



## مفهوم ORAN در شبکه های نسل پنجم

---

درس آشنایی با شبکه های تلفن همراه

غزل عربعلی - ۹۷۵۲۱۳۹۶، بهاره کاووسی نژاد - ۹۹۴۳۱۲۱۷

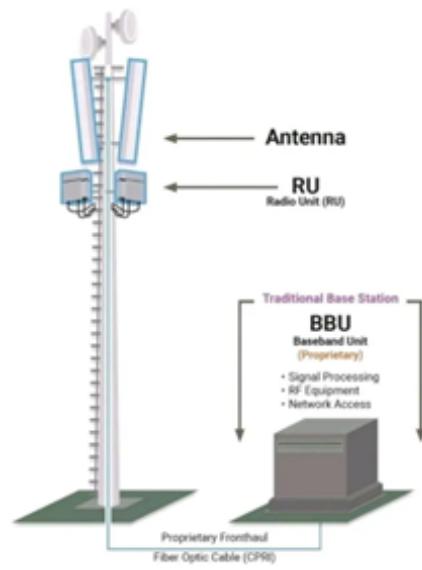
آخرین ویرایش: ۲۳ خرداد ۱۴۰۳ در ساعت ۱۷ و ۵۸ دقیقه

## 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

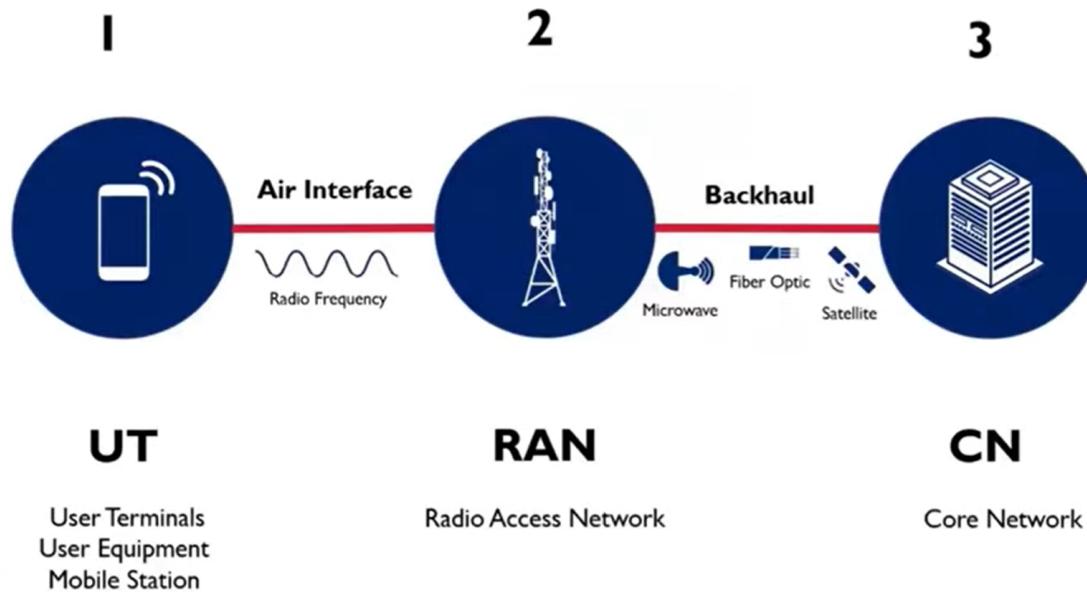
برده شده و دیگر پارامترها اپراتور های شبکه می توانند مکان بهینه و پیکربندی RAN را با هدف پوشش و ظرفیت حداکثری تعیین کنند. به طور کلی مکان قرارگیری کارایی کلی شبکه را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. در نتیجه برای داشتن پوشش دهی و Mobility باید از استراتژی برای قرار دادن RAN استفاده کنیم.

# 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



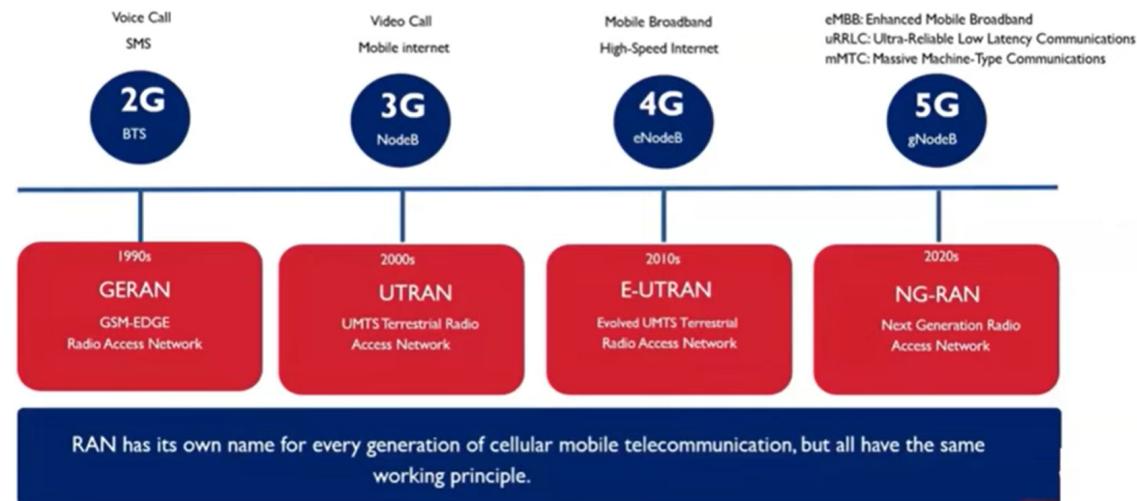
شکل ۲: اجزای شبکه مخابرات بی سیم

### 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 <sup>۳</sup> مشاهده می کنیم. همان طور که دیده می شود، در نسل پنج، به آن NG-RAN (Next Generation RAN) یا New (New ) گویند.

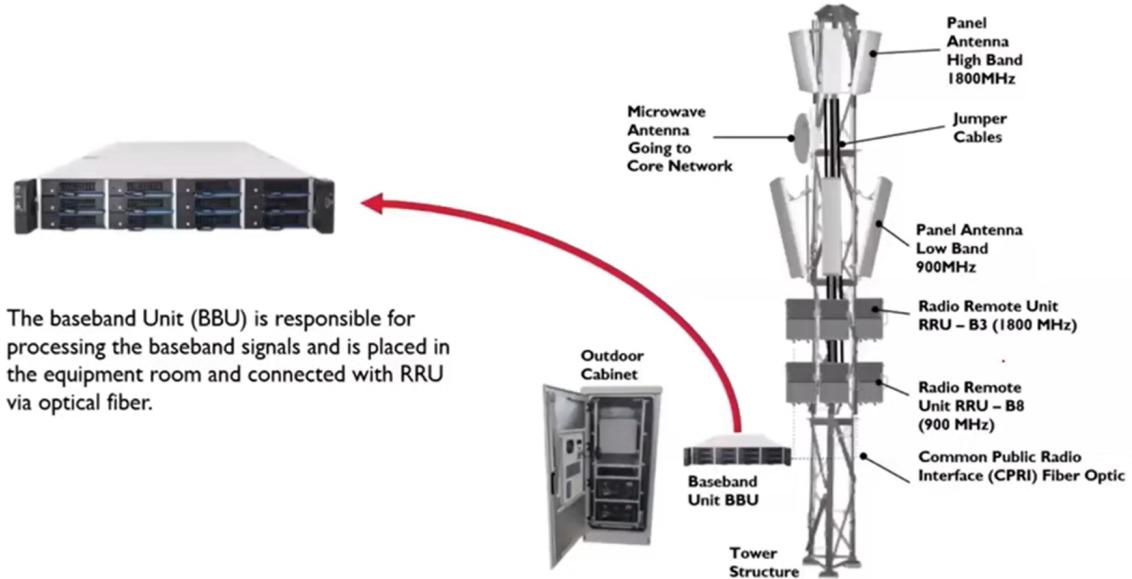
### *RAN Names in different generations*



