



مفهوم ORAN در شبکه های نسل پنچ

درس آشنایی با شبکه های تلفن همراه

غزل عربعلی - ۹۷۵۲۱۳۹۶، بهاره کاوسی نژاد - ۹۹۴۳۱۲۱۷

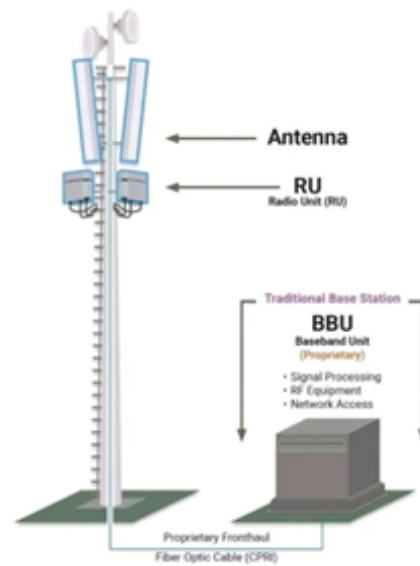
آخرین ویرایش: ۲۲ خرداد ۱۴۰۳ در ساعت ۱ و ۴۷ دقیقه

تحولی در معماری RAN

به شکل ۱ سایت می گویند. سایت ها برای ارائه پوشش بی سیم (Wireless Coverage) به کاربران در یک منطقه جغرافیایی خاص قرار می گیرند. قرار گیری مولفه های RAN مانند سایت که شامل سلول های زیادی است برای اطمینان از دسترسی قابل اعتماد و ثابت (Reliable & Consistent) کاربران به خدمات شبکه بسیار مهم است. به همین جهت هنگام برنامه ریزی برای استقرار شبکه دسترسی رادیویی، اپراتورهای شبکه عوامل مختلفی را در نظر می گیرند مانند

- تراکم جمعیت،
- توپوگرافی که به معنای ویژگی ها و خصوصیات سطح زمین در یک منطقه خاص است،
- تراکم ساختمان ها و
- الگوهای ترافیکی در یک منطقه تحت پوشش

چرا که به طور مثال برای دسترسی بهتر کاربران با توجه به آرایش ترافیکی گاهاً به صورت دینامیک Config شبکه را در طول روز تغییر می دهند. با تحلیل پارامترهای نام



شکل ۱: سایت

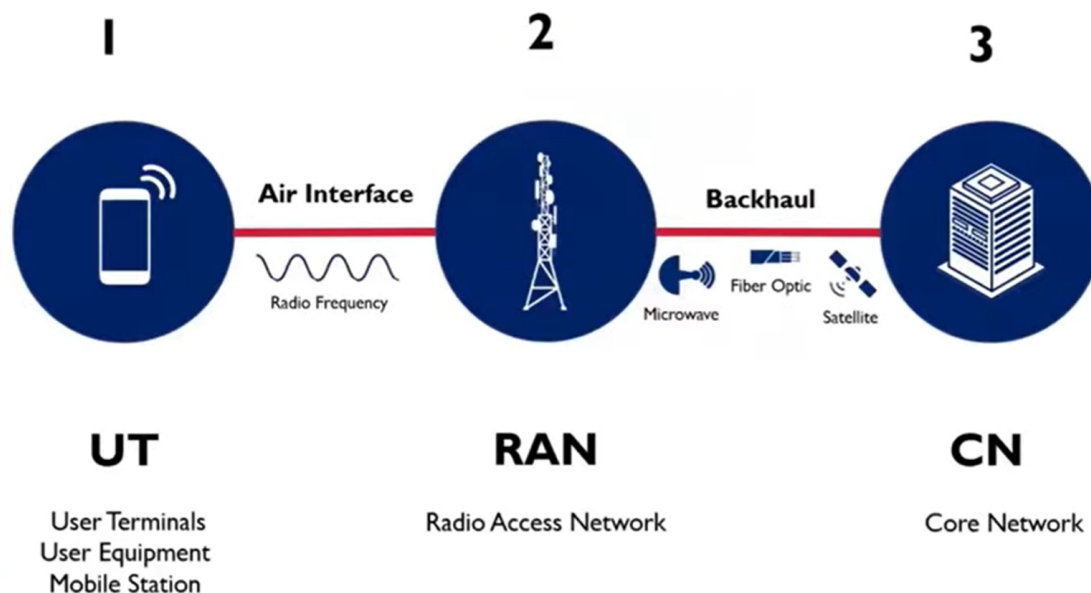
برده شده و دیگر پارامترها اپراتورهای شبکه می توانند مکان بهینه و پیکربندی RAN را با هدف پوشش و ظرفیت حداکثری تعیین کنند. به طور کلی مکان قرارگیری RAN کارایی کلی شبکه را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. در نتیجه برای داشتن پوشش دهی و Mobility باید از استراتژی برای قرار دادن RAN استفاده کنیم.

اجزای شبکه مخابرات بی سیم

اجزای شبکه مخابرات بی سیم از ۳ جزء اصلی تشکیل شده است (شکل ۲) که یکی User Terminal یا User Equipment و یا Mobile Station که در نسل ۲ از این اصطلاح استفاده می شد، دیگری RAN و آخرین جزء Core Network خواهد بود.

وظیفه ناحیه RAN فراهم کردن ارتباط یا Connection Stable برای دستگاه های تلفن همراه است. اگر بخواهیم از ۳ جزء اصلی در Traditional RAN ها نام ببریم میتوان از آنتن، RRU و BBU نام برد. ارتباط میان user terminal و ناحیه RAN از طریق air interface و به صورت wireless و با استفاده از پروتکل AS(Access Stratum) است که در دیالوگ ها و ارتباط میان دیوایس ها و زیر ساخت رادیویی شبکه من جمله eNodeB در نسل ۴ و gNodeB در نسل ۵ به کار می رود. از مجموعه فرکانس های مختلفی جهت برقراری این ارتباط میان ناحیه RAN و User Terminal استفاده می شود که آن را فرکانس رادیویی می خوانیم. ناحیه RAN از طریق لینک backhaul که ترافیک داده از RAN را به هسته شبکه منتقل می کنند به Core Network متصل شده اند. هسته شبکه وظایف مختلف و مهمی را بر عهده دارد من جمله Routing بین شبکه های مختلف، Call، Message، USSD، Internet و به صورت کلی data service ها و ۳ راه اتصال RAN به Core Network وجود دارد که می تواند fiber optic یا microwave باشد و اگر مشکلاتی از در فاصله زیاد و انحنای زمین و ... وجود دارد میتوان از Satellite استفاده کرد.

Wireless Telecommunications Systems



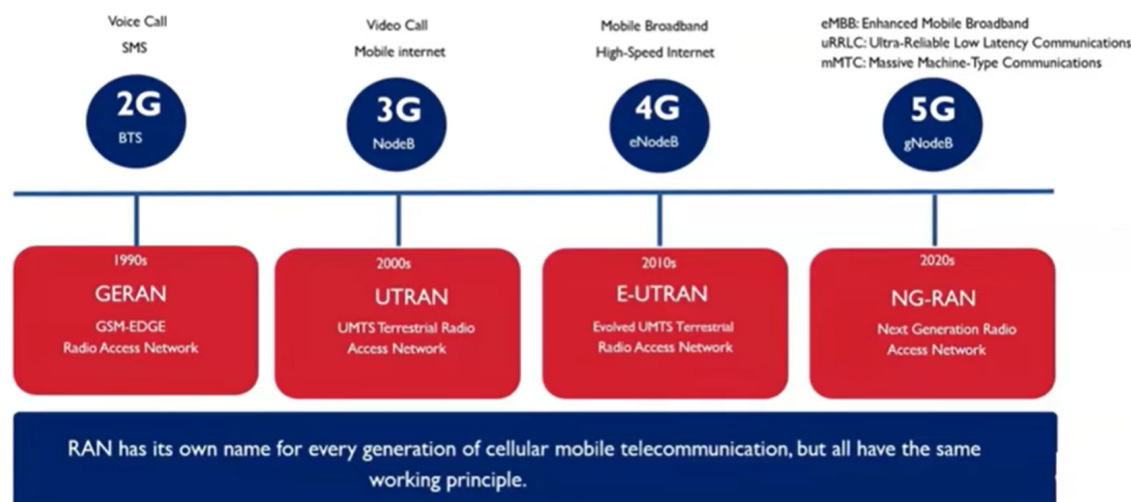
شکل ۲: اجزای شبکه مخابرات بی سیم

بررسی RAN به صورت دقیق تر

حال به بحث دقیق تر درباره RAN می پردازیم: مکان قرارگیری این ناحیه به صورت خیلی گسترده ای توزیع شده است. چرا در که تمامی نواحی وظیفه برقراری ارتباط و پوشش دهی بدون وقفه و اختلال را دارد. این ناحیه به طور مداوم از نسل اول تا نسل پنجم تکامل یافته است اما برخی از اجزای ضروری آن باقی مانده اند مانند آنتن که سیگنال الکتریکی را به امواج رادیویی تبدیل می کند و بالعکس. RU یا Radio Unit که وظیفه آن استفاده از باندهای فرکانسی و سطوح توان مناسب است. BBU یا

BaseBand Unit که سیگنال هارا پردازش می کند و این بخش شامل واحد های نرم افزاری و سخت افزاری جهت برقراری ارتباط بی سیم از طریق امواج رادیویی است. برای ناحیه RAN در نسل های مختلف نامگذاری ها متفاوتی وجود دارد که در تصویر ۳ مشاهده می کنیم. همان طور که دیده می شود، در نسل پنچ، به آن NG-RAN (Next Generation RAN یا New) می گویند.

