



مستند پروژه
استاد درس: دکتر محمدرضا پاکروان
طراحی: امیرحسین رستمی
ویرایش: تیم آموزشی
تاریخ تحویل: ۴ مرداد

مقدمه

امروز شبکه‌های تلفن همراه گسترش زیادی یافته‌اند و استفاده از آن‌ها تنها به انتقال صدا و برقراری تماس تلفنی محدود نمی‌شود. با افزایش کاربری شبکه‌های موبایل نیاز به بازمهندسی و احیا معماری آن‌ها و بروزرسانی طراحی‌های پیشین به غایت احساس می‌شود. همانطور که می‌دانید استانداردهای مختلفی در نسل‌های مختلف برای تامین نیازمندی‌های جدید شبکه‌های تلفن همراه، معرفی و توسعه داده شده است. یکی از پرکاربردترین این استانداردها، استاندارد LTE^۱ در نسل چهارم شبکه‌های تلفن همراه یا همان ۴G است.

۱.۰ اهداف

هدف اصلی استاندارد LTE تامین نرخ داده بالا، تاخیر کم و ارایه تکنولوژی دسترسی رادیویی بهینه بسته‌ای^۲ است که نسبت به مستقرسازی^۳ پهنا‌بندهای مختلف منعطف باشد. معماری شبکه به گونه‌ای طراحی شده است که علی‌رغم جابه‌جایی کاربر^۴ ترافیک packet-switched به طریق بهینه‌ای منتقل شده و نیز قابلیت تحقق QoS را به خوبی در سطوح مختلف داشته باشیم.

۲.۰ مزایا

در ادامه به بیان برخی از مزایای تکنولوژی LTE می‌پردازیم.

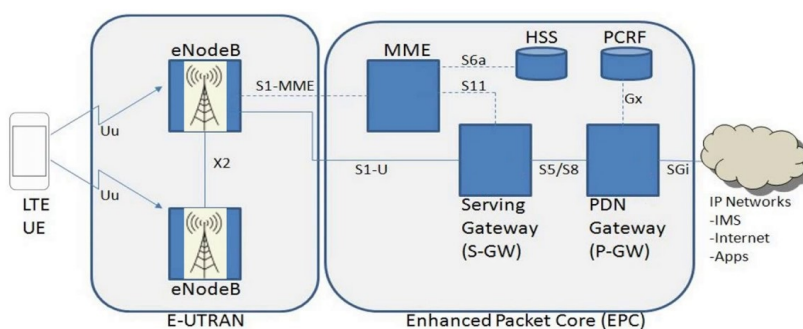
- استاندارد LTE تا ۵۰ برابر بهبود در کارایی را برای شبکه‌های سلولی به ارمغان آورد.
- کاهش تاخیر در شبکه
- سیگنال‌دهی بهینه برای برقراری اتصال و مدیریت جابه‌جایی^۵ تجربه کاربری بهتر را برای استفاده‌کنندگان سیستم به ارمغان آورده است.
- تمامی تجهیزات LTE ملزم به پشتیبانی از آنتن‌های MIMO هستند که این قابلیت را می‌دهد که بتوان جریان‌های داده^۶ متنوعی را از طریق یک حامل^۷ به صورت هم‌زمان منتقل کنیم.
- مکانیزم QoS در تمامی واسطه‌های^۸ شبکه استاندارد شده است و به علت پشتیبانی از انعطاف در پهنا باند قابلیت ارایه کیفیت سرویس‌های متنوع وجود دارد.
- بهینه سازی شبکه برای ارتباطات مبتنی بر بسته
- تکنولوژی LTE به علت پشتیبانی از نرخ داده‌های بالا برای کاربری‌هایی از قبیل VoIP، ویدیو کنفرانس و ... مناسب است.
- LTE حامل‌ها با پهنا‌بندهای مختلفی را پشتیبانی می‌کند (از ۱.۴ MHz تا ۲۰ MHz)

^۱ Long Term Evolution
^۲ packet optimized radioaccess
^۳ deployment
^۴ mobility
^۵ mobility
^۶ data streams
^۷ carrier
^۸ interfaces

معماری

این استاندارد که در ادامه سری استانداردهای نسل چهارم ارائه شد معماری ای بصورت زیر دارد که هر یک از اجزای آن کارکرد خاص خود را دارند که در ادامه به بررسی آنها خواهیم پرداخت.

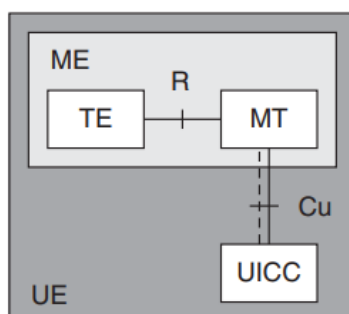
4G | LTE ARCHITECTURE



شکل ۱: معماری LTE

• UE | User Equipment

این بخش در واقع همان گوشی تلفن همراهی است که از طریق واسطه بی سیم قرار است به شبکه متصل شود. معماری داخلی UE به صورت زیر است:



شکل ۲: معماری UE

— MT

این بخش تمام عملکردهای ارتباطی را انجام می دهد.

