



مفهوم ORAN در شبکه های نسل پنجم

درس آشنایی با شبکه های تلفن همراه

غزل عربعلی - ۹۷۵۲۱۳۹۶، بهاره کاووسی نژاد - ۹۹۴۳۱۲۱۷

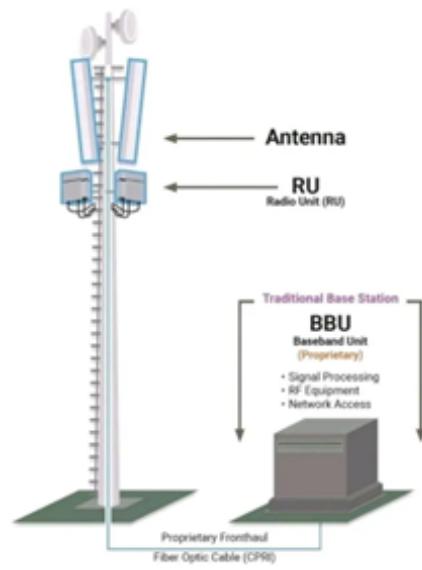
آخرین ویرایش: ۲۲ خرداد ۱۴۰۳ در ساعت ۱۳ و ۱ دقیقه

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،
- تپیوگرافی 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 داینامیک Config شبکه را در طول روز تغییر می دهند. با تحلیل پارامترهای نام



شکل ۱: سایت

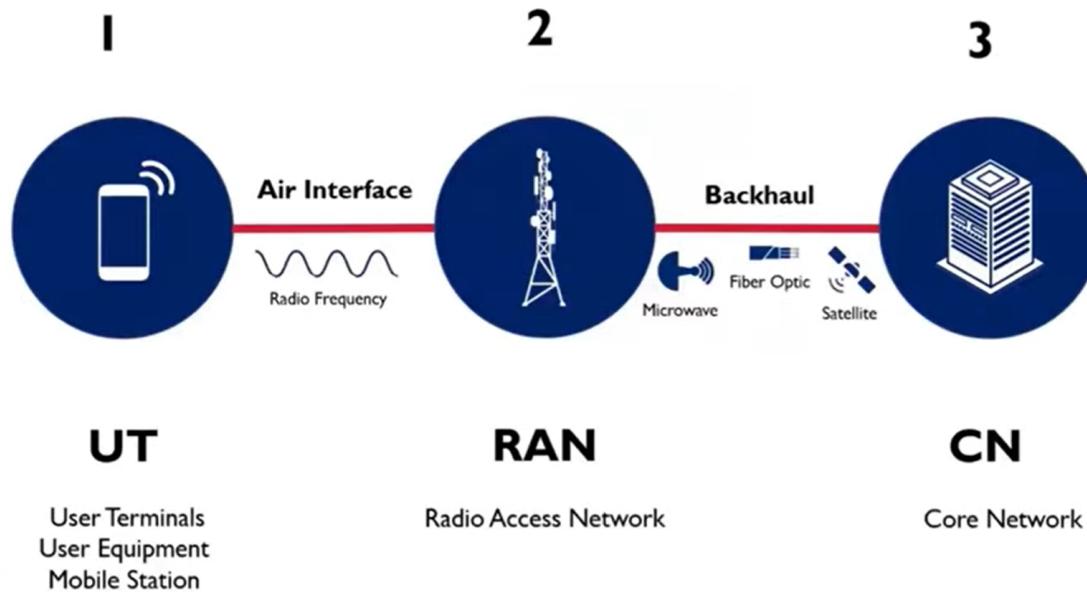
برده شده و دیگر پارامترها اپراتور های شبکه می توانند مکان بهینه و پیکربندی RAN را با هدف پوشش و ظرفیت حداکثری تعیین کنند. به طور کلی مکان قرارگیری کارایی کلی شبکه را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. در نتیجه برای داشتن پوشش دهی و Mobility باید از استراتژی برای قرار دادن RAN استفاده کنیم.

اجزای شبکه مخابرات بی سیم

اجزای شبکه مخابرات بی سیم از ۳ جزء اصلی تشکیل شده است (شکل ۲) که یکی Mobile Station و یا User Equipment یا User Terminal 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 (Access AS) میتوان از آتن، RRU و BBU نام برد. ارتباط میان user terminal و ناحیه RAN از طریق air interface wireless و به صورت eNodeB در نسل ۴ و gNodeB در نسل ۵ به کار می رود. از مجموعه Stratum) است که در دیالوگ ها و ارتباط میان دیوایس ها و زیر ساخت رادیویی شبکه من جمله 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 کند به Core Network متصل شده اند. هسته شبکه وظایف مختلف و مهمی را بر عهده دارد من جمله Routing بین شبکه های مختلف، Call ، Internet ، USSD ، Message و به صورت کلی data service ها و ۳ راه اتصال RAN به Core Network وجود دارد که می تواند و اگر مشکلاتی از در فاصله زیاد و انحنای زمین و ... وجود دارد میتوان از Satellite استفاده کرد.

Wireless Telecommunications Systems



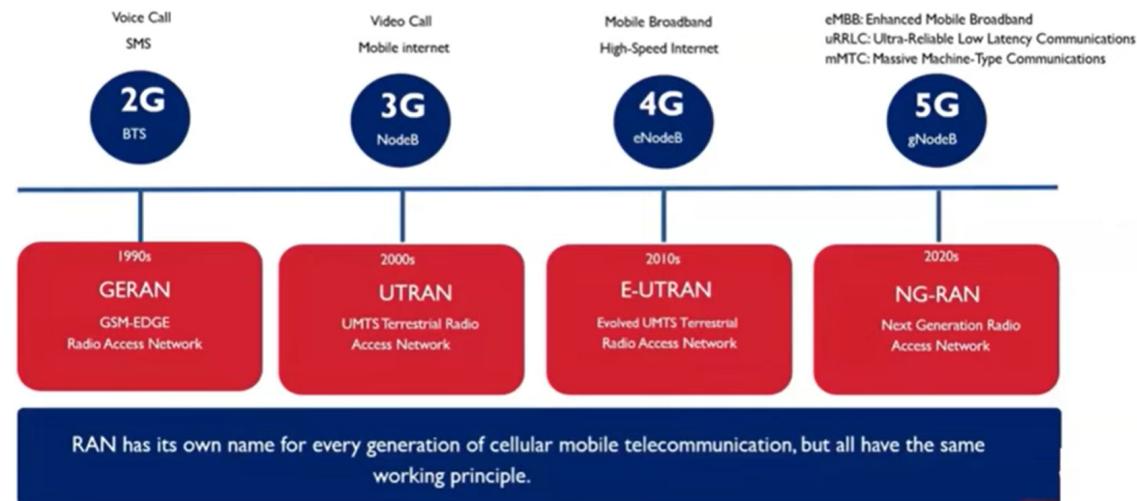
شکل ۲: اجزای شبکه مخابرات بی سیم

بررسی RAN به صورت دقیق تر

حال به بحث دقیق تر درباره RAN می پردازیم: مکان قارگیری 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 باند های فرکانسی و سطوح توان مناسب است. BBU یا

