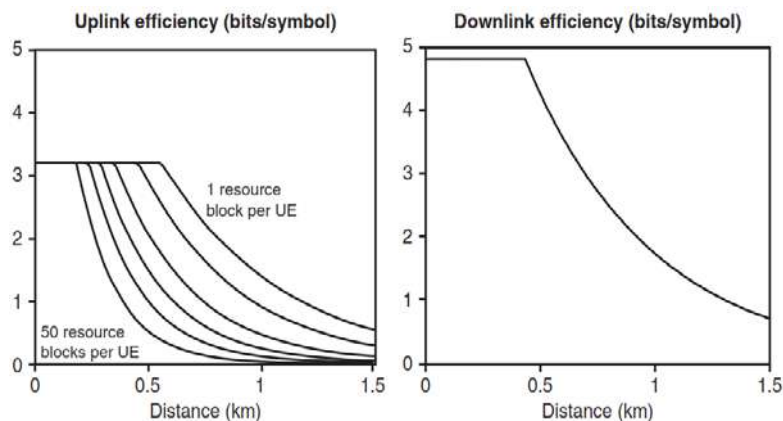
را با مدل انتشار انتخاب شده با استفاده از نتایج به دست آمده انجام دهد. اگر ما یک مدل انتشاری را بدون انجام این تنظیمات به کار بگیریم در این صورت ما یک تخمین نسبتاً ضعیفی از پوشش سلولی را به کار برده‌ایم.

۲-۲-۴ تخمین پوشش

با در نظر گرفتن هشدار داده شده در بالا، ما می‌توانیم بودجه لینک را با یک مدل انتشار مناسب ترکیب کنیم و اندازه یک سلول را تخمین بزنیم. اگر ما از مدل معمولی COST 231/OKUMUAN-HATA در حامل فرکانسی 1800 MHz استفاده کنیم، در این صورت مثال قبلی با حداکثر محدوده 106 km را فراهم خواهد کرد. به طور معمول تفاوت زیادی امکان‌پذیر است.

ما می‌توانیم با محاسبه محدوده وسیعی از انواع طرح‌های مدولاسیونی و نرخ‌های کدینگ به جای یکی از آنها پا را فراتر بگذاریم. نتیجه حاصله در شکل ۲-۲۳ نشان داده شده است، که در آن محور افقی نشان‌دهنده فاصله بین ایستگاه پایه و موبایل و محور عمودی نیز نشان‌دهنده تعداد بیت بر سمبل‌های قابل دستیابی است. در لینک فراسو، این نتایج تنها وابسته به فاصله ایستگاه پایه تا موبایل است: یک موبایل نزدیک‌تر سیگنال قوی‌تری را نسبت به یک موبایل دور دست دریافت می‌کند. بنابراین می‌تواند به راحتی یک طرح مدولاسیونی سریع‌تر و کدینگ با نرخ بیت بیشتری را استفاده کند. در لینک فراسو، این نتایج علاوه بر آن وابسته به پهنای باند انتقال موبایل است. چنانچه پهنای باند انتقال آن افزایش پیدا کند، نویز در گیرنده ایستگاه پایه افزایش پیدا می‌کند و SINR و نرخ بیت بر سمبل قابل دستیابی هر دو کاهش پیدا می‌کنند.

با معرفی پهنای باند انتقال در مرحله دوم، ما می‌توانیم تعداد (نرخ) بیت بر سمبل را به نرخ داده قابل دستیابی تبدیل کنیم. شکل ۲-۲۳ این نتایج را نشان می‌دهد، که در آن محور عمودی نشان‌دهنده نرخ داده در واحد لگاریتم است. در لینک فراسو، نرخ داده ارتباط مستقیمی با پهنای باند دریافت موبایل دارد و در این مثال حدود 32 Mbps است، چرا که ما در یک پهنای باند 10 MHz کار می‌کنیم و از MIMO استفاده نمی‌کنیم. این ارتباط در لینک فراسو پیچیدگی بیشتری دارد، اگر تعداد بیت بر سمبل ثابت مانده باشد، پهنای باند بیشتر باعث افزایش داده می‌شود. اما بر اساس شکل ۲-۲۳ تعداد بیت بر سمبل قابل دستیابی کاهش یافته است، با این حال، نتیجه مهمی که از این می‌گیریم، این است که یک موبایل نمی‌تواند با یک نرخ داده بالایی در گوشه سلول ارسال داشته باشد. چون که این کار توسط حداکثر توان انتقال موبایل محدود شده است.



شکل ۲۳-۲ مثالی از ارتباط بین فاصله و تعداد بیت بر سمبل قابل دستیابی برای تخصیص‌های ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ بلاک منبع به ازای هر موبایل

۳-۲۳ ظرفیت یک سلول LTE

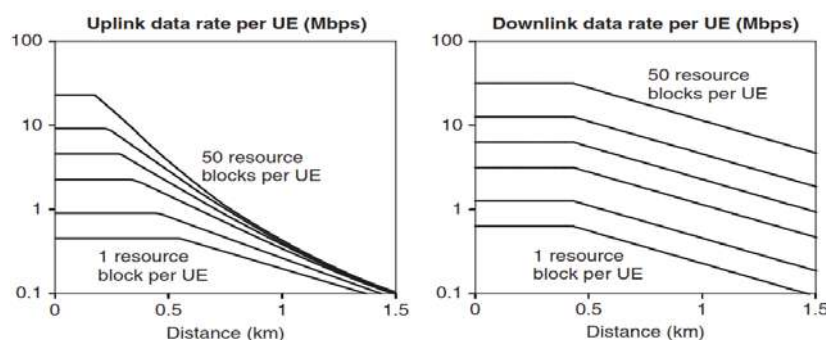
۳-۳-۱ تخمین ظرفیت

ما می‌توانیم نتایجی که از بخش قبلی گرفتیم را برای انجام یک تخمین اولیه از ظرفیت سلول لینک فروسو به کار ببریم. برای انجام این کار، به سادگی نرخ‌های داده لینک فروسو را در شکل ۳-۲۳ اضافه می‌کنیم، با این فرض که آن سلول دارای تعداد زیادی موبایل است و آنها به طور غیریکنواختی در همه جای سلول پخش شده‌اند. برای سرویس‌هایی با نرخ داده متغیر، معقول به نظر می‌رسد که تصور کنیم تا الگوریتم‌های زمان‌بندی همان تعداد بلاک‌های منابع را برای هر موبایل می‌دهند. به شیوه‌ای که مطابق با بار ۵۰ درصدی سلول باشد، که قبلاً اشاره کرده بودیم. همچنین ما می‌توانیم از حاشیه محوشدگی کند بودجه لینک صرف‌نظر کنیم. بر این اساس که ما در حال حاضر نرخ داده معمولی موبایل را به جای بدترین حالت در نظر گرفته‌ایم.

