

کنترل کننده هوشمند ناحیه‌ی دسترسی رادیویی (RIC) در شبکه‌های نسل پنجم تلفن همراه

علی نظری^۱

^۱ دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، nazari_a17@comp.iust.ac.ir

چکیده

یکی از اجزای اصلی در شبکه‌های تلفن همراه، ناحیه دسترسی رادیویی است. O-RAN معماری جدیدی در این بخش از شبکه‌های تلفن همراه است که تمرکز آن بر هوشمندی و آزادسازی این ناحیه از تسخیر تامین کننده‌ها^۱ است و مسیری است برای رسیدن به نسل ششم (6G) شبکه‌های تلفن همراه که نسل آینده است. این معماری راه جدیدی را آغاز کرده که مدیریت و بهینه‌سازی شبکه‌های تلفن همراه را متحول کرده است. در این معماری، نسل پنجم (5G) شبکه‌های تلفن همراه از طریق رابط‌های^۲ استاندارد شده‌ای به بخش‌های جدیدی با نام کنترل کننده‌ی هوشمند ناحیه‌ی دسترسی رادیویی (RIC) متصل می‌شود و از این طریق می‌توان به کمک داده‌های موجود در شبکه به مدیریت و بهینه‌سازی شبکه پرداخت. قسمت‌های جدیدی که در این معماری به ناحیه‌ی دسترسی رادیویی اضافه شده‌اند بر پایه‌ی نرم‌افزار هستند و انعطاف‌پذیری بیش‌تری دارند.

۸

کلمات کلیدی

ناحیه‌ی دسترسی رادیویی (RAN)، هوش مصنوعی، نسل پنجم شبکه‌های تلفن همراه (5G)، مجازی سازی^۳.

۱ مقدمه

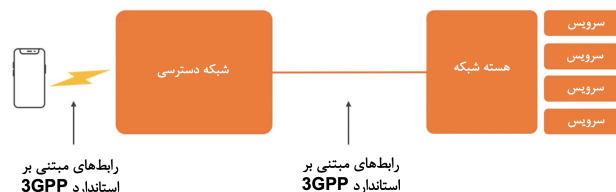
اطلاعاتی از کارهایی که درون آن انجام می‌شده به قسمت‌های دیگر برای بهینه‌سازی آن داده نمی‌شده و به طور کامل به تامین کنندگان وابسته بوده به طوری که برای داشتن یک ناحیه‌ی دسترسی رادیویی باید تمام تجهیزات آن را از یک تامین کننده تهیه می‌شده. 3GPP به عنوان نهاد استانداردسازی شبکه‌های تلفن همراه در نسخه‌های جدیدی که از نسل پنجم شبکه‌های تلفن همراه (5G) منتشر کرده است، ناحیه دسترسی رادیویی را جداسازی^۴ کرده و آن را به ۳ قسمت تفکیک کرده است. در ۲ این ۳ قسمت قابل مشاهده هستند. با این تفکیک و ایجاد قسمت‌های DU RU، و CU باید واسط‌های ارتباطی جدیدی برای ارتباط این قسمت‌ها تعریف می‌شد که این موارد نیز در این شکل مشاهده می‌شوند.

اگر عملکرد این قسمت‌های جدید را در پشته‌ی پروتکلی^۵ 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 ادامه‌ی این راه و برای توسعه‌ی بیش‌تر این رویکرد جدید در ناحیه‌ی دسترسی رادیویی، سازمانی تحت عنوان O-RAN Alliance تشکیل شد که هدف آن تمرکز بر همین ایده و پیش‌برد ناحیه‌ی دسترسی رادیویی‌ای آزادتر و هوشمندتر بود.

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

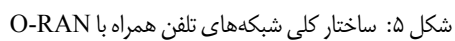
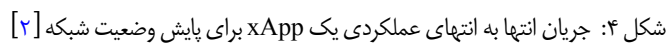
همان طور که در ۱ می‌بینیم، شبکه‌های تلفن همراه از ۳ بخش اصلی تشکیل شده اند و ناحیه‌ی دسترسی رادیویی^۴ است که تلفن همراه یا همان کاربر^۵ را به هسته‌ی^۶ شبکه متصل می‌کند.

