

دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر  
گروه شبکه



## تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز با برش دهی شبکه

پروپزال برای دکتری در رشته مهندسی برق  
گرایش مخابرات سیستم

مژده کربلایی مطلب

استاد راهنما

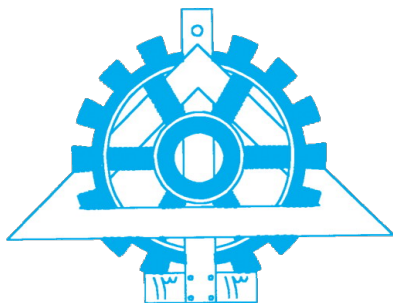
دکتر شاه منصوری

مهر ۱۳۹۹









دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر  
گروه شبکه



## تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز با برش دهی شبکه

پروپزال برای دکتری در رشته مهندسی برق  
گرایش مخابرات سیستم

مژده کربلایی مطلب

استاد راهنما

دکتر شاه منصوری

مهر ۱۳۹۹



دانشگاه تهران  
پردیس دانشکده‌های فنی  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر



## گواهی دفاع از پروپزال دکتری

هیأت داوران پروپزال دکتری آقای / خانم مژده کربلایی مطلب به شماره دانشجویی ۸۱۰۱۹۶۰۷۴ در رشته مهندسی برق - گرایش مخابرات سیستم را در تاریخ ..... با عنوان «تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز با برش‌دهی شبکه»

به عدد	به حروف
<input type="text"/>	<input type="text"/>

با نمره نهایی

و درجه

ارزیابی کرد.

ردیف	مشخصات هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر شاه منصوری	دانشیار	دانشگاه تهران	
۲	استاد داور داخلی	دکتر داور داخلی	دانشیار	دانشگاه تهران	
۳	استاد مدعو	دکتر داور خارجی	دانشیار	دانشگاه داور خارجی	
۴	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر نماینده	دانشیار	دانشگاه تهران	

نام و نام خانوادگی معاون آموزشی و تحصیلات

تکمیلی پردیس دانشکده‌های فنی:

تاریخ و امضا:

نام و نام خانوادگی معاون تحصیلات تکمیلی و

پژوهشی دانشکده / گروه:

تاریخ و امضا:

## تعهدنامه اصالت اثر

باسمه تعالی

اینجانب مؤده کربلایی مطلب تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پروپزال حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پروپزال قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتری ارائه نشده است.

نام و نام خانوادگی دانشجو: مؤده کربلایی مطلب  
تاریخ و امضای دانشجو:

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر  
متعلق به دانشگاه تهران است.



تقديم به:

پدر و مادرم

## قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را به زیور عقل آراست.  
در آغاز وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای خود، جناب آقای دکتر ... و ...، صمیمانه  
تشکر و قدردانی کنم که در طول انجام این پایان‌نامه با نهایت صبوری همواره راهنما و مشوق من بودند و قطعاً  
بدون راهنمایی‌های ارزنده ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.  
از جناب آقای دکتر ... که زحمت مشاوره، بازبینی و تصحیح این پایان‌نامه را تقبل فرمودند کمال امتنان را  
دارم.

با سپاس بی‌دریغ خدمت دوستان گران‌مایه‌ام، خانم‌ها ... و آقایان ... در آزمایشگاه ...، که با همفکری مرا  
صمیمانه و مشفقانه یاری داده‌اند.

و در پایان، بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می‌کنم  
وجود مقدس‌شان را و تشکر می‌کنم از خانواده عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که  
بهترین پشتیبان من بودند.

مژده کربلایی مطلب

مهر ۱۳۹۹

## چکیده

در این پروپزال، ساختار رادیویی دسترسی باز (ORAN) در نسل پنجم معرفی می‌شود و تخصیص منابع در آن در نظر گرفته می‌شود. شبکه دسترسی رادیویی باز از ترکیب C-RAN و xRAN بدست آمده‌است. معماری ORAN برای ایجاد زیرساخت‌های RAN نسل بعدی طراحی شده است. معماری ORAN با تکیه بر اصول هوشمندی و باز بودن، پایه و اساس ساخت RAN مجازی بر روی سخت افزار آزاد، با کنترل رادیویی ایجاد شده توسط هوش مصنوعی است که توسط اپراتورهای سراسر جهان پیش بینی شده است. ORAN، المانهای شبکه ی دسترسی رادیویی را مجازی می‌کند، آنها را جدا کرده و رابط‌های باز مناسب را برای اتصال این عناصر تعیین می‌کند. همچنین، ORAN از روشهای یادگیری ماشین برای هوشمندسازی لایه‌های RAN استفاده می‌نماید.

در اینجا، مسئله‌ی برش شبکه در بخش رادیویی و قراردگیری توابع مجازی شبکه بر روی مراکز داده باهم در شبکه‌ی دسترسی رادیویی باز مورد بررسی قرار گرفته است. بخش رادیویی مدل سازی شده و تاخیر و نرخ و پارامترهای دیگر بدست می‌آید. در این شبکه سرویسهای مختلف در نظر گرفته شده که شامل تعدادی کاربر است که تقاضای استفاده از آن سرویس را دارد. همچنین تعدادی برش شبکه فرض شده است که شامل منابع فیزیکی، واجد رادیویی و واحد توزیع شده و مرکزی می‌باشد. واحد توزیع شده و مرکزی نیز شامل توابع شبکه‌ی مجازی هستند که پردازشها را انجام می‌دهند. فرض براین است که کاربران بر اساس سرویس مورد نیاز، دسته بندی می‌شوند و هدف تخصیص برشهای شبکه به سرویسهاست و سپس تخصیص منابع فیزیکی محاسباتی به این برشهای اختصاص یافته به سرویسها می‌باشد.

برای حل این مسئله، ابتدا مسئله را به دو مسئله‌ی کوچکتر مختلف شکسته که در بخش اول، تخصیص برش شبکه به کاربران سرویسها و تخصیص توان در ساختار رادیویی باز حل شده و پس از آن، برشهایی از شبکه که به سرویس اختصاص داده شده را به مراکز داده نگاشت می‌دهیم. در این مسئله، تاخیر و نرخ هر کاربر در سرویس مورد بررسی قرار گرفته شده و چالش تخصیص منابع که شامل برش بخش رادیویی به هر سرویس است و جاگیری توابع شبکه حل می‌شود. جواب بهینه با استفاده از نرم‌افزار MOSEK و CVX در MATLAB بدست می‌آید. همچنین روش ابتکاری، برای حالت متمرکز، در نظر گرفته شده است که مسئله‌ی اول شامل مسئله‌ی بسته‌بندی جعبه و تخصیص توان است که چون یک مسئله‌ی NP-Hard می‌باشد در دو بخش به صورت تکراری برای تخصیص سرویس به برش و بدست آوردن توان حل می‌شود که بخش تخصیص توان به یک مسئله‌ی محدب تبدیل می‌شود و مسئله‌ی دوم نیز یک مسئله‌ی سه بعدی بسته بندی جعبه است که حل دو بخش بسته بندی جعبه،

بر اساس مرتب کردن بسته‌ها به ترتیب با استفاده از اندازه‌گیری بر مبنای پارامترهای آن، بدست می‌آید. سپس مسئله به صورت ساده‌تر به دو مسئله‌ی بسته‌بندی جعبه و کوله‌پشتی نوشته شده و برای حالت دینامیکی متغیر با زمان با روش یادگیری تقویتی حل می‌شود.

**واژگان کلیدی** تخصیص برش شبکه، شبکه‌ی دسترسی رادیویی باز، توابع مجازی شبکه

# فهرست مطالب

ث	فهرست تصاویر
چ	فهرست جداول
ح	فهرست الگوریتم‌ها
ح	فهرست برنامه‌ها
خ	فهرست اختصارات
۱	فصل ۱: مقدمه
۱	۱.۱ مقدمه ای بر 5G و 6G
۴	۱.۱.۱ نسل چهارم مخابرات
۵	۲.۱.۱ نسل پنجم مخابرات
۵	۳.۱.۱ نسل ششم مخابرات
۷	۲.۱ مقدمه ای بر ساختار ORAN
۸	۱.۲.۱ مقدمه ای بر ساختار شبکه‌های دسترسی رادیویی C-RAN
۸	۱.۱.۲.۱ ساختار شبکه‌های مختلف
۹	۲.۱.۲.۱ ساختار سنتی ایستگاه پایه
۹	۳.۱.۲.۱ ساختار ایستگاه پایه و واحد رادیویی
۱۰	۴.۱.۲.۱ ساختار C-RAN
۱۵	۲.۲.۱ xRAN

۱۶	vRAN	۳.۲.۱
۱۷	مقدمه ای بر ORAN	۴.۲.۱
۲۱	ساختار ORAN	۱.۴.۲.۱
۲۳	آسیب پذیری ها و تهدیدها در معماری ORAN	۲.۴.۲.۱
۲۷	مجازی سازی توابع شبکه	۳.۱
۳۰	زیرساخت تعریف شده توسط نرم افزار	۴.۱
۳۰	شبکه تعریف شده نرم افزار (SDN)	۱.۴.۱
۳۲	شبکه دسترسی رادیویی تعریف شده نرم افزار (SDRAN)	۲.۴.۱
۳۲	برش شبکه	۵.۱
۳۴	دستاوردهای پروژه	۶.۱
۳۵	ساختار پروژه	۷.۱
۳۵	نتیجه گیری	۸.۱
۳۶	مروری بر کارهای پیشین	فصل ۲:
۳۶	مقدمه	۱.۲
۳۶	مروری بر مسائل پیشین	۲.۲
۳۷	برش شبکه	۱.۲.۲
۴۰	همزمانی سرویسهای eMBB و URLLC	۲.۲.۲
۴۱	شبکه های دسترسی رادیویی باز	۳.۲.۲
۴۲	قرار دادن VNF ها	۴.۲.۲
۴۳	روش های حل	۳.۲
۴۳	مسئله ی کوله پستی و بسته بندی جعبه	۱.۳.۲
۴۳	مسئله ی کوله پستی	۱.۱.۳.۲
۴۴	مسئله ی بسته بندی جعبه	۲.۱.۳.۲
۴۴	روشهای یادگیری تقویتی	۲.۳.۲
۴۶	مسائل امنیتی و تکنیک MTD	۳.۳.۲

۴۷	نتیجه گیری	۴.۲
۴۸	فصل ۳: تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز	
۴۸	مقدمه	۱.۳
۵۰	مدل سیستم و فرمولاسیون مسئله	۲.۳
۵۰	۱.۲.۳ مدل سیستم	
۵۱	۲.۲.۳ مدل سیگنال	
۵۳	۳.۲.۳ نرخ انتقال داده	
۵۴	۴.۲.۳ توان O-RU و ظرفیت Fronthaul	
۵۵	۵.۲.۳ میانگین تاخیر	
۵۶	۱.۵.۲.۳ تاخیر پردازشی	
۵۷	۶.۲.۳ توان VNF	
۵۸	۷.۲.۳ بیان مسأله	
۵۹	۱.۷.۲.۳ تخصیص PRB	
۶۰	۲.۷.۲.۳ مدیریت برش شبکه	
۶۱	فصل ۴: تخصیص برش شبکه به صورت دینامیکی	
۶۱	مقدمه	۱.۴
۶۱	مدل سیستم و صورت مسئله‌ی بخش رادیویی	۲.۴
۶۳	مدل سیستم و صورت مسئله‌ی بخش هسته	۳.۴
۶۴	حل مسئله به روش یادگیری تقویتی	۴.۴
۶۶	۱.۴.۴ نتایج عددی مسئله‌ی اول	
۶۷	۲.۴.۴ نتایج عددی مسئله‌ی دوم	
۷۰	نتیجه گیری	۵.۴
۷۱	فصل ۵: پیشنهادات و کارهای آتی	
۷۱	مقدمه	۱.۵

۷۱	نتیجه‌گیری	۲.۵
۷۲	مزایای این چالش و حل آن	۱.۲.۵
۷۲	معایب پروژه انجام شده	۲.۲.۵
۷۲	نوآوری‌های این پروژه	۳.۲.۵
۷۳	پیشنهادهات	۳.۵

۷۵ کتاب‌نامه

اول واژه‌نامهٔ فارسی به انگلیسی

دوم واژه‌نامهٔ انگلیسی به فارسی



# فهرست تصاویر

۱.۱	مقایسه قابلیت‌های کلیدی IMT-Advanced (نسل ۴) با IMT-2020 (نسل ۵) با توجه به
۳	ITU-R M.2083 [۱]
۲.۱	ساختار سنتی ایستگاه پایه [۲]
۹	
۳.۱	ساختار ایستگاه پایه و واحد رادیویی [۲]
۱۰	
۴.۱	ساختار C-RAN [۲]
۱۱	
۵.۱	ساختار شبکه‌ی C-RAN [۲]
۱۲	
۶.۱	ساختار شبکه‌های دسترسی ابری نامتجانس [۳]
۱۲	
۷.۱	مدل سیستم F-RAN [۴]
۱۴	
۸.۱	ساختار شبکه‌ی vRAN [۵]
۱۷	
۹.۱	ساختار شبکه‌ی ORAN [۶]
۱۸	
۱۰.۱	ساختار ORAN
۲۲	
۱۱.۱	ساختار O-Cloud
۲۳	
۱۲.۱	ساختار NFV [۷]
۲۸	
۱۳.۱	ساختار SDN [۸]
۳۱	
۱۴.۱	سه ساختار برش شبکه [۹]
۳۳	
۱.۲	روند برش شبکه [۱۰]
۳۸	
۲.۲	مدل پردازشی شبکه صف [۱۱]
۴۰	
۳.۲	یادگیری تقویتی
۴۵	
۴.۲	سناریوی ارسال لینک بالا و پایین در برشهای شبکه
۴۶	

۱.۳	برش شبکه در سیستم O-RAN	۴۹
۱.۴	نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده با استفاده از روش یادگیری تقویتی عمیق به نسبت	
۶۷	تعداد سرویسهای پذیرفته شده در حالت بهینه براساس زمان طی شده	
۲.۴	نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده روش استفاده شده به نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته	
	شده در حالت بهینه براساس زمان طی شده با افزایش تعداد ماکسیمم درخواستها و تعداد	
۶۸	برشهای شبکه	
۳.۴	میانگین تعداد سرویسهای پذیرفته شده در زمان در دو حالت بهینه و استفاده از الگوریتم	
۶۸	تقویتی با افزایش تعداد برشهای شبکه	
۴.۴	نسبت تعداد سرورهای مصرفی با روش بهینه به سرورهای مصرفی با استفاده از روش یادگیری	
۶۹	تقویتی براساس زمان طی شده	
۵.۴	نسبت مقدار هزینه مصرفی نرمالیزه شده به تعداد میانگین برشهای مورد نیاز در جالت	
۷۰	بهینه و الگوریتم یادگیری تقویتی	

## فهرست جداول

فهرست الگوریتم‌ها

فهرست برنامه‌ها



# فصل ۱

## مقدمه

### ۱.۱ مقدمه ای بر 5G و 6G

6G یا نسل ششم مخابرات نشان دهنده نسل بعدی فناوری های ارتباطی بی سیم هستند که انتظار می رود با قابلیت های پیشرفته شان، تجربیات ارتباطی ما را متحول کنند. شبکه های 6G با تکیه بر پایه های پیشین خود، قصد دارند پیشرفت های قابل توجهی را از نظر سرعت، ظرفیت، تأخیر و سایر شاخص های کلیدی عملکرد ارائه دهند و از این طریق مرزهای ارتباط بی سیم را دوباره تعریف کنند. یکی از ویژگی های این نسل، سرعت بسیار بالای آن خواهد بود. این شبکه های قدرتمند برای دستیابی به سرعت دانلود و آپلود بی سابقه پیش بینی می شوند و امکان اتصال یکپارچه برای چندین دستگاه را به طور همزمان فراهم می کنند. سرعت انتقال داده بسیار زیاد ارائه شده توسط شبکه های نسل ششم نه تنها دسترسی سریع تر به محتوای دیجیتال را تسهیل می کند، بلکه فناوری های نوظهوری مانند واقعیت افزوده (AR)، واقعیت مجازی (VR) و پخش ویدئو با کیفیت بالا را تقویت می کند و تجربه های همه جانبه ای را برای کاربر فراهم می کند.

5G، مخابرات نسل پنجم سیستم های بیسیم<sup>۱</sup> و شبکه های مخابراتی بعد از نسل چهارم می باشد که تکاملی از لایه ی فیزیکی در تکنولوژی شبکه های مخابراتی سیار همانند LTE است که نسبت به 4G سرعت و پوشش بهتری را فراهم می کند. 5G نوع جدیدی از شبکه را ایجاد می کند که به منظور اتصال تقریباً همه و همه چیز با هم از جمله ماشینها، اشیاء و دستگاه ها ساخته شده است. 5G فناوری بی سیم برای ارائه سرعت داده های چند گیگابایت بر ثانیه، تأخیر فوق العاده کم، قابلیت اطمینان بیشتر، ظرفیت شبکه گسترده، افزایش در دسترس بودن و تجربه کاربری یکنواخت تر به کاربران بیشتر است. عملکرد بالاتر و بهره وری بهبود یافته باعث افزایش تجربیات

<sup>1</sup>Wireless

کاربر جدید شده و صنایع جدیدی را به هم متصل می‌کند.

تکنولوژی سیگنال 5G برای پوشش فراگیرتر و بازدهی بهتر سیگنال ایجاد شده است. این پیشرفت‌ها منجر به تغییراتی از قبیل IOT<sup>۲</sup> و Pervasive Computing در آینده‌ی نزدیک خواهد شد. همچنین 5G منجر به توسعه و بهبود سرویس‌های مخابراتی و اینترنتی سیار و در ورای آن، ایجاد تجربه‌ی بهتری برای مصرف‌کنندگان خواهد شد.

برای توسعه‌ی اینترنت سیار و IOT، نیازمند استفاده از شبکه‌ی نسل پنجم هستیم تا به سادگی منجر به دسترسی شبکه برای ارتباط انسان‌ها با یکدیگر و ارتباط ماشین با انسان گردد.

به طور کلی، 5G در سه نوع سرویس اصلی متصل از جمله پهن باند تلفن همراه، IoT عظیم و ارتباطات مهم برای مأموریت استفاده.

۱. پهن باند تلفن همراه پیشرفته (eMBB) برای مقابله با نرخ داده‌های بسیار زیاد، تراکم بالای کاربران و ظرفیت ترافیک بسیار بالا برای سناریوهای مختلف و همچنین پوشش یکپارچه و سناریوهای تحرک بالا با نرخ داده‌های استفاده شده بهبود یافته است.

۲. ارتباطات عظیم ماشین (mMTC) برای IoT، برای تعداد بسیار زیاد دستگاه‌های متصل به مصرف کم و نرخ داده کم نیازمند می‌باشد.

۳. ارتباطات بسیار مطمئن و با تأخیر کم (URLLC) برای برنامه‌های کاربردی مهم برای ایمنی و مأموریت مورد توجه است.

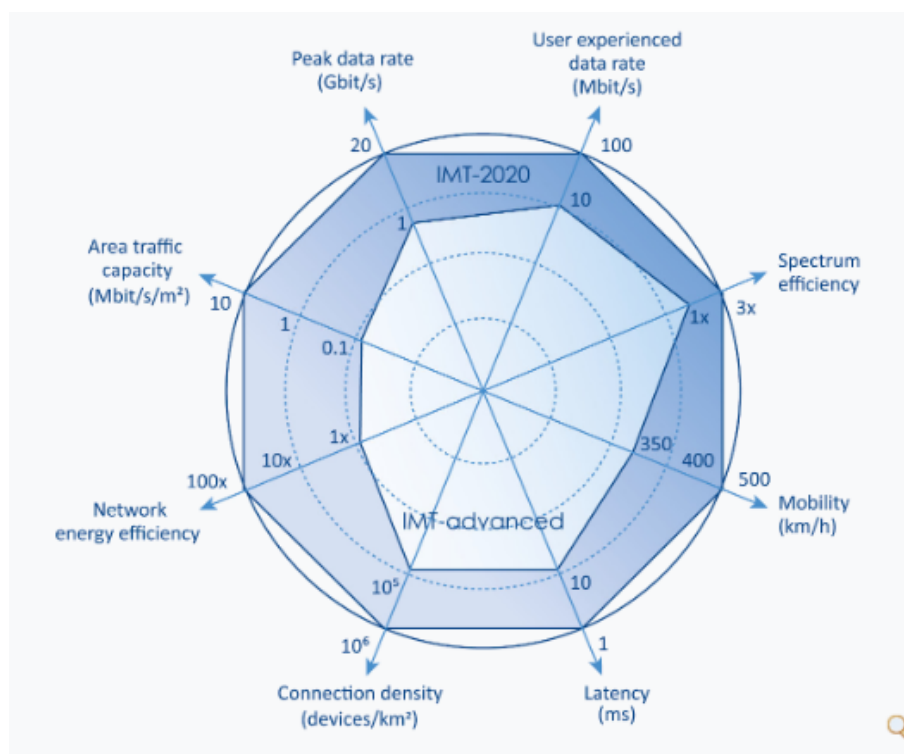
از آنجا که ساختار 5G کمتر به زیرساخت‌های 4G وابسته می‌شود و طیف بیشتری در دسترس قرار می‌دهد، تخمینها سرعت بارگیری را حداکثر ۱۰۰۰ برابر سریعتر از 4G در نظر دارد، که بالقوه از 10Gbps بیشتر است، که به شما امکان می‌دهد تا در کمتر از یک ثانیه فیلم کامل HD را بارگیری کنید. برخی تخمینها محافظه کارانه تر هستند، اما حتی محافظه کارانه‌ترین تخمین نیز این نسل را چندین ده برابر سریعتر از 4G قرار می‌دهد. دلایل نیاز به نسل پنجم اینترنت به طور خلاصه در ادامه بیان شده است [۱].

- ترافیک داده‌های تلفن همراه به دلیل پخش ویدئو به سرعت، رو به افزایش است.
- با در اختیار داشتن چندین دستگاه به طور همزمان، هر کاربر تعداد فزاینده‌ای از اتصالات را در اختیار دارد.

- اینترنت اشیاء به شبکه‌هایی نیاز دارد که میلیاردها دستگاه را اداره کنند.

<sup>2</sup>Internet of Things

- با وجود تعداد فزاینده‌ای از دستگاه‌های ارتباطی و افزایش ترافیک داده‌ها، هم دستگاه‌ها و هم شبکه‌ی آن نیازمند افزایش بهره‌وری انرژی هستند.
  - به دلیل تحت فشار قرار گرفتن اپراتورهای شبکه برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و همچنین به دلیل اینکه کاربران به تعرفه‌های نرخ مسطح عادت می‌کنند و مایل نیستند مبلغ بیشتری بپردازند.
  - فناوری ارتباطات سیار میتواند موارد استفاده جدیدی را ایجاد کند (به عنوان مثال موارد تاخیر فوق العاده کم یا قابلیت اطمینان بالا) و برنامه‌های جدید برای صنعت که منجر به درآمدزایی بیشتر اپراتورها می‌گردد.
- بنابراین عملکرد عملیاتی نسل پنجم می‌بایست به طور قابل توجهی افزایش یابد (به عنوان مثال افزایش راندمان طیفی، سرعت بالاتر داده، تأخیر کم). زیرساخت 5G می‌بایست در حالی که هنوز سطح قابل قبولی از مصرف انرژی، هزینه تجهیزات و استقرار شبکه و هزینه بهره‌برداری را ارائه می‌دهد، اینترنت اشیاء را به طور گسترده نیز تأمین کند. همچنین از طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و خدمات پشتیبانی کند.



شکل ۱.۱: مقایسه قابلیت‌های کلیدی IMT-Advanced (نسل ۴) با IMT-2020 (نسل ۵) با توجه به ITU-R M.2083 [۱]

یکی از دلایل مهم رفتن محققان به سمت نسل پنجم، سرعت و نرخ انتقال بیشتری است که در ادامه به آن



می‌پردازیم. نیاز بشریت به ارتباط تلفنی (انتقال بدون سیم به صورت زمان حقیقی<sup>۳</sup> انسان را به سمت نسل اول ارتباطات 1G سوق داده است. نسل دوم ارتباطات 2G با سرویسهای انتقال پیام کوتاه ایجاد شد. همچنین با موفقیت تکنولوژی شبکه‌های منطقه ای بیسیم، اتصال به داده‌های اینترنتی مورد توجه عموم مردم قرار گرفت که پلی به سوی نسل سوم ارتباطات 3G را فراهم نمود. به طور منطقی پله‌ی 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 داده‌ها در نقاط مختلف جهان بوده است که 4G یا نسل چهارم را به همراه داشته است. با توجه به افزایش تعداد کاربران تلفن‌های هوشمند و تبلت‌ها و افزایش نرخ ارسال اطلاعات و داده‌ها در طی سالهای اخیر طبق پیش بینی‌های سیسکو میزان ترافیک IP طی سالهای اخیر چندین برابر افزایش خواهد یافت. در نتیجه اپراتورها برای حل این مشکل و خدمات‌دهی بهتر ناچار به افزایش ظرفیت شبکه می‌باشند. در ادامه به طور مختصر به نسلهای اخیر مخابراتی می‌پردازیم [۱۲]. در ادامه مروری بر نسلهای مختلف مخابرات خواهیم داشت.

### ۱.۱.۱ نسل چهارم مخابرات

4G یک فناوری بسیار متفاوت در مقایسه با 3G است و هدف از آن، فراهم آوردن سرعت بالا، کیفیت بالا و ظرفیت بالا برای کاربران در عین بهبود امنیت و کاهش هزینه خدمات صوتی و دیتا، چندرسانه ای و اینترنت از طریق IP می‌باشد. برنامه‌های کاربردی بالقوه و جاری شامل دسترسی به وب موبایل اصلاح شده، تلفن تلفنی IP، خدمات بازی، تلویزیون همراه با کیفیت بالا، کنفرانس ویدیویی، تلویزیون سه بعدی و محاسبات ابری از قابلیت‌های پشتیبانی آن می‌باشد.

فن آوریهای کلیدی که این امکان را ایجاد کرده اند MIMO<sup>۵</sup> و OFDM<sup>۶</sup> می‌باشد. دو استاندارد مهم آن LTE<sup>۷</sup> و WiMAX می‌باشد. حداکثر سرعت یک شبکه 4G هنگام حرکت دستگاه ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه یا ۱ گیگابیت بر ثانیه برای ارتباطات کم تحرک مانند هنگام ایستادن یا راه رفتن است. تأخیر از حدود 300ms به 100ms با کاهش تراکم دست می‌یابد.

<sup>3</sup>Real Time

<sup>4</sup>smart phone

<sup>5</sup>Multiple Output Multiple Output

<sup>6</sup>Multiplexing Division Frequency Division

<sup>7</sup>Long Term Evolution

## ۲.۱.۱ نسل پنجم مخابرات

تکنولوژی ۵G یک استاندارد صنعتی است که جایگزین استاندارد رایج کنونی یعنی ۴G LTE خواهد شد. این فناوری پنجمین نسل از استاندارد سلولی است. طراحی این استاندارد به گونه‌ای است که سرعت آن از تکنولوژی ۴G LTE بسیار سریع تر است. البته هدف این استاندارد صرفاً افزایش سرعت اتصالات اینترنتی تلفنهای هوشمند نیست. این استاندارد، اینترنت بی سیم بسیار پر سرعتی را در همه جا و برای همه چیزها از جمله خودروهای متصل، خانه‌های هوشمند و ابزارهای اینترنت اشیا (IoT) فراهم خواهد کرد. کاهش مصرف انرژی معیاری است که در این نسل به آن توجه شده است و دستگاه‌های فرستنده و گیرنده اپراتورها باید در ساعت کم مصرف به حالت صرفه‌جویی انرژی وارد شده و به سرعت فعال شوند که این معیار در نسل چهارم قید نشده بوده است. با توجه به این که نرخ داده و ظرفیت در سیستمهای نسل چهارم به ظرفیت شانون نزدیک شده است، در نتیجه روشهایی که برای افزایش ظرفیت شبکه مورد استفاده میگیرند که به شرح زیر است:

- استفاده از تکنیک Massive MIMO

- استفاده از روشهای پردازشهای ابری

- شبکه‌ی تعریف شده‌ی نرم‌افزاری SDN<sup>۸</sup>

- موج میلیمتری<sup>۹</sup>

- ساختار شبکه‌های دسترسی رادیویی باز ORAN<sup>۱۰</sup>

- مجازی سازی توابع شبکه NFV<sup>۱۱</sup>

- برش شبکه<sup>۱۲</sup>

## ۳.۱.۱ نسل ششم مخابرات

نسل ششم شبکه‌های مخابراتی (6G) ظرفیت شبکه را تا  $10 \text{ Gbps/m}^3$  افزایش داده است. همچنین، این نسل تاخیر انتها به انتها زیر ۱ms و نرخ انتقال داده‌ی بالای ۱Tbps را در نظر گرفته است. قابلیت‌های 6G برنامه‌ها

<sup>8</sup>Software Defined Networking

<sup>9</sup>mm Wave

<sup>10</sup>Open Radio Access Network

<sup>11</sup>Network Function Virtualization

<sup>12</sup>Network Slicing

و سرویس‌های جدیدی از جمله ارتباطات هولوگرافیک، تعامل بی‌سیم مغز و ماشین، رانندگی خودکار و غیره را باز می‌کند. [۱۳].

در حوزه ارتباطات بی‌سیم، 6G نشان‌دهنده تغییر پارادایم بعدی است که چندین ویژگی و پیشرفت جدید را در مقایسه با نسل‌های قبلی خود معرفی می‌کند. این بخش پیشرفت‌ها و نوآوری‌های کلیدی پیش‌بینی‌شده در شبکه‌های 6G را با تکیه بر تحقیقات دانشگاهی و بینش‌های متخصص مورد بحث قرار می‌دهد.

- ارتباط تراهرتز (THz): یکی از پیشرفت‌های اولیه در 6G استفاده از فرکانس‌های تراهرتز برای ارتباطات بی‌سیم است. امواج تراهرتز در مقایسه با فرکانس‌های امواج مایکروویو و میلی‌متری استفاده شده در نسل‌های قبلی، پهنای باند بسیار بالاتری را ارائه می‌دهند. این امر امکان افزایش مرتبه‌ای در نرخ داده‌ها را فراهم می‌آورد و فرصت‌های جدیدی را برای برنامه‌های کاربردی با پهنای باند فشرده مانند پخش ویدئو با کیفیت فوق‌العاده، ارتباطات هولوگرافیک و تجربه‌های واقعیت مجازی فراگیر باز می‌کند.

- extreme-MIMO: یکی از مهم‌ترین تغییرات در نسل ششم، استفاده از تعداد آنتنهای بسیار زیاد در ورودی و خروجی می‌باشد. در این نسل مخابرات هدف قرار دادن ۱۰۲۴ المان آنتن در واحدهای رادیویی می‌باشد. پهنای باند در این حالت از ۱۰۰MHz به ۴۰۰MHz می‌رسد و تعداد فرستنده و گیرنده به ۵۱۲ تا ارتقا می‌یابد.

- FR3: باند جدید فرکانسی FR3 که شامل باند فرکانسی ۷ – ۱۵GHz می‌باشد.

- شبکه‌های مجهز به هوش مصنوعی: انتظار می‌رود تکنیک‌های هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین نقش مهمی در شبکه‌های 6G ایفا کنند. هوش مصنوعی را می‌توان برای کارهای مختلفی مانند تخصیص منابع هوشمند، بهینه‌سازی شبکه، مدیریت تداخل و تجزیه و تحلیل پیش‌بینی‌کننده استفاده کرد. با به کارگیری الگوریتم‌های هوش مصنوعی، شبکه‌های 6G می‌توانند با محیط‌های پویا و پیچیده سازگار شوند، عملکرد سیستم را بهینه کنند و خدمات شخصی‌سازی شده را متناسب با نیازهای کاربر ارائه دهند.

