

RRU چیست؟ کاربرد مازول رادیویی RRU در سایت های BTS

در دنیای پرشتاب و بی‌مرز ارتباطات بی‌سیم، جایی که هر میلی‌ثانیه در تجربه کاربری نهایی اهمیت حیاتی دارد، بهینه‌سازی زیرساخت‌های شبکه به یکی از ارکان اصلی توسعه فناوری‌های نوین نظیر 4G و 5G تبدیل شده است. اگر نگاهی به گذشته نه چندان دور بیندازیم، در سایت‌های مخابراتی قدیمی، تجهیزات رادیویی حجیم در داخل کابین‌های بزرگ در پای دکل یا در ساختمان‌های فنی کناری قرار داشتند. اما با ظهور نیازهای روزافزون به پهنای باند گسترده‌تر، سرعت بالاتر و کاهش محسوس تاخیر، معماری سایت‌ها دستخوش انقلابی بزرگ شد.

در این میان، ظهور مازول‌های رادیویی از راه دور یا همان **RRU**، به عنوان یکی از کلیدی‌ترین و انقلابی‌ترین تجهیزات در این معماری نوین، نحوه طراحی سایت‌های BTS را برای همیشه تغییر داد. مهندسان فعال در شرکت‌های پیشرو نظیر **شبکه‌سازان**، به خوبی می‌دانند که انتقال پردازش‌های رادیویی به نزدیکی آنتن‌ها، تنها یک تغییر محل نصب نیست؛ بلکه یک رویکرد استراتژیک برای غلبه بر محدودیت‌های فیزیکی انتقال سیگنال است. این مازول‌های فشرده و هوشمند، با حذف فیدرهای مسی طولانی و کاهش تلفات توان، پایداری شبکه را به سطح جدیدی ارتقا داده‌اند. در این مقاله قصد داریم تا با نگاهی دقیق و فنی، به بررسی ماهیت، عملکرد پیچیده و مزایای انکارناپذیر استفاده از این مازول در شبکه‌های مدرن مخابراتی بپردازیم و دریابیم که چگونه RRUها به ستون فقرات پوشش‌دهی باکیفیت در دنیای امروز تبدیل شده‌اند.

معرفی دقیق RRU و جایگاه آن در شبکه

در دنیای مخابرات و شبکه‌های بی‌سیم، با گسترش روزافزون نیاز به انتقال سریع‌تر داده، کاهش تأخیر، افزایش ظرفیت شبکه و ارائه پوشش پایدارتر، معماری ایستگاه‌های پایه نیز دستخوش تغییرات اساسی شده است. در گذشته، بیشتر تجهیزات پردازش و ارسال سیگنال به صورت متمرکز در داخل کابین‌های زمینی یا اتاق تجهیزات نصب می‌شدند، اما با توسعه فناوری‌های نوین، این ساختار سنتی دیگر پاسخ‌گوی نیاز شبکه‌های نسل جدید نبود. به همین دلیل، صنعت مخابرات به سمت معماری‌های توزیع‌شده حرکت کرد؛ معماری‌ای که در آن بخشی از عملکردهای رادیویی به نزدیکی آنتن منتقل می‌شود. در این میان، **RRU** به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای این تحول، جایگاه ویژه‌ای در سایت‌های BTS پیدا کرده است.

RRU مخفف چیست؟

واژه **RRU** مخفف عبارت **Remote Radio Unit** یا **واحد رادیویی از راه دور** است. این تجهیز در حقیقت بخش کلیدی سیستم رادیویی در ایستگاه‌های پایه مدرن به شمار می‌رود و نقش واسط میان واحد پردازش باند پایه و آنتن را ایفا می‌کند. وظیفه اصلی RRU آن است که سیگنال‌های دیجیتال دریافت‌شده از واحد پردازش مرکزی را به سیگنال‌های فرکانس رادیویی یا **RF** تبدیل کند و آن‌ها را برای ارسال به کاربر، به آنتن منتقل سازد. همچنین در مسیر برگشت، سیگنال‌های دریافتی از سمت کاربران را دریافت کرده، تقویت و پردازش اولیه می‌کند و سپس برای ادامه پردازش به بخش مرکزی شبکه می‌فرستد.

به بیان ساده‌تر، اگر **BBU** را به عنوان مغز پردازشی سایت در نظر بگیریم، RRU نقش بازوی اجرایی بخش رادیویی را بر عهده دارد. این مازول با قرارگیری در نزدیک‌ترین فاصله ممکن به آنتن، باعث می‌شود تلفات ناشی از انتقال سیگنال به حداقل برسد و کیفیت کلی ارتباط افزایش پیدا کند.

جایگاه RRU در معماری سایت‌های مخابراتی

در ساختارهای قدیمی‌تر، تمام تجهیزات سایت در یک مجموعه متمرکز قرار داشتند. در چنین شرایطی، سیگنال‌های رادیویی باید از طریق کابل‌های بلند و نسبتاً پراستلاف از اتاق تجهیزات به آنتن منتقل می‌شدند. این موضوع علاوه بر افزایش تلفات سیگنال، موجب بالا رفتن هزینه کابل‌کشی، دشواری در نگهداری و کاهش بهره‌وری شبکه می‌شد.

اما در معماری مدرن و توزیع‌شده، RRU مستقیماً روی دکل یا در نزدیکی آنتن نصب می‌شود. این تغییر، یک بهینه‌سازی ساده نیست، بلکه بخشی از تحول راهبردی در طراحی شبکه‌های بی‌سیم است. زمانی که تجهیزات رادیویی به آنتن نزدیک‌تر باشند، طول مسیر انتقال سیگنال RF کاهش پیدا می‌کند و همین مسئله باعث می‌شود افت توان، نویز و تداخل نیز کمتر شود. نتیجه این فرایند، کیفیت بهتر تماس، سرعت بیشتر انتقال داده و پوشش‌دهی دقیق‌تر در شبکه خواهد بود.

تفاوت معماری سنتی و مدرن (Distributed Base Station)

برای درک بهتر اهمیت RRU، لازم است تفاوت بین معماری سنتی و معماری توزیع‌شده در ایستگاه‌های پایه بررسی شود.

در **معماری سنتی**، بیس‌استیشن یا **BTS** به صورت یکپارچه طراحی می‌شد. یعنی تمام بخش‌های پردازشی، رادیویی و کنترلی در یک مجموعه متمرکز قرار داشتند. در این مدل، تجهیزات بزرگ‌تر بودند، مصرف انرژی بالاتری داشتند و برای انتقال سیگنال به آنتن، نیاز به فیدرهای بلند و سنگین وجود داشت.