اگر ما محاسبه را به این روش انجام دهیم، در این صورت ظرفیت سلول لینک فروسو برای مثال در نظر گرفته شده قبلی در حدود 9.5 Mbps خواهد شد. اگر اجازه بدهیم تا بار سلول تا ۱۰۰ درصد ظرفیت‌اش افزایش پیدا کند، این نتیجه به 14 Mbps افزایش پیدا می‌کند، هر چند که، این مقدار به دلیل سطوح بالای تداخل دوبرابر نشده است.

ظرفیت لینک فروسو به چند روش بهبود می‌یابد. اگر برخی از موبایل‌ها در شرایط انتشار بهتری نسبت به آنچه که در بودجه لینک فرض شده، قرار داشته باشد ظرفیت لینک فروسو

افزایش پیدا می‌کند، مثلاً اگر موبایل‌ها در مکان سرباز و محیط آزاد باشند. همچنین اگر سلول از MIMO لینک فروسو پشتیبانی کند، این ظرفیت بیشتر افزایش پیدا می‌کند، چون موبایل‌ها با یک SINR بالا می‌توانند نرخ داده بالاتری را دریافت کنند. به عبارت دیگر، اگر نرخ داده سرویس ثابت باشد، ظرفیت لینک فروسو از دست خواهد رفت. چرا که ایستگاه پایه تعداد عناصر منابع نامتناسبی را به موبایل دوردست اختصاص می‌دهد، که نمی‌توانند به طور بهینه‌تری از آنها استفاده کنند. در نهایت، اگر سلول تعداد کمی موبایل داشته باشد ظرفیت لینک فروسو نوسان خواهد کرد، که اگر فقط یک موبایل در نزدیکی ایستگاه پایه قرار داشته باشد، نرخ داده بسیار بالایی را خواهد داشت.



شکل ۲۳-۳ مثالی از ارتباط بین فاصله و نرخ داده برای تخصیص‌های

۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ بلاک منبع به ازای هر موبایل

۲۳-۳-۲ شبیه‌سازی‌های ظرفیت سلول

تخمین‌های قوی از ظرفیت سلول معمولاً از طریق انجام شبیه‌سازی‌ها به دست می‌آید. برای توصیف این شبیه‌سازی‌ها نگاهی به برخی از شبیه‌سازی‌هایی که توسط 3GPP در طول طراحی این سیستم می‌اندازیم [۱۹-۲۰].

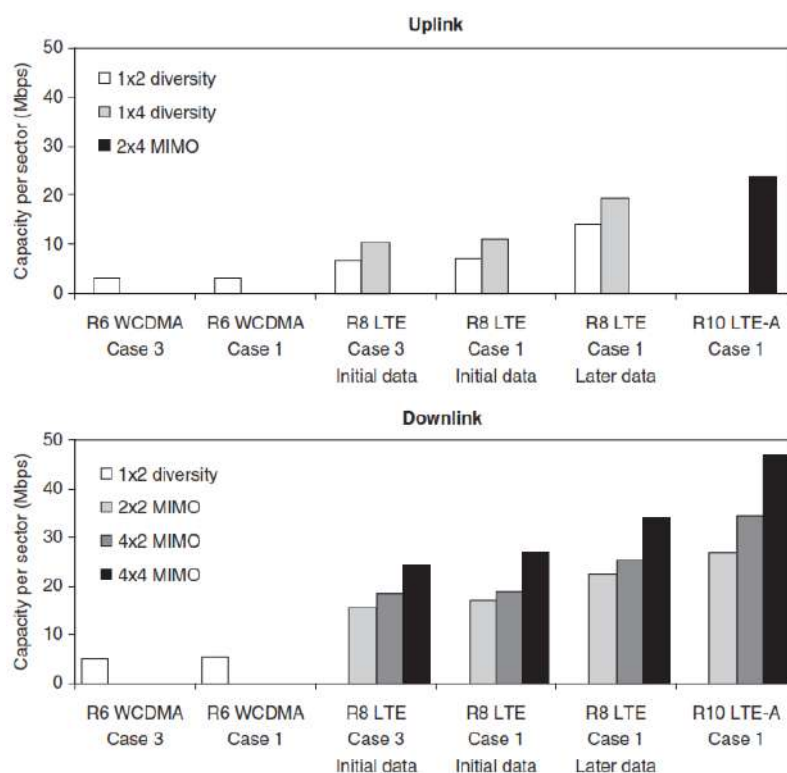
ما شبیه‌سازی‌هایی را که 3GPP آن را به عنوان مورد ۱ و ۳ می‌شناسد، توضیح خواهیم داد، که هر دوی آنها برای ماکروسل‌ها انجام یافته است و در آنها، گیرنده تداخل قابل توجهی از سلول‌های مجاور دریافت می‌کند. یکی از الزامات پوشش بر این اساس است، که ایستگاه پایه نباید در مکان سرپوشیده باشد. اما موبایل‌ها در یک مکان سرپوشیده هستند، که یک افت نفوذ ۲۰ دسی بل از ساختمان‌های اطراف دریافت می‌کند. گذشته از این، حامل فرکانسی 2 GHz است، که مقداری بالاتر از حد متوسط می‌باشد و افت انتشار بیشتر از حد متوسط را به همراه دارد. برای

جبران این مسائل، فاصله بین ایستگاه پایه نسبتاً برای یک ماکروسل نزدیک به هم بوده و کمتر می‌باشد، که در مورد ۱ به اندازه ۵۰۰ متر و در مورد دوم نیز ۱۷۳۲ متر می‌باشد. در اینجا سه سکتور به ازای هر سایت موجود است. ما کاملاً ظرفیت هر سه سکتور را نشان خواهیم داد.

شکل ۲۳-۴ ظرفیت کل سکتورها را در حالت FDD با تعداد زیادی از شبیه سازهای مختلف درلینک فروسو و فراسو نشان می‌دهد، که نتایج پایه‌ای از نسخه ششم WCDMA و نتایج نسخه‌های اولیه LTE، نتایجی از LTE اولیه تا LTE-Advanced در برمی‌گیرد. این شکل همان طور که مشاهده می‌شود، نتایج را برای یک پهنای باند 10 MHz، که در واقع همان پهنای باند به کار رفته برای شبیه‌سازی LTE است، را نشان می‌دهد، اما چنانچه نشان داده شده است، WCDMA دو حامل را به ازای هر سکتور با این پهنای باند به کار برده است. محور عمودی خطی است و با شکل ۲۳-۱ تفاوت دارد. اما با یک افزایش کوچکی از زمان معرفی سیستم‌های 3G در حال رشد می‌باشد.

