



عنوان پروژه:

**Open Ran in 5G**

مژده کربلایی مطلب

استاد راهنما: جناب آقای دکتر شاه منصوری

۱۰ تیر ۱۳۹۸

## فهرست مطالب

۲	فهرست مطالب
۵	فهرست تصاویر
۶	۱ مقدمه ای بر ساختار رادیویی
۶	۱.۱ مقدمه ای بر 5G
۶	۲.۱ تاریخچه مخابرات
۷	۲ مقدمه ای بر شبکه ی رادیویی نسل پنجم مخابرات
۸	۱.۲ مقدمه ای بر C-RAN
۹	۳ ساختار شبکه های مختلف
۱۰	۱.۳ پیش زمینه ها
۱۰	۱.۱.۳ ساختار سنتی ایستگاه پایه
۱۰	۲.۱.۳ ساختار ایستگاه پایه و واحد رادیویی
۱۱	۲.۳ تعریف مسئله
۱۱	۱.۲.۳ ساختار C-RAN
۱۳	۴ مزایای شبکه ی C-RAN
۱۴	۱.۴ توانایی تطبیق پذیری با ترافیک غیر یکنواخت
۱۵	۲.۴ صرفه جویی در هزینه و مصرف انرژی

۳.۴	سهولت در ارتقا دادن و نگهداری از شبکه	۱۵
۴.۴	کاهش چشمگیر تداخل از طریق پردازش واحد باند پایه	۱۵
۵.۴	افزایش توان و کاهش تاخیر	۱۶
۵	<b>چالشها و مشکلات در برخورد با ساختار C-RAN</b>	۱۷
۱.۵	دو چالش مهم مربوط به fronthaul	۱۷
۲.۵	نحوه ی مشارکت BBU ها نحوه ی اتصال و خوشه بندی	۱۸
۳.۵	نیاز به پهنای باند وسیعتر و تاخیر دقیق و کمتر	۱۸
۴.۵	محدودیت ظرفیت در backhaul	۱۹
۵.۵	نیاز به شبکه های انتقال از ران	۱۹
۶	<b>شبکه های دسترسی رادیویی ابری نا متجانس (H-CRAN)</b>	۲۰
۱.۶	ساختار شبکه ی H-CRAN	۲۰
۲.۶	چالشهای پیش روی H-CRAN	۲۲
۷	<b>H-CRAN و C-RAN</b>	۲۳
۱.۷	تفاوت و شباهت های این دو ساختار	۲۳
۲.۷	مشکلات پیش روی این دو ساختار	۲۳
۸	<b>ارائه ی پیشنهاد سیستم جایگزین (F-RAN)</b>	۲۳
۱.۸	ساختار سیستمهای F-RAN	۲۴
۹	<b>برخی از کاربردهای شبکه ی C-RAN</b>	۲۵

۱۰۹	تخصیص منابع مبتنی بر مدولاسیون OFDM	۲۵
۱۰	تخصیص توان و خوشه بندی شبکه های رادیویی ابری	۲۷
۱۱	نتیجه گیری	۲۹
۱۲	خلاصه ای از فصلهای آتی	۳۰
	مراجع	۳۱

## فهرست تصاویر

۹	.....	ساختر سنتی ایستگاه پایه [۴]	۱
۱۱	.....	ساختر ایستگاه پایه و واحد رادیویی [۴]	۲
۱۲	.....	ساختر C-RAN [۴]	۳
۱۳	.....	ساختر شبکه ی C-RAN [۴]	۴
۱۴	.....	تغییرات حجم ترافیک در ایستگاههای پایه بنا به مکان قرارگیری آنها [۴]	۵
۱۶	.....	تداخل در LTE و C-RAN [۱]	۶
۱۷	.....	محدودیت در اثر تاخیر [۲]	۷
۲۰	.....	ساختر شبکه های دسترسی ابری نامتجانس [۷]	۸
۲۴	.....	سیر تحولات شبکه های رادیویی ابری [۸]	۹
۲۵	.....	مدل سیستم F-RAN [۸]	۱۰
۲۶	.....	توان عملیاتی تمام کاربران سلول [۱۰]	۱۱
۲۸	.....	بهره وری انرژی در حضور ترافیک معمول [۱۰]	۱۲
۲۸	.....	بهره وری انرژی در حضور ترافیک محدود [۱۰]	۱۳
۲۹	.....	نسبت خطا به تعداد RRH در هر خوشه [۱۰]	۱۴

## ۱ مقدمه ای بر نسل پنجم مخابرات

### ۱.۱ مقدمه ای بر 5G

مخابرات نسل پنجم یا 5G، نسل بعدی سیستم های بیسیم<sup>۱</sup> و شبکه های مخابراتی بعد از نسل چهارم می باشد که تکاملی از لایه ی فیزیکی و لایه ی شبکه در تکنولوژی شبکه های مخابراتی سیار همانند LTE می باشد که نسبت به 4G سرعت و پوشش خارق العاده ای را فراهم خواهد نمود، همچنین نسل پنجم مخابرات میزان تاخیر خیلی کمتری را در مقایسه با نسلهای قبل مخابرات خواهد داشت و تعداد دستگاه های متصل به آن به شدت افزایش می یابد. 5G با سیگنال 5GHz عمل خواهد کرد و سرعت 100 برابر سرعت 4G LTE برای ما فراهم نماید.

تکنولوژی سیگنال 5G برای پوشش فراگیرتر و بازدهی بهتر سیگنال ایجاد شده است. این پیشرفت ها منجر به تغییراتی از قبیل IoT<sup>۲</sup> و Pervasive Computing در آینده ی نزدیک خواهد شد. همچنین 5G منجر به توسعه و بهبود سرویس های مخابراتی و اینترنتی سیار و در ورای آن، ایجاد تجربه ی بهتری برای مصرف کنندگان خواهد شد. این نسل جدید مخابراتی دارای انعطاف پذیری و قابلیت برنامه پذیری می باشد.

### ۲.۱ تاریخچه مخابرات

در ابتدا می خواهیم بدانیم که چه چیزی منجر به رفتن محققان به سوی 5G شده است. یکی از دلایل مهم، سرعت و نرخ انتقال بیشتری است که در ادامه به آن می پردازیم. در ابتدا نیاز بشریت به ارتباط تلفنی (انتقال بدون سیم به صورت زمان حقیقی<sup>۳</sup> بشریت را به سمت نسل اول ارتباطات 1G سوق داده است. نسل دوم ارتباطات 2G با سرویس های انتقال پیام کوتاه ایجاد شد. همچنین با موفقیت تکنولوژی شبکه های منطقه ای بیسیم، اتصال به داده های اینترنتی مورد توجه عموم مردم قرار گرفت که پلی به سوی نسل سوم ارتباطات 3G را فراهم نمود. به طور منطقی پله

1. Wireless
2. Internet of Things
3. Real Time

ی بعدی گام برداشتن در راستای کوچک شدن لپ تاپ و در آمیختن آن با تلفن که امروزه به صورت تلفن هوشمند<sup>۴</sup> است و دسترسی به اینترنت، پهنای باند بالا و داده ها در نقاط مختلف جهان بوده است که 4G یا نسل چهارم را به همراه داشته است. با توجه به افزایش تعداد کاربران تلفن های هوشمند و تبلت ها و افزایش نرخ ارسال اطلاعات و داده ها در طی سال های اخیر طبق پیش بینی های سیسکو میزان ترافیک IP طی سالهای اخیر چندین برابر افزایش خواهد یافت. در نتیجه اپراتورها برای حل این مشکل و خدمات دهی بهتر ناچار به افزایش ظرفیت شبکه می باشند. با توجه به این که نرخ داده و ظرفیت در سیستم های نسل چهارم به ظرفیت شانون نزدیک شده است، در نتیجه روش هایی که برای افزایش ظرفیت شبکه مورد استفاده می گیرند که به شرح زیر است:

□ استفاده از تکنیک Massive MIMO

□ استفاده از روش های پردازش های ابری

□ Software Defined Networking

□ Extreme Densification

□ روش mm Wave

□ Network Function Virtualization

□ Network Slicing

## ۲ مقدمه ای بر شبکه ی رادیویی نسل پنجم مخابرات

5G دارای شبکه ی رادیویی متفاوتی نسبت به نسلهای قبل می باشد. Cloud Radio Access Network<sup>۵</sup> که ساختار

4. smart phone

5. C-RAN

رادیویی ابری است، یکی از ساختارهای مورد توجه برای ساختار رادیویی قرار گرفته است. همچنین ساختارهای H-CRAN<sup>۶</sup> و F-RAN<sup>۷</sup> نیز دیگر ساختارهای مشابه ساختار رادیویی ابری هستند که مورد بررسی در این نسل مخابرات قرار گرفته اند. در حال حاضر شبکه ی Open-RAN شبکه ی دیگری است که قابلیت‌های انعطاف پذیرتری نسبت به شبکه های دیگر دارد که در ادامه به آن نیز می پردازیم.