اما در **معماری مدرن** یا **Distributed Base Station**، ساختار سایت به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود:

• BBU (Baseband Unit):

این بخش وظیفه پردازش سیگنال‌های باند پایه، مدیریت ترافیک، کنترل ارتباطات و هماهنگی با هسته شبکه را بر عهده دارد. BBU معمولاً در اتاق تجهیزات یا کابین زمینی نصب می‌شود.

• RRU (Remote Radio Unit):

این بخش در نزدیکی آنتن قرار می‌گیرد و وظیفه تبدیل سیگنال‌های دیجیتال به سیگنال‌های RF و بالعکس را انجام می‌دهد. همچنین در تقویت سیگنال، کاهش نویز و آماده‌سازی داده برای ارسال و دریافت نقش بسیار مهمی دارد.

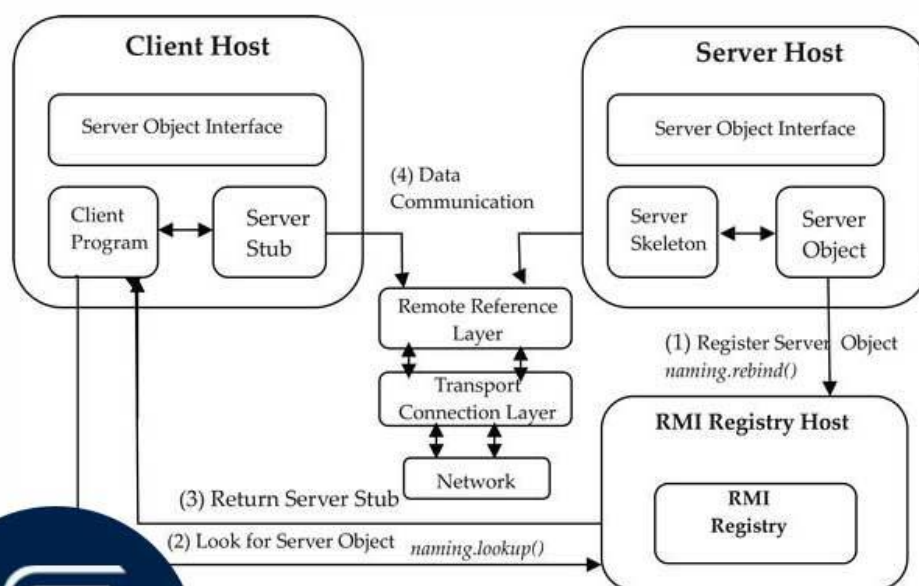
این تفکیک وظایف باعث می‌شود شبکه از نظر طراحی، انعطاف‌پذیرتر، بهینه‌تر و مقیاس‌پذیرتر شود. به‌ویژه در شبکه‌های نسل چهارم و پنجم که نیاز به ظرفیت بالا و زمان پاسخ سریع دارند، این معماری یک ضرورت محسوب می‌شود، نه یک انتخاب.

چرا RRU در شبکه‌های امروزی اهمیت زیادی دارد؟

اهمیت RRU تنها به محل نصب آن محدود نمی‌شود. این تجهیز یکی از عوامل اصلی در بهبود عملکرد رادیویی سایت به شمار می‌رود. با استفاده از RRU، اپراتورها می‌توانند بدون افزایش چشمگیر هزینه‌های فیزیکی، کیفیت سرویس را ارتقا دهند. کاهش تلفات کابل، افزایش راندمان توان، بهبود کیفیت سیگنال و تسهیل توسعه سایت‌ها، تنها بخشی از مزایای این تجهیز هستند.

از سوی دیگر، با گسترش زیرساخت‌های ارتباطی و افزایش نیاز سازمان‌ها و کسب‌وکارها به تجهیزات بی‌سیم، آشنایی با ساختار تجهیزات رادیویی نیز اهمیت بیشتری پیدا کرده است. حتی در حوزه‌هایی مانند **خرید رادیو وایرلس** نیز درک تفاوت میان تجهیزات انتقال، پردازش و پخش سیگنال، به انتخاب دقیق‌تر و تخصصی‌تر کمک می‌کند؛ زیرا هر بخش از شبکه، عملکرد و جایگاه خاص خود را دارد و انتخاب نادرست می‌تواند بر کل کارایی سیستم اثر بگذارد.

به‌طور کلی، RRU را می‌توان یکی از پایه‌های اصلی معماری مدرن سایت‌های BTS دانست. این مازول با انتقال وظایف رادیویی به نزدیکی آنتن، نقش مهمی در افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات و بهبود کیفیت ارتباطات بی‌سیم ایفا می‌کند. درک درست از ماهیت RRU و جایگاه آن در شبکه، نه تنها برای متخصصان مخابرات، بلکه برای فعالان حوزه زیرساخت، طراحی سایت و تجهیزات ارتباطی نیز ضروری است. هرچه شبکه‌ها به سمت هوشمندسازی و توسعه نسل‌های جدید حرکت می‌کنند، نقش تجهیزاتی مانند RRU نیز پررنگ‌تر و حیاتی‌تر خواهد شد.



تحول معماری: از ایستگاه‌های یکپارچه به معماری توزیع‌شده (Distributed Architecture)

تحول معماری: از ایستگاه‌های یکپارچه به معماری توزیع‌شده (Distributed Architecture)

برای درک اهمیت واقعی RRU در شبکه‌های مخابراتی، ابتدا باید نگاهی دقیق‌تر به روند تحول معماری ایستگاه‌های پایه بیندازیم. ساختار سایت‌های مخابراتی در سال‌های گذشته، متناسب با نیازهای همان زمان طراحی شده بود؛ اما با رشد سریع مصرف داده، افزایش تعداد کاربران، توسعه سرویس‌های مبتنی بر اینترنت همراه و نیاز به کیفیت بالاتر در ارتباطات، این ساختار دیگر پاسخگوی الزامات شبکه‌های جدید نبود. به همین دلیل، معماری شبکه از مدل‌های یکپارچه و متمرکز به سمت ساختارهای توزیع‌شده و بهینه حرکت کرد.

این تغییر، فقط یک جابه‌جایی فیزیکی تجهیزات نبود؛ بلکه یک تحول بنیادین در نحوه پردازش، انتقال و انتشار سیگنال در شبکه‌های بی‌سیم به شمار می‌رود. در واقع، اپراتورها برای دستیابی به راندمان بالاتر، کاهش تلفات، ساده‌سازی توسعه سایت‌ها و افزایش کیفیت ارتباط، ناچار شدند معماری سایت‌های BTS را بازطراحی کنند.