- ارتباطات و امنیت کوانتومی: پیش‌بینی می‌شود که ارتباطات کوانتومی و رمزنگاری اجزای جدایی‌ناپذیر شبکه‌های 6G باشند و نگرانی‌های امنیتی در حال رشد در عصر دیجیتال را برطرف کنند. ارتباطات کوانتومی از اصول مکانیک کوانتومی برای اطمینان از انتقال ایمن اطلاعات، ارائه سطوح بی‌سابقه‌ای از رمزگذاری و محافظت در برابر استراق سمع استفاده می‌کند. ترکیب فناوری‌های کوانتومی در شبکه‌های 6G امنیت و حریم خصوصی داده‌های کاربر و کانال‌های ارتباطی را افزایش می‌دهد.

## ۲.۱ مقدمه‌ای بر ساختار ORAN

مجازی‌سازی سازی RAN توجه زیادی را از طرف اپراتورها به خود جلب می‌کند، زیرا منجر به کاهش هزینه‌های اپراتور و opex می‌شود و همچنین این امکان را برای آنها فراهم کرده تا با سرعت بیشتری قابلیت‌های جدیدی به شبکه اضافه کنند.

این احتمال وجود دارد که همه این علاقه‌ها در ایجاد سه گروه مختلف باشد - انجمن xRAN، گروه OpenRAN شرکت Telecom Infra و ابتکار عمل Open VRAN که برای شرکت سیسکو می‌باشد. اگرچه همه این گروه‌ها می‌گویند که در حال کار بر روی یک چیز هستند، که اساساً برای باز کردن RAN با استفاده از رابط‌های استاندارد و عناصر شبکه جعبه سفید است، اما در بررسی دقیق‌تر اختلافاتی نیز وجود دارد.

شبکه‌ی دسترسی باز<sup>۱۳</sup> (ORAN) تبسیط و ترکیبی از دو ساختار C-RAN<sup>۱۴</sup> و xRAN می‌باشد که انتظار می‌رود که در فناوری نسل پنجم مخابرات مورد استفاده قرار گرفته و منجر به بهبود عملکرد شبکه‌های دسترسی رادیویی RAN گردد. این ساختار یک شبکه‌ی باز، انعطاف پذیر و هوشمند است.

ORAN توابع شبکه‌ی دسترسی رادیویی را به سه قسمت تقسیم می‌کند، که قسمت اول واحد از راه دور (RU)<sup>۱۵</sup>، واحد توزیع شده (DU)<sup>۱۶</sup> و واحد مرکزی (CU)<sup>۱۷</sup> می‌باشد. در حالی که RU دارای توابع فیزیکی<sup>۱۸</sup> (PHY) لایه‌ی پایین تر است، DU حاوی (PHY) بالاتر، MAC<sup>۱۹</sup> و RLC<sup>۲۰</sup> است و (CU) حاوی RRC<sup>۲۱</sup>، PDCP<sup>۲۲</sup> و SDAP<sup>۲۳</sup> است.

DU و CU به عنوان توابع شبکه مجازی (VNFs) پیاده سازی می‌شوند، که در یک محیط ابر اجرا می‌شود.

رابط‌های بین RU، CU و DU رابط‌های استاندارد باز هستند.

<sup>13</sup>Open RAN

<sup>14</sup>Cloud Radio Access Network

<sup>15</sup>remote unit

<sup>16</sup>Distributed unit

<sup>17</sup>Central unit

<sup>18</sup>Physical layer

<sup>19</sup>Medium Access Control

<sup>20</sup>Radio Link Control

<sup>21</sup>Radio Resource Control

<sup>22</sup>Packet Data Convergence Protocol

<sup>23</sup>Service Data Adaptation Protocol

## ۱.۲.۱ مقدمه ای بر ساختار شبکه‌های دسترسی رادیویی C-RAN

شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری منجر به افزایش پوشش ارسالی می‌گردد. با توجه به ساختار شبکه C-RAN که معماری جدیدی را برای شبکه‌های نسل آینده ارائه می‌دهد، نه تنها ظرفیت شبکه افزایش می‌یابد بلکه مشکلاتی که در روشهای دیگر وجود دارد را نیز هموار می‌سازد. مفهوم شبکه دسترسی رادیو ابر C-RAN، به مجازی سازی کارکردهای ایستگاه پایه<sup>۲۴</sup> با استفاده از تکنولوژی رایانش ابری<sup>۲۵</sup> اشاره می‌نماید. این مفهوم به ایجاد یک ساختار سلولی جدید منجر می‌شود که در آن، نقاط دسترسی بیسیم کم هزینه که با عنوان واحدهای رادیویی<sup>۲۶</sup> و یا رادیو هدهای راه دور<sup>۲۷</sup> شناخته می‌شوند- با استفاده از یک ابر متمرکز با قابلیت پیکربندی مجدد و یا واحد مرکزی<sup>۲۸</sup> مدیریت می‌شوند. شبکه امکان کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری و عملیاتی مورد نیاز برای اپراتورها به منظور توسعه و نگهداری شبکه‌های ناهمگن متراکم را فراهم می‌آورد. این مزیت مهم در کنار بازده طیفی، تسهیم آماری<sup>۲۹</sup>، و مزیت‌های متعادل سازی بار باعث می‌شود تا شبکه C-RAN به عنوان یکی از تکنولوژیهای کلیدی در توسعه سیستمهای 5G در جایگاه بسیار مناسبی قرار بگیرد. در ادامه، یک بررسی کلی و مختصر از تحقیقات جدید در مورد ساختار C-RAN ارائه می‌شود و موضوعات مورد تاکید عبارتند از فشرده سازی لینک fronthaul پردازش باند پایه، کنترل دسترسی به محیط واسط، تخصیص منابع، ملاحظات سطح سیستم، و تلاشهای انجام شده در راستای ارائه استانداردها.

### ۱.۱.۲.۱ ساختار شبکه‌های مختلف

با توجه به مقاله ی [۲]، هر ایستگاه پایه دو نوع پردازش انجام می‌دهد: پردازش رادیویی که توسط واحد رادیویی<sup>۳۰</sup> انجام می‌شود و شامل پردازش دیجیتال، فیلترینگ فرکانسی، تقویت توان و .... می‌باشد و پردازش باند پایه که توسط واحد باند پایه<sup>۳۱</sup> که همان واحد کنترل است<sup>۳۲</sup> انجام شده و از جمله مهمترین وظایف آن می‌توان به کدینگ، مدولاسیون و تبدیل فوریه ی سریع اشاره کرد. در ساختار جدیدی که تحت عنوان C-RAN معرفی خواهیم نمود 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.

<sup>24</sup>Base Station-BS

<sup>25</sup>Cloud Computing

<sup>26</sup>Radio Units

<sup>27</sup>Radio Remote Heads

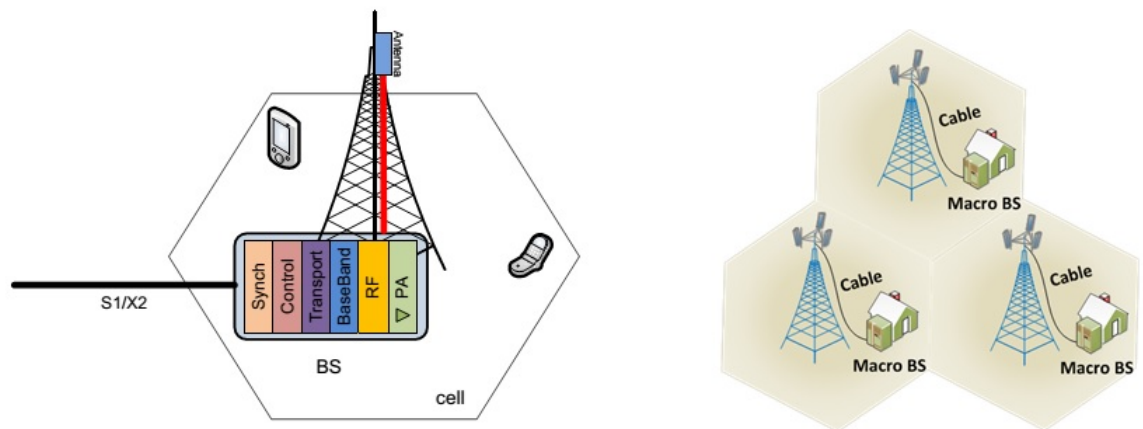
<sup>28</sup>Control Unit

<sup>29</sup>Statistical Multiplexing

<sup>30</sup>RRH

<sup>31</sup>BBU

<sup>32</sup>CU



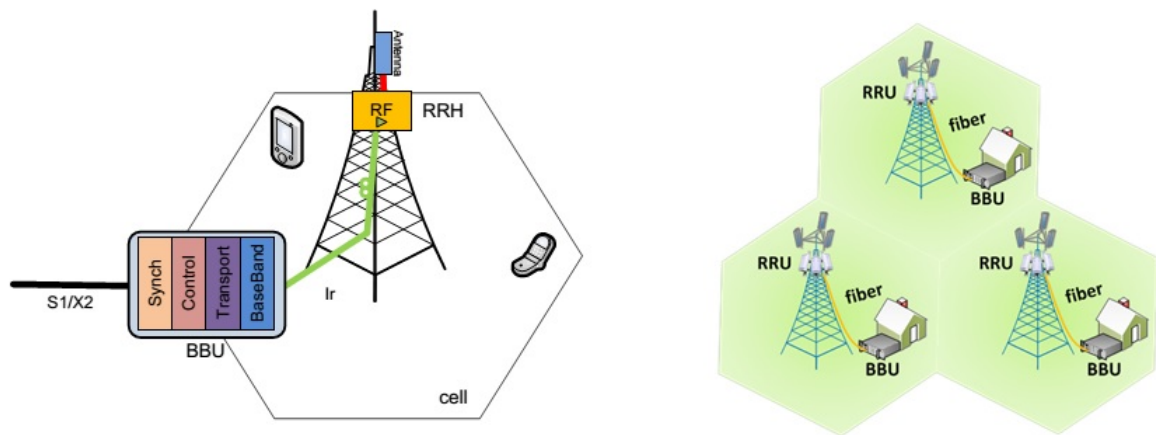
شکل ۲.۱: ساختار سنتی ایستگاه پایه [۲]

#### ۲.۱.۲.۱ ساختار سنتی ایستگاه پایه

در ساختارهای سنتی ایستگاه پایه، پردازشهای رادیویی و باند پایه در داخل ایستگاه پایه انجام شد و مدول آنتن نیز در فاصله‌ی چند متری از مدول رادیویی نصب شده و ارتباط آنها توسط کابل کواکسیال برقرار میشد که همین امر سبب افزایش تلفات در شبکه می‌باشد. این نوع ساختار در شکل ۱.۳ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده میکنید ارتباط بین ایستگاه‌های پایه توسط ارتباط  $X_2$  و ارتباط بین ایستگاه پایه و شبکه‌ی هسته توسط ارتباط  $S_1$  برقرار می‌شود. این نوع ساختار در شبکه‌های 1G و 2G به کار گرفته شده است [۲].

#### ۳.۱.۲.۱ 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 می‌شود، توسط فیبر نوری به واحد باند پایه یا BBU اتصال می‌یابد. همان طور که پیشتر بیان شد واحد رادیویی مسئولیت انجام پردازشهای 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 ۳.۱ قابل مشاهده است. این نوع ساختار برای شبکه‌های نسل سوم معرفی شده و امروزه نیز بیشتر ایستگاه‌های پایه از همین ساختار بهره می‌گیرند. از جمله ویژگیهای بارز این ساختار امکان ایجاد فاصله بین واحد رادیویی



شکل ۳.۱: ساختار ایستگاه پایه و واحد رادیویی [۲]

و پردازشی می‌باشد، که این فاصله به دلیل تاخیر پردازشی و انتشاری نمیتواند از ۴۰ کیلومتر فراتر رود. در این ساختار تجهیزات مرتبط با BBU می‌توانند به مکانی مناسب‌تر که قابل دسترس‌تر بوده و هزینه‌ی اجاره و نگهداری کمتری را به اپراتورها تحمیل می‌کنند منتقل شوند و واحدهای رادیویی نیز در پشت بام ساختمانها و مکانهای مرتفع نصب می‌شوند که این خود سبب کاهش هزینه‌های خنک سازی ادوات موجود می‌شود. نحوه‌ی ارتباط بین RRH و BBU مشابه ساختار سنتی بوده و RRHها نیز توسط معماری زنجیروار باهم در ارتباطند.

#### ۴.۱.۲.۱ ساختار C-RAN

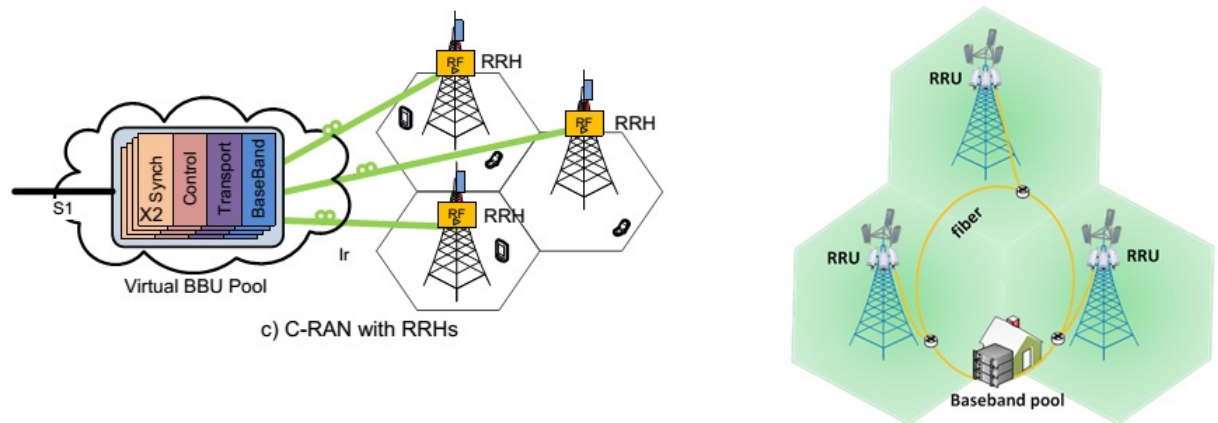
در ادامه ساختارهای شبکه دسترسی رادیویی ابری و ساختارهای بهبود یافته‌ی آن را معرفی می‌نماییم.

#### • شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری

ایده اصلی C-RAN جداسازی بخش رادیویی (RRH) <sup>۳۳</sup> از واحد پردازشی باند پایه (BBU) <sup>۳۴</sup> است. از تجمع BBUها بر روی سرور ابری، BBU-Pool ایجاد می‌شود. در این ساختار، در راستای بهینه سازی عملکرد BBUها در مواجهه با ایستگاه‌های پایه پر ترافیک و کم ترافیک، BBUها به صورت یک مجموعه‌ی واحد تحت عنوان BBU Pool در آمده اند که این مجموعه بین چندین سلول به اشتراک گزاریده

<sup>۳۳</sup>Radio Remote Head

<sup>۳۴</sup>Baseband Unit



شکل ۴.۱: ساختار C-RAN [۲]

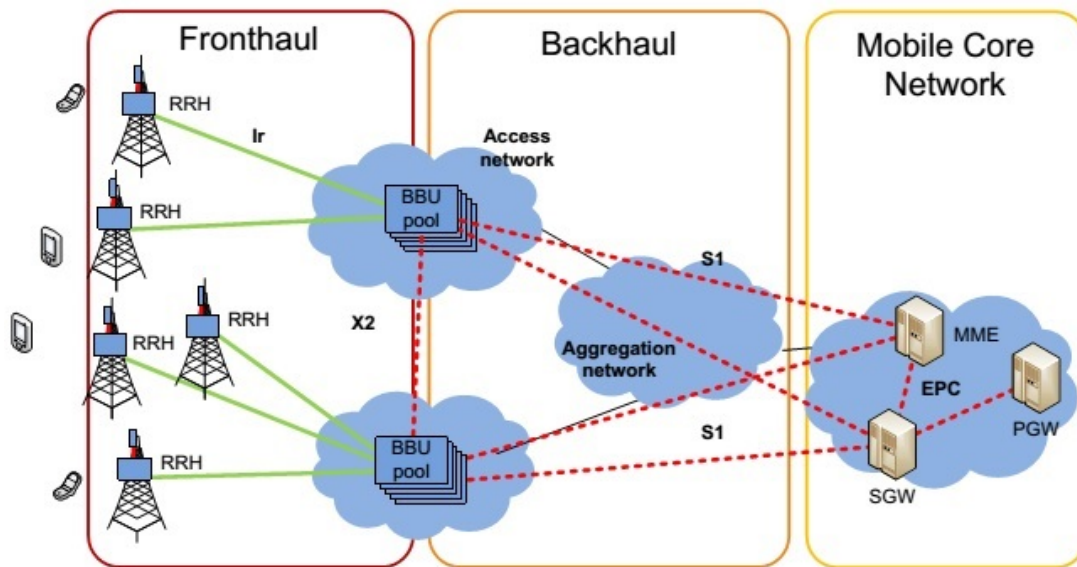
شده و مطابق شکل زیر مجازی سازی می‌شود. در توضیح بیشتر این ساختار میتوان این گونه عنوان کرد که BBU Pool به عنوان یک خوشه ی مجازی در نظر گرفته می‌شود که شامل پردازش گرهایی می‌باشد که پردازش باند پایه را انجام می‌دهند. ارتباط بین BBUها در ساختارهای فعلی به شکل  $X_2$  برقرار می‌شود که در این ساختار ارتباط بین خوشه‌ها از فرم جدید  $X_2$  تحت عنوان  $X_2 + X_2$  برقرار می‌شود. در شکل ۵.۱ ساختار کلی شبکه‌ی C-RAN در سیستمهای LTE نمایش داده شده است. همان طور که در شکل قابل مشاهده می‌باشد ساختار کلی شبکه C-RAN به دو بخش backhaul و fronthaul تقسیم بندی شده است. بخش fronthaul شبکه به مرحله ی اتصال سایتهای RRH به BBU Pool به اتصال backhaul و بخش BBU Pool هسته ی شبکه ی سیار اطلاق می‌شود. همان گونه که قبلا ذکر شد RRHها در نزدیکی انتن نصب شده و از طریق لینکهای انتقالی نوری با پهنای باند وسیع و تاخیر کم به پردازشگرهای قوی در BBU متصل می‌شوند. توسط این لینکهای انتقالی است که سیگنالهای دیجیتالی باند پایه از نوع IQ بین RRH و BBU انتقال می‌یابند [۲].

#### • شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری نامتجانس (H-CRAN)

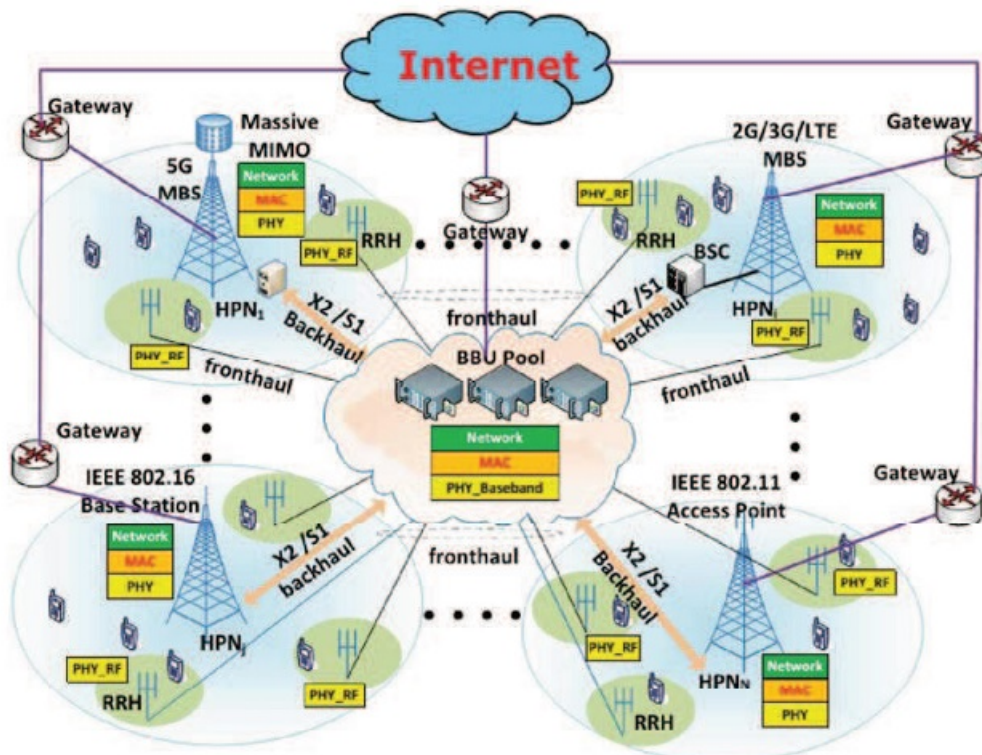
برای غلبه بر چالشهای شبکه‌های C-RAN با محدودیتهای fronthaul، شبکه‌های دسترسی ابری نامتجانس (H-CRAN) معرفی می‌شود [۴، ۳، ۱۴].

صفحه‌ی کاربر و صفحه‌ی کنترلگر در چنین شبکه‌هایی از هم مجزا می‌باشند. در این شبکه‌ها، نودهای





شکل ۵.۱: ساختار شبکه‌ی C-RAN [۲]



شکل ۶.۱: ساختار شبکه‌های دسترسی ابری نامتجانس [۳]

توان بالا <sup>۳۵</sup>HPN، عمدتاً برای فراهم کردن پوشش بدون درز و اجرای عملکرد صفحه کنترل می‌باشد. در حالی که RRH‌ها برای فراهم نمودن سرعت بالای نرخ داده برای انتقال بسته در ترافیک قرار گرفته اند. HPN‌ها از طریق لینکهای backhaul به BBU Pool متصلند (برای هماهنگی کردن تداخل). ساختار این شبکه شبیه به ساختار C-RAN می‌باشد. همانطور که در شکل (۶.۱) نشان داده شده است، تعداد زیادی RRH، همراه با انرژی مصرفی کم در ساختار H-CRAN، با یکدیگر در BBU Pool مرکزی، همکاری می‌کنند تا گین مشترک بالایی بدست آورند. تنها، فرکانس رادیویی جلو، (RF) و عملکردهای پردازشی ساده، در RRH، صورت می‌گیرد، در حالی که پردازشهای مهم دیگر، در BBU Pool انجام می‌گیرد. همچنین تنها بخشی از عملکردها در لایه ی PHY در RRH به مشارکت می‌انجامد که این مدل در شکل (۶.۱) نشان داده شده است.

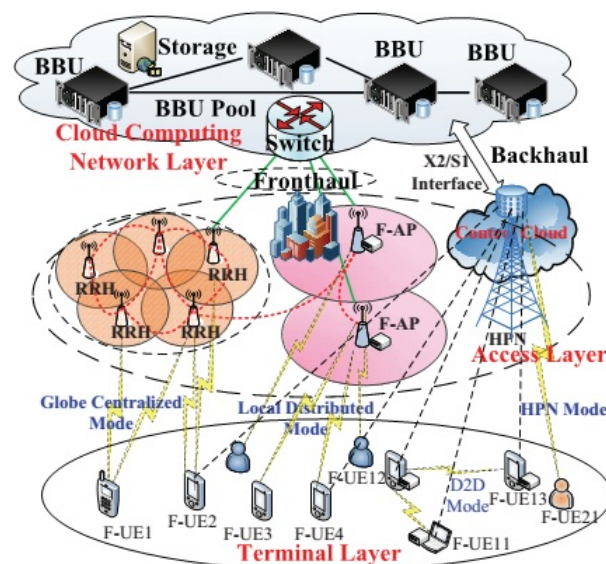
اگرچه، برخلاف C-RAN، BBU Pool در H-CRAN، به HPN‌ها متصلند که این، برای کاهش تداخل متقابل بین RRH‌ها و HPN‌ها از طریق محاسبات ابری متمرکز براساس تکنیکهای پردازشی مشترک می‌باشد. همچنین، داده و واسط کنترل، بین BBU Pool و HPN‌های  $S_1$  و  $X_2$  شناخته شده اند که تعریف آنها بر اساس تعریف استاندارد 3G ایجاد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

همانطور که سرویسهای صدا، میتوانند به صورت بهینه در طول مد سوئیچ بسته در 4G فراهم گردند، H-CRAN میتواند به طور همزمان سرویس صدا و داده را پشتیبانی کند. سرویس صدا مرجع به اداره از طریق HPN‌ها می‌باشد، در حالی که ترافیک بسته ی پر داده، بیشتر توسط RRH اداره می‌گردد. در مقایسه با ساختار C-RAN، ساختار H-CRAN نیازهای fronthaul را بوسیله ی مشارکت HPN‌ها برطرف می‌سازد. با توجه به حضور HPN‌ها، سیگنالهای کنترلی و سمبلهای داده در H-CRAN جدا از هم می‌باشند. تمام کنترل کننده‌های سیگنال و سیستمهایی که اطلاعات را ارسال می‌نمایند، توسط HPN‌ها به UE، منتقل می‌گردد که منجر به سادگی در ظرفیت و در محدودیت تاخیر زمان در لینکهای fronthaul بین RRH‌ها و BBU Pool می‌گردد و منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد. همچنین، برخی از ترافیکهای شدید و ناگهانی <sup>۳۶</sup> و یا سرویس پیام همراه با مقدار داده ی کم، می‌تواند به صورت بهینه توسط HPN‌ها پشتیبانی گردد. مکانیزم کنترل بین ارتباط داشتن و نبود ارتباط، توسط H-CRAN پشتیبانی می‌گردد که منجر به حفظ کردن مقدار قابل توجهی Overhead در رادیو بوسیله ی مکانیزم ارتباط جهت دار خالص می‌گردد. در RRH، تکنولوژیهای مختلف انتقال در لایه ی PHY، قابل استفاده برای بهبود نرخ انتقال (همانند موج میلیمتری و نور مرئی) می‌گردد. در HPN‌ها، MIMO <sup>۳۷</sup>، یکی از راه‌های افزایش پوشش در بهبود ظرفیت می‌باشد.

<sup>۳۵</sup>High Power Node<sup>۳۶</sup>Burst Traffic<sup>۳۷</sup>Multiple Input Multiple Output

### • ساختار دسترسی رادیویی مهی

برای حل کردن مشکلات H-CRAN و C-RAN، نیاز به معرفی ساختار جدید دیگری می‌باشیم که آن را F-RAN می‌نامیم. F-RAN تمام ویژگیهای مثبت محاسبات ابری و شبکه‌های نامتجانس و محاسبات مهی را همزمان در بر می‌گیرد. 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 می‌دهد (نه در کانال و ابر مرکزی) [۴، ۱۴]. سیستمهای F-RAN تحولی از سیستمهای C-RAN می‌باشد که برخی از ارتباطات توزیع شده و عملکردهای ذخیره سازی در منطق لایه ی مه قرار دارد. همچنین چهار نوع ارتباطات ابری تعریف شده است.



شکل ۷.۱: مدل سیستم F-RAN [۴]

- ابر ذخیره‌گر و ارتباطات مرکزی جامع: که همانند ابر مرکزی C-RAN می‌باشد.
- ابر کنترل‌گر مرکزی: که برای تکمیل عملکردهای کنترلی می‌باشد و در HPN ها قرار دارد.
- ابر ارتباطات منطقی توزیع شده که در برنامه‌های محاسبات مهی و ابزارهای این محاسبات قرار دارد.
- ابر ذخیره‌گر منطقی توزیع شده: که همانند قبل در F-RAN قرار دارد.

در این ساختار، برای کاهش تاخیر ناشی از انتقال داده‌ها به ابر مرکزی، ساختارهای RRH را دارای حافظه

قرار می‌دهیم که برای ارتباطات محلی، به جای اینکه پردازشها در BBU Pool صورت بگیرد، بدون نیاز به انتقال به ابر مرکزی، درون RRH‌ها انجام پذیرد.

## ۲.۲.۱ xRAN

xRAN در سال ۲۰۱۶ با هدف استانداردسازی یک جایگزین انعطاف پذیر و باز برای RAN مبتنی بر سخت افزار سنتی بدست آمده است. در این ساختار، سه حوزه ی مهم مورد بررسی قرار گرفته است. اولین حوزه ی مورد بررسی، جداسازی بخش صفحه ی کنترل<sup>۳۸</sup> از صفحه ی کاربر<sup>۳۹</sup> می باشد. حوزه ی دوم، ساختن یک پشته نرم افزاری eNodeB مدولار که از سخت افزار COTS استفاده می کند، می باشد. حوزه ی سوم مورد بررسی، انتشار رابطهای باز شمال و جنوب است [۱۵]. در ادامه این سه حوزه به طور دقیق تر مورد بررسی قرار میگیرد [۱۶].

- **جداسازی بخش صفحه ی کنترل از صفحه ی کاربر:** این انتقال صفحه ی کنترل، که قبلاً کاملاً به دستگاه‌های سخت افزاری RAN متصل بود، به دستگاه‌های محاسباتی در دسترس امکان می‌دهد RAN بتواند به عنوان یک استخر منطقی از ظرفیت، با کارایی بیشتری کار کند. نرم افزار eNodeB از سخت افزار خاص فروشنده جدا می شود و الهام بخش نوآوری در هر دو نرم افزار و سخت افزار به صورت مشارکتی اما به طور مستقل است. برنامه نویسی و کنترل زمان واقعی بی سابقه در زیرساختهای RAN به دست آمده است، که به راحتی از برنامه‌های کاربردی تلفن همراه و خدمات تجاری پشتیبانی می کند.

- **ساختن یک پشته نرم افزاری eNodeB مدولار:** رویکرد xRAN به خوبی با طرحهای مجازی سازی عملکرد شبکه حامل (NFV) مطابقت دارد، و همچنین منجر به کنترل عملکرد ترافیک با کارایی بالا، مدیریت تداخل و کنترل منابع رادیویی روی سیستم عاملهای استاندارد x86 می شود.

- **انتشار رابطهای باز شمال و جنوب:** رابطهای استاندارد و باز قابلیت پشتیبانی از فروشنده‌های متعدد همکاری اثبات شده دارند. xRAN.org و اعضای آن به تصویب رساندن این رابطها از طریق فرآیندهای استاندارد منجر به در دسترس قرار دادن معماری xRAN و پشتیبانی مورد نیاز می شوند.

در ادامه مزایای ساختار xRAN را بیان می نماییم.

### مزایای ساختار xRAN

<sup>38</sup>control plane

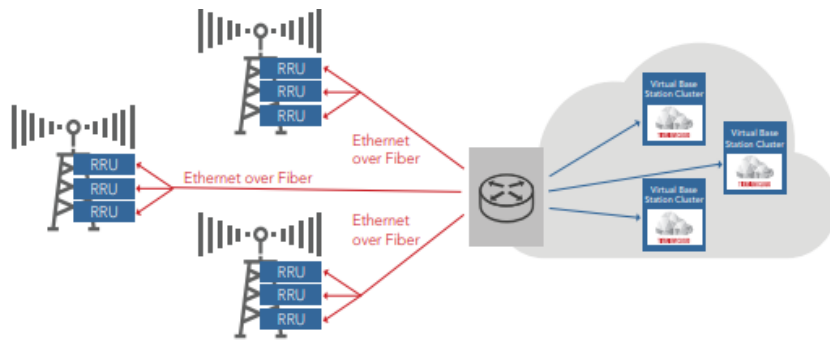
<sup>39</sup>user plane

- جداسازی بخش صفحه ی کنترل از صفحه ی کاربر منجر به برنامه ریزی زمان واقعی بی سابقه و کنترل در زیرساخت RAN می‌شود که به راحتی برنامه‌های کاربردی تلفن همراه و خدمات تجاری را پشتیبانی می‌کند.
- یک پشته eNB مدولار مبتنی بر نرم‌افزار، منجر به امکان قرارگیری انعطاف پذیر توابع eNB و کنترل ترکیبی آن با یک برنامه ریز امکان پذیر می‌شود تا بتواند زمان تاخیر متغیر در fronthaul را کنترل کند.
- رابط‌های مرزی جنوبی استاندارد، پیاده سازی شبکه با خرید سیستم از چندین شرکت متفاوت را امکان پذیر می‌سازد و رابط‌های شمال مرزی، برش کامل شبکه برای بهینه سازی QoE<sup>40</sup> کاربر را فراهم می‌کند. رابط‌های xRAN به خوبی با لبه ابر حامل هماهنگ هستند و اجازه می‌دهد تا محاسبه و ذخیره سازی منابع در شبکه تلفن همراه به صورت دینامیکی مدیریت شود.
- این ساختار هزینه‌ی رشد ظرفیت دسترسی رادیویی و هزینه‌ی بهره برداری را کاهش می‌دهد.