## ۱.۲ مقدمه ای بر C-RAN

شبکه های دسترسی ابری منجر به افزایش پوشش ارسالی می گردد. با توجه به ساختار شبکه C-RAN که معماری جدیدی را برای شبکه های نسل آینده ارائه می دهد، نه تنها ظرفیت شبکه افزایش می یابد بلکه مشکلاتی که در روش های دیگر وجود دارد را نیز هموار می سازد. مفهوم شبکه دسترسی رادیو ابر C-RAN، به مجازی سازی کارکردهای ایستگاه پایه<sup>۸</sup> با استفاده از تکنولوژی رایانش ابری<sup>۹</sup> اشاره می نماید. این مفهوم به ایجاد یک ساختار سلولی جدید منجر می شود که در آن، نقاط دسترسی بیسیم کم هزینه که با عنوان واحدهای رادیویی<sup>۱۰</sup> و یا رادیو هد های راه دور<sup>۱۱</sup> شناخته می شوند- با استفاده از یک ابر متمرکز با قابلیت پیکربندی مجدد و یا واحد مرکزی<sup>۱۲</sup> مدیریت می شوند. شبکه امکان کاهش هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی مورد نیاز برای اپراتور ها به منظور توسعه و نگهداری شبکه های ناهمگن متراکم را فراهم می آورد. این مزیت مهم در کنار بازده طیفی، تسهیم آماری<sup>۱۳</sup>، و مزیت های متعادل سازی بار باعث می شود تا شبکه C-RAN به عنوان یکی از تکنولوژی های کلیدی در توسعه سیستم های 5G در جایگاه بسیار مناسبی قرار بگیرد. در ادامه، یک بررسی کلی و مختصر از تحقیقات جدید در مورد ساختار C-RAN

.6 Heterogeneous CRAN

.7 Fog-Radio Access Network

.8 Base Station-BS

.9 Cloud Computing

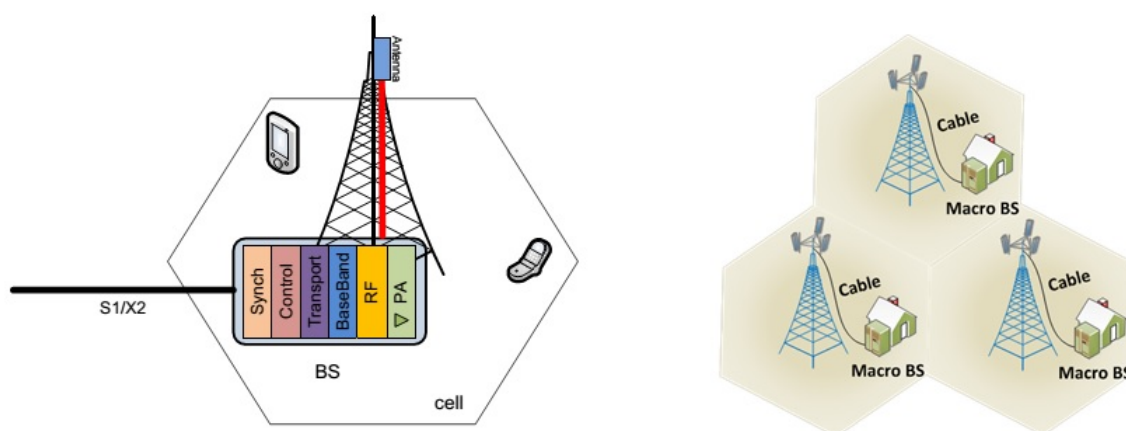
.10 Radio Units

.11 Radio Remote Heads

.12 Control Unit

.13 Statistitcal Multiplexing





شکل ۱: ساختار سنتی ایستگاه پایه [۴]

ارائه می شود و موضوعات مورد تاکید عبارتند از فشرده سازی لینک fronthaul پردازش باند پایه، کنترل دسترسی به محیط واسط، تخصیص منابع، ملاحظات سطح سیستم، و تلاش های انجام شده در راستای ارائه استاندارد ها.

### ۳ ساختار شبکه های مختلف

با توجه به مقاله ی [۴]، هر ایستگاه پایه دو نوع پردازش انجام می دهد : پردازش رادیویی که توسط واحد رادیویی<sup>۱۴</sup> انجام می شود و شامل پردازش دیجیتالی، فیلترینگ فرکانسی، تقویت توان و .... می باشد و پردازش باند پایه که توسط واحد باند پایه<sup>۱۵</sup> که همان واحد کنترل است<sup>۱۶</sup> انجام شده و از جمله مهمترین وظایف آن می توان به کدینگ، مدولاسیون و تبدیل فوریه ی سریع اشاره کرد. در ساختار جدیدی که تحت عنوان C-RAN معرفی خواهیم نمود

.14 RRH

.15 BBU

.16 CU

نحوه ی ارتباط پردازشگرهای رادیویی و باند پایه متحول شده و در نتیجه مزایایی برای شبکه حاصل خواهد شد. در ادامه ، انواع ساختارها را بیان خواهد شد.

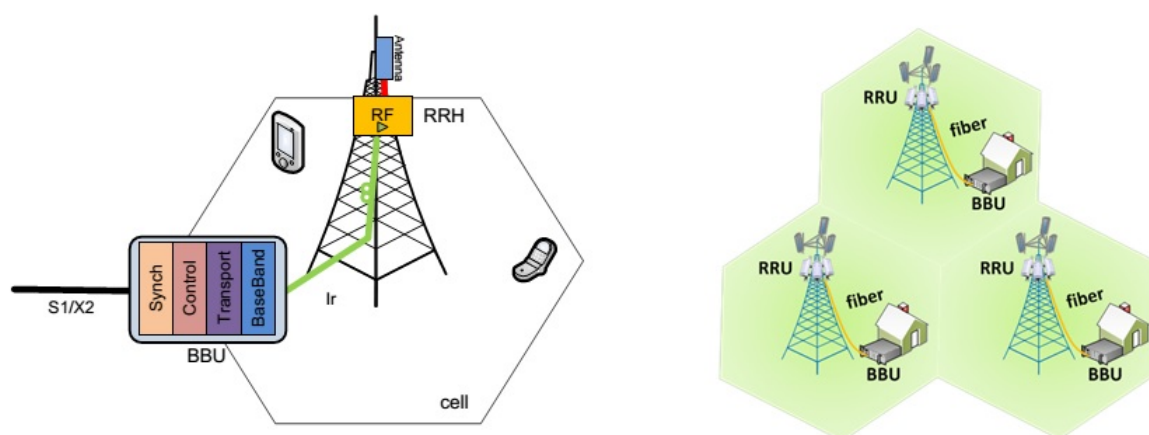
### ۱.۳ پیش زمینه ها

#### ۱.۱.۳ ساختار سنتی ایستگاه پایه

در ساختارهای سنتی ایستگاه پایه، پردازش های رادیویی و باند پایه در داخل ایستگاه پایه انجام می شد و مدول آنتن نیز در فاصله ی چند متری از مدول رادیویی نصب شده و ارتباط آنها توسط کابل کواکسیال برقرار می شد که همین امر سبب افزایش تلفات در شبکه می باشد. این نوع ساختار در شکل ۱ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می کنید ارتباط بین ایستگاههای پایه توسط ارتباط  $X_2$  و ارتباط بین ایستگاه پایه و شبکه ی هسته توسط ارتباط  $S_1$  برقرار می شود. این نوع ساختار در شبکه های 1G و 2G به کار گرفته شده است [۴].

