



مفهوم ORAN در شبکه های نسل پنچ

درس آشنایی با شبکه های تلفن همراه

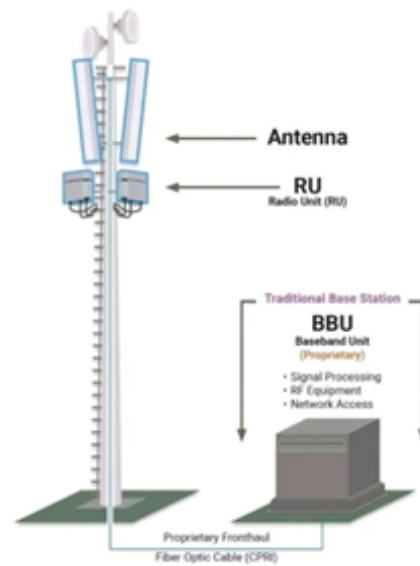
غزل عربعلی - ۹۷۵۲۱۳۹۶، بهاره کاوسی نژاد - ۹۹۴۳۱۲۱۷

آخرین ویرایش: ۲۰ خرداد ۱۴۰۳ در ساعت ۱۳ و ۳۳ دقیقه

تحولی در معماری RAN

به شکل یک (۱) که در سمت چپ صفحه مشاهده می شود سایت 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



شکل ۱: سایت

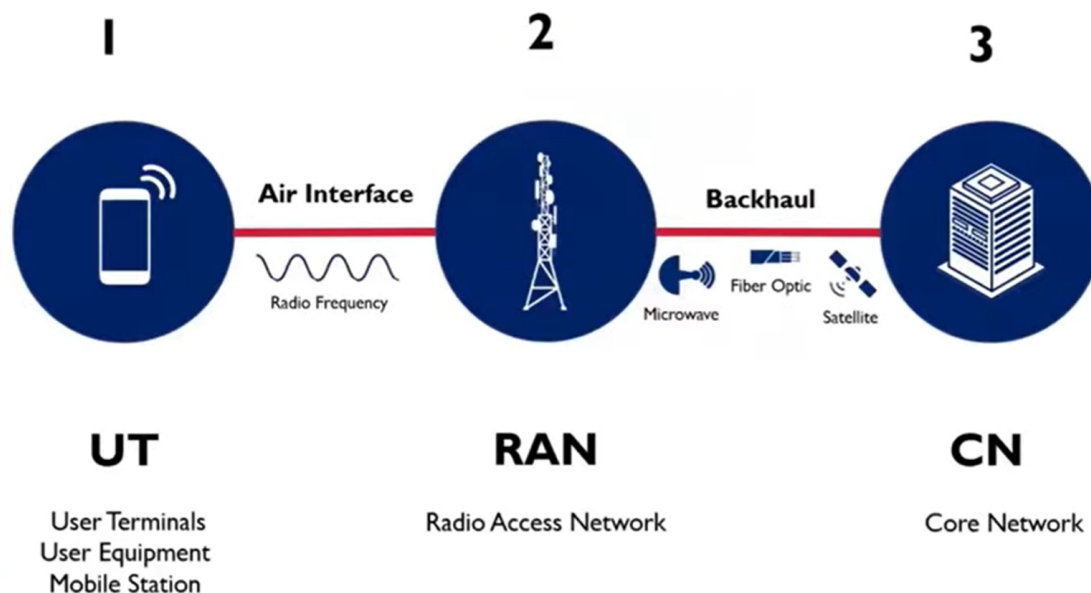
چرا که به طور مثال برای دسترسی بهتر کاربران با توجه به آرایش ترافیکی گاهاً به صورت دینامیک Config شبکه را در طول روز تغییر می دهند. با تحلیل پارامترهای نام برده شده و دیگر پارامترها اپراتورهای شبکه می توانند مکان بهینه و پیکربندی RAN را با هدف پوشش و ظرفیت حداکثری تعیین کنند. به طور کلی مکان قرارگیری 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