شکل ۳: نسل های مختلف RAN

همانطور که در شکل <sup>۴</sup> 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*

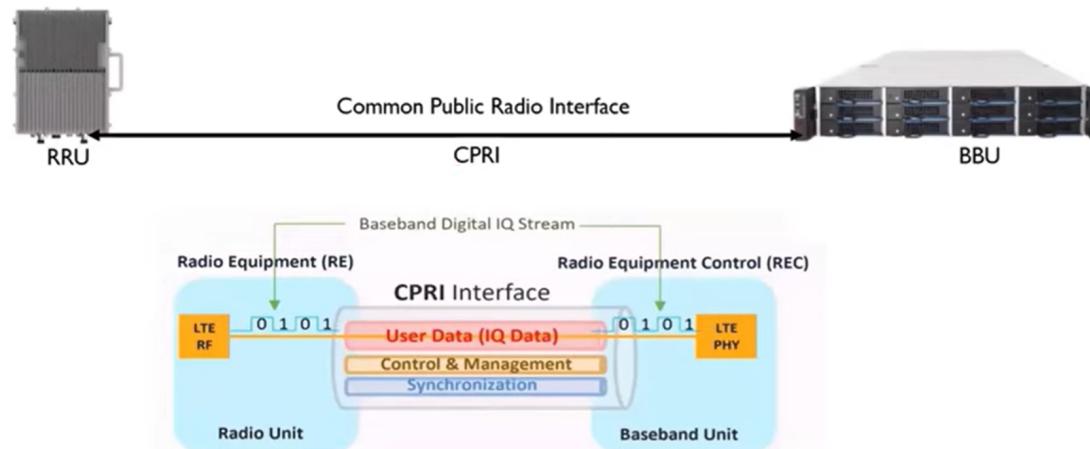


RRU is a radio transceiver that communicates with mobile devices over the airwaves and is located remotely

شكل 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. شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم، مانند شبکه‌های موبایل، استفاده می‌شوند. در ساختار سنتی RAN، تجهیزات RF (Radio Frequency) و پردازش سیگنال‌های بی‌سیم در هر سایت برای ارتباط با دستگاه‌های کاربری مستقر می‌شوند. این رویکرد معمولاً منجر به نیاز به فضای بسیار زیاد، مصرف انرژی بالا و هزینه‌های ساخت و نگهداری بالا می‌شود.

برای حل این مشکلات، معماری CRAN (Centralized RAN) به وجود آمده است. در CRAN، تجهیزات RF از پردازش سیگنال‌ها جدا شده و در مرکزیت شبکه، به نام مرکز RAN یا (Baseband Unit Pool) قرار می‌گیرند. در CRAN، تمام پردازش سیگنال‌های بی‌سیم در مرکز RAN انجام می‌شود و ارتباط با دستگاه‌های کاربری از طریق فیبر نوری یا ارتباطات بی‌سیم کوتاه مدت برقرار می‌شود.

با استفاده از CRAN، می‌توان هزینه‌های را کاهش داد، مصرف انرژی را بهبود بخشدید و کارایی شبکه را افزایش داد. همچنین، با امکان اشتراک‌گذاری منابع پردازشی بین سایت‌های مختلف، میزان هماهنگی و قابلیت مقیاس‌پذیری شبکه نیز افزایش می‌یابد. CRAN یکی از رویکردهای مناسب برای پیاده‌سازی شبکه‌های 5G است.

که نیاز به پهنانی باند بالا، کارایی بالا و حجم بالای ترافیک دارد.

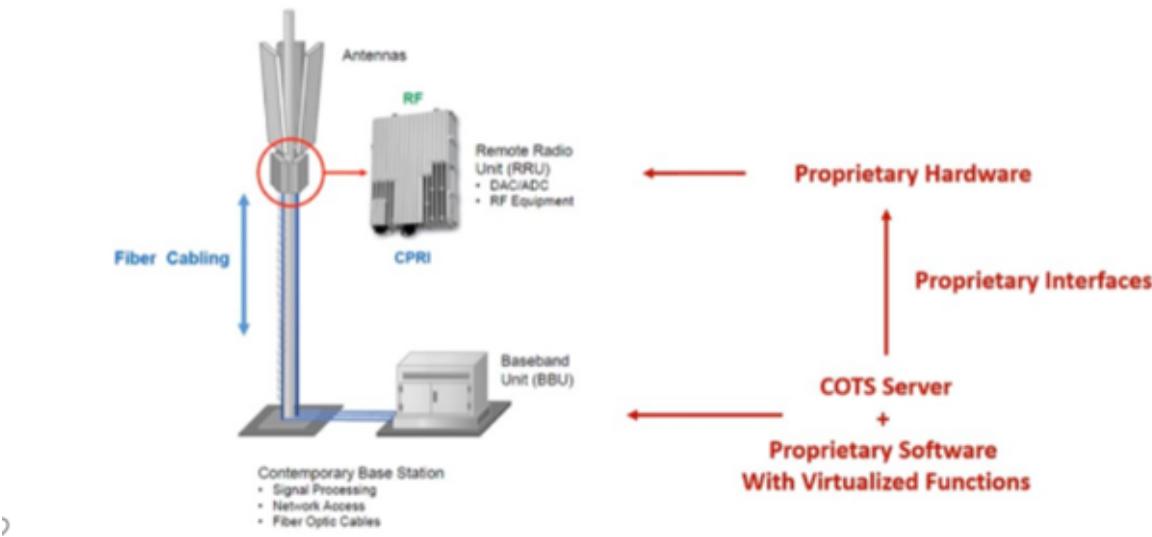
## Virtual-RAN

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 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 از سخت افزار به نرم افزار گذر کردیم (شکل ۷) NETWORK FUNCTION VIRTUALIZATION (NFV)

## COTS (Commercial Off The Shelves)

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 ایستگاه های AM یا FM را دریافت کنید. این دستگاه به طور خاص برای این منظور طراحی شده بود و شما نمی توانستید از آن برای کاربردهای دیگر استفاده کنید. ما امروزه، شما می توانید به سادگی یک اپلیکیشن رادیو را روی گوشی هوشمند خود نصب کنید و با استفاده از اینترنت به ایستگاه های رادیویی گوش دهید. شما دیگر نیازی به خرید دستگاه فیزیکی خاصی ندارید، بلکه تنها با نصب یک نرم افزار روی یک سخت افزار چندمنظوره (گوشی هوشمند) می توانید به همان عملکرد دست پیدا کنید. در Traditional RAN ، برای پردازش سیگنال های رادیویی و مدیریت ارتباطات، نیاز به سخت افزارهای 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 v-RAN یا همان Virtual RAN ، شما دیگر نیازی به استفاده از BBU های اختصاصی (Proprietary Hardware) ندارید. به جای آن، می توانید از