#### ۲.۱.۳ ساختار ایستگاه پایه و واحد رادیویی

در این ساختار واحد رادیویی و واحد پردازشی سیگنال، از هم مجزا شده و واحد رادیویی که تحت عنوان RRH یا RRU نیز شناخته می شود، توسط فیبر نوری به واحد باند پایه یا BBU اتصال می یابد. همان طور که پیشتر بیان شد واحد رادیویی مسئولیت انجام پردازش های دیجیتالی از جمله تبدیل آنالوگ به دیجیتال، دیجیتال به آنالوگ، تقویت توان و فیلترینگ را بر عهده دارد، که تفکیک وظایف واحد پردازشی و واحد رادیویی در این ساختار در شکل ۲ قابل مشاهده است. این نوع ساختار برای شبکه های نسل سوم معرفی شده و امروزه نیز بیشتر ایستگاههای پایه از همین ساختار بهره می گیرند. از جمله ویژگی های بارز این ساختار امکان ایجاد فاصله بین واحد رادیویی و پردازشی می باشد، که این فاصله به دلیل تاخیر پردازشی و انتشاری نمی تواند از 40 کیلومتر فراتر رود. در این ساختار تجهیزات مرتبط با BBU می توانند به مکانی مناسبتر که قابل دسترس تر بوده و هزینه ی اجاره و نگهداری کمتری را به اپراتورها تحمیل



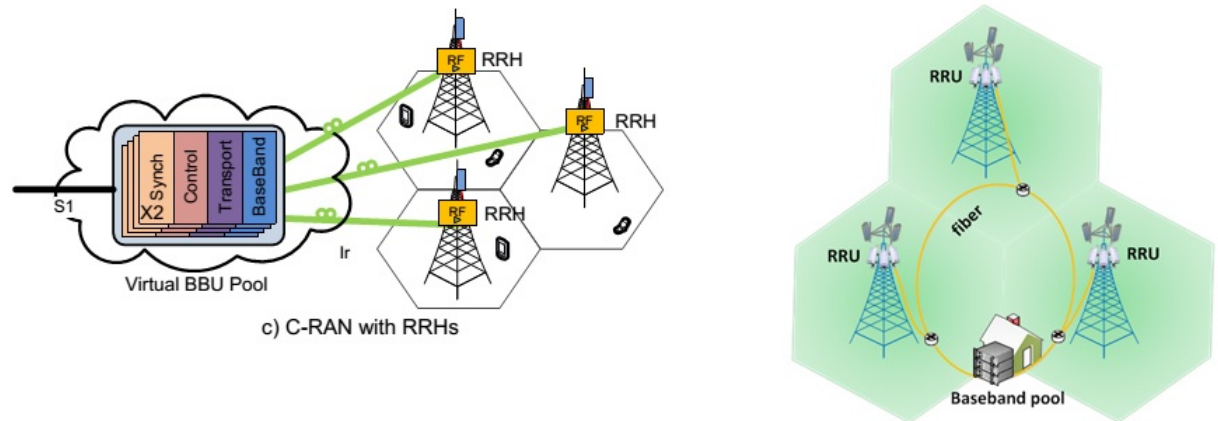
شکل ۲: ساختار ایستگاه پایه و واحد رادیویی [۴]

می کنند منتقل شوند و واحد های رادیویی نیز در پشت بام ساختمان ها و مکان های مرتفع نصب می شوند که این خود سبب کاهش هزینه های خنک سازی ادوات موجود می شود. نحوه ی ارتباط بین RRH و BBU مشابه ساختار سنتی بوده و RRH ها نیز توسط معماری زنجیروار با هم در ارتباطند.

## ۲.۳ تعریف مسئله

### ۱.۲.۳ ساختار C-RAN

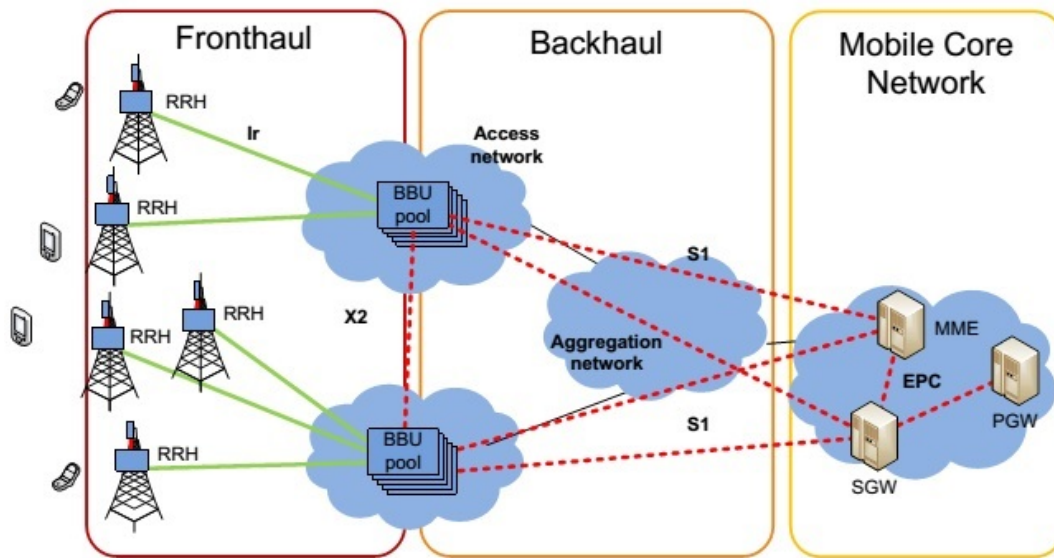
این ساختار جدید جزو یکی از ساختارهایی است که در 5G امکان استفاده را دارد. در این ساختار جدید در راستای بهینه سازی عملکرد BBU ها در مواجهه با ایستگاههای پایه پر ترافیک و کم ترافیک، BBU ها به صورت یک مجموعه ی واحد تحت عنوان BBU Pool در آمده اند که این مجموعه بین چندین سلول به اشتراک گزاریده شده و مطابق شکل زیر مجازی سازی می شود. در توضیح بیشتر این ساختار می توان این گونه عنوان کرد که BBU Pool به عنوان



شکل ۳: ساختار C-RAN [۴]

یک خوشه ی مجازی در نظر گرفته می شود که شامل پردازش گرهایی می باشد که پردازش های باند پایه را انجام می دهند. ارتباط بین BBU ها در ساختار های فعلی به شکل  $X_2$  برقرار می شود که در این ساختار ارتباط بین خوشه ها از فرم جدید  $X_2$  تحت عنوان  $X_2+$  برقرار می شود.

در شکل ۳ ساختار کلی شبکه ی C-RAN در سیستم های LTE نمایش داده شده است. همان طور که در شکل قابل مشاهده می باشد ساختار کلی شبکه C-RAN به دو بخش backhaul و fronthaul تقسیم بندی شده است. بخش fronthaul شبکه به مرحله ی اتصال سایت های RRH به BBU Pool به اتصال backhaul و بخش BBU Pool هسته ی شبکه ی سیار اطلاق می شود. همان گونه که قبلا ذکر شد RRH ها در نزدیکی آنتن نصب شده و از طریق لینک های انتقالی نوری با پهنای باند وسیع و تاخیر کم به پردازشگرهای قوی در BBU متصل می شوند. توسط این لینک های انتقالی است که سیگنال های دیجیتال باند پایه از نوع IQ بین RRH و BBU انتقال می یابند [۴].



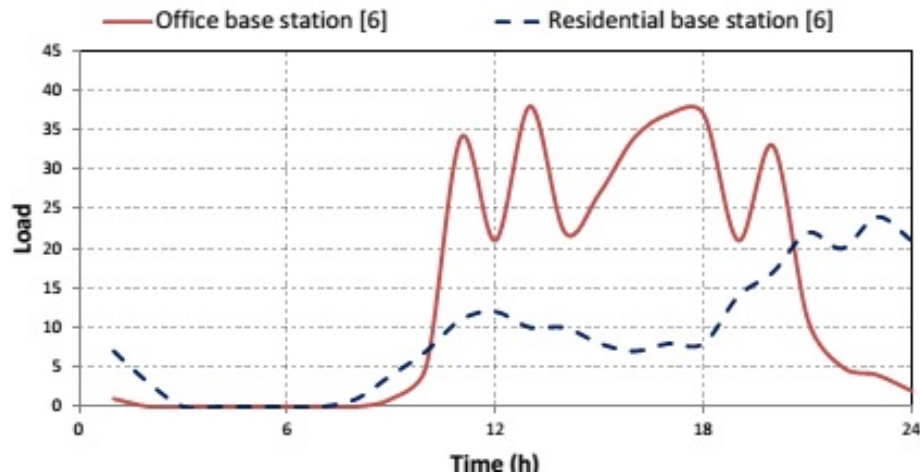
شکل ۴: ساختار شبکه ی C-RAN [۴]

#### ۴ مزایای شبکه ی C-RAN

در این بخش قصد داریم مزایای شبکه ی C-RAN و هدف از استفاده ی آن در 5G را بیان کنیم.