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 پنج، به آن NG-RAN (Next Generation RAN) یا New (New) گویند.

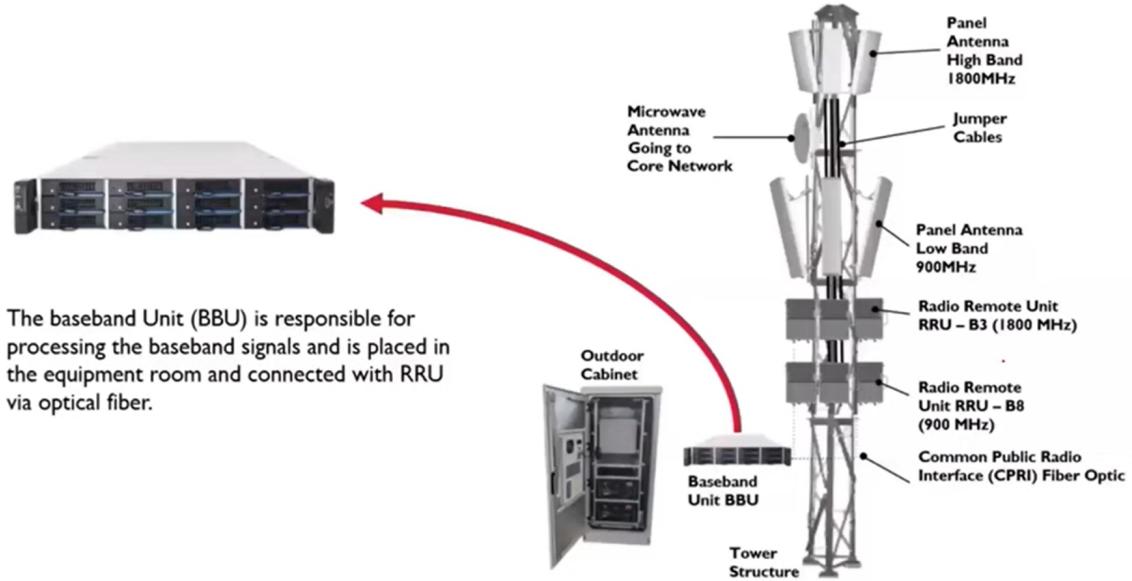
RAN Names in different generations



شکل ۳: نسل های مختلف RAN

همانطور که در شکل ^۴ دیده می شود، در Traditional RAN ، در زیر برج مانندی قرار دارد و روی برج RRU و آتن 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



شكل ٤ : Traditional RAN در Baseband

واحد RRU

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

Remote Radio Unit

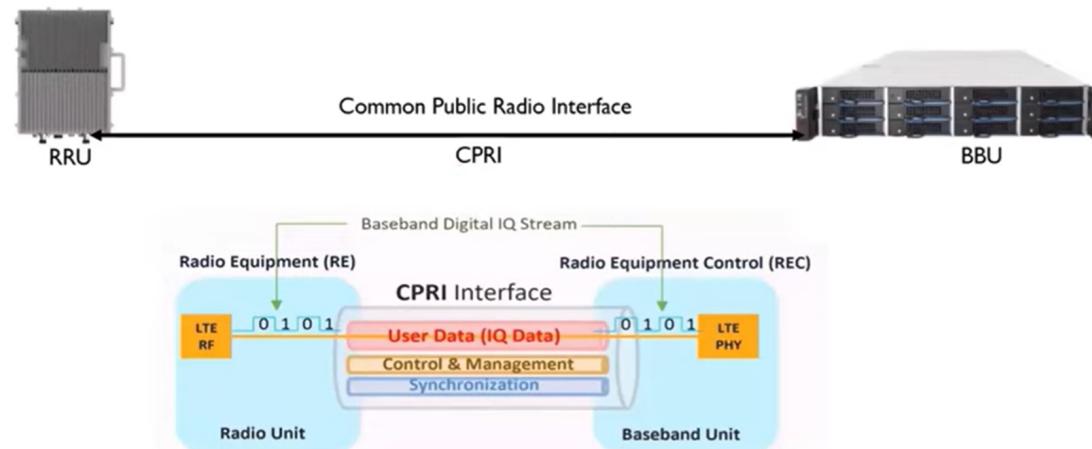


RRU is a radio transceiver that communicates with mobile devices over the airwaves and is located remotely

شکل ۵: RRU

در ناحیه RAN به RRU سخت افزار اختصاصی یا proprietary می‌گویند 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 نمی‌توانیم 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