## Virtualized RAN (vRAN) Approach



شكل :۷ vRAN

سرورهای استاندارد و تجاری (COTS) استفاده کنید. این سرورها چندمنظوره هستند و با نصب و پیکربندی (Configuration) نرمافزارهای خاص، می‌توانند وظایف Proprietary 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) باقی مانده است. در نتیجه نمیتوان واحد RRU را از یک Vendor و واحد BBU و واحد Interface میان آن هارا از دو Vendor متفاوت تهیه کرد بدین معنا که اگر ERICSSON از v-RAN خریداری شده، هم باید از ERICSSON خریداری شود. به این نکته توجه شود که Virtual RAN همان Open RAN نیست و مسیر تکاملی رسیدن به ناحیه Open RAN در 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 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 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)

## ( 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) وغیره 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. پردازنده‌هایی مانند (x86)، Intel، ARM، MIPS، SPARC و RISC-V پردازنده‌های عمومی هستند 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 و ۴۴۱۵) و OSS اریکسون را هم تهیه کنید. امکان ترکیب تجهیزات از فروشنندگان مختلف مثلاً BBU از نوکیا، RRU از اریکسون، OSS از هوآوی وجود ندارد زیرا رابط‌ها (Interfaces) اختصاصی (Proprietary Hardware) و بسته هستند. چالش بعدی مربوط به هزینه‌های سرمایه‌ای (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 :

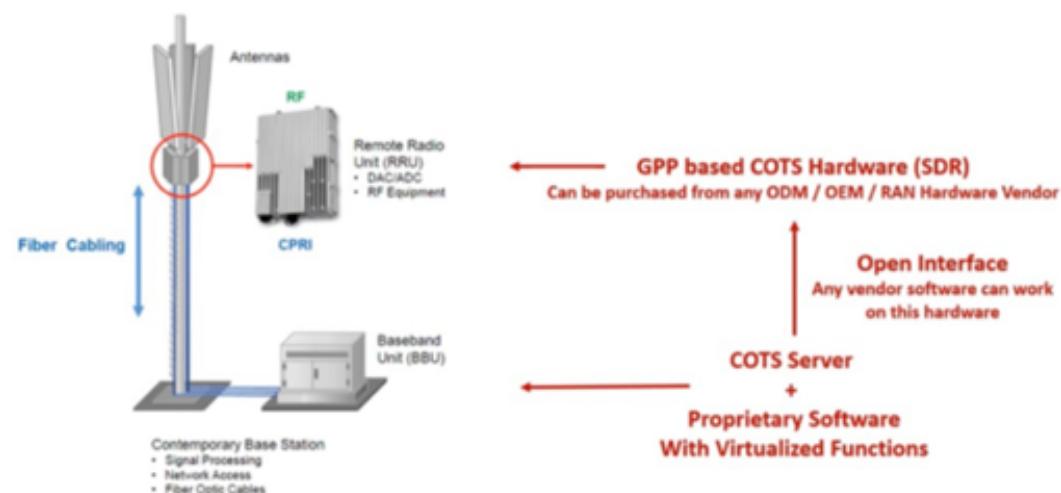
- **هوشمندی و مجازی سازی:** به این معنا که می‌توان نرم‌افزارهای مختلف را روی سخت‌افزارهای استاندارد اجرا کرد. این امر به اپراتورها اجازه می‌دهد تا از تجهیزات متنوعی از فروشنندگان مختلف استفاده کنند.
- **قابلیت همکاری (Interoperability):** یکی از اصول کلیدی Open RAN این است که BBU، RRU و OSS با رابطه‌ای باز (Open Interface) به هم متصل شوند. این قابلیت همکاری بین تجهیزات از فروشنندگان مختلف را 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 است. SDR را می‌توان از هر تولیدکننده اصلی

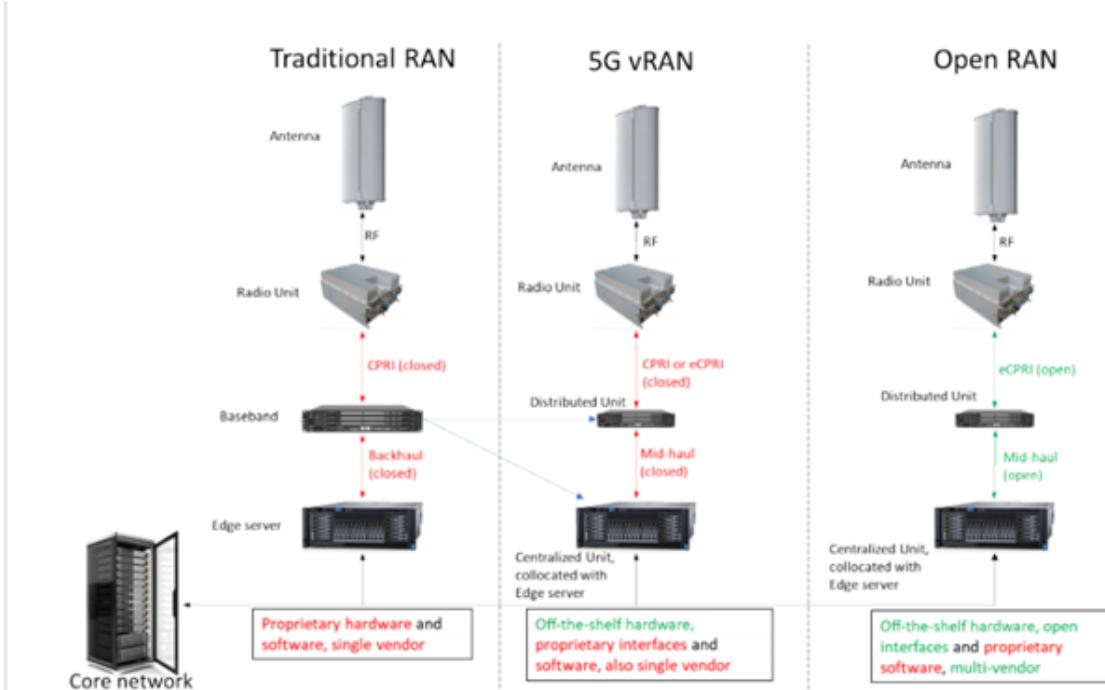
طراحی (ODM - Original Design Manufacturer) یا تولیدکننده تجهیزات اصلی (OEM - Original Equipment Manufacturer) خریداری کرد. نکته مهم در این است که رابط بین RRU و BBU نیز باز (Open Interface) است. این بدین معنی است که می‌توان RRU یک شرکت مانند Nokia و BBU یک شرکت دیگر مانند Ericsson را با استفاده از این 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 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 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 توانند بر روی سخت افزار بومی اجرا شود، بلکه RRU نیز می توانند 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.