— TE

این بخش جریان داده ها را خاتمه می دهد.

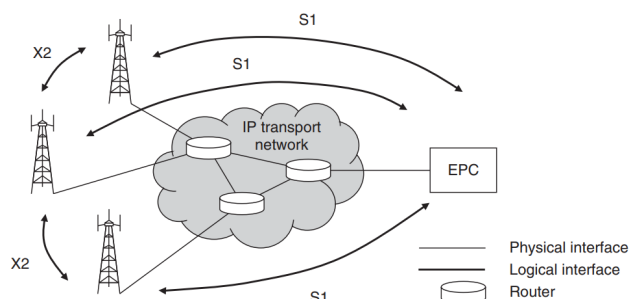
— UICC

این بخش اصطلاحاً همان سیم کارت است و برنامه ای به نام ^۱ USIM را اجرا می کند و اطلاعات مخصوص کاربر از قبیل شماره تلفن و هویت شبکه خانگی ^۲ را ذخیره می کند.

^۱ Universal Subscriber Identity Module
^۲ HNI | Home Network Identity

● eNodeB

این بخش از شبکه که در واقع مهره اصلی Radio Access Network است، آنتن‌هایی است که در موقعیت‌های مختلف مستقر شده‌اند و از طریق پروتکل S1-AP روی واسطه S1-MME به تبادل ترافیک لایه کنترل^۱ با ماژول MME می‌پردازد. در ادامه معماری داخلی E-UTRAN را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۳: معماری داخلی E-UTRAN

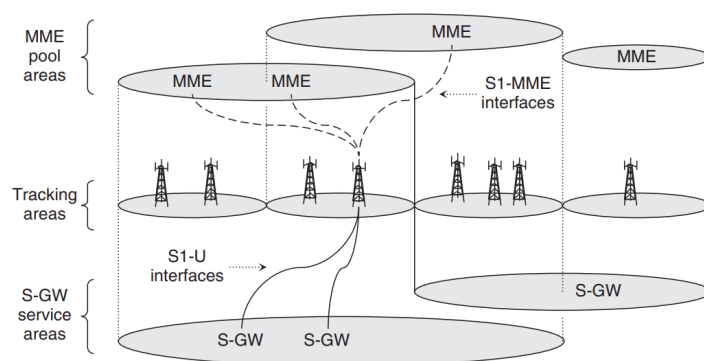
● S-GW | Serving Gateway

این بخش به عنوان اولین محلی است که بسته‌های دریافت شده از طریق آنتن‌های رادیویی وارد شبکه هسته می‌شوند. برای هر UE مرتبط با EPC^۲ یک عدد S-GW اختصاص داده شده است. این بخش اولین نقطه‌ای که مسوولیت مدیریت Handover بین eNodeB‌ها را بر عهده دارد. از دیگر وظایف این ماژول مهم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارسال داده‌ها به و دریافت آن‌ها از eNodeB و تعیین مسیر عبوری داده‌ها
- گزارش رخدادها به ماژول PCRF

● MME | Mobility Management Entity

واحد مدیریت جابه‌جایی کاربرها از اصلی‌ترین بخش‌های شبکه‌های تلفن همراه است. این ماژول مسوول اصلی مدیریت signalling در شبکه هسته است. بنابر آنچه در استاندارد آورده شده است مسوولیت‌های اصلی این واحد ایجاد کانال ارتباطی و هویت‌سنجی کاربرین است. اطلاعات مربوط به مکان فیزیکی کاربرها و اینکه بسته‌ها به چه طریقی باید به کاربرین ارسال شوند در این بخش نگهداری می‌شود. علی‌ذلک این ماژول با جمع‌آوری داده‌های مربوط به محل کاربرها (گزارش‌هایی که از eNodeB دریافت می‌کند) تصمیم می‌گیرد که کدام eNodeB باید دیتای کاربر را دریافت و به آن ارسال کند.