در هر دو نوع سلولهای ماکرو و میکرو، می توان از ساختار C-RAN بهره برد. در حالت ماکرو، متمرکز کردن BBU ها به صورت BBU Pool، منجر به استفاده ی بهینه از BBU ها و کاهش هزینه ی ایستگاه پایه <sup>۱۷</sup> می شود. همچنین منجر به کاهش مصرف توان و فراهم کردن انعطاف پذیری بیشتر در شبکه و تطبیق آن با ترافیک غیر یکسان می شود. علاوه بر این، باعث تبدیل سیگنال تداخل به سیگنال مفید تبدیل می شود. در ادامه این مزایا به صورت گسترده تر بیان می گردد. [۴، ۵]

<sup>17</sup> base station



شکل ۵: تغییرات حجم ترافیک در ایستگاههای پایه بنا به مکان قرارگیری آنها [۴]

#### ۱.۴ توانایی تطبیق پذیری با ترافیک غیر یکنواخت

کاربران شبکه های رادیویی در طول روز بین مناطق مختلف (مسکونی و اداری) جابه جا شده و در نتیجه ترافیک هر منطقه نیز بنا به نوع منطقه در طول ساعات شبانه روز متغیر می باشد. نمودار مربوط به این تغییرات در شکل ۵ قابل مشاهده است. نکته ی قابل توجه برای اپراتور ها در این بخش، هدر رفت توان پردازشی در اثر جا به جایی کاربران می باشد. بدین شکل که به طور مثال بعد از اتمام ساعات کاری کاربران شبکه از مناطق اداری به مناطق مسکونی نقل مکان می کنند حال آنکه ایستگاههای پایه برای خدمات رسانی در اوج ترافیک تعبیه شده و با کاهش تعداد کاربران در حقیقت توان پردازشی هدر می رود. تحقیقات نشان داده است که میزان پیک ترافیک شبکه حدود 10 برابر بیشتر از ترافیک در ساعات غیر اوج می باشد و در هر سلول بنا به نوع منطقه ساعات اوج ترافیک متغیر است. با توجه به متغیر بودن ساعات اوج ترافیک در سلول های مختلف و با استفاده از ویژگی شبکه های C-RAN می توان راهکاری ارائه نمود که از هدر رفت توان پردازشی جلوگیری شود. در شبکه های C-RAN پردازش های باند پایه مربوط به چندین سلول به ابر منتقل شده که می توان از این ویژگی برای افزایش نرخ بهره وری استفاده کرد. [۴، ۵]

## ۲.۴ صرفه جویی در هزینه و مصرف انرژی

با بکارگیری شبکه های C-RAN در مصرف انرژی و از این رو در کاهش هزینه ها می توان صرفه جویی نمود. هزینه های صورت گرفته توسط اپراتورهای سیستم های مخابراتی که تحت عنوان TCO نیز شناخته می شود، به دو دسته ی عمده تقسیم بندی می شود. هزینه های CAPEX و هزینه های OPEX؛ که هزینه ی CAPEX مربوط به ساخت شبکه که شامل طراحی و نصب سخت افزارها می باشد. هزینه ی OPEX شامل هزینه های مربوط به راه اندازی و نگهداری و همچنین ارتقای شبکه ی مخابراتی می باشد. که C-RAN منجر به کاهش هر دو هزینه می شود.

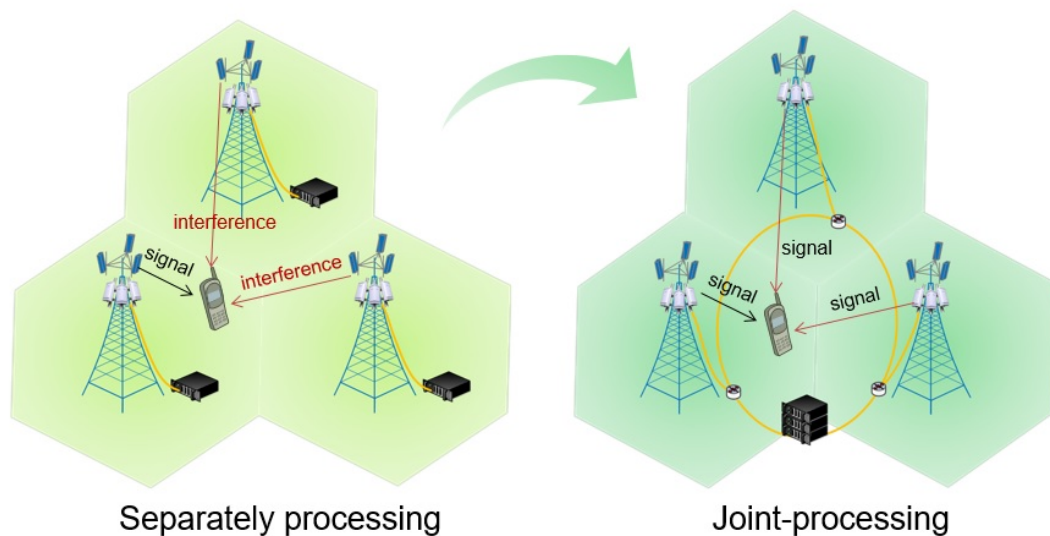
## ۳.۴ سهولت در ارتقا دادن و نگهداری از شبکه

با قرار گیری BBU ها در داخل ابر به جای قرارگیری در ایستگاه های پایه ی دور از هم امکان سهولت در ارتقا دادن و نگهداری از شبکه در صورت نیاز به مداخله ی نیروی انسانی فراهم می شود، زیرا در این صورت به جای نظارت بر تمام ایستگاههای پایه تنها تعداد مشخصی BBU pool مد نظر قرار می گیرند. هم چنین بروزرسانی CPU در این حالت تسریع شده و استفاده از تکنولوژی IT به جای استفاده از سخت افزارها هموارتر می شود.

## ۴.۴ کاهش چشمگیر تداخل از طریق پردازش واحد باند پایه

تداخل در شهرهای بزرگ یکی از چالشهای مهم محسوب می شود. همانطور که در شکل ۶ دیده می شود، در LTE تداخل به صورت واضحی بر روی سیگنال مفید اثر می گذارد، حال در C-RAN این مشکل به صورتی که در شکل دیده می شود برطرف شده و سیگنال تداخل تبدیل به سیگنال مفید می شود و از رابطه ی متقابل کانال TDD<sup>۱۸</sup> استفاده می گردد.

18. Time Division Duplexing



شکل ۶: تداخل در LTE و C-RAN [۱]

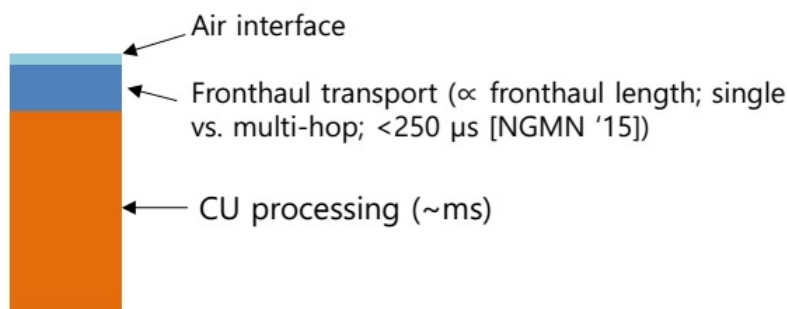
#### ۵.۴ افزایش توان و کاهش تاخیر

در سالهای اخیر شبکه های نسل 4 یا LTE توسط 3GPP استاندارد سازی شده و به مرور جایگزین سیستم های نسل 3 شده اند.

شبکه های C-RAN با توجه به قابلیت هایی که دارند در سیستم های نسل 4 یعنی LTE و LTE-A قابل پیاده سازی و بهره برداری بوده و مزایایی را برای این سیستم ها به همراه خواهند داشت. برای توضیح بهتر نقش C-RAN در افزایش توان عملیاتی نیاز هست که با تکنیک هایی از قبیل eICIC و CoMP آشنا شده و سپس این تکنیک ها را به ساختار C-RAN تعمیم بدهیم. همان طور که می دانید در سیستم های LTE منابع به صورت مشارکتی مورد استفاده قرار می گیرند. مسئولیت تخصیص منابع در این شبکه ها به عهده ی زمانبندی به نام eNB<sup>۱۹</sup> است که در ایستگاه پایه قرار دارد. نکته ی قابل توجه دیگر استفاده از تکنیک OFDMA می باشد که زمانبند را قادر می سازد که

<sup>19</sup> eNode B.





