





آشنایی با معماری O-RAN و واسط‌های معرفی شده در آن

سمینار درس مباحث ویژه‌ی ۲ در شبکه‌های کامپیوتری (شبکه‌های تلفن همراه) - پاییز ۱۴۰۱

علی نظری: ۴۰۱۷۲۵۱۷۳

آخرین ویرایش: ۱۶ دی ۱۴۰۱ در ساعت ۰ و ۵۲ دقیقه

فهرست مطالب

iii	فهرست اشکال
۱	فصل ۱ چکیده
۲	فصل ۲ مقدمه
۵	فصل ۳ معماری O-RAN
۷	فصل ۴ Near-Real-Time RIC
۸	۱.۴ xApp
۸	۲.۴ Messaging Infrastructure
۸	۳.۴ Conflict Mitigation
۸	۴.۴ Subscription Manager
۸	۵.۴ Management Services
۹	۶.۴ Security
۹	۷.۴ Database
۹	۸.۴ Terminations
۱۰	فصل ۵ None-Real-Time RIC
۱۲	فصل ۶ واسطها
۱۴	فصل ۷ استانداردسازی
۱۵	مراجع

۲	..... معماری کلی شبکه‌های تلفن همراه	۱.۲
۳	..... تفکیک ناحیه‌ی رادیویی نسل ۵ توسط 3GPP	۲.۲
۳	..... قسمت‌بندی‌های مختلف لایه‌های شبکه	۳.۲
۴	..... تمرکز کاری O-RAN Alliance	۴.۲
۵	..... ساختار کلی شبکه‌های تلفن همراه با O-RAN	۱.۳
۶	..... اجزای موجود در ناحیه‌ی رادیویی با ساختار O-RAN	۲.۳
۷	..... اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC	۱.۴
۱۰	..... اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC	۱.۵
۱۱	..... اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC	۲.۵
۱۲	..... اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC	۱.۶
۱۳	..... اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC	۲.۶
۱۴	..... اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC	۱.۷

یکی از اجزای اصلی در شبکه‌های تلفن همراه، ناحیه دسترسی رادیویی است و سازمان O-RAN Alliance با شروع و استانداردسازی معماری جدیدی تحت عنوان O-RAN راه جدیدی را آغاز کرده که مدیریت و بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه را متحول کرده است.

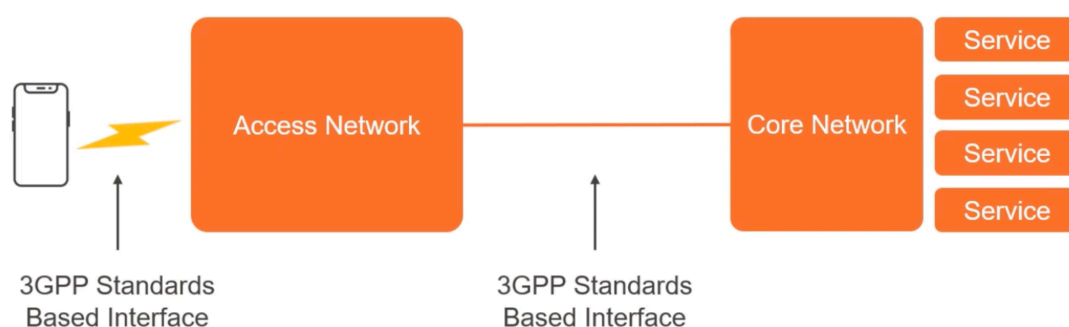
در این معماری با جدا کردن قسمت‌های مختلف ناحیه دسترسی رادیویی، استفاده از مجازی‌سازی و اجزای داده‌محور مختلف امکان مدیریت هوشمند و خودمختار به ناحیه رادیویی داده شده است.

در این گزارش، بخش‌های مختلف این معماری به تفکیک بررسی شده‌اند و اجزای مختلفی که به هوشمندی و داده‌محوری این قسمت کمک کرده‌اند مورد بحث قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: ناحیه دسترسی رادیویی، شبکه‌های تلفن همراه، یادگیری ماشین، O-RAN

با پیشرفت شبکه‌های تلفن همراه، پیچیدگی این شبکه‌ها نیز بیش‌تر شده‌است و این مدیریت این شبکه‌ها را سخت‌تر از گذشته کرده‌است و این نیاز را ایجاد کرده‌است که مدیریت و بهینه‌کردن پیوسته‌ی این شبکه‌ها در محیط عملیاتی به صورت خودکار انجام شود.

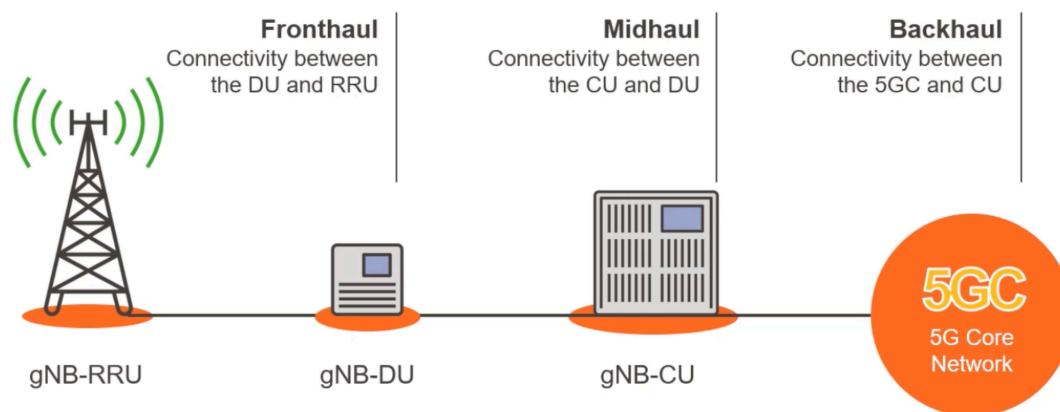
همان‌طور که در ۱.۲ می‌بینیم، شبکه‌های تلفن همراه از ۳ بخش اصلی تشکیل شده‌اند و ناحیه‌ی دسترسی رادیویی است که تلفن همراه یا همان کاربر را به هسته‌ی شبکه متصل می‌کند.