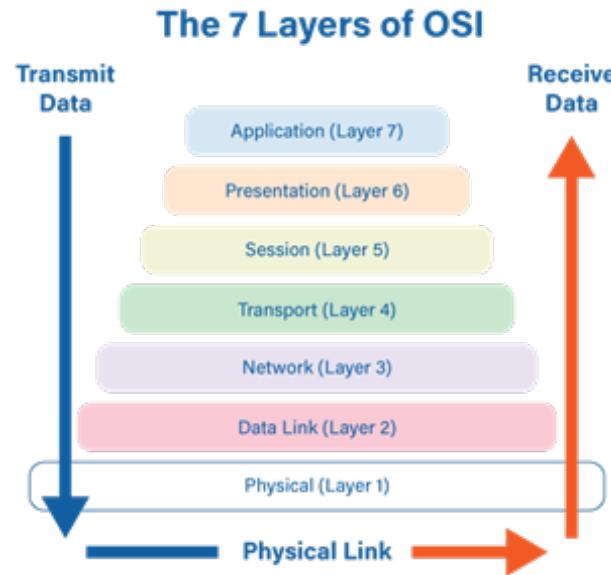
BUU مسئول اجرای پروتکل‌های مختلف و وظایف پیشرفته‌تر در لایه‌های بالاتر از لایه فیزیکی است. پروتکل‌ها و وظایف BBU شامل:

- **RRC (Radio Resource Control)**: این پروتکل در لایه شبکه (Network Layer) قرار می‌گیرد و مسئولیت مدیریت ارتباطات، پخش و ارسال پیام‌ها، مدیریت ارتباط و 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

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

# تقسیم واحدهای رادیویی، مرکزی و توزیع شده

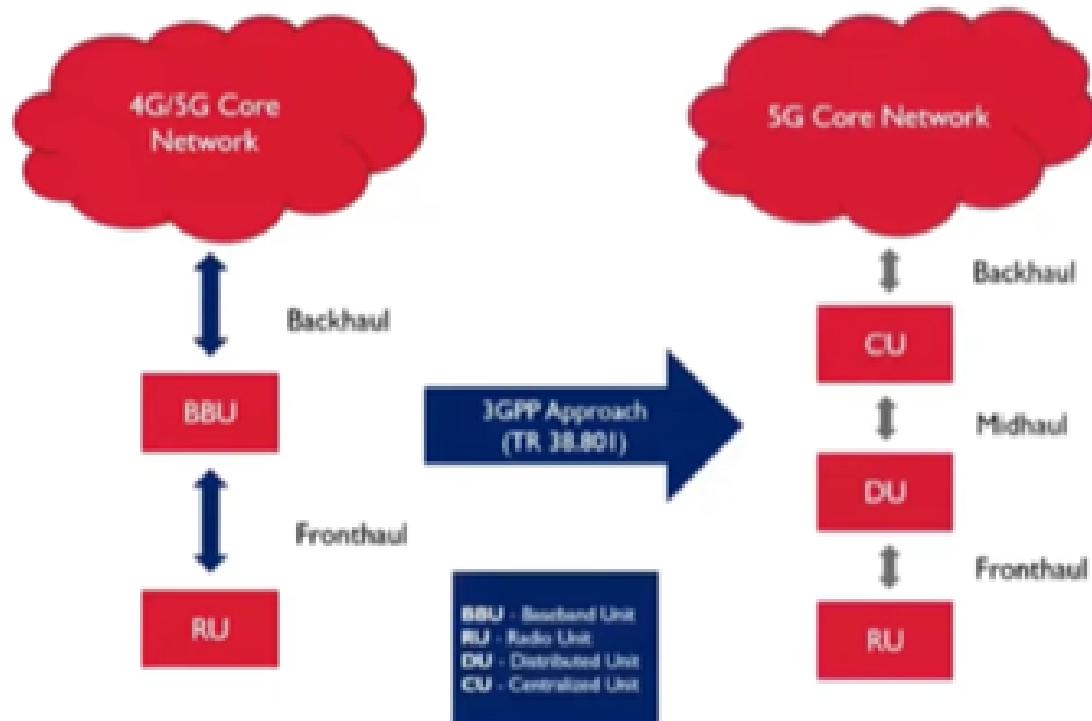
در شبکه های نسل ۵ ، مفهومی به نام " RU / CU / DU Split " یا " تقسیم واحدهای رادیویی، مرکزی و توزیع شده " وجود دارد که نقش مهمی در بهبود کارایی و انعطاف پذیری شبکه دارد (شکل ۱۱).

در معماری شبکه های 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 پایه ای (BBU) یک مسؤولیت تکی است که مسئول پردازش هم پروتکل های لایه های بالاتر و هم سیگنال های لایه های پایین است. حال به معماری شبکه های نسل پنج و مفهوم Split می پردازیم، در این نسل برای افزایش انعطاف پذیری و مقیاس پذیری، معماری شبکه بهینه سازی شده و بخش Baseband به دو واحد مجزا تقسیم شده است. عملکرد واحد BBU به ۲ مولفه جداگانه محول می شود.

- **واحد مرکزی ( CU - Centralized Unit ) :** مسئول مدیریت پروتکل های لایه بالاتر و برخی از وظایف شبکه ای است.
- **واحد توزیع شده ( DU - Distributed Unit ) :** وظایف پردازش سیگنال های لایه پایین و ارتباطات محلی را بر عهده دارد.

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

امر باعث کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی می‌شود.

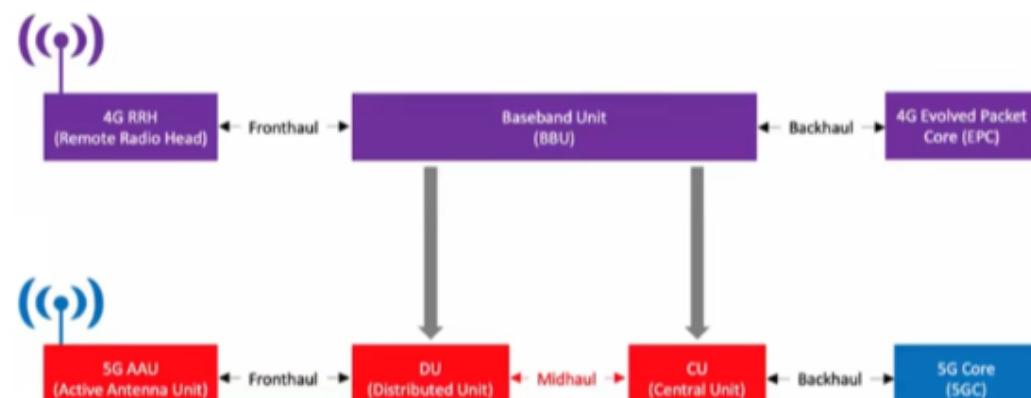


شكل ۱۱ RU / CU / DU Splits :

## ( رابط میانی CU و DU ) Midhaul :

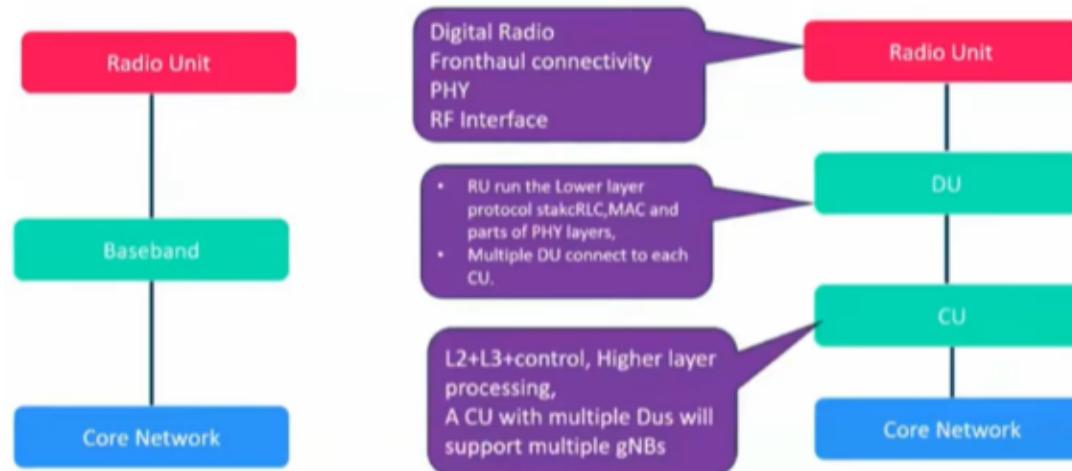
این رابط وصل کننده واحدهای CU و DU است. این رابط تبادل داده و سیگنال های کنترلی بین این دو مولفه را فراهم می کند. رابط میانی امکان هماهنگی و همگام سازی بین عناصر پردازش مرکزی و توزیع شده را نیز فراهم می کند.