انواع RAN

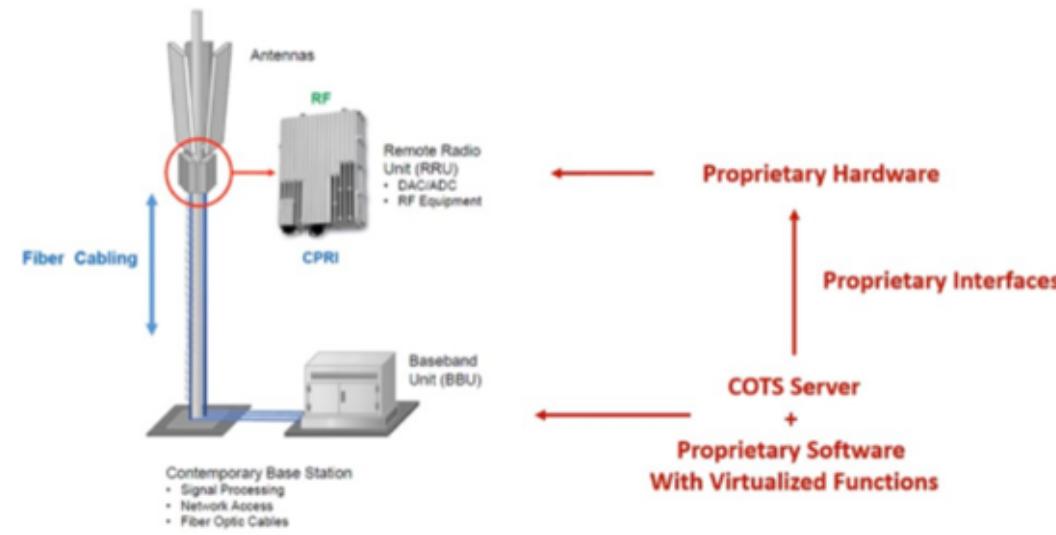
CRAN

به معنای Centralized RAN است.

Virtual-RAN

در حدود سال های ۱۹۹۴ ما دیوايس های مختلفی مثل رادیو، tape recorder ، دوربین فیلم برداری، CD Player و ... داشتیم و هم اکنون به کمک network 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 function virtualization (NFV) از سخت افزار به نرم افزار گذر کردیم (شکل ۴)

Virtualized RAN (vRAN) Approach



شكل ۷: vRAN

COTS (Commercial Of 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 دهد. 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 (BBU) Baseband Unit 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 آن هارا 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 Open RAN همان Virtual 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 زمان بر و پرهزینه بودند و همچنین تغییرات و بهروزرسانی سخت افزارهای آن‌ها پیچیده بود که انعطاف‌پذیری شبکه را کاهش می‌داد. حال تغییر به سمت COTS مزایای متعددی دارد که جلو تر 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 رابطه‌ها (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)

(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 AMF، MME (Mobility Management Entity) و اجرای نرم‌افزارهای مختلف، وظایف متفاوتی را انجام دهند. یک دستگاه با پردازنده عمومی می‌تواند به عنوان (Access and Mobility Management Function) SGSN (Serving GPRS Support Node)، (Access and Mobility Management Function) SPARC، MIPS، ARM، Intel و RISC-V را تغییر داد. با استفاده از پردازنده‌های عمومی که در حجم بالا تولید می‌شوند، هزینه‌ها کاهش می‌یابد. شرکت‌هایی مانند (x86) کارکرد آن 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 سریع‌تر صورت می‌گیرد و نوآوری با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد.

(SPP - Specialized Purpose Processor) پردازنده خاص

در Traditional RAN ، از پردازنده‌های خاص استفاده می‌شد که برای یک وظیفه یا عملکرد خاص طراحی شده بودند. اگر یک دستگاه به عنوان MME طراحی شده باشد، فقط می‌تواند به عنوان MME عمل کند و نمی‌توان آن را برای کارکردهای دیگر استفاده کرد. این باعث محدودیت در استفاده می‌شود. پردازنده‌های خاص انعطاف‌پذیری کمتری دارند و برای تغییر کارکرد آن‌ها نیاز به تعویض سخت‌افزار وجود دارد که هزینه‌بر و زمان‌بر است. تولید و نگهداری پردازنده‌های خاص به دلیل محدود بودن کاربردهای آن‌ها و حجم تولید پایین‌تر، هزینه بیشتری دارد.

چرا ؟ Open RAN

در شبکه‌های دسترسی رادیویی سنتی (Traditional RAN) ، اپراتورهای شبکه با چندین چالش مواجه هستند. وقتی یکی از این چالش‌هاست. یک Vendor lock-in می‌شود، به اجبار بقیه تجهیزات مرتبط یعنی RRU و OSS هم باید از همان فروشنده تهیه شود. برای یک واحد baseband از یک فروشنده مثل اریکسون خریداری می‌شود، به این ترتیب می‌توان از همان فروشنده تهیه شود. برای مثال، اگر شما یک BBU اریکسون (مدل‌هایی مانند ۶۶۳۰، ۶۶۴۸، ۶۶۵۱) داشته باشید، باید RRU های اریکسون (مانند ۴۴۱۰، ۴۴۲۰، ۲۲۰۳، ۴۴۰۲، ۴۴۱۵) و interfaces اریکسون را هم تهیه کنید. امکان ترکیب تجهیزات از فروشنندگان مختلف مثلاً BBU از نوکیا، RRU از اریکسون، OSS از هواوی وجود ندارد زیرا رابط‌ها (proprietary hardware) اختصاصی (CapEx) برای ساخت یک شبکه بی‌سیم مربوط به بخش RAN است و حدود ۸۰-۶۰ درصد از کل هزینه شبکه را شامل می‌شود. 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 فروشنندگان مختلف استفاده کرد. چالش دیگر کارایی عملیاتی پایین می‌باشد. وقتی رابطه‌ای نرم‌افزاری اختصاصی و به سخت‌افزار خاصی وابسته هستند، هرگونه به روزرسانی 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 فروشنندگان مختلف استفاده کنند.

- **قابلیت همکاری (Interoperability):** یکی از اصول کلیدی Open RAN این است که BBU، RRU و OSS با رابطه‌ای باز (Open Interface) به هم متصل شوند. این قابلیت همکاری بین تجهیزات از فروشنندگان 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 فروشنندگان 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.