شکل ۱.۲: معماری کلی شبکه‌های تلفن همراه

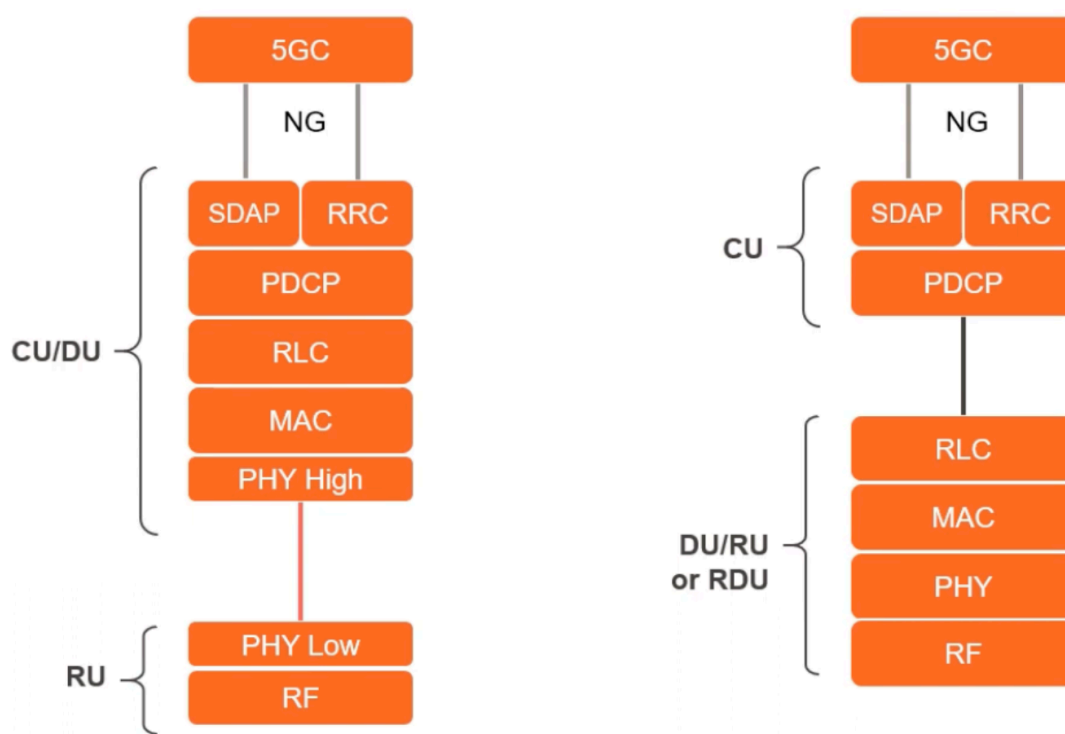
ناحیه دسترسی رادیویی تا مدت‌ها به صورت یک قسمت یک‌پارچه بوده و اطلاعاتی از کارهایی که درون آن انجام می‌شده به قسمت‌های دیگر برای بهینه‌سازی آن داده نمی‌شده و بسیار وابستگی به فروشنده^۱ سازنده‌ی آن داشته‌است. 3GPP به عنوان سازمان استانداردسازی شبکه‌های تلفن همراه در نسخه‌های جدیدی که از نسل ۵ شبکه‌های تلفن همراه منتشر کرده‌است، ناحیه دسترسی رادیویی را جداسازی کرده و آن را به ۳ قسمت تفکیک کرده‌است. در ۲.۲ این ۳ قسمت قابل مشاهده هستند. با این تفکیک و ایجاد قسمت‌های DU RU، و CU باید واسطه‌های ارتباطی جدیدی برای ارتباط این قسمت‌ها تعریف می‌شد که این موارد نیز در این شکل مشاهده می‌شوند. به عنوان مثال Fronthaul واسطه بین بخش‌های RU و DU است.