۱. معماری سنتی (Monolithic / Integrated BTS)

در نسل‌های قدیمی‌تر شبکه، تجهیزات بیس‌تیشن یا **BTS** به صورت کاملاً یکپارچه طراحی می‌شدند. در این ساختار، تمام بخش‌های اصلی شامل پردازش باند پایه، کنترل شبکه، واحدهای رادیویی و تجهیزات تقویت سیگنال، همگی در یک مجموعه واحد و معمولاً در پایین دکل، داخل اتاق تجهیزات یا درون کابین‌های فنی مستقر بودند.

در چنین مدلی، پس از پردازش سیگنال در داخل دستگاه، لازم بود سیگنال رادیویی از طریق کابل‌های کوکسیال نسبتاً طولانی به آنتن منتقل شود. این کابل‌ها اگرچه در زمان خود راهکاری رایج محسوب می‌شدند، اما یک مشکل مهم داشتند: **اتلاف توان بالا**. هرچه فاصله میان واحد رادیویی و آنتن بیشتر می‌شد، افت سیگنال نیز افزایش پیدا می‌کرد. نتیجه این موضوع، کاهش بهره‌وری، افت کیفیت پوشش و افزایش مصرف انرژی بود.

از سوی دیگر، این معماری معایب دیگری هم داشت. تجهیزات یکپارچه معمولاً حجیم‌تر بودند، نگهداری آن‌ها دشوارتر انجام می‌شد و توسعه یا ارتقای سایت نیز به سادگی امروز نبود. به زبان ساده، معماری سنتی مانند یک موتور قدیمی بود که همه قطعاتش در یک محفظه فشرده قرار داشت؛ کار می‌کرد، اما نه با سرعت، دقت و بهره‌وری مورد انتظار دنیای امروز.

چالش‌های اصلی در معماری سنتی

معماری یکپارچه، با وجود کارکرد مناسب در نسل‌های ابتدایی شبکه، در عمل با محدودیت‌های متعددی مواجه بود. مهم‌ترین این محدودیت‌ها عبارت بودند از:

- افزایش تلفات سیگنال به دلیل استفاده از فیدرهای طولانی
- مصرف انرژی بیشتر برای جبران افت توان
- نیاز به تجهیزات سنگین‌تر و فضای نصب بزرگ‌تر
- دشواری در ارتقا، تعمیر و جایگزینی ماژول‌ها
- کاهش انعطاف‌پذیری در طراحی سایت‌های پرتراکم یا شهری

با افزایش حساسیت شبکه‌ها نسبت به کیفیت سیگنال و ظرفیت انتقال، این چالش‌ها دیگر قابل چشم‌پوشی نبودند. درست از همین نقطه، معماری توزیع‌شده به عنوان یک پاسخ مهندسی‌شده و مؤثر وارد میدان شد.

۲. معماری مدرن و توزیع‌شده (Distributed Base Station)

در شبکه‌های نسل چهارم **G LTE4** و نسل پنجم **5G**، ساختار سایت‌های مخابراتی به صورت هوشمندانه‌تری طراحی شده است. در این مدل، وظایف مختلف سایت از یکدیگر تفکیک می‌شوند تا هر بخش در مناسب‌ترین محل خود قرار گیرد و با بالاترین راندمان عمل کند. این معماری که با عنوان **Distributed Base Station** شناخته می‌شود، سایت را به دو بخش اصلی تقسیم می‌کند: **BBU** و **RRU**.

BBU: مغز متفکر شبکه

BBU (Baseband Unit) یا واحد باند پایه، بخش پردازش مرکزی سایت است. این واحد معمولاً در اتاق تجهیزات، کانتینر مخابراتی یا فضای کنترل‌شده در سطح زمین نصب می‌شود. وظیفه **BBU** پردازش سیگنال‌های باند پایه، مدیریت پروتکل‌های مخابراتی، کنترل ارتباط با هسته شبکه و هماهنگی میان بخش‌های مختلف سایت است.

در واقع، BBU مانند مرکز فرماندهی عمل می‌کند. تمام تصمیم‌های پردازشی، زمان‌بندی، تخصیص منابع و مدیریت داده در این بخش انجام می‌شود. قرارگیری BBU در محیطی امن و کنترل‌شده نیز باعث می‌شود دسترسی برای تعمیر، عیب‌یابی و نگهداری بسیار ساده‌تر باشد.

RRU؛ بازوی اجرایی بخش رادیویی

در مقابل، RRU (Remote Radio Unit) وظیفه تبدیل سیگنال‌های دیجیتال دریافتی از BBU به سیگنال‌های رادیویی با فرکانس بالا را بر عهده دارد. همچنین در مسیر برگشت، سیگنال‌های دریافتی از کاربران را دریافت، تقویت و برای پردازش به BBU ارسال می‌کند. این واحد معمولاً در نزدیکی آنتن و روی بدنه دکل نصب می‌شود تا فاصله انتقال سیگنال رادیویی به کمترین میزان ممکن برسد.

همین نزدیکی به آنتن، مهم‌ترین مزیت معماری مدرن است. زمانی که بخش رادیویی در کنار آنتن قرار می‌گیرد، دیگر نیازی به کابل‌های کواکسیال بلند با تلفات بالا وجود ندارد. در نتیجه، توان خروجی مؤثرتر استفاده می‌شود، کیفیت سیگنال بهبود می‌یابد و عملکرد کلی سایت ارتقا پیدا می‌کند.

چرا معماری توزیع‌شده یک تحول اساسی محسوب می‌شود؟

معماری توزیع‌شده را نمی‌توان تنها یک بهبود فنی جزئی دانست. این مدل، پاسخی مستقیم به نیازهای شبکه‌های نسل جدید است. در این معماری، سیگنال‌های دیجیتال از طریق فیبر نوری از BBU به RRU منتقل می‌شوند. فیبر نوری نه تنها پهنای باند بالایی دارد، بلکه در مقایسه با کابل‌های سنتی، تلفات بسیار کمتری ایجاد می‌کند و انتقال داده را با سرعت و پایداری بیشتری انجام می‌دهد.

این رویکرد باعث می‌شود سایت‌های مخابراتی بتوانند در محیط‌های پرتراکم شهری، مناطق صنعتی، مراکز تجاری و حتی فضاهای دورافتاده، عملکردی بهینه‌تر و پایدارتر ارائه دهند. از سوی دیگر، معماری توزیع‌شده مسیر توسعه فناوری‌هایی مانند Massive MIMO، Beamforming و شبکه‌های فوق‌پرتراکم را نیز هموار می‌کند.