### 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 یک 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 توزیع شده (DU - Distributed Unit) و واحدهای مرکزی (CU - Centralized Unit) وجود دارد. با این تقسیم بندی، 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.

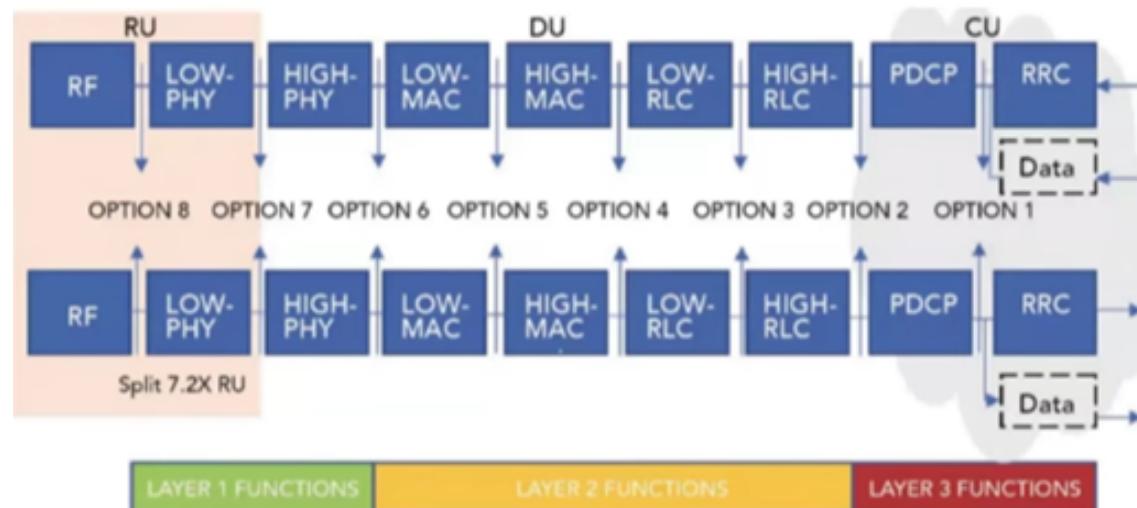
## مثال: Option 2

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 پرجمعیت و برنامه‌های پرصرف داده.

### ارتباطات 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:

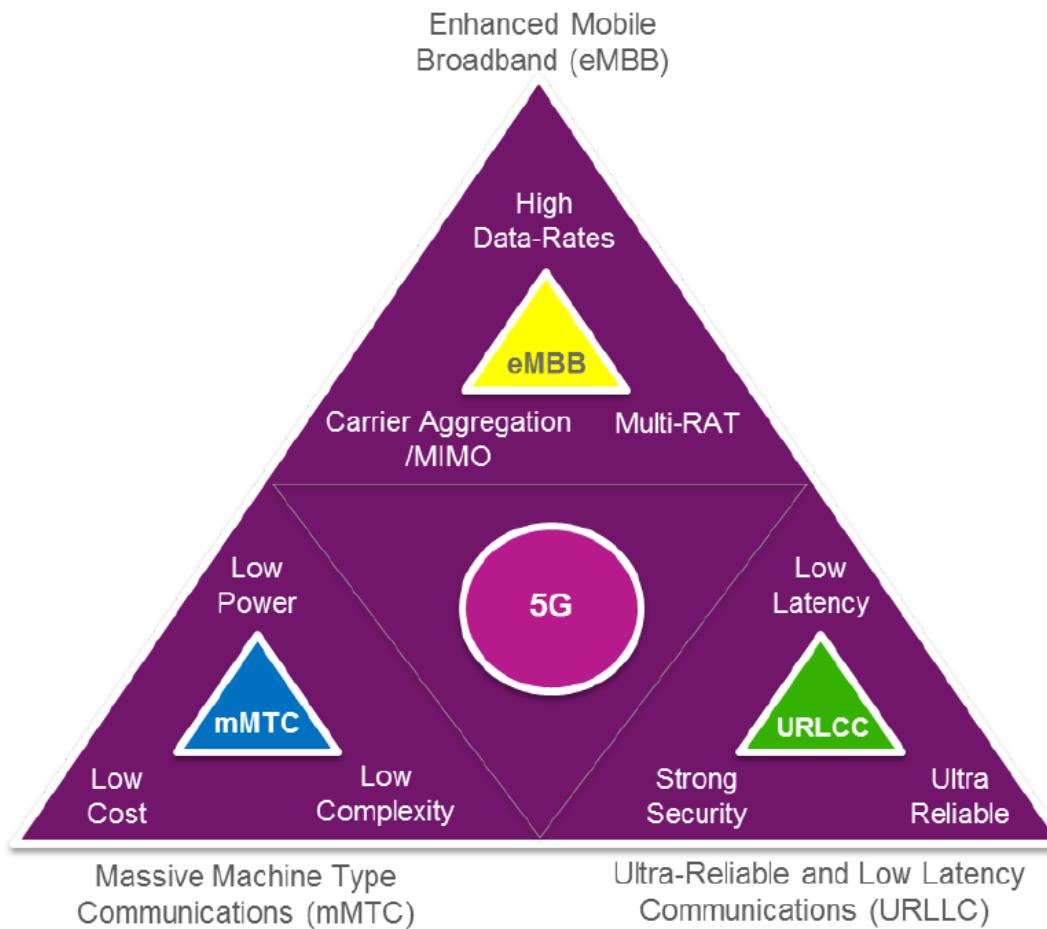
- نیاز به تأخیر بسیار کم (زیر ۱ میلی ثانیه) و قابلیت اطمینان بالا.
- استفاده از تکنیک هایی مانند برش شبکه (Network Slicing) و تخصیص اختصاصی منابع برای تضمین کیفیت خدمات.
- مناسب برای برنامه هایی که به زمان بندی دقیق و قابلیت اطمینان حیاتی نیاز دارند.

## 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

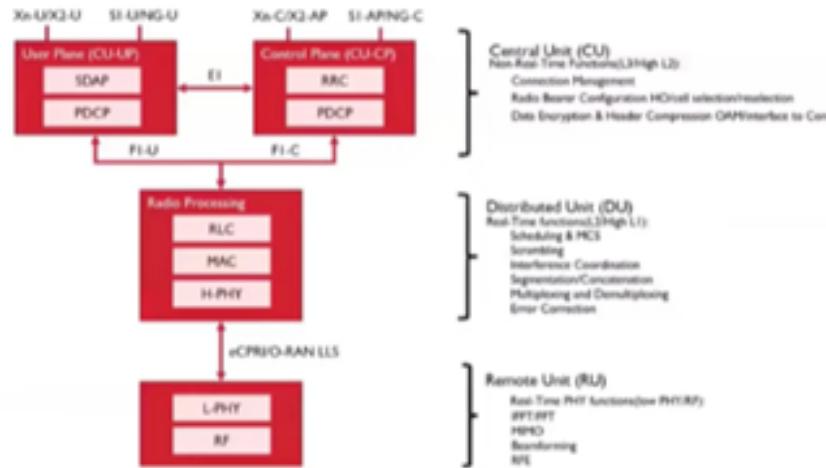
طبق شکل ۱۷ CU را می‌توان به دو زیربخش دیگر تقسیم کرد:

- 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 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):

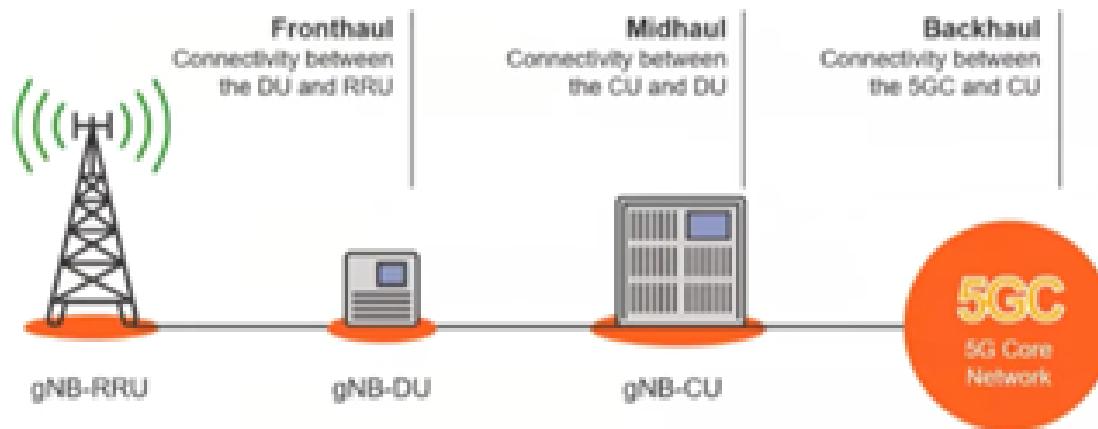
- Fronthaul: بین واحد توزیع شده (DU) و واحد رادیویی (RRU)
- Midhaul: بین واحد مرکزی (CU) و واحد توزیع شده (DU)
- Backhaul: بین واحد مرکزی (CU) و هسته‌ی شبکه

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



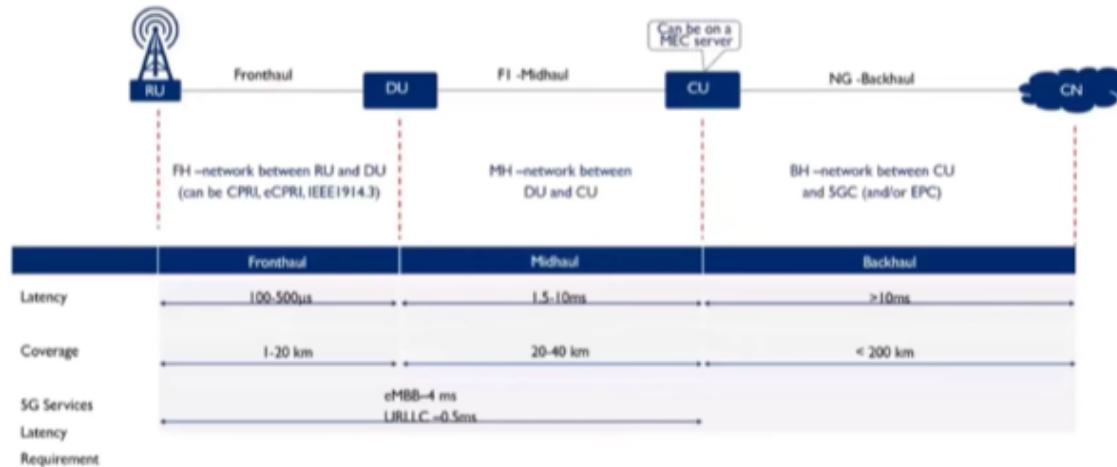
شکل ۱۸: روابط Fronthaul ، Midhaul و Backhaul در شبکه 5G

- ارتباطات 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 : (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 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.

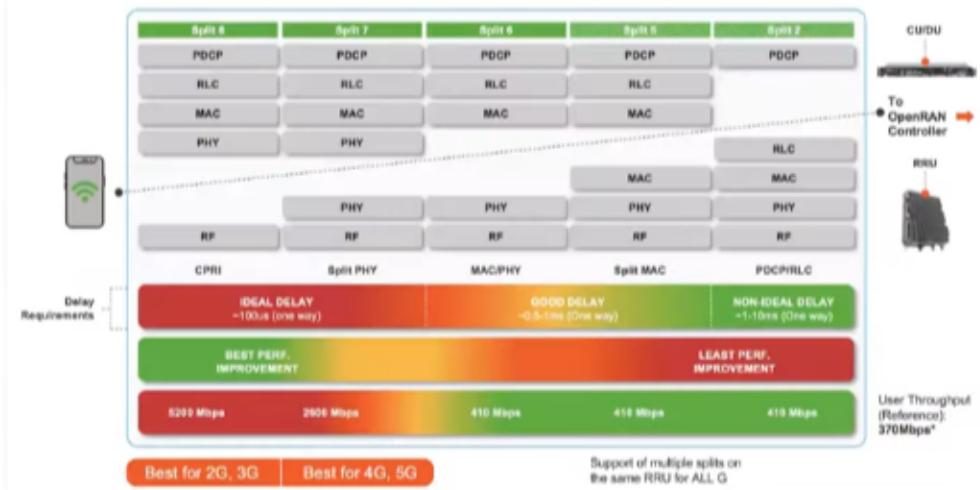
## در دسترس بودن شبکه‌های انتقال با سطوح کارایی مختلف (شبکه انتقال، شبکه‌ای است که وظیفه‌ی انتقال داده‌ها بین بخش‌های مختلف شبکه را برعهده دارد):

- 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 Open RAN (RAN)

چرا Split 7 برای نسل ۴ و ۵ و ۸ Split ۲ و ۳ توصیه می‌شود؟ مقایسه 7 و Option 8 و Option 9:

## RAN SPLITS- LOGICAL View



شكل ۲۰: مقایسه Option7 و Option8

: 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 ۷.۲ 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 Modulation، Demodulation، 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.

## **۳ چالش کلیدی در دنیای مخابرات نسل ۵ (برای اپراتورها)**

### **چالش اول:**

زمان رسیدن به بازار (Time to Market) برای فناوری‌های جدید کاهش زمان رسیدن فناوری‌های جدید به دست کاربران، یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که اپراتورهای مخابراتی با آن روبرو هستند. فرض کنید می‌خواهیم اینترنت همراه نسل پنجم را سریع‌تر راه‌اندازی کنیم. برای رسیدن به این هدف، به چند عامل کلیدی نیاز داریم:

- ابزار و تکنولوژی مناسب برای استقرار: راه‌اندازی سریع ۵G نیازمند راه‌حل‌های نوآورانه و تکنولوژی‌های جدید است. برای مثال، ممکن است به الگوریتم‌هایی برای انتخاب هوشمندانه‌ی محل دکل‌های مخابراتی یا روش‌های نوین کابل‌کشی نیاز داشته باشیم.

- پیش‌بینی تعداد مشترکین: برای اینکه بتوانیم سرمایه‌گذاری درستی انجام دهیم، باید تا حدودی بتوانیم تعداد کاربرانی که از ۵G استفاده خواهند کرد را تخمین بزنیم.