^۱ vendor



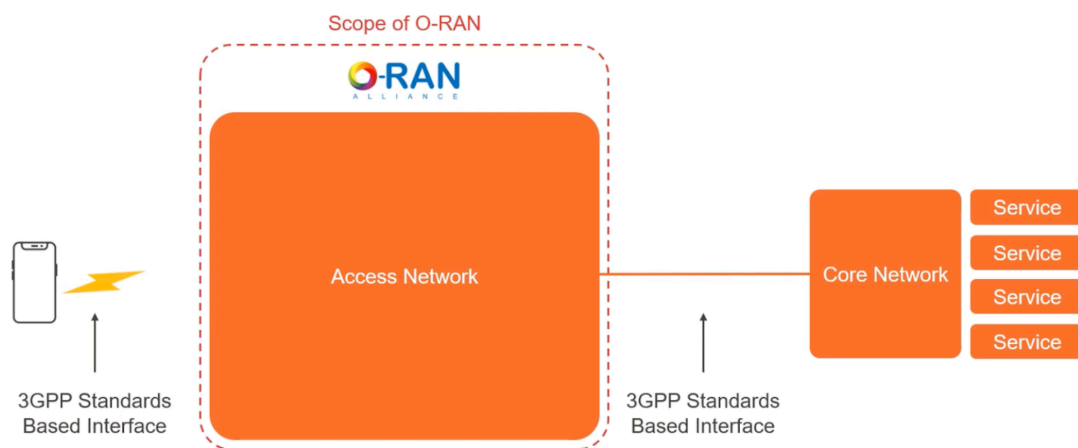
شکل ۲.۲: تفکیک ناحیه‌ی رادیویی نسل ۵ توسط 3GPP

اگر عملکرد این قسمت‌های جدید را در پشت‌پشتی پروتکلی شبکه‌های تلفن همراه هم بررسی کنیم، می‌توانیم وظایف موجود در هر کدام از لایه‌های مختلف را به یکی از این قسمت‌های جدید در ناحیه دسترسی رادیویی واگذار کنیم. در ۳.۲ می‌بینیم که این لایه‌ها می‌توانند به شیوه‌های مختلفی به DU RU، و CU اختصاص یابند که این مسئله قابل پیکربندی است.



شکل ۳.۲: قسمت‌بندی‌های مختلف لایه‌های شبکه

در ادامه‌ی این راه و برای توسعه‌ی بیشتر این رویکرد خارج کردن ناحیه‌ی رادیویی از انحصارطلبی گذشته، سازمانی تحت عنوان O-RAN Alliance تشکیل شد که هدف آن تمرکز بر همین ایده و پیش‌برد ایده‌ی ناحیه‌ی دسترسی رادیویی آزادتر و هوشمندتر بود.



شکل ۴.۲: تمرکز کاری O-RAN Alliance

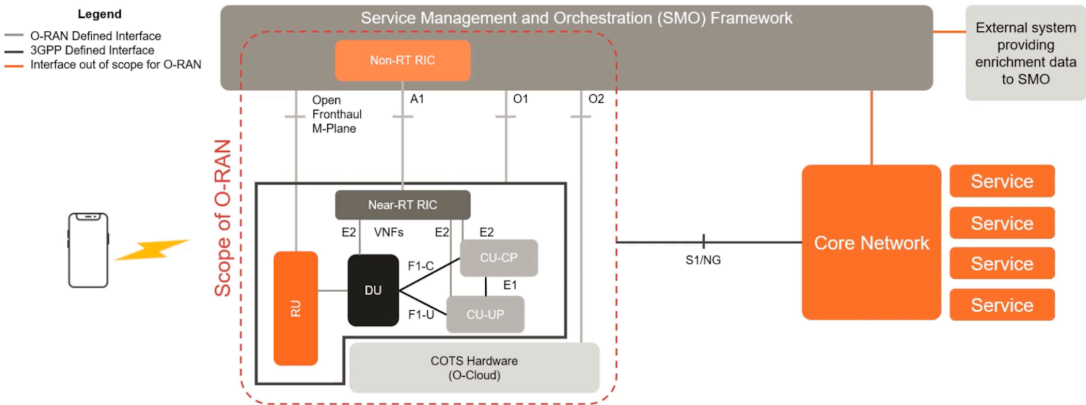
در فصل‌های بعدی با کمک [۱] و [۲] معماری کنونی O-RAN که توسط این سازمان استاندارد شده را بررسی خواهیم کرد.

نکته

سازمان O-RAN Alliance بر استانداردسازی‌های O-RAN تمرکز کرده است و با همکاری Linux Foundation که یک سازمان متن‌باز است، مجموعه‌ی O-RAN Software Community را تشکیل داده‌است که وظیفه‌ی توسعه‌ی مواردی که استاندارد می‌شود را به صورت متن‌باز پیش می‌برند و به صورت پیوسته برای قسمت‌های مختلف این معماری، پیاده‌سازی‌هایی انجام می‌دهند.