مزیت‌های کلیدی معماری مدرن نسبت به ساختار سنتی

در مقایسه با سیستم‌های یکپارچه قدیمی، معماری توزیع‌شده مزایای متعددی دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش محسوس تلفات سیگنال و افزایش راندمان انتقال
- بهبود کیفیت پوشش‌دهی و پایداری لینک رادیویی
- کاهش بار فیزیکی و حجم تجهیزات در بخش زمینی سایت
- ساده‌تر شدن فرآیند نصب، نگهداری و توسعه سایت
- افزایش انعطاف‌پذیری در طراحی شبکه‌های نسل جدید
- امکان استفاده بهتر از فناوری‌های پیشرفته رادیویی

این مزایا باعث شده‌اند که امروزه معماری توزیع‌شده به استاندارد غالب در طراحی سایت‌های BTS تبدیل شود و در بیشتر پروژه‌های توسعه‌ای اپراتورها مورد استفاده قرار گیرد.

ارتباط این تحول با سایر تجهیزات بی سیم

شناخت معماری مدرن شبکه فقط برای متخصصان مخابرات اهمیت ندارد، بلکه برای فعالان حوزه تجهیزات ارتباطی نیز مفید است. زمانی که ساختار تفکیک شده بین بخش پردازش و بخش رادیویی را به خوبی درک کنیم، بهتر می توانیم جایگاه و عملکرد سایر تجهیزات بی سیم را نیز تحلیل کنیم. برای مثال، در حوزه راه اندازی لینک های بیرونی و ارتباطات نقطه به نقطه، تجهیزاتی مانند **آنتن وایرلس میکروتیک** نیز هرکدام بر اساس نوع طراحی، سناریوی نصب و کاربرد، در بخش مشخصی از زنجیره ارتباط ایفای نقش می کنند. این شناخت فنی به تصمیم گیری دقیق تر در طراحی و انتخاب تجهیزات کمک می کند.

چرا استفاده از RRU ضروری است؟

۱. **کاهش تلفات سیگنال (Reduced Path Loss):** با انتقال RRU به بالای دکل، نیاز به کابل های کواکسیال طولانی از بین می رود و سیگنال به جای انتقال در کابل های مسی پرهزینه، از طریق فیبر نوری (CPRI/eCPRI) جابجا می شود که اتلاف انرژی در آن ناچیز است.

۲. **بهبود کیفیت پوشش دهی:** نزدیکی به آنتن باعث می شود توان خروجی رادیویی مستقیماً و با کمترین افت به محیط ساطع شود، که این امر مستقیماً کیفیت تماس و سرعت اینترنت کاربر را افزایش می دهد.

۳. **بهره وری در فضای نصب:** با کوچک شدن اندازه RRU ها، امکان نصب چندین فرکانس مختلف بر روی یک آنتن واحد فراهم شده است.

۴. **کاهش هزینه های انرژی و نگهداری:** سیستم های توزیع شده اجازه می دهند تا بخش های پرمصرف (رادیویی) در نقاط بهینه قرار گیرند و مدیریت حرارتی آن ها با دقت بیشتری انجام شود.

ساختار فنی و اجزای تشکیل دهنده RRU

بخش های اصلی ماژول

برای درک اهمیت واقعی RRU در شبکه های مخابراتی، ابتدا باید نگاهی دقیق تر به روند تحول معماری ایستگاه های پایه بیندازیم. ساختار سایت های مخابراتی در سال های گذشته، متناسب با نیازهای همان زمان طراحی شده بود؛ اما با رشد سریع مصرف داده، افزایش تعداد کاربران، توسعه سرویس های مبتنی بر اینترنت همراه و نیاز به کیفیت بالاتر در ارتباطات، این ساختار دیگر پاسخگوی الزامات شبکه های جدید نبود. به همین دلیل، معماری شبکه از مدل های یکپارچه و متمرکز به سمت ساختارهای توزیع شده و بهینه حرکت کرد.

این تغییر، فقط یک جابه جایی فیزیکی تجهیزات نبود؛ بلکه یک تحول بنیادین در نحوه پردازش، انتقال و انتشار سیگنال در شبکه های بی سیم به شمار می رود. در واقع، اپراتورها برای دستیابی به راندمان بالاتر، کاهش تلفات، ساده سازی توسعه سایت ها و افزایش کیفیت ارتباط، ناچار شدند معماری سایت های BTS را بازطراحی کنند.

۱. معماری سنتی (Monolithic / Integrated BTS)

در نسل های قدیمی تر شبکه، تجهیزات بیس تیشن یا **BTS** به صورت کاملاً یکپارچه طراحی می شدند. در این ساختار، تمام بخش های اصلی شامل پردازش باند پایه، کنترل شبکه، واحدهای رادیویی و تجهیزات تقویت سیگنال، همگی در یک مجموعه واحد و معمولاً در پایین دکل، داخل اتاق تجهیزات یا درون کابین های فنی مستقر بودند.

در چنین مدلی، پس از پردازش سیگنال در داخل دستگاه، لازم بود سیگنال رادیویی از طریق کابل‌های کواکسیال نسبتاً طولانی به آنتن منتقل شود. این کابل‌ها اگرچه در زمان خود راهکاری رایج محسوب می‌شدند، اما یک مشکل مهم داشتند: **اتلاف توان بالا**. هرچه فاصله میان واحد رادیویی و آنتن بیشتر می‌شد، افت سیگنال نیز افزایش پیدا می‌کرد. نتیجه این موضوع، کاهش بهره‌وری، افت کیفیت پوشش و افزایش مصرف انرژی بود.

از سوی دیگر، این معماری معایب دیگری هم داشت. تجهیزات یکپارچه معمولاً حجیم‌تر بودند، نگهداری آن‌ها دشوارتر انجام می‌شد و توسعه یا ارتقای سایت نیز به سادگی امروز نبود. به زبان ساده، معماری سنتی مانند یک موتور قدیمی بود که همه قطعاتش در یک محفظه فشرده قرار داشت؛ کار می‌کرد، اما نه با سرعت، دقت و بهره‌وری مورد انتظار دنیای امروز.

چالش‌های اصلی در معماری سنتی

معماری یکپارچه، با وجود کارکرد مناسب در نسل‌های ابتدایی شبکه، در عمل با محدودیت‌های متعددی مواجه بود. مهم‌ترین این محدودیت‌ها عبارت بودند از:

- افزایش تلفات سیگنال به دلیل استفاده از فیدرهای طولانی

- مصرف انرژی بیشتر برای جبران افت توان

- نیاز به تجهیزات سنگین‌تر و فضای نصب بزرگ‌تر

- دشواری در ارتقا، تعمیر و جایگزینی ماژول‌ها

- کاهش انعطاف‌پذیری در طراحی سایت‌های پرتراکم یا شهری

با افزایش حساسیت شبکه‌ها نسبت به کیفیت سیگنال و ظرفیت انتقال، این چالش‌ها دیگر قابل چشم‌پوشی نبودند. درست از همین نقطه، معماری توزیع‌شده به‌عنوان یک پاسخ مهندسی‌شده و مؤثر وارد میدان شد.