با وجود این راه حل‌ها، چالش اصلی همچنان پابرجاست. راه اندازی هر فناوری جدید، هزینه‌ی زیادی در بر دارد. اپراتورها باید برای خرید تجهیزات جدید، ارتقاء زیرساخت و راه اندازی شبکه‌ی ۵G سرمایه‌گذاری قابل توجهی انجام دهند. علاوه بر سرمایه‌گذاری بالا، محدودیت در انعطاف‌پذیری نیز چالش دیگری است. بسیاری از تجهیزات مخابراتی قدیمی، تنها با نسل‌های قبلی اینترنت همراه مانند ۲G و ۳G کار می‌کنند. این تجهیزات قابلیت ارتقاء به نسل‌های جدیدتر را ندارند و باید به طور کامل جایگزین شوند. همین موضوع باعث کندی در بهروزرسانی شبکه و در نتیجه، افزایش زمان رسیدن فناوری‌های جدید به دست کاربران می‌شود.

بنابراین، عوامل مهم در چالش Time to Market شامل:

۱. سرعت بخشیدن به استقرار: اپراتورها باید بتوانند زیرساخت‌های جدید را به سرعت و با کارآمدی بالا راه اندازی کنند.
۲. سرمایه‌گذاری قابل توجه: راه اندازی فناوری‌های جدید، نیازمند سرمایه‌گذاری کلان است.
۳. محدودیت در انعطاف‌پذیری تجهیزات قدیمی: تجهیزات قدیمی مانع برای بهروزرسانی سریع شبکه و در نتیجه، کاهش سرعت رسیدن فناوری‌های جدید به دست کاربران است.

## چالش دوم:

بهبود عملکرد شبکه (Better Performance) دوران همه‌گیری کرونا باعث افزایش قابل توجهی در تقاضا برای اینترنت شد. با ماندن مردم در خانه و روی آوردن به دورکاری، نیاز به ظرفیت و پوشش بهتر شبکه به شدت افزایش یافت. در این شرایط، اپراتورهای مخابراتی با چالش مهمی روبرو شدند:

- توسعه و بهبود ظرفیت سیستم: اپراتورها نیاز داشتند تا ظرفیت شبکه‌ی خود را برای برآورده کردن نیاز کاربران خانگی و دورکار افزایش دهند. این موضوع شامل ارتقاء زیرساخت و تجهیزات شبکه می‌شد.
- پوشش بهتر: با ماندن مردم در خانه، اهمیت پوشش‌دهی بهتر شبکه در داخل منازل افزایش پیدا کرد. اپراتورها می‌بایست برای اطمینان از کیفیت مناسب اینترنت در خانه‌ها، اقدام به بهبود پوشش‌دهی شبکه‌ی خود می‌کردند چرا که همیشه پوشش دهی indoor از چالش‌ها محسوب می‌شود.
- ارتقای کیفیت سرویس (QoS - Quality of Service): همزمان با افزایش ظرفیت و پوشش شبکه، حفظ کیفیت سرویس نیز اهمیت ویژه‌ای داشت. همانطور که می‌دانید، در دنیای مخابرات رابطه‌ای بین این سه عامل وجود دارد که به شکل یک مثلث شناخته می‌شود.

این مثلث شامل سه ضلع است:

- پوشش (Coverage): وسعت و قدرت سیگنال شبکه در یک منطقه جغرافیایی خاص.
- ظرفیت (Capacity): میزان داده‌ای که شبکه می‌تواند در یک زمان مشخص انتقال دهد.
- کیفیت سرویس (Quality of Service - QoS): معیاری برای سنجش کیفیت سیگنال و برقراری ارتباط در شبکه.

در حالت ایده‌آل، این سه ضلع باید با یکدیگر متوازن باشند. اما برآوردن همزمان هر سه نیاز، چالش بزرگی برای مهندسان شبکه است. برای مثال:

- افزایش ظرفیت شبکه (اضافه کردن فرکانس‌های بیشتر) می‌تواند منجر به تداخل سیگنال‌ها شود که در نهایت، کیفیت سرویس را کاهش می‌دهد.
- تمرکز صرف بر روی پوشش‌دهی گسترده‌تر، ممکن است باعث کاهش ظرفیت در مناطق خاص شود.

بنابراین، اپراتورها در دوران پاندمی مجبور بودند راهکارهایی را برای ایجاد تعادل بین این سه ضلع مثلث شبکه پیدا کنند. این راهکارها می‌توانستند شامل موارد

زیر باشند:

- استفاده از تکنولوژی‌های نوین برای مدیریت تداخل سیگنال‌ها و حفظ کیفیت سرویس با افزایش ظرفیت.
- بهینه‌سازی شبکه برای بهبود کیفیت سیگنال در داخل منازل.
- سرمایه‌گذاری در زیرساخت فیبر نوری برای افزایش ظرفیت و پایداری شبکه.

### چالش سوم:

کاهش هزینه (Lower Cost) هزینه، یکی دیگر از ابعاد مهم چالش‌های پیش روی اپراتورهای مخابراتی است. هنگام طراحی شبکه، علاوه بر سه ضلع مثلث (پوشش، ظرفیت و کیفیت)، باید به هزینه نیز توجه ویژه‌ای شود. برای رسیدن به شبکه‌ای بهینه، اپراتورها باید به دنبال راهکارهایی برای:

- کاهش مصرف انرژی تجهیزات: تجهیزات کم‌صرف‌تر باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی (OPEX) می‌شوند. OPEX شامل هزینه‌هایی است که به طور مداوم برای نگهداری و راه‌اندازی شبکه صرف می‌شود (مانند هزینه برق مصرفی سایت‌های مخابراتی).
- کاهش هزینه تجهیزات: پایین آوردن هزینه خرید تجهیزات مخابراتی کاهش (CAPEX) باعث صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری اولیه‌ی اپراتور می‌شود. CAPEX شامل هزینه‌هایی است که برای خرید تجهیزات و راه‌اندازی اولیه‌ی شبکه صرف می‌شود (مانند خرید تجهیزات برای سایت‌های جدید). به طور کلی، اپراتورها به دنبال راه‌هایی برای کاهش هر دوی CAPEX و OPEX هستند.

چرا کاهش OPEX و CAPEX مهم است؟ برای راه‌اندازی یک سایت جدید مخابراتی، اپراتور باید هزینه‌های زیادی را متحمل شود. این هزینه‌ها شامل خرید تجهیزات، حقوق مهندسان طراح شبکه، مهندسان Optimization و مهندسان Drive test این موارد همگی زیرمجموعه‌ی CAPEX هستند. پس از راه‌اندازی سایت، هزینه‌های دیگری مانند هزینه برق مصرفی سایت، هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه‌های مردبوط به تیم‌های فنی که این موارد زیرمجموعه‌ی OPEX هستند به وجود می‌آیند. برای ارزیابی توجیه اقتصادی راه‌اندازی یک سایت جدید، اپراتورها از فرمولی به نام دوره بازگشت سرمایه (Payback Period) استفاده می‌کنند. این فرمول

به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{\text{هزینه سرمایه‌گذاری}}{\text{میانگین جریان نقدی سالانه}} = \text{دوره بازگشت سرمایه}$$