### ۳.۲.۱ vRAN

vRAN یا شبکه‌های دسترسی رادیویی مجازی گونه‌ی دیگری از شبکه‌های رادیویی دسترسی می‌باشند که منجر به افزایش هوشمندانه ظرفیت، کاهش چشمگیر هزینه‌ها می‌شود. همچنین قابلیت انعطاف پذیری و مقیاس پذیری پویا را فراهم می‌کند که برای پشتیبانی از خدمات و برنامه‌های آینده ضروری خواهد بود. معماری vRAN با اجرای توابع باند پایه مجازی بر روی سخت افزار سرور کالا، بر اساس اصول مجازی سازی توابع شبکه، (NFV) فراتر از آخرین شبکه‌ی متمرکز رادیویی (C-RAN) است. معماری C-RAN می‌تواند با ایجاد امکان تجمع منابع پردازش باند پایه، که می‌تواند به صورت پویا به سایت‌های مختلف سلول و فن‌آوری‌های رادیویی اختصاص یابد، گامی فراتر رود. به اشتراک گذاری منابع باند پایه از طیف موجود با کارایی بیشتری استفاده می‌کند و قابلیت اطمینان سرویس را بهبود می‌بخشد. همچنین پشتیبانی از ویژگی‌های LTE-Advanced و استقرار سلول‌های کوچک می‌تواند ظرفیت را در مناطق پرجمعیت و نقاط پرتردد افزایش دهد. اما تمرکز باند متمرکز (BBU-Pool) به اندازه کافی پیش نمی‌رود. برای دستیابی به پتانسیل کامل صرفه‌جویی در هزینه، مقیاس‌گذاری ظرفیت پویا، کیفیت بالاتر و ارائه سریع سرویس‌های جدید، می‌بایست از یک معماری RAN مجازی (vRAN) استفاده کنند. در مدل vRAN، BBU مجازی شده است. vBBU که همان واحدهای باند پایه‌ی مجازی هستند، در چندین سیستم عامل NFV در سخت افزار استاندارد x86 مستقر شده و در مراکز داده متمرکز تلفیق می‌شوند، در حالی که واحدهای رادیویی از راه دور (RRH) در سایت‌های سلول در لبه باقی می‌مانند. vRAN از سخت افزار

<sup>40</sup>Quality of Experience



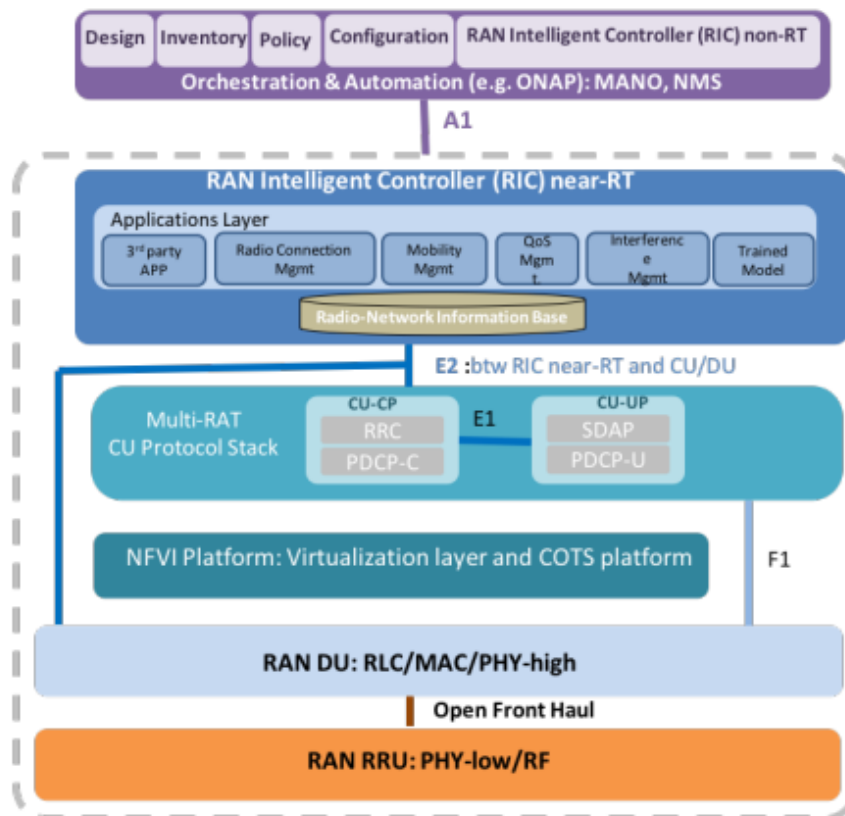
شکل ۸.۱: ساختار شبکه ی vRAN [۵]

استاندارد سرور استفاده می‌کند که به طور مقرون به صرفه پردازش، حافظه و منابع ورودی و خروجی را با تقاضای خود، درخواست می‌کند و ظرفیت RAN را با هوش مصنوعی تغییر داده تا کیفیت و قابلیت اطمینان خدمات را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. بسته به نحوه تقسیم عملکردهای eNodeB معماری vRAN همچنین امکان انتقال اترنت و IP را فراهم می‌کند، که به ارائه‌دهندگان خدمات گزینه‌های مقرون به صرفه‌تری برای انتقال fronthaul می‌دهد [۵].

#### ۴.۲.۱ مقدمه ای بر ORAN

شبکه دسترسی رادیویی باز از ترکیب C-RAN و xRAN و در برخی جاها از ترکیب C-RAN و vRAN بدست آمده است. معماری ORAN برای ایجاد زیرساختهای RAN نسل بعدی طراحی شده است. معماری ORAN با تکیه بر اصول هوشمندی و باز بودن، پایه و اساس ساخت RAN مجازی بر روی سخت افزار آزاد، با کنترل رادیویی ایجاد شده توسط هوش مصنوعی است که توسط اپراتورهای سراسر جهان پیش بینی شده است. این معماری بر روی رابطهای استاندارد و تعریف شده ای بنا شده است تا یک زنجیره اکوسیستم با قابلیت باز ایجاد کند که دارای پشتیبانی کامل از استانداردهای تبلیغ شده توسط 3GPP و سایر سازمانهای استاندارد صنعت فراهم شود. اتحاد ORAN در جستجوی چشم انداز باز بودن و هوشمندی برای شبکه‌های بی سیم نسل بعدی و فراتر از آن است [۶]. این دو ویژگی مهم در ادامه مورد بررسی قرار گرفته شده است.

- **باز بودن:** ایجاد یک RAN مقرون به صرفه نیاز به باز بودن ارتباطها دارد. رابطهای باز برای فعال کردن فروشندگان و اپراتورهای کوچکتر به سرعت میتوانند خدمات خود را معرفی کنند و یا اپراتورها را قادر می‌سازد تا شبکه را متناسب با نیازهای منحصر به فرد خود تنظیم کنند. رابطهای باز همچنین استقرار چند سازنده ای را قادر می‌سازد و اکوسیستم تأمین کننده رقابتی تر و پر جنب و جوش بیشتری را ایجاد



شکل ۹.۱: ساختار شبکه‌ی ORAN [۶]



می‌کند. همچنین نرم‌افزارهای منبع باز و طرحهای مرجع سخت افزار باعث نوآوری سریعتر و دموکراتیک تر می‌شود.

- **هوشمندی شبکه‌ها** با ظهور برنامه 5G پیچیده تر و متراکم تر شده و خواستار برنامه‌های غنی تر می‌شوند. برای کاستن این پیچیدگی نمیتوان از ابزارهای سنتی انسانی برای استقرار، بهینه سازی و بهره برداری از شبکه استفاده کرد. در نتیجه، شبکه‌ها باید خود متحرک شوند تا بتوانند از فن آوریهای جدید مبتنی بر یادگیری برای خودکارسازی عملکرد شبکه‌های عملیاتی و کاهش OPEX استفاده کنند. اتحاد ORAN تلاش خواهد کرد تا از تکنیکهای یادگیری عمیق در حال ظهور استفاده کند تا بتواند هر لایه از معماری RAN را به طور هوشمند پیاده سازی کند. پیاده سازی هوشمند هم در مولفه‌ها و هم در سطح شبکه اعمال می‌گردد و منجر به تخصیص دینامیکی منابع رادیویی و بهینه سازی بازدهی شبکه می‌گردد. همراه با رابطهای باز ORAN، اتوماسیون حلقه بسته بهینه شده با هوش مصنوعی دست یافتنی است و دوره جدیدی را برای عملیات شبکه امکان پذیر می‌کند.

در ادامه ویژگی های این ساختار را بررسی می‌نماییم.

- **روشهای هوش مصنوعی AI<sup>۴۱</sup> منجر به هوشمندسازی بخش رادیویی با استفاده از نرم افزار تعریف شده<sup>۴۲</sup> می‌شود:** مفهوم SDN<sup>۴۳</sup> که مبنی بر جداسازی بخش صفحه ی کنترل CP از صفحه ی کاربر UP می‌باشد، در ساختار ORAN مورد بررسی قرار می‌گیرد. این جداسازی منجر به بهبود RRM برای استفاده از زمان غیر واقعی و زمان نزدیک به واقعی در کنترلگر هوشمند شبکه ی دسترسی رادیویی<sup>۴۴</sup> RIC با استفاده از رابطهای A1 و E2 می‌گردد. همچنین منجر به جداسازی CU از CP/UP می‌شود که از طریق رابط E1 در 3GPP توسعه می‌یابد.

- **مجازی سازی بخش RAN:** ابری سازی RAN یکی از اصول مهم ساختار ORAN می‌باشد. اپراتورها برای پشتیبانی از شکافهای مختلف در شبکه، الزامات NFVI/VIM را برای تقویت سیستم عامل مجازی ارائه می‌دهند. به عنوان مثال: لایه ی بالا بین PDCP و RLC تقسیم می‌شود و لایه ی پایین در PHY تقسیم می‌شود.

- **رابطهای باز:** معماری مرجع ORAN بر روی مجموعه ای از رابطهای کلیدی بین چندین جزء جدا شده ی RAN ساخته شده است. اینها شامل رابطهای 3GPP پیشرفته (Xn, X2, E1, W1, F1) برای قابلیت

<sup>41</sup>Artificial Intelligent

<sup>42</sup>Software Defined

<sup>43</sup>Software defined network

<sup>44</sup>RAN Intelligent Controller



همکاری بین چندین شرکت مختلف تولید کننده است. رابطهای مشخص شده ORAN Alliance شامل یک رابط fronthaul باز بین DU و، RRU رابط E2 و یک رابط A1 بین لایه Orchestration/NMS است که شامل عملکرد غیر واقعی زمانی<sup>۴۵</sup> و عملکرد gNB / eNB حاوی عملکرد RIC نزدیک به زمان واقعی<sup>۴۶</sup> است.

• **سخت افزار جعبه سفید:** برای بهره مندی کامل از مقیاسی از اقتصاد ارائه شده توسط یک رویکرد محاسباتی باز، O-RAN Alliance طرحهای مرجع سخت افزاری و ایستگاه پایه به صورت جعبه سفید با کارایی بالا را مشخص می‌کند. سیستم عاملهای مرجع از یک رویکرد جدا شده پشتیبانی میکنند و نقشه‌های مفصلی را برای معماری سخت افزار و نرم‌افزار ارائه می‌دهند تا هم BBU و RRU را فعال کنند.

• **نرم‌افزار منبع باز:** اتحادیه ORAN ارزش انجمنهایی که منابع باز ارائه می‌دهند را درک کرده و از آنها پشتیبانی می‌کند. بسیاری از مؤلفه‌های معماری ORAN به صورت منبع باز از طریق جوامع موجود تحویل داده می‌شود. این مؤلفه‌ها عبارتند از: کنترلر هوشمند، RAN پشته پروتکل، پردازش لایه PHY و بستر مجازی سازی. چارچوب نرم‌افزار منبع باز ORAN نه تنها رابطهای (Xn, X2, E2, E1, W1, F1) را پیاده سازی می‌کند، بلکه انتظار دارد که طراحی مرجع را برای نسل بعدی RRM با هوش جاسازی شده ارائه دهد تا RIC را امکان پذیر کند.

ORAN، المانهای شبکه ی دسترسی رادیویی را مجازی می‌کند، آنها را جدا کرده و رابطهای باز مناسب را برای اتصال این عناصر تعیین می‌کند. همچنین، ORAN از روشهای یادگیری ماشین برای هوشمندسازی لایه‌های RAN استفاده می‌نماید. در ساختار نوآورانه ی ORAN نرم‌افزار قابل برنامه ریزی RAN از سخت افزار جدا می‌شود. یکی از مهم ترین خصوصیات ORAN رابط کاربری باز است که به اپراتورهای موبایل این قابلیت را می‌دهد تا بتوانند سرویسهای مورد نیاز خود را تعریف نمایند.

در ساختار ORAN، واحد توزیع شده DU، نود منطقی می‌باشد که شامل لایه‌های RLC، MAC، و High-PHY است. علاوه بر این، واحد مرکزی CU نود منطقی است که شامل لایه‌های RRC، SDAP و PDCP می‌باشد. نود منطقی واحد رادیویی RU نیز، شامل لایه ی Low-PHY و بخش پردازش رادیویی می‌باشد. ORAN، رابطهایی از جمله رابط fronthaul باز را شامل می‌شود که بخش DU را به RU متصل می‌نماید (رابط E2). همچنین رابط A1 بین لایه ی orchestration/NMS که شامل تابع غیر واقعی زمان است و eNB/qNB که شامل تابع نزدیک به زمان است.

<sup>45</sup>non real time RIC<sup>46</sup>near-real time RIC

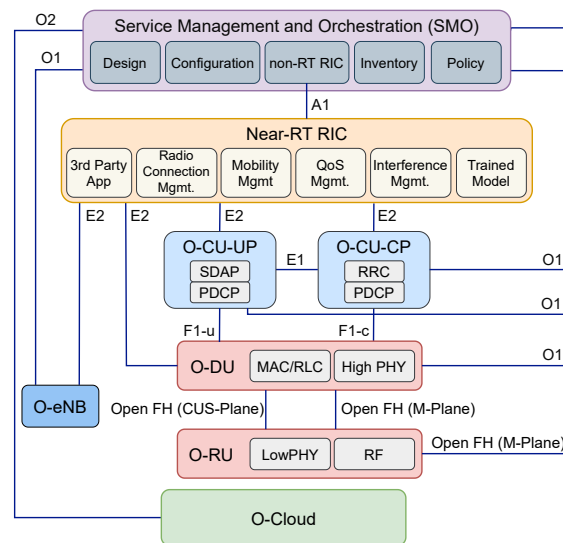
با افزایش ترافیک تلفن همراه، شبکه‌های تلفن همراه و تجهیزاتی که آنها را اجرا می‌کند باید نرم‌افزاری تر، مجازی، انعطاف پذیر، هوشمند و کارآمدتر شوند. اتحادیه ی ORAN متعهد است در حال تکامل شبکه‌های دسترسی رادیویی باشد که باعث می‌شود آنها نسبت به نسل‌های قبل بازتر و باهوش تر شوند. تجزیه و تحلیل در زمان واقعی که توسط سیستم‌های یادگیری ماشین تعبیه شده است و ماژول‌های پایانی هوش مصنوعی را هدایت می‌کند، باعث تقویت هوش شبکه شود. عناصر شبکه مجازی با رابط‌های باز و استاندارد، جنبه‌های اصلی طرح‌های مرجع توسعه یافته توسط اتحادیه ی ORAN خواهد بود. فن آوری‌های موجود از عناصر شبکه منبع باز و جعبه سفید، نرم‌افزار و اجزای سخت افزاری مهم این طرح‌های مرجع خواهد بود.

### ۱.۴.۲.۱ ساختار ORAN

Alliance O-RAN<sup>۴۷</sup> اخیراً طراحی یک معماری جدید RAN را برای تحقق بخشیدن به چشم انداز تبدیل RAN به باز، هوشمند، مجازی سازی شده و کاملاً تعامل پذیر راه اندازی کرده است. توانمندسازی چنین ویژگی‌هایی برای توانمندسازی نسل بعدی شبکه‌های سلولی بی‌سیم برای پاسخگویی به نیازهای خدمات متنوع به روشی مقرون به صرفه حیاتی است. مفهوم ORAN مزایای مفاهیم C-RAN و vRAN را ترکیب و تکامل می‌دهد. ORAN با تکیه بر تلاش‌های قبلی برای ابری سازی و متمرکز سازی واحدهای باند پایه معرفی شده توسط C-RAN و جداسازی نرم افزار از سخت افزار فعال شده توسط vRAN، می‌آید تا با تعریف رابط‌های باز استاندارد بین، مشکلات قفل فروشنده و پیاده سازی اختصاصی را حل کند. اجزای RAN گشودگی ارائه شده توسط ORAN اجازه می‌دهد تا یک اکوسیستم زنجیره تامین با چند فروشنده را تقویت کند. علاوه بر باز بودن، ORAN هوش شبکه را از طریق ادغام AI/ML در اجزای RAN ارتقا می‌دهد.

ORAN با تقسیم RAN خود به چندین مؤلفه کاربردی، یک RAN هوشمند و همه کاره ایجاد می‌کند. برخلاف معماری C-RAN که دارای دو واحد RAN است، یعنی واحد رادیویی و باند پایه، O-RAN شامل سه واحد است: واحد رادیویی، (O-RU) واحد توزیع شده (O-DU) و واحد مرکزی. (O-CU) تصویر ۱۰.۱ معماری ORAN را نشان می‌دهد. معماری منطقی ORAN شامل سمت رادیویی، سمت مدیریتی و سمت ابری است.

- بخش رادیویی: در سمت رادیویی از لایه‌های منطقی مختلف، از جمله O-RU، O-DU، O-CU و کنترل کننده هوشمند رادیویی نزدیک به زمان واقعی (near RT) (RIC) تشکیل شده است. O-RU شامل لایه فرکانس رادیویی (RF) و لایه فیزیکی پایین (PHY) است، در حالی که O-DU عملکردهای لایه های PHY بالا، کنترل دسترسی متوسط (MAC) و کنترل پیوند رادیویی (RLC) را ارائه می‌دهد.



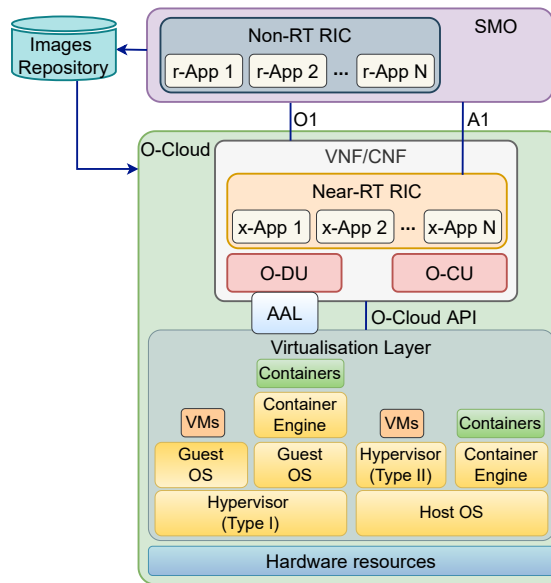
شکل ۱۰.۱: ساختار ORAN

فرانت‌هال باز (Open-FH) رابط بین O-DU و O-RU است. رابط Open-FH شامل یک صفحه هماهنگ سازی کاربر کنترل (CUS-plane) و یک صفحه مدیریت (M-plane) است. رابط Open-FH O-RU M-plane FH را برای قابلیت های خطا، پیکربندی، حسابداری، عملکرد و امنیت (FCAPS) به مدیریت خدمات و هماهنگ سازی (SMO) متصل می کند.

O-CU به دو گره منطقی صفحه کاربر (O-CU-UP) و صفحه کنترل (O-CU-CP) تقسیم می شود. O-CU-UP شامل پروتکل تطبیق داده های سرویس (SDAP) است که کیفیت خدمات حامل های رادیویی را مدیریت می کند. و بخش صفحه کاربر از پروتکل همگرایی داده های بسته (PDCP) که عملکردهای انتقال داده، تکرار بسته ها، رمزگذاری و حفاظت از یکپارچگی و غیره را فراهم می کند. O-CU-CP میزبان لایه کنترل منابع رادیویی (RRC) است که چرخه عمر اتصال و صفحه کنترل پروتکل PDCP را کنترل می کند.

- بخش مدیریتی: سمت مدیریت شامل چارچوب SMO است. در SMO RIC غیر RT نقش مهمی دارد [۱۷]. RIC غیر RT رویدادها و مدیریت منابع را با زمان پردازش حداقل ۱ ثانیه مدیریت می کند. مدیریت منابع شامل بهینه سازی در RAN، استفاده از سیاست ها و مدل های ML برای RIC های نزدیک به RT برای افزایش عملکرد سیستم. علاوه بر این، مدیریت چرخه حیات را برای اجزای شبکه فراهم می کند. علاوه بر این، پیکربندی و سایر جنبه های حیاتی یک شبکه را انجام می دهد.

- بخش ابری: این یک پلت فرم محاسبات ابری به نام O-Cloud را نشان می دهد که می تواند میزبان اجزای



شکل ۱۱.۱: ساختار O-Cloud

معماری O-RAN باشد که در شکل ۱۱.۱ نشان داده شده است. پلتفرم O-Cloud شامل زیرساخت سخت افزاری و فناوری های مجازی سازی است که برای فعال کردن نرم افزار O-RAN و جداسازی سخت افزار [۱۸] لازم است. زیرساخت سخت افزار مجموعه ای از سرورهای تجاری خارج از قفسه (COTS) است که منابع مدیریت محاسبات، ذخیره سازی، شبکه و سخت افزار را فراهم می کند. توابع شبکه RAN را می توان به ترتیب به صورت توابع شبکه مجازی شده (VNF) یا توابع شبکه بومی ابری (CNF) در حال اجرا بر روی ماشین های مجازی (VM) یا کانتینرها مستقر کرد. لایه مجازی سازی پلت فرم O-Cloud شامل اجزای نرم افزاری پشتیبانی کننده (مانند سیستم عامل ها، هایپروایزرها و موتورهای کانتینری) برای اجرای VNF و CNF های RAN است. O-Cloud همچنین از شتاب دهنده های سخت افزاری و یک لایه انتزاعی شتاب (AAL) پشتیبانی می کند که مجموعه ای از API های باز را برای بارگذاری عملکردهای شبکه O-RAN با شتاب سخت افزاری تعریف می کند. SMO از طریق رابط O2 به O-Cloud برای ارائه منابع پلت فرم و قابلیت های مدیریت حجم کار [۱۷] متصل می شود.

#### ۲.۴.۲.۱ آسیب پذیری ها و تهدیدها در معماری ORAN

در این بخش هدف، صحبت در مورد آسیب پذیری ها و تهدیدها در معماری ORAN می باشد. باز بودن و تفکیک معماری ORAN راه را برای یک وضعیت امنیتی تقویت شده برای شبکه های تلفن همراه آینده هموار می کند و انطباق با استانداردهای امنیتی را تسهیل می کند و چابکی امنیتی، سازگاری و انعطاف پذیری

را تقویت می‌کند. با این حال، با این مزایا، پتانسیل افزایش سطح حمله ارائه شده توسط مؤلفه‌ها و رابط‌های جدید معماری ORAN [۱۹] به وجود می‌آید. در ادامه این بخش، آسیب‌پذیری‌ها و تهدیدات اصلی علیه سیستم ORAN را با در نظر گرفتن نه تنها مواردی که توسط فن‌آوری‌های جدید و اصول طراحی معماری ORAN به ارمان می‌آورند، بلکه همچنین مسائل رایج امنیتی RAN 5G را مورد بحث قرار می‌دهیم. این آسیب‌پذیری‌ها در موارد زیر خواهد بود:

- **Near-RT RIC**: از طریق رابط‌های استاندارد و پشتیبانی سخت‌افزاری، Near-RT RIC یک پلت‌فرم ایمن و قابل اعتماد برای میزبانی xApps فراهم می‌کند. xApps مستقل از Near-RT RIC هستند و ممکن است توسط یک فروشنده شخص ثالث عرضه شوند. Near-RT RIC و xApps می‌توانند منبع تهدیدات امنیتی مختلف باشند [۱۹]. یک xApp مخرب یا در معرض خطر با دستکاری داده‌های جمع‌آوری‌شده از گره‌های E2، O-DU، O-CU-CP و O-CU-UP و رابط A1 این پتانسیل را دارد که بر ارائه خدمات برای یک مشترک، گروهی از مشترکین یا یک منطقه جغرافیایی خاص تأثیر منفی بگذارد. همچنین خطر دسترسی غیرمجاز به گره‌های E2 و Near-RT-RIC، سوء استفاده از عملکردهای RAN و ایجاد اثرات مضر برای سیستم کلی را معرفی می‌کند. نشت داده‌های حساس (به عنوان مثال، شناسایی و مکان UE) تهدید دیگری است که می‌تواند از برنامه‌های مخرب/در معرض خطر نشأت بگیرد. افشای اطلاعات حساس نه تنها باعث نقض حریم خصوصی می‌شود، بلکه ممکن است منجر به حملات دیگری مانند جعل هویت و حملات ردیابی UE شود.
- **SMO**: از نظر امنیت، SMO بسیار مهم است زیرا یک آسیب‌پذیری موفقیت‌آمیز در SMO می‌تواند نقطه ورود برای حمله به اجزای O-RAN و انجام حرکت جانبی در شبکه باشد. در واقع، رویه‌های احراز هویت و مجوز اجرا شده نادرست به مهاجم اجازه می‌دهد داده‌های ذخیره شده در SMO را افشا و تغییر دهد، به عملکردهای SMO و داده‌های آن‌ها دسترسی کامل داشته باشد، اجزای O-RAN را دستکاری کند و اطلاعات حساس O-RAN را بدزد. برای مثال، دسترسی غیرمجاز به عملکرد RIC غیر RT از طریق SMO ممکن است منجر به ردیابی UE یا صدور یک خط مشی نادرست برای RIC نزدیک به RT شود. علاوه بر این، SMO و عملکردهای آن، به ویژه RIC غیر RT، می‌توانند قربانی حملات DoS بیش از حد شوند، که در دسترس بودن آنها را مختل کرده یا عملکرد آنها را کاهش دهند. در واقع، یک حمله DoS علیه Non-RT-RIC مانع از توانایی آن در تجزیه و تحلیل و نظارت بر سیستم شبکه، به‌روزرسانی خط‌مشی‌های A1 و تنظیم قوانین کنترل در RIC نزدیک به RT [۱۹] می‌شود. rApps یکپارچه شده در Non-RT-RIC نگرانی‌های امنیتی مشابهی را ایجاد می‌کند که برای xApps مورد بحث قرار گرفت.
- **O-RU/O-DU و Open-FH : O-RU** ها می‌توانند هدف تهدید ایستگاه پایه کاذب (FBS) باشند،

جایی که مهاجم به عنوان یک ایستگاه پایه قانونی ظاهر می شود تا حمله Man-in-The-Middle (MiTM) را بین UEs و شبکه تلفن همراه فعال کند.

سه سناریوی احتمالی حمله FBS در O-RU قابل تشخیص است [۱۹]، یعنی: ربودن fronthaul، استخدام یک O-RU مستقل، و دسترسی فیزیکی غیرمجاز به O-RU.

در سناریوی هواپیما‌رایی، مهاجم یک سیستم FBS را به رابط Open-FH یک O-RU عملیاتی متصل می کند و با اتصال O-RU به رابط هوایی، یک حمله FBS را انجام می دهد. در سناریوی مستقل O-RU، O-RU مورد حمله عملیاتی نیست اما برای یک مهاجم برای ادغام در یک سیستم FBS قابل دسترسی است. در آخرین سناریو، سایر اجزای O-RU غیر از رابط Open-FH توسط مهاجم برای اتصال O-RU هدف به یک سیستم FBS قابل دسترسی است. وجود FBS در شبکه چندین خطر را برای کاربر مشترک ایجاد می کند، از جمله سرقت اطلاعات کاربر، تغییر و تغییر مسیر داده های ارسال شده، به خطر انداختن حریم خصوصی کاربر و ردیابی کاربران. همچنین ممکن است به نفوذ O-DU و فراتر از آن در CN و راه اندازی حملات DoS برای از دست دادن سرویس یا کاهش عملکرد آن کمک کند. با توجه به اینکه O-DU و O-RU می توانند توسط فروشندگان متمایز ارائه شوند، ممکن است مدل های امنیتی ناهمگون برای آنها اعمال شود که در نتیجه سطوح امنیتی متفاوتی ایجاد می شود. نقش کلیدی O-DU در ایجاد ترافیک مدیریت بین سیستم مدیریت و O-RU خطر دسترسی غیرمجاز به سیستم های شمال به خارج از O-DU مانند RIC ها از طریق رابط Open-FH ایجاد می کند [۱۹]. علاوه بر این، یک رابط Open-FH محافظت نشده، حملات MiTM را بر روی M-plane یا CUS-plane تسهیل می کند. در نتیجه، مهاجم می تواند دستکاری و افشای داده ها و همچنین حملات DoS را انجام دهد. برای مثال، یک دستگاه غیرمجاز در رابط Open-FH اترنت L1 می تواند یک حمله سیل آمیز را راه اندازی کند، که باعث عدم دسترسی یا کاهش عملکرد عناصر شبکه قانونی در رابط Open-FH شود.

- O-Cloud : پلتفرم O-Cloud در معماری ORAN خطرات امنیتی ابر مشترکی دارد که از جنبه های مختلف پشته ابری ناشی می شود. ممکن است حملات نرم افزاری مختلفی مانند حملات نقص نرم افزار، دسترسی به یک حساب معتبر و عدم احراز هویت در رابط های O-Cloud وجود داشته باشد. علاوه بر این، ماشین های مجازی و کانتینرهایی که مؤلفه های ORAN ابری را در O-Cloud اجرا می کنند، می توانند توسط یک عامل مخرب به روش های مختلف مورد سوء استفاده قرار گیرند.

یک پیکربندی نادرست که امتیازات غیر ضروری را به کانتینر/VM می دهد ممکن است منجر به افزایش امتیاز و فرار از انزوا شود. مهاجمان می توانند ظروف/VM میزبانی مشترک را با بدافزار آلوده کنند، VM های s/Container مخرب جدید را روی هاست مستقر کنند، به سرور ریشه دسترسی داشته باشند و در

نهایت کل سیستم را نابود کنند. همچنین امکان دسترسی غیرمجاز و دستکاری داده‌های حساس وجود دارد. علاوه بر این، استقرارهای VMs/container آسیب‌پذیر ممکن است خطر DoS را در منابع مشترک ایجاد کند. علاوه بر مشکل در دسترس نبودن، یک حمله DoS شناسایی نشده ممکن است باعث آسیب اقتصادی شود اگر مهاجم موفق شود با استفاده از قابلیت مقیاس‌بندی خودکار، آن را به یک حمله اقتصادی انکار پایداری (EDoS) تغییر شکل دهد. حملات زنجیره تامین تهدید دیگری علیه تصاویر VM/con-tainer است، که در آن مهاجم می‌تواند کد مخربی را تزریق کند یا داده‌های داخل تصویر ناامن را تغییر دهد و همچنین کلیدهای خصوصی و رمزهای عبور موجود در تصویر را استخراج کند. در نهایت، یک رابط O2 محافظت نشده بین O-Cloud و SMO خطر حمله MiTM را افزایش می‌دهد، خدمات و درخواست‌های دستکاری و افشا را ارائه می‌دهد. برای مثال، یک مهاجم می‌تواند درخواست‌های مهاجرت را تغییر دهد تا ها/کانتینرها VM را خارج از مرزهای قانونی قرار دهد.