۲. معماری مدرن و توزیع‌شده (Distributed Base Station)

در شبکه‌های نسل چهارم **G LTE4** و نسل پنجم **5G**، ساختار سایت‌های مخابراتی به‌صورت هوشمندانه‌تری طراحی شده است. در این مدل، وظایف مختلف سایت از یکدیگر تفکیک می‌شوند تا هر بخش در مناسب‌ترین محل خود قرار گیرد و با بالاترین راندمان عمل کند. این معماری که با عنوان **Distributed Base Station** شناخته می‌شود، سایت را به دو بخش اصلی تقسیم می‌کند: **BBU** و **RRU**.

BBU: مغز متفکر شبکه

BBU (Baseband Unit) یا واحد باند پایه، بخش پردازش مرکزی سایت است. این واحد معمولاً در اتاق تجهیزات، کانتینر مخابراتی یا فضای کنترل‌شده در سطح زمین نصب می‌شود. وظیفه BBU پردازش سیگنال‌های باند پایه، مدیریت پروتکل‌های مخابراتی، کنترل ارتباط با هسته شبکه و هماهنگی میان بخش‌های مختلف سایت است.

در واقع، BBU مانند مرکز فرماندهی عمل می‌کند. تمام تصمیم‌های پردازشی، زمان‌بندی، تخصیص منابع و مدیریت داده در این بخش انجام می‌شود. قرارگیری BBU در محیطی امن و کنترل‌شده نیز باعث می‌شود دسترسی برای تعمیر، عیب‌یابی و نگهداری بسیار ساده‌تر باشد.

RRU: بازوی اجرایی بخش رادیویی

در مقابل، **RRU (Remote Radio Unit)** وظیفه تبدیل سیگنال‌های دیجیتال دریافتی از BBU به سیگنال‌های رادیویی با فرکانس بالا را بر عهده دارد. همچنین در مسیر برگشت، سیگنال‌های دریافتی از کاربران را دریافت، تقویت و برای پردازش به BBU ارسال می‌کند. این واحد معمولاً در نزدیکی آنتن و روی بدنه دکل نصب می‌شود تا فاصله انتقال سیگنال رادیویی به کمترین میزان ممکن برسد.

همین نزدیکی به آنتن، مهم‌ترین مزیت معماری مدرن است. زمانی که بخش رادیویی در کنار آنتن قرار می‌گیرد، دیگر نیازی به کابل‌های کواکسیال بلند با تلفات بالا وجود ندارد. در نتیجه، توان خروجی مؤثرتر استفاده می‌شود، کیفیت سیگنال بهبود می‌یابد و عملکرد کلی سایت ارتقا پیدا می‌کند.

چرا معماری توزیع‌شده یک تحول اساسی محسوب می‌شود؟

معماری توزیع‌شده را نمی‌توان تنها یک بهبود فنی جزئی دانست. این مدل، پاسخی مستقیم به نیازهای شبکه‌های نسل جدید است. در این معماری، سیگنال‌های دیجیتال از طریق فیبر نوری از BBU به RRU منتقل می‌شوند. فیبر نوری نه تنها پهنای باند بالایی دارد، بلکه در مقایسه با کابل‌های سنتی، تلفات بسیار کمتری ایجاد می‌کند و انتقال داده را با سرعت و پایداری بیشتری انجام می‌دهد.

این رویکرد باعث می‌شود سایت‌های مخابراتی بتوانند در محیط‌های پرتراکم شهری، مناطق صنعتی، مراکز تجاری و حتی فضاهای دورافتاده، عملکردی بهینه‌تر و پایدارتر ارائه دهند. از سوی دیگر، معماری توزیع‌شده مسیر توسعه فناوری‌هایی مانند Massive MIMO، Beamforming و شبکه‌های فوق‌پرتراکم را نیز هموار می‌کند.

مزیت‌های کلیدی معماری مدرن نسبت به ساختار سنتی

در مقایسه با سیستم‌های یکپارچه قدیمی، معماری توزیع‌شده مزایای متعددی دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش محسوس تلفات سیگنال و افزایش راندمان انتقال
- بهبود کیفیت پوشش‌دهی و پایداری لینک رادیویی
- کاهش بار فیزیکی و حجم تجهیزات در بخش زمینی سایت
- ساده‌تر شدن فرآیند نصب، نگهداری و توسعه سایت
- افزایش انعطاف‌پذیری در طراحی شبکه‌های نسل جدید
- امکان استفاده بهتر از فناوری‌های پیشرفته رادیویی

این مزایا باعث شده‌اند که امروزه معماری توزیع‌شده به استاندارد غالب در طراحی سایت‌های BTS تبدیل شود و در بیشتر پروژه‌های توسعه‌ای اپراتورها مورد استفاده قرار گیرد.

ارتباط این تحول با سایر تجهیزات بی‌سیم

شناخت معماری مدرن شبکه فقط برای متخصصان مخابرات اهمیت ندارد، بلکه برای فعالان حوزه تجهیزات ارتباطی نیز مفید است. زمانی که ساختار تفکیک‌شده بین بخش پردازش و بخش رادیویی را به‌خوبی درک کنیم، بهتر می‌توانیم جایگاه و عملکرد سایر تجهیزات بی‌سیم را نیز تحلیل کنیم. برای مثال، در حوزه راه‌اندازی لینک‌های بیرونی و ارتباطات نقطه‌به‌نقطه، تجهیزاتی مانند **آنتن وایرلس میکروتیک** نیز هرکدام بر اساس نوع طراحی، سناریوی نصب و کاربرد، در

بخش مشخصی از زنجیره ارتباط ایفای نقش می‌کنند. این شناخت فنی به تصمیم‌گیری دقیق‌تر در طراحی و انتخاب تجهیزات کمک می‌کند.



مزایای استفاده از RRU در سایت‌های مخابراتی

با توسعه روزافزون شبکه‌های ارتباطی و افزایش انتظارات کاربران از کیفیت، سرعت و پایداری سرویس، استفاده از تجهیزات بهینه و معماری‌های نوین در سایت‌های مخابراتی به یک ضرورت تبدیل شده است. در این میان، **RRU** یا واحد رادیویی از راه دور، یکی از مهم‌ترین تجهیزاتی است که توانسته نقش قابل‌توجهی در بهبود عملکرد سایت‌های **BTS** ایفا کند. استفاده از این مازول نه تنها باعث ارتقای کیفیت فنی شبکه می‌شود، بلکه از نظر اقتصادی، اجرایی و عملیاتی نیز مزایای متعددی برای اپراتورها به همراه دارد. در ادامه، مهم‌ترین مزایای استفاده از **RRU** در سایت‌های مخابراتی را با جزئیات بیشتری بررسی می‌کنیم.