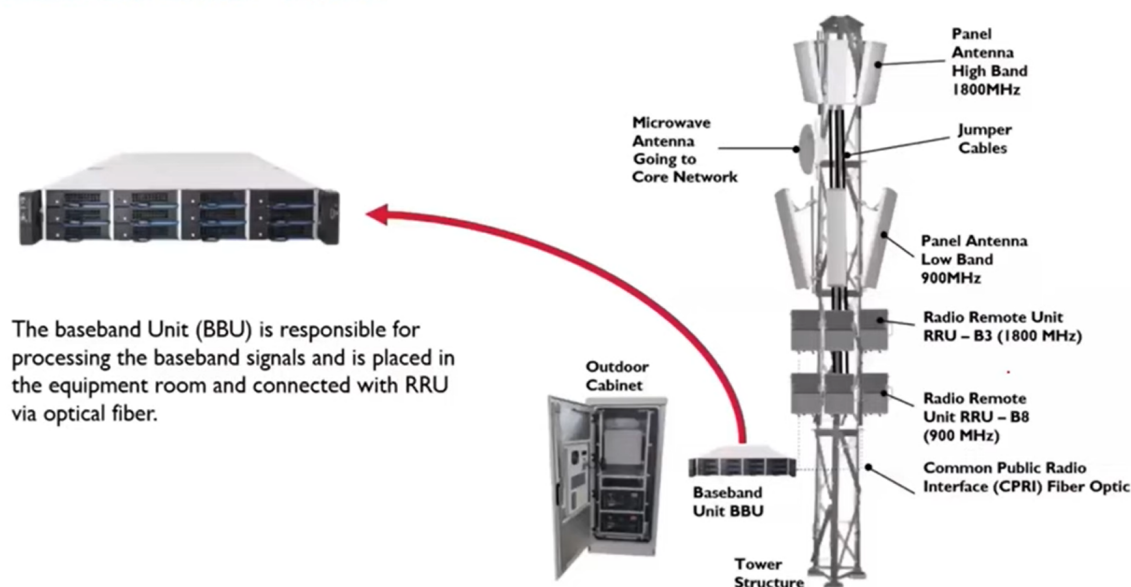
RAN Names in different generations



شکل ۳: نسل های مختلف RAN

همانطور که در شکل ۴ دیده می شود، در Traditional RAN ، Baseband در زیر برج مانندی قرار دارد و روی برج RRU و آنتن نصب شده اند. و این واحد مسئولیت سیگنال های Baseband را بر عهده دارد و در یک کابینی به نام Equipment Room قرار دارد و به وسیله فیبر نوری به RRU که روی برج مانند نصب شده است متصل می شود.

Baseband Unit



شکل ۴: Baseband در Traditional RAN

واحد RRU

واحد RU یا RRU (شکل ۵) روی برج نصب شده است. رابطی سریال به نام CPRI (Common Public Radio Interface) که در شکل ۶ مشاهده می شود، انتقال داده ها با سرعت بالا از طریق کابل فیبر نوری را فراهم می سازد. در نتیجه از طریق آن تمامی سیگنال های رادیویی به function محاسباتی (Computing Function) که در Base Band Unit وجود دارد منتقل می شوند.

Remote Radio Unit

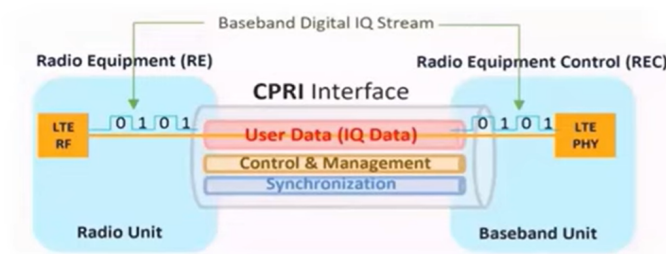
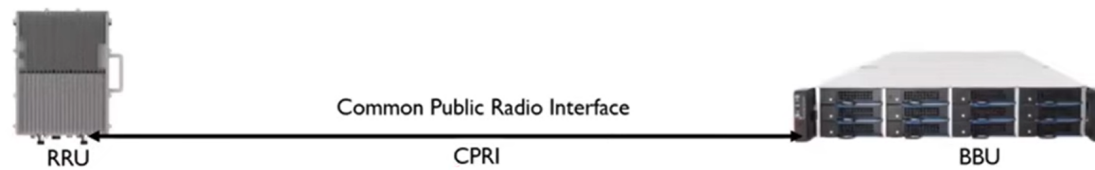


RRU is a radio transceiver that communicates with mobile devices over the airwaves and is located remotely

شکل ۵: RRU

در ناحیه RAN به RRU سخت افزار اختصاصی یا proprietary می گویند و همچنین رابط میان RRU و BBU نیز اختصاصی و واحد BBU خود شامل سخت افزار و نرم افزار اختصاصی است بدان معنا که اگر ما RRU را از NOKIA خریداری کرده باشیم نمی توانیم BBU را از Ericsson خریداری کنیم.

CPRI



CPRI enables the high-speed transmission of data over fiber optic cables, allowing the RRU and the baseband unit to communicate with each other.

شكل ٦: CPRI

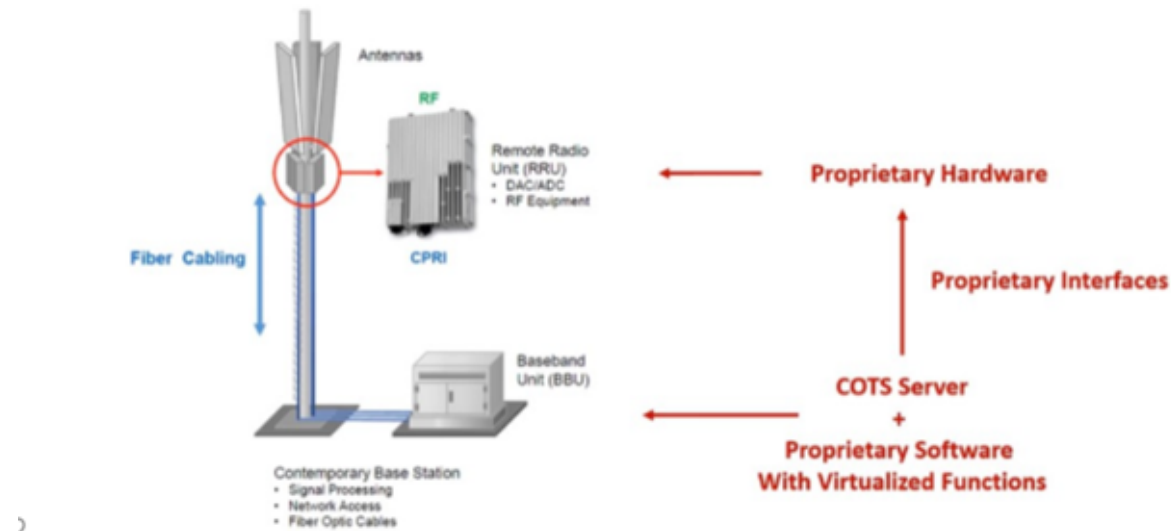
CRAN

به معنای Centralized RAN است.

Virtual-RAN

در حدود سال های ۱۹۹۴ ما دیوایس های مختلفی مثل رادیو، tape recorder ، دوربین فیلم برداری، CD Player و ... داشتیم و هم اکنون به کمک network function virtualization گوشی همراه داریم و با کمک اپلیکیشن ها می توانیم عملکرد همان دستگاه ها را با کمک تلفن همراه داشته باشیم. به عبارتی ما به کمک NFV (NETWORK FUNCTION VIRTUALIZATION) از سخت افزار به نرم افزار گذر کردیم (شکل ۷)

Virtualized RAN (vRAN) Approach



شکل ۷: vRAN

COTS (Commercial Off The Shells)

یک اصطلاح برای محصولات نرم افزاری است که قبلاً ساخته شده و برای خرید در دسترس هستند. در گذشته، برای گوش دادن به رادیو، شما نیاز داشتید یک دستگاه رادیو فیزیکی با آنتن و تیونر بخرید تا بتوانید ایستگاه‌های FM یا AM را دریافت کنید. این دستگاه به طور خاص برای این منظور طراحی شده بود و شما نمی‌توانستید از آن برای کاربردهای دیگر استفاده کنید. ما امروزه، شما می‌توانید به سادگی یک اپلیکیشن رادیو را روی گوشی هوشمند خود نصب کنید و با استفاده از اینترنت به