- ماشین لرنینگ: استفاده از تکنیک‌های ML در ORAN نه تنها اطلاعات مورد نظر را برای توانمندسازی عملکردهای RAN مستقل فراهم می‌کند، بلکه مسائل امنیتی جدی را نیز معرفی می‌کند [۲۰]. در واقع، مدل‌های ML مستعد چندین حمله خصمانه هستند که به دشمن اجازه می‌دهد مدل ML را به تصمیم‌گیری نادرست، یادگیری مدل‌های اشتباه یا افشای اطلاعات خصوصی ترغیب کند [۲۱]. فریب دادن یک مدل ML به تصمیم‌گیری اشتباه را می‌توان با تغییر مجموعه داده‌های مورد استفاده برای آموزش مدل آفلاین، تزریق داده‌های جعلی به یک مدل یادگیری آنلاین، یا ایجاد نمونه‌های ورودی که می‌توانند از مدل آموخته‌شده در زمان ارائه فرار کنند، حاصل شود. رویکردهای یادگیری مشارکتی، مانند FL، مستعد حملات مسمومیت مدل هستند، جایی که یک عامل مخرب می‌تواند مدل جهانی را با دستکاری پارامترهای مدل محلی آن به خطر بیندازد. علاوه بر این، FL در برابر حملات استنتاجی آسیب‌پذیر است که مهاجم را قادر می‌سازد تا داده‌های آموزشی محلی خصوصی را با اعمال نفوذ پارامترهای مدل محلی استنتاج کند. بر اساس قابلیت دسترسی، حملات به مدل‌های ML را می‌توان به حملات جعبه سفید، جعبه سیاه و جعبه خاکستری طبقه‌بندی کرد [۲۱]. در واقع، زمانی که مهاجم به ترتیب به داده‌های آموزشی و پارامترها و معماری مدل مورد نظر دسترسی کامل، جزئی یا بدون دسترسی داشته باشد، حمله خصمانه جعبه سفید، جعبه خاکستری یا جعبه سیاه در نظر گرفته می‌شود. حمله جعبه سفید به دلیل فرض یک مهاجم با دانش کامل کمتر واقع بینانه تلقی می‌شود، که دستیابی به آن در سناریوهای دنیای واقعی دشوار است.

### ۳.۱ مجازی سازی توابع شبکه

برای بهبود سرویس دهی در نسل پنجم مخابرات، جداسازی المانهای نرم‌افزاری و سخت افزاری شبکه صورت گرفته است و به عنوان مجازی سازی توابع شبکه (NFV)<sup>۴۸</sup> معرفی شده است. حال توابع شبکه ی مجازی VNF<sup>۴۹</sup>، بلوکهای توابع سیستم هستند. در نسل پنجم مخابرات انتظار می‌رود که میزبان چندین سرویس با نیازهای مختلف به طور همزمان باشند. ایده اصلی NFV جداسازی تجهیزات شبکه فیزیکی از توابع اجرا شده بر روی آنها است. این بدان معنی است که یک عملکرد شبکه - مانند فایروال - میتواند به عنوان نمونه ای از نرم‌افزارهای ساده به فراهم آورندگان سرویس (SP)<sup>۵۰</sup> ارسال شود. این امر امکان ادغام بسیاری از انواع تجهیزات شبکه بر روی سرورهای با حجم بالا، سوئیچها و انبارها را فراهم می‌کند، که میتوانند در مراکز داده، نودهای شبکه توزیع شده و در محل کاربر نهایی قرار بگیرند. به این ترتیب، یک سرویس خاص میتواند به مجموعه ای از توابع شبکه مجازی (VNFs) تجزیه شود، که میتواند در نرم‌افزارهایی که روی یک یا چند سرور فیزیکی استاندارد در صنعت قرار دارند، اجرا شود. سپس VNF ها ممکن است در مکانهای مختلف شبکه (به عنوان مثال، با هدف معرفی خدمات هدفمند به مشتریان در یک موقعیت جغرافیایی خاص) جابجا شده و خدمات رسانی کنند، بدون اینکه لزوماً به خرید و نصب سخت افزار جدید نیاز داشته باشند. NFV به ها SP با انعطاف پذیری بیشتری وعده می‌دهد تا بتواند بیشتر قابلیت‌ها و خدمات شبکه خود را به کاربران و سایر خدمات باز کنند و امکان استقرار یا پشتیبانی از سرویسهای جدید شبکه را به طور سریعتر و ارزانتر داشته باشند تا بتوانند سرویس بهتری داشته باشند. برای دستیابی به این مزایا، NFV مسیر را برای کاهش اختلافات در نحوه ارائه خدمات شبکه در مقایسه با عملکرد فعلی ایجاد می‌کند. خلاصه این ویژگیها به شرح زیر است [۲۲].

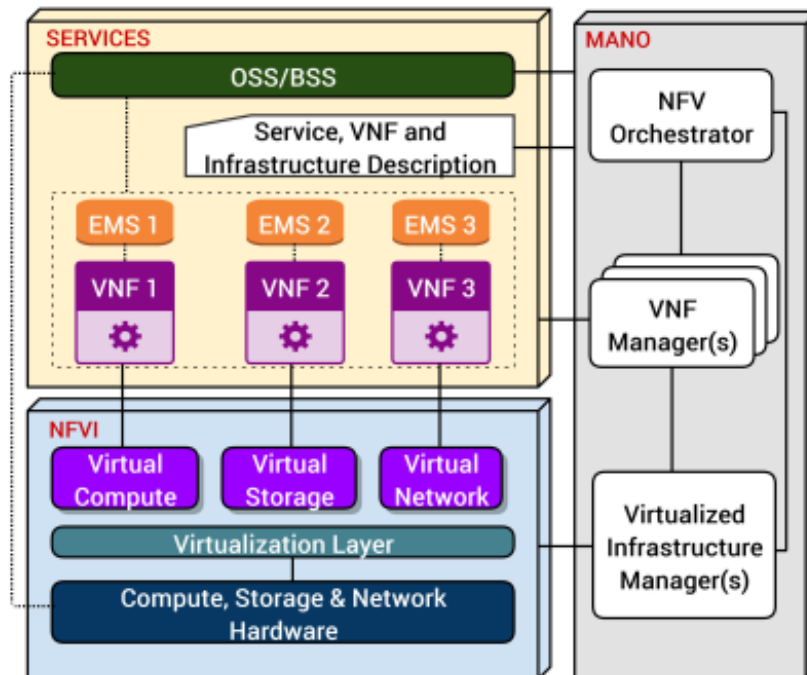
- **جداسازی بخش نرم‌افزار از سخت افزار:** از آنجا که عنصر شبکه، ترکیبی از سخت افزارها و نرم‌افزارهای یکپارچه نخواهد بود، تکامل هر دو مستقل از یکدیگر می‌باشد. که این ویژگی منجر به جداسازی زمان بندی توسعه و نگهداری نرم‌افزار و سخت افزار می‌گردد.
- **استقرار عملکرد شبکه انعطاف پذیر:** جدا کردن نرم‌افزار از سخت افزار به تنظیم مجدد و به اشتراک گذاری منابع زیرساختی کمک می‌کند، بنابراین، سخت افزار و نرم‌افزار، باهمدیگر میتوانند در زمانهای مختلف عملکردهای مختلفی را انجام دهد که به اپراتورهای شبکه کمک می‌کند تا خدمات جدید شبکه را سریعتر در همان پلت فرم فیزیکی مستقر کنند. بنابراین، مؤلفه‌ها را میتوان در هر دستگاه با قابلیت NFV در شبکه قرار داد و اتصالات آنها به روشی انعطاف پذیر تنظیم کرد.

<sup>48</sup>network function virtualization

<sup>49</sup>Virtual network function

<sup>50</sup>Service Provider





شکل ۱۲.۱: ساختار NFV [۷]

- **مقیاس‌گذاری پویا:** جداسدن عملکرد شبکه به اجزای نرم‌افزاری انعطاف‌پذیری بیشتری را برای عملکرد واقعی VNF به روشی پویاتر، با توجه به ترافیک واقعی که اپراتور شبکه برای تأمین ظرفیت نیاز دارد، فراهم می‌کند.

در ادامه ساختار این شبکه به طور دقیق بیان می‌گردد. VNF ها برای به اشتراک گذاشتن منابع مختلف فیزیکی و مجازی زیرساختها میتوانند مستقر و مجدداً تنظیم شوند، تا مقیاس‌پذیری و کارآمدی سیستم را تضمین کنند که منجر می‌شود SPها به سرعت سرویسهای جدید را در سیستم وارد کنند. به طور کلی، سه مؤلفه اصلی در NFV وجود دارد: خدمات، NFVI و مدیریت NFV و orchestration<sup>۵۱</sup> که در شکل (۱۲.۱) دیده می‌شود. این مؤلفه‌ها به شرح زیر بیان می‌گردد [۷].

۱. خدمات: یک سرویس مجموعه‌ای از VNF ها است که میتوانند در یک یا چند ماشین مجازی پیاده‌سازی شوند. در بعضی مواقع، VNF ها میتوانند در ماشینهای مجازی نصب شده در سیستم عامل یا سخت افزار بطور مستقیم نصب شوند. آنها توسط سرپرستان بومی یا مانیتورهای ماشین مجازی اداره می‌شوند. معمولاً توسط یک سیستم مدیریت عناصر<sup>۵۲</sup>، (EMS) که مسئولیت ایجاد، تنظیمات، نظارت، عملکرد

<sup>51</sup>NFV-MANO<sup>52</sup>Element Management System

و امنیت آن است، اداره می‌شود. EMS اطلاعات ضروری مورد نیاز سیستم پشتیبانی عملیات<sup>۵۳</sup> (OSS) را در یک محیط SP فراهم می‌کند. OSS سیستم مدیریت عمومی است، که همراه با سیستم پشتیبانی از تجارت<sup>۵۴</sup> (BSS)، به ارائه دهندگان کمک می‌کند تا چندین سرویس ارتباطی از راه دور را به کار ببندند و مدیریت کنند. (به عنوان مثال سفارش، صورتحساب، تمدید، عیب‌یابی مشکل و غیره). مشخصات NFV بر ادغام با راه‌حلهای موجود OSS / BSS متمرکز است.

۲. NFVI: زیرساختهای NFV تمام منابع سخت افزاری و نرم‌افزاری را که شامل محیط NFV است، پوشش می‌دهد. NFVI شامل اتصال شبکه بین مکانها، به عنوان مثال، بین مراکز داده و ابرهای ترکیبی عمومی یا خصوصی است. منابع فیزیکی به طور معمول شامل محاسبات، ذخیره‌سازی و سخت افزار شبکه است که وظیفه‌ی آن پردازش، ذخیره‌سازی و اتصال هافها VNF از طریق لایه مجازی سازی است و دقیقاً بالای سخت افزار قرار دارد و منابع فیزیکی را چکیده می‌کند (که به صورت منطقی تقسیم شده و به هافها VNF اختصاص می‌یابد). هیچ راه حل خاصی برای استقرار NFV وجود ندارد. در عوض معماری NFV میتواند از یک لایه مجازی سازی موجود مانند Hypervisor با ویژگیهای استاندارد که منابع سخت افزاری را به راحتی استخراج می‌کند و آنها را به هافها VNF اختصاص می‌دهد، استفاده کند. وقتی این پشتیبانی در دسترس نباشد، اغلب، لایه مجازی سازی از طریق یک سیستم عامل حاصل می‌شود که نرم‌افزاری را در بالای سرور غیر مجازی یا با اجرای یک VNF به عنوان یک برنامه اضافه می‌کند.

۳. NFV-MANO: NFV-MANO از این موارد تشکیل شده است: orchestrator، مدیران VNFs و مدیران زیرساخت مجازی. چنین بلوکی عملکردهای مورد نیاز برای کارهای مدیریتی را که برای هافها VNF اعمال می‌شود، به عنوان مثال تهیه و پیکربندی را ارائه می‌دهد. NFV-MANO شامل orchestration و مدیریت چرخه منابع فیزیکی یا مجازی است که از مجازی سازی زیرساختها و مدیریت چرخه هافها VNF پشتیبانی می‌کند. همچنین شامل بانکهای اطلاعاتی است که برای ذخیره اطلاعات و مدل‌های داده استفاده می‌شود که ویژگیهای چرخه عمر توابع، خدمات و منابع را تعریف می‌کند. NFV-MANO روی کلیه وظایف مدیریتی مجازی سازی ویژه لازم در چارچوب NFV تمرکز دارد. علاوه بر این، این چارچوب رابطهایی را تعیین می‌کند که میتوانند برای ارتباطات بین مؤلفه‌های مختلف NFV، MANO و همچنین هماهنگی با سیستمهای سنتی مدیریت شبکه (یعنی OSS و BSS) مورد استفاده قرار گیرند تا امکان عملکرد هر دو VNF و کارکردهای اجرا شده بر روی تجهیزات فراهم شود. به طور خلاصه، اگر برش شبکه با استفاده از فایروال و DPI مستقر شده باشد، آنگاه NFV-MANO وظیفه دارد بگوید این هافها VNF در کجای شبکه فیزیکی قرار دارند. همچنین این هافها VNF توسط EMS و همان MANO کنترل می‌شوند.

<sup>53</sup>Operations Support System

<sup>54</sup>Business Support System

## ۴.۱ زیرساخت تعریف شده توسط نرم افزار

زیرساخت تعریف شده توسط نرم افزار SDI<sup>۵۵</sup> تعریفی از زیرساختهای محاسبات فنی است که کاملاً تحت کنترل نرم افزار بدون دخالت اپراتور یا انسان است. این عمل مستقل از هرگونه وابستگی خاص سخت افزاری عمل می کند و از لحاظ برنامه قابل توسعه است. در رویکرد SDI الزامات زیرساختی یک برنامه به صورت الزامات کاربردی و غیر عملکردی تعریف شده است به گونه ای که می توان به طور خودکار سخت افزار کافی و مناسب برای تحقق این نیازها تهیه کرد. این زیرساخت شامل شبکه‌ی تعریف شده‌ی نرم افزار و شبکه‌ی رادیویی دسترسی تعریف شده‌ی نرم افزار می باشد که در ادامه توضیح می دهیم.

### ۱.۴.۱ شبکه تعریف شده نرم افزار (SDN)

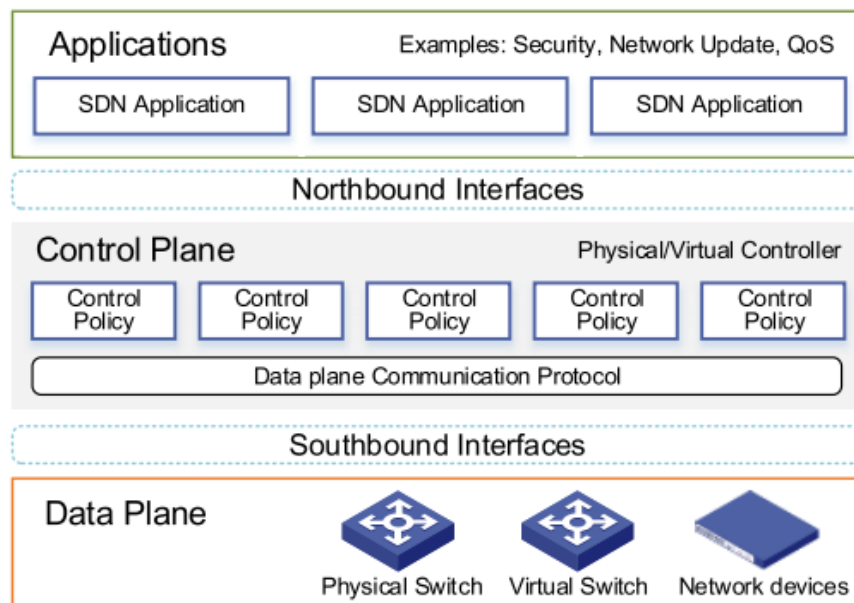
بنیاد شبکه باز<sup>۵۶</sup> (ONF) یک مجموعه ای است که به توسعه، استاندارد سازی و تجاری سازی SDN<sup>۵۷</sup> پرداخت. ONF به طور صریح و دقیق SDN را بدین صورت تعریف کرد: شبکه تعریف شده توسط نرم افزار (SDN) یک معماری شبکه است که کنترل شبکه از ارسال جدا می شود و به طور مستقیم قابل برنامه ریزی است. SDN توسط دو ویژگی تعریف می شود، یعنی جدا شدن صفحه ی کنترل و داده و قابلیت برنامه ریزی در صفحه کنترل. با این وجود، هیچ یک از این دو امضای SDN در معماری شبکه کاملاً جدید نیستند [۲۳]. SDN در اصل یک الگوی شبکه سازی متمرکز است که در آن هوش شبکه (یعنی عملکرد کنترل یا صفحه کنترل) به طور منطقی در یک یا مجموعه ای از موجودیتهای کنترل (یعنی کنترل کننده های SDN) متمرکز می شود در حالی که صفحه ی انتقال داده، ساده و چکیده شده برای برنامه های کاربردی می باشد و سرویسهای شبکه درخواست خود را از طریق کنترل کننده های SDN بیان میکنند. در حالی که در مورد هسته اصلی شبکه موبایل، EPC LTE صحبت میکنیم، مفهوم SDN برای دستیابی به جدایی واضح بین صفحات کنترل و کاربر در اشخاص SGW و PGW استفاده می شود. با تقسیم دروازه به این روش (یعنی از SGW به SGW-C و SGW-U و از PGW به PGW-C و PGW-U) مقیاس بندی این مؤلفه ها به طور مستقل امکان پذیر است و طیف وسیعی از گزینه های استقرار را نیز ممکن می کند.

پروتکل مورد استفاده بین صفحه ی کنترل و صفحه ی کاربر میتواند یا افزونه پروتکل موجود OpenFlow باشد، که توسط گروه کاری بی سیم و موبایل ONF با (WMWG) رابطهای جدید، یعنی Sxa و Sxb ساخته می شود، که توسط 3GPP CUPS تعریف و مشخص می شوند [۲۴]. جداسازی صفحه ی کنترل از کاربر منجر

<sup>55</sup> Software Defined Infrastructure

<sup>56</sup> Open Networking Foundation

<sup>57</sup> Software Defined Network



شکل ۱۳.۱: ساختار SDN [۸]

به کنترل بیشتر شبکه بوسیله ی برنامه می‌گردد که منجر به بهبود تنظیمات و کارآمدی سیستم می‌گردد. SDN با ساختار برنامه ریزی شده ی قوانین ترافیک، جایگزین امیدوار کننده ای برای فرماندهی ترافیک ارائه می‌دهد. ساختار SDN در شکل (۱۳.۱) آورده شده است. در این ساختار ۳ لایه ی مختلف وجود دارد که در ادامه بیان میکنیم [۸].

۱. لایه ی برنامه : این لایه مجموعه ای از برنامه های متمرکز بر خدمات شبکه را پوشش می‌دهد و آنها عمدتاً برنامه‌های نرم‌افزاری هستند که با لایه کنترل ارتباط برقرار میکنند.

۲. لایه ی کنترل: به عنوان هسته اصلی، SDN لایه کنترل از یک کنترلر متمرکز تشکیل شده است که منطقاً نمای شبکه جهانی و پویا را حفظ می‌کند، که از لایه برنامه درخواست می‌کند و دستگاه‌های شبکه را از طریق پروتکل‌های استاندارد مدیریت می‌کند.

۳. لایه ی داده: این لایه، زیرساختها شامل سوئیچها، روترها و لوازم شبکه می‌باشد. در زمینه SDN این دستگاه‌ها قابل برنامه ریزی هستند و از رابط‌های استاندارد پشتیبانی میکنند.

## ۲.۴.۱ شبکه دسترسی رادیویی تعریف شده نرم‌افزار (SDRAN)

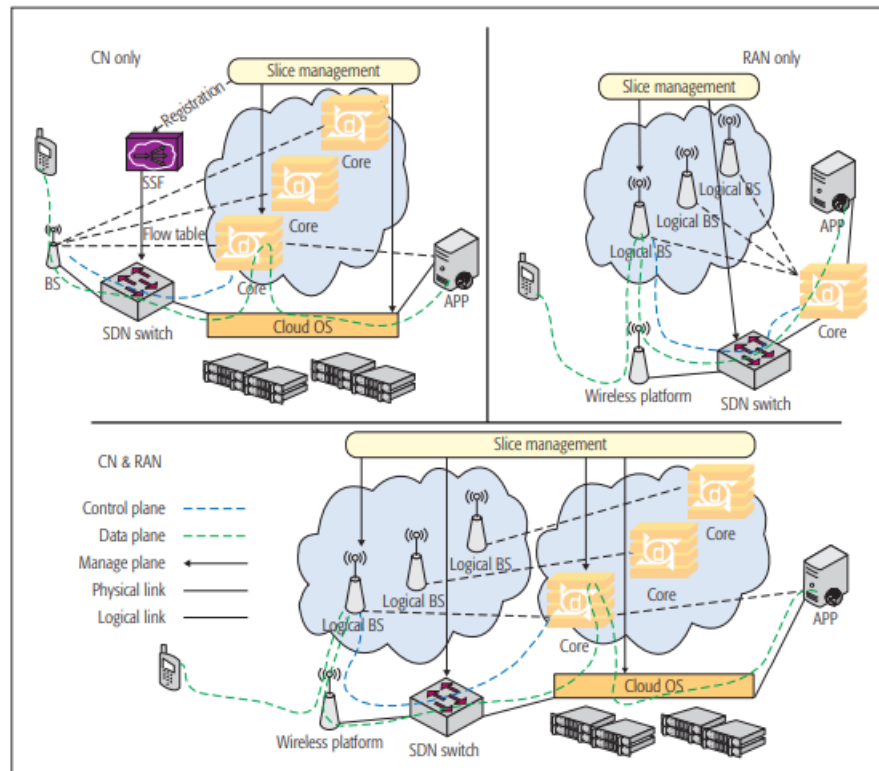
SDRAN<sup>۵۸</sup> یا شبکه‌ی دسترسی رادیویی تعریف شده‌ی نرم‌افزار، یک بازنگری اساسی در لایه دسترسی رادیویی است. SDRAN یک صفحه‌ی کنترل متمرکز نرم‌افزار تعریف شده است برای بخش شبکه دسترسی رادیویی که ایستگاه‌های پایه را در یک مکان جغرافیایی داخلی، به عنوان یک ایستگاه پایه‌ی بزرگ مجازی با المانهای کنترلی مرکزی و رادیویی می‌باشد. در این حالت، مفهوم SDRAN به مفهوم vRAN بسیار نزدیک است. SDRAN صفحه کنترل و صفحه داده را در RAN جدا می‌کند و تصمیمات کنترل را به صفحه کنترل متمرکز می‌کند. در معماری های رایج، SDRAN یک کنترل کننده مرکزی اطلاعات کل شبکه را جمع می‌کند و در سطح کلی برای هر عنصر صفحه داده تصمیم گیری می‌کند. این روش از سربار شدن تصمیم گیری در عناصر صفحه داده جلوگیری می‌کند و فرصتی را برای مدیریت انعطاف پذیر و هماهنگ در کل RAN فراهم می‌کند. در تعریف چنین معماری، ما چارچوبی ایجاد می‌کنیم که از طریق آن یک شبکه جغرافیایی محلی می‌تواند به طور موثر توازن بار و مدیریت تداخل را انجام دهد و همچنین نرخ عملیاتی و یا هر هدف دیگر را به بهینه‌ترین مقدار خود برساند. ما معتقدیم که طراحی تعریف شده توسط نرم افزار در RAN یک گام اساسی برای پشتیبانی از برش شبکه، به اشتراک گذاری، RAN مدیریت طیف انعطاف پذیر و سایر ویژگی های اصلی در شبکه های ۵G خواهد بود. امید بر این است که طراحی تعریف شده توسط نرم افزار در RAN (SDRAN) یک گام اساسی برای پشتیبانی از برش شبکه، به اشتراک گذاری، RAN مدیریت طیف انعطاف پذیر و سایر ویژگی های اصلی در شبکه های ۵G خواهد بود [۲۵، ۲۶].

## ۵.۱ برش شبکه

پیش بینی می‌شود شبکه‌های 5G چندین سرویس را با نیازهای مختلف به طور همزمان پشتیبانی کند. برش شبکه<sup>۵۹</sup> به عنوان راه حلی برای چنین تقاضا در نظر گرفته شده است. یک برش شبکه، یک شبکه منطقی end-to-end است که خدمات با نیازهای خاص را ارائه می‌دهد. چندین برش شبکه در یک زیرساخت یکسان اجرا و مدیریت می‌شوند و به طور مستقل کار میکنند. برش شبکه با هدف تقسیم منطقی مجموعه توابع و منابع شبکه در یک نهاد شبکه در نظر گرفته شده است که مطابق با خواسته‌های فنی یا تجاری خاص می‌باشد. با خرد کردن یک شبکه فیزیکی به چندین شبکه منطقی، برش شبکه میتواند از خدمات متناسب با تقاضا برای سناریوهای برنامه مشخص در همان زمان با استفاده از همان شبکه فیزیکی پشتیبانی کند. با استفاده از برش شبکه، منابع شبکه میتوانند به

<sup>58</sup>Software Defined Radio Access Network

<sup>59</sup>Network Slicing



شکل ۱۴.۱: سه ساختار برش شبکه [۹]

صورت پویا و کارآمد به برشهای شبکه منطقی با توجه به خواسته‌های QoS مربوطه اختصاص داده شوند [۲۷].  
پایده‌سازیهایی مختلفی از برش شبکه وجود دارد که شامل برش هسته‌ی شبکه، برش RAN و برش هر دو بخش می‌باشد [۹].

- **برش هسته:** هسته‌ی شبکه (CN) <sup>۶۰</sup> به عنوان برشهای شبکه، مجازی سازی می‌شوند که با ویژگیهایی مانند ویژگیهای قابل برنامه‌ریزی و قابل اعتماد بودن که شامل مدیریت حرکت و تأیید اعتبار می‌باشد. برشهای شبکه فقط در CN وجود دارد. بنابراین، نه RAN و نه تجهیزات کاربر (UE) برای های CN برش داده شده نیاز به تنظیم ویژه ندارند. در برش هسته‌ی شبکه، برش تنها در بخش هسته‌ی شبکه است و تمام واسطه‌ها و فرایندها، بدون تغییر باقی میمانند به جز مواردی که در ابتدا UEها به شبکه‌ها وصل می‌شوند، زیرا UEها باید به برش صحیح های CN اختصاص داده شوند.

- **برش شبکه‌ی دسترسی رادیویی:** برخلاف برش CN، برشهای RAN روی سخت افزار رادیویی و استخر منابع باند پایه، به نام یک سطح بی سیم، اجرا می‌شوند که دارای کثرتی نسبت به زیرساخت

<sup>60</sup>core network

مجازی بالغ شده در ها CN هستند. با چند BS منطقی، برشهای RAN پارامترهای مختلفی از رابطهای هوا (به عنوان مثال، طول نماد، فاصله زیر حامل، طول پیشوند چرخه و پارامترهای درخواست تکرار خودکار هیبریدی<sup>۶۱</sup>) را اعمال می‌کند. علاوه بر این، پارامترهای دیگری مانند انتخاب سلول و آستانه انتقال، و همچنین سیاستهای انتقال هماهنگ را میتوان برای هر برش تعریف کرد تا یک تجربه بی سیم برجسته را به کاربران ارائه دهد.

- **برش هسته و شبکه ی دسترسی رادیویی:** در این سناریو، هر برش از RAN به یک برش از هسته متصل می‌شود، بنابراین اپراتورها میتوانند یک شبکه منطقی انتهایی به مشتریان ارائه دهند. روش انتخاب برش همان روش برش RAN است، بنابراین کاربران پس از دسترسی به سیستم، نیازی به انتخاب برش CN ندارند. این مدل از برش مزایای هر دو مدل از برش را باهم دارد. در نتیجه این روش برش، قادر به برنامه ریزی ویژگیهای CN و همچنین دارای قابلیت تغییر رابطهای هوایی RAN می‌باشد.

## ۶.۱ دستاوردهای پروژه

در اینجا، هدف در نظری ساختار رادیویی دسترسی باز در نسل پنجم و تخصیص منابع آن می‌باشد. مسئله ی برش شبکه در بخش رادیویی و قرارگیری توابع مجازی شبکه بر روی مراکز داده باهم در شبکه ی دسترسی رادیویی باز مورد بررسی قرار گرفته است. بخش رادیویی به صورت کامل مدل سازی شده و تاخیر و نرخ و پارامترهای دیگر بدست می‌آید. در اینجا فرض براین است که کاربران بر اساس سرویس مورد نیاز، دسته بندی می‌شوند و هدف تخصیص منابع فیزیکی محاسباتی به این برشهای اختصاص یافته به سرویسها می‌باشد. برای حل این مسئله، ابتدا مسئله را به دو مسئله ی کوچکتر مختلف شکسته که در مرحله اول، برای یافتن تخصیص توان، تخصیص PRB و تعداد VNF ها، مسئله را دوباره فرموله و ساده می‌کنیم. در مرحله دوم، ارتباط O-RU حل می‌شود. در این مسئله، تاخیر و نرخ هر کاربر در سرویس مورد بررسی قرار گرفته شده و چالش تخصیص منابع که شامل برش بخش رادیویی به هر سرویس است و جاگیری توابع شبکه حل می‌شود.

<sup>61</sup>HARQ

## ۷.۱ ساختار پروژه

در این فصل مروری بر مفاهیم مورد استفاده در پروژه کردیم. در فصل دوم مروری بر ادبیات پیشین و خلاصه‌ای از مدل سیستم مقالات موجود، بیان می‌گردد. در این فصل ابتدا صورت مسئله‌ی برش شبکه، شبکه‌های دسترسی رادیویی باز و قرارگیری توابع شبکه در مراکز داده و آسیب پذیری‌های این سیستم و مسایل مربوط به امنیت سیستم را بررسی کرده سپس در مورد حل مسئله صحبت می‌کنیم. در فصل سوم مدل سیستم در نظر گرفته بیان می‌شود و صورت مسئله به نمایش گذاشته می‌شود و روش‌های حل آن بیان می‌گردد. همچنین نتایج شبیه سازی قرار داده می‌شود. در فصل چهارم صورت مسئله را ساده‌سازی کرده و با روش دینامیکی مسئله را با در نظر گرفتن امنیت سیستم حل می‌نماییم. در فصل پنجم نیز نتیجه گیری و کارهای آتی مورد نظر و پیشنهادات بیان می‌شود.

## ۸.۱ نتیجه گیری

در این فصل ابتدا مروری بر تاریخچه ی مخابرات و نسل‌های چهارم تا ششم مخابراتی شد. سپس ساختارهای مختلف دسترسی رادیویی به طور خلاصه بیان شد و در نتیجه ی آن ساختار CRAN که ساختار ابری است تعریف شد. سپس ساختار xRAN مورد توجه قرار گرفت و در نهایت ساختار ORAN که ترکیب و تکاملی از CRAN و xRAN می‌باشد مورد توجه قرار گرفت. سپس به مرور آسیب پذیری‌های ORAN و مسئله‌ی امنیت آن پرداخته شد. بعد از بیان ساختارهای رادیویی، ساختار هسته ی شبکه را در نسل پنجم بیان کردیم که شامل NFV و SDN می‌باشد که منجر به جداسازی صفحه ی کنترل از کاربر می‌شود و سیستم هوشمندتر همراه با قابلیت برنامه ریزی بیشتر می‌گردد. در ادامه برش شبکه در بخش رادیویی و هسته و هردو مورد توجه قرار گرفته شد.



## فصل ۲

### مروری بر کارهای پیشین

#### ۱.۲ مقدمه

در این فصل، به مرور کارهای گذشته می‌پردازیم. ابتدا صورت مسئله مقالات مختلف را بررسی می‌نماییم که به ترتیب شامل مقالاتی هستند که از برش شبکه استفاده کرده‌اند. برش شبکه در سه بخش رادیویی، بخش هسته و هردو بخش هسته و رادیویی صورت می‌گیرد. سپس در زمینه‌ی سیر عبور از شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری به شبکه‌های دسترسی رادیویی باز مطالعه نموده و بعد از آن درباره‌ی جاگیری VNF ها صحبت می‌کنیم. سپس در مورد روش حل مسئله صحبت می‌کنیم که شامل مسائل کوله پشتی و بسته بندی جعبه می‌باشد و در نهایت در مورد روشهای یادگیری تقویتی صحبت می‌کنیم.

#### ۲.۲ مروری بر مسائل پیشین

در این بخش به مطالعه‌ی مقالات متشابه می‌پردازیم. ابتدا در مورد مسائل مرتبط با برش شبکه صحبت نموده سپس در مورد شبکه‌های دسترسی رادیویی باز مطالعه نموده و در نهایت به مروری بر کارهای انجام شده در زمینه‌ی قرارگیری توابع شبکه‌ی مجازی می‌پردازیم.