شکل ۴: رابطه بین eNodeB‌ها و استخر MME‌ها و S-GW service areas

توجه کنید که کاربرین به طور مستقیم با واحد MME در ارتباط نیستند بلکه MME در بالادست به کمک اطلاعاتی که از eNodeB‌ها دریافت می‌کند، تصمیم‌ها را گرفته و به اطلاع eNodeB و S-GW می‌رساند. در اصل MME مغزکنترلر و هوش‌مندی شبکه بوده و

^۱ control plane traffic
^۲ Enhanced Packet Core

اطلاعات را پایین دست گرفته و تصمیم‌ها را اخذ کرده و مجدد به پایین دست اطلاع می‌دهد. توجه کنید که در شبکه یک عدد MME وجود ندارد و هرکدام از MME ها ناحیه جغرافیایی خاص خود را تحت کنترل و مدیریت دارند. اگر کاربر با سرعت زیاد در حال جابه‌جایی باشد ممکن است از ناحیه تحت کنترل یک MME خاص خارج شده و ناحیه تحت کنترل MME دیگر وارد شود. معماری معرفی شده برای LTE ساختاری توزیع شده دارد و از هرکدام از ماژول‌های تعداد مکرری در ناحیه‌های جغرافیای مختلف وجود دارد.

● HSS | Home Subscriber Server

این بخش دیتابیس است که در آن اطلاعات مربوطه به کاربران شامل شماره آن‌ها و نوع سرویسی که استفاده می‌کنند در آن ذخیره می‌شود. این ماژول به CSP^۱ ها کمک می‌کند که سرویس‌دهی به مشتریان را به صورت برلحظه و مقرون به صرفه مدیریت کند. ماژول HSS به CSP ها کمک می‌کند تا عملکردهای تخصصی از قبیل ممنوع کردن یک‌سری سرویس‌ها، فعال‌سازی و غیرفعال‌سازی سیم‌کارت‌ها و ... را انجام دهد. هم‌چنین به CSP کمک می‌کند تا مشترکین را برحسب اشتراکشان، به صورت سلسله مراتبی تفکیک کند.

● PCRF | Policy & Charging Rules Functions

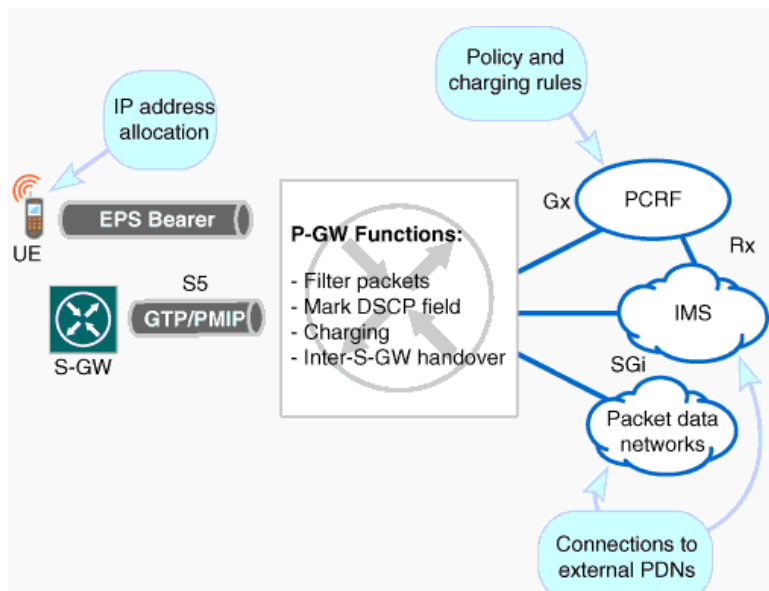
وظیفه این بخش که در ارتباط با P-GW تعریف می‌شود، اموری از قبیل کنترل سیاست‌های کلی شبکه و نیز محاسبه هزینه‌های مربوط به هر کاربر است. PCRF یک گره نرم‌افزاری است و به نحوی طراحی شده است که سیاست‌های یک شبکه چند رسانه‌ای را به صورت برلحظه تعیین کرده و به عنوان یک عنصر مرکزی سیاست‌گذاری است.

● P-GW | Packet Data Network Gateway

این بخش اولین محلی است که با شبکه خارج از هسته در ارتباط است و به عنوان یک دروازه بین شبکه خارجی و شبکه تلفن همراه عمل می‌کند.

از وظایف اصلی این بخش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارسال بسته‌ها به و دریافت آن‌ها از شبکه مبتنی بر بسته خارجی
- در این ماژول است که تعیین می‌شود که بسته‌ها به چه نوع شبکه خارجی‌ای وارد شوند.
- فیلترینگ بسته‌ها
- محاسبه هزینه‌ها به همراه ماژول PCRF



شکل ۵: نمایی از P-GW

پیاده‌سازی

در این بخش به جزئیات پیاده‌سازی پروژه می‌پردازیم.