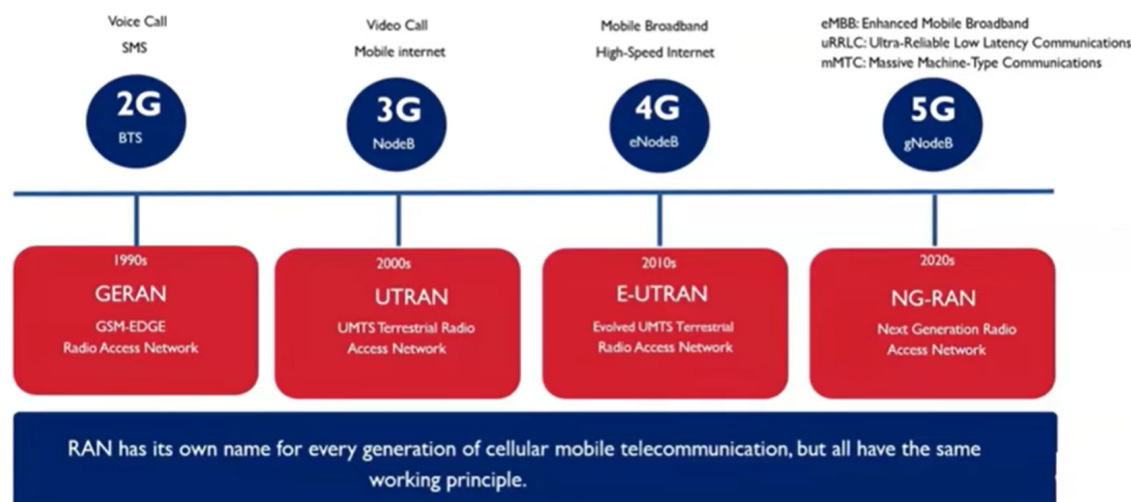
شکل ۲: اجزای شبکه مخابرات بی سیم

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.