ایستگاه‌های رادیویی گوش دهید. شما دیگر نیازی به خرید دستگاه فیزیکی خاصی ندارید، بلکه تنها با نصب یک نرم‌افزار روی یک سخت‌افزار چندمنظوره (گوشی هوشمند) می‌توانید به همان عملکرد دست پیدا کنید. در Traditional RAN، برای پردازش سیگنال‌های رادیویی و مدیریت ارتباطات، نیاز به سخت‌افزارهای خاص و اختصاصی (proprietary hardware) مانند Baseband Unit (BBU) بود. این واحدها تنها برای این کار طراحی شده بودند و به راحتی قابل تغییر و تنظیم نبودند. در معماری vRAN یا همان Virtual RAN، شما دیگر نیازی به استفاده از BBU‌های اختصاصی (proprietary hardware) ندارید. به جای آن، می‌توانید از سرورهای استاندارد و تجاری (COTS) استفاده کنید. این سرورها چندمنظوره هستند و با نصب و پیکربندی (Configuration) نرم‌افزارهای خاص، می‌توانند وظایف BBU را انجام دهند. اما در Virtual RAN همچنان یک چالش باقی می‌ماند: واحد RRU و رابط میان آن با BBU، همچنان یک واحد اختصاصی (proprietary hardware) (باقی مانده است. در نتیجه نمیتوان واحد RRU را از یک Vendor و واحد BBU و interface میان آن‌ها را از دو Vendor متفاوت تهیه کرد بدین معنا که اگر BBU از Ericsson خریداری شده، RRU هم باید از Ericsson خریداری شود. به این نکته توجه شود که Virtual RAN همان Open RAN نیست و در مسیر تکامل ناحیه دسترسی رادیو به Open RAN قرار دارد.

در گذشته، هر تأمین‌کننده (vendor) تجهیزات مخابراتی، سخت‌افزار و نرم‌افزارهای اختصاصی خود را برای اجرای وظایف مختلف شبکه ارائه می‌داد. این رویکرد مشکلاتی به همراه داشت. تجهیزات اختصاصی از چندین بخش و دستگاه مختلف تشکیل می‌شدند که فضای زیادی را اشغال می‌کردند و مصرف برق بالایی داشتند. هر دستگاه و بخش نیاز به رسیدگی فرد متخصص خود برای ارتقا و نگهداری داشت و این فرآیندها زمان‌بر و پرهزینه بودند و همچنین تغییرات و به‌روزرسانی سخت‌افزارهای آن‌ها پیچیده بود که انعطاف‌پذیری شبکه را کاهش می‌داد. حال تغییر به سمت COTS مزایای متعددی دارد که جلوتر به آن‌ها می‌پردازیم.

در Virtual RAN بسیاری از وظایف مربوط به مدیریت و پردازش سیگنال‌های رادیویی از سخت‌افزارهای اختصاصی به سرورهای تجاری استاندارد (COTS) منتقل شدند. این تغییر به منظور کاهش هزینه‌ها، افزایش انعطاف‌پذیری و بهبود کارایی انجام می‌شود. با این حال، همچنان چالش‌هایی وجود دارد که منجر به حفظ وابستگی به تأمین‌کنندگان خاص (Vendor Lock-In) می‌شود. یکی از این چالش‌ها مربوط به رابط‌ها (interfaces) بین واحد (BBU) و واحد (RRU) است. در قسمت بعد به بررسی Open RAN می‌پردازیم.

نیازمند به درک دو اصطلاح به نام GPP و SPP هستیم:

۱. پردازنده‌های عمومی (GPP)

۲. پردازنده‌های خاص (SPP)

پردازنده عمومی (GPP - General Purpose Processor)

پردازنده‌های عمومی، همانطور که از نامشان پیداست، برای کاربردهای مختلف و متنوع طراحی شده‌اند. این پردازنده‌ها انعطاف‌پذیری بالایی دارند و می‌توانند با نصب و اجرای نرم‌افزارهای مختلف، وظایف متفاوتی را انجام دهند. یک دستگاه با پردازنده عمومی می‌تواند به عنوان AMF ، MME (Mobility Management Entity) ، Access and Mobility Management Function) ، SGSN (Serving GPRS Support Node) و غیره کار کند. تنها با نصب یا ارتقاء نرم‌افزار، می‌توان کارکرد آن را تغییر داد. با استفاده از پردازنده‌های عمومی که در حجم بالا تولید می‌شوند، هزینه‌ها کاهش می‌یابد. شرکت‌هایی مانند Intel (x86) ، ARM ، MIPS ، SPARC و RISC-V پردازنده‌های عمومی تولید می‌کنند که در بازارهای مختلفی استفاده می‌شوند. با توجه به اینکه پردازنده‌های عمومی در حجم بالا تولید و استفاده می‌شوند،

تحقیقات و توسعه در این حوزه سریع تر صورت می گیرد و نوآوری با سرعت بیشتری اتفاق می افتد.

پردازنده خاص (SPP - Specialized Purpose Processor)

در Traditional RAN، از پردازنده های خاص استفاده می شد که برای یک وظیفه یا عملکرد خاص طراحی شده بودند. اگر یک دستگاه به عنوان MME طراحی شده باشد، فقط می تواند به عنوان MME عمل کند و نمی توان آن را برای کارکردهای دیگر استفاده کرد. این باعث محدودیت در استفاده می شود. پردازنده های خاص انعطاف پذیری کمتری دارند و برای تغییر کارکرد آنها نیاز به تعویض سخت افزار وجود دارد که هزینه بر و زمان بر است. تولید و نگهداری پردازنده های خاص به دلیل محدود بودن کاربردهای آنها و حجم تولید پایین تر، هزینه بیشتری دارد.

چرا Open RAN ؟

در شبکه های دسترسی رادیویی سنتی (Traditional RAN)، اپراتورهای شبکه با چندین چالش مواجه هستند. Vendor lock-in یکی از این چالش هاست. وقتی یک واحد baseband از یک فروشنده مثل اریکسون خریداری می شود، به اجبار بقیه تجهیزات مرتبط یعنی RRU و OSS هم باید از همان فروشنده تهیه شود. برای مثال، اگر شما یک BBU اریکسون (مدل هایی مانند ۶۶۳۰، ۶۶۵۱، ۶۶۴۸) داشته باشید، باید RRU های اریکسون (مانند ۴۴۱۰، ۴۴۲۰، ۲۲۰۳، ۴۴۰۲، ۴۴۱۵) و OSS اریکسون را هم تهیه کنید. امکان ترکیب تجهیزات از فروشندگان مختلف مثلاً BBU از نوکیا، RRU از اریکسون، OSS از هواوی وجود ندارد زیرا رابط ها (interfaces) اختصاصی (proprietary hardware) و بسته هستند. چالش بعدی مربوط به هزینه های سرمایه ایست. بیشتر هزینه های سرمایه ای (CapEx) برای ساخت یک شبکه بی سیم مربوط به بخش RAN است و حدود ۶۰-۸۰ درصد از کل هزینه شبکه را شامل می شود. این هزینه بالا به دلیل نیاز به خرید یک مجموعه کامل تجهیزات

از یک فروشنده است، بدون اینکه بتوان از گزینه‌های مقرون به صرفه‌تر از فروشندگان مختلف استفاده کرد. چالش دیگر کارایی عملیاتی پایین می‌باشد. وقتی رابط‌های نرم‌افزاری اختصاصی و به سخت‌افزار خاصی وابسته هستند، هرگونه به‌روزرسانی نرم‌افزاری به سخت‌افزار همان فروشنده وابسته خواهد بود. اگر اپراتور بخواهد فروشنده را تغییر دهد، باید تمام تجهیزات را عوض کند که این امر باعث می‌شود امکان تغییر تنها یک جزء از اجزای RAN قدیمی وجود نداشته باشد.

و اما مزایای Open RAN :

- **هوشمندی و مجازی سازی:** به این معنا که می‌توان نرم‌افزارهای مختلف را روی سخت‌افزارهای استاندارد اجرا کرد. این امر به اپراتورها اجازه می‌دهد تا از تجهیزات متنوعی از فروشندگان مختلف استفاده کنند.
- **قابلیت همکاری (Interoperability):** یکی از اصول کلیدی Open RAN این است که BBU ، RRU و OSS باید با رابط‌های باز (Open Interface) به هم متصل شوند. این قابلیت همکاری بین تجهیزات از فروشندگان مختلف امکان‌پذیر می‌سازد و باعث انعطاف‌پذیری بیشتر در انتخاب تجهیزات می‌شود.
- **کاهش هزینه‌ها:** با استفاده از Open RAN ، اپراتورها می‌توانند هزینه‌های CapEx و OpEx خود را کاهش دهند. از آنجا که امکان استفاده از تجهیزات مختلف از فروشندگان متعدد وجود دارد، اپراتورها می‌توانند گزینه‌های مقرون به صرفه‌تری را انتخاب کنند. همچنین، نیاز به تعویض کامل تجهیزات در صورت تغییر فروشنده از بین می‌رود، که این امر به کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی کمک می‌کند.