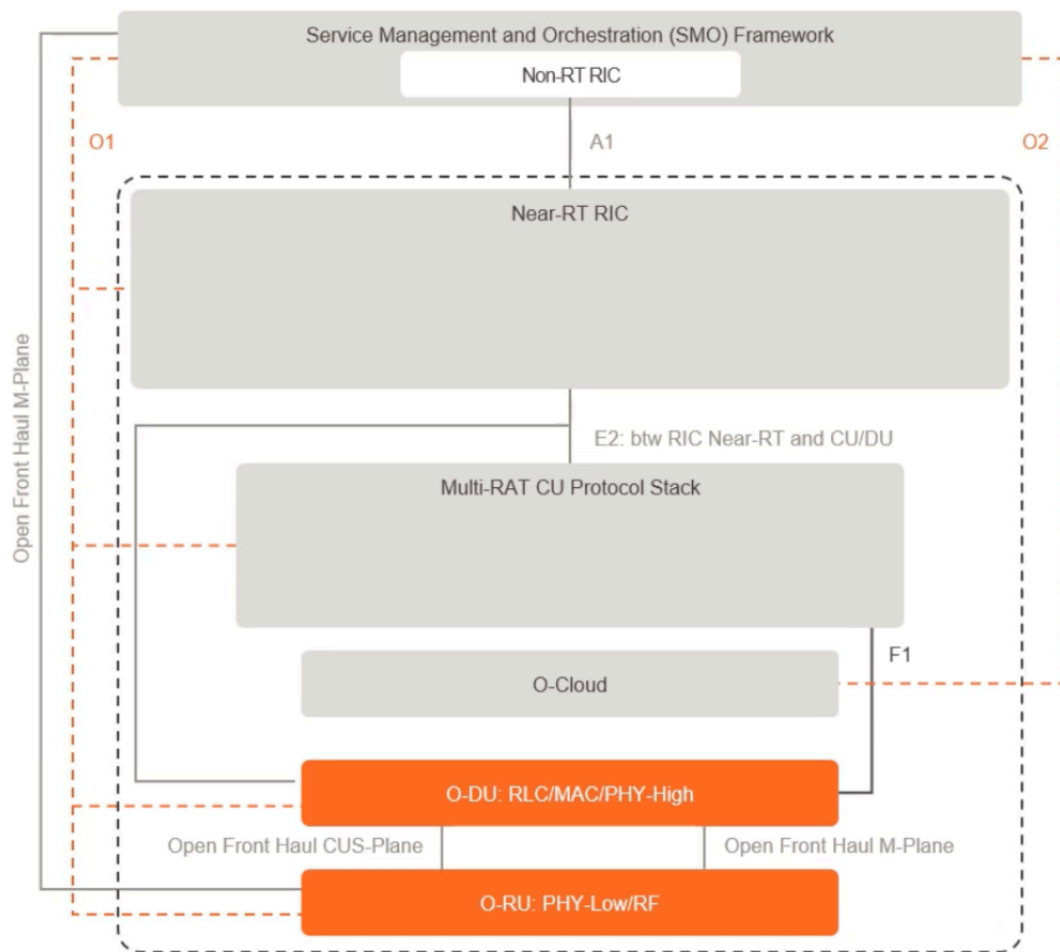
۳ معماری O-RAN

ساختاری که در O-RAN معرفی شده در ۱.۳ قابل مشاهده است. همان‌طور که می‌بینیم علاوه بر قسمت‌هایی که 3GPP در ناحیه‌ی دسترسی رادیویی تعبیه کرده بود، قسمت‌های جدیدی هم به آن اضافه شده‌اند



شکل ۱.۳: ساختار کلی شبکه‌های تلفن همراه با O-RAN

در ۲.۳ تمرکز بر ناحیه‌ی دسترسی رادیویی است و قسمت‌های مختلفی که در O-RAN در نظر گرفته شده، آورده شده‌اند.



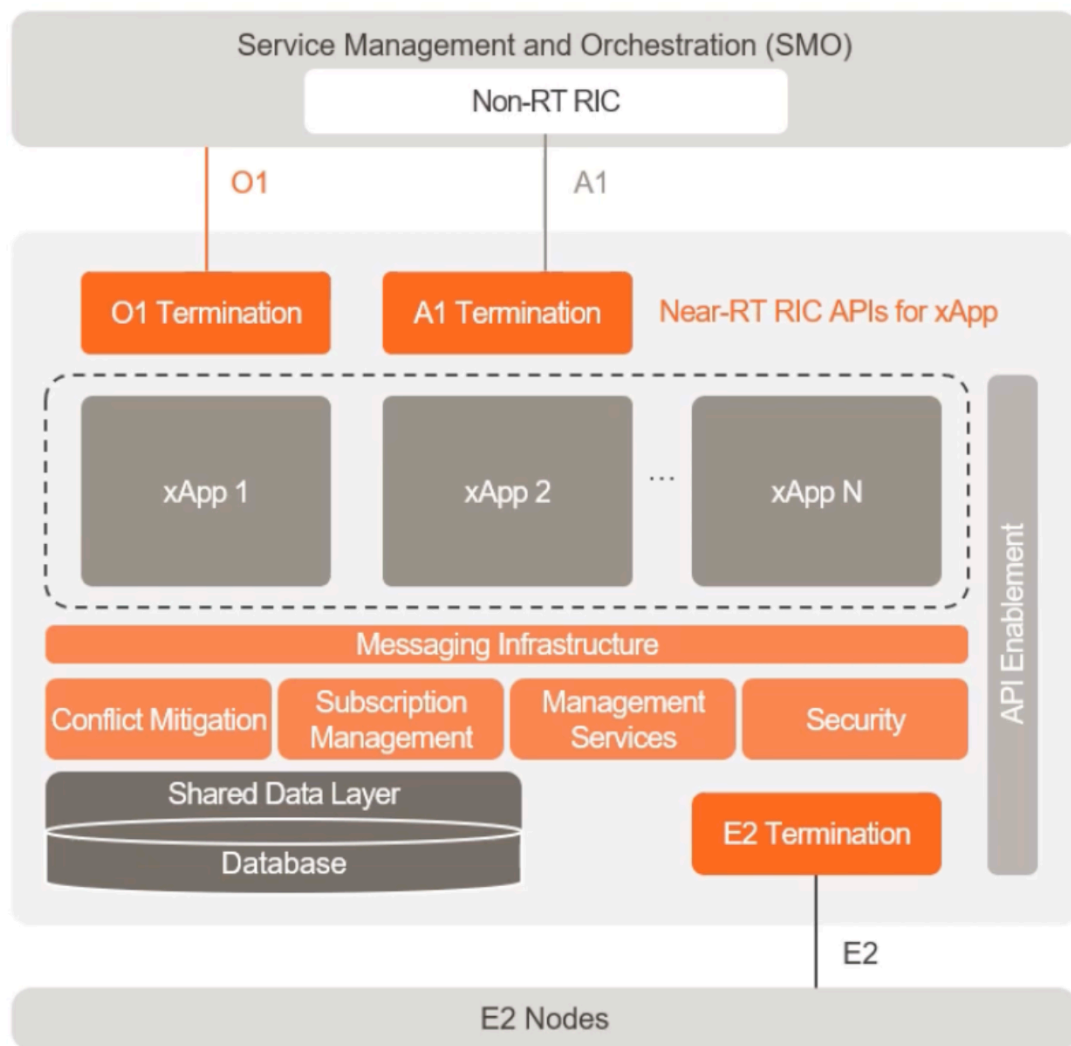
شکل ۲.۳: اجزای موجود در ناحیه‌ی رادیویی با ساختار O-RAN