۳.۰ اجزا

اجزایی که در این پروژه شبیه‌سازی خواهند شد به شرح زیر است:

• User

کاربر متصل به شبکه به دنبال انتقال رشته‌ای از کاراکترها (مثلاً محتوای یک فایل متنی) به کاربری دیگر است. هر فایل به تعدادی قسمت کوچکتر تقسیم می‌شود و هرکدام مستقلاً از طریق شبکه به دست گیرنده می‌رسند و علاوه بر رسیدن همه قسمت‌ها، باید ترتیب آن‌ها هم حتماً رعایت شود. هر کاربر یک ID ای دارد که به کمک آن از سایر کاربرین متمایز می‌گردد. کاربر می‌تواند مسیرهای مختلفی را طی نماید و این جابه‌جایی می‌توان به صورتی باشد که از محدوده تحت سیطره eNodeB فعلی خارج شده و به محدوده eNodeB دیگری وارد شود و در صورت تشخیص وقوع این رخداد اقدامات لازم جهت انجام فرآیند handover باید توسط گره‌های مختلف شبکه انجام شود (به جزئیات فرآیند handover در آینده وارد خواهیم شد).

• eNodeB

همانطور که پیشتر گفتیم اولین نقطه اتصال کاربر به شبکه eNodeB ها هستند. هرکدام از eNodeB ها باید به MME به صورت منظم گزارش‌های کاربرین تحت سیطره را بدهند و اتفاق‌های مختلف را به اطلاع واحد مغز مرکزی (MME) برسانند.

• SGW

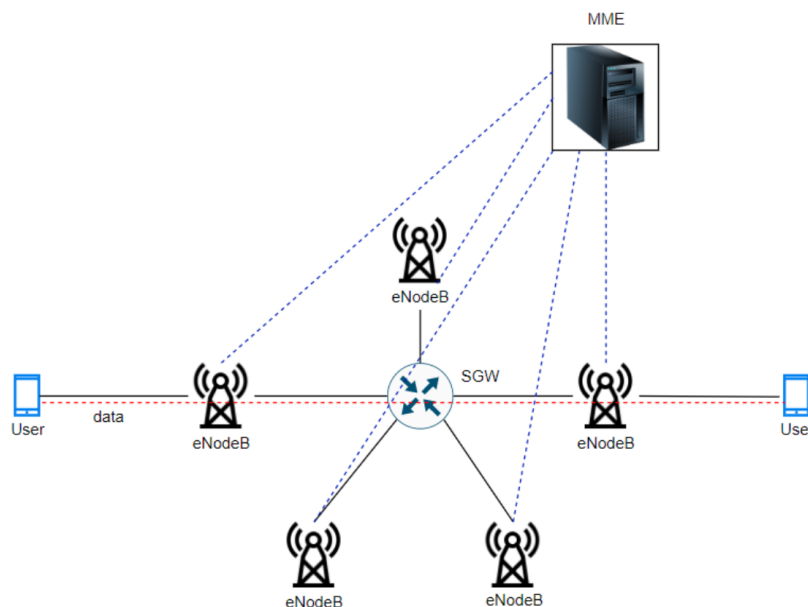
محل اتصال eNodeB های مختلف است و شامل یک جدول مسیریابی است که تعیین می‌کند دیتای هر کاربر به دست کدام eNodeB بایست داده شود. در اصل SGW به مثابه سوئیچی عمل می‌کند که هوش‌مندی ندارد و فقط می‌داند که چه چیزی را به دست که باید بدهد و در صورتی که با بسته‌ای مواجه شود که نداند آن‌را چگونه منتقل کند، به MME پیغام ارسال کرده تا طبق تشخیص آن، به انتقال بسته مربوطه بپردازد.

• MME

این گره مسوول انجام هماهنگی‌های لازم جهت کنترل handover کاربر از محدوده یک eNodeB به eNodeB دیگر است. این گره به مثابه مرکز هوشمندی شبکه بوده و با دریافت موقعیت‌های کاربران از طریق eNodeB های ناحیه مربوطه، مسیر جابه‌جایی بسته‌ها را در S-GW تنظیم می‌کند. در صورتی که S-GW با بسته‌ای مواجه شود که نداند آن‌را چگونه انتقال دهد، پیغامی به MME می‌دهد و منتظر می‌ماند تا تصمیم در بالادست راجع به جابه‌جایی این بسته گرفته شود و در ادامه به وی اطلاع داده شود تا مطابق آن به انتقال (و یا انداختن)^۱ بسته مذکور بپردازد.

^۱ drop

برای پرهیز از پیچیده شدن پروژه نیازی به پیاده سازی ماژول های دیگر نیست و توپولوژی شبکه فقط حاوی یک عدد MME و یک عدد S-GW و تعداد دلخواهی کاربر و eNodeB است. یعنی به دنبال پیاده سازی نیازمندی های لازم جهت تحقق مکالمه درون ناحیه ای کاربرها در یک ناحیه خاص (که به جهت سادگی حاوی یک MME و یک S-GW و تعدادی eNodeB است) هستیم. eNodeB ها همگی به SGW متصل اند و تشکیل گراف ستاره داده اند و MME هم به SGW و هم به تک تک eNodeB ها متصل است. کاربرها هرکدام بسته به موقعیت به یکی از eNodeB ها متصل اند و درصدد ارسال اطلاعات به یکدیگر از طریق شبکه مذکور اند.