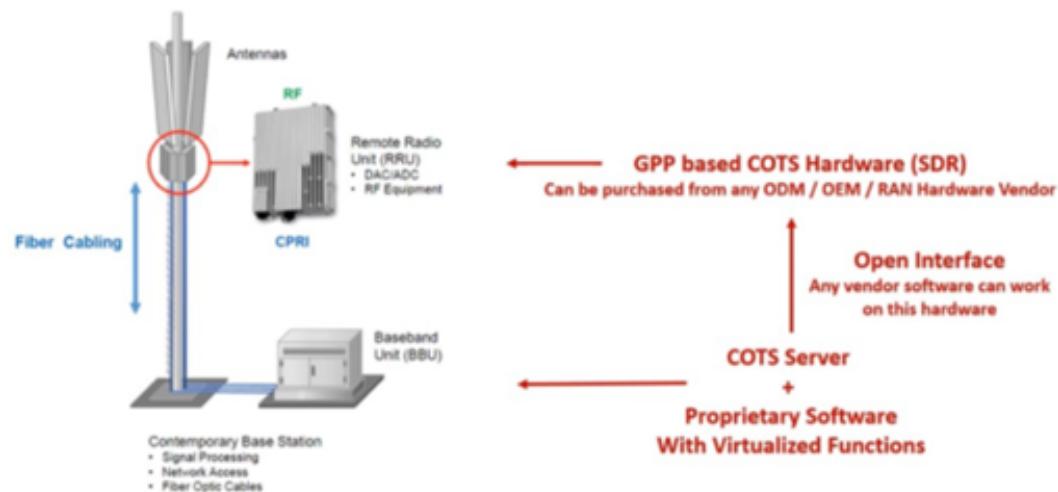
به طور خلاصه، Open RAN با ارائه قابلیت همکاری، کاهش هزینه‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری به اپراتورها اجازه می‌دهد تا شبکه‌های خود را به صورت کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر مدیریت کنند.

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 (BBU (Baseband Unit) و RRU (Remote Radio Unit)) 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

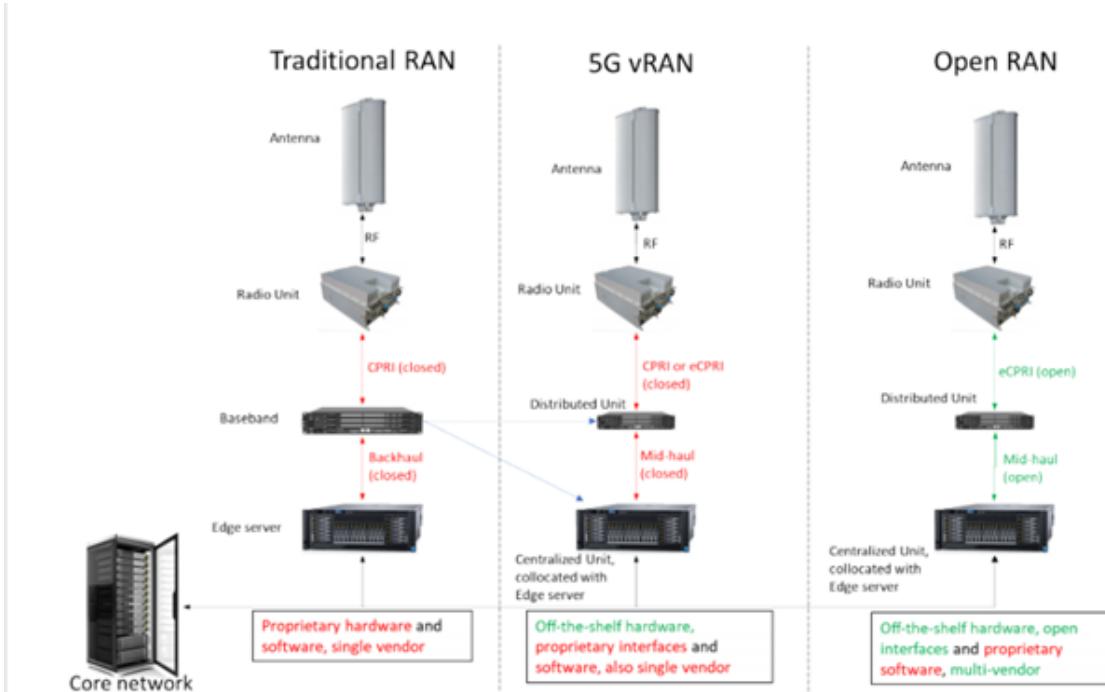
طراحی (OEM - Original Equipment Manufacturer) یا تولیدکننده تجهیزات اصلی (ODM - Original Design Manufacturer) خریداری کرد. نکته مهم در این است که رابط بین RRU و BBU نیز باز (Open Interface) است. این بدین معنی است که می‌توان RRU یک شرکت مانند Nokia و BBU یک شرکت دیگر مانند Ericsson را با استفاده از این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

Open RAN Vision



شکل ۸ : Open RAN Vision

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



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

OSI و RAN 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 هفت لایه‌ای برای استانداردسازی عملکرد شبکه‌ها است (شکل ۱۰). RRU در لایه فیزیکی (Physical Layer) مدل OSI قرار می‌گیرد. وظایف اصلی RRU شامل:

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

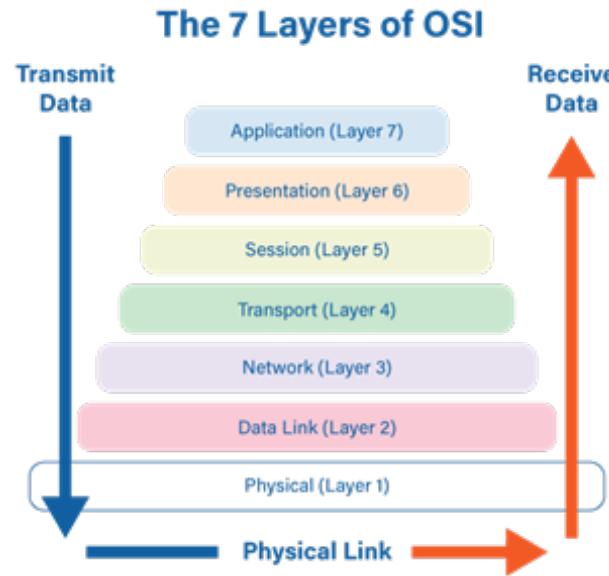
BUU مسئول اجرای پروتکل‌های مختلف و وظایف پیشرفته‌تر در لایه‌های بالاتر از لایه فیزیکی است. پروتکل‌ها و وظایف BBU شامل:

- **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.

IP header، **PDCP (Packet Data Convergence Protocol)** : این پروتکل در لایه شبکه (Network Layer) قرار دارد و وظایفی مانند مدیریت امنیت و عملکردهای دیگری مانند رمزگاری (cryptography) 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 خطای 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 (HARQ - Hybrid Automatic Repeat Request) و زمان‌بندی بسته‌ها را بر عهده دارد.