در اینجا چند نکته قابل ذکر وجود دارند. نخست، ظرفیت لینک فروسو سلول تا حدودی بیشتر از نمونه‌های قبلی است، اما هنوز به طور قابل ملاحظه‌ای قابل مقایسه با یکدیگرند. اصلی‌ترین تفاوت آنها این است، که سلول از بار صددرصدی را در این شبیه‌سازی‌ها استفاده می‌کند و اجازه می‌دهد تا لینک فروسو از MIMO استفاده کند و هر دوی آنها باعث افزایش ظرفیت می‌شوند. تأثیر اصلی دیگر این تفاوت مربوط به اندازه سلول و کوچک بودن افت نفوذ می‌باشد.

دوم، اندازه سلول مقدار کمی تفاوت در نتایج ایجاد می‌کند، حداقل در محدوده‌ای که تفاوت اندکی بین دو مورد ۱ و ۳ را می‌بینیم. در عوض، نرخ‌های داده بوسیله تداخل ناشی از سلول‌های مجاور محدود شده است، که بستگی به مقدار هم‌پوشانی بین آنها دارد. برای افزایش ظرفیت سلول ما باید به یک میکروسل یا فمتوسل تغییر اندازه بدهیم، که جداسازی بیشتری دارند و ممکن است تداخل را کاهش داده و نرخ داده بیشتری از اجازه عبور دهد.



شکل ۲۳-۴ ظرفیت هر سکتور یک ماکروسول معمولی LTE در یک پهنای باند 10 MHz

سوم، وقتی ما از نسخه‌های اولیه WCDMA به سوی نسخه‌های اخیر LTE حرکت می‌کنیم، ظرفیت به طور نسبتاً قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. در اینجا چندین دلیل برای آن وجود دارد، به خصوص این که با استفاده از OFDMA و SC-FDMA روشی را برای حل محو شدگی و تداخل بین سمبلی پیدا شده است و امکان سفارش چندگانگی‌های بالاتر در لینک فراسو و مالتی پلکسینگ فضایی را در لینک فروسو فراهم شده است.

نهایتاً، افزایش ظرفیت از شبیه‌سازی‌های اولیه تا شبیه‌سازی‌های انتهایی مشاهده می‌شود، که به این دلیل است، که بهبودهایی در نرم‌افزار گیرنده‌ها انجام شده است تا اجازه می‌دهد گیرنده بتواند نرخ داده بالاتر را در یک نسبت سیگنال به نویز پایین‌تر به نسبت قبل پشتیبانی کند. علاوه بر این، هنگام حرکت از LTE به LTE-Advanced یک افزایش ظرفیت دیگری نیز اتفاق می‌افتد، که این ابتدا به ساکن مربوط به معرفی MIMO چند کاربری در مسیر لینک فروسو می‌باشد. تخمین ظرفیت سکتور باید با یک احتیاط بیشتری انجام گیرد، چرا که حساس به مواردی نظیر پهنای باند؛ شکل هندسی آنتن‌ها و مقدار تداخل ورودی است.

ما به طور کلی می‌توانیم بگوییم که ظرفیت یک ماکروسل 10 MHz، LTE، در این شبیه‌سازی‌ها حدود 25 Mbps برای هر سکتور در لینک فروسو و 15 Mbps در هر سکتور در لینک فراسو است. این اعداد کمتر از نرخ داده حداکثر لحظه‌ای است، که قبلاً بیان شده است و باید این پهنای باند بین تمام موبایل‌های آن سلول به اشتراک گذاشته شود. در اینجا یک شباهت خوبی با موتور صنعتی وجود دارد. در LTE نسخه هشتم ما مشاهده کردیم، که حداکثر نرخ داده در لینک فروسو 300 Mbps است، در حالی که ظرفیت معمولی ماکروسل‌ها در جاهایی در حدود 25 Mbps در هر سکتور می‌باشد. اتفاقاً بالاترین سرعت یک فراری 300kph (180mph) است، در حالی که میانگین سرعت ترافیک در خیابان Greater شهر لندن در بعضی از جاها در حدود 25 kph (15mph) است [۲۱]، بنابراین برای دوری از این قیاس ما باید خیلی خوش شانس باشیم تا به سرعت 300 Mbps یک ماکروسل در نسخه هشت برسیم، همان‌گونه که ما یک فراری 300kph را در این خیابان لندن می‌رانیم. یک چنین شرایطی در نسخه دهم وجود دارد، به استثناء این که ما می‌توانیم فراری را با یک خودروی تراست SSC جایگزین کنیم [۲۲].

۲۳-۴ عملکرد صوت روی IP

۲۳-۴-۱ حالت‌های کد کننده AMR

ما این فصل را با بحث درباره چگونگی انتقال سرویس VoIP در شبکه LTE به پایان می‌رسانیم. تماس‌های صوتی غالباً از کد کننده نرخ و فک (AMR) استفاده می‌کنند، که اطلاعات صحبت را با استفاده از نمونه‌های هشت بیتی در نرخ 8 kbps دیجیتال می‌کند، که در مجموع یک نرخ بیت 64 kbps را فراهم می‌کند. پس از آن، این نمونه‌ها را در داخل فریم‌های ۲۰ میلی ثانیه‌ای قرار داده هر کدام با یک نرخ مربوط به حالت AMR^۱ فشرده‌سازی می‌کند. جدول ۲۳-۴ حالت‌های مختلف AMR موجود را نشان می‌دهد.