## ۱.۲.۲ برش شبکه

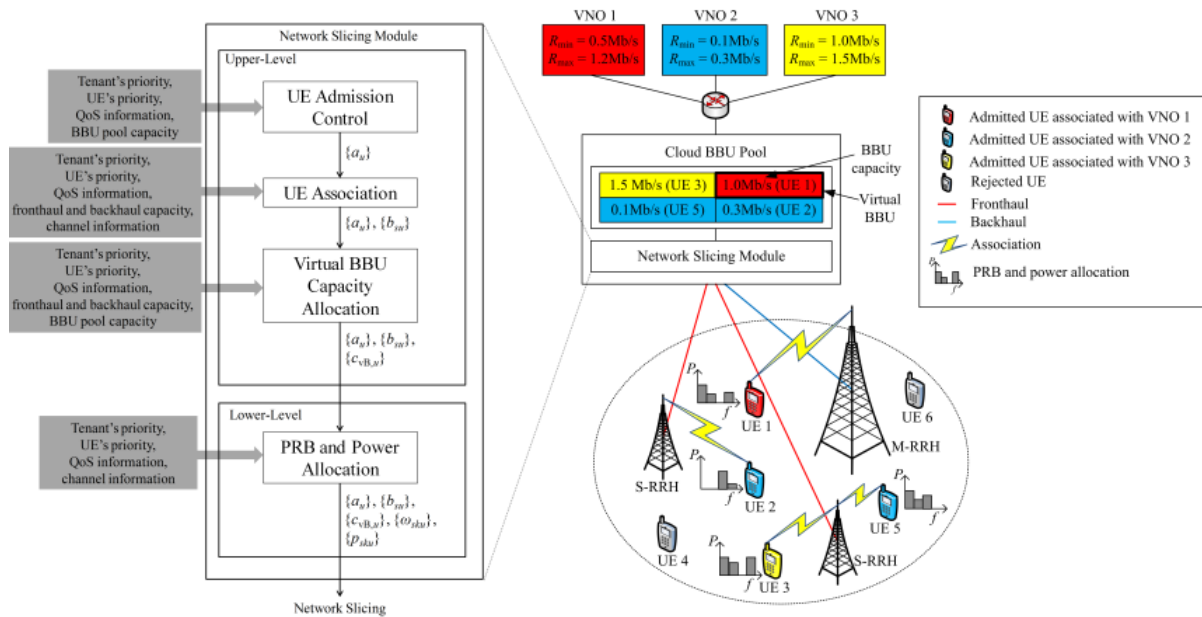
برش شبکه یک شبکه منطقی انتها به انتهای مستقل است که بر روی یک زیرساخت فیزیکی مشترک کار و قادر به ارائه خدمات می‌باشد. در این بخش برش شبکه در بخش رادیویی و هسته و هردو را بررسی می‌کنیم. مشکل تخصیص منابع برای برش شبکه در شبکه‌های سلولی چند مستاجر اخیراً مورد توجه قرار گرفته است [۲۸، ۱۰، ۲۹].

برش RAN یکی از کلیدهای اصلی برای انعطاف پذیری سفارشات و مدیریت مجازی سازی ایستگاه پایه می‌باشد تا بتواند منابع رادیویی را در میان سرویس‌های مختلف تقسیم کرده و منجر به سازگاری اپراتورها و برطرف کردن نیاز سرویس‌ها گردد.

شبکه‌های دسترسی رادیویی ابر (C-RAN) به عنوان یک چارچوب امیدوار کننده برای سیستم‌های ارتباط بی سیم نسل پنجم ظاهر شده‌اند. از آنجا که آنها می‌توانند پیچیدگی رمزگشایی، مصرف انرژی و دخالت‌های ناشی از افزایش تراکم تلفن همراه را کاهش دهند [۳۰]. در ادامه در مورد برش شبکه در بخش رادیویی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری صحبت می‌کنیم.

در مقاله‌ی [۱۰] برش شبکه به صورت دینامیکی در بخش رادیویی مورد بررسی قرار گرفته شده‌است. برش شبکه در اینجا به عنوان فرآیند تخصیص منابع شبکه به کاربران انجام چارچوب طرح برش شبکه شامل یک سطح بالاتر، که مدیریت کنترل پذیرش کاربران، ارتباط کاربر که شامل تخصیص واحد رادیویی (RRH) برای بیشینه سازی نرخ کاربران و تخصیص ظرفیت منابع باند پایه (BBU) و یک سطح پایین‌تر، که تخصیص توان و بلوک منابع فیزیکی (PRB) در میان کاربران می‌باشد. در این مدل فرض می‌کنیم که هر سرویس دارای شبکه اصلی خود (یا قطعه اصلی شبکه) است که به H-CRAN متصل می‌شود. سلول بزرگ RRH (M-RRH) و سلولهای کوچک RRHs (S-RRHs) به ترتیب از طریق پیوندهای پشتی و fronthaul به یک استخر ابر BBU متصل میشوند. همچنین، تقسیم C/U در مدل سیستم فرض می‌شود، که به موجب آن صفحات کنترل و داده از هم جدا میشوند به گونه‌ای که صفحات کنترل توسط M-RRH در شبکه مدیریت می‌شود. همانطور که در شکل (۱.۲) مشخص شده‌است ابتدا پذیرش کاربر مورد توجه قرار می‌گیرد و سپس کاربر به RRH متصل می‌شود و پس از آن ظرفیت BBU به آن تخصیص می‌دهد که تا این بخش از کار در سطح بالا قرار داریم. در سطح بالا، یک مسئله کنترل پذیرش با برنامه نویسی پویا می‌باشد که در آن پیچیدگی را میتوان تنظیم کرد. این مسئله از جنس مسئله ی کوله پشتی<sup>۱</sup> باینری می‌باشد که با الگوریتم دینامیکی جواب بهینه ی آن بدست می‌آید. همچنین مسئله ی ارتباط کاربر نیز یک مسئله ی کوله پشتی باینری است که با استفاده از یک الگوریتم حریص با پیچیدگی کم بهینه و حل می‌شود. مسئله ی تخصیص ظرفیت BBU نیز فرموله شده و با برنامه ریزی خطی حل می‌شود. حال

<sup>1</sup>Knapsack



شکل ۱.۲: روند برش شبکه [۱۰]

وارد الگوریتم سطح پایین تر می‌شویم که تخصیص توان و منبع فیزیکی می‌باشد. برای مساله‌ی سطح پایین تر، مشکل تخصیص منابع به عنوان یک مشکل برنامه نویسی mixed-integer غیر محدب است که با استفاده از روش دوگانه لاگرانژ حل می‌شود.

در مقاله‌ی [۳۱، ۳۲] برش شبکه در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری مورد توجه قرار گرفته است. در بخش fronthaul مشکلاتی از قبیل پیچیدگی شبکه و محدودیت نرخ وجود دارد که در برش شبکه، منجر به بهبود آن می‌شود. علاوه بر این، C-RAN می‌تواند مجازی سازی مجموعه‌ای از توابع RAN را امکان پذیر کرده و راه را برای اصطلاحاً RAN مجازی باز کند. با این کار میتوان چندین شبکه مجازی یا برش ایجاد کرد. مقاله‌ی [۳۱] نشان داده است که استفاده از برش شبکه و برخورداری از سویچ بسته در fronthaul مزایای زیادی را به همراه خواهد داشت که از جمله برخورداری از تقسیمات عملکردی مختلف خواهد بود. همچنین از معایب این کار تاخیر نسبتاً اندکی می‌باشد.

در مقاله‌ی [۳۳] برش شبکه در بخش رادیویی برای ساختار مه<sup>۲</sup> یا F-RAN در نظر گرفته شده است که در آن دو نمونه برش شبکه برای هات اسپات و سناریوهای وسیله نقلیه با زیرساخت مربوط تنظیم می‌شود. به طور خاص، چارچوب برای برش RAN به عنوان یک مشکل بهینه سازی مشترک برای مقابله با ذخیره کردن و انتخاب حالت است. با توجه به خواسته‌های کاربران مختلف و منابع محدود، پیچیدگی مسئله بهینه سازی اصلی

<sup>۲</sup>Fog Radio Access Network

بسیار زیاد است و همین امر باعث می‌شود که رویکردهای بهینه‌سازی سنتی به طور مستقیم سخت باشد. برای مقابله با این معضل، یک الگوریتم یادگیری تقویت عمیق ارائه شده است، که ایده اصلی آن این است که سرور ابر تصمیمات صحیحی را در زمینه ذخیره محتوا و انتخاب حالت برای به حداکثر رساندن عملکرد پاداش در وضعیت کانال پویا و وضعیت حافظه نهان ارائه می‌دهد.

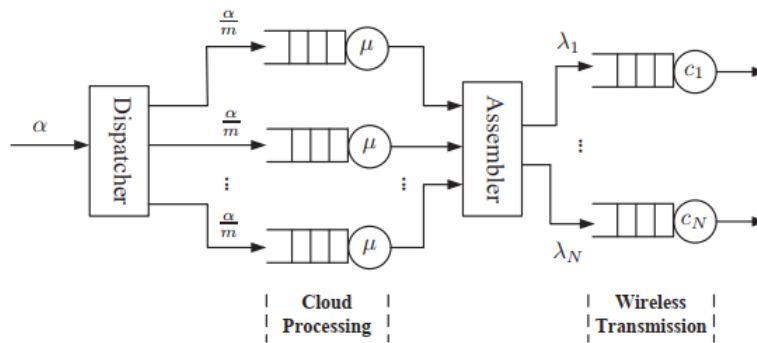
در مقاله‌ی [۳۴، ۳۵] اجرای مفهوم برش در سطح RAN توسط اپراتور شبکه تلفن همراه (MNO) برای پاسخگویی به نیازها می‌باشد. همچنین مساله‌ی تخصیص منابع (در اینجا پهنای باند) مورد توجه قرار گرفته شد. چالش‌های پیش رو برش RAN نیز مورد بررسی قرار گرفته است که یکی از چالش‌ها شامل طراحی و مدیریت چندین برش در زیرساخت مشترک به روشی کارآمد و در عین حال ضمانت SLA توافق شده برای هر یک از آنها است. این چالش ما را نیازمند مفهوم ایزولاسیون برش می‌کند.

در مقاله‌ی [۳۶] برش در بخش RAN مورد توجه قرار گرفته است. همچنین در این مقاله یک برنامه تخصیص منابع پویا، با هدف به طور مشترک بهینه‌سازی مصرف برق و تخصیص پهنای باند در حالی که رضایت از تأخیر مربوطه برای ورود ترافیک پراکنده uRLLC و کیفیت خدمات eMBB را تا حد ممکن ارائه می‌دهد، پیشنهاد می‌کند. طرح پیشنهادی براساس کنترل بهینه توان برای تخصیص منابع آگاه از تأخیر است. در نتیجه در این سیستم هدف مینیمم کردن توان با شروط برآورده شدن شروط پهنای باند و تاخیر که با شرط صف پردازش نشان داده، می‌باشد.

در مقاله‌ی [۳۷] اجرای عملی برش شبکه پیشنهاد شده است. در مدل پیشنهادی، نویسندگان فرض می‌کنند که در هر شکاف زمانی مشخص، کاربران فقط می‌توانند یک برش شبکه واحد را درخواست کنند. در اینجا تابع هدفی بر اساس نسبت میزان منابع اختصاص داده شده به کاربران در هر زمان  $t$  به ظرفیت کل منابع مشخص شده است و هدف بهینه‌سازی آن می‌باشد. مدل پیشنهادی بر اساس مسئله multi armed bandit ساخته شده است و نویسندگان سه نوع آن را برای حل جنبه‌های مختلف تخصیص برش شبکه معرفی کرده اند. آنها با استفاده از MATLAB مدل بهینه‌سازی را شبیه‌سازی کرده و نتایج را با یک الگوریتم حریص مقایسه کردند. آنها همچنین اثبات مفهوم برش شبکه را ارائه دادند.

برش شبکه یکی از فناوری‌های کلیدی است که به شبکه‌های 5G اجازه می‌دهد منابع اختصاصی به صنایع مختلف (خدمات) ارائه دهند. در مقاله‌ی [۳۸] نویسندگان یک روش تخصیص منابع (تأخیر بهینه) برای برشهای شبکه حمل و نقل 5G برای پشتیبانی از خدمات URLLC ارائه داده اند. آنها ویژگی‌های منبع شبکه و ویژگی‌های توپولوژی تخصیص منابع در تقسیم شبکه را معرفی کردند.

در [۳۹، ۴۰] ایزوله کردن برش شبکه‌ی هسته مورد توجه قرار گرفته است. [۳۹] برای کاهش تأثیر حملات DDOS در احراز هویت برش، از ایزوله کردن برش شبکه‌ی هسته استفاده شده و حل آن با ترکیبی از شبیه‌سازی و یک آزمایش عملی ارزیابی شده است. نویسندگان [۴۰] دو چالش مهم برش شبکه در بخش هسته مورد توجه



شکل ۲.۲: مدل پردازشی شبکه صف [۱۱].

قرار داده اند که شامل ایزوله کردن برش شبکه و تضمین میزان تاخیر انتها به انتها می‌باشد. در این مقاله، مساله‌ی بهینه‌سازی به صورت mixed integer linear programming می‌باشد که تابع هدف درخواست های برش ورودی را به سروری که کمترین میزان استفاده از آن شده‌است، اختصاص داده و مسیری را با حداقل تأخیر پیدا می‌کند. خروجی این مساله VNF ها را به سرور اختصاص می‌دهد.

در این دسته مقالات، سرویس ها به دو بخش تقسیم میشوند در بخش اول سرویس هایی که نسبت به تاخیر حساسند و دسته ی دوم سرویس هایی که نسبت به نرخ انتقال حساسند. همچنین در برخی مقالات هر دو ویژگی برای یک سرویس مد نظر می‌باشد. در این مدل های سیستم، تاخیر با استفاده از M/M/1 در ساده ترین حالت یا برای نزدیک تر شدن به حالت حقیقی از M/D/1 نیز استفاده می‌شود. میتوان در این مدل ها تاخیر را کمینه و نرخ انتقال را بیشینه کرده و یا برای کاربران نرخ را از حد مورد نیاز بیشتر و تاخیر را کمتر از حد مورد نیاز فرض کرد [۴۳، ۴۲، ۴۱، ۱۱]. همانطور که در شکل (۲.۲)، مشخص است، در این شبکه برای هر بخش تعدادی VNF قرار دارند که پردازش ها را انجام می‌دهند. در مسیر لینک پایین بسته ها با نرخ  $\alpha$  به صف های مختلف وارد شده و پس از پردازش با همدیگر ادغام شده و سپس بسته ی هر کاربر از طریق وایرلس منتقل میشوند. در این پردازش ها، از روش M/M/1 استفاده شده‌است. در این مدل مقالات اشاره ی مستقیم به برش شبکه نشده‌است ولی در آنها ترکیبی از مفهوم برش RAN و Core به چشم می‌خورد.

## ۲.۲.۲ همزمانی سرویسهای eMBB و URLLC

یکی از موضوعات چالش برانگیز، چندانگانه سازی<sup>۳</sup> سرویس های eMBB و URLLC در یک RAN و به اشتراک گذاری منابع این سرویس ها می‌باشد که بسیاری از محققان به این موضوع توجه دارند. در [۴۶، ۴۵، ۴۴]

<sup>۳</sup>multiplexing

مشکل تخصیص منابع در همزیستی خدمات URLLC و eMBB بر اساس QoS آنها در نظر گرفته شده است. در [۴۷]، مشکل تخصیص منابع برای سرویس‌های مشترک eMBB و URLLC با یادگیری تقویتی عمیق فرمول‌بندی و حل می‌شود. در [۴۸]، نویسندگان پیشنهاد کردند که منابع RAN برای سیستم برش شبکه در همزیستی خدمات eMBB و URLLC تخصیص داده شود. این سیستم تاخیر، نرخ سرویس و حفظ قابلیت اطمینان را تضمین می‌کند.

### ۳.۲.۲ شبکه‌های دسترسی رادیویی باز

در فوریه ۲۰۱۸، شبکه دسترسی رادیویی آزاد (ORAN) با ادغام xRAN و اتحاد C-RAN برای ایجاد سطح جدیدی از باز بودن در شبکه دسترسی رادیویی ایجاد شد که از نسل ۵G و ۶G پشتیبانی می‌کند. هدف اصلی ORAN افزایش عملکرد RAN از طریق عناصر شبکه مجازی و واسط‌های باز است که دارای هوش در RAN است. صراحت و هوش دو ستون اصلی تلاش‌های انجام شده توسط اتحاد ORAN است که یک نیروی جهانی متشکل از بیش از ۱۶۰ شرکت کننده از فروشندگان بزرگ، شرکت‌های کوچک و متوسط، اپراتورهای شبکه، مبتدیان و مؤسسات دانشگاهی است [۴۹].

در مقاله‌ی [۵۰] مقدمه‌ای در مورد مفاهیم، اصول و الزامات Open RAN که توسط اتحاد ORAN مشخص شده، بیان شده است. در این مقاله، به منظور نشان دادن نقش هوش در ORAN طرح مدیریت منابع رادیویی هوشمندی را برای رسیدگی به ازدحام ترافیک و نشان دادن اثربخشی آن در یک مجموعه داده در دنیای واقعی پیشنهاد شده است. یک معماری سطح بالا از این سناریوی استقرار که سازگار با الزامات ORAN است نیز مورد بحث قرار گرفته است. مقاله با چالش‌های کلیدی فنی و مشکلات باز برای تحقیقات و توسعه آینده به پایان می‌رسد.

در مقاله‌ی [۵۱] تعاریف عمومی، ویژگی‌های اساسی و روند تحقیقاتی فعلی در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری و مشتقات آن، شبکه‌های دسترسی رادیویی مجازی و شبکه‌های دسترسی رادیویی باز ارائه شده است. علاوه بر این، نتایج عملی و آموزه‌های آموخته شده در مورد محدودیت‌ها و مسائل پیش‌بینی نشده مجازی سازی شبکه‌های دسترسی رادیویی را ارائه داده شده است.

در مقاله‌ی [۵۲، ۵۳] ساختار و مدیریت منابع رادیویی (RRM) هوشمند و همچنین نقش مدیریت لینک رادیویی (RLM) در بهینه‌سازی انرژی در RRM در نظر گرفته شده است. ساختار RLM در زیرساخت ORAN مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، دیدگاه O-RAN و معماری آن مورد توجه قرار گرفته است.

## ۴.۲.۲ قرار دادن VNF ها

NFV الگویی است که عملکردهای شبکه سنتی را مجازی می‌کند و آنها را در سخت افزارهای عمومی و ابرها در مقابل سخت افزارهای تعیین شده، قرار می‌دهد. در واقع NFV بخش نرم افزار را از سخت افزار جدا می‌نماید. بنابراین یک سرویس داده شده میتواند به مجموعه ای از توابع شبکه مجازی (VNF) تجزیه شود، سپس میتوان آن را در نرم افزارهایی که روی یک یا چند سرور استاندارد فیزیکی صنعت اجرا میشوند، پیاده سازی کرد. اپراتورهای شبکه تلفن همراه عهده دار تصمیم گیری مدیریت زیرساخت است. این وظیفه بخشی از تنظیمات شبکه است و شامل تصمیم گیری در مورد قرار دادن VNF های مورد نیاز در سراسر زیرساخت و اختصاص پردازنده، حافظه و منابع ذخیره سازی به VNF ها و مسیریابی داده ها از طریق گره های شبکه می‌باشد. به لطف برش شبکه، شبکه های 5G از انواع خدمات به روشی انعطاف پذیر و سریع پشتیبانی میکنند. در این زمینه، ما به دنبال تصمیم گیری بهینه و با کیفیت بالا در مورد قرار دادن VNF در میان میزبانهای فیزیکی برای تحقق بخشیدن به خدمات هستیم.

در مقالات [۵۴، ۵۵، ۵۶] هدف یافتن تعداد بهینه ی VNF ها در یک زنجیره ی سرویس و قرار گیری VNF های مورد نظر بر روی سرور در هر بازه ی زمانی می‌باشد تا بتوان میزان هزینه را در سیستم به حداقل رساند. در این مقالات هدف کمینه کردن انرژی های مصرفی در هر بازه ی زمانی می‌باشد که شامل هزینه ی انرژی مصرفی هر VNF مستقر بر روی سرور در حال کار و هزینه ی استقرار VNF های جدید در هر لحظه ی زمانی می‌باشد. همچنین مجموع منابع مصرفی VNF های مستقر بر روی هر سرور در هر لحظه میبایست از منابع آن سرور کمتر باشد تا مساله عملی شود. با استفاده از الگوریتم آنلاین این مساله حل شده است. در مقاله ی [۵۵، ۵۶] نرخ جریان هر VNF و سرور نیز در نظر گرفته شده است و دیتا سنترها و VNF ها به صورت گرافی شبیه سازی شده اند. در مقاله ی [۵۶] الگوریتم روند کردن استفاده کرده که نتیجه ی خوبی را در مقابل مساله ی آفلاین دارد. در مقاله ی [۵۷] مساله ی قرار دادن VNF ها در لبه مورد بررسی قرار می‌گیرد که در اینجا تخصیص VNF ها در یک سیستم با زیرساخت لبه مورد توجه قرار گرفته است و هدف کمینه کردن تاخیر انتها به انتها از هر کاربر به VNF مورد نظر آن می‌باشد و از روش دینامیکی و پویا برای حل مساله استفاده شده است.

در مقاله ی [۵۸] مساله ی قرار دادن VNF در شبکه های فعال SDN/NFV مطالعه شده است، که به طور طبیعی به عنوان یک مساله ی برنامه نویسی باینری (BIP) فرموله شده است. در این مساله قرارگیری VNF زنجیر عملکرد سرویس مورد بررسی قرار گرفته شده است. با استفاده از روش یادگیری تقویت عمیق، الگوریتم قرارگیری VNF مبتنی بر شبکه DDQN<sup>۴</sup> پیشنهاد می‌کنیم.

در مقاله ی [۵۹] مسئله ی بهینه سازی مشترک قرار دادن VNF ها و زمانبندی جریان مطالعه شده است. این

<sup>4</sup>Double Deep Q-learning

مساله از نوع برنامه نویسی عدد صحیح می‌باشد. برای حالت تک جریان، مساله به سادگی قابل حل است اما برای چندین جریان مساله NP-hard خواهد بود و با استفاده از روش relax کردن لاگرانژ قابل حل می‌باشد.

## ۳.۲ روش‌های حل

در این بخش مروری بر حل مسائل توسط مقالات می‌نماییم. ابتدا به دو مسئله معروف NP-Hard اشاره می‌کنیم سپس به حل مسائل با استفاده از روش یادگیری تقویتی می‌پردازیم.

### ۱.۳.۲ مسئله‌ی کوله‌پشتی و بسته‌بندی جعبه

در اینجا به دو مسئله‌ی کوله‌پشتی و بسته‌بندی جعبه می‌پردازیم. این دو مسئله NP-Hard هستند. مسئله‌ی NP-hard را نمی‌توان در زمان چند جمله‌ای حل کرد در نتیجه از روشهای ابتکاری برای رسیدن به جواب نزدیکه بهینه استفاده می‌شود.

#### ۱.۱.۳.۲ مسئله‌ی کوله‌پشتی

یکی از مسائل پیش رو، مسئله‌ی کوله‌پشتی<sup>۵</sup> می‌باشد. این مسئله، از جنس NP-hard می‌باشد که در این مسئله می‌خواهیم تعدادی شی با وزنهای مختلف را در تعدادی جایگاه با ظرفیت مشخص قرار دهیم. هدف در این مسئله قرارگیری بیشترین تعداد اشیاء در این جایگاه‌ها می‌باشد. حل این مسئله با استفاده از روش‌های مختلف صورت می‌گیرد.

در مقاله‌ی [۱۰] همانطور که قبل تر اشاره شد، مسئله‌ی پذیرش کاربر و ارتباط کاربر از جنس کوله‌پشتی می‌باشد که به ترتیب با استفاده از الگوریتم دینامیکی و الگوریتم حریص تعریف شده در مقاله حل می‌گردد.

در مقاله‌ی [۶۰] یک راه حل جامع شامل برش شبکه، پیش بینی ترافیک، کنترل پذیرش و برنامه ریزی برای یک سیستم شامل برش شبکه ۵G ارائه شده‌است. راه حل کنترل پذیرش به یک مسئله کوله‌پشتی هندسی (دو بعدی) ترسیم شده و دو الگوریتم کم پیچیدگی به ترتیب برای درخواست‌های برش شبکه منظم و نامنظم طراحی شده‌اند.

<sup>۵</sup>knapsack



## ۲.۱.۳.۲ مسئله‌ی بسته‌بندی جعبه

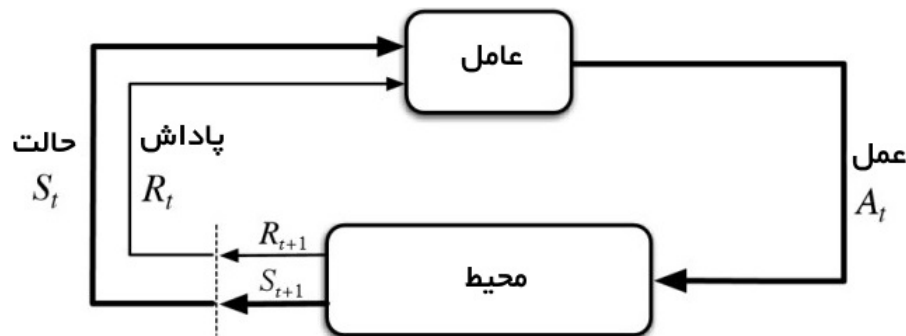
در این مسئله هدف قرار دادن تعدادی شیء در تعدادی جعبه با ظرفیت مشخص می‌باشد. در مسئله‌ی بسته‌بندی جعبه<sup>۶</sup> هدف کمینه کردن تعداد جعبه‌های ورودی با فرض اینکه همه‌ی اشیاء در آن جا شوند. در مقاله‌ی [۶۱] مسئله‌ی تخصیص منابع و بدست آوردن انرژی بهینه در ساختار H-CRAN می‌باشد. در این مقاله هدف تخصیص همزمان منابع ایستگاه رادیویی RRH و باند پایه BBU می‌باشد. این مسئله به دو بخش مجزا برای تخصیص منابع هر بخش شکسته می‌شود. بخش دوم که مربوط به زمان بندی و برنامه ریزی BBU می‌باشد به فرم یک مسئله‌ی باینری بسته‌بندی جعبه نوشته می‌شود. برای حل این الگوریتم از روش‌های مختلفی از جمله First-Fit(FF)، Next-Fit(NF)، First-Fit-Decreasing(FFD)، Best-Fit-Decreasing(BFD) می‌باشد که الگوریتم به کار رفته در مسئله از نوع روش BFD است که جواب بهتری در مقایسه با روشهای دیگر دارد.

در مقاله‌ی [۶۲] به صورت همزمان قرار دادن VNF ها و تخصیص منابع محاسباتی مورد هدف قرار داده شده‌است. این مسئله به صورت برنامه نویسی خطی mixed-integer می‌شود که بعد از تغییرات به صورت برنامه نویسی خطی عدد صحیح میتوان نوشت که به فرم مسئله‌ی بسته‌بندی جعبه خواهد بود که با استفاده از الگوریتم مشابه BFD حل می‌گردد.

## ۲.۳.۲ روشهای یادگیری تقویتی

در این بخش تمرکز ما بر روی مقالاتی است که از روش یادگیری عمیق در حل مسئله استفاده می‌کند. یادگیری تقویتی<sup>۷</sup> در حال حاضر یکی از موضوعات داغ پژوهشی محسوب می‌شود و محبوبیت آن روز به روز در حال افزایش است. یادگیری تقویتی گونه‌ای از روش‌های یادگیری ماشین است که یک عامل (agent) را قادر به یادگیری در محیطی تعاملی با استفاده از آزمون و خطاها و استفاده از بازخوردهای اعمال و تجربیات خود می‌سازد. اگرچه هم یادگیری نظارت شده و هم یادگیری تقویتی از نگاشت بین ورودی و خروجی استفاده می‌کنند، اما در یادگیری تقویتی که در آن بازخوردهای فراهم شده برای عامل، مجموعه صحیحی از اعمال، جهت انجام دادن یک وظیفه هستند، بر خلاف یادگیری نظارت شده از پاداش‌ها و تنبیه‌ها به عنوان سیگنال‌هایی برای رفتار مثبت و منفی بهره‌برده می‌شود. در یادگیری تقویتی هدف پیدا کردن مدل داده مناسبی است که پاداش کل را برای عامل، بیشینه می‌کند. تصویر زیر ایده اساسی و عناصر درگیر در یک مدل یادگیری تقویتی را نشان می‌دهد. برخی از اصطلاحاتی که عناصر یک مساله یادگیری تقویتی را تشریح می‌کنند در ادامه بیان شده‌است.

<sup>۶</sup>bin packing<sup>۷</sup>Reinforcement Learning

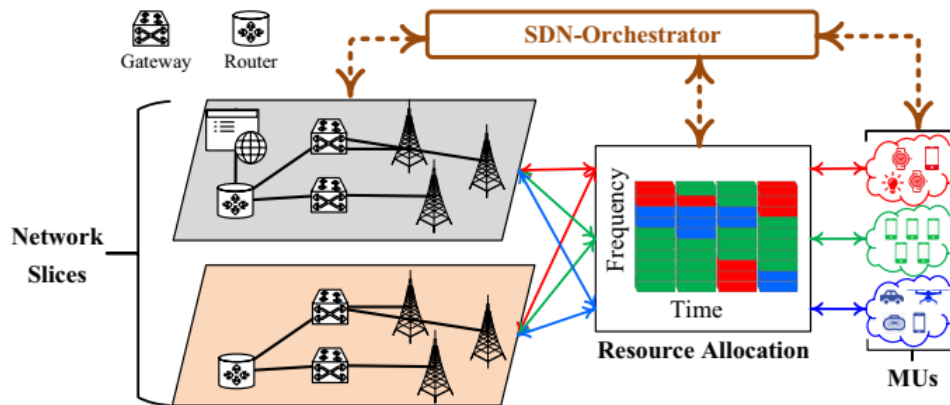


شکل ۳.۲: یادگیری تقویتی

- محیط: (Environment) جهان فیزیکی که عامل در آن عمل می‌کند.
  - حالت: (State) موقعیت کنونی عامل
  - پاداش: (Reward) بازخورد از محیط
  - سیاست: (Policy) روشی برای نگاشت حالت عامل به عمل
  - ارزش: (Value) پاداش آینده که یک عامل با اقدام به یک عمل در یک حالت خاص به آن دست می‌یابد.
- یادگیری تقویتی عمیق DRL<sup>۸</sup>، از شبکه‌های عصبی عمیق برای حل مسائل یادگیری تقویتی استفاده می‌کند، از این رو در نام آن از کلمه عمیق استفاده شده‌است. با در نظر گرفتن Q-Learning که یادگیری تقویتی کلاسیک محسوب می‌شود و Deep-Q-Learning می‌توان تفاوت آن‌ها با یکدیگر را دید. در رویکرد اول، از الگوریتم‌های سنتی برای ساخت جدول Q استفاده می‌شود تا به عامل در یافتن اقدامی که باید در هر حالت انجام شود کمک کند. در دومین رویکرد، از شبکه عصبی (برای تخمین پاداش بر مبنای حالت: مقدار  $Q$ ) استفاده می‌شود.

در مقاله‌ی [۶۳، ۶۴] سناریویی در نظر گرفته شده‌است که شامل چندین برش در یک شبکه دسترسی رادیویی با ایستگاههای پایه است که از منابع فیزیکی مشترک (به عنوان مثال، پهنای باند) استفاده می‌کنند. با استفاده از یادگیری تقویت عمیق (DRL) با در نظر گرفتن تقاضای مختلف خدمات به عنوان وضعیت محیط و منابع اختصاص یافته به عنوان عمل محیط، این مشکل حل می‌شود. برای کاهش نویز و رسیدن به سطح انتظار خدمات، از روش GAN در بخش عمیق الگوریتم استفاده شده‌است که منجر به حداقل رساندن اختلاف بین توزیع مقدار-عمل تخمین زده شده و توزیع ارزش عمل هدف می‌شود. برای یافتن سیاست بهینه ی تخصیص منابع از روش

<sup>8</sup>Deep Reinforcement Learning



شکل ۴.۲: سناریوی ارسال لینک بالا و پایین در برشهای شبکه

DDQN<sup>۹</sup> استفاده می‌شود.