شکل ۷: محدودیت در اثر تاخیر [۲]

منابع را به صورت دینامیکی هم در حوزه ی زمان و هم در حوزه ی فرکانس به کاربران مختلف تخصیص دهد. با توجه به این که در سیستمهای LTE عموماً پارامتر استفاده ی مجدد از فرکانس برای تمامی سلول ها یک در نظر گرفته می شود، در نتیجه تداخل بین سلول های مجاور به شدت افزایش می یابد. برای رفع این مشکل دو روش عمده مطرح می شود: روش اول کاهش تداخل و روش دوم استفاده ی سازنده از تداخل. برای پیاده سازی روش اول از تکنیک ICIC یا eICIC استفاده می شود و برای روش دوم عمدتاً از تکنیک CoMP بهره می گیرند که توضیح نحوه ی عملکرد این تکنیک ها در مقاله ها به طور کامل بررسی شده است. در رابطه با کاهش تاخیر نیز می توان این گونه عنوان نمود که با قرار گرفتن BBU ها در مجاورت هم در ابر مدت زمان لازم برای انجام عمل hand off بین ایستگاههای پایه کاهش می یابد. زیرا عمل hand off در این حالت به جای ایستگاههای پایه در BBU ها صورت می گیرد

## ۵ چالشها و مشکلات در برخورد با ساختار C-RAN

### ۱.۵ دو چالش مهم مربوط به fronthaul

یکی از مشکلات پیش روی ساختار C-RAN در قسمت fronthaul به شرح زیر است.

□ محدودیت ظرفیت که به دو دلیل ایجاد می گردد که در ادامه ذکر شده است [۲].

□ نمونه برداری و کوانتیزاسیون اسکالر

□ تداخل رادیویی به صورت عمومی

□ محدودیت در اثر تاخیر که به سه دلیل ایجاد می شود که در ادامه ذکر شده است [۲].

□ تداخل هوا

□ انتقال سیگنال در قسمت fronthaul

□ پردازش واحد کنترل

انتقال سیگنال در قسمت fronthaul و پردازش واحد کنترل به نوع انتقال fronthaul بستگی دارد (بسیم یا

انتقال باسیم)

با استفاده از مخابرات فیبر نوری این مشکلات تا مقدار زیادی حل خواهد شد.

## ۲.۵ نحوه ی مشارکت BBU ها نحوه ی اتصال و خوشه بندی

همکاری بین ایستگاههای پایه بایستی به گونه ای باشد که از نظر زمانبندی و بررسی اطلاعات بازخورد کانالها به منظور مدیریت تداخل و همچنین سازگاری باتکنیک CoMP مورد بررسی قرار گرفته باشد. تکنیک هایی که برای اتصال BBU ها مورد استفاده قرار می گیرند بایستی از نظر امنیت، قابلیت اطمینان، پشتیبانی از پهنای باند وسیع، تاخیر کم و ... استاندارد های لازم را برآورده ساخته و نسبت به ساختار سنتی عملکرد بهتری را از خود نشان دهند.

## ۳.۵ نیاز به پهنای باند وسیعتر و تاخیر دقیق و کمتر

در ساختار شبکه ی C-RAN اطلاعات به صورت IQ بین RRH و BBU ها انتقال می یابند. طبق استانداردهایی که برای این شبکه تعریف شده است، انتظار می رود که هر BBU pool قابلیت خدمات دهی به 100 – 1000 ایستگاه

پایه را دارا باشد. بنابراین با توجه به پهنای باند مورد نیاز برای ارسال اطلاعات به صورت IQ حجم اطلاعاتی زیادی توسط لینک های نوری به سمت BBU pool ها سرازیر خواهد شد و پهنای باند بالایی مورد نیاز است. علاوه بر نیاز به پهنای باند بالا شبکه ی انتقال ما بایستی نیاز به جیتر و تاخیر دقیق در شبکه را برآورده کند، که در ادامه برخی از این قیود لازم آورده شده است.

□ دقت زمانی لازم برای همکاری بین ایستگاههای پایه بایستی در حدود  $0.5\mu sec$  باشد که مهم ترین شرط این

مبحث محسوب می شود.

□ صرف نظر از تاخیر حاصل از طول کابل تاخیر حاصل از رفت و برگشت اطلاعات کاربران بایستی از حدود

$5\mu sec$  بیشتر باشد

□ فاصله ی بین RRH و BBU ها بایستی از حد  $40km - 20$  تجاوز نکند و تاخیر حاصل از پردازش زیر فریم

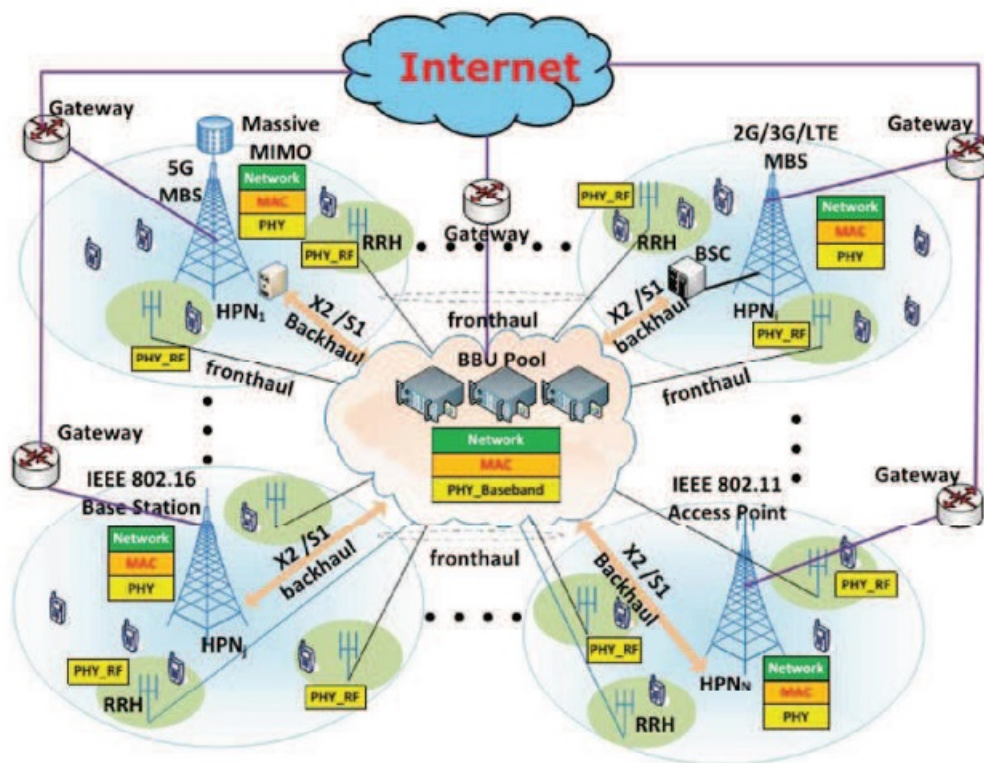
ها در لینک های ارتباطی بین RRH و BBU نیز بایستی از  $1ms$  کمتر باشد

## ۴.۵ محدودیت ظرفیت در backhaul

همچنین محدودیت ظرفیت در backhaul منجر به محدود کردن عملکرد انتقال در حالت مشارکت چند نقطه ای در C-RAN می گردد.

## ۵.۵ نیاز به شبکه های انتقال از ران

برای انتقال اطلاعات بین RRH و BBU از فیبر نوری استفاده می شود. فیبر نوری به دلیل سرعت در انتقال اطلاعات تلفات کم و قابلیت انتقال حجم بالایی از اطلاعات گزینه ی مناسبی برای شبکه های C-RAN به حساب می آید. با وجود محاسن گفته شده گران بودن و عدم دسترسی تمام اپراتورها به فیبر نوری از جمله مشکلاتی است که بایستی قبل از پیاده سازی شبکه های C-RAN بدان پرداخته شود. [۳]



شکل ۸: ساختار شبکه های دسترسی رادیویی نامتجانس [۷]

## ۶ شبکه های دسترسی رادیویی ابری نامتجانس (H-CRAN)

برای غلبه بر چالش های شبکه های C-RAN با محدودیت های fronthaul ، شبکه های دسترسی رادیویی نامتجانس (H-CRAN) معرفی گردید [۶، ۷، ۸].

### ۱.۶ ساختار شبکه ی H-CRAN

کاربر و صفحه ی کنترلگر در چنین شبکه هایی از هم مجزا می باشند. که در این شبکه ها ، نودهای توان بالا  $HPN^{20}$  ، عمدتاً برای فراهم کردن پوشش بدون درز و اجرای عملکرد صفحه کنترل می باشد. در حالی که RRH ها برای فراهم نمودن سرعت بالای نرخ داده برای انتقال بسته در ترافیک قرار گرفته اند. HPN ها از طریق لینکهای backhaul به

<sup>20</sup> High Power Node

BBU Pool متصلند ( برای هماهنگ کردن تداخل ).