در این جدول، اندازه پیلود تعداد بیت‌های داده فشرده‌سازی شده است، در حالی که اندازه فریم محتوی یک سرایند AMR است. این جدول برای پهنای باند بهینه قالب AMR است: قالب هشت تایی کنار هم چیده شده، اندازه پیلود قبل از افزودن سرایند در مضربی از هشت گرد شده است. در نتیجه، اندازه فریم آن اندکی بزرگتر است. اگر کاربر در حال صحبت کردن نباشد این

1. AMR Mode

کد کننده فریم‌های گاه به گاه توصیف کننده اطلاعات سکوت^۱ (SID) را حمل می‌کند، که یک نشانگر صوتی است تا به کاربر آن سوی خط بگوید که خط همچنان دایر می‌باشد. به طور سنتی، شنوندگان کیفیت تماس صوت را به طور ذهنی با استفاده از یک نمره نظری میانگین (MOS)^۲ ارزیابی می‌کردند، که در محدوده ۲ (بد) و تا ۵ (عالی) بود. جدول ۲۳-۴ لیستی از برخی از نمره‌های نظری میانگین را که به همین روش جمع‌آوری شده است، را نمایش می‌دهد [۲۳]، که کیفیت تماس‌های صوتی نیز با استفاده از یک الگوریتمی که طراحی شده است تا با تکرار صدای شنوندگان نمرات میانگین نظری را بهبود می‌دهد. یک مثال ارزیابی کیفیت هدف اداری (POLQA)^۳ است، [۲۴] یک استاندارد ITU بوده و جانشین کیفیت صحبت بهبود یافته اداری (PESQ)^۴ می‌باشد [۲۴].

جدول ۲۳-۴ مدل‌های کد کننده AMR، شامل اندازه فریم‌ها برای قالب پهنای باند موثر و مثالی از در نمره‌های نظری میانگین

	AMR mode								
	12.2	10.2	7.95	7.4	6.7	5.9	5.15	4.75	SID
Payload size (bits)	244	204	159	148	134	118	103	95	39
Frame size (bits)	256	216	176	160	144	128	120	112	56
Example MOS	3.20	3.08	3.10	3.00	2.90	2.90		2.59	

AMR باند گسترده (AMR-WB) فرکانس‌های صوتی بالاتر را با استفاده از نمونه‌های 16 kbps را می‌گیرد و داده‌های فشرده‌سازی شده‌ای را با نرخ‌هایی که تقریباً دو برابر قبل می‌باشد، را تولید می‌کند. جدول ۲۳-۵ لیستی از اندازه فریم‌ها و نمرات نظری میانگین را برای AMR باند گسترده نشان می‌دهد. به راحتی می‌توانیم ببینیم که این کد کننده چقدر بهتر از AMR است، حتی زمانی که از همان نرخ داده‌های یکسان استفاده می‌کند.

1. Silent Information Descriptor
2. Mean Opinion Score
3. Perceptual Objective Listening Quality Assessment
4. Perceptual Evaluation Of Speech Quality

جدول ۲۳-۵ حالت‌های کد کننده AMR باند گسترده شامل اندازه فریم‌ها برای قالب پهنای باند مؤثر و مثالی از نمرات نظری میانگین

	AMR-WB mode									SID
	23.85	23.05	19.85	18.25	15.85	14.25	12.65	8.85	6.6	
Payload size (bits)	477	461	397	365	317	285	253	177	132	40
Frame size (bits)	488	472	408	376	328	296	264	192	144	56
Example MOS				4.06	3.94	3.93	3.78	3.34	3.07	

۲۳-۴-۲ انتقال فریم‌های AMR بر روی واسط هوایی

جدول ۲۳-۶ چگونگی برخی از حالت‌های AMR را که عموماً در واسط هوایی LTE به کار می‌رود، را نشان می‌دهد. این جدول دارای لیستی از مدل‌ها و اندازه فریم‌هایی است که در مراجع [۲۶-۲۷]، آورده شده‌اند و مثالی از تخصیص پهنای باند با سه بلاک منابع را به کار می‌گیرد. پروتکل‌های RTP، UDP و IP سرایندهای مربوط به خودشان را مثل قبل به فریم‌های AMR اضافه می‌کنند، اما پروتکل همگرای داده‌های بسته (PDCP) سرایند آنها را در تنها در سرایندهای چند بایتی فشرده‌سازی می‌کند. فریم‌های اشاره شده ۴۸ بیتی را برای فریم‌های توصیف کننده اطلاعات سکوت (SID) و برای سایر موارد ۲۴ بیت در نظر می‌گیرند. پس از آن پروتکل‌های لایه دوم واسط هوایی سرایندهای شان را به آن اضافه می‌کنند و اندازه هر کدام از آنها معمولاً ۸ بیت می‌باشد [۲۸-۳۰]. همچنین در این جا چند بیت ذخیره وجود دارند تا اجازه دهند که اندازه سرایند متنوع باشد و از آن جمله می‌توان به عناصر کنترلی MAC یا دنباله MAC اشاره کرد. فریم حاصل شده در یکی از اندازه‌های بلاک انتقال مجاز برای انتقال به لایه فیزیکی LTE نگاشت می‌شود [۳۱]. این اندازه بلاک‌های انتقال، برای انتقال شش حالت از حالت‌های بهینه بالا با استفاده از بیت‌های ۱۶ بیتی طراحی شده‌اند، در حالی که سرایندهای اضافه برای استفاده دو حالت دیگر کوچک هستند.

حال این بلاک‌های انتقال به یک زیر فریم یک میلی ثانیه‌ای نگاشت شده است و با یک دوره زمانی 20 ms انتقال می‌یابند. به طور معمول، از زمان‌بندی نیمه حضوری بهره گرفته می‌شود. جدول ۲۳-۶ مثالی از تخصیص پهنای باند سه بلاک منابع برای هر موبایل را به کار می‌برد، به طوری که همه اندازه بلاک‌های انتقالی اشاره شده موجود می‌باشند. با این تخصیص هر بلاک انتقال با ۴۳۲ عناصر منبع روی PUSCH اشغال می‌شوند. همین اعداد در صورتی که ایستگاه پایه از دو آنتن استفاده کند برای PDSCH مناسب می‌باشند و ناحیه کنترل دارای یک سمبل می‌باشد و

در پیکربندی‌های دیگر تغییرات کمی وجود دارد. تعداد بیت بر سمبل‌های حاصل شده تقریباً بین ۰.۴ و ۰.۸ می‌باشد، که مربوط به شاخص‌های کیفیت کانال ۳ و ۵ می‌باشند.

اگر شرایط رادیویی بهبود یابد در نتیجه، ایستگاه پایه پهنای باند تخصیصی موبایل را کاهش داده و طرح مدولاسیون خودش را به 16-QAM تغییر می‌دهد. (قالب دستورات زمان‌بندی نیمه حضوری مانع استفاده از 64-QAM می‌شود [۳۲]).