کاهش تلفات توان در فیدرهای طولانی

در سیستم‌های قدیمی مخابراتی، برای انتقال سیگنال‌های فرکانس رادیویی یا **RF** از تجهیزات مستقر در پایین دکل به آنتن‌های نصب‌شده در ارتفاع، از کابل‌های کواکسیال ضخیم، سنگین و نسبتاً بلند استفاده می‌شد. این کابل‌ها اگرچه در زمان خود راهکاری متداول بودند، اما یک نقطه ضعف اساسی داشتند: **اتلاف بالای توان**. هرچه طول مسیر بیشتر می‌شد، بخشی از انرژی سیگنال در مسیر انتقال از بین می‌رفت و همین مسئله بر کیفیت نهایی پوشش و بهره‌وری فرستنده اثر منفی می‌گذاشت.

با نصب **RRU** در نزدیکی آنتن یا پشت آنتن، طول کابل **RF** به حداقل ممکن می‌رسد. این کاهش فاصله، مستقیماً باعث کاهش افت سیگنال و افزایش راندمان انتقال توان می‌شود. به عبارت دیگر، توان تولیدشده توسط سیستم رادیویی با هدررفت بسیار کمتری به آنتن می‌رسد و در نتیجه، انرژی مؤثرتری برای پوشش‌دهی محیط در اختیار شبکه

قرار می‌گیرد. این موضوع به‌ویژه در سایت‌هایی که ارتفاع دکل زیاد است یا در مناطق وسیع خدمات‌رسانی می‌کنند، اهمیت دوچندان دارد.

بهبود پوشش‌دهی و کیفیت سیگنال

یکی از مهم‌ترین نتایج کاهش تلفات در مسیر انتقال، بهبود مستقیم کیفیت سیگنال ارسالی و دریافتی است. زمانی که بخش رادیویی به بالای دکل منتقل می‌شود و در نزدیکی آنتن قرار می‌گیرد، حساسیت دریافت سیگنال افزایش پیدا می‌کند و میزان نویز سیستم نیز کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی، سایت مخابراتی می‌تواند با دقت و کیفیت بیشتری با تجهیزات کاربر نهایی ارتباط برقرار کند.

بهبود کیفیت سیگنال فقط یک مزیت فنی روی کاغذ نیست؛ بلکه اثری کاملاً ملموس بر عملکرد واقعی شبکه دارد. افزایش کیفیت لینک رادیویی می‌تواند منجر به **افزایش نرخ انتقال داده (Data Rate)**، کاهش قطعی ارتباط، پایداری بیشتر تماس‌ها و بهبود تجربه کاربران در استفاده از اینترنت همراه شود. در واقع، وقتی سیگنال تمیزتر و قوی‌تر باشد، کاربر نیز کیفیت بهتری را در تماس صوتی، تماس تصویری، استریم محتوا و دانلود داده تجربه خواهد کرد. این همان عاملی است که در نهایت به بهبود **کیفیت تجربه کاربری (QoE)** منجر می‌شود.

کاهش هزینه‌های عملیاتی و فضای اشغالی

یکی دیگر از مزایای مهم RRU، کاهش هزینه‌های کلی راه‌اندازی و نگهداری سایت است. در معماری‌های قدیمی، استفاده از فیدرهای مسی طولانی علاوه بر ایجاد تلفات، هزینه قابل‌توجهی نیز به پروژه تحمیل می‌کرد. این کابل‌ها نه تنها قیمت بالایی داشتند، بلکه به دلیل وزن زیاد، نصب آن‌ها دشوارتر بود و فشار بیشتری نیز بر سازه دکل وارد می‌کردند. حذف یا کاهش استفاده از این تجهیزات، به‌طور مستقیم موجب کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای یا **CAPEX** می‌شود.

از سوی دیگر، با تفکیک ساختار BBU و RRU، حجم تجهیزات موردنیاز در بخش زمینی سایت نیز کاهش می‌یابد. BBUها در مقایسه با BTSهای یکپارچه قدیمی، فضای کمتری اشغال می‌کنند و مدیریت آن‌ها ساده‌تر است. این ویژگی به اپراتورها کمک می‌کند تا در فضاهای محدود، به‌ویژه در مناطق شهری یا سایت‌های پرتراکم، طراحی بهینه‌تری داشته باشند. همچنین کاهش بار فیزیکی روی دکل و تجهیزات جانبی، در بلندمدت بر هزینه‌های پشتیبانی و نگهداری نیز اثر مثبت می‌گذارد.

سهولت در نصب و نگهداری

طراحی **ماژولار RRUها** یکی از ویژگی‌های بسیار مهم این تجهیزات است. در سیستم‌های قدیمی‌تر، خرابی یک بخش از تجهیزات یکپارچه می‌توانست فرآیند عیب‌یابی و تعمیر را پیچیده و زمان‌بر کند. اما در ساختارهای مدرن، هر بخش عملکرد مشخص و مستقلی دارد و همین موضوع باعث می‌شود تعویض یا سرویس یک ماژول با سرعت و دقت بیشتری انجام شود.

در صورت بروز خرابی، تکنسین‌ها می‌توانند بدون نیاز به تغییر گسترده در کل ساختار سایت، تنها ماژول معیوب را شناسایی و جایگزین کنند. این موضوع نه تنها زمان قطعی سرویس را کاهش می‌دهد، بلکه موجب می‌شود عملیات نگهداری با هزینه کمتر و سرعت بیشتر انجام گیرد. از طرفی، نصب اولیه RRUها نیز در بسیاری از پروژه‌ها نسبت به ساختارهای سنتی ساده‌تر و منعطف‌تر است، زیرا طراحی آن‌ها با هدف استفاده در شرایط متنوع محیطی و سازه‌ای انجام شده است.

افزایش بهره‌وری شبکه در نسل‌های جدید

در شبکه‌های نسل چهارم و پنجم، نیاز به دقت بالا در پردازش و ارسال سیگنال بسیار بیشتر از گذشته است. RRU با ایفای نقش تخصصی در بخش رادیویی، این امکان را فراهم می‌کند که اپراتورها بتوانند از ظرفیت‌های پیشرفته‌تری مانند بهینه‌سازی پوشش، مدیریت بهتر توان و پاسخ‌گویی سریع‌تر به نیاز کاربران استفاده کنند. این موضوع برای شبکه‌هایی که در مناطق پرترافیک شهری یا مراکز صنعتی فعال هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد.