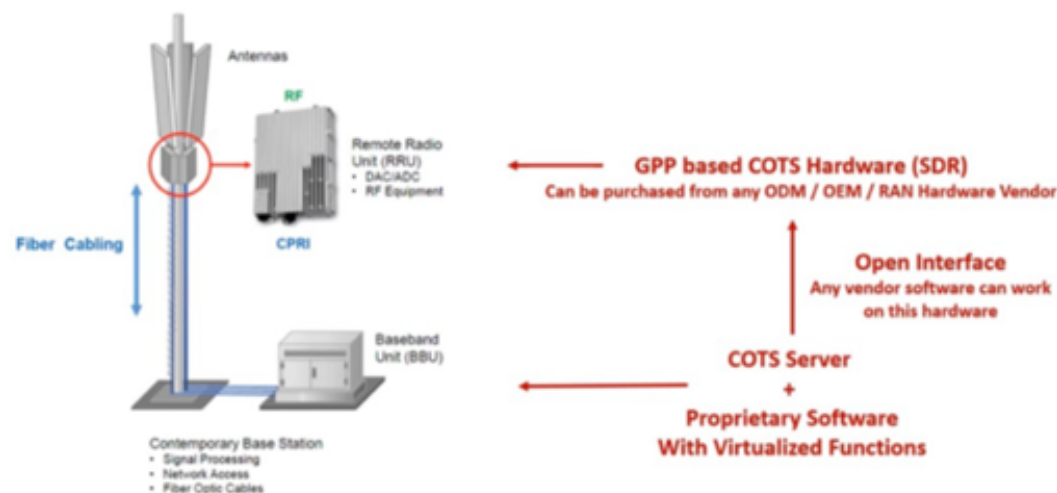
به طور خلاصه، Open RAN با ارائه قابلیت همکاری، کاهش هزینه‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری به اپراتورها اجازه می‌دهد تا شبکه‌های خود را به صورت کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر مدیریت کنند.

در این نوع شبکه، تجهیزات بومی (COTS - Commercial Off-The-Shelf) به جای تجهیزات خاص هر تولیدکننده استفاده می‌شوند. به این معنا که هر دو بخش (Baseband Unit) BBU و (Remote Radio Unit) RRU و همچنین interface بین آن‌ها نیز می‌توانند از سخت‌افزارهای بومی استفاده کنند.

یکی از اصطلاحات کلیدی در این زمینه که در شکل ۸ نیز مشاهده می‌شود SDR - Software Defined Radio است. SDR را می‌توان از هر تولیدکننده اصلی

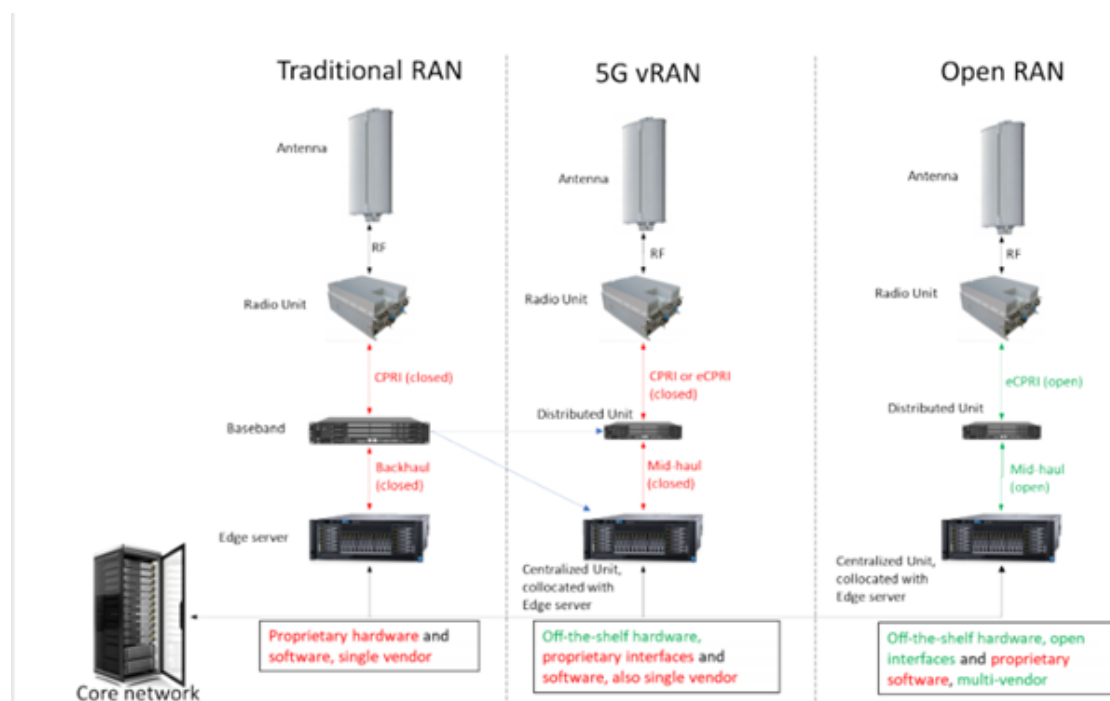
طراحی (ODM - Original Design Manufacturer) یا تولیدکننده تجهیزات اصلی (OEM - Original Equipment Manufacturer) خریداری کرد. نکته مهم در Open RAN این است که رابط بین RRU و BBU نیز باز (Open Interface) است. این بدین معنی است که می توان RRU یک شرکت مانند Nokia و BBU یک شرکت دیگر مانند Ericsson را با استفاده از این رابط باز به هم متصل کرد. در نتیجه مزیت بزرگ Open RAN این است که شما محدود به استفاده از تجهیزات و نرم افزارهای یک تولیدکننده خاص مانند Nokia ، Ericsson یا Huawei نیستید. بلکه می توانید تجهیزات و نرم افزارهای مختلف را از تولیدکنندگان مختلف خریداری و با هم ترکیب کنید که این امر انعطاف پذیری و تنوع بیشتری در شبکه به ارمغان می آورد. و همچنین جهت بروز رسانی هر بخش نیازی به حضوری در سایت و تغییر Config آن بخش نیست بلکه کافیه به صورت remote ، نرم افزار روی آن را از نرم افزار دریافت شده از Vendor A به نرم افزار دریافت شده از Vendor B تغییر دهیم.

Open RAN Vision



شکل ۸: Open RAN Vision

در V-RAN طبق تصویر ۹ به جای استفاده از سخت‌افزارهای اختصاصی، از یک محیط مجازی استفاده می‌شود. این بدان معناست که عملکردهای baseband (BBU) می‌توانند بر روی سرورهای بومی (COTS) اجرا شوند. هرچند که BBU می‌تواند بر روی سخت‌افزار بومی اجرا شود، ولی RRU و رابط بین BBU و RRU هنوز هم بسته و اختصاصی هستند. این به معنای محدودیت در انتخاب تجهیزات و نرم‌افزارهای مختلف است. در O-RAN طبق تصویر ۹ نه تنها BBU می‌تواند بر روی سخت‌افزار بومی اجرا شود، بلکه RRU نیز می‌تواند از سخت‌افزار بومی استفاده کند. رابط بین BBU و RRU نیز باز است، که به معنای امکان استفاده از تجهیزات و نرم‌افزارهای مختلف از تولیدکنندگان متفاوت است.



شکل ۹: تفاوت ناحیه RAN در ۳ حالت Traditional، Virtual و Open RAN

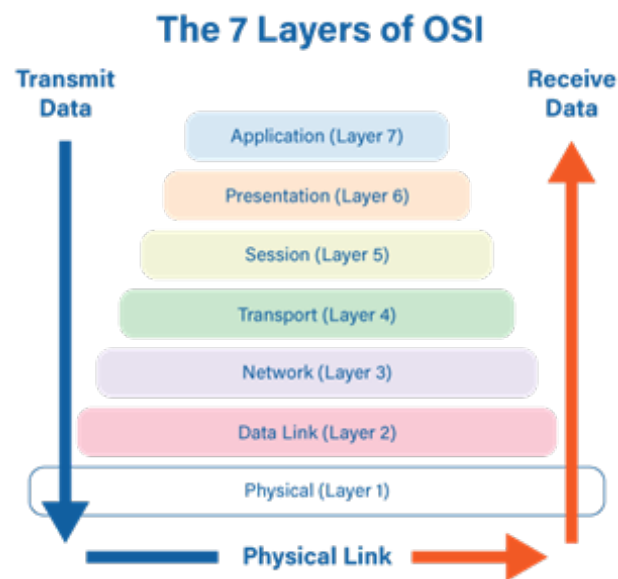
RAN و OSI هفت لایه

برای درک بهتر معماری Open RAN ، می‌توانیم اجزای مختلف RAN را با لایه‌های مدل OSI (Open Systems Interconnection) تطبیق دهیم. مدل OSI یک مدل هفت‌لایه‌ای برای استانداردسازی عملکرد شبکه‌ها است (شکل ۱۰). RRU در لایه فیزیکی (Physical Layer) مدل OSI قرار می‌گیرد. وظایف اصلی RRU شامل:

- **تبدیل RF (RF Conversion):** تبدیل سیگنال‌های رادیویی به سیگنال‌های دیجیتال و برعکس (تبدیل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ).
- **تبدیل‌های RF (RF Transformations):** وظایفی مانند تقویت سیگنال، فیلترگذاری و تبدیل فرکانس‌ها نیز در این لایه انجام می‌شود.
- **مدولاسیون و دمدولاسیون (Modulation and Demodulation):** تغییر سیگنال‌ها برای انتقال داده‌ها.