جدول ۲۳-۶ حالت‌های کدکننده باند گسترده AMR دارای اندازه‌های فریم‌ها برای قالب بهینه پهنای باند

و مثال نمرات نظری میانگین

	AMR-WB mode			AMR mode				SID
	12.65	8.85	6.6	12.2	7.4	5.9	4.75	
AMR frame size	264	192	144	256	160	128	112	56
RTP, UDP & IP headers	24	24	24	24	24	24	24	48
PDCP, RLC & MAC headers	24	24	24	24	24	24	24	24
MAC padding / spare	16	16	16	24	16	32	16	16
Transport block size	328	256	208	328	224	208	176	144
Transport block CRC	24	24	24	24	24	24	24	24
Bits before coding	352	280	232	352	248	232	200	168
Bit rate (kbps)	17.6	14.0	11.6	17.6	12.4	11.6	10.0	
Physical channel symbols	432	432	432	432	432	432	432	432
Number of bits per symbol	0.81	0.65	0.54	0.81	0.57	0.54	0.46	0.39

اگر شرایط رادیویی خراب شود، در این صورت ایستگاه پایه می‌تواند پهنای باند تخصیصی را افزایش دهد، اگر با ازدحام برخورد کند، ایستگاه پایه می‌تواند از موبایل بخواهد تا به یک حالت AMR آهسته‌تر را با استفاده از مکانیزم تطبیقی نرخ که در فصل بیست و دوم معرفی کردیم تغییر دهد.

در فصل هشتم اشاره کرده بودیم، که پوشش صوتی LTE با خطراتی توسط لینک فراسو محدود شده است. ما می‌توانیم این تأثیرات را در شکل ۲۳-۳ ببینیم که دو مسئله را آشکار می‌سازد: نرخ داده لینک فراسو در گوشه سلول کمتر از مقدار آن در لینک فروسو است و اغلب تغییر پهنای باند انتقال لینک فراسو تأثیر نمی‌پذیرد. این مسئله می‌تواند با استفاده از روش دسته‌بندی TTI تا حدودی جبران شود، که در آن موبایل انتقال لینک فراسوی خود را چهار بار تکرار می‌کند. بنابراین انرژی سیگنال دریافتی افزایش پیدا می‌کند، که در مقابل استفاده موبایل از منابع را افزایش می‌دهد.

مرجع [۳۳] شبیه‌سازی‌هایی از ظرفیت سلول را برای VoIP با استفاده از کدکننده AMR در یک نرخ 12.2 kbps و پهنای باند سلول 10 MHz را بیان می‌نماید. این نتایج پیشنهاد می‌کنند، که ظرفیت‌های لینک فروسو در حدود ۶۳۴ و ۵۷۸ کاربر به ازای هر سکتور را برای موارد ۱ و ۳ از 3GPP و ظرفیت‌های در حدود ۴۸۲ و ۲۴۶ کاربر برای لینک فراسو به کار رود و با این ایده که

سرویس‌های صوتی در لینک فراسو محدود می‌شود. در مقابل، اعداد مربوط به یک شبکه GSM در حدود ۳۰ کاربر به ازای هر سکتور می‌باشد، با در نظر گرفتن این که هر حامل GSM یک بار در یک خوشه چهار سائیتی با سه سکتور استفاده می‌شود و حداکثر هشت کاربر صوتی را با استفاده از کد کننده صوتی تمام نرخ پشتیبانی می‌کند.

۲۳-۴-۳ انتقال فریم‌های AMR در یک شبکه ثابت

در یک شبکه ثابت، ما با همان فریم‌های قبلی شروع می‌کنیم، اما در اینجا ما باید سرایند کامل RTP، UDP و IP را بدون هیچ گونه فشردگی اضافه کنیم، که نتایج به دست آمده در جدول ۲۳-۷ نشان داده شده است [۳۴]. با در نظر گرفتن استفاده از IPv6، اندازه بسته‌های به دست آمده بین ۵۳۶ و ۷۴۴ بیت قرار می‌گیرند و نرخ بیت‌های مربوط به آن نیز بین ۲۹.۶ و ۳۷.۲ kbps قرار دارد. این اعداد با آن اعدادی که پرتکل توصیف کننده نشست (SDP) برای درخواست یک تخصیص منابع در داخل IMS به کار می‌برد، برابر است. البته اعداد موجود در جدول ۲۲-۴ اندکی بزرگتر هستند و به دلیل استفاده از قالب هشت تایی می‌باشد.

جدول ۲۳-۷ انتقال حالت‌های AMR و AMR-WR در یک شبکه ثابت

	AMR-WB mode			AMR mode				SID
	12.65	8.85	6.6	12.2	7.4	5.9	4.75	
AMR frame size	264	192	144	256	160	128	112	56
RTP header	96	96	96	96	96	96	96	96
UDP header	64	64	64	64	64	64	64	64
IPv6 header	320	320	320	320	320	320	320	320
IP packet size	744	672	624	736	640	608	592	536
Bit rate (kbps)	37.2	33.6	31.2	36.8	32.0	30.4	29.6	

منابع و مآخذ این فصل

1. 3GPP TS 25.306 (2013) UE Radio Access Capabilities, Release 11, Section 5, September 2013.
2. 3GPP TS 36.306 (2013) User Equipment (UE) Radio Access Capabilities, Release 11, Section 4.1, September 2013.
3. 3GPP TS 36.101 (2013) User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 11, Section 5.6A, September 2013.

4. Penttinen, J. (2011) *The LTE/SAE Deployment Handbook*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
5. Holma, H. and Toskala, A. (2011) *LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced*, Chapter 10, 2nd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
6. Sesia, S., Toufik, I. and Baker, M. (2011) *LTE – The UMTS Long Term Evolution*, Chapter 26, 2nd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
7. 3GPP TR 25.814 (2006) Physical Layer Aspect for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA), Release 7, Annex A, October 2006.
8. 3GPP TR 36.814 (2010) Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, Release 9, Annex A, March 2010.
9. 3GPP TS 36.101 (2013) User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 11, Section 6.2, September 2013.
10. Anas, M., Rosa, C., Calabrese, F.D. *et al.* (2008) QoS-Aware single cell admission control for UTRAN LTE uplink. IEEE 67th Vehicular Technology Conference, pp. 2487–2491.
11. 3GPP TR 36.942 (2012) Radio Frequency (RF) System Scenarios, Release 11, Annex A, September 2012.
12. Jakes, W.C. (1994) *Microwave Mobile Communications*, Chapter 2, 2nd edn, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
13. 3GPP TS 36.104 (2013) Base Station (BS) Radio Transmission and Reception, Release 11, Section 6.2, September 2013.
14. Mogensen, P., Wei, N., Kovacs, I.Z. *et al.* (2007) LTE Capacity compared to the Shannon Bound, IEEE 65th Vehicular Technology Conference, pp. 1234–1238.
15. Salo, J., Nur-Alam, M. and Chang, K. (2010) Practical Introduction to LTE Radio Planning, [http:// 4g-portal.com/practical-introduction-to-lte-radio-planning](http://4g-portal.com/practical-introduction-to-lte-radio-planning) (accessed 15 October 2013).
16. Hata, M. (1980) Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **29**, 317–325.