شکل ۶: توپولوژی ساده شده

۴.۰ سناریوها

در این بخش به دنبال تشریح دقیق سناریوهایی هستیم که انتظار می رود در پیاده سازی شما به درستی تحقق یابند. برای احراز صحت عملکرد شبیه سازی، پس از پیکربندی توپولوژی شبکه، تعدادی کاربر به شبکه اضافه شده و از کاربر دلخواهی خواسته خواهد شد که فایلی که در اختیار دارد را برای کاربر مشخص دیگری ارسال کند. توجه شود که این ارسال دیتا باید حتما با رعایت ترتیب باشد یعنی مثلاً فایل داده شده به ۵ قسمت تقسیم شده (تعداد قسمت ها باید قابل تنظیم باشد) و سپس هرکدام از طریق شبکه به کاربر مخاطب ارسال خواهد شد و نیز قسمت های مختلف باید به ترتیب به دست کاربر رسیده و نهایتاً کنار همدیگر قرار گرفته و فایل را به سلامت بسازند.

کاربرهای شبکه (اعم از ارسال کننده و گیرنده) بر اساس رشته ای از موقعیت ها که در ابتدای کار به شما داده می شود در محیط شبیه سازی جابه جا می شوند و ممکن است رخداد handover حین جابه جایی کاربر صورت گیرد و نسبت به انواع حالت ها شبیه سازی باید پاسخ گو باشد و ارسال و دریافت فایل به سلامت صورت گیرد. ابتدا به تشریح مراحل مختلف می پردازیم تا به درک بهتر از ساختار شبکه برسیم.

۱.۴.۰ پیکربندی توپولوژی شبکه | گام صفر

ورودی داده شده به برنامه حاوی موارد زیر است:

• eNodeB ها و محل قرارگیری آنها

- کاربران، محل قرارگیری آنها به همراه مسیر حرکت هرکدام و نیز فاصله زمانی بین هر دو موقعیت کاربر

پس از دریافت ورودی ها کد باید موارد زیر را پیاده سازی کند:

- به هرکدام از eNodeB ها باید یک UID یا همان Unique Identifier در ابتدای کار نسبت داده شود.
- همه eNodeB ها باید با لینکی به سرور S-GW متصل شوند و همچنین باید همه eNodeB ها به سرور MME نیز متصل باشند.

- واحد MME نیاز است تا با لینکی به S-GW متصل شود تا در مراحل بعدی بتواند مسیر ترافیک عبوری را در آن مشخص کند. علی‌ذلك نیاز است تا S-GW هم با لینکی به MME متصل گردد تا در مواقعی که نداند بسته دریافتی را چگونه منتقل کند، از MME بپرسد و برحسب پاسخ دریافتی سیاست مدنظر را اعمال کند.

۲.۴.۰ ایجاد کانال سیگنالینگ بین کاربر و شبکه | گام اول

- هر کاربر باید در زمان اتصال به شبکه یک لینک signalling به تمامی eNodeB ها ایجاد کند و در تناوب زمانی مشخص که همان فاصله زمانی داده شده در گام پیش است، موقعیت مکانی خود را به همراه UID مخصوص به خود به تمامی آن‌ها اعلام کند
- eNodeB ها هر کدام مستقلاً به واحد MME متصل بوده و پس از دریافت موقعیت مکانی کاربر، ابتدا فاصله‌ی خود را از آن محاسبه کرده و سپس آن‌را به MME اطلاع می‌دهد تا با تشخیص MME نزدیک‌ترین eNodeB اعلام شود تا با ارسال پیامی به کاربر به آن متصل شده و آن کاربر را در شبکه ثبت کند و به این ترتیب یک لینک دیتا برای جابه‌جایی داده با آن ایجاد کند. دقت کنید که لینک signalling با لینک دیتا فرق می‌کند.

۳.۴.۰ ایجاد نشست انتقال پیام | گام دوم

- زمانی که کاربر A می‌خواهد با کاربر B انتقال پیام داشته باشد، بایستی با ارسال پیامی به eNodeB خود، درخواست خود را اعلام کند. پس از آن، پیام او از طریق شبکه به دست کاربر B خواهد رسید و نیز کاربر B نیز بایستی آمادگی خود را برای دریافت دیتا به کاربر A با فرستادن پیغامی اعلام کند.
- کاربر A با دریافت پیام آمادگی کاربر B، در بسته‌های مشخص، دیتای خود را برای او ارسال می‌کند. توجه داشته باشید که هدف این است که دیتا با ترتیب ارسالی در گیرنده دریافت شود.