BBU مسئول اجرای پروتکل‌های مختلف و وظایف پیشرفته‌تر در لایه‌های بالاتر از لایه فیزیکی است. پروتکل‌ها و وظایف BBU شامل:

- **RRC (Radio Resource Control):** این پروتکل در لایه شبکه (Network Layer) قرار می‌گیرد و مسئولیت مدیریت ارتباطات، پخش و ارسال پیام‌ها، مدیریت ارتباط و تحرک (mobility) و گزارش‌دهی را بر عهده دارد.
- **PDCCP (Packet Data Convergence Protocol):** این پروتکل در لایه شبکه (Network Layer) قرار دارد و وظایفی مانند مدیریت header های IP ، امنیت و عملکردهای دیگری مانند رمزنگاری (ciphering) و حفاظت یکپارچگی (integrity protection) را انجام می‌دهد.
- **RLC (Radio Link Control):** این پروتکل در لایه پیوند داده (Data Link Layer) قرار می‌گیرد و مسئولیت‌هایی مانند تکه‌تکه کردن (segmentation) و بازترکیب (reassembly) داده‌ها، کنترل جریان و تصحیح خطا را بر عهده دارد.
- **MAC (Medium Access Control):** این لایه نیز در لایه پیوند داده (Data Link Layer) قرار می‌گیرد و وظایفی مانند دسترسی به رسانه، تجمع حامل (carrier aggregation)، نگاشت کانال‌ها (Hybrid Automatic Repeat Request) HARQ و زمان‌بندی بسته‌ها را بر عهده دارد.



شکل ۱۰: هفت لایه OSI

- **PHY (Physical Layer)**: این لایه شامل تمامی وظایف اصلی لایه فیزیکی مانند کدگذاری و دکدگذاری (Coding and Decoding)، مدولاسیون و دمدولاسیون (Modulation and Demodulation)، مدیریت منابع و اجرای IFFT/FFT (تبدیل فوریه و تبدیل فوریه معکوس) است.

تقسیم واحدهای رادیویی، مرکزی و توزیع شده

در شبکه‌های نسل ۵، مفهومی به نام "RU / CU / DU Split" یا "تقسیم واحدهای رادیویی، مرکزی و توزیع شده" وجود دارد که نقش مهمی در بهبود کارایی و انعطاف‌پذیری شبکه دارد (شکل ۱۱).

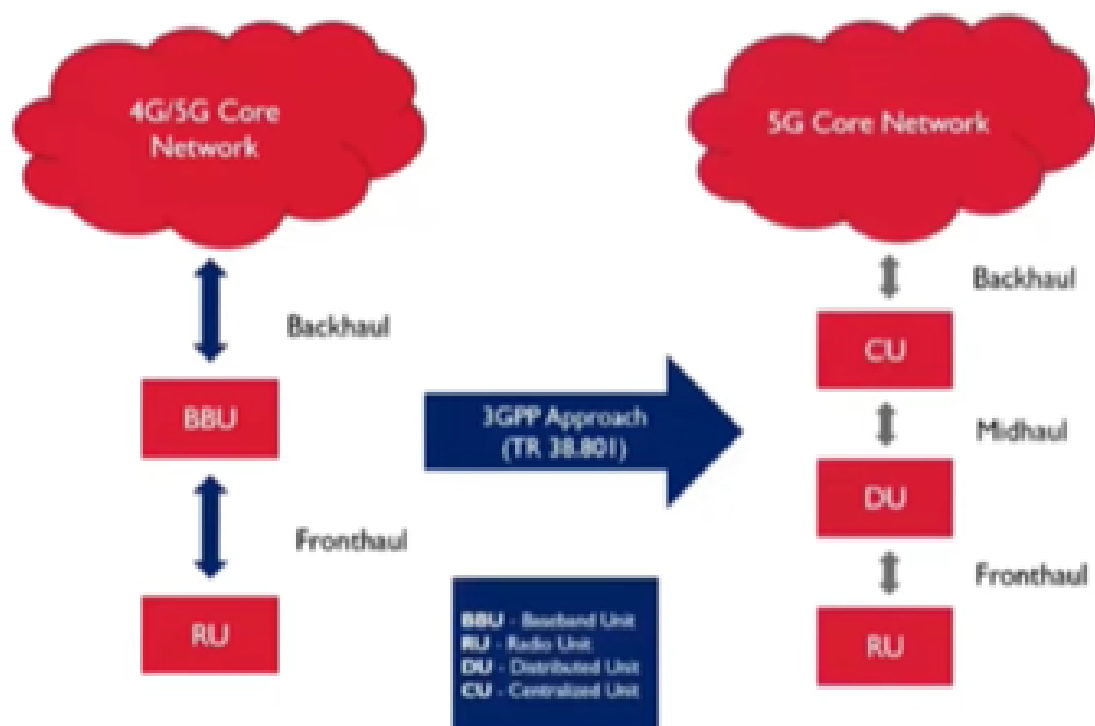
در معماری شبکه‌های نسل چهار، سه عنصر اصلی داشتیم که هسته شبکه، BBU و RRU بودند و ارتباط میان هسته شبکه با BBU از طریق Backhaul و ارتباط میان BBU و RRU از طریق Fronthaul بود. واحد پردازش پایه‌ای (BBU) یک موجودیت تکی است که مسئول پردازش هم پروتکل‌های لایه‌های بالاتر و هم سیگنال‌های لایه‌های پایین است. حال به معماری شبکه‌های نسل پنج و مفهوم Split می‌پردازیم، در این نسل برای افزایش انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری، معماری شبکه بهینه‌سازی شده و بخش Baseband به دو واحد مجزا تقسیم شده است. عملکرد واحد BBU به ۲ مولفه جداگانه محول می‌شود.

- **واحد مرکزی (CU - Centralized Unit):** مسئول مدیریت پروتکل‌های لایه بالاتر و برخی از وظایف شبکه‌ای است.

- **واحد توزیع شده (DU - Distributed Unit):** وظایف پردازش سیگنال‌های لایه پایین و ارتباطات محلی را بر عهده دارد.

این تقسیم‌بندی که تحت استاندارد 3GPP TR 38.801 معرفی شده است، به نام "Network Split" یا "RU / CU / DU Split" شناخته می‌شود. یکی از مزایای این نوع Split، Cloud Optimization است. با استفاده از معماری تقسیم‌بندی شده، وظایف پردازش می‌تواند به صورت مجازی بر روی سرورهای ابری اجرا شوند که این

امر باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی می‌شود.

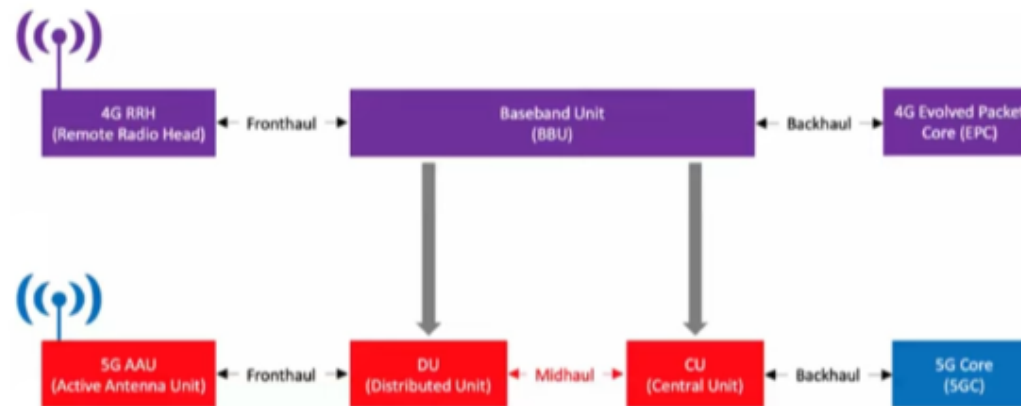


شکل ۱۱: RU / CU / DU Splits

Midhaul (رابط میانی CU و DU):

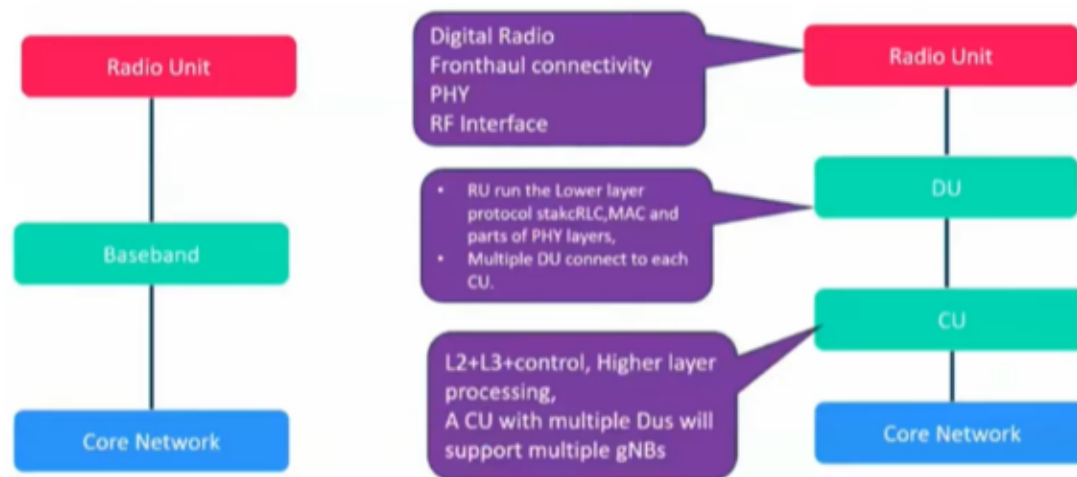
این رابط وصل کننده واحدهای CU و DU است. این رابط تبادل داده و سیگنال‌های کنترلی بین این دو مولفه را فراهم می‌کند. رابط میانی امکان هماهنگی و همگام‌سازی بین عناصر پردازش مرکزی و توزیع شده را نیز فراهم می‌کند.