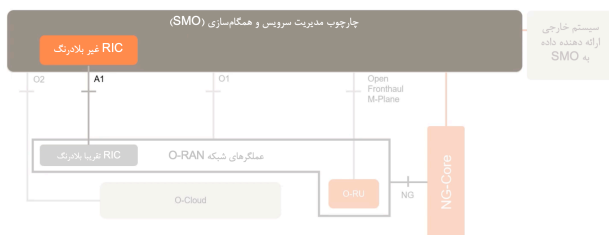


شکل ۱: معماری کلی شبکه‌های تلفن همراه

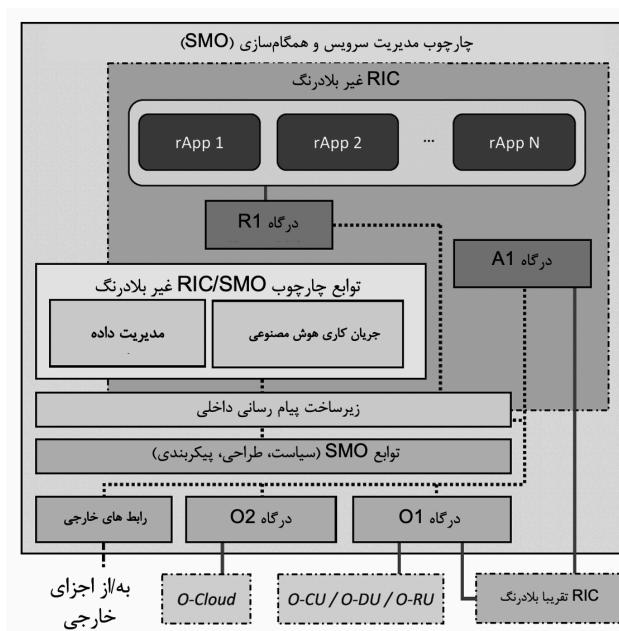
ناحیه دسترسی رادیویی مدت‌ها به صورت یک قسمت یک‌پارچه بوده و

برای تهیه‌ی این گزارش از چندین مقاله استفاده شده است. [۱] که یک مقاله‌ی مروری و آموزشی است و تقریباً اکثر مفاهیم موجود در مورد معماری O-RAN و بخش‌های مختلف RIC در آن توضیح داده شده‌است که مفاهیم آن در بخش‌های بعدی این گزارش بیان شده‌اند. در [۲] به این مسئله پرداخته شده که شبکه‌های تلفن همراه سال‌ها در تسخیر تأمین‌کنندگان بوده و راهکار مناسبی برای انجام پژوهش و آزمایش‌های متنوع بر روی این شبکه‌ها میسر نبوده اما با معرفی معماری O-RAN، این انحصار از بین رفته و در این مقاله هم تلاش شده علاوه بر توضیح این معماری، بستری به عنوان محیط تستی برای انجام آزمایش‌ها و بهینه‌سازی‌های مختلف آماده شود که در آن به کمک این معماری و همچنین استفاده از اجزای نرم‌افزاری-رادیویی^۹، بتوان به بهبود نسل پنجم شبکه‌های تلفن همراه پرداخت. در حقیقت یک شبکه‌ی نسل پنجم کامل و بدون وابستگی به تأمین‌کننده‌ی خاصی در این مقاله پیاده‌سازی شده و به مفاهیم به صورت کاربردی‌تر پرداخته شده. در این مقاله بیان شده که کاربرد xApp‌هایی که در بخش RIC معماری O-RAN قرار می‌گیرند می‌تواند به صورت کنترلی یا نظارتی باشد. در نهایت هم یک xApp برای تقسیم‌بندی پهنای باند سلولی یعنی با اهداف کنترلی و همچنین یک xApp دیگر برای پایش وضعیت شبکه یعنی با اهداف نظارتی پیاده‌سازی شده. جریان کاری یکی از این xApp‌ها که وظیفه‌اش پایش وضعیت شبکه است را در می‌توان دید که توضیحات قسمت‌های مختلف آن در بخش مفاهیم به طور کامل بیان شده است. در [۳] به صورت دقیق‌تر به سراغ اهداف بهینه‌سازی رفته‌اند و تلاش شده با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی به بهبود وضعیت شبکه بپردازند. در این تحقیق به کمک شبکه‌های عصبی عمیق گرافی^{۱۰} و همچنین یادگیری تقویتی^{۱۱} به مدیریت اتصال‌های شبکه پرداخته شده و تلاش شده تا با کمک این روش‌ها، علاوه بر تجربه‌ی کیفیت مناسب در اتصال





شکل ۷: اجزای مختلف موجود در Near-RT RIC



شکل ۸: اجزای مختلف موجود در Near-RT RIC

گوناهایی را بر عهده دارد. کارهایی که در این بخش صورت می‌گیرد، وظایف سطح بالاتری نسبت به وظایف موجود در Near-RT RIC است. در **۸** جزئی‌تر به SMO پرداخته شده و بخش‌های مختلف آن به نمایش کشیده شده‌است.

به صورت کلی SMO به سه بخش تقسیم می‌شود. بخش اول همان قسمتی است که با عنوان None-RT 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-RT RIC حضور دارند. بخش دوم هم قسمتی است که خارج از None-RT RIC قرار می‌گیرد و کارهای مدیریتی درون SMO و موارد مرتبط با خودکارسازی و پیکره‌بندی را برعهده دارد.