۴.۴.۰ تعویض کانال یا handover | مرحله سوم

هنگامی که کاربر A در حال ارسال اطلاعات به کاربر B است، ممکن است هرکدام از آن‌ها جابه‌جا شوند و این جابه‌جایی به قدری شود که eNodeB ای که به هرکدام فعلاً نسبت داده شده است بر اساس صلاح‌دید MME (مبنی بر انتخاب نزدیک‌ترین eNodeB تغییر کند و در این صورت می‌گوییم رخداد handover به وقوع پیوسته است. این رخداد می‌تواند هم در سمت گیرنده و هم در سمت فرستنده و یا حتی هم‌زمان رخ دهد که هرکدام را به تفصیل در ادامه بررسی می‌کنیم.

● در سمت فرستنده

۱. از آنجایی که کاربر در شبکه در حال حرکت است، ممکن است با تغییر موقعیت مکانی آن فاصله‌اش از eNodeB قدیم که بدان متصل بود بیشتر از فاصله eNodeB دیگری شود و به عبارت دیگر کاربر وارد یک سلول جدید شده است، در این حالت با توجه به اینکه کاربر پس از هر تغییر موقعیت، همواره مکان خود را به شبکه اعلام می‌کند، داریم که MME این مساله (ورود کاربر به سلول جدید) را تشخیص داده و این مساله را به گوش eNodeB جدید (که اکنون کاربر در ناحیه آن است) می‌رساند.
۲. پس از آنکه eNodeB جدید از MME پیام قسمت قبل را دریافت کرد به کاربری که وارد سلول مربوط به آن شده است اعلام می‌کند که ارتباط خود را با eNodeB سابق قطع کند و ازین پس داده‌ها را از طریق لینک دیتای خود برای این eNodeB ارسال نماید.
۳. کاربر پس از دریافت این پیام از eNodeB جدید، ارسال داده به eNodeB قدیم را متوقف کرده و ادامه آن‌را به eNodeB جدید ارسال می‌کند.

- در سمت گیرنده

۱. اگر بر اثر حرکت گیرنده، سلول مربوط به آن عوض شود نیاز است تا داده‌ها از طریق مسیر جدیدی ارسال شوند.
۲. از آنجا که کاربر در هر گام مکان خود را به اطلاع همه eNodeB ها اعلام می‌کند و آن‌ها هم فاصله خود را از آن حساب کرده و نتیجه را به اطلاع MME می‌رسانند و پس از اطلاع MME از ورود کاربر به سلول جدید اعمال زیر را به ترتیب انجام می‌دهد:
 - (آ) ابتدا به اطلاع eNodeB قبلی می‌رساند که داده‌ها را به کاربر ارسال نکند و آن‌ها را بافر کند.
 - (ب) سپس به اطلاع eNodeB جدید می‌رساند که به کاربر اطلاع دهد تا لینک دیتای خود را با eNodeB قدیم قطع کند و به eNodeB جدید متصل شده تا لینک دیتا بین کاربر و eNodeB جدید برقرار شود.
 - (ج) پس از اتصال کاربر به eNodeB جدید، eNodeB جدید پیغامی به eNodeB قدیم ارسال می‌کند که اگر داده‌ای مربوط به این کاربر در بافر خود دارد، آن را برای او ارسال کند.
 - (د) در این فاصله زمانی ممکن است داده‌های جدیدی برای eNodeB جدید از فرستنده ارسال شود که باید آن‌ها را بافر کند.
 - (ه) برای آنکه ترتیب پیام‌ها حفظ شود باید پس از دریافت محتویات eNodeB قدیم و ارسال آن‌ها به کاربر، حال eNodeB جدید می‌تواند محتویات بافر خود و هر آنچه در ادامه دریافت می‌کند را برای کاربر ارسال کند.

موارد زیر در شبیه‌سازی باید حتما در نظر گرفته شود:

- ترتیب داده‌ها در ارسال و دریافت باید حتما حفظ شود.
- هر کاربر در هر لحظه باید تنها یک کانال دیتا داشته باشد و لذا اگر handover صورت گیرد نیاز است تا ابتدا کانال دیتای قبلی قطع و حذف شده و سپس کانال دیتای جدید برقرار شود.
- توجه کنید که شما تنها مجاز به استفاده از قالب‌های اعلام شده در بخش بعد برای پیام‌ها هستید و لذا در هیچ بخشی از شبکه پیامی جز با فرمت آنچه در ادامه اعلام می‌شود هرگز نباید ایجاد و ارسال شود.

۵.۰ چهارچوب پیام‌ها

برای آنکه جهت پیاده‌سازی پروژه و مدل‌سازی سازوکار شبکه شفافیت و زمینه ذهنی داشته باشید، چهارچوب تمامی پیام‌های لازم را در ادامه به همراه جزییات هر کدام از آن‌ها آورده شده است.