ساختار این شبکه شبیه به ساختار C-RAN می باشد . همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده است ، تعداد زیادی RRH ، همراه با انرژی مصرفی کم در ساختار H-CRAN ، با یکدیگر در BBU Pool مرکزی ، همکاری می کنند تا گین مشترک بالایی بدست آورند. تنها ، فرکانس رادیویی جلو ، (RF) و عملکردهای پردازشی ساده ، در RRH ، صورت می گیرد ، در حالی که پردازشهای مهم دیگر ، در BBU Pool انجام می گیرد. همچنین تنها بخشی از عملکردها در لایه ی PHY در RRH به مشارکت می انجامد که این مدل در شکل (۸) نشان داده شده است.

اگرچه ، برخلاف C-RAN ، BBU Pool در H-CRAN ، به HPN ها متصلند که این، برای کاهش تداخل متقابل بین RRH ها و HPN ها از طریق محاسبات ابری متمرکز بر اساس تکنیکهای پردازشی مشترک می باشد. همچنین ، داده و واسط کنترل ، بین BBU Pool و HPN های  $S_1$  و  $X_2$  شناخته شده اند که تعریف آنها بر اساس تعریف استاندارد 3G ایجاد شده است.

همانطور که سرویسهای صدا ، می توانند به صورت بهینه در طول مد سوئیچ بسته در 4G فراهم گردند ، H-CRAN می تواند به طور همزمان سرویس صدا و داده را پشتیبانی کند. سرویس صدا مرجع به اداره از طریق HPN ها می باشد ، در حالی که ترافیک بسته ی پر داده ، بیشتر توسط RRH اداره می گردد. در مقایسه با ساختار C-RAN ، ساختار H-CRAN ، نیازهای fronthaul را بوسیله ی مشارکت HPN ها برطرف می سازد. با توجه به حضور HPN ها ، سیگنالهای کنترلی و سیمبلهای داده در H-CRAN جدا از هم می باشند. تمام کنترل کننده های سیگنال و سیستم هایی که اطلاعات را ارسال می نمایند ، توسط HPN ها به UE ، منتقل می گردد که منجر به سادگی در ظرفیت و در محدودیت تاخیر زمان در لینکهای fronthaul بین RRH ها و BBU Pool می گردد و منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی می گردد. همچنین ، برخی از ترافیک های شدید و ناگهانی <sup>۲۱</sup> و یا سرویس پیام همراه با مقدار داده ی کم ، می تواند به صورت بهینه توسط HPN ها پشتیبانی گردد. مکانیزم کنترل بین ارتباط داشتن و

نبود ارتباط ، توسط H-CRAN پشتیبانی می گردد که منجر به حفظ کردن مقدار قابل توجهی Overhead در رادیو بوسیله ی مکانیزم ارتباط جهت دار خالص می گردد. در RRH ، تکنولوژی های مختلف انتقال در لایه ی PHY ، قابل استفاده برای بهبود نرخ انتقال (همانند موج میلیمتری و نور مرئی) می گردد. در HPN ها، MIMO<sup>۲۲</sup>، یکی از راه های افزایش پوشش در بهبود ظرفیت می باشد.

## ۲.۶ چالشهای پیش روی H-CRAN

متاسفانه ، H-CRAN در عمل دچار چالشهایی است.

□ اولین چالش به این دلیل است که با معروفتر شدن موقعیتهایی که بر اساس کاربردهای اجتماعی است ، داده های ترافیکی در طول مسیر fronthaul از RRH به BBU Pool، با افزایش موج زیادی از داده های زائد همراه است که منجر به بدتر شدن محدودیت fronthaul می گردد.

□ همچنین H-CRAN ، از تمامی فواید پردازشی و ظرفیت ذخیره در ابزارهای پردازشی و الکترونیکی همانند RRH و تلفن های هوشمند (UE) ، که راه های رسیدن به موفقیت در این ساختار است ، استفاده نمی کند .

□ همچنین ، اپراتورها ، نیاز به استقرار تعداد زیادی RRH و HPN ثابت در H-CRAN ، می باشند تا به ماکسیمم

ظرفیت دسترسی پیدا کنند. ولی در زمانهایی مه ترافیک زیاد نیست ، منجر به اتلاف شدیدی می شود.

<sup>22</sup> Multiple Input Multiple Output

## ۷ C-RAN و H-CRAN

### ۱.۷ تفاوت و شباهت های این دو ساختار

تفاوت عمده ی بین این دو ساختار در این است که در H-CRAN ، عملگر کنترل مرکزی از BBU Pool به HPN منتقل گردیده است. [۸]

در هر دو ساختار، عملگرهای CRSP<sup>۲۳</sup> و ذخیره سازی اطلاعات در سرور ابر مرکزی ، صورت می گیرد که نیاز به تعداد زیادی دستگاه های فرستنده (موبایل) و انتقال داده به سرعت کافی از طریق BBU Pool می باشد.

### ۲.۷ مشکلات پیش روی این دو ساختار

مهمترین مشکلات این دو ساختار ، تاخیر انتقال زیاد و سنگینی حمل اطلاعات بر روی fronthaul می باشد. روش ساده ی رای حل این مشکل :

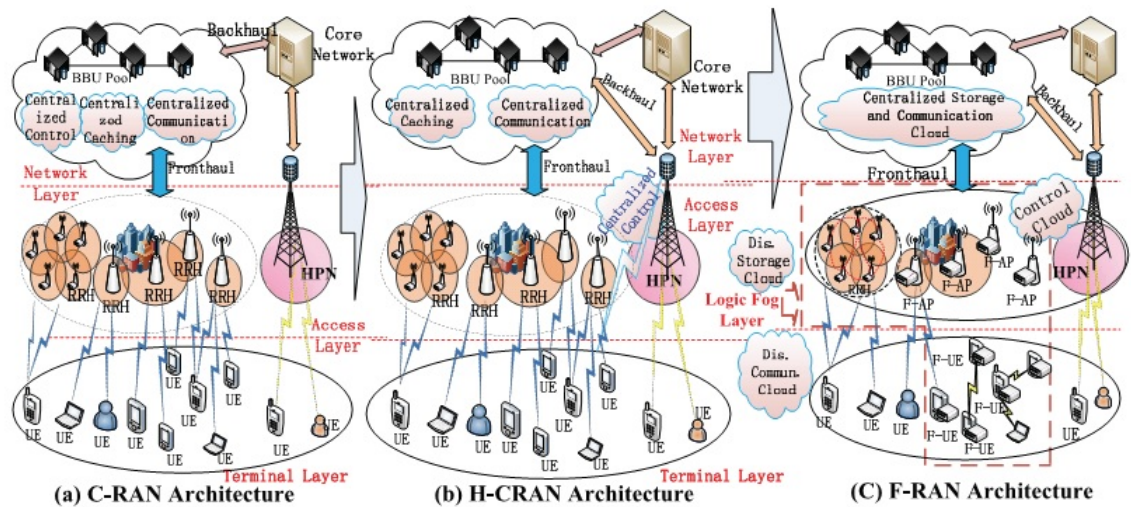
□ جلوگیری از انتقال تمام داده ها به BBU Pool شویم و بخشی از پردازش اطلاعات را در RRH های محلی و همچنین وسایل الکترونیکی هوشمند انجام دهیم.

□ جلوگیری کنیم از اینکه همه ی ترافیک به طور مستقیم از سرور ابر متمرکز منتقل شود، برخی از ترافیک محلی باید از ذخیره RRH های مجاور تحویل گردد.

## ۸ ارائه ی پیشنهاد سیستم جایگزین (F-RAN)

برای حل کردن مشکلات H-CRAN و C-RAN، نیاز به معرفی ساختار جدید دیگری می باشیم که آن را F-RAN می نامیم. F-RAN تمام ویژگی های مثبت محاسبات ابری و شبکه های نامتجانس و محاسبات مهی را همزمان در

23 Collaboration Radio Signal Processing



شکل ۹: سیر تحولات شبکه های رادیویی ابری [۸]

بر می گیرد. محاسبات مهی ، اصطلاحی برای جایگزین کردن محاسبات ابری است که مقدار قابل توجهی از ذخیره سازی ، ارتباطات ، کنترل کردن ، اندازه گیری و مدیریت را در لبه ی شبکه انجام می دهد (نه در کانال و ابر مرکزی) [۸، ۶، ۹].