4G vs 5G



شکل ۱۲: مقایسه نسل چهار و نسل پنج

BTS Architecture Evolution from Traditional to Current version



شکل ۱۳: تکامل معماری BTS از گذشته تا ورژن کنونی

وظایف هر کدام از واحدها در نسل ۵:

واحد RU

پردازش دیجیتال مقدماتی یا (Digital Front End) DFP: مسئول انجام پردازش‌های دیجیتال اولیه بر روی سیگنال‌هاست. این پردازش‌ها شامل تقویت سیگنال، تبدیل فرکانس و فیلترگذاری است. بخشی از پروتکل‌های لایه فیزیکی را نیز مدیریت می‌کند.

واحد DU

پروتکل‌های لایه RLC، لایه MAC و بخش‌هایی از لایه فیزیکی بسته به نوع تقسیم عملکرد را اجرا می‌کند. چندین DU به یک CU متصل می‌شوند.

واحد CU

به دلیل آنکه چندین DU به یک CU متصل می‌شوند، CU وظیفه دارد عملیات چندین DU را کنترل کند. به همین دلیل، در بسیاری از موارد، DU با RU در محل قرار می‌گیرد تا وظایف سنگین مانند FFT و IFFT را انجام دهد و تأخیر کم داشته باشد. این واحد پروتکل‌هایی مانند RRC و لایه PDCCP را اجرا می‌کند. حال ۲ نوع اتصال میان CU و DU وجود دارد: اگر این اتصال از نوع Control Plane باشد به آن F1c و اگر از نوع User Plane باشد به آن F1u گویند.

مفهوم Edge Computing

در شبکه‌های ۵G، مفهوم مهمی به نام "Edge Computing" وجود دارد که به معنای انجام پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها و برنامه‌ها در نزدیکی منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی کاربران است. در این حالت، پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها به صورت محلی و در محدوده نزدیک به کاربران انجام می‌شود، به جای انتقال تمام داده‌ها به مراکز داده ابری (Cloud Data Center) دورتر.

برای امکان‌سنجی Edge Computing در شبکه‌های 5G، نیاز به تقسیم وظایف بین واحدهای مرکزی (DU - Distributed Unit) و واحدهای مرکزی (Central-CU - Centralized Unit) وجود دارد. با این تقسیم‌بندی، پردازش و تصمیم‌گیری‌های محاسباتی می‌توانند به صورت محلی و در نزدیکی منابع فیزیکی انجام شود، که منجر به بهبود عملکرد شبکه و ارائه سرویس‌های با کیفیت واقعی زمانی (Real-Time) می‌شود.

هدف از جداسازی DU از RU در معماری شبکه 5G

چند دلیل برای جداسازی واحد توزیع (DU) از واحد رادیویی (RU) در شبکه‌های 5G وجود دارد:

۱. **کاهش هزینه:** یک واحد رادیویی ساده‌تر که توان پردازشی کمتری دارد، ارزان‌تر ساخته می‌شود. هوشمندی و قدرت پردازش در واحد توزیع متمرکز شده که با استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و رایانش ابری (Cloud Computing)، کارآمدتر اجرا می‌شود. این کار باعث کاهش هزینه کل سخت‌افزار ساختار شبکه می‌شود.
۲. **مدیریت بهتر منابع:** با جداسازی واحد توزیع، می‌توانیم گروهی از واحدهای رادیویی را به طور همزمان مشاهده و مدیریت کنیم که تصویر وسیع‌تری از شبکه به ما می‌دهد. این امکان را برای ویژگی‌هایی مانند توازن بارگذاری چند نقطه‌ای هماهنگ (Comp) فراهم می‌کند. Comp می‌تواند به طور پویا بار کاری را در بین چندین واحد رادیویی توزیع کند و بدین ترتیب استفاده از منابع را بهینه کرده و عملکرد شبکه را بهبود بخشد.
۳. **طراحی انعطاف‌پذیر شبکه:** معماری توزیع‌شده به توزیع انعطاف‌پذیرتر وظایف پردازشی بین واحد مرکزی (CU) و واحد توزیع (DU) امکان می‌دهد. این انعطاف‌پذیری به طراحان شبکه اجازه می‌دهد تا شبکه را بر اساس عوامل مختلفی شبکه را با سناریوهای استقرار متنوع سازگار سازد.

انعطاف‌پذیری در محل استقرار لایه‌های پروتکل در شبکه دسترسی رادیویی 5G(RAN)

در شبکه‌های 5G، برخلاف نسل‌های قبلی که تمام پردازش‌ها در یک واحد انجام می‌شد، امکان تقسیم این واحد (gNodeB) به دو بخش مرکزی (CU) و توزیع‌شده (DU) وجود دارد. نکته‌ی کلیدی در این معماری توزیع‌شده، انعطاف‌پذیری در محل استقرار لایه‌های مختلف پروتکل است.



شکل ۱۴: RU ، CU و DU

عوامل تعیین کننده ی محل استقرار لایه های پروتکل:

- قابلیت های تامین کننده (Vendor): شرکت های مختلف ممکن است گزینه های مختلفی برای محل استقرار لایه های پروتکل ارائه دهند.
- اولویت اپراتور: اپراتورهای شبکه می توانند بر اساس نیازهای خود، محل استقرار لایه ها را انتخاب کنند.

مثال: Option 2

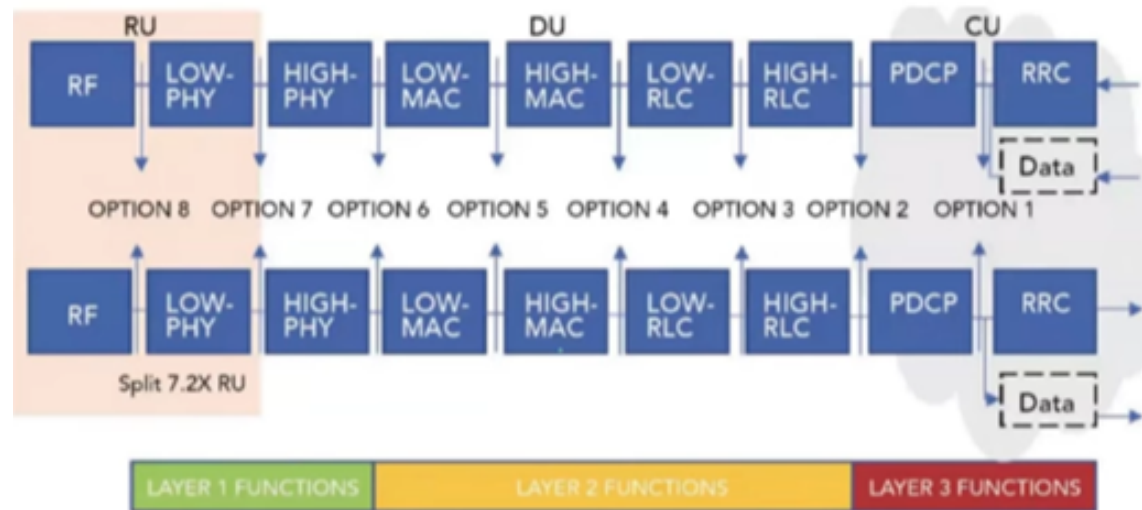
فرض کنید از گزینه تقسیم ۲ طبق شکل ۱۵ استفاده می کنیم. در این حالت:

- واحد مرکزی (CU): شامل لایه های PDPC و RRC می شود. این لایه های سطح بالا مسئولیت رمزنگاری داده، سیگنالینگ کنترل و تخصیص منابع را بر عهده دارند.
- واحد توزیع شده (DU): شامل پروتکل های High RLC ، Low RLC ، High MAC ، Low MAC و High PHYSICAL است. این لایه ها وظایف بخش بندی

داده، کنترل خطا و انتقال لایه فیزیکی را انجام می‌دهند.

- واحد رادیویی (RU): شامل قابلیت‌های RF و Low Physical است. این بخش مسئول تبدیل سیگنال رادیویی و فرآیندهای اولیه‌ی ارسال و دریافت است.