17. European Cooperation in Science and Technology (1999) Digital Mobile Radio Towards Future Generation System, COST 231 Final Report, http://www.lx.it.pt/cost231/final_report.htm (accessed 15 October, 2013).
18. Wireless World Initiative New Radio (2008) WINNER II Channel Models, WINNER II Deliverable D1.1.2, Version 1.2, <http://www.ist-winner.org/WINNER2-Deliverables/D1.1.2.zip> (accessed 15 October 2013).
19. 3GPP TR 25.912 (2012) Feasibility Study for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), Release 11, Section 13.5, September 2012.
20. 3GPP TR 36.814 (2010) Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, 3rd Generation Partnership Project, Release 9, Section 10, March 2010.
21. Department for Transport, UK (2008) Road Statistics 2008: Traffic, Speeds and Congestion, www.ukroads.org.ukroadsignals/articlespapers/roadstats08tsc.pdf (accessed 15 October, 2013).
22. Coventry Transport Museum (2012) Thrust SSC, <http://www.transport-museum.com/about/ThrustSSC.aspx> (accessed 15 October, 2013).
23. Rame, A. and Toukomaa, H. (2005) On comparing speech quality of various narrow- and wideband speech codecs. Proceedings of the 8th International Symposium on Signal Processing and its Applications, pp. 603–606.
24. ITU-T Recommendation P.863 (2011) Perceptual Objective Listening Quality Assessment.
25. ITU-T Recommendation P.862 (2001) Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ): An Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrow-band Telephone Networks and Speech Codecs.
26. 3GPP R2-084764 (2008) LS on Considerations on Transport Block Sizes for VoIP.
27. 3GPP R1-083367 (2008) Adjusting TBS Sizes to for VoIP.

28. 3GPP TS 36.323 (2013) Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Specification, Release 11, Section 6.2.4, March 2013.
29. 3GPP TS 36.322 (2012) Radio Link Control (RLC) Protocol Specification, Release 11, Section 6.2.1.3, September 2012.
30. 3GPP TS 36.321 (2013) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, Release 11, Section 6.1.2, July 2013.
31. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Section 7.1.7.2.1, September 2013.
32. 3GPP TS 36.213 (2013) Physical Layer Procedures, Release 11, Sections 7.1.7.1, 8.6.1, 9.2, September 2013.
33. 3GPP R1-072570 (2007) Performance Evaluation Checkpoint: VoIP Summary.
34. 3GPP TS 26.114 (2013) IP Multimedia Subsystem (IMS); Multimedia Telephony; Media handling and Interac-tion, Release 11, Annex K, September 2013.

اختصارات

16-QAM	16 quadrature amplitude modulation
1G	First generation
1xRTT	1x radio transmission technology
2G	Second generation
3G	Third generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
4G	Fourth generation
64-QAM	64 quadrature amplitude modulation
AAA	Authentication, authorization and accounting
ABMF	Account balance management function
ABS	Almost blank subframe
ACK	Positive acknowledgement
ACM	Address complete message
ADC	Analogue to digital converter
AES	Advanced Encryption Standard
AF	Application function/Assured forwarding
AKA	Authentication and key agreement
AM	Acknowledged mode
AMBR	Aggregate maximum bit rate
AMR	Adaptive multi rate
AMR-WB	Wideband adaptive multi rate
ANDSF	Access network discovery and selection function
ANM	Answer message
API	Application programming interface
APN	Access point name
APN-AMBR	Per APN aggregate maximum bit rate
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ARP	Allocation and retention priority
ARQ	Automatic repeat request
AS	Access stratum/Application server
ASME	Access security management entity
ATCF	Access transfer control function
ATGW	Access transfer gateway
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
AuC	Authentication centre
AVP	Attribute value pair/Audio visual profile
AWS	Advanced Wireless Services
B2BUA	Back to back user agent
BBERF	Bearer binding and event reporting function
BBF	Bearer binding function
BCCH	Broadcast control channel
BCH	Broadcast channel

BD	Billing domain
BE	Best effort
BGCF	Breakout gateway control function
BICC	Bearer independent call control
BM-SC	Broadcast/multicast service centre
BPSK	Binary phase shift keying
BSC	Base station controller
BSR	Buffer status report
BSSAP+	Base station subsystem application part plus
BSSGP	Base station system GPRS protocol
BTS	Base transceiver station
CA	Carrier aggregation
	Customized applications for mobile network
CAMEL	enhanced logic
CBC	Cell broadcast centre
CBS	Cell broadcast service
CC	Call control/Component carrier
CCCH	Common control channel
CCE	Control channel element
CCO	Cell change order
CCSA	China Communications Standards Association
CDF	Charging data function
CDMA	Code division multiple access
CDR	Charging data record
CFI	Control format indicator
CGF	Charging gateway function
CIF	Carrier indicator field
CLI	Calling line identification
CM	Connection management
CMAS	Commercial mobile alert system
C-MSISDN	Correlation mobile subscriber ISDN number
CoMP	Coordinated multi-point transmission and reception
COST	European Cooperation in Science and Technology
CP	Cyclic prefix
CQI	Channel quality indicator
CRC	Cyclic redundancy check
C-RNTI	Cell radio network temporary identifier
CS	Circuit switched
CS/CB	Coordinated scheduling and beamforming
CSCF	Call session control function
CSFB	Circuit switched fallback
CSG	Closed subscriber group
CSI	Channel state information
CS-MGW	Circuit switched media gateway
CTF	Charging trigger function
D2D	Device to device