بخش سوم نیز قسمت میانی‌ای است که بین SMO و None-RT 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

بعدی معرفی می‌شود، به دست گره‌های E2 که همان DU یا CU هستند، می‌رسد تا اجرایی شوند.

۳-۲-۲ زیرساخت پیام‌رسانی

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

۳-۲-۳ کاهش تعارض‌ها

این بخش وظیفه دارد تا از بروز اشکالاتی که به خاطر تداخل پیکره‌بندی‌های مختلفی که xAppها 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.

۳-۲-۴ مدیریت اشتراک‌ها

این بخش بررسی و مدیریت اینکه xAppهای مختلف به گره‌های E2 می‌خواهند اطلاعات از آن‌ها دریافت کنند، 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.

۳-۲-۵ مدیریت سرویس‌ها

این بخش وظیفه‌ی مدیریت خود xAppها، ساختار عیب‌یابی و عملیاتی کردن آن‌ها و به صورت کلی موارد مرتبط با خود xAppها را بر عهده دارد.

۳-۲-۶ امنیت

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.

۳-۲-۷ پایگاه داده

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.

۳-۲-۸ درگاه‌ها

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

۳-۳ None-RT RIC

بخش بعدی‌ای که در O-RAN به ناحیه‌ی رادیویی اضافه شده‌است را با این توضیح آغاز می‌کنیم که طبق **۷**، قسمت مهم None-RT RIC که وظیفه‌ی دادن فرمان‌های کنترلی با تأخیرهای بیش‌تر از یک ثانیه است، داخل بخش دیگری به نام SMO قرار می‌گیرد که خود از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده‌است و وظایف

مراجع

- [1] M. Polese, L. Bonati, S. D'Oro, S. Basagni, and T. Melodia, "Understanding o-ran: Architecture, interfaces, algorithms, security, and research challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2023.
- [2] P. S. Upadhyaya, A. S. Abdalla, V. Marojevic, J. H. Reed, and V. K. Shah, "Prototyping next-generation o-ran research testbeds with sdrs," *arXiv preprint arXiv:2205.13178*, 2022.
- [3] O. Orhan, V. N. Swamy, T. Tetzlaff, M. Nassar, H. Nikopour, and S. Talwar, "Connection management xapp for o-ran ric: A graph neural network and reinforcement learning approach," in *2021 20th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, pp.936–941, IEEE, 2021.

پانویس‌ها

¹Vendors

²Interfaces

³Virtualization

⁴Radio Access Network

⁵User Equipment (UE)

⁶Core

⁷Disaggregate

⁸Protocol Stack

⁹Software-defined radio (SDR)

¹⁰Deep Graph Neural Networks

¹¹Reinforcement Learning

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 xApp قرار گیرد.

۴-۳ واسط‌ها

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 تامین‌کنندگان قطعات نباشد.

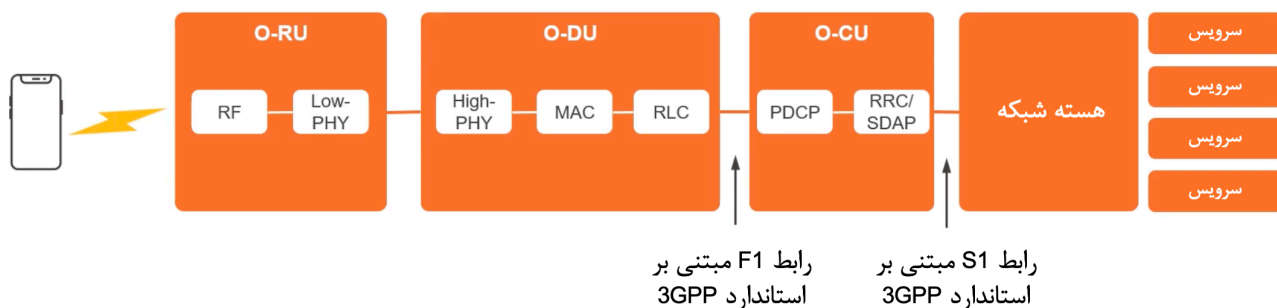
در ادامه واسط‌های مختلفی که در ۶ دیدیم بررسی شده‌اند. بعضی از این واسط‌ها توسط 3GPP استاندارد شده‌اند که در ۹ هم آورده شده‌اند. واسط F1 برای ارتباط بین DU و CU آماده شده است. واسط S1 برای ارتباط بین CU و هسته‌ی شبکه معرفی شده است.

در ادامه به بررسی واسط‌های اختصاصی O-RAN پرداخته شده. واسط E2 برای ارتباط بین Near-RT RIC ها با CU و DU در نظر گرفته شده است. واسط A1 برای ارتباط بین Near-RT RIC و Non-RT RIC معرفی شده است. واسط O1 برای ارتباط بین SMO و اجزای مختلف اختصاصی O-RAN در نظر گرفته شده است.