- Position Announcement

کاربر به eNodeB موقعیت خود را به همراه ID اش در کانال signalling ارسال می‌کند.

- eNodeB-SGW Connection

eNodeB باید id خود را به SGW اطلاع دهد.

- eNodeB-MME Connection

eNodeB باید id خود را به MME اطلاع دهد.

- Signalling Channel Setup

هر کاربر بعد از برقراری لینک، با ابلاغ پیامی از این نوع، id خود را به eNodeB ارسال می‌کند و بدین ترتیب کانال signalling بین کاربر و eNodeB برقرار می‌گردد.

- My Location

هر کاربر با این پیام موقعیت خود را به اطلاع تمامی eNodeB های شبکه (از طریق لینک signalling با هر کدام) می‌رساند.

- User Distance

هر eNodeB پس از دریافت موقعیت کاربر، فاصله خود را از آن محاسبه کرده و برای MME تحت این پیام ارسال می‌نماید.

- User-eNodeB registration

پس از آنکه اطلاعات فاصله کاربر از eNodeB ها از همه eNodeB ها دریافت شد (و یا timeout صورت گرفته است) واحد MME با این پیغام به نزدیک‌ترین eNodeB اعلام می‌دارد که کاربر مربوطه در سلول وی قرار گرفته است.

- **User-eNodeB Connection**
eNodeB پس از دریافت پیام User-eNodeB registration در کانال signalling به کاربر اعلام می‌کند که کوتاه‌ترین فاصله را با او دارد تا کانال دیتا ایجاد شود.
- **eNodeB Deregistration**
MME با ارسال این پیام به eNodeB ای که قبلاً مسوول ارسال داده به کاربر بوده، اعلام می‌کند که کاربر مذکور از سلول آن خارج شده است و از این به بعد هر داده‌ای را که دریافت می‌کند و مربوط به این کاربر است را بافر کند.
- **Session Creation**
فرستنده با ارسال پیام فوق به شبکه (طبیعتاً به eNodeB ای که در حال حاضر با وی کانال دیتا دارد) اعلام می‌کند که می‌خواهد با کاربر خاص مدنظر نشست تشکیل دهد.
- **Session Creation ACK**
گیرنده پیام Session Creation با ارسال این پیام به فرستنده، آمادگی خود جهت تشکیل نشست را اعلام می‌دارد. توجه کنید که ساختار شبکه peer to peer نیست و تمامی درخواست‌ها و پیام‌ها در گام اول به eNodeB ای که کاربر بدان متصل است ارسال می‌شود و برحسب نوع پیام اقدامات لازم انجام می‌شود.
- **Send Me Buffered Data**
پس از اتصال کاربر به eNodeB جدید، همانطور که پیشتر گفتیم eNodeB جدید پیغامی از این نوع به eNodeB قدیم ارسال می‌کند و به وی اطلاع می‌دهد که اگر داده‌ای مربوط به این کاربر در بافر خود دارد، آن را به وی ارسال کند.
- **Buffered Data**
در صورت وقوع handover تحت این پیغام دیتای بافر شده کاربر در eNodeB قدیم به eNodeB جدید ارسال می‌گردد.
- **Handover Completion**
بعد از ارسال تمامی دیتای بافر شده از eNodeB قدیم به eNodeB جدید، بایستی eNodeB قدیم پیغامی از این نوع به eNodeB جدید ارسال کرده و اعلام دارد که تمامی دیتای بافر شده برای کاربر مذکور ارسال گردیده‌است.
- **Change Route**
با تشخیص جابه‌جایی موقعیت کاربر MME به S-GW دستور می‌دهد تا مسیر رسیدن دیتا به این کاربر اصلاح شود، به عبارت بهتر MME از طریق این پیغام در S-GW جدول مسیریابی را تغییر می‌دهد.
- **ASK Route**
در مواقعی که SGW نداند که بسته دریافتی را چگونه منتقل کند، پیغامی از این نوع به MME ارسال کرده و از آن می‌پرسد که forwarding بسته مذکور به چه صورت خواهد بود و MME به اون پاسخ داده و نیز از طریق پیغام Change Route جدول forwarding سوئیچ را به روزرسانی می‌کند تا برای انتقالات بعدی از این دست، سوئیچ دیگر منتظر نماند.