در حقیقت، RRU فقط یک تجهیز جانبی نیست، بلکه بخشی از زیرساخت هوشمند شبکه مدرن است. همان‌طور که در انتخاب سایر تجهیزات تخصصی ارتباطی، مانند **خرید رادیو وایرلس میکروتیک**، شناخت دقیق نیاز شبکه و ویژگی‌های فنی تجهیزات اهمیت زیادی دارد، در طراحی سایت‌های BTS نیز انتخاب و استفاده صحیح از RRU نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت نهایی شبکه خواهد داشت.

ارتباط بین BBU و RRU

نقش پروتکل CPRI در انتقال داده

در معماری مدرن سایت‌های مخابراتی، یکی از مهم‌ترین اصول طراحی، تفکیک بخش پردازش مرکزی از بخش رادیویی است. این تفکیک اگرچه از نظر فیزیکی موجب بهینه‌سازی ساختار سایت می‌شود، اما در عین حال نیازمند یک بستر ارتباطی سریع، پایدار و کم‌تأخیر میان این دو بخش است. در چنین ساختاری، **BBU** و **RRU** باید به‌گونه‌ای با یکدیگر در ارتباط باشند که هیچ اختلالی در پردازش، انتقال و ارسال سیگنال ایجاد نشود. به همین دلیل، ارتباط میان این دو واحد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است و به‌عنوان یکی از ارکان اصلی عملکرد صحیح سایت‌های BTS شناخته می‌شود.

جایگاه BBU و RRU در زنجیره انتقال سیگنال

برای درک بهتر نوع ارتباط بین BBU و RRU، ابتدا باید نقش هر یک از این دو بخش را به‌صورت دقیق‌تر مرور کنیم. **BBU** یا واحد باند پایه، مسئول پردازش داده‌های دیجیتال، مدیریت منابع رادیویی، کنترل پروتکل‌های مخابراتی و هماهنگی ارتباط با هسته شبکه است. در مقابل، **RRU** وظیفه دارد سیگنال‌های دیجیتال پردازش‌شده را دریافت کند، آن‌ها را به سیگنال‌های فرکانس رادیویی تبدیل نماید و از طریق آنتن به سمت کاربران ارسال کند. همچنین در مسیر برگشت، سیگنال دریافتی از کاربران را به داده دیجیتال تبدیل کرده و برای پردازش مجدد به BBU بازمی‌گرداند.

این ارتباط، یک مسیر ساده انتقال داده نیست؛ بلکه پلی بسیار حساس و حیاتی میان مغز پردازشگر سایت و بخش اجرایی رادیویی آن به شمار می‌رود. هرگونه اختلال، تأخیر یا افت کیفیت در این مسیر می‌تواند مستقیماً بر کیفیت سرویس، پایداری ارتباط و عملکرد کلی شبکه اثر بگذارد.

ارتباط BBU و RRU از طریق فیبر نوری

در بیشتر شبکه‌های مدرن، ارتباط بین BBU و RRU از طریق **فیبر نوری** برقرار می‌شود. انتخاب فیبر نوری برای این اتصال، کاملاً هدفمند و بر اساس نیازهای فنی شبکه انجام شده است. برخلاف کابل‌های مسی یا کواکسیال که در فواصل طولانی با تلفات قابل‌توجه همراه هستند، فیبر نوری می‌تواند حجم بالایی از داده را با سرعت بسیار زیاد، تلفات ناچیز و پایداری بالا منتقل کند.

از آنجا که در معماری توزیع شده، BBU معمولاً در اتاق تجهیزات مستقر است و RRU روی دکل یا در نزدیکی آنتن نصب می شود، فاصله میان این دو واحد می تواند قابل توجه باشد. فیبر نوری این امکان را فراهم می کند که این فاصله بدون افت محسوس کیفیت پوشش داده شود. علاوه بر این، مقاومت بالای فیبر نوری در برابر نویز الکترومغناطیسی باعث می شود انتقال داده در محیط های صنعتی، شلوغ و پرتداخل نیز با اطمینان بیشتری انجام شود.

نقش پروتکل CPRI در انتقال داده

برای انتقال داده های دیجیتال میان BBU و RRU، تنها وجود یک بستر فیزیکی مناسب کافی نیست؛ بلکه لازم است یک استاندارد مشخص نیز برای قالب بندی، زمان بندی و تبادل این داده ها تعریف شود. در همین راستا، از پروتکل CPRI یا **Common Public Radio Interface** استفاده می شود.

CPRI یک رابط استاندارد است که برای برقراری ارتباط میان بخش باند پایه و بخش رادیویی در ایستگاه های پایه طراحی شده است. این پروتکل امکان انتقال داده های دیجیتال را با **سرعت بالا** و **تأخیر بسیار پایین** فراهم می کند؛ دو ویژگی ای که برای عملکرد صحیح شبکه های نسل جدید، به ویژه G4 و G5، کاملاً حیاتی هستند. در واقع، CPRI به گونه ای طراحی شده که اطلاعات پردازش شده در BBU بتوانند بدون اختلال و در زمان مناسب به RRU برسند و بالعکس.

اهمیت این موضوع زمانی بیشتر مشخص می شود که بدانیم شبکه های موبایل، به ویژه در کاربردهای پرطرفیت و بلندرنج، به هماهنگی بسیار دقیقی میان پردازش و ارسال سیگنال نیاز دارند. اگر انتقال داده بین BBU و RRU با تأخیر بالا یا ناپایداری همراه باشد، کیفیت تماس، سرعت اینترنت و عملکرد کلی سلول شبکه با افت مواجه خواهد شد.

چرا سرعت و تأخیر در این ارتباط اهمیت دارد؟

در شبکه های مدرن مخابراتی، داده ها باید تقریباً به صورت لحظه ای پردازش و منتقل شوند. زمانی که کاربر در حال برقراری تماس، استفاده از اینترنت همراه، تماشای ویدئو یا اجرای سرویس های حساس به زمان است، کوچک ترین وقفه در زنجیره پردازش و ارسال سیگنال می تواند باعث افت تجربه کاربری شود. به همین دلیل، ارتباط میان BBU و RRU باید نه تنها سریع، بلکه کاملاً پایدار و هماهنگ باشد.

پروتکل CPRI این امکان را فراهم می کند که حجم زیادی از داده های مرتبط با سیگنال رادیویی، همگام سازی و کنترل شبکه، به صورت دقیق و بدون اختلال بین دو بخش اصلی سایت جابه جا شود. به بیان دیگر، اگر BBU مغز سایت و RRU بازوی اجرایی آن باشد، CPRI همان مسیر عصبی حساسی است که فرمان ها را با سرعت و دقت بالا میان این دو منتقل می کند.