DAC	Digital-to-analogue converter
dB	Decibel
dBi	Decibels relative to an isotropic antenna
dBm	Decibels relative to one milliwatt
DCCH	Dedicated control channel
DCI	Downlink control information
DeNB	Donor evolved Node B
DFT	Discrete Fourier transform
DFT-S-OFDMA	Discrete Fourier transform spread OFDMA
DHCP	Dynamic host configuration protocol
DiffServ	Differentiated services
DL	Downlink
DL-SCH	Downlink shared channel
DNS	Domain name server
DPS	Dynamic point selection
DRS	Demodulation reference signal
DRVCC	Dual radio voice call continuity
DRX	Discontinuous reception
DSCP	Differentiated services code point
DSL	Digital subscriber line
DSMIP	Dual-stack mobile IP
DTCH	Dedicated traffic channel
DTM	Dual transfer mode
DTMF	Dual tone multi-frequency
EAG	Explicit array gain
eAN	Evolved access network
EAP	Extensible authentication protocol
EATF	Emergency access transfer function
ECGI	E-UTRAN cell global identifier
ECI	E-UTRAN cell identity
ECM	EPS connection management
ECN	Explicit congestion notification
E-CSCF	Emergency call session control function
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EEA	EPS encryption algorithm
EF	Expedited forwarding
eHRPD	Evolved high rate packet data
EIA	EPS integrity algorithm
EICIC	Enhanced inter cell interference coordination
EIR	Equipment identity register
EIRP	Equivalent isotropic radiated power
eMBMS	Evolved MBMS
EMM	EPS mobility management
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved packet core
ePCF	Evolved packet control function

EPDCCH	Enhanced physical downlink control channel
ePDG	Evolved packet data gateway
EPRE	Energy per resource element
EPS	Evolved packet system
E-RAB	Evolved radio access bearer
ERF	Event reporting function
ESM	EPS session management
E-SMLC	Evolved serving mobile location centre
ESP	Encapsulating security payload
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
ETWS	Earthquake and tsunami warning system
E-UTRAN	Evolved UMTS terrestrial radio access network
EV-DO	Evolution data optimized
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency division duplex
FDMA	Frequency division multiple access
FD-MIMO	Full-dimension MIMO
FFT	Fast Fourier transform
FTP	File transfer protocol
GBR	Guaranteed bit rate
GCP	Gateway control protocol
GERAN	GSM EDGE radio access network
GGSN	Gateway GPRS support node
GMLC	Gateway mobile location centre
GMM	GPRS mobility management
GNSS	Global navigation satellite system
GP	Guard period
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GRE	Generic routing encapsulation
GRX	GPRS roaming exchange
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMA	GSM Association
GTP	GPRS tunnelling protocol
GTP-C	GPRS tunnelling protocol control part
GTP-U	GPRS tunnelling protocol user part
GUMMEI	Globally unique MME identifier
GUTI	Globally unique temporary identity
HARQ	Hybrid ARQ
HeNB	Home evolved Node B
HI	Hybrid ARQ indicator
HLR	Home location register
H-PCRF	Home policy and charging rules function
HRPD	High rate packet data
HSDPA	High speed downlink packet access
HSGW	HRPD serving gateway

HSPA	High speed packet access
HSS	Home subscriber server
HSUPA	High-speed uplink packet access
HTTP	Hypertext transfer protocol
I	In phase
IAM	Initial address message
IARI	IMS application reference identifier
IBCF	Interconnection border control function
ICIC	Inter-cell interference coordination
ICS	IMS centralized services
I-CSCF	Interrogating call session control function
ICSI	IMS communication service identifier
IDC	In device coexistence
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
iFC	Initial filter criteria
IFOM	IP flow mobility
II-NNI	Inter IMS network to network interface
IKE	Internet key exchange
IMEI	International mobile equipment identity
IM-MGW	IMS media gateway
IMPI	IP multimedia private identity
IMPU	IP multimedia public identity
IMS	IP multimedia subsystem
IMS-ALG	IMS application level gateway
IMSI	International mobile subscriber identity
IM-SSF	IP multimedia service switching function
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet protocol
IP-CAN	IP connectivity access network
IPSec	IP security
IP-SM-GW	IP short message gateway
IPv4	Internet protocol version 4
IPv6	Internet protocol version 6
IPX	IP packet exchange
IRL	Isotropic receive level
ISDN	Integrated services digital network
ISI	Inter symbol interference
ISIM	IP multimedia services identity module
ISR	Idle mode signalling reduction
ISRP	Intersystem routing policy
ISUP	ISDN user part
ITU	International Telecommunication Union
IWF	Interworking function
JP	Joint processing
JR	Joint reception

JT	Joint transmission
LA	Location area
LBS	Location-based services
LCS	Location services
LCS-AP	LCS application protocol
LDAP	Lightweight directory access protocol
LGW	Local gateway
LIPA	Local IP access
LIR	Location info request
LPP	LTE positioning protocol
LRF	Location retrieval function
LTE	Long term evolution
LTE-A	LTE-Advanced
M2M	Machine to machine
MAC	Medium access control
MAP	Mobile application part
MAPCON	Multi access PDN connectivity
MAR	Multimedia authentication request
MBMS	Multimedia broadcast/multicast service
MBMS-GW	MBMS gateway
MBR	Maximum bit rate
MBSFN	Multicast/broadcast over a single frequency network
MCC	Mobile country code
MCCH	Multicast control channel
MCE	Multicell/multicast coordination entity
MCH	Multicast channel
MDT	Minimization of drive tests
ME	Mobile equipment
MEGACO	Media gateway control
MeNB	Master evolved Node B
MGCF	Media gateway control function
MGL	Measurement gap length
MGRP	Measurement gap repetition period
MGW	Media gateway
MIB	Master information block
MIMO	Multiple input multiple output
MIP	Mobile IP
MM	Mobility management
MME	Mobility management entity
MMEC	MME code
MMEGI	MME group identity
MMEI	MME identifier
MMSE	Minimum mean square error
MMTel	Multimedia telephony service
MNC	Mobile network code
MO	Management object

MOS	Mean opinion score
MPLS	Multiprotocol label switching
MRB	Media resource broker
MRF	Multimedia resource function
MRFC	Multimedia resource function controller
MRFP	Multimedia resource function processor
M-RNTI	MBMS radio network temporary identifier
MSC	Mobile switching centre
MSISDN	Mobile subscriber ISDN number
MSK	Master session key
MSRP	Message session relay protocol
MT	Mobile termination
MTC	Machine-type communications
MTC-IWF	Machine-type communications interworking function
MTCH	Multicast traffic channel
M-TMSI	M temporary mobile subscriber identity
MTSI	Multimedia telephony service for IMS
MU-MIMO	Multiple user MIMO
NACC	Network-assisted cell change
NACK	Negative acknowledgement
NAI	Network access identifier
NAP-ID	Network access provider identity
NAS	Non-access stratum
NAT	Network address translation
NH	Next hop
NMO	Network mode of operation
OCF	Online charging function
OCS	Online charging system
OMA	Open Mobile Alliance
OFCS	Offline charging system
OFDM	Orthogonal frequency division multiplexing
OFDMA	Orthogonal frequency division multiple access
OSA	Open service access
OSI	Open systems interconnection
OTDOA	Observed time difference of arrival
OUI	Organizational unique identifier
PAPR	Peak-to-average power ratio
PBCH	Physical broadcast channel
PBR	Prioritized bit rate
PCC	Policy and charging control
PCCH	Paging control channel
PCEF	Policy and charging enforcement function
PCell	Primary cell
PCFICH	Physical control format indicator channel
PCH	Paging channel
PCRF	Policy and charging rules function