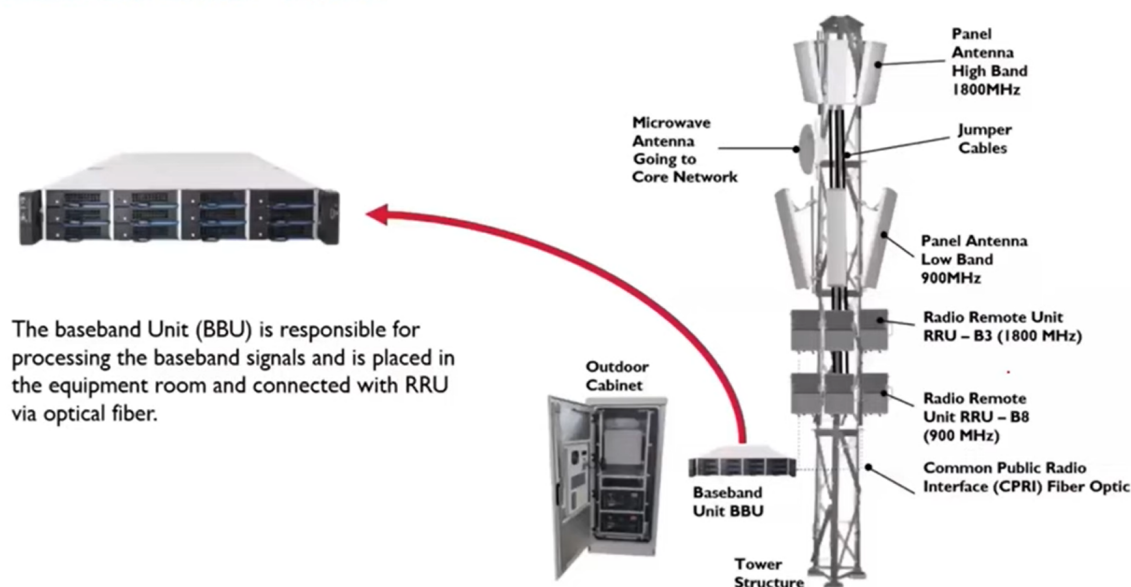
RAN Names in different generations



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

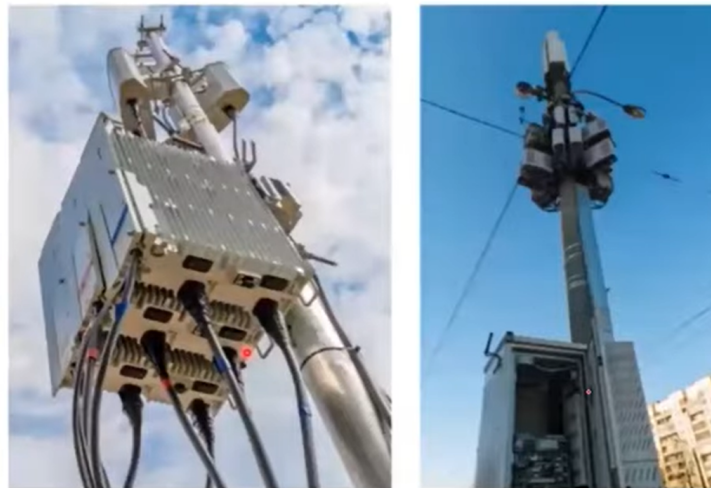


شکل ۴: Baseband در Traditional RAN

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

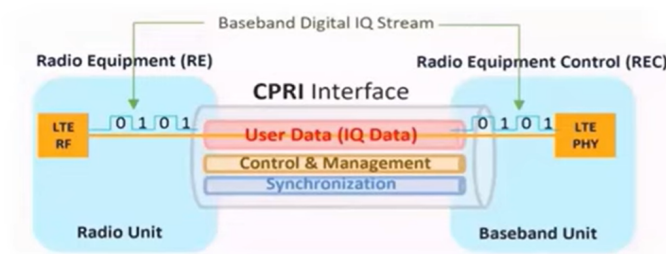
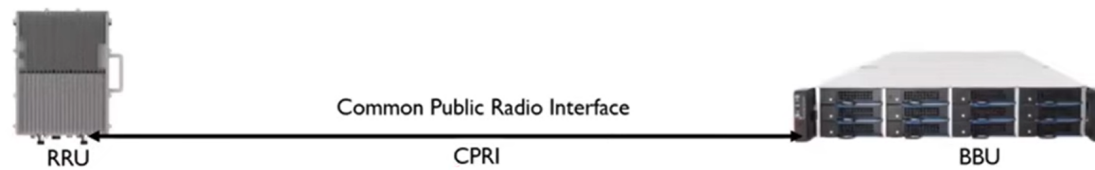


RRU is a radio transceiver that communicates with mobile devices over the airwaves and is located remotely

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

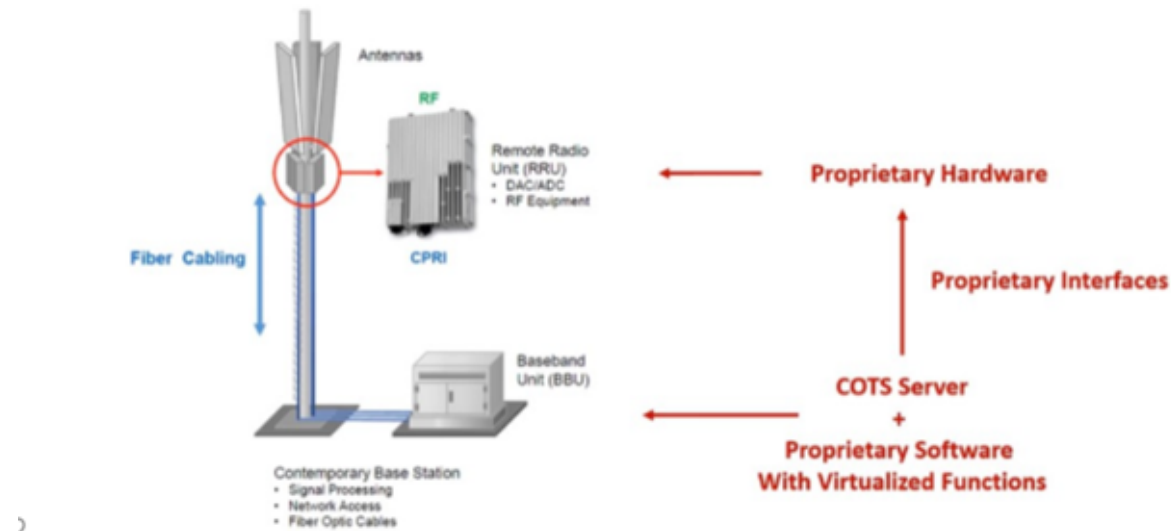
CRAN

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 جزو 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.