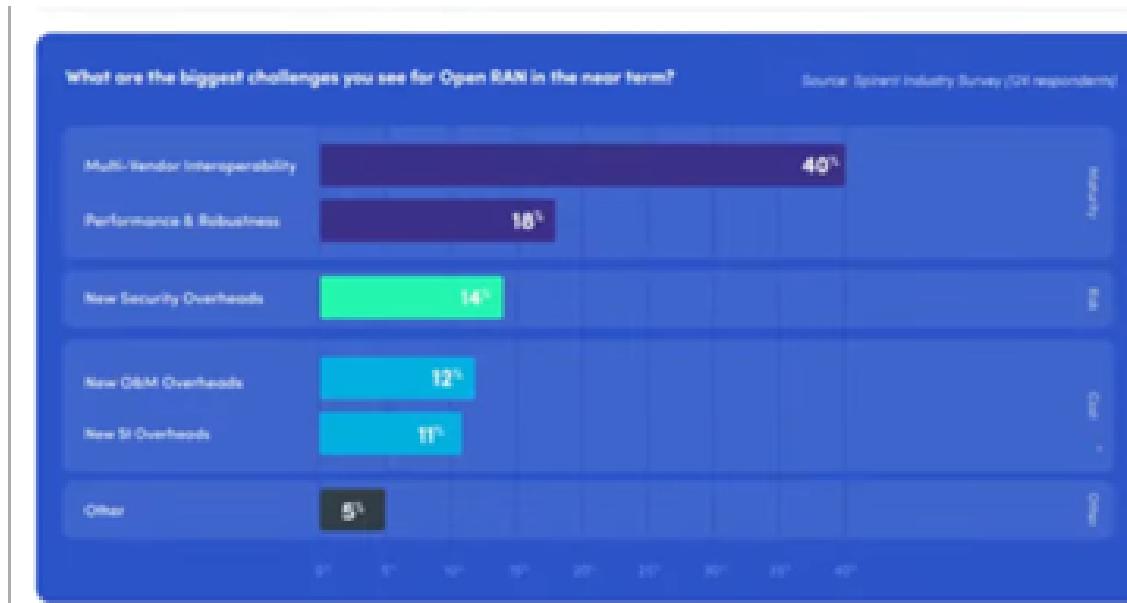
با کاهش CAPEX و OPEX، اپراتور می‌تواند دوره بازگشت سرمایه را کوتاه‌تر کند. به همین دلیل، کاهش هزینه از اهمیت ویژه‌ای در صنعت مخابرات برخوردار است. یکی از راهکارهای نوین برای کاهش CAPEX و OPEX، استفاده از فناوری Open RAN است. Open RAN به اپراتورها این امکان را می‌دهد تا از تجهیزات و نرم‌افزارهای سازندگان مختلف در شبکه‌ی خود استفاده کنند. این موضوع باعث افزایش رقابت در بازار تجهیزات مخابراتی شده و در نهایت منجر به کاهش قیمت تجهیزات و نرم‌افزار می‌شود.

## چالش‌های OPEN RAN

همانطور که اشاره شد، پیاده‌سازی شبکه‌های OPEN RAN نیز با چالش‌هایی همراه است. مسائل مربوط به تعامل چند تامین‌کننده (multi vendor interoperability) (به نسبت ۴۰ درصد از چالش‌ها را تشکیل می‌دهند. این به معنای دشواری در همکاری و تعامل بین تجهیزات از تامین‌کنندگان مختلف است از لحاظ هماهنگی پروتکل‌های میان آن‌ها).

علاوه بر این، عملکرد و قدرتمند بودن شبکه (performance and robustness) نیز ۱۸ درصد از چالش‌های مهم را تشکیل می‌دهد. که به معنای نیاز به ارتقاء عملکرد و اطمینان‌پذیری شبکه است.

همچنین، بارزترین چالش‌ها شامل بار جدید امنیتی (New security overheads) است که نیازمندی‌های امنیتی جدیدی را ایجاد می‌کند. این چالش نیز به نسبت ۱۴ درصد از چالش‌های مهم پیاده‌سازی OPEN RAN را تشکیل می‌دهد.



شکل ۲۱: چالش های ORAN

# نتیجه‌گیری: Open RAN ، تحولی در دنیای شبکه‌های مخابراتی

Open RAN با ارائه انعطاف‌پذیری، مقرن به صرفه بودن و کارایی بیشتر، نویدبخش تحولی در دنیای شبکه‌های مخابراتی است. این فناوری جدید، با دگرگونی در معماری RAN سنتی، چالش‌های پیش روی اپراتورها را به فرصتی برای نوآوری و ارائه خدمات بهتر به کاربران تبدیل می‌کند.

## مزایای کلیدی Open RAN

- **انعطاف‌پذیری Open RAN**  
به اپراتورها امکان می‌دهد تا از اجزای مختلف و متنوعی از تامین‌کنندگان مختلف استفاده کنند، به جای وابستگی به یک تامین‌کننده واحد. این امر تنوع و انتخاب بیشتری را به ارمغان می‌آورد و به اپراتورها اجازه می‌دهد تا شبکه‌های خود را مناسب با نیازهای خاص خود پیکربندی کنند.
- **مقرن به صرفه بودن**  
Open RAN می‌تواند به طور قابل توجهی هزینه‌های شبکه را کاهش دهد. استفاده از اجزای COTS (Commercial Off-The-Shelf) و حذف هزینه‌های مربوط به مجوزهای اختصاصی، Open RAN را به گزینه‌ای مقرن به صرفه‌تر برای اپراتورها تبدیل می‌کند.

- کارایی

Open RAN با بهینه‌سازی عملکرد شبکه و کاهش زمان تأخیر، تجربه‌ای کاربری روان‌تر و سریع‌تر را برای کاربران به ارمغان می‌آورد.

موارد کلیدی که Open RAN به آنها می‌پردازد:

- تقسیم‌بندی CU-DU-RU

امکان تقسیم وظایف پردازش شبکه را به واحدهای جداگانه DU (Distributed Unit) ، CU (Central Unit) و RU (Radio Unit) فراهم می‌کند. این امر انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری شبکه را افزایش می‌دهد.

- Midhaul

از فناوری‌های Midhaul جدید مانند OpenFronthaul Interface و Fronthaul API برای اتصال واحدهای DU به RU‌ها استفاده می‌کند. این امر به اپراتورها امکان می‌دهد تا از طیف وسیع‌تری از گزینه‌های اتصالات استفاده کنند.

- Edge Computing

با ادغام Edge Computing ، امکان پردازش داده‌ها را در واحدهای پردازشی در نزدیکی محل استقرار کاربران فراهم می‌کند. این امر تأخیر را کاهش می‌دهد و به ارائه خدمات با کیفیت بالا در زمان واقعی کمک می‌کند.

در حال حاضر با چالش‌هایی مانند زمان رسیدن به بازار (Time to Market) ، عملکرد بهتر و هزینه کمتر روبرو است. با این حال، پیشرفت‌های مداوم در فناوری و تعهد اپراتورها و تامین‌کنندگان به Open RAN ، این چالش‌ها را به تدریج حل خواهد کرد. Open RAN آینده شبکه‌های مخابراتی است. این فناوری نوآورانه، با ارائه انعطاف‌پذیری، مقرن به صرفه بودن و کارایی بیشتر، به اپراتورها امکان می‌دهد تا شبکه‌هایی را باسازند که پاسخگوی نیازهای رونده را در عصر دیجیتال باشند.

## نکات تكميلی:

با در نظر گرفتن تمام مزایا و چالش‌ها، Open RAN فرصتی بی‌نظیر برای اپراتورها و تامین‌کنندگان به منظور متحول کردن صنعت مخابرات و ارائه خدمات بهتر به کاربران در سراسر جهان است.

## مراجع

[ORAN](#) •

[What is vRAN and O-RAN](#) •

[What is O-RAN and How to Implement It](#) •

[What is Open RAN?](#) •