Functional Split Options for 5G



شکل ۱۵: گزینه های 5G

سه مورد سناریو کاربردی در معماری نسل پنجم

باند پهن همراه پیشرفته (eMBB - Enhanced Mobile Broadband):

- نیاز: ارائه نرخ داده بالا برای برنامه‌هایی مانند استریم ویدیوی با وضوح بالا، بازی‌های ابری (Cloud Gaming) و دانلود سریع فایل‌ها.
- مشخصات:

- نیاز به پهنای باند زیاد و ظرفیت بالا در شبکه.
- استفاده از تکنیک‌هایی مانند MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) و فرکانس‌های بالا برای افزایش سرعت داده.
- مناسب برای مناطق پرجمعیت و برنامه‌های پرمصرف داده.

ارتباطات فوق قابل اعتماد با تأخیر کم (URLLC - Ultra-Reliable Low-Latency Communication):

- نیاز: ارائه ارتباطات با تأخیر بسیار کم و قابل اعتماد برای برنامه‌هایی مانند جراحی از راه دور، کنترل خودروهای خودران و اینترنت اشیا صنعتی.

- **مشخصات:**

- نیاز به تأخیر بسیار کم (زیر ۱ میلی ثانیه) و قابلیت اطمینان بالا.
- استفاده از تکنیک‌هایی مانند برش شبکه (Network Slicing) و تخصیص اختصاصی منابع برای تضمین کیفیت خدمات.
- مناسب برای برنامه‌هایی که به زمان‌بندی دقیق و قابلیت اطمینان حیاتی نیاز دارند.

ارتباطات گسترده نوع ماشین (mMTC - Massive Machine Type Communication):

- **نیاز:** اتصال تعداد زیادی از دستگاه‌های کم‌مصرف با ترافیک داده کم، مانند سنسورها، مترها و ردیاب‌ها.

- **مشخصات:**

- نیاز به اتصالات کارآمد و مقرون به صرفه برای تعداد زیادی از دستگاه‌ها.
- استفاده از تکنیک‌هایی مانند LPWA (شبکه‌های با توان کم و برد گسترده) برای افزایش عمر باتری و کاهش هزینه‌ها.
- مناسب برای برنامه‌های اینترنت اشیا (IoT) که در آن حجم زیادی از داده‌های حسگر با سرعت کم جمع‌آوری می‌شود

تقسیم بندی درون CU

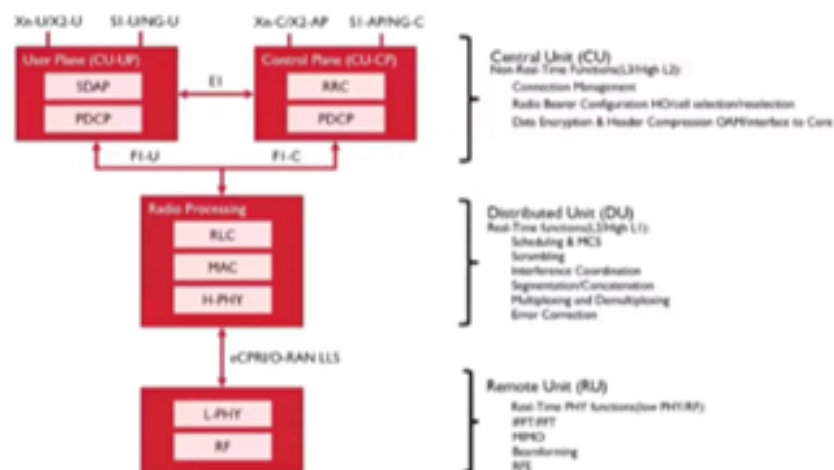
طبق شکل ۱۶ CU را می توان به دو زیربخش دیگر تقسیم کرد:

- صفحه ی کنترل (CP – Control Plane): مدیریت سیگنالینگ شبکه و توابع کنترل را انجام می دهد.
- صفحه ی کاربر (UP – UserPlane): پردازش داده های کاربر و تخصیص منابع را مدیریت می کند.

چالش تاثیر فاصله بر تاخیر:

فاصله فیزیکی بین کاربر و BBU (که اکنون به CU و DU تقسیم شده است) باعث ایجاد تأخیر می شود. این تأخیر می تواند برای برنامه هایی که نیازمند ارتباطات فوق قابل اعتماد با تأخیر کم (URLLC) هستند، چالش برانگیز باشد.

Logical RAN Disaggregation



شکل ۱۶: تفکیک Logical RAN

مقابله با چالش‌های تأخیر در URLLC

برای دستیابی به URLLC با وجود احتمال دور بودن شبکه‌ی مرکزی، معماری توزیع شده به روش زیر کمک می‌کند:

نزدیک کردن پردازش به کاربران:

با قرار دادن واحد رادیویی (RU) با قابلیت‌های Low Physical Layer و RF نزدیک به کاربر، پردازش اولیه‌ی سیگنال نزدیک‌تر به منبع رخ می‌دهد. این کار باعث کاهش مسافتی می‌شود که نور برای پردازش اولیه نیاز دارد و در نتیجه تأخیر را به حداقل می‌رساند.

در شبکه 5G سه رابط وجود دارد (شکل ۱۹):

- **Fronthaul**: بین واحد توزیع‌شده (DU) و واحد رادیویی (RRU)
- **Midhaul**: بین واحد مرکزی (CU) و واحد توزیع‌شده (DU)
- **Backhaul**: بین واحد مرکزی (CU) و هسته‌ی شبکه

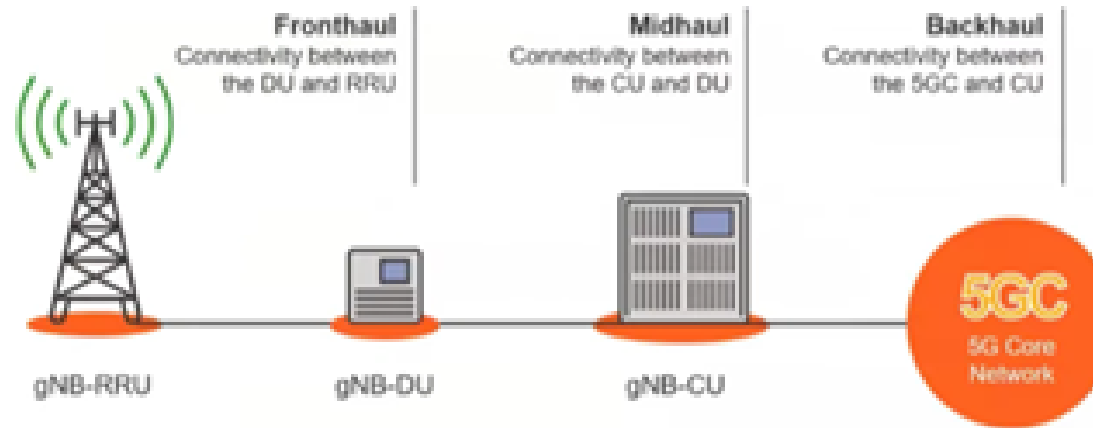
تقسیم‌بندی RAN در شبکه‌های نسل ۵ به اپراتورها این امکان را می‌دهد تا شبکه را بر اساس نیازهای خاص هر منطقه و سرویس، بهینه کنند. در اینجا سه عامل کلیدی در این فرایند آورده شده است:

نیاز به پشتیبانی از کیفیت خدمات خاص (QoS – Quality of Service) برای سرویس‌های مختلف (کیفیت خدمات به معنای سطح تضمین شده‌ی عملکرد برای یک سرویس است):

- شبکه‌های 5G انواع مختلفی از سرویس‌ها را ارائه می‌دهند، از جمله:

- باند پهن همراه پیشرفته (eMBB)

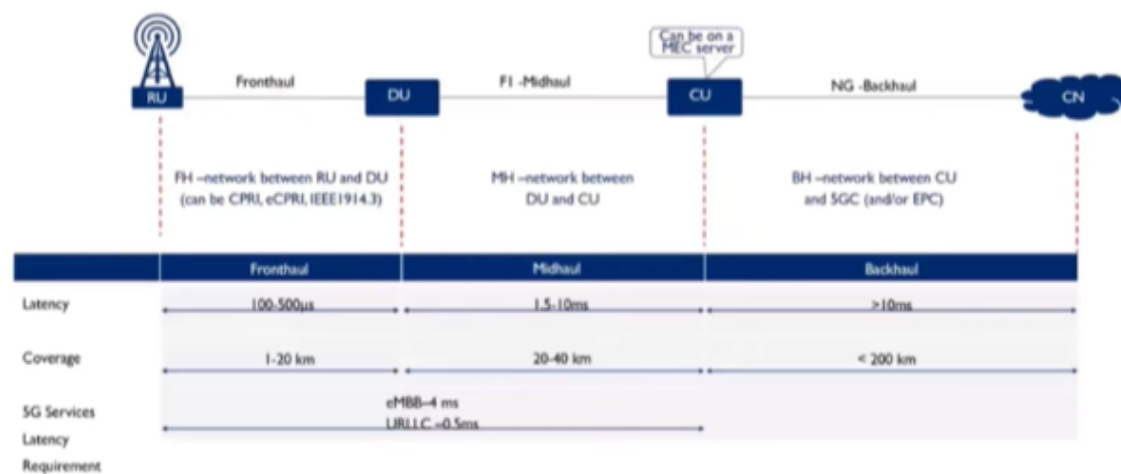
Fronthaul, Midhaul, & Backhaul



شکل ۱۷: روابط Fronthaul، Midhaul و Backhaul در شبکه 5G

- ارتباطات فوق قابل اعتماد با تأخیر کم (URLLC)
- ارتباطات گسترده نوع ماشین (mMTC)
- هر یک از این سرویس‌ها به سطح متفاوتی از کیفیت خدمات (QoS) نیاز دارند. برای مثال، URLLC نیازمند تأخیر بسیار پایین است، در حالی که eMBB بیشتر به نرخ داده بالا اهمیت می‌دهد. با تقسیم‌بندی RAN، اپراتورها می‌توانند پردازش‌های مربوط به هر سرویس را به بخش‌های مختلف شبکه اختصاص دهند.