Picture Big The RAN: Open

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) ، SGSN (Serving GPRS Support Node) ، (Access and Mobility Management Function) 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 شما 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 RAN Open این است که BBU ، RRU و OSS باید با رابط‌های باز (Interface Open) 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.

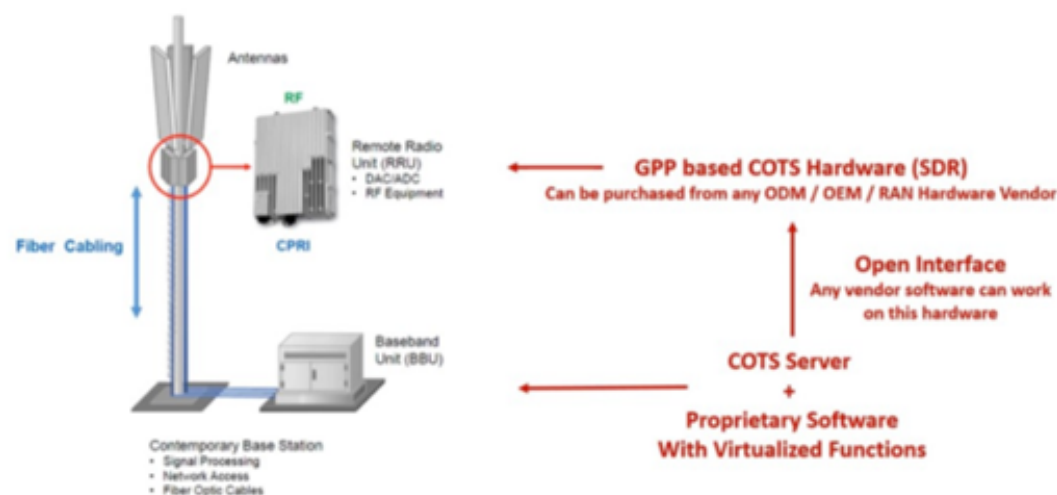
به طور خلاصه، Open RAN با ارائه قابلیت همکاری، کاهش هزینه‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری به اپراتورها اجازه می‌دهد تا شبکه‌های خود را به صورت کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر مدیریت کنند.

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

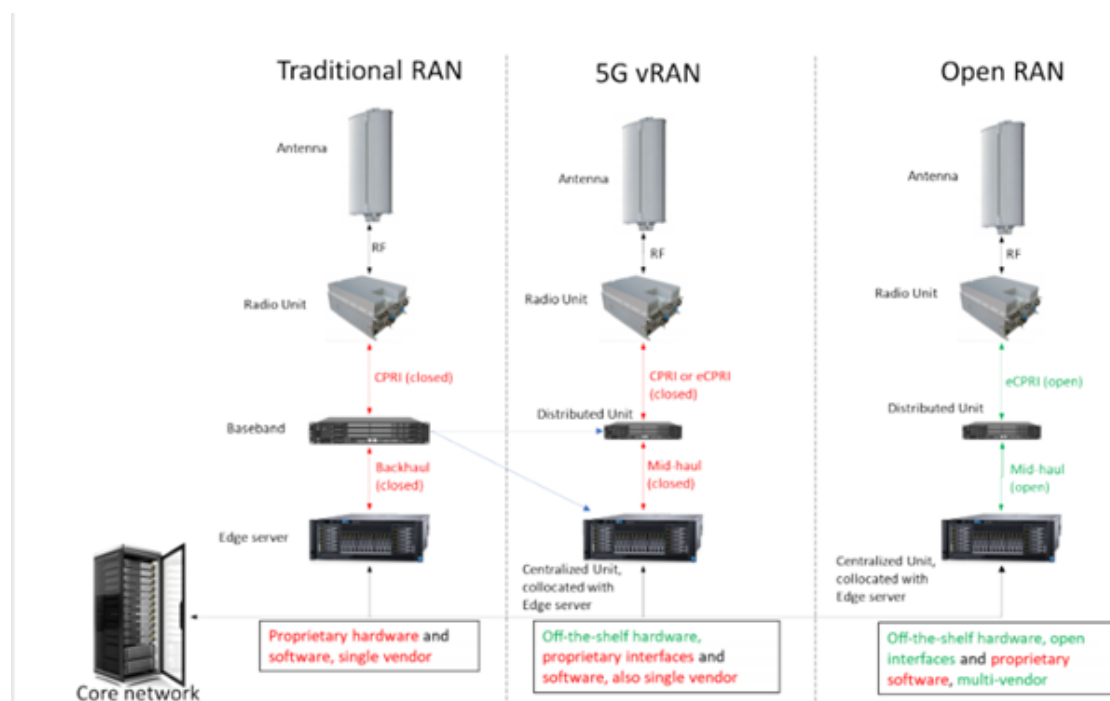
طراحی (ODM - Original Design Manufacturer) یا تولیدکننده تجهیزات اصلی (OEM - Original Equipment Manufacturer) خریداری کرد. نکته مهم در Open RAN این است که رابط بین RRU و BBU نیز باز (Open Interface) است. این بدین معنی است که می توان RRU یک شرکت مانند Nokia و BBU یک شرکت دیگر مانند Ericsson را با استفاده 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: Vision RAN Open