PCS	Personal Communications Service
P-CSCF	Proxy call session control function
PDCCCH	Physical downlink control channel
PDCP	Packet data convergence protocol
PDN	Packet data network
PDP	Packet data protocol
PDSCCH	Physical downlink shared channel
PDU	Protocol data unit
PESQ	Perceptual evaluation of speech quality
P-GW	Packet data network gateway
PHB	Per hop behaviour
PHICH	Physical hybrid ARQ indicator channel
PL	Path loss/Propagation loss
PLMN	Public land mobile network
PLMN-ID	Public land mobile network identity
PMCH	Physical multicast channel
PMD	Pseudonym mediation device
PMI	Precoding matrix indicator
PMIP	Proxy mobile IP
PoC	Push to talk over cellular
POLQA	Perceptual objective listening quality assessment
PPR	Privacy profile register
PRACH	Physical random access channel
PRACK	Provisional response acknowledgement
PRB	Physical resource block
P-RNTI	Paging radio network temporary identifier
ProSe	Proximity services
PS	Packet switched
PSAP	Public safety answering point
PSS	Primary synchronization signal
PSTN	Public switched telephone network
P-TMSI	Packet temporary mobile subscriber identity
PUCCH	Physical uplink control channel
PUSCH	Physical uplink shared channel
PWS	Public warning system
Q	Quadrature
QAM	Quadrature amplitude modulation
QCI	QoS class identifier
QoS	Quality of service
QPSK	Quadrature phase shift keying
RA	Routing area
RACH	Random access channel
RADIUS	Remote authentication dial in user service
RANAP	Radio access network application part
RA-RNTI	Random access radio network temporary identifier
RB	Resource block

RBG	Resource block group
RCS	Rich communication services
RE	Resource element
REG	Resource element group
RF	Radio frequency/Rating function
RFC	Request for comments
RI	Rank indication
RIM	Radio access network information management
RLC	Radio link control
RLF	Radio link failure
RN	Relay node
RNC	Radio network controller
RNTI	Radio network temporary identifier
ROHC	Robust header compression
R-PDCCH	Relay physical downlink control channel
RRC	Radio resource control
RRH	Remote radio head
RS	Reference signal
RSCP	Received signal code power
RSRP	Reference signal received power
RSRQ	Reference signal received quality
RSSI	Received signal strength indicator
RTCP	RTP control protocol
RTP	Real time transport protocol
S1-AP	S1 application protocol
SAE	System architecture evolution
SaMOG	S2a mobility based on GTP
SAR	Server assignment request
SC	Service centre
	Service centralization and continuity application
SCC-AS	server
SCell	Secondary cell
SC-FDMA	Single-carrier frequency division multiple access
SCS	Service capability server
S-CSCF	Serving call session control function
SCTP	Stream control transmission protocol
SDF	Service data flow
SDP	Session description protocol
SDU	Service data unit
SEG	Secure gateway
SeNB	Slave evolved Node B
SFN	System frame number
SGsAP	SGs application protocol
SGSN	Serving GPRS support node
S-GW	Serving gateway
SIB	System information block

SID	Silence information descriptor
SIM	Subscriber identity module
SINR	Signal-to-interference plus noise ratio
SIP	Session initiation protocol
SIPTO	Selective IP traffic offload
SI-RNTI	System information radio network temporary identifier
SLF	Subscription locator function
SM	Session management
SMS	Short message service
SMS-GMSC	SMS gateway MSC
SMS-IW MSC	SMS interworking MSC
SMTP	Simple mail transfer protocol
SNR	Subscribe notifications request
SOAP	Simple object access protocol
SON	Self-optimizing network/Self organizing network
SPR	Subscription profile repository
SPS	Semi persistent scheduling
SPT	Service point trigger
SR	Scheduling request
SRB	Signalling radio bearer
SRS	Sounding reference signal
SRVCC	Single radio voice call continuity
SS	Supplementary service
SS7	Signalling system 7
SSID	Service set identifier
SSS	Secondary synchronization signal
S-TMSI	S temporary mobile subscriber identity
STN-SR	Session transfer number single radio
SU-MIMO	Single-user MIMO
SVD	Singular value decomposition
TA	Timing advance/Tracking area
TAC	Tracking area code
TAI	Tracking area identity
TCP	Transmission control protocol
TDD	Time division duplex
TDMA	Time division multiple access
TD-SCDMA	Time division synchronous code division multiple access
TE	Terminal equipment
TEID	Tunnel endpoint identifier
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TFT	Traffic flow template
THIG	Topology hiding inter network gateway
TM	Transparent mode
TMSI	Temporary mobile subscriber identity

TPC	Transmit power control
TR	Technical report
TrGW	Transition gateway
TS	Technical specification
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunication Technology Committee
TTI	Transmission time interval
UA	User agent
UAR	User authorization request
UCI	Uplink control information
UDP	User datagram protocol
UDR	User data repository/User data request
UE	User equipment
UE-AMBR	Per UE aggregate maximum bit rate
UICC	Universal integrated circuit card
UL	Uplink
UL-SCH	Uplink shared channel
UM	Unacknowledged mode
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
URI	Uniform resource identifier
USIM	Universal subscriber identity module
USSD	Unstructured supplementary service data
UTDOA	Uplink time difference of arrival
UTRAN	UMTS terrestrial radio access network
VANC	VoLGA access network controller
VLR	Visitor location register
VoIP	Voice over IP
VoLGA	Voice over LTE via generic access
VoLTE	Voice over LTE
V-PCRF	Visited policy and charging rules function
VRB	Virtual resource block
vSRVCC	Single radio video call continuity
WCDMA	Wideband code division multiple access
WCS	Wireless Communications Service
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WINNER	Wireless World Initiative New Radio
X2-AP	X2 application protocol
XCAP	XML configuration access protocol
XML	Extensible markup language
ZUC	Zu Chongzhi