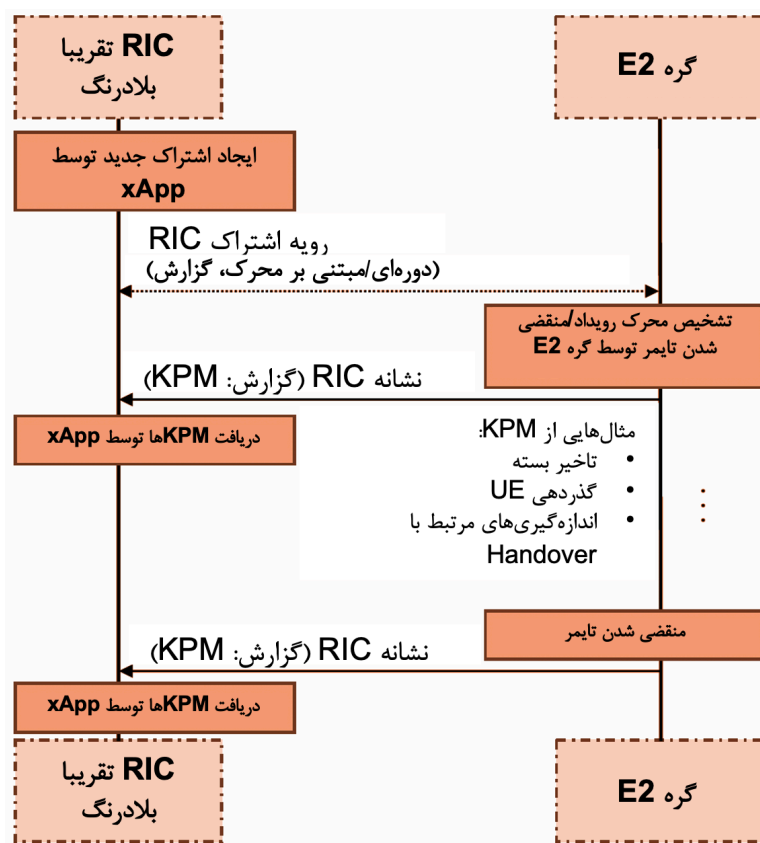
در آخر هم در ۱۰ می‌توانیم نمونه‌ای از ارتباط بین یک گره E2 و Near-RT RIC را از طریق واسط E2 ببینیم به این صورت که ابتدا از طریق بخش مدیریت اشتراک که در مفاهیم توضیح داده شد، درخواست دریافت داده‌ی خاصی از سمت Near-RT RIC به گره E2 می‌شود. ممکن است این اشتراک برای یک مورد پایشی باشد و به صورت دوره‌ای ارسال شود یا اینکه ممکن است این داده بر اثر وقوع رخدادها ارسال شود و این اشتراک برای دادن دستورهای کنترلی بوده باشد که در این حالت این گره اطلاعات مورد نظر را برای Near-RT RIC ارسال می‌کند. اگر این داده نیازمند دریافت تصمیمی از سوی RIC باشد، گره E2 مدت زمان مشخصی را برای این تصمیم صبر می‌کند و اگر دستوری دریافت کند، آن را اجرا می‌کند و در صورت عدم دریافت پاسخ، خودش بدون کمک RIC تصمیم‌گیری می‌کند. به عنوان مثال این تصمیم می‌تواند تصمیم‌گیری برای تحویل دادن یک کاربر به یک سلول دیگر (Handover) باشد.

۴ نتیجه‌گیری

در این گزارش هدف نهایی این بود که با کاربرد RIC در کنترل و بهینه‌سازی شبکه‌های نسل پنجم تلفن همراه آشنا شویم و دیدیم که RIC قسمتی از معماری جدیدی در شبکه‌های تلفن همراه به نام O-RAN است که با هدف از بین بردن انحصار ناحیه‌ی رادیویی شبکه‌های تلفن همراه از دست تامین‌کنندگان و همچنین هوشمندتر کردن این ناحیه معرفی شده و همچنین بسیاری از بخش‌های آن با کمک روش‌های نرم‌افزاری و مجازی‌سازی، قابلیت مقیاس‌پذیری به آن داده است. همان‌طور که بیان شد، ناحیه‌ی RAN به کمک رابط جدیدی به نام E2 که در این معماری معرفی شده، با xApp‌های پیاده‌سازی شده در Near-RT RIC می‌توانند از روش‌های داده‌محور استفاده کنند، ارتباط برقرار می‌کند و می‌تواند از تصمیمات این بخش برای بهبود وضعیت شبکه استفاده کند.



شکل ۹: واسط‌های معرفی شده توسط 3GPP



شکل ۱۰: نمونه‌ای از ارتباط بین گره E2 و Near-RT RIC