## ۱.۸ ساختار سیستمهای F-RAN

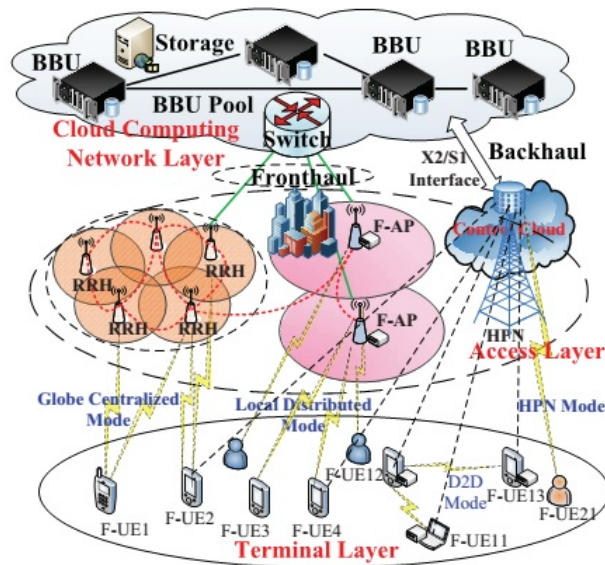
سیستمهای F-RAN تحولی از سیستمهای C-RAN می باشد که در شکل (۹) نشان داده شده است. برخی از ارتباطات توزیع شده و عملکردهای ذخیره سازی در منطق لایه ی مه قرار دارد. همچنین چهار نوع ارتباطات ابری تعریف شده است.

□ ابر ذخیره گر و ارتباطات مرکزی جامع : که همانند ابر مرکزی C-RAN می باشد

□ ابر کنترل گر مرکزی : که برای تکمیل عملکردهای کنترلی می باشد و در HPN ها قرار دارد

□ ابر ارتباطات منطقی توزیع شده که در برنامه های محاسبات مهی و ابزار های این محاسبات قرار دارد.





شکل ۱۰: مدل سیستم F-RAN [۸]

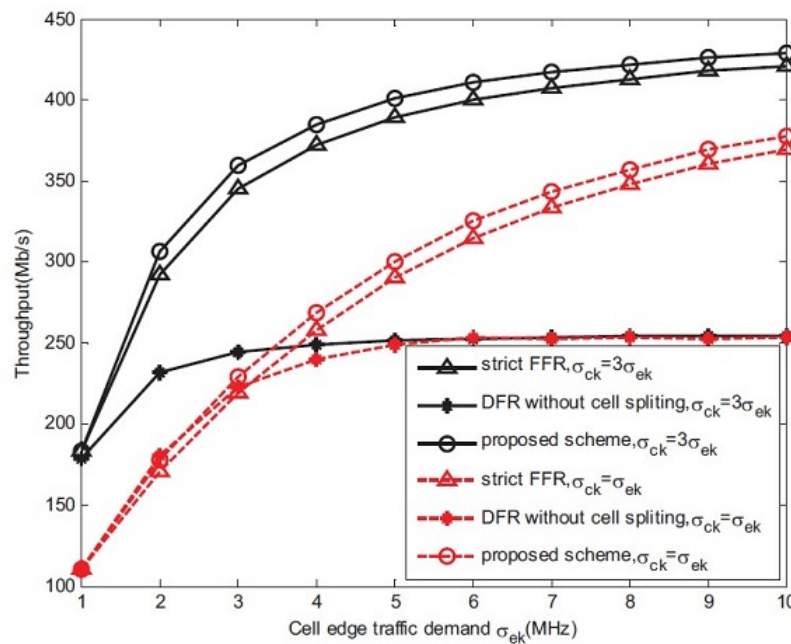
□ ابر ذخیره گر منطق توزیع شده: که همانند قبل در F-RAN قرار دارد.

در این ساختار ، برای کاهش تاخیر ناشی از انتقال داده ها به ابر مرکزی ، ساختار های RRH را دارای حافظه قرار می دهیم که برای ارتباطات محلی، به جای اینکه پردازش ها در BBU Pool صورت بگیرد، بدون نیاز به انتقال به ابر مرکزی، درون RRH ها انجام پذیرد.

## ۹ برخی از کاربردهای شبکه ی C-RAN

### ۱.۹ تخصیص منابع مبتنی بر مدولاسیون OFDM

هدف از متد ارائه شده در برخی مقالات را می توان تخصیص منابع بین سلول ها با در نظر گرفتن تداخل بین سلول و هم چنین کاهش تعداد BBU های فعال عنوان کرد. نحوه ی تخصیص به ۲ بخش تقسیم شده و به طور جداگانه بررسی شده است. بخش اول و اصلی تخصیص منابع بین ناحیه های لبه سلول ها می باشد که بایستی تداخل در نظر



شکل ۱۱: توان عملیاتی تمام کاربران سلول [۱۰]

گرفته شده و بدان منظور از روش graph coloring استفاده شده است و بخش دوم تخصیص منابع بین ناحیه های مرکزی می باشد که بنا به تخصیص های صورت گرفته در بخش اول انجام می شود. در ادامه عملکرد متد ارائه شده برای تخصیص منابع مبتنی بر شبکه C-RAN بررسی شده و مورد ارزیابی قرار می گیرد. در سناریو مورد نظر شبکه ای شامل ۹ سلول در نظر گرفته و پهنای باندی که به هر BBU تخصیص داده می شود را برابر  $B = 20 MHz$  در نظر گرفته و تابع توزیع احتمال ترافیک شبکه را نیز گوسی در نظر می گیریم. دو پارامتر  $\sigma_{ek}$  و  $\sigma_{ck}$  به ترتیب نشانگر پهنای باند مورد نیاز ناحیه ی لبه و ناحیه ی مرکزی سلول می باشند. پهنای باند مورد نیاز به صورت مستقل و یکسان بین تمام سلولها توزیع شده است. [۱۰] در شکل (۱۱) توان عملیاتی تمام کاربران سلول چه کاربران نواحی مرکزی یا لبه مورد بررسی قرار گرفته است. در این دو دسته نمودار حاصل می نمودار با انتخاب  $\frac{\sigma_{ck}}{\sigma_{ek}} = \frac{1}{3}$  شود که وابستگی عملکرد به تغییرات ترافیک را نشان می دهند. در نمودار های مذکور متد جدیدی تحت عنوان DFR بدون تجزیه ی سلول نیز مشاهده می شود که نحوه ی تخصیص مطابق روش ارایه شده ما می باشد با این تفاوت که نواحی

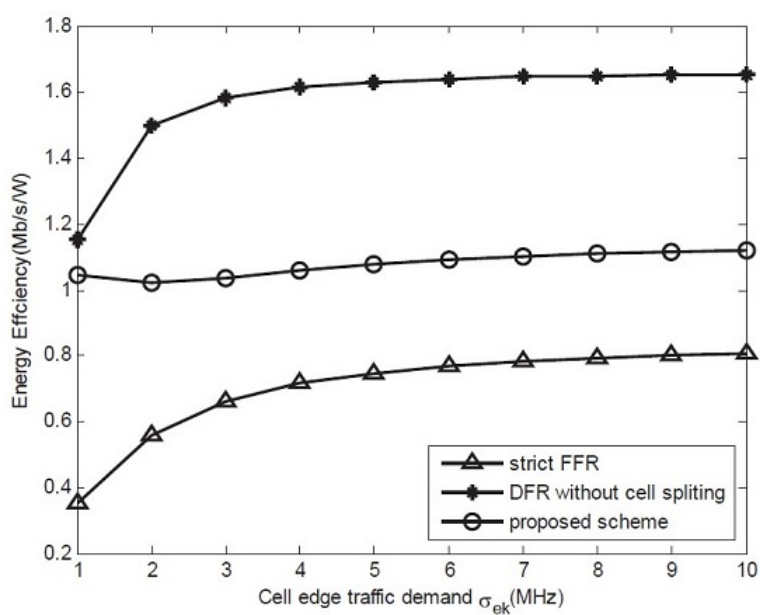
لبه و مرکزی تفکیک نشده و کل سلول واحد در نظر گرفته شده است. با هر دو انتخاب ممکن برای نسبت ترافیک ها می توان مشاهده کرد که متد ما عملکرد بهتری را از خود به نمایش می گذارد. متد DFR بدون تفکیک سلول نیز بدترین عملکرد را از خود نشان می دهد زیرا نمی تواند به طور بهینه از منابع استفاده کند در شکل های (۱۲) و (۱۳) نیز عملکرد بهره وری انرژی هر ۳ متد مورد نقد و بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است که میزان بهره وری انرژی به نسبت توان عملیاتی تمام کاربران به توان تمام BBU های فعال اطلاق می شود. با توجه به نمودار ها بدترین عملکرد متعلق به روش FFR معمول می باشد زیرا به ازای هر سلول از یک BBU مجزا استفاده می شود. نکته ی قابل توجه در این نمودار عملکرد بهتر متد DFR بدون تفکیک سلول نسبت به متد ارائه شده است. علت این امر نیز استفاده از BBU های کمتر از  $\frac{M}{3}$  می باشد. هر چند اگر ما تعداد کمتری کاربر در هر سلول داشته باشیم و حجم ترافیکی کاهش یابد، نتایج حاصل از متد ارائه شده از متد DFR بدون تفکیک سلول پیشی گرفته و بهترین عملکرد را از خود نشان می دهد که نتایج مذکور در شکل (۱۳) قابل مشاهده است. در این نمودار فرض