شكل ۱۰: هفت لایه OSI

• **PHY (Physical Layer)** : این لایه شامل تمامی وظایف اصلی لایه فیزیکی مانند کدگذاری و دکدگذاری (Coding and Decoding)، مدولاسیون و دمودولاسیون (Modulation and Demodulation) (تبدیل فوریه و تبدیل فوریه معکوس) است.

تقسیم واحدهای رادیویی، مرکزی و توزیع شده

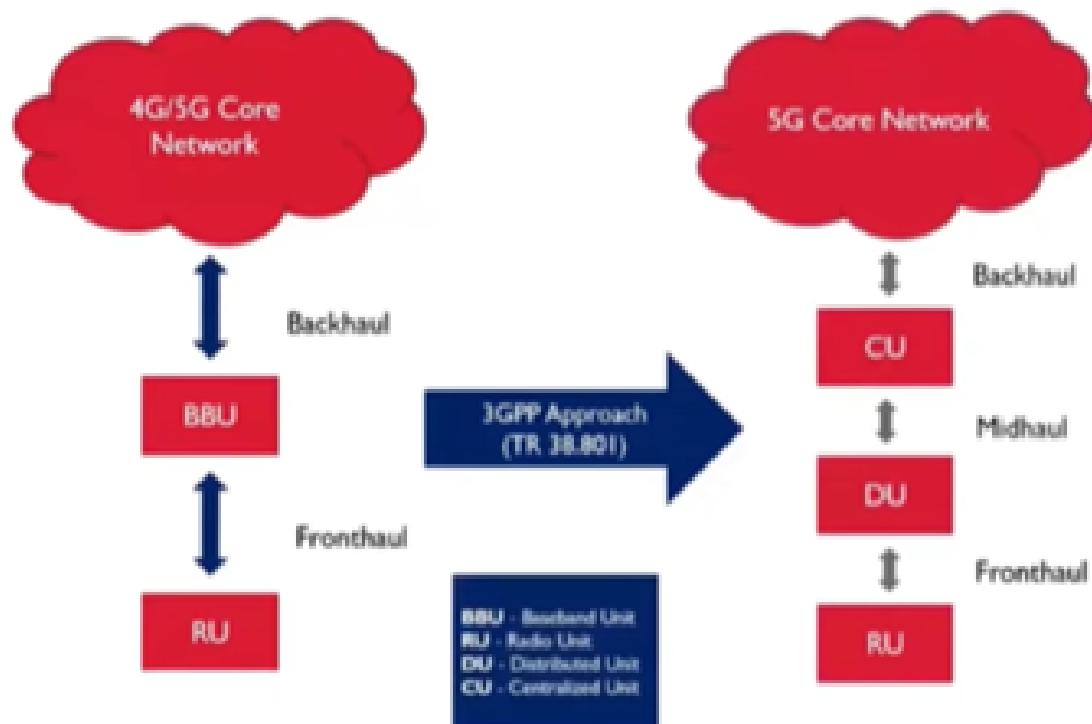
در شبکه‌های نسل ۵ ، مفهومی به نام " RU / CU / DU Split " یا " تقسیم واحدهای رادیویی، مرکزی و توزیع شده " وجود دارد که نقش مهمی در بهبود کارایی و انعطاف‌پذیری شبکه دارد (شکل ۱۱).

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 مسؤولیت 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 Cloud Optimization ، Split 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.

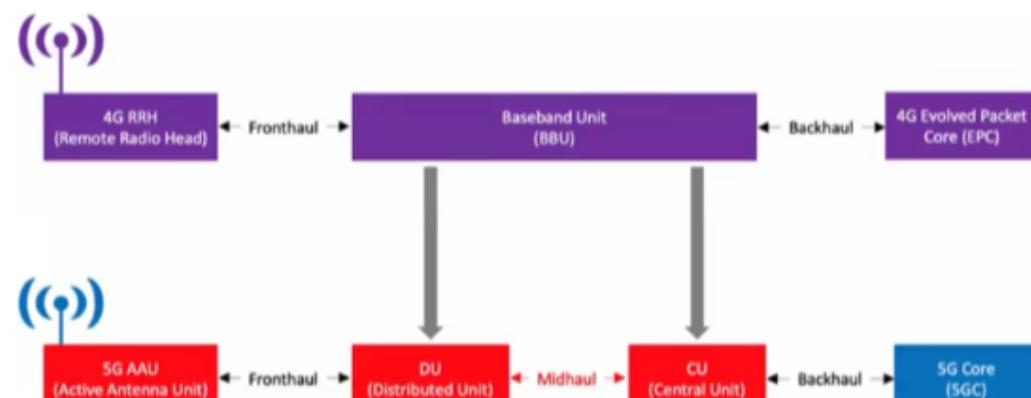


شكل ۱۱ RU / CU / DU Splits :

(رابط میانی CU و DU) Midhaul :

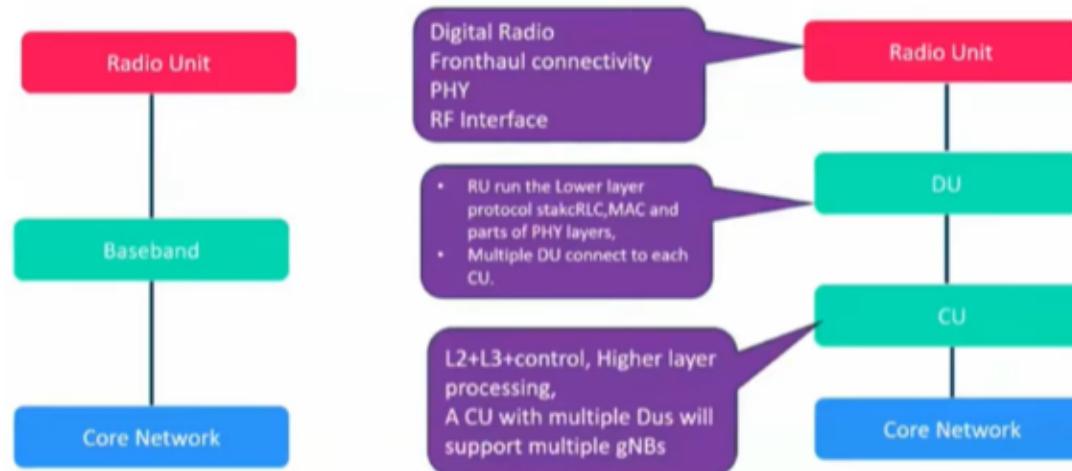
این رابط وصل کننده واحدهای CU و DU است. این رابط تبادل داده و سیگنال های کنترلی بین این دو مولفه را فراهم می کند. رابط میانی امکان هماهنگی و همگام سازی بین عناصر پردازش مرکزی و توزیع شده را نیز فراهم می کند.