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.

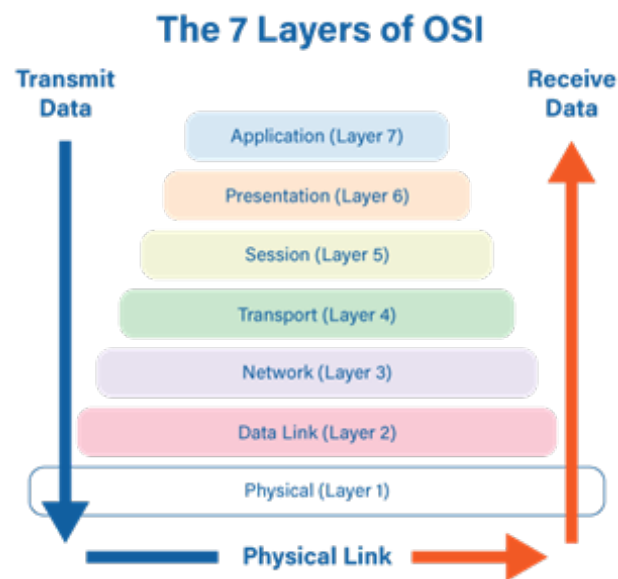


شکل ۹: تفاوت ناحیه RAN در ۳ حالت Traditional، Virtual و Open RAN

RAN و OSI هفت لایه

برای درک بهتر معماری Open RAN ، می توانیم اجزای مختلف RAN را با لایه های مدل OSI (Open Systems Interconnection) تطبیق دهیم. مدل OSI یک مدل هفت لایه ای برای استانداردسازی عملکرد شبکه ها است (شکل ۱۰). RRU در لایه فیزیکی (Layer Physical) مدل OSI قرار می گیرد. وظایف اصلی RRU شامل:

- **تبدیل RF (RF Conversion)**: تبدیل سیگنال های رادیویی به سیگنال های دیجیتال و برعکس (تبدیل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ).
 - **تبدیل های RF (RF Transformations)**: وظایفی مانند تقویت سیگنال، فیلترگذاری و تبدیل فرکانس ها نیز در این لایه انجام می شود.
 - **مدولاسیون و دمدولاسیون (Modulation and Demodulation)**: تغییر سیگنال ها برای انتقال داده ها.
- BBU مسئول اجرای پروتکل های مختلف و وظایف پیشرفته تر در لایه های بالاتر از لایه فیزیکی است. پروتکل ها و وظایف BBU شامل:
- **RRC (Radio Resource Control)**: این پروتکل در لایه شبکه (Network Layer) قرار می گیرد و مسئولیت مدیریت ارتباطات، پخش و ارسال پیام ها، مدیریت ارتباط و تحرک (mobility) و گزارش دهی 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 می دهد.
 - **RLC (Radio Link Control)**: این پروتکل در لایه پیوند داده (Data Link Layer) قرار می گیرد و مسئولیت هایی مانند تکه تکه کردن (segmentation) و بازترکیب (reassembly) داده ها، کنترل جریان و تصحیح خطا را بر عهده دارد.
 - **MAC (Medium Access Control)**: این لایه نیز در لایه پیوند داده (Data Link Layer) قرار می گیرد و وظایفی مانند دسترسی به رسانه، تجمع حامل (carrier aggregation)، نگاشت کانال ها، HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) و زمان بندی بسته ها 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.

مراجع

• ORAN