می‌بینیم که علاوه بر DU RU، و CU، قسمت‌های جدیدی مانند Near-Real-Time RIC و None-Real-Time RIC اضافه شده که این قسمت‌های جدید برای کنترل ناحیه‌ی دسترسی رادیویی به صورت هوشمندانه هستند که در فصل‌های بعدی بررسی شده‌اند.

در Near-Real-Time RIC تمرکز بر کنترل به صورت نزدیک به بلادرنگ است و در None-Real-Time RIC کنترل‌های با تاخیر بالاتر از یک ثانیه انجام می‌گیرد.

۴ Near-Real-Time RIC

یکی از اجزای اصلی O-RAN، Near-Real-Time RIC است که وظیفه‌ی کنترل هوشمندانه‌ی ناحیه دسترسی رادیویی با تاخیر نسبتاً کم و به صورت نزدیک به بلادرنگ را برعهده دارد. این قسمت همان‌طور که در ۱.۴ هم مشاهده می‌شود، خود از قسمت‌های زیادی تشکیل شده که در ادامه هر کدام از آن‌ها معرفی خواهند شد.



شکل ۱.۴: اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC

۱.۴ xApp

اصلی‌ترین مفهوم در Near-Real-Time RIC همین مفهوم یعنی xApp است. xApp ها یک سری برنامه‌ی کوچک اند که از طریق آن‌ها تصمیم‌های کنترلی به کمک داده‌هایی که به عنوان ورودی به آن‌ها داده می‌شود، گرفته می‌شود. این تصمیم‌ها از طریق واسط E2 که در فصل‌های بعدی معرفی می‌شود، به دست DU یا CU می‌رسد تا اجرایی شوند.

نکته



نحوه‌ی عملیاتی کردن این برنامه‌ها در ساختار O-RAN عموماً به صورت image های docker است و یک فایل پیکره‌بندی که مشخصات بالا آمدن هر کدام از این برنامه‌ها را دقیق‌تر مشخص می‌کند.

۲.۴ Messaging Infrastructure

این بخش یک زیرساخت پیام‌رسانی است که پیغام‌های مختلف بین اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC از طریق آن رد و بدل می‌شود.

۳.۴ Conflict Mitigation

این بخش وظیفه دارد تا از بروز اشکالاتی که به خاطر تداخل پیکره‌بندی‌های مختلفی که xApp ها به وجود می‌آورند جلوگیری کند یا اینکه با مکانیزم‌های خود، آن‌ها را تشخیص دهد و سپس آن‌ها را اصلاح کند. به صورت ساده‌تر این قسمت از دست‌کاری موارد یکسان توسط برنامه‌های مختلف که ممکن است باعث خرابی عملکردی شود، جلوگیری می‌کند.

۴.۴ Subscription Manager

این بخش بررسی و مدیریت اینکه xApp های مختلف به E2 نودهایی (همان DU و CU) که می‌خواهد اطلاعات از آن‌ها دریافت کند، درخواستشان را ارسال کنند را برعهده دارد. به عنوان مثال اگر چندین برنامه نیازمند به یک مرجع داده‌ی یکسان داشته باشند، این بخش این درخواست‌ها را تجمیع می‌کند تا مدیریت و کنترل آن‌ها ساده‌تر باشد.

۵.۴ Management Services

این بخش وظیفه‌ی مدیریت خود xApp ها، ساختار عیب‌یابی و عملیاتی کردن آن‌ها و به صورت کلی موارد مرتبط با خود xApp ها را برعهده دارد.

Security ۶.۴

با توجه به اینکه اطلاعات موجود در ناحیه‌ی دسترسی رادیویی، اطلاعات محرمانه‌ای در مورد کاربران را شامل می‌شود، این قسمت وظیفه‌اش حفظ امنیت این داده‌ها است. البته هنوز در پیاده‌سازی‌هایی که انجام شده به سراغ این موضوع به صورت جدی نرفته‌اند و در دست پیشرفت است.