$$\sigma_{ek} = \sigma_{ck}$$

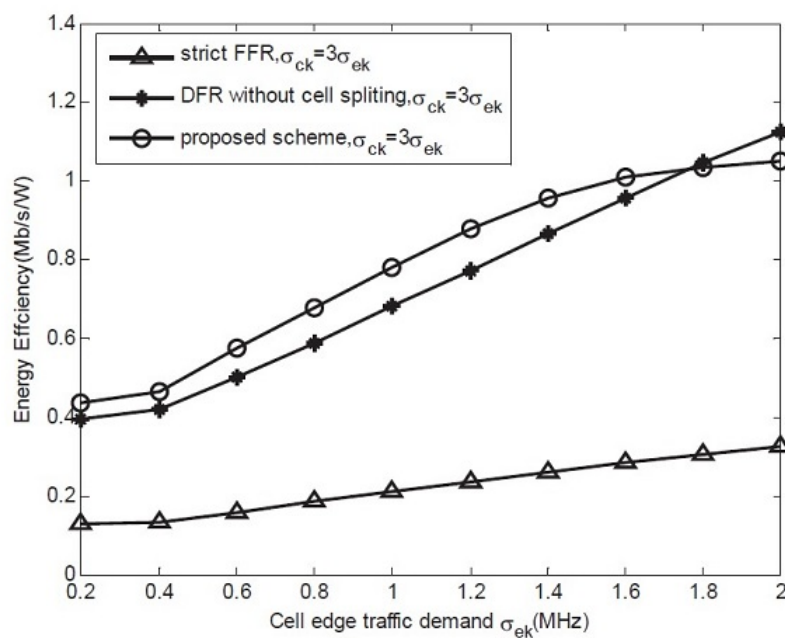
رعایت شده و میزان  $\sigma_{ek}$  بین ۲۰ و ۲ انتخاب می شود با مفروضات انجام شده تعداد BBU های فعال در هر دو متد یکسان شده و چون توان عملیاتی کاربران در متد ارائه شده بهتر است پس متد مذکور در این نمودار نیز بهترین عملکرد را نسبت به ۲ متد دیگر از خود نشان می دهد.

## ۱۰ تخصیص توان و خوشه بندی شبکه های رادیویی ابری

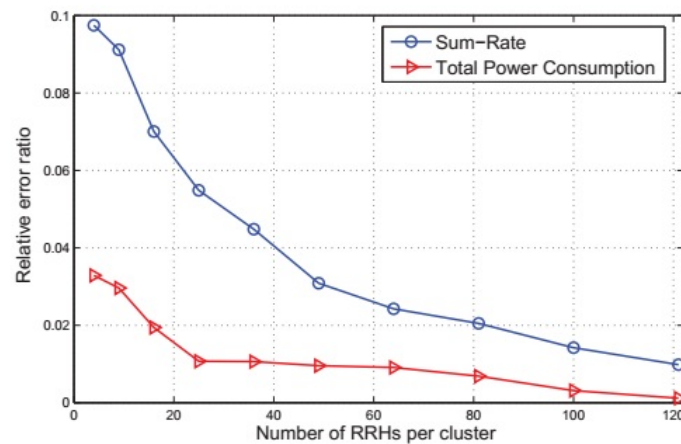
برای کاهش پیچیدگی این نوع شبکه ها ، می توان از تکنیک های خوشه بندی در طراحی و چینش RRH ها استفاده کرد. برای بهبود بازدهی انرژی و توان نیز می توان تخصیص توان و خوشه بندی شبکه های رادیویی ابری را همزمان با



شکل ۱۲: بهره وری انرژی در حضور ترافیک معمول [۱۰]



شکل ۱۳: بهره وری انرژی در حضور ترافیک محدود [۱۰]



شکل ۱۴: نسبت خطا به تعداد RRH در هر خوشه [۱۰]

هم انجام داد. که این مبحث یکی از بحث های داغ در شبکه های رادیوی ابری می باشد که با روش های بهینه سازی به طور همزمان به تخصیص توان و بدست آوردن تعداد خوشه ها خواهیم رسید . حتی برای خوشه بندی به طور تنها نیز می توان از روش K Means استفاده کرد . در شکل ۱۴ نموداری از نسبت خطا به تعداد RRH در هر خوشه رسم شده است.

## ۱۱ نتیجه گیری

در این فصل، نسل پنجم مخابرات یعنی 5G و ساختار جدید C-RAN که مورد توجه در این نسل مخابرات است، مورد بررسی قرار گرفته شده و مزایا و چالش های پیش روی آن به طور مختصری بیان کرده ایم . همچنین ساختارهای جدیدی که ساختارهای تعمیم یافته ی C-RAN می باشد را مورد بررسی قرار داده ایم. این ساختارهای جدید قابلیت کاهش هزینه های ساخت و بهره برداری از شبکه و هم چنین بهبود کارایی سیستم از لحاظ پوشش دهی و تحرک پذیری را دارا می باشد و شاید بتوان افزایش بهره ی انرژی را جزو مهمترین مزایای این ساختار عنوان کرد.

## ۱۲ خلاصه ای از فصلهای آتی

در فصلهای بعدی، مدل سیستم ساختار C-RAN مورد بررسی قرار می گیرد. در فصل ۲ به کارهای گذاشته و مدل سیستمهای گذشته در لینک فروسو و فراسو می پردازیم و مفهومی به نام بازدهی انرژی<sup>۲۴</sup> را بیان می کنیم و هدفمان در این فصول بیشینه سازی مجموع نرخ های قابل دسترس و بیشینه سازی بازدهی انرژی می باشد. در فصل سوم به بررسی مدل سیستم جدیدی می پردازیم که نسبت کارهای قبلی تغییرات اندکی کرده است و در فصل چهارم نیز مدل سیستمی با تغییرات بیشتری را در نظر داریم و در نهایت در فصل پنجم به نتیجه گیری تمام فصل ها پرداخته می شود.

---

.24 Energy efficiency

## مراجع

- [1] MS Windows NT kernel description. <https://www.slideshare.net/Netmanias/201207c-ran-brief-introduction>. Accessed: 2017-08-14.
- [2] *Cloud Radio Access Networks: Challenges and (Some) Solutions-Conferce ppt* (2015).
- [3] ATAYI, M. Optimization of energy consumption in cloud radio access network. Master's thesis, Amirkabir University, 2016-2017.
- [4] CHECKO, A., CHRISTIANSEN, H. L., YAN, Y., SCOLARI, L., KARDARAS, G., BERGER, M. S., AND DITTMANN, L. Cloud ran for mobile networks—a technology overview. *IEEE Communications surveys & tutorials* 17, 1 (2015), 405–426.
- [5] NAMBA, S., MATSUNAKA, T., WARABINO, T., KANEKO, S., AND KISHI, Y. Colony-ran architecture for future cellular network. 1–8.
- [6] PARK, S.-H., SIMEONE, O., AND SHITZ, S. S. Joint optimization of cloud and edge processing for fog radio access networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications* 15, 11 (2016), 7621–7632.
- [7] PENG, M., LI, Y., JIANG, J., LI, J., AND WANG, C. Heterogeneous cloud radio access networks: A new perspective for enhancing spectral and energy efficiencies. *IEEE Wireless Communications* 21, 6 (2014), 126–135.
- [8] PENG, M., YAN, S., ZHANG, K., AND WANG, C. Fog-computing-based radio access networks: issues and challenges. *IEEE Network* 30, 4 (2016), 46–53.
- [9] SHIH, Y.-Y., CHUNG, W.-H., PANG, A.-C., CHIU, T.-C., AND WEI, H.-Y. Enabling low-latency applications in fog-radio access networks. *IEEE Network* 31, 1 (2017), 52–58.
- [10] WANG, K., ZHAO, M., AND ZHOU, W. Graph-based dynamic frequency reuse in cloud-ran. in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014 IEEE* (2014), IEEE, pp. 105–110.