اهمیت این ارتباط در نسل های جدید شبکه

با ورود به عصر G4 پیشرفته و G5، میزان داده ای که باید میان اجزای مختلف شبکه جابه جا شود، به طور قابل توجهی افزایش یافته است. فناوری هایی مانند MIMO، تجمیع فرکانس، ظرفیت بالاتر سلولی و سرویس های کم تأخیر، همگی نیازمند ارتباطی دقیق تر و سریع تر میان BBU و RRU هستند. در چنین شرایطی، استفاده از فیبر نوری و پروتکل هایی مانند CPRI دیگر یک انتخاب ساده نیست، بلکه یک الزام فنی به شمار می رود.

این موضوع نشان می دهد که در طراحی هر نوع زیرساخت ارتباطی، شناخت صحیح از بستر انتقال و استانداردهای تبادل داده اهمیت بالایی دارد. همان طور که در انتخاب تجهیزات تخصصی بی سیم مانند **رادیو وایرلس دلتالینک** باید به ویژگی های فنی، نوع ارتباط و سناریوی استفاده توجه کرد، در معماری شبکه های موبایل نیز کیفیت ارتباط بین اجزای کلیدی، تعیین کننده عملکرد نهایی کل سیستم است.

ارتباط میان BBU و RRU یکی از حیاتی‌ترین بخش‌های معماری مدرن سایت‌های BTS است. این ارتباط از طریق فیبر نوری برقرار می‌شود تا داده‌ها با سرعت بالا، تلفات کم و پایداری مناسب منتقل شوند. در این میان، پروتکل CPRI نقش استاندارد کلیدی برای تبادل داده‌های دیجیتال میان این دو واحد را ایفا می‌کند و بستر لازم برای عملکرد دقیق، سریع و کم‌تأخیر شبکه را فراهم می‌سازد. بدون وجود چنین ارتباطی، معماری توزیع‌شده عملاً نمی‌توانست به بهره‌وری و کیفیت مورد انتظار در شبکه‌های نسل جدید دست پیدا کند.

نتیجه‌گیری

ماژول رادیویی از راه دور یا RRU را می‌توان یکی از مهم‌ترین اجزای تحول معماری شبکه‌های مخابراتی در سال‌های اخیر دانست. با افزایش نیاز کاربران به اینترنت پرسرعت، تماس‌های پایدارتر و پوشش گسترده‌تر، اپراتورها ناچار شدند از ساختارهای سنتی و یکپارچه فاصله بگیرند و به سمت معماری‌های توزیع‌شده و هوشمند حرکت کنند. در این مسیر، RRU به‌عنوان حلقه‌ای کلیدی میان پردازش دیجیتال و ارسال سیگنال رادیویی، جایگاه بسیار مهمی پیدا کرده است.

استفاده از RRU باعث شده است بسیاری از محدودیت‌های معماری قدیمی برطرف شود. کاهش تلفات سیگنال در مسیر انتقال، بهبود کیفیت پوشش، افزایش راندمان توان، کاهش هزینه‌های نصب و نگهداری و همچنین استفاده بهینه‌تر از فضای سایت، تنها بخشی از مزایایی هستند که این ماژول در اختیار اپراتورها قرار می‌دهد. به بیان ساده، RRU کمک می‌کند شبکه با منابع کمتر، عملکرد بهتر و پایداری بیشتری داشته باشد؛ موضوعی که در دنیای رقابتی امروز، یک مزیت بسیار ارزشمند محسوب می‌شود.

از سوی دیگر، با گسترش فناوری‌های G4 و G5، نقش RRU دیگر فقط به یک تجهیز جانبی محدود نمی‌شود، بلکه به بخشی اساسی از زیرساخت ارتباطی مدرن تبدیل شده است. در شبکه‌های نسل جدید، که سرعت، ظرفیت و تأخیر پایین اهمیت فوق‌العاده‌ای دارند، وجود واحدهای رادیویی کارآمد و هماهنگ با BBU برای ارائه خدمات باکیفیت کاملاً ضروری است. در واقع، اگر شبکه را به یک موجود زنده تشبیه کنیم، RRU همان بخشی است که فرمان‌های پردازش‌شده را به حرکت واقعی در بستر ارتباطی تبدیل می‌کند.

درک دقیق عملکرد RRU برای متخصصان مخابرات، کارشناسان نگهداری سایت، طراحان شبکه و حتی مدیران فنی اهمیت زیادی دارد. شناخت صحیح این ماژول نه تنها در نگهداری بهتر سایت‌های BTS مؤثر است، بلکه در تصمیم‌گیری برای ارتقا، توسعه و بهینه‌سازی شبکه نیز نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا می‌کند. به همین دلیل، آشنایی با ساختار، وظایف و مزایای RRU را باید یکی از دانش‌های پایه اما بسیار مهم در حوزه شبکه‌های موبایل و زیرساخت‌های بی‌سیم دانست.

در نهایت، می‌توان گفت RRU نمادی از گذار صنعت مخابرات از تجهیزات سنگین و سنتی به سمت زیرساخت‌های چابک، دقیق و آینده‌نگر است. هرچه شبکه‌ها پیشرفته‌تر می‌شوند، اهمیت این ماژول نیز بیشتر نمایان خواهد شد. بنابراین، بررسی دقیق RRU تنها یک بحث فنی نیست، بلکه بخشی از درک آینده ارتباطات و مسیر توسعه شبکه‌های مخابراتی به شمار می‌رود.

سوالات متداول

1- آیا می‌توان از RRU بدون BBU استفاده کرد؟

خیر، RRU برای پردازش سیگنال‌های دیجیتال و مدیریت کلی شبکه به BBU نیاز دارد.

2- تفاوت اصلی RRU با AAU چیست؟

RRU یک ماژول رادیویی جدا از آنتن است، اما AAU ترکیبی از رادیو و آنتن در یک واحد یکپارچه است که عمدتاً در G5 کاربرد دارد.

3- چرا برای اتصال RRU از فیبر نوری استفاده می‌شود؟

به دلیل حجم بالای داده‌ها و نیاز به تاخیر بسیار کم در انتقال سیگنال‌های رادیویی، فیبر نوری بهترین گزینه برای ارتباط BBU و RRU است.

4- آیا RRU ها به برق جداگانه نیاز دارند؟

بله، RRU ها باید از طریق کابل‌های برق مخصوص (DC) تغذیه شوند تا بتوانند فرآیندهای تقویت و ارسال سیگنال را انجام دهند.

محل نصب استاندارد RRU کجاست؟

بهترین محل نصب، نزدیک‌ترین نقطه به آنتن‌ها (معمولاً روی بدنه دکل) است تا اتصالات RF تا حد ممکن کوتاه بمانند.

“امیدوارم این مقاله برای شما مفید واقع شده باشد.”