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 (DFP) Digital Front End: مسئول انجام پردازش‌های دیجیتال اولیه بر روی سیگنال‌هاست. این پردازش‌ها شامل تقویت سیگنال، تبدیل فرکانس و فیلترگذاری است. بخشی از پروتکل‌های لایه فیزیکال 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 PDCP 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 (Centralized Unit - DU) و واحدهای مرکزی (Distributed Unit - CU) 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 مرکز 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 توزیع شده به توزیع انعطاف‌پذیرتر و ظایف‌تر پردازشی بین واحد مرکزی (CU) و واحد توزیع (DU) امکان می‌دهد. این انعطاف‌پذیری به طرح‌ان شبكه 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 (RAN) 5G

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 توزیع شده (DU) وجود دارد. نکته‌ی کلیدی در این معماری توزیع شده، انعطاف‌پذیری در محل استقرار لایه‌های مختلف پروتکل است.



شکل ۱۴: CU و RU

عوامل تعیین‌کننده محل استقرار لایه‌های پروتکل:

- قابلیت‌های تامین‌کننده (Vendor): شرکت‌های مختلف ممکن است گزینه‌های مختلفی برای محل استقرار لایه‌های پروتکل ارائه دهند.
- اولویت اپراتور: اپراتورهای شبکه می‌توانند بر اساس نیازهای خود، محل استقرار لایه‌ها را انتخاب کنند.

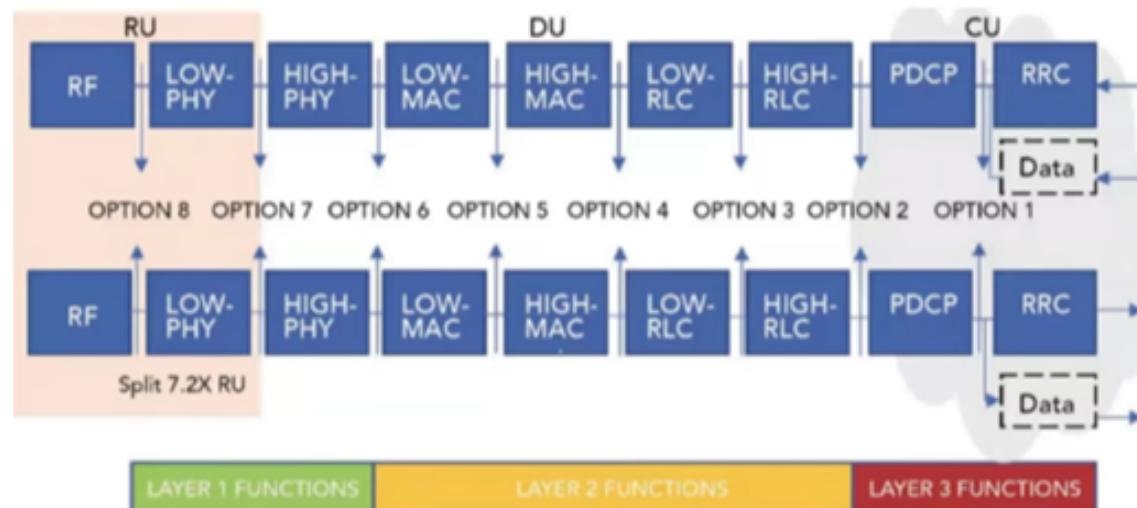
مثال: Option 2

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

- واحد مرکزی (CU): شامل لایه‌های PDCP و RRC می‌شود. این لایه‌های سطح بالا مسئولیت رمزنگاری داده، سیگنالینگ کنترل و تخصیص منابع را بر عهده دارند.
- واحد توزیع شده (DU): شامل پروتکل‌های High PHYSICAL و Low MAC، High MAC، Low RLC، High RLC است. این لایه‌ها وظایف بخش‌بندی

- داده، کنترل خطاب 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: گزینه‌های 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 ویدیویی با وضوح بالا، بازی‌های ابری (Cloud Gaming) و دانلود سریع فایل‌ها.

• مشخصات:

- نیاز به پهنانی 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 پر جمعیت و برنامه‌های پر مصرف 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:

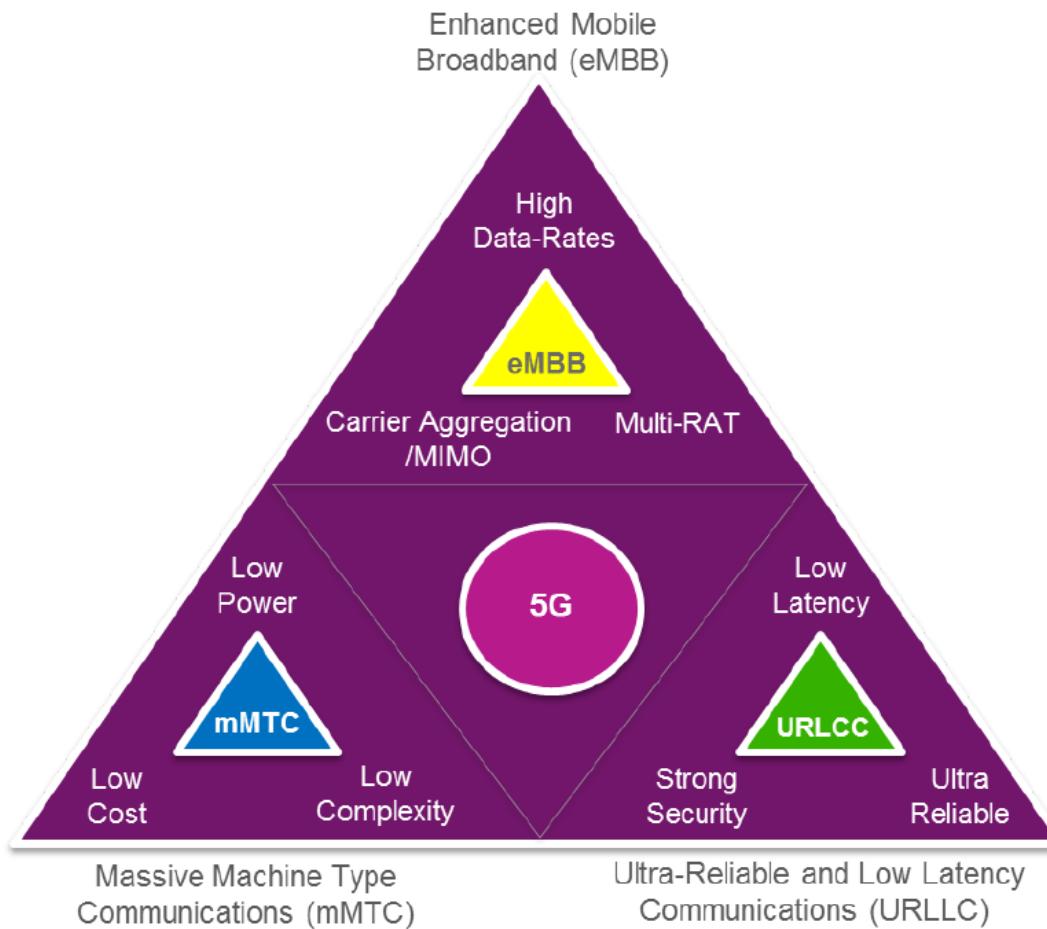
- نیاز به تأخیر بسیار کم (زیر ۱ میلی ثانیه) و قابلیت اطمینان بالا.
- استفاده از تکنیک هایی مانند برش شبکه (Network Slicing) و تخصیص اختصاصی منابع برای تضمین کیفیت خدمات.
- مناسب برای برنامه هایی که به زمان بندی دقیق و قابلیت اطمینان حیاتی نیاز دارند.

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

- نیاز: اتصال تعداد زیادی از دستگاه های کم مصرف با ترافیک داده کم، مانند سنسورها، مترها و ردیاب ها.

- مشخصات:

- نیاز به اتصالات کارآمد و مقرر به صرفه برای تعداد زیادی از دستگاه ها.
- استفاده از تکنیک هایی مانند LPWA (شبکه های با توان کم و برد گسترده) برای افزایش عمر باتری و کاهش هزینه ها.
- مناسب برای برنامه های اینترنت اشیا (IoT) که در آن حجم زیادی از داده های حسگر با سرعت کم جمع آوری می شود



شکل ۱۶: سناریوهای کاربردی در معماری ۵G

تقسیم بندی درون CU

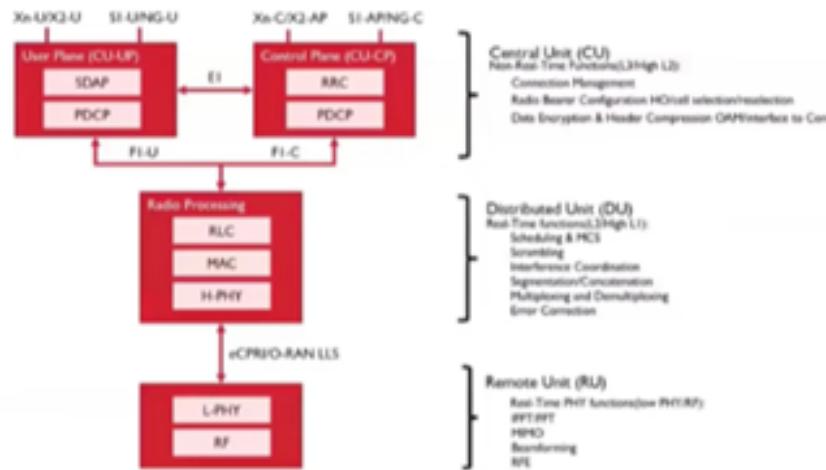
طبق شکل ۱۷ CU را می‌توان به دو زیربخش دیگر تقسیم کرد:

- صفحه‌ی کنترل (CP - Control Plane)؛ مدیریت سیگنالینگ شبکه و توابع کنترل را انجام می‌دهد.
- صفحه‌ی کاربر (UP - UserPlane)؛ پردازش داده‌های کاربر و تخصیص منابع را مدیریت می‌کند.

چالش تاثیر فاصله بر تأخیر:

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

Logical RAN Disaggregation



شکل ۱۷: 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 ۲۰):

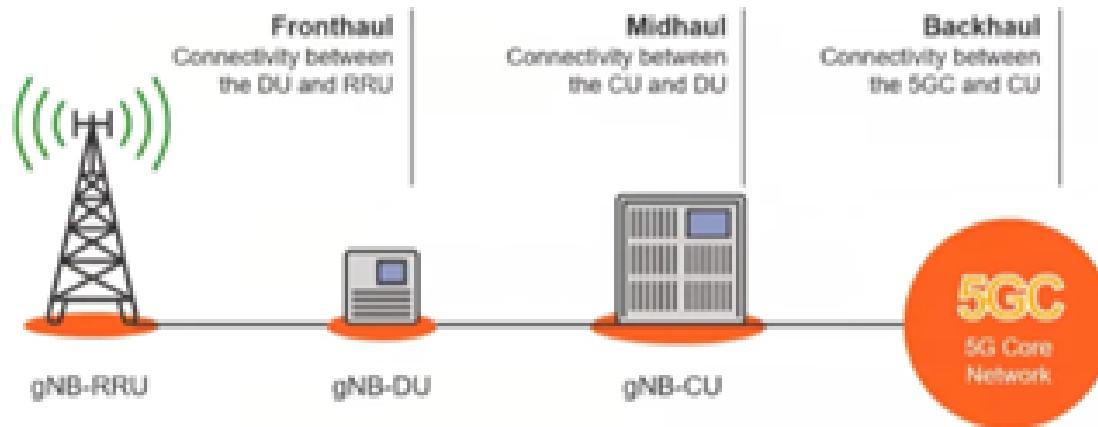
- Fronthaul: بین واحد توزیع شده (DU) و واحد رادیویی (RRU)
- Midhaul: بین واحد مرکزی (CU) و واحد توزیع شده (DU)
- Backhaul: بین واحد مرکزی (CU) و هسته‌ی شبکه