Fronthaul, Midhaul, & Backhaul



شکل ۱۸: (DU) و (CU) در فاصله ۲۰ تا ۴۰ کیلومتر

پشتیبانی از تراکم کاربر و تقاضای بار خاص در هر منطقه جغرافیایی (حجم و میزان ترافیک استفاده از شبکه):

- تراکم کاربر در مناطق مختلف شبکه متفاوت است. در مناطق پرجمعیت، تعداد کاربران بیشتر و تقاضای بار شبکه (ترافیک) بالاتر است، در حالی که در مناطق کم جمعیت کاربران کمتری وجود دارد.

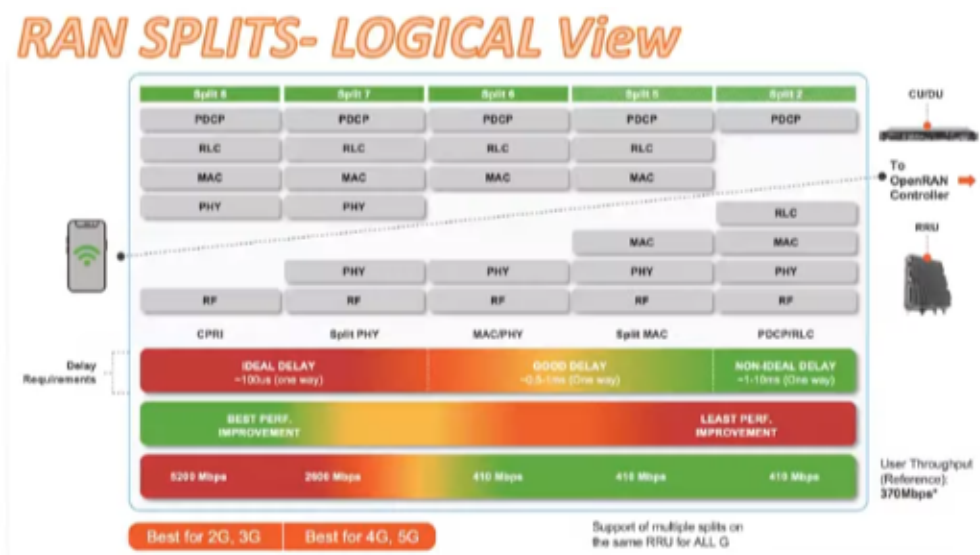
- تقسیم‌بندی RAN به اپراتورها این امکان را می‌دهد تا منابع شبکه را بر اساس تقاضای مناطق مختلف تخصیص دهند. در مناطق پرجمعیت، می‌توان از CU و DU با ظرفیت بالا استفاده کرد، در حالی که در مناطق کم‌جمعیت می‌توان از واحدهای با ظرفیت پایین‌تر استفاده کرد.
- این امر باعث می‌شود تا استفاده از منابع شبکه بهینه شود و هزینه‌ی راه‌اندازی و نگهداری کاهش یابد.

در دسترس بودن شبکه‌های انتقال با سطوح کارایی مختلف (شبکه انتقال، شبکه‌ای است که وظیفه‌ی انتقال داده‌ها بین بخش‌های مختلف شبکه را برعهده دارد):

- هزینه‌های مربوط به راه‌اندازی و نگهداری شبکه‌های انتقال، به ویژه فیبر نوری، بالا است.
- در تقسیم‌بندی RAN، اپراتورها می‌توانند نوع و ظرفیت شبکه انتقال را بر اساس نیازهای سرویس و تراکم کاربر در هر منطقه انتخاب کنند.
- برای مثال، در مناطق پرجمعیت که نیازمند ظرفیت بالا و نرخ داده زیاد هستند، از شبکه‌های انتقال پرظرفیت مانند فیبر نوری استفاده می‌شود. در مناطق کم‌جمعیت، می‌توان از شبکه‌های انتقال با ظرفیت پایین‌تر مانند مایکروویو استفاده کرد که هزینه‌ی کمتری دارند.
- با انتخاب مناسب شبکه‌ی انتقال، می‌توان هزینه‌ها را به حداقل رساند و در عین حال عملکرد مطلوبی را برای کاربران در مناطق مختلف شبکه تضمین کرد.

تقسیم‌بندی شبکه دسترسی رادیویی (RAN) در RAN Open

چرا 7 Split برای نسل ۴ و ۵ و 8 Split برای نسل ۲ و ۳ توصیه می‌شود؟ مقایسه Option 7 و Option 8:



شکل ۱۹: مقایسه Option ۷ و Option ۸

Option 7

بیشتر پردازش‌ها (PDCP، RLC، MAC، High Physical layer) را در DU قرار می‌دهد و فقط توابع RF و لایه فیزیکی پایین در واحد رادیویی (RU) باقی می‌مانند. این گزینه به دلیل موارد زیر برای شبکه‌های نسل ۴ و نسل ۵ ایده‌آل است:

- انعطاف‌پذیری: بر اساس تقاضای متفاوت کاربران و انواع سرویس‌ها eMBB، URLLC، mMTC امکان تغییر مستقل قدرت پردازش در CU و DU را فراهم می‌کند.
- کاهش پهنای باند Fronthaul: با انتقال بار پردازشی به DU، داده‌هایی که پیچیدگی کمتری دارند بین DU و RU نیاز به جابه‌جایی دارند که در نتیجه، نیاز به

پهنای باند Fronthaul را کاهش می‌دهد.

Option 8 :

این روش بر اساس استاندارد صنعتی CPRI (رابط عمومی رادیویی مشترک) عمل می‌کند و بیشتر پردازش‌ها (PDCP، RLC، MAC، High Physical layer) را درون DU نگه می‌دارد و فقط توابع RF را در RU قرار می‌دهد. این روش به دلایل زیر برای شبکه‌های نسل ۲ و ۳ مناسب است:

- سخت‌افزار ساده‌تر: شبکه‌های نسل ۲ و ۳ نسبت به نسل ۴ و ۵ پردازش ساده‌تری دارند. Option 8 از قابلیت‌های سخت‌افزاری ساده‌تر واحد رادیویی (RRU) استفاده می‌کند و بار پردازشی را روی DU نگه می‌دارد.
- سازگاری: Option 8 با استانداردهای موجود CPRI همگام است و اطمینان از سازگاری با تجهیزات قدیمی نسل ۲ و ۳ از تامین‌کنندگان مختلف را تضمین می‌کند.

Option 7 برای نیازهای پردازشی چالش‌برانگیز شبکه‌های نسل ۴ و ۵ انعطاف‌پذیری و کارایی را ارائه می‌دهد. از سوی دیگر، Option 8 از سخت‌افزار ساده‌تر واحد رادیویی (RRU) نسل ۲ و ۳ استفاده می‌کند و با استانداردهای موجود سازگار است که آن را به گزینه‌ی مناسب‌تری برای این فناوری‌های قدیمی تبدیل می‌کند.

تقسیم‌بندی ۷ یا ۲.۷ در Open RAN و مفهوم High Physical Layer و Low Physical Layer

این تقسیم‌بندی در شبکه‌های Open RAN برای تفکیک واحد رادیویی (RU) از واحد توزیع‌شده (DU) استفاده می‌شود.

:High Physical Layer

در تقسیم‌بندی ۲.۷، بخش‌هایی از لایه فیزیکی که Real-Time هستند، مانند تبدیل فوریه سریع (FFT) و تبدیل معکوس فوریه سریع (iFFT) در واحد رادیویی (RU) باقی می‌مانند. این توابع نقش مهمی در تبدیل سیگنال‌های دیجیتال به آنالوگ و بالعکس دارند و نیازمند پردازش با تأخیر کم هستند.

:Low Physical Layer

سایر بخش‌های لایه فیزیکی که Real-Time نیستند، مانند Coding، Decoding، Modulation و Demodulation به واحد توزیع‌شده (DU) منتقل می‌شوند. این توابع برای عملکرد شبکه حیاتی هستند، اما تأخیر اندکی در انجام آن‌ها قابل قبول است.

مراجع

• ORAN