در مقاله‌ی [۶۵] الگوریتم تخصیص منابع برش شبکه انتها به انتها مبتنی بر DQN<sup>۱۰</sup> پیشنهاد شده‌است که برای سناریوهای چند برش و چند سرویس مناسب است. در این سیستم دو مدل سرویس ارائه شده‌است که اولی بر مبنای نیاز به رسیدن به نرخ خاص و دومی نیازمند داشتن تاخیر کم می‌باشد. هدف در این سیستم رسیدن به بیشینه نرخ دسترسی است. برای رسیدن به هدف مورد نظر برشها به دو بخش دسترسی و اصلی تقسیم شده‌اند. در اینجا الگوریتم به طور مشترک برشهای شبکه دسترسی رادیویی و برشهای شبکه اصلی را در نظر می‌گیرد تا منابع را به صورت دینامیکی طوری اختصاص دهد که حداکثر میزان کاربران به شبکه دسترسی داشته و به بیشینه نرخ برسد. این سیستم به صورت برنامه‌ی mixed-integer نوشته می‌شود و مسئله به صورت دو مسئله‌ی کوله پستی و اتصال لینک‌ها بیان می‌شود و با استفاده از روش DQN حل می‌گردد.

### ۳.۳.۲ مسائل امنیتی و تکنیک MTD

تکنیک‌های ML، از جمله DRL در برابر حملات خصمانه مختلف با هدف فریب دادن مدل ML به تصمیم‌گیری نادرست با تزریق یا دستکاری داده‌ها در طول مراحل (دوباره) آموزش یا ارائه مدل [۲۱] آسیب‌پذیر هستند. به عنوان مثال، دستکاری در منابع واقعی موجود ممکن است باعث شود که یک مدل پذیرش برش مبتنی بر DRL درخواست‌های جدید برش RAN را به اشتباه رد کند. بنابراین، امنیت تکنیک‌های ML برای ادغام آنها با O-RAN حیاتی است و اعتماد را در تصمیمات آنها تقویت می‌کند.

<sup>۹</sup>Double Deep Q-Network

<sup>۱۰</sup>deep Q-Network

یک اقدام دفاعی امیدوارکننده که در [۲۱] ترویج می‌شود، پارادایم دفاع هدف متحرک (MTD)<sup>۱۱</sup> است که هدف آن افزایش عدم اطمینان مهاجم با تغییر مداوم و پویا سطح حمله در طول زمان است. در واقع، MTD اخیراً به عنوان یک رویکرد مؤثر برای بهبود استحکام مدل‌های ML با تبدیل یک مدل به یک هدف متحرک در برابر حملات دشمن ظاهر شده است. قابل توجه است که بیشتر مشارکت‌ها بینایی رایانه و دامنه‌های بدافزار را هدف قرار می‌دهند (به عنوان مثال [۶۶، ۶۷]). در [۶۸]، نویسندگان یک چارچوب دفاعی حمله تروجانینگ را بر اساس یک MTD در شبکه عصبی عمیق (DNN) در نظر می‌گیرند، که به طور تصادفی ابعاد را در مدل‌های آموزشی چند بعدی انتخاب می‌کند. با توجه به نتایج، آنها در دسترس بودن DNN را تضمین کرده و از آن در برابر حملات تروجان محافظت می‌کنند.

## ۴.۲ نتیجه‌گیری

در این فصل، ابتدا در مورد مسائل پیشین صحبت می‌نماییم که شامل مسائل مرتبط با برش شبکه، شبکه‌های دسترسی رادیویی باز و قرارگیری توابع شبکه‌ی مجازی می‌باشد. سپس در مورد روشهای حل صحبت نمودیم. این روشها شامل دو مسئله‌ی NP-Hard است که مسئله‌ی کوله‌پشتی و بسته‌بندی جعبه را شامل می‌شود. همچنین روش حل دیگر، روش یادگیری تقویتی است که با استفاده از روشهای یادگیری ماشین به حل مسائل می‌پردازد. در انتها در مورد مسائل امنیتی در روشهای یادگیری ماشین صحبت نمودیم و مشکلات و راه حل های آن را مورد بررسی قرار دادیم.

<sup>11</sup>Moving Target Defense

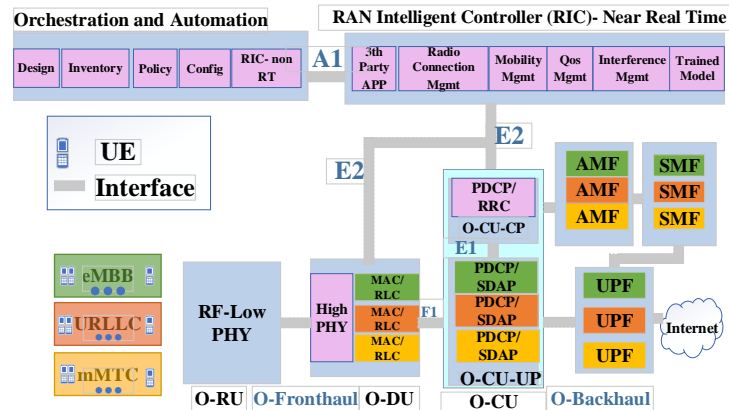
## فصل ۳

# تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز

### ۱.۳ مقدمه

در اینجا هدف ما، فرمول بندی برش RAN برای معماری O-RAN است. این مطالعه، تکنیکی را برای ایجاد خطوط کلی برش شبکه ایزوله در معماری O-RAN برای ارائه QoS خاص برای mMTC و URLLC eMBB ارائه می‌کند. علاوه بر منابع باند پایه، تعداد VNF ها نیز برای کاهش تأخیر به ویژه برای خدمات URLLC در نظر گرفته می‌شود. در این بخش هدف تخصیص منابع در ساختار شبکه های دسترسی رادیویی باز با استفاده از برش شبکه برای سرویسهای مختلف با کیفیت سرویس متفاوت با توجه به شکل ۱.۳ می باشد. خلاصه‌ی مهم‌ترین نوآوری‌های این بخش بدین صورت است:

- در اینجا یک مدل برش شبکه را برای سه سرویس مختلف معرفی شده در 5G، یعنی mMTC eMBB و URLLC به تصویر می‌کشد. در معماری O-RAN مشکل تخصیص منابع رادیویی و فعال سازی VNF بررسی می‌شود. ما بر اساس انواع مختلف خدمات با اولویت ها و QoS مختلف، یک مسئله برای تخصیص منابع باند پایه برای به حداکثر رساندن توان عملیاتی وزنی O-RAN فرموله می‌کنیم.
  - ما در اینجا تأخیر پردازش و منابع VNF مورد نیاز برای برش را در مقایسه با سایر مقالات در نظر گرفته‌ایم. بنابراین، ما بر به دست آوردن تعداد بهینه VNF در هر لایه از معماری O-RAN تمرکز می‌نماییم. همچنین سرویسهای مختلف با QoS مختلف شامل تأخیر، توان و نرخ را بررسی نموده‌ایم و با توجه به تعداد های VNF فعال شده و نرخ هر کابر، تأخیر پردازشی انتها به انتها را بدست می‌آوریم.
- با فرض ظرفیت محدود فرانت‌هال، توان و ظرفیت واقعی هر O-RU را محاسبه می‌کنیم. بسته به نوع



شکل ۱.۳: برش شبکه در سیستم O-RAN

سرویس، تداخل‌های O-RU همسایه را مدل کرده و نرخ را تعیین می‌نماییم. در مدل سیستم در نظر گرفته شده، انتقال بسته کوتاه URLLC و mMTC را به حساب می‌آوریم که نمی‌توان با قضیه ظرفیت شانون مدل‌سازی کرد.

- مسئله‌ی مورد بررسی، یک مسئله‌ی غیرخطی همراه با ترکیب اعداد صحیح و پیوسته است که برای حل آن از یک الگوریتم دو مرحله‌ای تکراری استفاده می‌نماییم که در مرحله‌ی اول، تعداد‌های VNF فعال، تخصیص توان و PRB بدست می‌آید و در مرحله‌ی دوم ارتباط کاربران با O-RU ها بدست می‌آید.

- ما مسئله‌ی اصلی را در مرحله‌ی اول برای یافتن یک کران بالا و پایین برای تعداد VNF های فعال شده مجدداً فرموله و ساده می‌کنیم و از تابع لاگرانژی و شرایط KKT برای یافتن توان بهینه و تخصیص PRB استفاده می‌کنیم. برای مرحله دوم، مسئله‌ی ارتباط O-RU را می‌توان به یک مسئله‌ی کوله پشتی چندگانه تبدیل کرد و با الگوریتم حریصانه حل کرد.

- در نهایت، بحث در مورد انتخاب نقطه اولیه و منطقه امکان پذیر برای نتایج عددی ارائه شده است. همچنین، ما یک الگوریتم سریع را معرفی می‌کنیم که پیچیدگی کمتری نسبت به روش ما برای تحقق بخشیدن به منطقه امکان‌پذیر برای مسئله‌ی ما دارد.

در ادامه‌ی این فصل، ابتدا مدل سیستم و فرمولاسیون مسئله را بیان می‌نماییم. سپس الگوریتم مورد نظر را ارائه داده و در نهایت نتایج عددی رو بیان می‌کنیم.

## ۲.۳ مدل سیستم و فرمولاسیون مسئله

در این بخش، سیستم فروسو<sup>۱</sup> را در معماری O-RAN با استفاده از برش RAN همانطور که در شکل ۱.۳ نشان داده شده است، توصیف می‌کنیم. ابتدا مدل سیستم را ارائه می‌کنیم. سپس، نرخ‌های داده قابل دستیابی، توان O-RU و ظرفیت فرانت‌هال برای لینک فروسو سیستم O-RAN را به دست می‌آوریم. پس از آن، میانگین تاخیر و توان VNF ها را مورد بحث قرار می‌دهیم. در نهایت مسئله‌ی اصلی بیان می‌شود.

### ۱.۲.۳ مدل سیستم

فرض کنید، سه نوع سرویس شامل eMBB، URLLC و mMTC وجود دارد که از برنامه‌های مختلف پشتیبانی می‌کنند. بر این اساس، برش‌های  $S_1$  برای نوع سرویس اول (eMBB)، برش‌های  $S_2$  برای نوع سرویس دوم (URLLC) و برش‌های  $S_3$  برای نوع سرویس سوم (mMTC) وجود دارد.

بنابراین،  $S$  برش از پیش تخصیص داده شده وجود دارد که به این  $S$  سرویس، خدمات ارائه می‌کنند ( $S = S_1 + S_2 + S_3$ ). بنابراین، هر درخواست سرویس  $s \in \{1, \dots, S\}$  توسط بخش مربوطه ارائه می‌شود. بنابراین  $\{1, 2, \dots, S_1\}$  مجموعه‌ای از نمونه‌های سرویس eMBB می‌باشد. همچنین  $\{1, 2, \dots, S_2\}$  مجموعه‌ای از نمونه‌های سرویس URLLC است. و  $\{1, 2, \dots, S_3\}$  مجموعه نمونه‌های سرویس mMTC می‌باشد.

هر سرویس  $s_j \in \{1, 2, \dots, S_j\}$  شامل درخواست‌های  $U_{s_j}$  از UE تک آنتنی است که به سطح خاصی از QoS نیاز دارند. همچنین  $j \in \{1, 2, 3\}$  نوع سرویس را نشان می‌دهد. درخواست‌های کاربردی مختلفی وجود دارد که در یکی از این دسته خدمات قرار می‌گیرند. هر درخواست برنامه به QoS خاصی نیاز دارد. بر اساس درخواست و QoS مورد نظر، کاربر، ممکن است پذیرفته شده و به منابع اختصاص یابد. هر برش شبکه از پیش تخصیص داده شده حاوی VNF های رزرو شده برای سه گره منطقی است:

- MAC/RLC در گره منطقی O-DU عمل می‌کند
- PDCP/SDAP در گره منطقی O-CU-UP عمل می‌کند
- گره منطقی UPF

هر تکه  $s \in \{1, 2, \dots, S\}$  شامل  $M_s^d$  VNF برای پردازش، O-DU  $M_s^c$  VNF برای O-CU-UP و  $M_s^u$  تا VNF برای UPF می‌باشد. های VNF، O-DU، O-CU-UP و UPF به هم متصل هستند، که به عنوان

<sup>1</sup>Downlink

تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز با برش‌دهی شبکه فصل ۳: تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز

زنجیره عملکرد سرویس (SFC) در سیستم O-RAN تعریف شده است. همچنین، هر نمونه VNF روی یک ماشین مجازی (VM) اجرا می‌شود که از منابع مراکز داده استفاده می‌کند.

فرض کنید در این سیستم  $K$  بلوک منبع فیزیکی (PRB) وجود دارد.

فرض کنید هر برش  $s$  متشکل از  $\bar{K}_s$  بلوک‌های منبع مجازی از پیش تخصیص یافته است که به بلوک‌های منابع فیزیکی (PRB) نگاشت شده‌اند. بنابراین،  $\sum_s \bar{K}_s \leq K$  داریم. علاوه بر این،  $R$  تا O-RU‌های چند آنتنی وجود دارد که بین برش‌ها مشترک هستند. O-RU  $r \in \{1, 2, \dots, R\}$  دارای آنتن  $J$  برای انتقال و دریافت داده است. همچنین  $\mathcal{R} = \{r \mid r \in 1, 2, \dots, R\}$  مجموعه‌ای از O-RU‌ها را نشان می‌دهد. علاوه بر این، همه O-RU‌ها به همه PRB‌ها دسترسی دارند.

### ۲.۲.۳ مدل سیگنال

اگر گیرنده  $i$  در سرویس  $s$  را در نظر بگیرید، سیگنال دریافتی  $y_{u(s,i)}$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y_{u(s,i)} = \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^{K_s} \mathbf{h}^{H k}_{r,u(s,i)} g_{u(s,i)}^r e_{r,u(s,i)}^k x_{Q_{r,u(s,i)}}^k + z_{u(s,i)} \quad (1.3)$$

در این معادله،  $x_{Q_{r,u(s,i)}}^k = x_{P_{r,u(s,i)}}^k + q_r$  است. همچنین  $x_{P_{r,u(s,i)}}^k = \mathbf{w}_{r,u(s,i)}^k \sqrt{p_{r,u(s,i)}^k} x_{u(s,i)}$  و  $x_{u(s,i)}$  بردار نمادهای فرستاده شده را نشان می‌دهد. همچنین  $z_{u(s,i)} \sim \mathcal{CN}(0, B N_0)$  نویز گاوسی افزایشی دریافت را نشان می‌دهد که  $B N_0$  توان نویز در یک پهنای باند مشخص است. در اینجا،  $x_P$  پیام پیشکدشده قبل از فشرده‌سازی را نشان می‌دهد، در حالی که  $x_Q$  پیام پیشکدشده پس از فشرده‌سازی است.

علاوه بر این،  $q_r \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_q^2 \mathbf{I} R)$  نویز گاوسی کوانتیزاسیون را نشان می‌دهد که از فشرده‌سازی سیگنال در O-DU ناشی می‌شود. همچنین،  $g_{u(s,i)}^r \in \{0, 1\}$  متغیر دودویی است که نشان می‌دهد که آیا O-RU  $r$  به خدمتگیری  $i$  که به تخصیص به تکه  $s$  است، خدمت می‌دهد یا خیر. علاوه بر این،  $p_{r,u(s,i)}^k$  توان انتقال O-RU  $r$  به خدمتگیری  $i$  در تکه  $s$  و PRB  $k$  را نشان می‌دهد، در حالی که  $\mathbf{h}_{r,u(s,i)}^k \in \mathbb{C}^J$  بردار کانال مربوطه است. همچنین،  $\mathbf{w}_{r,u(s,i)}^k \in \mathbb{C}^J$  بردار پرتاب نور فرستنده مربوطه را نشان می‌دهد.

با توجه به (۲.۳)، SINR خدمتگیری  $i$  ام در تکه  $s$  بر روی PRB  $k$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:



$$\rho_{r,u(s,i)}^k = \frac{p_{r,u(s,i)}^k |\mathbf{h}_{r,u(s,i)}^k|^H \mathbf{w}_{r,u(s,i)}^k|^2}{BN_s + I_{r,u(s,i)}^k} \quad (2.3)$$

یک UE در O-RU  $r$  با استفاده از PRB  $k$  تداخل از سایر O-RUهای موجود در مجموعه  $\mathcal{R} \setminus r$  که از PRB  $k$  استفاده می‌کنند، دریافت می‌کند. دو نوع تداخل بین O-RUها در هر تکه وجود دارد: i- تداخل بین تکه‌ها (inter-slice) که از طریق سیگنال‌هایی که از تکه‌های مختلف فرستاده می‌شوند، و ii- تداخل درون تکه (intra-slice) که از طریق سیگنال‌هایی که در یک تکه فرستاده می‌شوند، رخ می‌دهد.

تکنیک‌های شکستن شبکه<sup>۲</sup> تداخل بین سرویس‌ها را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهند. یک روش برای استفاده از زمان‌بندی PRB دو مقیاسی، مجزا کردن PRBها در تکه‌ها (در مقیاس زمانی اول) و برنامه‌ریزی PRBها برای O-RUهای برش‌ها (در مقیاس زمانی دوم) است. یک روش دیگر شامل اختصاص بخشی از O-RUهای سرویس‌های eMBB به URLLC و mMTC است. [۴۷، ۴۴، ۶۹]. در این مقاله، فرض می‌کنیم که زمان‌بندی PRB انجام شده است. همچنین، در بخش ۱.۷.۲.۳، به طور خلاصه برنامه‌ریزی PRB بین برش‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. از آنجا که منابع محدود هستند، تداخل بین سرویس‌ها به طور کامل قابل حذف نیست. با این حال، جدا کردن برش‌ها تداخل بین سرویس‌ها را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد و می‌توانیم در محاسبات ریاضی به آن توجه نکنیم. بازگشت به (۲.۳)، مجموع قدرت سیگنال‌های مزاحم و نویز کوانتیزاسیون است و می‌تواند به صورت زیر نمایش داده شود:

$$I_{r,u(s,i)}^k = \underbrace{\sum_{j=1}^R \sigma_q^2 |\mathbf{h}_{r,u(s,i)}^k|^2}_{\text{noise (quantization)}} + \underbrace{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{U_s} e_{u(s,i)}^k e_{u(s,l)}^k p_{u(s,l)}^k \sum_{\substack{r'=1 \\ r' \neq r}}^R |\mathbf{h}_{r',u(s,i)}^k|^H \mathbf{w}_{r',u(s,l)}^k g_{u(s,l)}^{r'}|^2}_{\text{interference (intra-slice)}}, \quad (3.3)$$

که  $e_{u(s,i)}^k$  یک متغیر دودویی است که نشان می‌دهد آیا PRB  $k$  به UE  $i$  در تکه  $s$ ، که به O-RU  $r$  تخصیص داده شده است یا نه. همچنین، هیچ تداخل بین برش‌ها وجود ندارد، فقط تداخل درون برش‌ها، از آنجا که فرض می‌شود تکه‌ها جداگانه هستند. در اینجا، بردار پرتاب‌نور صفر نیرو (zero-forcing) مورد استفاده قرار می‌گیرد

<sup>۲</sup>network slicing

که تداخل درون تکه را به حداقل می‌رساند و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathbf{w}_{r,u(s,i)}^k = \hat{\mathbf{h}}_{r,u(s,i)}^k (\hat{\mathbf{h}}_{r,u(s,i)}^{kH} \hat{\mathbf{h}}_{r,u(s,i)}^k)^{-1}. \quad (4.3)$$

برای محاسبه SINR برای سرویس  $s$  در UE  $i$  می‌توان از (۳.۳) و (۴.۴) استفاده کرد. در نهایت، با استفاده از SINR، می‌توان میزان داده‌های دریافتی  $i$  را محاسبه کرد.

### ۳.۲.۳ نرخ انتقال داده

نرخ داده قابل دستیابی برای درخواست مورد نظر  $i$  امین کاربر در برنامه  $s_1$  ام از نوع سرویس ۱ (eMBB) را می‌توان به شکل زیر نمایش داد:

$$\mathcal{R}_{u(s_1,i)} = \sum_{r=1}^R \mathcal{R}_{r,u(s_1,i)} g_{u(s_1,i)}^r, \quad (5.3)$$

که در آن:

$$\mathcal{R}_{r,u(s_1,i)} = \sum_{k=1}^K \mathcal{R}_{r,u(s_1,i)}^k e_{r,u(s_1,i)}^k \quad (6.3)$$

نرخ داده قابل دستیابی برای RU  $r$  به UE  $i$  در برش  $s_1$  است که وابسته به نرخ داده قابل دستیابی در هر PRB می‌باشد و به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$\mathcal{R}_{r,u(s_1,i)}^k = B \log_2(1 + \rho_{r,u(s_1,i)}^k), \quad (7.3)$$

از آنجا که طول بلوک در URLLC و mMTC محدود است، نرخ داده قابل دستیابی برای درخواست  $i$  امین کاربر در برنامه سرویس ۲ (URLLC) و ۳ (mMTC) از فرمول ظرفیت شانون بدست نمی‌آید. به جای آن، در انتقال بسته‌های کوتاه، نرخ داده قابل دستیابی به شکل تقریبی محاسبه می‌شود [۴۴]:

$$\mathcal{R}_{u(s_j,i)} = \sum_{r=1}^R \mathcal{R}_{u(s_j,i)}^r g_{u(s_j,i)}^r, \quad (8.3)$$

که در آن:

$$\mathcal{R}_{r,u(s_j,i)} = \mathcal{R}_{r,u(s_j,i)}^k e_{u(s_j,i)}^k, \quad (9.3)$$

نرخ داده قابل دستیابی برای RU  $r$  به UE  $i$  در برش  $s_j$  است که وابسته به نرخ داده قابل دستیابی در هر PRB می‌باشد و به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$\mathcal{R}_{r,u(s_j,i)}^k = B \log_2(1 + \rho_{r,u(s_j,i)}^k - \zeta_{u(s_j,i)}^k) e_{u(s_j,i)}^k, \quad (10.3)$$

به طوری که:

$$\zeta_{u(s_j,i)}^k = \log_2(e) Q^{-1}(\epsilon) \sqrt{\mathfrak{E}_{u(s_j,i)}^k / N_{u(s_j,i)}^k}. \quad (11.3)$$

در اینجا،  $\epsilon$  احتمال خطا در انتقال است،  $Q^{-1}$  معکوس تابع  $Q$  است،  $\mathfrak{E}_{u(s_j,i)}^k = 1 - \frac{1}{(1 + \rho_{u(s_j,i)}^k)^2}$ ، پراکندگی کانال کاربر  $i$  در برش  $s_j$  و PRB  $k$  را نشان می‌دهد، در حالی که  $N_{u(s_j,i)}^k$  طول بلوک انتقال متناظر را نمایش می‌دهد.  $\mathcal{R}_{r,u(s_j,i)}$  نرخ داده قابل دستیابی است که توسط O-RU  $r$  به کاربر  $i$  که درخواست سرویس  $s_j$  را دارد، انتقال داده می‌شود.

اگر در رابطه (۳.۳) مقادیر  $p_{u(n,l)}^k$  و  $p_{u(s,l)}^k$  را با  $P_s^{\max}$  جایگزین کنیم، برای یک مرز بالا  $\bar{I}_{r,u(s,i)}^k$  بدست می‌آید. بنابراین، با استفاده از  $\bar{I}_{r,u(s,i)}^k$  به جای  $I_{r,u(s,i)}^k$  در روابط (۸.۳) و (۵.۳)،  $\bar{\mathcal{R}}_{u(s,i)}$  بدست می‌آید.

## ۴.۲.۳ توان O-RU و ظرفیت Fronthaul

مجموعه توان ارسالی سیگنال از O-RU  $r$  به تمامی کاربرانی که توسط آن خدمت داده می‌شوند را با  $P_r$  نشان می‌دهیم. از رابطه (۱.۳)، توان هر O-RU  $r$  به صورت زیر بدست می‌آید:

$$P_r = \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{i=1}^{U_s} |\mathbf{w}_{r,u(s,i)}^k|^2 \alpha_{r,u(s,i)}^k + \sigma_q^2, \quad (12.3)$$

تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز با برش‌دهی شبکه فصل ۳: تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز

که در آن  $\alpha_{r,u(s,i)}^k = p_{r,u(s,i)}^k g_{u(s,i)}^r e_{r,u(s,i)}^k$  است. از آنجا که یک پیوند فیبر بین O-DU و O-RU وجود دارد،

ظرفیت ارتباطی کاربران در پیوند ارتباطی (fronthaul) بین O-DU و O-RU  $r$  ام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_r = \log_2 \left( 1 + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{K_s} \sum_{i=1}^{U_s} |\mathbf{w}_{r,u(s,i)}^k|^2 \alpha_{r,u(s,i)}^k / \sigma_q^2 \right) \\ = \log_2 (P_r / \sigma_q^2). \quad (13.3)$$

### ۵.۲.۳ میانگین تاخیر

در این بخش، تاخیر میانگین انتها به انتهای هر سرویس به دست می‌آید. تاخیر کل ( $T^{\text{tot}}$ ) مجموع تاخیر پردازش ( $T^{\text{proc}}$ )، تاخیر انتقال ( $T^{\text{tr}}$ ) و تاخیر کل پخش ( $T^{\text{pro}}$ ) است.

$$T^{\text{tot}} = T^{\text{proc}} + T^{\text{tr}} + T^{\text{pro}}, \quad (14.3)$$

$$T^{\text{proc}} = T^{\text{RU}} + T^{\text{DU}} + T^{\text{CU}} + T^{\text{UPF}}, \quad (14.3 \text{ ب})$$

$$T^{\text{tr}} = T^{\text{fr},t} + T^{\text{mid},t} + T^{\text{b},t}, \quad (14.3 \text{ ج})$$

$$T^{\text{pro}} = T^{\text{fr},p} + T^{\text{mid},p} + T^{\text{b},p}. \quad (14.3 \text{ د})$$

بطور ریاضی، تاخیر کل پخش ( $T^{\text{pro}}$ ) مجموع تاخیر پخش در لینک فرانت‌هاول ( $T^{\text{fr},p}$ )، لینک میدهاویل ( $T^{\text{mid},p}$ ) و لینک بک‌هاویل ( $T^{\text{b},p}$ ) است. در هر لینک، تاخیر پخش زمانی است که یک سیگنال برای رسیدن به مقصد خود طی می‌کند. این تاخیر بر اساس طول لینک فیبر و ظرفیت لینک (به عنوان  $T = L/c$ )، که در آن  $L$  طول لینک و  $c$  سرعت پخش در وسط است) به دست می‌آید. در عین حال، تاخیر کل انتقال ( $T^{\text{tr}}$ ) مجموع تاخیر انتقال در فرانت‌هاویل ( $T^{\text{fr},t}$ )، میدهاویل ( $T^{\text{mid},t}$ ) و بک‌هاویل ( $T^{\text{b},t}$ ) است. در هر لینک، تاخیر انتقال زمانی است که برای فشرده‌سازی تمام بسته

ها به محیط انتقال نیاز است و می‌توان آن را به صورت  $T = \frac{\alpha}{R}$  فرمول‌بندی کرد، جایی که  $R$  نرخ داده بسته و  $\alpha$  اندازه میانگین بسته است. توجه کنید که در نظر گرفتن تاخیر پخش و انتقال در فرمول‌بندی به راحتی قابل انجام است، اما ما به دلایل خلاصه‌سازی و سادگی از آن پرهیز کرده‌ایم. بنابراین، تاخیر پخش ثابت است و تأثیری در

مسئله بهینه‌سازی ندارد.

سپس، محاسبه مختصری از تأخیر انتقال ارائه می‌دهیم تا نشان دهیم که مشارکت آن در تأخیر کل بی‌اثر و بر بهینه‌سازی تأثیری ندارد. در URLLC و mMTC اندازه میانگین بسته ممکن است بین ۲۰ تا ۳۲ بایت باشد، در حالی که حداقل نرخ داده را به عنوان  $BW (180 \times 10^3 \text{ Hz})$  در نظر می‌گیریم. بنابراین، تأخیر انتقال از O-RU به O-DU حدوداً  $0.1 \text{ ms}$  و  $T^{fr,t} = \frac{20 \times 8}{1 \times 180 \times 10^3} < 0.1 \text{ ms}$  است. برای eMBB، اندازه بسته ممکن است ۱۰۰ برابر بزرگتر باشد و تأخیر آن بیش از ۶.۰ میلی‌ثانیه نمی‌شود. بنابراین، در ادامه،

فرض می‌کنیم که تأخیر کل تقریباً برابر با تأخیر پردازش است ( $T^{\text{tot}} \approx T^{\text{proc}}$ ).

### ۱.۵.۲.۳ تأخیر پردازشی

فرض می‌کنیم ورودی بسته‌های کاربران (UE) با فرآیند پواسون با نرخ  $\lambda_{u(s,i)}$  برای کاربر  $i$ ام سرویس  $s$ ام اتفاق می‌افتد. بنابراین، نرخ متوسط ورود داده در لایه UPF برای سلیس  $s$ ام برابر است با  $\alpha_s^U = \sum_{u=1}^{U_s} \lambda_{u(s,i)}$ . همچنین، فرض می‌کنیم که نرخ متوسط ورود داده در لایه UPF برای سلیس  $s$ ام ( $\alpha_s^U$ ) تقریباً برابر است با نرخ متوسط ورود داده در لایه O-CU-UP ( $\alpha_s^C$ ) و O-DU ( $\alpha_s^D$ )، به عبارت دیگر  $\alpha_s^U \approx \alpha_s^C \approx \alpha_s^D$ . این امر به این دلیل است که مقدار داده‌های منتقل شده در طول مسیر (بدون توجه به تغییرات فریم) ثابت است. در واقع، طبق قضیه Burke، نرخ متوسط ورود داده در لایه‌های دوم و سوم که در لایه اول پردازش می‌شوند، همچنان با نرخ  $\alpha_s$  پواسون است. فرض می‌کنیم در هر لایه برای هر سرویس باربندگانی وجود دارد تا ترافیک ورودی را به صورت مساوی بین VNFها تقسیم کنند. فرض می‌کنیم پردازش پایه‌ای هر VNF به وسیله یک صف پردازش M/M/۱ مدل می‌شود. زیرا بسته‌های ورودی سیستم از منابع مستقل بسیاری می‌آیند. علاوه بر این، تأثیر یک بسته تکی بر عملکرد سیستم کم است. همچنین، روش صف به صورت FIFO است و فرض می‌کنیم که بسته ورودی فرآیند پواسون را دنبال می‌کند. بنابراین، فرض می‌کنیم که زم

ان‌های سرویس از توزیع نمایی پیروی می‌کنند. به علاوه، از آنجایی که سرویس‌ها مستقل هستند، کاربران در هر سرویس اولویت یکسانی دارند و تأخیرهای پردازش هر سرویس مستقل از سرویس‌های دیگر است. بنابراین، یک سرویس ممکن است اولویت بالاتری داشته باشد که بر بهینه‌سازی کلی تأثیر می‌گذارد و تئوری صف M/M/۱ همچنان اعتبار دارد. هر بسته توسط یکی از VNF سلیس مربوطه پردازش می‌شود. بنابراین، تأخیر متوسط برای سلیس  $s$ ام در O-DU O-CU و UPF به صورت صف پردازش M/M/۱ مدل می‌شود و می‌تواند به شرح زیر باشد:

$$T_s^{\text{DU}} = \frac{1}{\mu_s^d - \frac{\alpha_s}{M_s^d}},$$

$$T_s^{\text{CU}} = \frac{1}{\mu_s^c - \frac{\alpha_s}{M_s^c}},$$

$$T_s^{\text{UPF}} = \frac{1}{\mu_s^u - \frac{\alpha_s}{M_s^u}},$$

که  $M_s^u$  و  $M_s^c$ ،  $M_s^d$  به ترتیب تعداد ها VNF در O-CU-UP O-DU و UPF را نشان می‌دهند. علاوه بر این،  $1/\mu_s^u$ ،  $1/\mu_s^c$  و  $1/\mu_s^d$  زمان سرویس متوسط لایه O-CU O-DU و UPF را نشان می‌دهند. نرخ ورود هر VNF برای هر سلیس  $s$  برابر است با  $\alpha_s/M_s^i$ ، که  $i \in \{d, c, u\}$  است. در عین حال، نرخ ورودی داده برای هر UE  $i$  از سرویس  $s$  برابر  $\lambda_{u(s,i)}$  است، بنابراین  $\sum_{i=1}^{U_s} \lambda_{u(s,i)} = \alpha_s$ . علاوه بر این، زمان سرویس دهی صف انتقال برای UE  $i$  که درخواست سرویس  $s$  را دارد، از توزیع نمایی با میانگین  $1/R_{u(s,i)}$  پیروی می‌کند و می‌توان آن را به صورت صف M/M/1 مدل کرد [؟، ؟، ۴۱]. بنابراین، تأخیر متوسط لایه انتقال برای UE  $i$  در سلیس  $s$  به شرح زیر است:

$$T_{u(s,i)}^{\text{RU}} = \frac{1}{R_{u(s,i)} - \lambda_{u(s,i)}}.$$

$$T_{u(s,i)}^{\text{tot}} \approx T_{u(s,i)}^{\text{proc}}.$$

### ۶.۲.۳ توان VNF

فرض می‌کنیم مصرف انرژی هر VNF در هر گره منطقی O-CU (O-DU، UPF) در سرویس  $s$  به ترتیب با  $\phi_s^u$  و  $\phi_s^c$ ،  $\phi_s^d$  نمایش داده می‌شود. بنابراین، هزینه کل سیستم برق مصرفی تمامی برش‌ها را می‌توان به صورت  $\phi_{\text{tot}} = \sum_{s=1}^S \phi_s$  نشان داد. یعنی  $\phi_s$  از رابطه  $\phi_s = M_s^u \phi_s^u + M_s^c \phi_s^c + M_s^d \phi_s^d$  به دست می‌آید. یکی از مسائل مهمی که در صنعت وجود دارد، کاهش مصرف انرژی است. مراکز داده از جمله مصرف کنندگان اصلی انرژی هستند. به علاوه، محدودیت‌هایی برای مصرف انرژی مراکز داده از جمله ماشین‌های مجازی (VMs) وجود دارد. بنابراین، یکی از اهداف ما، محدود کردن مصرف انرژی کل ها VNF که به صورت VM در مراکز داده اجرا می‌شوند، است. با اعمال یک سیاست سفارشی بر مصرف کلی انرژی، می‌توانیم مصرف انرژی مراکز داده را کنترل کنیم ( $\phi^{\text{tot}} \leq \phi^{\text{max}}$ ).