Database ۷.۴

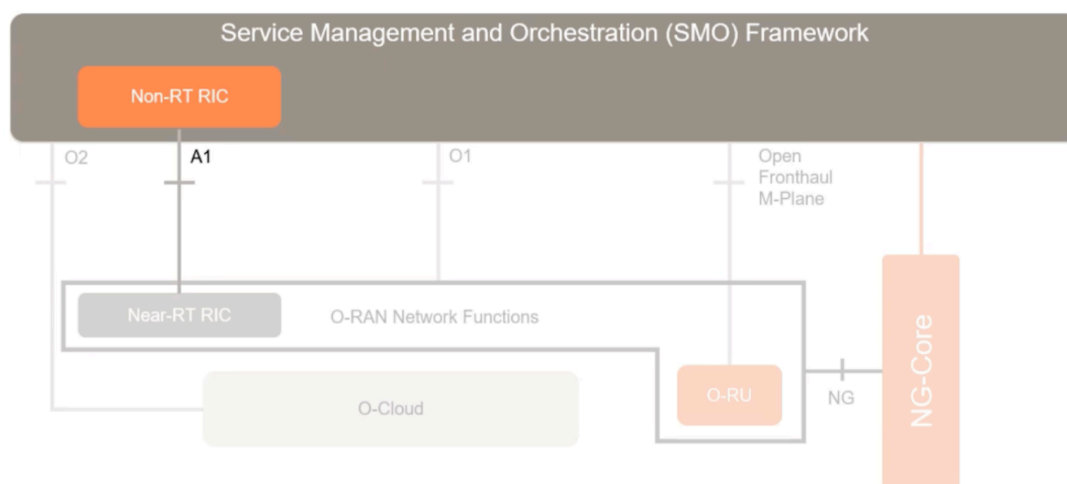
این قسمت هم، همان‌طور که نامش پیداست، پایگاه داده‌ای است که اطلاعات مختلف کاربران را نگهداری می‌کند تا xApp‌های مختلف در صورت نیاز بتوانند از آن‌ها استفاده کنند و دستورات کنترلی لازم را صادر کنند.

Terminations ۸.۴

در شکل چندین درگاه مختلف که از طریق آن، این بخش Near-Real-Time RIC به بخش‌های دیگر موجود در O-RAN پیغام رد و بدل می‌کند، آورده شده است که در فصل‌های بعدی با جزئیات بیشتری در مورد هر کدام از آن‌ها صحبت به میان آورده شده است.

۵ None-Real-Time RIC

بخش بعدی‌ای که در O-RAN به ناحیه‌ی رادیویی اضافه شده‌است را با این توضیح آغاز می‌کنیم که طبق ۱.۵، قسمت مهم None-Real-Time RIC که وظیفه‌ی دادن فرمان‌های کنترلی با تاخیرهای بیش‌تر از یک ثانیه است، خود داخل بخش دیگری به نام SMO قرار می‌گیرد که خود از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌است و وظایف گوناگونی را بر عهده دارد.



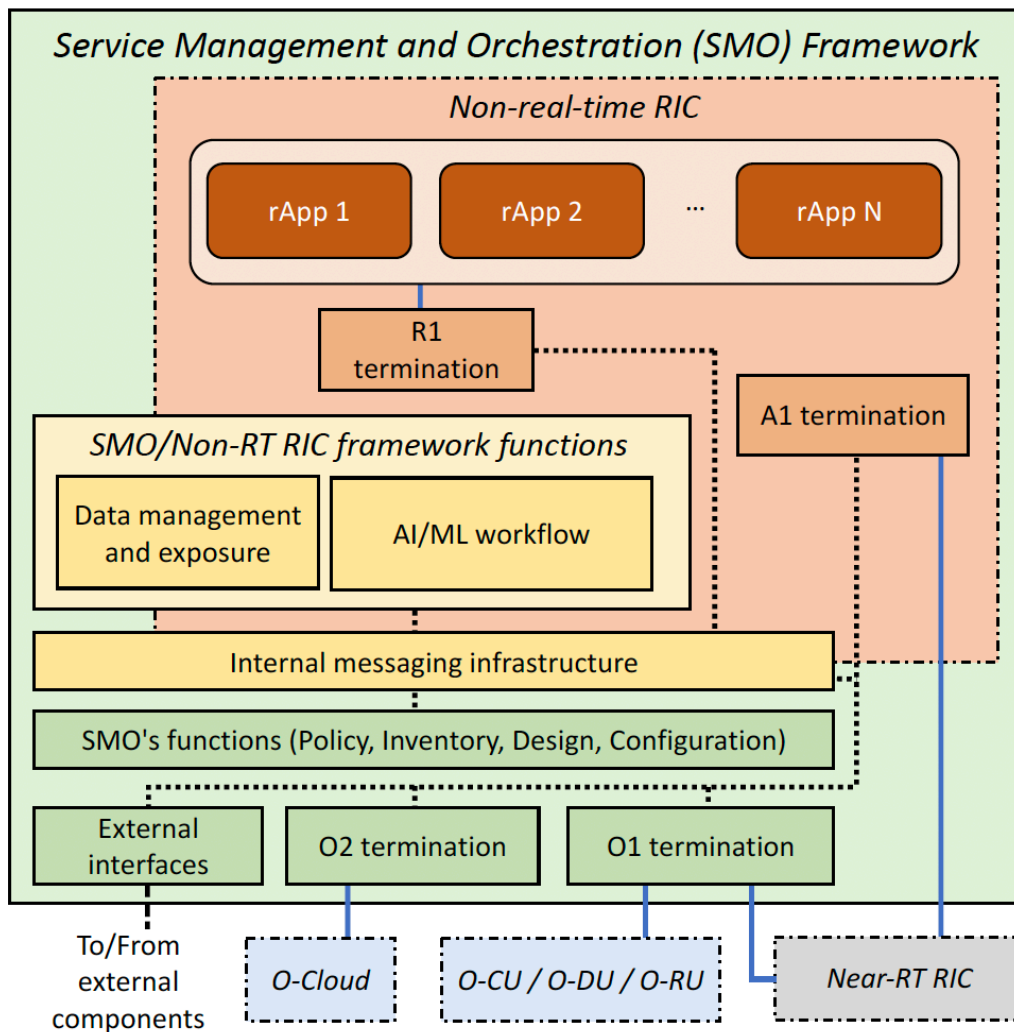
شکل ۱.۵: اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC

در ۲.۵ به صورت جزئی‌تر به سراغ SMO رفته و بخش‌های مختلف آن به نمایش کشیده شده‌است.

به صورت کلی SMO به سه بخش تقسیم می‌شود.

بخش اول که با رنگ نارنجی در ۲.۵ نشان داده شده است، همان قسمتی است که با عنوان None-Real-Time RIC شناخته می‌شود که خود آن از تعدادی rApp تشکیل شده‌است. این rAppها برنامه‌هایی شبیه به xAppها هستند با این تفاوت که در بخش None-Real-Time RIC حضور دارند.

بخش دوم که با رنگ سبز در ۲.۵ نشان داده شده است، قسمتی است که خارج از None-Real-Time RIC قرار می‌گیرد و کارهای مدیریتی درون SMO و موارد مرتبط با خودکارسازی و پیکربندی را بر عهده دارد.



شکل ۲.۵: اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC

بخش سوم که با رنگ زرد در ۲.۵ نشان داده شده است، قسمت میانی‌ای است که بین SMO و Non-Real-Time RIC قرار دارد و قسمتی از آن به ساختار دادن به دادگان و جمع‌آوری آن‌ها اختصاص دارد تا بتوان در قسمت‌های داده‌محور از آن‌ها استفاده کرد و بخش دیگر جریان یادگیری ماشین را در خود جای داده‌است. جریان کاری یادگیری ماشین از قسمت‌های مختلفی مانند جمع‌آوری و آماده‌سازی دادگان، آموزش مدل یادگیری ماشین، اعتبار سنجی آن و بالا آوردن آن در محیط عملیاتی و همچنین بهبود پیوسته‌ی آن تشکیل شده است. البته همه‌ی این موارد به طور کامل می‌تواند در این قسمت از SMO جایگذاری نشود و با توجه به سناریوهای مختلف، هر کدام از این مراحل در بخش‌های مختلف O-RAN مانند xApp‌ها قرار گیرد.

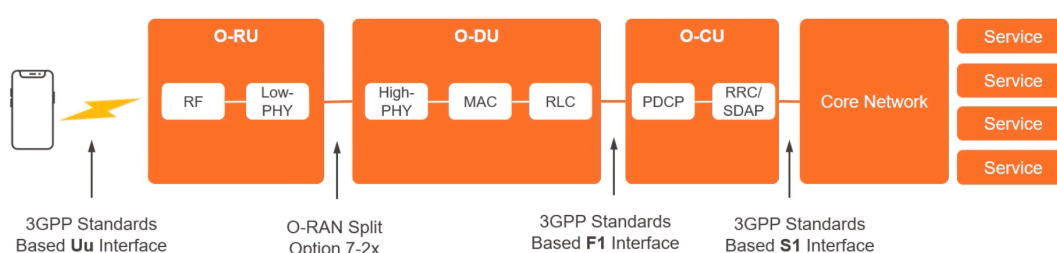
با توجه به معرفی اجزای جدید در معماری O-RAN این نیاز وجود دارد که برای ارتباط بین قسمت‌های مختلف، واسط‌های به صورت استاندارد تعریف شود تا بتوان برنامه‌های مختلفی توسعه داد و اجزای مختلف هم بتوانند به درستی با کمک این واسط‌های استاندارد شده با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و دیگر همه چیز در اختیار فروشنده‌های قطعات نباشد.

در ادامه واسط‌های مختلفی که در شکل‌های فصل‌های مختلف دیدیم بررسی شده‌اند.

بعضی از این واسط‌ها توسط 3GPP استاندارد شده‌اند که در ۱.۶ هم آورده شده‌اند.

واسط F1 برای ارتباط بین DU و CU آماده شده است.

واسط S1 برای ارتباط بین CU و هسته‌ی شبکه معرفی شده است.