۶.۰ چند نکته راجع به پیاده‌سازی

حال که جزییات ساختار پیغام‌ها بیان گردید به بیان یک‌سری نکات کلی می‌پردازیم:

- دقت کنید که SGW در این پروژه به مثابه سوئیچ در شبکه عمل کرده و یک‌سری قوانین forwarding در جدول آن وجود دارد که بیان می‌دارد که بسته‌های کاربری که از طریق eNodeB ای وارد آن می‌شود به دست کدام eNodeB جهت رسیدن به کاربر مقصد برسد. در صورتی که بسته‌ای به دست SGW برسد و نداند که آن را به کدام eNodeB ارسال کند، پیغام ASK Route به MME می‌دهد.
- در پیاده‌سازی عناصر eNodeB و SGW حتماً بافر باید در نظر گرفته شود، علت در نظر گرفتن بافر در eNodeB به خاطر مسایل handover که پیشتر مطرح شد واضح است. اما علت نیاز به بافر در SGW به این منظور است که اگر بسته‌ای آمد ولی وضعیت forwarding آن با توجه به جدول موجود در سوئیچ مشخص نباشد، نباید بسته دور ریخته شود^۱ بلکه بایست در بافر منتظر بماند تا نتیجه درخواست Route ASK بیاورد و سپس انتقال را انجام دهد و لذا بدین منظور باید در SGW هم بافر در نظر گرفته شود.
- در پیاده‌سازی عناصر مختلف حتماً در نظر بگیرید که هرکدام از این عناصرها در واقع در محلی مجزا و سخت‌افزاری مجزا قرار دارند و تمامی ارتباطها و گفت‌گوها و انتقالات از طریق لینک‌ها صورت می‌گیرد لذا در پیاده‌سازی پروژه اگرچه کد عناصر مختلف در کنار هم هستند ولی اکیدا به حفظ encapsulation و حریم اطلاعات هرکدام از عناصر توجه داشته باشید و در نظر بگیرید که در عمل ساختار توزیع شده است و در پیاده‌سازی‌ها نباید عناصر مختلف شبکه، خارج از چهارچوب و سازوکار ذکر شده، به اطلاعات یکدیگر دست یابند.
- دقت کنید که کد هر کدام از عناصر باید در موازی با یکدیگر کار کند.
- توصیه می‌شود که پیاده‌سازی عناصر مختلف شبکه را به صورت object oriented انجام دهید تا اشکال‌یابی و رفع خطاها ساده‌تر صورت گیرد.
- یک کاربر می‌تواند هم فرستنده و هم گیرنده باشد و به گونه‌ای باید پیاده‌سازی صورت گیرد که در صورتی که تقاضا شود که ارسال و دریافت در بازه زمانی مشترک با یکدیگر تحقق یابد، این دو امر به صورت موازی انجام گیرد.

۷.۰ چند نکته راجع به نحوه تحویل

- در ادامه فرمت ورودی دادن تشریح خواهد گردید و مطابق با این فرمت تعدادی تست کیس ارائه خواهد شد (در تحویل حضوری) که در سطوح مختلف، کیفیت پیاده‌سازی سناریوهای مختلف در کدتان را مورد احراز قرار می‌دهد.
- در هر تست کیس به شماره آرایه‌ای از محل eNodeB ها در ابتدا داده می‌شود تا برحسب آن توپولوژی ستاره‌ای که پیشتر معرفی کردید را بسازید.

```
۱ eNodeBsLocation = [(x1,y1), (x2,y2), ...]
```

- همچنین به شما آرایه‌ای از کاربرین به صورت زیر داده می‌شود که uid یک آیدی شش‌رقمی است و یکتاست ، interval بازه زمانی بین گام‌های کاربر است و نهایتاً locs محل کاربر در گام‌های مختلف است.

```
۱ userA = {  
۲   "uid" : "123456"  
۳   "interval" : "2s",  
۴   "locations" : [(x1,y1), (x2,y2), ...],  
۵ }  
۶ userB = ...  
۷ ...  
۸ users = [userA, userB, ...]
```

^۱drop

- رفتار کاربران هم به صورت آرایه‌ای از سناریوها ارایه می‌گردد که هر سناریو حاوی مطالب زیر است:

- source — این مشخصه، UID کاربر فرستنده است.
- dst — این مشخصه، UID کاربر گیرنده است.
- when — این مشخصه، تعیین می‌کند که چند ثانیه پس از اجرای برنامه این درخواست مکالمه شروع شود.
- content — این مشخصه، محتوای متنی‌ای که باید بین فرستنده گیرنده، تبادل گردد را مشخص می‌کند.
- numberOfChunks — این مشخصه، تعیین می‌کند که محتوای متنی مدنظر طی چند مرحله بایست ارسال شود.

```

۱  scenario1 = {
۲      "source" : "userID",
۳      "dst" : "userID",
۴      "when" : "5s",
۵      "content" : " long string! ",
۶      "numberOfChunks" : 5
۷  }
۸  scenario2 = ...
۹  ...
۱۰ scenarios = [scenario1, scenario2, ...]

```

آرزوی سلامتی و موفقیت
امیرحسین رستمی