### ۷.۲.۳ بیان مسأله

فرض می‌کنیم برش  $s$  (که به سرویس  $s$  اختصاص داده شده است) یک عامل اولویت  $\delta_s$  دارد (بر اساس اولویت سرویس میزبانی آن) به طوری که  $\sum_{s=1}^S \delta_s = 1$ . عامل اولویت هر برش بر اساس توافق سطح خدمات بدست می‌آید تا عدالت در سیستم ترویج یابد. هدف این مقاله پیشنهاد کردن مجموعه نرخ تمامی UEs با محدودیت‌های QoS است که به شرح زیر است:

$$\max_{P, E, M, G} \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{U_s} \delta_s \bar{\mathcal{R}}_{u(s,i)} \quad (15.3)$$

$$\text{to subject } P_r \leq P_r^{\max} \quad \forall r, \quad (15.3\text{ب})$$

$$p_{r,u(s,i)}^k \geq 0 \quad \forall i, r, s, k, \quad (15.3\text{ج})$$

$$p_{r,u(s,i)}^k \leq P_s^{\max} \quad \forall i, r, s, k, \quad (15.3\text{د})$$

$$\bar{\mathcal{R}}_{u(s,i)} \geq \mathcal{R}_s^{\min} \quad \forall s, \quad (15.3\text{ه})$$

$$C_r \leq C_r^{\max} \quad \forall r, \quad (15.3\text{و})$$

$$T_{u(s,i)}^{\text{tot}} \leq T_s^{\max} \quad \forall i, s, \quad (15.3\text{ز})$$

$$\mu_s \geq \alpha_s / M_s \quad \forall s, \quad (15.3\text{ح})$$

$$\bar{\mathcal{R}}_{u(s,i)} \geq \lambda_{u(s,i)} \quad \forall i, s, \quad (15.3\text{ط})$$

$$0 \leq M_s \leq M_s^{\max} \quad \forall s, \quad (15.3\text{ی})$$

$$\phi^{\text{tot}} \leq \phi^{\max}, \quad (15.3\text{ک})$$

$$\sum_{\forall r} g_{u(s,i)}^r = 1 \quad \forall s, i, \quad (15.3\text{ل})$$

$$\sum_{k=1}^{K_s} g_{u(s,i)}^r e_{r,u(s,i)}^k \geq 1 \quad \forall s, i, r, \quad (15.3\text{م})$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{U_s} g_{u(s,i)}^r e_{r,u(s,i)}^k \leq 1 \quad \forall s, i, r, \quad (15.3\text{ن})$$

$$g_{u(s,i)}^r \in \{0, 1\} \quad \forall s, i, \quad (15.3\text{س})$$

$$e_{r,u(s,i)}^k \in \{0, 1\} \quad \forall s, i. \quad (15.3\text{ع})$$

در اینجا،  $\bar{R}u(s, i)$  با استفاده از  $\bar{I}r, u(s, i)^k$  به جای  $Ir, u(s, i)^k$  در (۸.۳) و (۵.۳) بدست می‌آید.  $P = [p_{r,u(s,i)}^k], \forall s, i, r, k$ ، ماتریس چهاربعدی (۴D) قدرت برای UEs است،  $E = [e_{r,u(s,i)}^k], \forall s, i, r, k$ ، نشان‌دهنده ماتریس دودویی چهاربعدی برای انتساب PRB است. علاوه بر این،  $G = [g_{u(s,i)}^r], \forall s, i, r$ ، ماتریس سه‌بعدی دودویی (۳D) برای انتساب O-RU است. همچنین،  $M = [M_s^d, M_s^c, M_s^u], \forall s$ ، است که تعداد VNFها در هر لایه از برش را در بر می‌گیرد. توجه کنید که (۱۵.۳ب)، (۱۵.۳ج) و (۱۵.۳د) قدرت هر O-RU و UE را محدود می‌کنند. همچنین، (۱۵.۳ه) نرخ هر UE درخواستی برای هر نوع سروی، به عنوان مثال، mMTC eMBB، و URLLC را بیشتر از یک آستانه محدود می‌کند. در عین حال، (۱۵.۳و) و (۱۵.۳ز) ظرفیت فرانت‌هال محدود و تاخیر نهایی از سیگنال دریافتی را نشان می‌دهند. (۱۵.۳ح) و (۱۵.۳ط) به پایداری صف  $M/M/1$  مربوط هستند، (۱۵.۳ی) تعداد VNFها در هر برش را به دلیل منابع محدود محدود می‌کند، در حالی که (۱۵.۳ل) و (۱۵.۳م) تضمین می‌کنند که O-RU و PRB با UE مرتبط شوند. همچنین، (۱۵.۳ن) مطمئن می‌شود که هر PRB نمی‌تواند به بیش از یک UE مرتبط با همان O-RU اختصاص داده شود، (۱۵.۳ک) نشان می‌دهد که هزینه ثابت انرژی VNFها در هر برش از آستانه بیشتر نشود، در حالی که (۱۵.۳س) و (۱۵.۳ع) محدودیت‌های ماتریس‌های دودویی  $E$  و  $G$  را تعیین می‌کنند.

### ۱.۷.۲.۳ تخصیص PRB

در این بخش، یک مطالعه مختصر در مورد مسئله زمان‌بندی PRB ارائه می‌دهیم که می‌تواند در دو مرحله تکمیل شود تا تداخل بین برش‌ها را حذف کرده و جداسازی برش‌ها را تضمین کند [۷۰]. اولین مرحله اختصاص PRB به برش‌ها است و دومین مرحله اختصاص PRB برش‌ها به UEs است که تعداد بهینه‌ی VNFها را برای هر برش پیدا می‌کند، توان UEs را تخصیص می‌دهد و O-RU را به UEs اختصاص می‌دهد که از الگوریتم پیشنهادی؟؟ استفاده می‌کند. فرض کنید  $\mathcal{R}_s^{\max}$  و  $\mathcal{R}_s^{\min}$  نرخ داده حداقل و حداکثر هر UE در برش  $s$  باشد. ابتدا باید تعداد میانگین PRB مورد استفاده توسط UEs در هر سرویس را پیدا کنیم. اگرچه mMTC و URLLC به طور معمول انتقال بسته‌های کوتاهی را می‌طلبند، اما هر UE در mMTC و URLLC نیاز به ۱ PRB دارد. بنابراین، اگر برش  $s$  خدمات mMTC یا URLLC را ارائه دهد و با  $U_s$  UEs در این برش، نیاز به  $K_s = U_s \times 1$  PRB است. برای eMBB، فرض کنید نرخ میانگین هر UE در برش  $s$  که به UEs eMBB خدمت می‌کند،  $\bar{R}_s = B \log_2(1 + \bar{\rho}_s)$  باشد، جایی که  $\bar{\rho}_s$  میانگین SINR UEs در برش  $s$  است. بنابراین، حداقل تعداد PRB مورد نیاز برش  $s$  با  $U_s$  UEs برابر است با  $K_s^{\min} = \lceil U_s \times \frac{\bar{R}_s}{\mathcal{R}_s^{\max}} \rceil$ . همچنین، حداکثر تعداد PRB مورد نیاز برش  $s$  با  $U_s$  UEs برابر است با  $K_s^{\max} = \lceil U_s \times \frac{\bar{R}_s}{\mathcal{R}_s^{\min}} \rceil$ . همچنین،  $K_s = (K_s^{\min} + K_s^{\max})/2$  تعداد میانگین PRB مورد نیاز در برش  $s$  است. هدف ما به دست آوردن تعداد



فصل ۳: تخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی بازتخصیص منابع در شبکه‌های دسترسی رادیویی باز با برش‌دهی شبکه

PRB اختصاص داده شده به هر برش  $s$  ( $\bar{K}_s$ ) با حل مسئله زیر است:

$$\max_{\bar{K}_s} \sum_{s=1}^S \delta_s K_s \ln(\bar{K}_s) \quad (16.3a)$$

$$\text{محدودیت} \quad \sum_s \bar{K}_s \leq K, \quad (16.3b)$$

$$K_s^{\min} \leq \bar{K}_s \leq K_s^{\max} \quad \forall s \in S_1, \quad (16.3c)$$

$$\bar{K}_s \leq K_s \quad \forall s \in S_2, S_3. \quad (16.3d)$$

برای اختصاص PRB به تمام برش‌ها از لگاریتم استفاده می‌کنیم تا آن‌ها را به صورت مساوی عادلانه کنیم، زیرا عدالت نسبی توسط بیشینه کردن تابع خودیت لگاریتمی دست‌یافته می‌شود [۷۰]. معادله (۱۶.۳ب) نشان می‌دهد که مجموع PRB برش‌ها نباید از حداکثر تعداد PRB ( $K$ ) بیشتر شود. معادله (۱۶.۳ج) تعداد PRB برش‌های eMBB را محدود می‌کند و (۱۶.۳د) تعداد PRB برش‌های URLLC و mMTC را محدود می‌کند. با تساعد  $\bar{K}_s$ ، تابع هدف و محدودیت‌ها به صورت محدب تبدیل می‌شوند و می‌توان با استفاده از تابع لاگرانژین آن‌ها را حل کرد.

### ۲.۷.۲.۳ مدیریت برش شبکه

## فصل ۴

# تخصیص برش شبکه به صورت دینامیکی

### ۱.۴ مقدمه

در این فصل هدف تخصیص برش شبکه به صورت دینامیکی می باشد. در فصل قبلی مدل سیستم به طور کامل نوشته شده است و در حالت آفلاین حل گردیده است، در این فصل پارامترها مورد نیاز را نسبت به فصل قبلی کمتر کرده و با استفاده از روش دینامیکی در هر لحظه از زمان به حل سیستم می پردازیم. برای حل این سیستم از روش یادگیری تقویتی استفاده می کنیم. در بخش اول صورت مسئله ی بخش رادیویی نوشته می شود. سپس به مدل سیستم بخش هسته می پردازیم و در نهایت روش حل هر دو مسئله و نتایج عددی آن بیان می شود.

### ۲.۴ مدل سیستم و صورت مسئله ی بخش رادیویی

در این بخش هدف برش شبکه در بخش رادیویی می باشد. در اینجا، مسئله ی اول فصل قبلی ساده شده و به روش دینامیکی حل می شود. همانند سیستم فصل قبل، فرض می کنیم  $S$  برش شبکه داریم که قرار است  $V$  سرویس مختلف که شامل کاربرانی است که از سرویس خاص استفاده می نمایند را سرویس دهی نماید. هر سرویس  $v \in \{1, 2, \dots, V\}$  شامل تعدادی کاربر تک آنتنه می باشند که سرویس خاصی را درخواست می نماید. هر برش شبکه  $s \in \{1, 2, \dots, S\}$  شامل تعدادی  $PRB$ ،  $RU$ ،  $BBU$  و  $VNF$  می باشد. در این بخش سعی بر این است که در ابتدا مسئله را به ساده ترین حالت ممکن حل نماییم. فرض می کنیم چند نوع سرویس مختلف داریم که هر نوع سرویس نیازمند مقدار نرخ خاص و تاخیر خاص هستند. در بخش اول این مسئله، هدف پیشینه سازی تعدادی

سرویسهای پذیرفته شده می‌باشد. در اینجا فرض براین است که تعداد برشهای شبکه محدود می‌باشد. فرض می‌کنیم هر سرویس  $v$  دارای اولویت  $p_v$  می‌باشد. همچنین فرض براین است که هر سرویس شامل ماکسیمم  $U_v$  کاربر است و به طور میانگین کاربران آن نیازمند داشتن نرخ بیشتر از  $R_v$  و تاخیر کمتر از  $D_v$  هستند. در صورتی که نوعی سرویس معرفی شود که تاخیر در آن حائز اهمیت نباشد،  $D_v = M$  که  $M$  برای تاخیر یک عدد بزرگ می‌باشد. و در صورتی که برای یک سرویس نرخ حائز اهمیت نباشد  $R_v = N$  که  $N$  یک عدد کوچک برای نرخ می‌باشد. صورت مسئله به صورت (۱.۴ج) می‌باشد. در اینجا برای سادگی فرض براین است که هر سرویس به ماکسیمم یک برش شبکه متصل می‌گردد. در اینجا هدف حل مسئله در هر اسلات زمانی  $t$  می‌باشد. هدف در اینجا بیشینه سازی تعداد سرویسهای پذیرفته شده توسط برشهای شبکه می‌باشد به صورتی که شرط تاخیر و نرخ سرویس را ضمانت کنند.

$$\max_{a(t)} \sum_{s=1}^{S(t)} \sum_{v=1}^{V(t)} p_v a_{v,s}(t) \quad (1.4\text{آ})$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{s=1}^{S(t)} D_s(t) a_{v,s} \leq D_v(t) \forall v, \quad (1.4\text{ب})$$

$$\sum_{s=1}^{S(t)} R_s(t) a_{v,s}(t) \geq R_v(t) \forall v \quad (1.4\text{ج})$$

برای اینکه معادله (۱.۴ج) را به فرم مسئله‌ی کوله‌پشتی دربیآوریم، از آنجایی که فرض کردیم هر سرویس به ماکسیمم یک برش شبکه متصل می‌شود، می‌توان معادله بدین صورت نوشت:

$$\max_{a(t)} \sum_{s=1}^{S(t)} \sum_{v=1}^{V(t)} p_v a_{v,s}(t) \quad (2.4\text{آ})$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{s=1}^{S(t)} D_s(t) a_{v,s} \leq D_v(t) \forall v, \quad (2.4\text{ب})$$

$$\sum_{s=1}^{S(t)} \frac{1}{R_s(t)} a_{v,s}(t) \leq \frac{1}{R_v(t)} \forall v \quad (2.4\text{ج})$$

که در اینجا، معادله (۲.۴ج) یک مسئله‌ی کوله‌پشتی دو بعدی می‌باشد. برای حل این مسئله، از روش یادگیری تقویتی استفاده می‌شود. همچنین در صورت در نظر گرفتن تاخیر در شبکه، هر برش شبکه تنها به یک سرویس اختصاص داده می‌شود.

## ۳.۴ مدل سیستم و صورت مسئله‌ی بخش هسته

در این بخش سعی شده، مسئله‌ی دوم فصل قبل به صورت ساده شده با روش دینامیکی حل شود. عنوان این مسئله، جاگذاری VNF ها بر روی مراکز داده می‌باشد. فرض بر این است که  $S$  برش شبکه داریم که  $s \in \{1, 2, \dots, S\}$  می‌باشد. هر برش شبکه شامل تعدادی VNF است که هر VNF نیازمند منابع فیزیکی است که شامل حافظه، نگهدارنده و پردازشگر می‌باشد. فرض کنید برای سادگی مسئله برای هر VNF به مقدار کافی حافظه و نگهدارنده در مراکز داده داریم و تنها منبع مورد نیاز برای  $f$  امین VNF در برش  $s$  مقدار پردازنده است که به صورت  $\bar{\Omega}_s^f$  می‌باشد که در اینجا  $\bar{\Omega}_s^f \in \mathbb{C}^1$  و  $M_s$  تعداد کل VNF ها در  $s$  امین برش شبکه است.

$$\bar{\Omega}_s^{tot} = \sum_{f=1}^{M_s} \bar{\Omega}_s^f \quad (۳.۴)$$

که در اینجا  $\bar{\Omega}_s^{tot}$  مقدار کل پردازشگرهای برش  $s$  می‌باشد. همچنین  $D_c$  مرکز داده برای سرویس دهی به VNF ها می‌باشد. هر مرکز داده شامل تعدادی سرور برای سرویس دهی است. همچنین فرض بر این است که هر مرکز داده، دارای پردازشگر  $\tau$  می‌باشد. در این صورت مقدار پردازشگر  $\tau_j$  برای  $j$  امین مرکز داده می‌باشد. در این مدل سیستم، تخصیص منابع فیزیکی به VNF ها در نظر گرفته شده است. در اینجا فرض بر این است که  $y_{s,d}$  متغیر صفر و یکی است که نشان می‌دهد مرکز داده  $d$  ام به  $s$  امین برش سرویس دهی می‌کند یا نه. همانند فصل قبل، فرض کنید توان مصرفی پردازش باند پایه در هر مرکز داده  $d$  که به VNF های یک برش  $s$  سرویس می‌دهد در هر زمان  $t$  با  $\phi_{s,d}(t)$  نشان داده شده است. بنابراین می‌توان توان کل سیستم را برای کلیه مرکز داده های فعال که به برش شبکه سرویس دهی می‌کنند، بدین صورت نشان داد

$$\phi_{tot}(t) = \sum_{s=1}^S \sum_{d=1}^{D_c} y_{s,d} \phi_{s,d}(t).$$

همچنین فرض کنید در هر زمان قرار دادن هر مجموعه‌ی جدید VNF های برش شبکه  $s$  بر روی مرکز داده  $d$  مقدار انرژی اضافی را بدین صورت به سیستم اعمال کنند.

$$\phi_{diff}(t) = \sum_{s=1}^S \sum_{d=1}^{D_c} [y_{s,d}(t) - y_{s,d}(t-1)]^+ \phi_{s,d}^{new}(t).$$

تابع هزینه‌ی قرارگیری VNF‌ها بر روی DC‌ها بدین صورت است

$$\psi_{tot}(t) = \phi_{tot}(t) + \phi_{diff}(t) \quad (۴.۴)$$

در اینجا هدف کمینه کردن مقدار انرژی کل در هر زمان، با فرض اینکه مجموع VNF‌های برشهای تخصیص یافته به هر مرکز داده مقدار کافی پردازنده داشته باشند. در اینجا فرض بر این است که برشهای شبکه که قبلاً به سرویسها اختصاص داده شده، می‌بایست در مرکز داده قرار داده شوند و تعداد مراکز داده به اندازه‌ی کافی زیاد هستند، هدف کمینه کردن انرژی است به صورتی که کمترین تعداد مراکز داده‌ها استفاده شوند.

$$\min_{\mathbf{Y}} \quad \psi_{tot}(\mathbf{Y})(t) \quad (۴.۵)$$

$$\text{t. s.} \quad \sum_{d=1}^{D_c} y_{s,d}(t) \geq 1 \quad \forall s, \quad (۴.۵\text{ب})$$

$$\sum_{s=1}^S y_{s,d}(t) \bar{\Omega}_s^{tot} \leq \tau_d \quad \forall d, \forall t; \quad (۴.۵\text{ج})$$

این مسئله به فرم مسئله‌ی بسته‌بندی جعبه قابل بیان است. در اینجا،  $\tau_d$  مقدار پردازنده‌ی  $d$  امین مرکز داده می‌باشد.

## ۴.۴ حل مسئله به‌روش یادگیری تقویتی

در اینجا از روش یادگیری تقویتی در حل دو مسئله‌ی بالا استفاده می‌نماییم. در روش یادگیری تقویتی، یک عامل سعی می‌کند رفتار بهینه را در یک محیط مشخص پیدا کند. این پروسه‌ی تعاملی، به صورت پروسه‌ی تصمیم‌گیری مارکوف مدل می‌شود که شامل  $(S, A, R, P, \gamma)$  می‌باشد.  $S$  نشان‌دهنده‌ی ماتریس فضای حالت و  $A$  بردار رفتار می‌باشد.  $R$  نیز پاداش عمل است.  $P(\cdot|s, a)$  احتمال انتقال و  $\gamma \in (0, 1]$  فاکتور تخفیف می‌باشد. سیاست  $\Pi(\cdot|s)$  نگاشتی از حالت به توزیع اعمال می‌باشد. تابع مقدار-حالت برای حالت  $s$  تحت سیاست  $\Pi(\cdot|s)$  را  $V^\Pi(s)$  نشان می‌دهند که مقدار بازده مورد انتظار در حالت  $s$  تحت سیاست  $\Pi(\cdot|s)$  می‌باشد. مقدار ارزش انجام عمل  $a$  در حالت  $s$  تحت سیاست  $\Pi(\cdot|s)$  را با  $Q^\Pi(s, a)$  نمایش می‌دهیم. که روابط زیر را بر این اساس داریم.

$$V^\Pi(s) = \mathbb{E}_{\Pi, P} \left[ \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R_t | S_0 = s \right] \quad (۴.۶)$$

و تابع ارزش عمل بدین صورت است

$$Q^{\Pi}(s, a) = \mathbb{E}_{\Pi, P} \left[ \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t R_t \mid S_0 = s, A_0 = a \right] \quad (۷.۴)$$

که در اینجا  $\mathbb{E}$  نمادی برای نشان دادن میانگین است. با توجه به رابطه‌ی بلمن، داریم:

$$V^{\Pi}(s) = \mathbb{E}_{\Pi, P} [R + \gamma V^{\Pi}(s')] \quad (۸.۴)$$

و داریم:

$$Q^{\Pi}(s, a) = \mathbb{E}_{\Pi, P} [R + \gamma Q^{\Pi}(s', a')] \quad (۹.۴)$$

که در اینجا  $s'$  و  $a'$  قابل اتخاذ از  $P(\cdot | s, a)$  و سیاست  $\Pi(\cdot | s')$  هستند. هدف یادگیری تقویتی، بدست آوردن سیاست بهینه می‌باشد به صورتی که  $Q^{\Pi}(s, a)$  بیشینه شود. مقدار بهینه‌ی تابع ارزش عمل در رابطه‌ی بلمن بدین صورت است

$$Q^*(s, a) = \mathbb{E}_{\Pi^*, P} [R + \gamma Q^*(s', a')] \quad (۱۰.۴)$$

همچنین در صورت تعریف اپراتور  $T^*$  بلمن داریم

$$T^*Q(s, a) = \mathbb{E}_{\Pi^*, P} [R + \gamma Q(s', a')] \quad (۱۱.۴)$$

که به صورت تکراری اعمال این اپراتور  $T^*Q(s, a) \leftarrow Q_{t+1}(s, a)$  منجر به همگرا شدن  $Q_t(s, a) \rightarrow Q^*(s, a)$  و  $t \rightarrow \infty$  می‌شود [۶۳، ۷۱]. در ابعاد بالاتر، بهتر است از تابع تقریبی استفاده شود. فرض کنید  $Q_{\theta}(s, a)$  تابع تقریب با پارامتر  $\theta$  می‌باشد که تقریبی از جدول مقدار عمل با  $(s, a)$  می‌باشد. هدف این بهینه‌سازی، بدست آوردن  $\theta$  است به طوری که  $Q_{\theta}(s, a) \cong Q^*(s, a)$  و مقدار بهینه، به طور تکراری با اعمال اپراتور  $T^*$  بدست می‌آید. مقدار بهینه‌ی  $\theta$  قابل دستیابی با استفاده از مینیمم کردن خطای تفاوت زمانی (TD)

error بر روی  $(s, a, r, s')$  می‌باشد که به طور رندم انتخاب می‌شوند.

$$\zeta^2 = [r + \gamma \max_{a' \in A} Q_\theta(s', a') - Q_\theta(s, a)]^2 \quad (12.4)$$

روشهای مختلفی برای دستیابی به مینیمم خطا هست که ما در ادامه‌ی کار از روش Q-learning استفاده می‌کنیم. در روش Q-learning در هر بروزرسانی تابع Q داریم:

$$Q(s_{t+1}, a_{t+1}) = Q(s_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma \max_{a \in A} Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)] \quad (13.4)$$

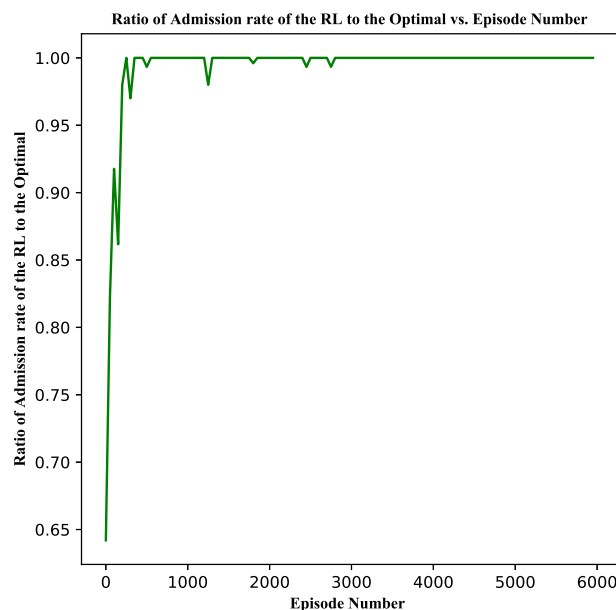
که در اینجا،  $\alpha$  نرخ یادگیری می‌باشد.

## ۱.۴.۴ نتایج عددی مسئله‌ی اول

در این بخش، برای مسئله‌ی اول حالت، عامل و پاداش را تعیین می‌نماییم و سپس نتایج عملی را نشان می‌دهیم. در این مسئله، عامل، هماهنگ ساز<sup>۱</sup> است که وظیفه‌ی مدیریت شبکه را برعهده دارد. همچنین، حالت در هر بازه‌ی زمانی برشهایی از شبکه است که به سرویسها متصل شده و همچنین مقدار منبع باقی ماده در هر برش می‌باشد. پاداش طوری تعیین شده که بیشترین تعداد سرویسها پذیرفته شود به طوریکه شرط تاخیر و نرخ برآورده گردد. برای حل این مسئله به روش دینامیکی، دو مدل سرویس در نظر گرفتیم و شرط تاخیر در این دو مدل سرویس اعمال نشده است. در این بخش، به دلیل کم بودن تعداد حالتها، از روش Q-Learning استفاده کرده و برای جدول Q نیاز به استفاده از روش یادگیری عمیق نیست. در مدل اول سرویس نیازمند نرخ  $10 \text{ bits/s}$  و مدل دوم سرویس نیازمند نرخ  $20 \text{ bits/s}$  می‌باشد. فرض می‌کنیم نرخ ورود سرویس در هر ابتدای بازه‌ی زمانی عدد رندم با توزیع پواسون می‌باشد. نرخ خروج سرویس نیز از توزیع نرمال پیروی می‌کند. در اینجا فرض می‌کنیم از سرویس اول ماکسیمم در هر لحظه ۶ سرویس و از سرویس دوم ۳ تا سرویس درخواست می‌دهد. ۲ برش شبکه با نرخ  $40 \text{ bits/s}$  نیز وجود دارد.

در شکل ۱.۴ نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده به نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده در حالت بهینه براساس زمان طی شده داده می‌شود. بعد از حدود ۸۰۰ تکرار مسئله، تقریباً خروجی با خروجی بهینه یکی می‌شود و مقدار پذیرفته شده با مقدار بهینه تقریباً یکی می‌شود. بعد از حدود ۴۰۰۰ تکرار، تقریباً احتمال انتخاب عمل رندم صفر می‌شود و صرفاً با استفاده از تابع Q، عمل انتخاب می‌شود. نرخ خروج در هر بازه‌ی زمانی ۸۰ درصد

<sup>1</sup>orchestrator



شکل ۱.۴: نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده با استفاده از روش یادگیری تقویتی عمیق به نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده در حالت بهینه براساس زمان طی شده

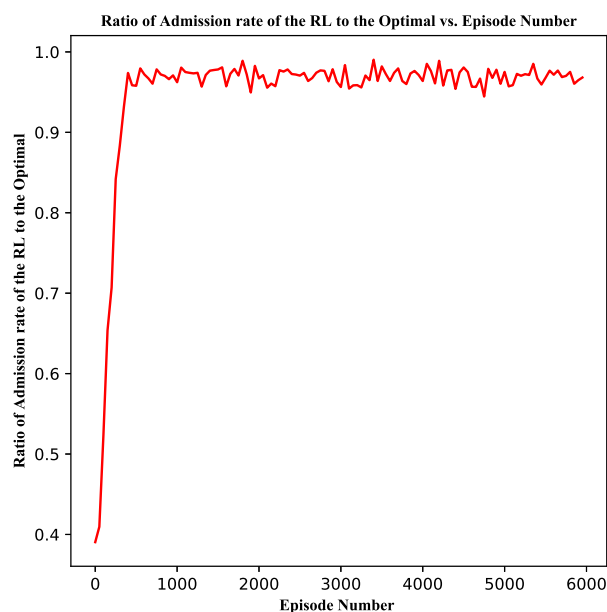
فرض شده است. در اینجا از روش  $\epsilon - greedy$  برای حل استفاده شده است.

در شکل ۲.۴ با افزایش تعداد برشها و بیشینه تعداد درخواستها در هر زمان، بعد از ۱۰۰۰ تکرار سناریو جواب به حالت بهینه نزدیک شده ولی هیچ موقع با مقدار بهینه برابری نمی‌کند. در اینجا، تعداد درخواستهای سرویس اول ۱۰ تا و سرویس دوم ۵ تا می‌باشد. همچنین میزان خروج در هر بازه زمانی ۸۰ درصد سرویسهایی است که در حال پردازش هستند. در شکل ۳.۴ با افزایش تعداد برشهای شبکه و به همان نسبت تعداد درخواستها، مقدار نرمالیزه میانگین مجموع تعداد سرویسهای پذیرفته شده هر دو نوع سرویس براساس تعداد برشهای شبکه در دو حالت استفاده از روش بهینه و روش یادگیری تقویتی رسم شده است. با افزایش تعداد درخواستها و تعداد برشها، روش بهینه از روش یادگیری تقویتی فاصله می‌گیرد.