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



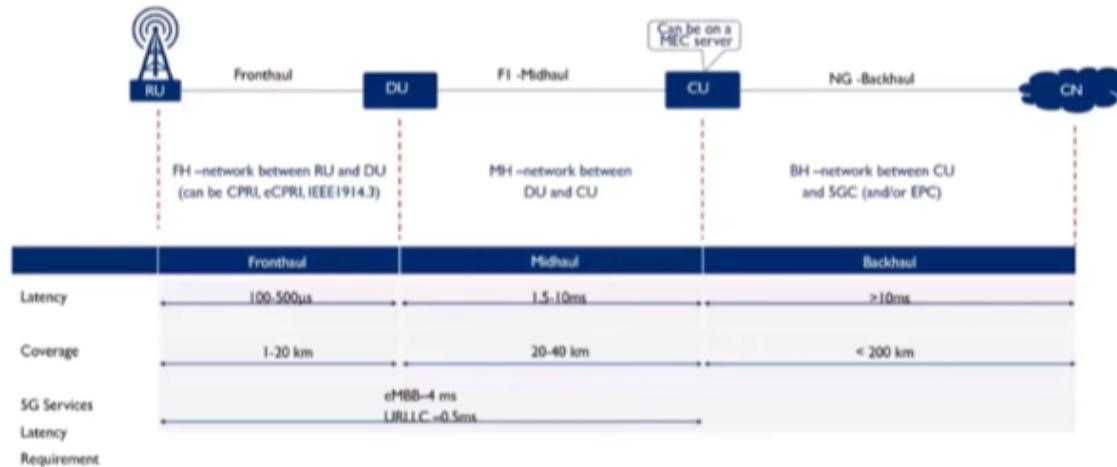
شکل ۱۸: روابط Fronthaul ، Midhaul و Backhaul در شبکه 5G

- ارتباطات فوق قابل اعتماد با تأخیر کم (URLLC)

- ارتباطات گستردگی نوع ماشین (mMTC)

- هر یک از این سرویس‌ها به سطح متفاوتی از کیفیت خدمات (QoS) نیاز دارد. 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 ۱۹: (CU) و (DU) 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 پر جمعیت، 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 پر جمعیت، می‌توان از CU و DU با ظرفیت بالا استفاده کرد، در حالی که در مناطق کم جمعیت می‌توان از واحدهای با ظرفیت پایین‌تر استفاده کرد.
- این امر باعث می‌شود تا استفاده از منابع شبکه بهینه شود و هزینه‌ی راه اندازی و نگهداری کاهش یابد.

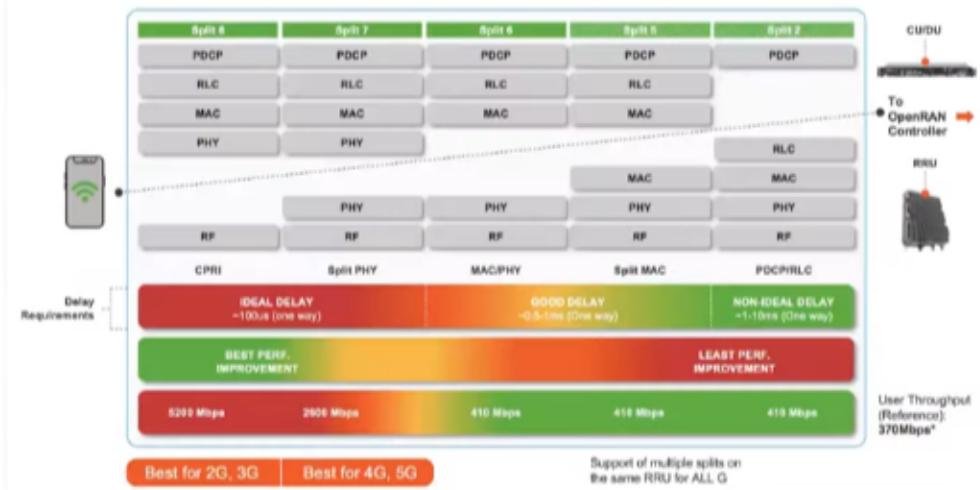
در دسترس بودن شبکه‌های انتقال با سطوح کارایی مختلف (شبکه انتقال، شبکه‌ای است که وظیفه‌ی انتقال داده‌ها بین بخش‌های مختلف شبکه را برعهده دارد):

- هزینه‌های مربوط به راه اندازی 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 پر جمعیت که نیازمند ظرفیت بالا و نرخ داده زیاد هستند، از شبکه‌های انتقال پر ظرفیت مانند فیبر نوری استفاده می‌شود. در مناطق کم جمعیت، 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 RA N Open

چرا Split 7 برای نسل ۴ و ۵ و ۸ برای نسل ۲ و ۳ توصیه می‌شود؟ مقایسه 7 و Option 8:

RAN SPLITS- LOGICAL View



شکل ۲۰: مقایسه Option ۷ و Option ۸

: Option 7

بیشتر پردازش‌ها (PDCP, RLC, MAC, PHY) 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 (mMTC, URLLC, eMBB) 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 (High Physical layer, MAC, RLC, PDCP) 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 باز 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.

برای نیازهای پردازشی چالش‌برانگیز شبکه‌های نسل ۴ و ۵ انعطاف‌پذیری و کارایی را ارائه می‌دهد. از سوی دیگر، Option 7 برای نیازهای پردازشی چالش‌برانگیز شبکه‌های 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 Low Physical Layer و High Physical Layer

این تقسیم‌بندی در شبکه‌های Open RAN برای تفکیک واحد رادیویی (RU) از واحد توزیع شده (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 Demodulation، Modulation، Coding و Decoding به واحد توزیع شده (DU) منتقل می‌شوند. این توابع برای عملکرد شبکه حیاتی هستند، اما تأخیر اندکی در انجام آن‌ها قابل قبول است.

مراجع

[ORAN](#) •