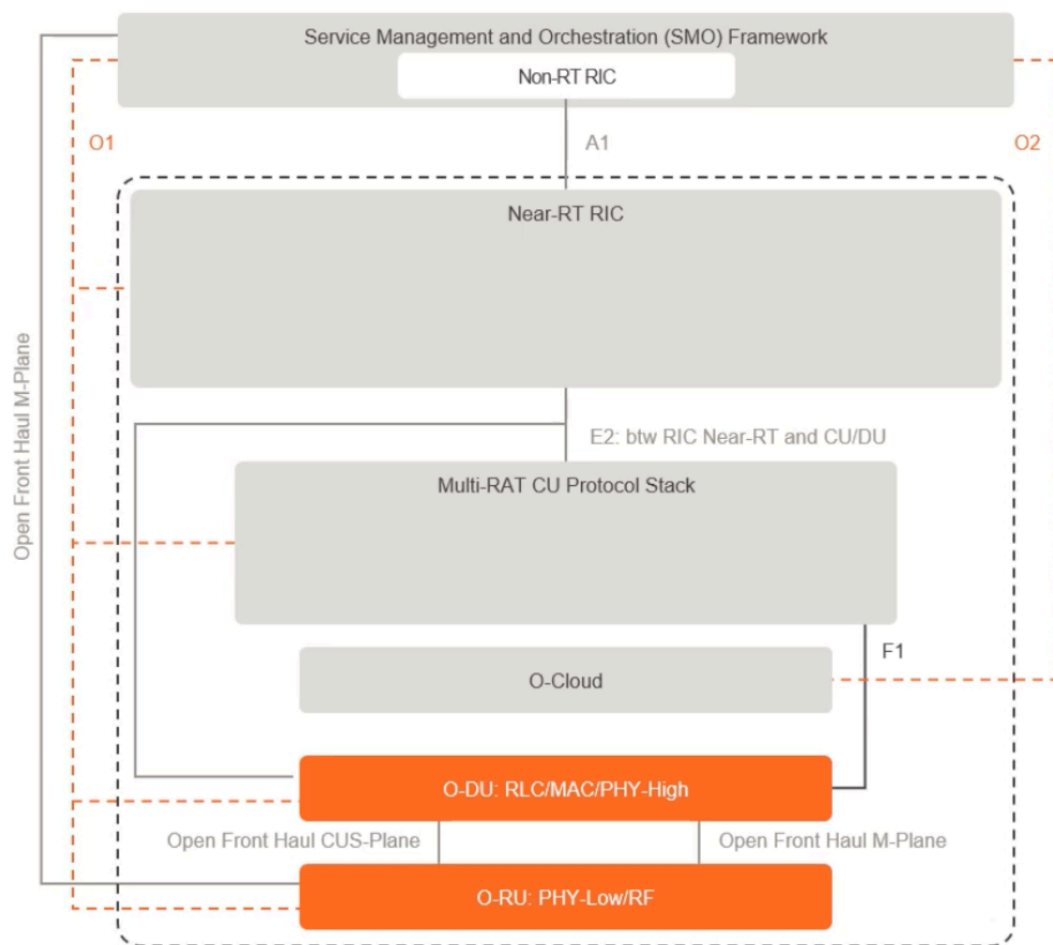
شکل ۱.۶: اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC

در ادامه در ۲.۶ به بررسی واسط‌های اختصاصی O-RAN پرداخته شده.

واسط E2 برای ارتباط بین Near-Real-Time RIC ها با CU و DU در نظر گرفته شده است.

واسط A1 برای ارتباط بین Near-Real-Time RIC و None-Real-Time RIC معرفی شده است.

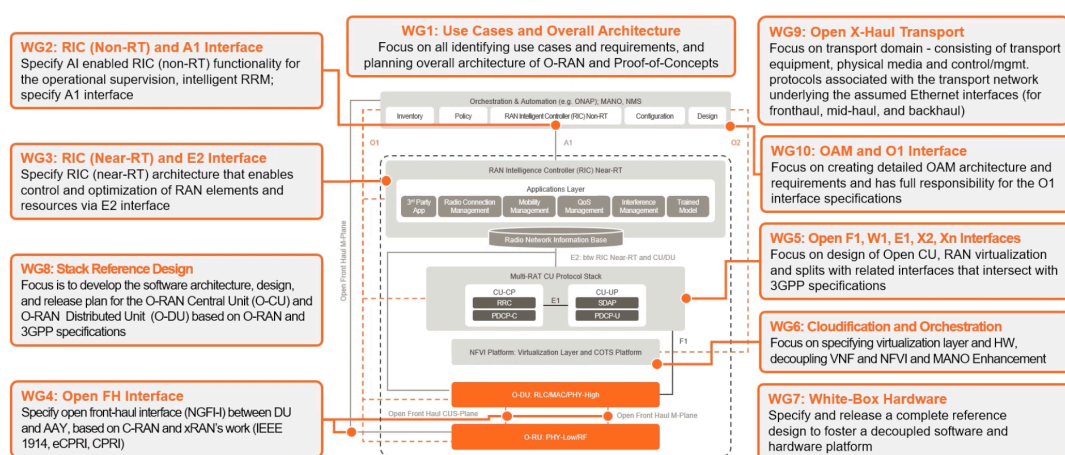
واسط O1 برای ارتباط بین SMO و اجزای مختلف اختصاصی O-RAN در نظر گرفته شده است.



شکل ۲.۶: اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC

۷ استانداردسازی

برای استانداردسازی بخش‌های مختلف O-RAN، گروه‌های مختلفی تشکیل شده‌است که هر کدام به صورت اختصاصی روی بخشی از این معماری تمرکز کرده‌اند و وظیفه‌ی پیش‌برد و استانداردسازی آن را بر عهده گرفته‌اند.



شکل ۱.۷: اجزای مختلف موجود در Near-Real-Time RIC

- [1] M. Polese, L. Bonati, S. D'Oro, S. Basagni, and T. Melodia, "Understanding O-RAN: architecture, interfaces, algorithms, security, and research challenges," *CoRR*, vol. abs/2202.01032, 2022.
- [2] "Openran educational resources • parallel wireless," Oct 2021.