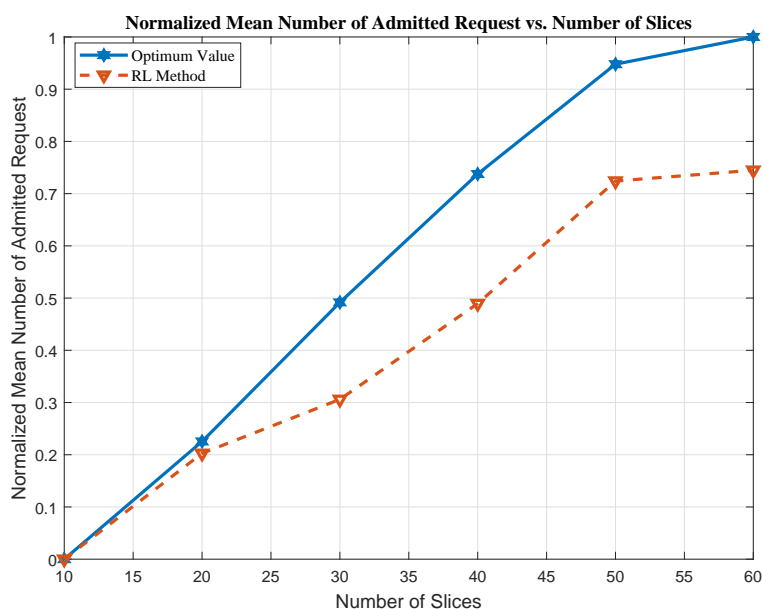
## ۲.۴.۴ نتایج عددی مسئله دوم

در این بخش، برای مسئله دوم حالت، عامل و پاداش را تعیین می‌نماییم و سپس نتایج عملی را نشان می‌دهیم. در این مسئله، عامل، هماهنگ ساز است که وظیفه‌ی مدیریت شبکه را برعهده دارد. همچنین، حالت در هر بازه‌ی زمانی برشهایی از شبکه است که به مراکز داده متصل شده و اینکه کدام برش به کدام مرکز داده متصل است. پاداش

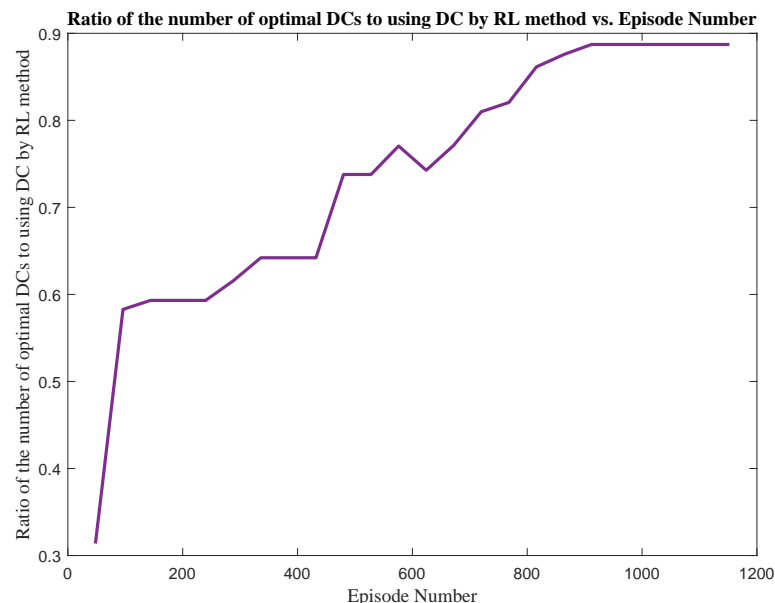




شکل ۲.۴: نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده روش استفاده شده به نسبت تعداد سرویسهای پذیرفته شده در حالت بهینه براساس زمان طی شده با افزایش تعداد ماکسیمم درخواستها و تعداد برشهای شبکه

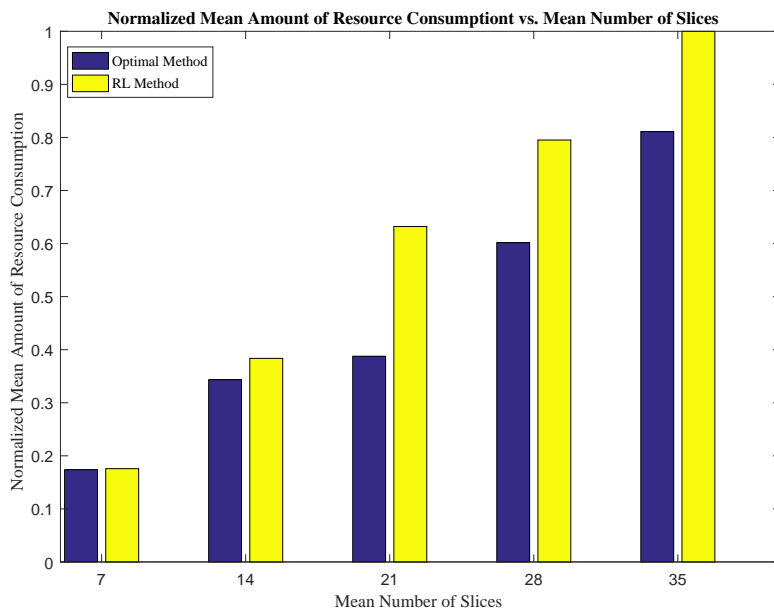


شکل ۳.۴: میانگین تعداد سرویسهای پذیرفته شده در زمان در دو حالت بهینه و استفاده از الگوریتم تقویتی با افزایش تعداد برشهای شبکه



شکل ۴.۴: نسبت تعداد سرورهای مصرفی با روش بهینه به سرورهای مصرفی با استفاده از روش یادگیری تقویتی براساس زمان طی شده

طوری تعیین شده که کمترین تعداد مراکز داده استفاده گردد و هر لحظه کمترین تعداد مراکز داده‌ی خاموش، روشن شود. در اینجا با فرض داشتن دو مدل سرویس مسئله را شبیه سازی می کنیم. فرض کنید VNF های سرویس اول نیاز به 1 CPU و سرویس دوم نیازمند 2 CPU است. فرض کنید از سرویس اول ماکسیمم ۶ تا درخواست VNF و برای سرویس دوم ماکسیمم در هر لحظه‌ی زمانی ۴ تا درخواست VNF صورت می گیرد. در این مسئله، تعداد زیادی سرور که دارای ۳ تا CPU هستند در نظر گرفته شده است. نسبت تعداد سرورهای مصرفی بهینه به سرورهای مصرفی با روش Q-learning در شکل ۴.۴ نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود بعد از ۹۰۰ تا تکرار، تقریباً به مقدار بهینه نزدیک شده ایم. بعد از ۹۰۰ تا تکرار سناریو، تقریباً میزان انتخاب عمل رندم به صفر رسیده و عمل بهینه از روی جدول Q بدست می آید. میزان خروج در هر بازه‌ی زمانی ۸۰ درصد مقدار سرویسهایی است که در زمان قبل در سیستم حضور داشتند، فرض شده است. در شکل ۵.۴ نسبت مقدار هزینه‌ی مصرفی نرمالیزه شده به تعداد میانگین برشهای مورد نیاز در جالت بهینه و الگوریتم یادگیری تقویتی رسم شده است. در اینجا با افزایش تعداد درخواستهای برشهای شبکه به منبع پردازی به صورت میانگین، میزان هزینه‌ی مصرفی را در حالت بهینه و روش یادگیری تقویتی رسم کردیم و با افزایش درخواستها، روش یادگیری تقویتی از روش بهینه فاصله می گیرد.



شکل ۵.۴: نسبت مقدار هزینه‌ی مصرفی نرمالیزه شده به تعداد میانگین برشهای مورد نیاز در جالت بهینه و الگوریتم یادگیری تقویتی

## ۵.۴ نتیجه‌گیری

در این فصل، دو مسئله‌ی فصل قبلی به صورت ساده شده نوشته شد و مسئله‌ی اول در بخش رادیویی از جنس کوله‌پشتی و مسئله‌ی دوم در بخش هسته از نوع بسته‌بندی جعبه می‌باشد. این دو مسئله به صورت دینامیکی در هر لحظه از زمان حل شده‌اند. برای حل این دو مسئله از روش یادگیری تقویتی استفاده شده و حالتها و اعمال بیان برای یک عامل در این مسئله بیان کرده است. نتایج عملی آن نیز رسم گردید. در هر دو مسئله، به دلیل گسسته بودن اعمال و حالات مسئله و کم بودن تعداد آن از روش Q-learning استفاده نمودیم. در مسئله‌ی اول ابتدا با فرض تعداد کمتر مسئله بعد از تعدادی تکرار به مقدار بهینه می‌رسد. با افزایش درخواستها از مقدار بهینه تا حدی دور می‌گردد. در مسئله‌ی دوم نیز بعد از ۹۰۰ تکرار و با استفاده از جدول Q به مقدار نسبتاً بهینه میل می‌کند.

## فصل ۵

# پیشنهادهای و کارهای آتی

### ۱.۵ مقدمه

در فصل اول، مقدمه‌ای بر مفاهیم مورد استفاده را بیان کردیم و در مورد نسل پنجم مخابرات و مفاهیم آن صحبت نمودیم. سپس در فصل دوم مروری بر کارهای انجام شده کردیم و مقالات مرتبط با برش شبکه و شبکه‌های دسترسی باز و قرارگیری توابع مجازی شبکه را بیان نمودیم تا مروری بر چالشهای مطرح شده نسل پنجم مخابرات کرده و حل این چالشها را مورد بررسی قرار دادیم. در فصل سوم صورت مسئله‌ای در زمینه‌ی برش شبکه در شبکه‌های دسترسی باز، معرفی کرده و با روش ابتکاری، آن را حل نمودیم و نتایج را با مقدار بهینه مقایسه کردیم. در فصل چهارم، دو مسئله‌ی بیان شده در فصل سوم را به صورت کاملاً ساده با روش یادگیری عمیق تقویتی به صورت دینامیکی و در هر بازه‌ی زمان حل نمودیم. این دو مسئله، MDP<sup>۱</sup> بوده و قابل حل با این روش هستند. حال در این فصل در مورد مزایا و معایب کارهای انجام شده در فصل سوم و چهارم صحبت کرده و کارهای آتی و پیشنهادات را بیان می‌کنیم.

### ۲.۵ نتیجه‌گیری

در اینجا، مسئله‌ی برش شبکه در بخش رادیویی و قرارگیری توابع مجازی شبکه بر روی مراکز داده باهم مورد بررسی قرار گرفته شد. برای حل این مسئله، ابتدا مسئله به دو بخش مختلف شکسته شد که در بخش اول، تخصیص برش

---

<sup>1</sup>Markov Decision Process

شبکه به کاربران سرویسها و تخصیص توان حل شده و پس از آن، برشهایی از شبکه که به سرویس اختصاص داده شده را به مراکز داده نگاشت می‌دهیم. در این مسئله، تاخیر و نرخ هر کاربر در سرویس مورد بررسی قرار گرفته شده و چالش تخصیص منابع که شامل برش بخش رادیویی به هر سرویس است و جاگیری توابع شبکه حل می‌شود. الگوریتم ارائه شده سرعت بسیار بیشتری از الگوریتم بهینه که با MOSEK و CVX بدست می‌آید، دارد. سپس مسئله به صورت ساده‌تر برای حالت دینامیکی با روش یادگیری تقویتی حل گردیده است.

### ۱.۲.۵ مزایای این چالش و حل آن

در مسئله‌ی بیان شده‌ی فصل سوم، مدل سیستم به صورت دقیق بیان شده و نرخ کاربر، ظرفیت لینک fronthaul و تاخیر به طور دقیق مورد بررسی قرار گرفته شده است. همچنین مسئله به واقعیت نزدیکی زیادی دارد. همچنین الگوریتم ابتکاری تعریف شده در فصل سوم برای حالتی که تداخل به نسبت کم باشد به حالت بهینه بسیار نزدیک است. در فصل چهارم همین مسئله با فرض اینکه سرویسها نیازمند تاخیر کم یا نرخ بالا هستند به صورت پارامتریک در هر لحظه از زمان حل می‌گردند. در بخش بعدی چالشهای قرارگیری توابع مجازی بر روی مراکز داده به طور دقیق بررسی شده و در فصل چهارم این مسئله به صورت دینامیکی در هر لحظه حل گردیده است. در حل مسئله در حالت دینامیکی سعی بر این است که مراکز داده کمترین انرژی را مصرف نموده و از هدر رفت انرژی بپرهیزیم.

### ۲.۲.۵ معایب پروژه انجام شده

در فصل سوم از الگوریتم ابتکاری در این کار استفاده شده است. زمانی که تعداد بلوکهای منابع فیزیکی به نسبت کاربران بسیار کم باشد و تداخل به شدت زیاد گردد، الگوریتم مسئله‌ی اول به خوبی قادر به پاسخ‌گویی نیست و از حالت بهینه فاصله می‌گردد. در مسئله‌ی دوم، زمانی که تعداد مراکز داده زیاد گردد فاصله‌ی حالت بهینه از الگوریتم ابتکاری زیاد شده است. همچنین در فصل چهارم صورت مسئله بسیار ساده‌تر از واقعیت است و مسئله در حالت دینامیکی برای تعداد درخواست کم در این حالت حل گردیده است.

### ۳.۲.۵ نوآوری‌های این پروژه

در این پروژه، تخصیص توان و برش شبکه در شبکه‌های دسترسی باز مورد بررسی قرار گرفته است. ما مسئله‌ی اختصاص UE به خدمات، خدمات به برش‌ها و منابع فیزیکی بی‌سیم و همچنین مرکز داده به برش‌ها را به عنوان

یک مشکل بهینه سازی فرمول‌بندی کرده‌ایم. سپس با ارائه‌ی روشهای ابتکاری، به حل آنها پرداختیم. در نهایت مسئله‌ی ساده شده را در حالت دینامیکی و متغیر با زمان حل کردیم.

## ۳.۵ پیشنهادات

در این بخش، پیشنهادات و کارهای آتی را بیان خواهیم کرد.

- یکی از کارهای آتی، مدل کردن برش شبکه در ساختار شبکه‌ی دسترسی رادیویی باز و حل آن بوسیله‌ی روش یادگیری تقویتی عمیق می‌باشد. در فصل چهارم از این روش برای سیستم ساده شده استفاده گردیده و به دلیل کم بودن تعداد حالات با استفاده از روش یادگیری تقویتی حل شده و در فصل سوم نیز مدل سیستم بیان شده، یکی از کارهای بعدی این است که سیستم مدل فصل سوم را به سیستمهای رادیویی باز نزدیکتر کرده و با روش یادگیری تقویتی عمیق حل نماییم. که در اینجا، بدست آوردن توان و ارتباط برش با سرویس از این روش بدست خواهد آمد. همچنین مقایسه‌ی روش یادگیری تقویتی عمیق و یادگیری تقویتی در اینجا نیز مورد توجه قرار خواهد گرفت.
- یکی دیگر از کارهای آتی، بدست آوردن پارامترهای کیفیت سرویس <sup>۲</sup>QoS در شبکه‌های دسترسی باز می‌باشد که شامل تاخیر انتها به انتها، میزان از دست دادن بسته‌ها<sup>۳</sup>، قابلیت اطمینان و ... می‌باشد. در اینجا می‌توان تاخیر را هم در بخش رادیویی هم در بخش هسته‌ی شبکه بدست آورد. همچنین، به منظور نشان دادن نقش هوش در ORAN طرح مدیریت هوشمند منابع رادیویی را برای کنترل تراکم ترافیک و نشان دادن کارایی آن در یک مجموعه داده واقعی از یک اپراتور بزرگ بدست می‌آوریم.
- شبکه تعریف شده توسط نرم افزار (SDN) و مجازی سازی عملکرد شبکه (NFV) فناوری های کلیدی امکان پذیر در شبکه های ارتباطی نسل پنجم (۵G) برای قرارگیری برش های شبکه سفارشی در سطح سرویس در زیرساخت شبکه، بر اساس خواسته های منابع آماری برای تأمین کیفیت طولانی مدت خدمات (QoS) مورد نیاز می‌باشد. با این حال، بارهای ترافیکی در برش های مختلف با گذشت زمان تحت تغییر قرار می‌گیرند، در نتیجه چالش هایی برای تأمین کیفیت مداوم ایجاد می‌شود. در کارهای آتی یک مشکل انتقال جریان پویا برای سرویس های متصل شده به برش شبکه، برای پاسخگویی به نیازهای تأخیر پایان انتها به انتها (E2E) با ترافیک متغیر، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

<sup>۲</sup>Quality of Service

<sup>۳</sup>Packet Loss

- یکی دیگر از کارهای آتی، تخصیص منابع به روش توزیع شده برای برش شبکه از منابع محاسباتی و منابع دیگر همانند پهنای باند می‌باشد. همچنین از روش توزیع شده در لینک فراسو<sup>۴</sup> برای تخصیص توان کاربران، تخصیص پهنای باند و ... استفاده می‌گردد. یکی از روشها، استفاده از Distributed ADMM می‌باشد که در این روش تعدادی عامل به صورت همکارانه سعی در حل یک معادله‌ی بهینه‌سازی مشترک دارند که تابع هدف مجموعی از مقدارهای خصوصی هر عامل می‌باشد.

---

<sup>4</sup>Uplink

## کتاب نامه

- [1] (2020) Standard of etsi. [Online]. Available: <https://www.etsi.org/technologies/5g?jjj=1590472780060>
- [2] A. Checko, H. L. Christiansen, Y. Yan, L. Scolari, G. Kardaras, M. S. Berger, and L. Dittmann, “Cloud ran for mobile networks—a technology overview,” *IEEE Communications surveys & tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 405–426, 2015.
- [3] M. Peng, Y. Li, J. Jiang, J. Li, and C. Wang, “Heterogeneous cloud radio access networks: A new perspective for enhancing spectral and energy efficiencies,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, no. 6, pp. 126–135, 2014.
- [4] M. Peng, S. Yan, K. Zhang, and C. Wang, “Fog-computing-based radio access networks: issues and challenges,” *IEEE Network*, vol. 30, no. 4, pp. 46–53, 2016.
- [5] (2017) vran: The next step in network transformation. [Online]. Available: <https://builders.intel.com/docs/networkbuilders/vran-the-next-step-in-network-transformation.pdf>
- [6] C. o. Chih-Lin I, Sachin Katti, “O-ran white paper: Towards an open and smart ran,” O-RAN Alliance, Tech. Rep., 2018.
- [7] J. G. Herrera and J. F. Botero, “Resource allocation in nfv: A comprehensive survey,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 13, no. 3, pp. 518–532, 2016.
- [8] Y. Li and M. Chen, “Software-defined network function virtualization: A survey,” *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2542–2553, 2015.
- [9] X. Zhou, R. Li, T. Chen, and H. Zhang, “Network slicing as a service: enabling enterprises’ own software-defined cellular networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 7, pp. 146–153, 2016.
- [10] Y. L. Lee, J. Loo, T. C. Chuah, and L.-C. Wang, “Dynamic network slicing for multitenant heterogeneous cloud radio access networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 4, pp. 2146–2161, 2018.



- [11] J. Tang, W. P. Tay, T. Q. Quek, and B. Liang, "System cost minimization in cloud ran with limited fronthaul capacity," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 5, pp. 3371–3384, 2017.
- [12] Compare different generation. [Online]. Available: <http://net-informations.com/q/diff/generations.html>
- [13] S. Kukliński *et al.*, "6G-lego: A framework for 6G network slices," *Journal of Communications and Networks*, vol. 23, no. 6, pp. 442 – 453, 2021.
- [14] S.-H. Park, O. Simeone, and S. S. Shitz, "Joint optimization of cloud and edge processing for fog radio access networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 15, no. 11, pp. 7621–7632, 2016.
- [15] (2018) xran forum merges with c-ran alliance to form oran alliance. [Online]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20180227005673/en/xRAN-Forum-Merges-C-RAN-Alliance-Form-ORAN>
- [16] Next generation ran architecture. [Online]. Available: <http://rod-stuhlmuller-nydh.squarespace.com/>
- [17] O.-R. A. W. G. 1, "O-RAN-Architecture-Description-v06.00," *White paper*, July 2022.
- [18] O. A.-S. F. G. (SFG), "O-RAN Security Focus Group (SFG) Study on Security for O-CLOUD v01.00," *White paper*, July 2022.
- [19] —, "O-RAN Security Threat Modeling and Remediation Analysis v03.00," *White paper*, July 2022.
- [20] D. Mimran, R. Bitton, Y. Kfir, E. Klevansky, O. Brodt, H. Lehmann, Y. Elovici, and A. Shabtai, "Evaluating the Security of Open Radio Access Networks," *arXiv preprint arXiv:2201.06080*, 2022.
- [21] C. Benzaïd and T. Taleb, "AI for Beyond 5G Networks: A Cyber-SecurityDefense or Offense Enabler?" *IEEE Network*, vol. 34, no. 6, pp. 140 – 147, Nov./Dec. 2020.
- [22] R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck, and R. Boutaba, "Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges," *IEEE Communications surveys & tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 236–262, 2015.
- [23] W. Xia, Y. Wen, C. H. Foh, D. Niyato, and H. Xie, "A survey on software-defined network-ing," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 27–51, 2014.

- [24] V.-G. Nguyen, A. Brunstrom, K.-J. Grinnemo, and J. Taheri, "Sdn/nfv-based mobile packet core network architectures: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1567–1602, 2017.
- [25] A. Gudipati, D. Perry, L. E. Li, and S. Katti, "Softran: Software defined radio access network," in *Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking*, 2013, pp. 25–30.
- [26] R. Yu, G. Xue, M. Bennis, X. Chen, and Z. Han, "Hsdran: Hierarchical software-defined radio access network for distributed optimization," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 9, pp. 8623–8636, 2017.
- [27] H. Zhang, N. Liu, X. Chu, K. Long, A.-H. Aghvami, and V. C. Leung, "Network slicing based 5g and future mobile networks: mobility, resource management, and challenges," *IEEE communications magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 138–145, 2017.
- [28] L. Feng, Y. Zi, W. Li, F. Zhou, P. Yu, and M. Kadoch, "Dynamic resource allocation with ran slicing and scheduling for urllc and embb hybrid services," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 34 538–34 551, Feb. 2020.
- [29] Y. L. Lee, J. Loo, and T. C. Chuah, "A new network slicing framework for multi-tenant heterogeneous cloud radio access networks," in *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES)*. Putrajaya, Malaysia: IEEE, Nov. 2016, pp. 414–420.
- [30] M. Peng, Y. Li, Z. Zhao, and C. Wang, "System architecture and key technologies for 5g heterogeneous cloud radio access networks," *IEEE network*, vol. 29, no. 2, pp. 6–14, 2015.
- [31] L. M. Larsen, M. S. Berger, and H. L. Christiansen, "Fronthaul for cloud-ran enabling network slicing in 5g mobile networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, 2018.
- [32] S. Costanzo, I. Fajjari, N. Aitsaadi, and R. Langar, "A network slicing prototype for a flexible cloud radio access network," in *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*. IEEE, 2018, pp. 1–4.
- [33] H. Xiang, S. Yan, and M. Peng, "A realization of fog-ran slicing via deep reinforcement learning," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 19, no. 4, pp. 2515–2527, 2020.
- [34] S. E. Elayoubi, S. B. Jemaa, Z. Altman, and A. Galindo-Serrano, "5g ran slicing for verticals: Enablers and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 1, pp. 28–34, 2019.

- [35] S. D’Oro, F. Restuccia, and T. Melodia, “Toward operator-to-waveform 5g radio access network slicing,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 4, pp. 18–23, 2020.
- [36] L. Feng, Y. Zi, W. Li, F. Zhou, P. Yu, and M. Kadoch, “Dynamic resource allocation with ran slicing and scheduling for urlhc and embb hybrid services,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 34 538–34 551, 2020.
- [37] V. Sciancalepore, L. Zanzi, X. Costa-Perez, and A. Capone, “Onets: online network slice broker from theory to practice,” *arXiv preprint arXiv:1801.03484*, 2018.
- [38] W. Li, Y. Zi, L. Feng, F. Zhou, P. Yu, and X. Qiu, “Latency-optimal virtual network functions resource allocation for 5g backhaul transport network slicing,” *Applied Sciences*, vol. 9, no. 4, p. 701, 2019.
- [39] D. Sattar and A. Matrawy, “Towards secure slicing: Using slice isolation to mitigate ddos attacks on 5g core network slices,” in *2019 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)*. IEEE, 2019, pp. 82–90.
- [40] —, “Optimal slice allocation in 5g core networks,” *IEEE Networking Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 48–51, 2019.
- [41] P. Luong, C. Despins, F. Gagnon, and L.-N. Tran, “A novel energy-efficient resource allocation approach in limited fronthaul virtualized c-rans,” in *2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [42] P. Luong, F. Gagnon, C. Despins, and L.-N. Tran, “Joint virtual computing and radio resource allocation in limited fronthaul green c-rans,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 4, pp. 2602–2617, 2018.
- [43] K. Guo, M. Sheng, J. Tang, T. Q. Quek, and Z. Qiu, “Exploiting hybrid clustering and computation provisioning for green c-ran,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 34, no. 12, pp. 4063–4076, 2016.
- [44] M. Setayesh, S. Bahrami, and V. W. Wong, “Joint prb and power allocation for slicing embb and urlhc services in 5g c-ran,” in *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2020)*, Taipei, Taiwan, Dec. 2020, pp. 1–6.
- [45] P. Yang, X. Xi, T. Q. Quek, J. Chen, X. Cao, and D. Wu, “How should i orchestrate resources of my slices for bursty urlhc service provision?” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 69, no. 2, pp. 1134–1146, Nov. 2020.

- [46] F. Saggese, M. Moretti, and P. Popovski, "Power minimization of downlink spectrum slicing for embb and urllc users," *arXiv preprint arXiv:2106.08847*, Jun. 2021.
- [47] M. Alsenwi, N. H. Tran, M. Bennis, S. R. Pandey, A. K. Bairagi, and C. S. Hong, "Intelligent resource slicing for embb and urllc coexistence in 5g and beyond: A deep reinforcement learning based approach," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 20, no. 7, pp. 4585 – 4600, Feb. 2021.
- [48] P. Korrai, E. Lagunas, S. K. Sharma, S. Chatzinotas, A. Bandi, and B. Ottersten, "A ran resource slicing mechanism for multiplexing of embb and urllc services in ofdma based 5g wireless networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 45 674–45 688, Mar. 2020.
- [49] I. Scales. (2018) The open ran (oran) alliance formed to lever open 5g for 'other' technologies? and much more... [Online]. Available: <https://www.o-ran.org/resources>
- [50] S. Niknam, A. Roy, H. S. Dhillon, S. Singh, R. Banerji, J. H. Reed, N. Saxena, and S. Yoon, "Intelligent o-ran for beyond 5g and 6g wireless networks," *arXiv preprint arXiv:2005.08374*, 2020.
- [51] L. Gavrilovska, V. Rakovic, and D. Denkovski, "From cloud ran to open ran," *Wireless Personal Communications*, pp. 1–17, 2020.
- [52] S. Sree and S. Ponnekanti, "Open ran deployment using advanced radio link manager framework to support mission critical services in 5g," *EAI Endorsed Transactions on Cloud Systems*, vol. 5, no. 14, 2019.
- [53] S. A. T. Kawahara and A. U. R. Matsukawa, "O-ran alliance standardization trends," 2019.
- [54] X. Wang, C. Wu, F. Le, A. Liu, Z. Li, and F. Lau, "Online vnf scaling in datacenters," in *2016 IEEE 9th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*. IEEE, 2016, pp. 140–147.
- [55] Y. Jia, C. Wu, Z. Li, F. Le, and A. Liu, "Online scaling of nfv service chains across geo-distributed datacenters," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 26, no. 2, pp. 699–710, 2018.
- [56] Z. Luo and C. Wu, "An online algorithm for vnf service chain scaling in datacenters," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2020.
- [57] R. Cziva, C. Anagnostopoulos, and D. P. Pazaros, "Dynamic, latency-optimal vnf placement at the network edge," pp. 693–701, 2018.

- [58] J. Pei, P. Hong, M. Pan, J. Liu, and J. Zhou, "Optimal vnf placement via deep reinforcement learning in sdn/nfv-enabled networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 38, no. 2, pp. 263–278, 2019.
- [59] B. Ren, S. Gu, D. Guo, G. Tang, and X. Lin, "Joint optimization of vnf placement and flow scheduling in mobile core network," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2020.
- [60] V. Sciancalepore, K. Samdanis, X. Costa-Perez, D. Bega, M. Gramaglia, and A. Banchs, "Mobile traffic forecasting for maximizing 5g network slicing resource utilization," in *IEEE INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications*. IEEE, 2017, pp. 1–9.
- [61] K. Wang, W. Zhou, and S. Mao, "On joint bbu/rrh resource allocation in heterogeneous cloud-rans," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 749–759, 2017.
- [62] A. De Domenico, Y.-F. Liu, and W. Yu, "Optimal virtual network function deployment for 5g network slicing in a hybrid cloud infrastructure," *arXiv preprint arXiv:2006.08774*, 2020.
- [63] Y. Hua, R. Li, Z. Zhao, X. Chen, and H. Zhang, "Gan-powered deep distributional reinforcement learning for resource management in network slicing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 38, no. 2, pp. 334–349, 2019.
- [64] Y. Hua, R. Li, Z. Zhao, H. Zhang, and X. Chen, "Gan-based deep distributional reinforcement learning for resource management in network slicing," in *2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*. IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [65] T. Li, X. Zhu, and X. Liu, "An end-to-end network slicing algorithm based on deep q-learning for 5g network," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 122 229–122 240, 2020.
- [66] S. Sengupta *et al.*, "Mtdeep: Boosting the security of deep neural nets against adversarial attacks with moving target defense," in *Decision and Game Theory for Security*, Springer-Verlag, 2019, pp. 479–491.
- [67] A. Rashid and J. M. Such, "Stratdef:a strategic defense against adversarial attacks in malware detection," *ArXiv*, 2022.
- [68] Y. Qiu, J. Wu *et al.*, "Mt-mtd: Muti-training based moving target defense trojaning attack in edged-ai network," in *ICC-IEEE International Conference on Communications*. IEEE, 2021, pp. 1–6.
- [69] J.MeI *et al.*, "Intelligent radio access network slicing for service provisioning in 6G: A hierarchical deep reinforcement learning approach," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 69, no. 9, pp. 6063–6078, 2021.

- [70] D.Marabissi and R.Fantacci, "Highly flexible RAN slicing approach to manage isolation, priority, efficiency," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 97 130–97 142, 2019.
- [71] P. R. Montague, "Reinforcement learning: an introduction, by sutton, rs and barto, ag," *Trends in cognitive sciences*, vol. 3, no. 9, p. 360, 1999.



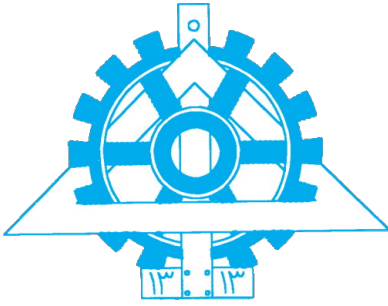




## Abstract

Open radio access network (ORAN) alliance which has been formed recently establishes a flexible, open, and smart radio access network (RAN) by combining the ideas from xRAN and cloud RAN (C-RAN). ORAN divides the functions of the RAN into three parts, namely remote unit (RU), distributed unit (DU), and central unit (CU). While RU contains lower PHY functions, DU contains higher PHY, MAC, and RLC and CU contains RRC, PDCP, and SDAP. CU and DU are implemented as virtual network functions (VNFs) running on a cloud environment. Interfaces between RU, CU, and DU are open standard interfaces. Network slicing as a new concept in 5G systems is used to share the network resources between various services while the operation of one service does not affect another service. In this paper, we study the problem of RAN network slicing in an ORAN system. We formulate the problem of wireless link scheduling, assigning the slices to the services, and assigning the physical data centers resource to slices which is 3D-bin packing problems. The objective is to jointly maximize the energy efficiency and minimize power consumption of RUs and the cost of physical resources in a downlink channel. The problem is formulated as a mixed-integer optimization problem that can be decomposed into two independent sub-problems. Heuristic algorithms are proposed for each of the sub-problems.

**Keywords** ORAN, Network Slicing, Bin Packing



University of Tehran  
College of Engineering  
Faculty of Electrical and  
Computer Engineering  
Network department



# **Joint Power Allocation and Network Slicing in an End-to-End ORAN System**

A Proposal submitted to the Graduate Studies Office to continue Doctor  
of Philosophy  
in Electrical Engineering - Communication and Network

By:

**Mojdeh Karbalaee Motalleb**

Supervisor:

**Dr. Shahmansouri**

September 2020