ویژه‌نامه
شبکه‌های رادیویی

همراه اول
www.mci.ir

همراه فناوری

NO. ۸

fanavari hamrah

فصلنامه‌ی تحلیلی خبری ■ بهار ۱۴۰۲

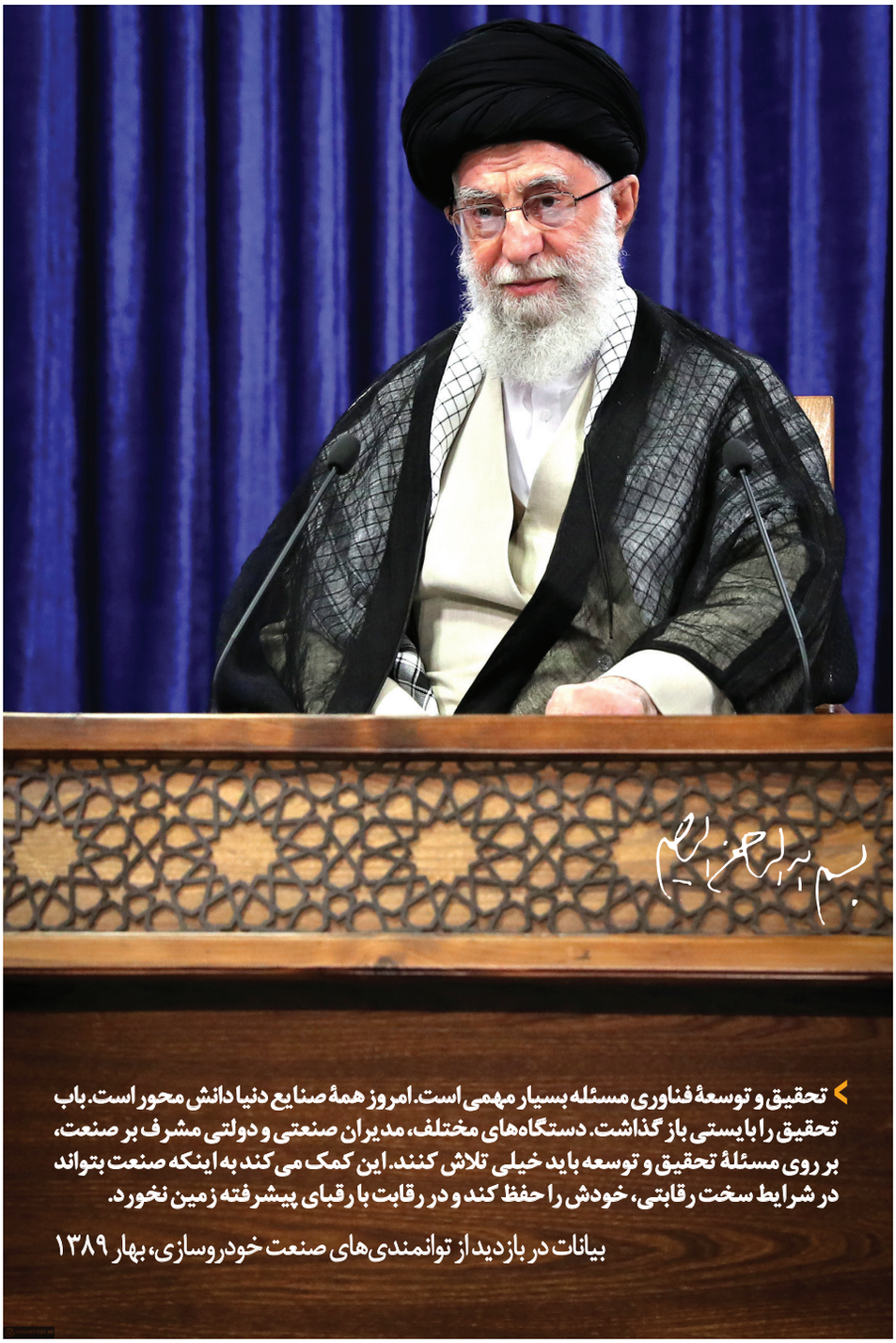
5G AI IOT BIG Data Cloud

شبکه‌های رادیویی:
انقلابی در حوزه
xRAN

استفاده از یادگیری
ماشین در شکل‌دهی
پرتو امواج میلی‌متری

تحقق لینک‌های
مخابراتی پویا
به‌وسیله RIS و SWIPT

شبکه‌های دسترسی
رادیویی ابری
نسل پنجم



تحقیق و توسعهٔ فناوری مسئله بسیار مهمی است. امروز همهٔ صنایع دنیا دانش محور است. باب تحقیق را بایستی باز گذاشت. دستگاه‌های مختلف، مدیران صنعتی و دولتی مشرف بر صنعت، بر روی مسئلهٔ تحقیق و توسعه باید خیلی تلاش کنند. این کمک می‌کند به اینکه صنعت بتواند در شرایط سخت رقابتی، خودش را حفظ کند و در رقابت با رقبای پیشرفته زمین نخورد.

بیانات در بازدید از توانمندی‌های صنعت خودروسازی، بهار ۱۳۸۹

عنوان: **فناوری همراه**
مشخصات نشر: **تهران، سیتنه، ۱۴۰۲**
مشخصات ظاهری: **۱۲۸ص، مصور**
شابک: **۳-۷-۹۹۸۴۶-۶۲۲-۹۷۸**
موضوع: **تلفن همراه، تکنولوژی، همراه اول، مخابرات ـ ایران ـ جهان**
رده‌بندی کنگره: **VTP ۸۰/ ت۸ ۱۴۰۰**
رده‌بندی دیویی: **۳۷۳ک ۵۹/۳۸۵**
شماره کتاب‌شناسی ملی: **۳۱۰۰۳۱۱**

فناوری همراه
NO.۸
Fanavari hamrah

فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲ شماره‌ی هشتم
قیمت: ۵۰ هزار تومان

مدیرمسئول: حمید بهروزی
سردبیر: وحید شاه‌منصوری
ناظر اجرایی: محمدمهدی قوچانی
ناظران تخصصی: رسول سلیمی نژاد
محمد اسحاق میرزاپور
دبیر تخصصی و راهبر اجرایی: فاطمه بهادری
همکاران این شماره (به ترتیب الفبا):
آتنا ابراهیم خانی، کیوان احمدی
فاطمه بهادری، علی تراب‌زاده
علیرضا جعفریه، غزاله خیام باشی
علیرضا صوفی‌نژاد، مهدی طاهرخانی
حسین کامرانی، امیرحسین محمدی
عکاس:
سید میثم موسوی
گرافیست اینفوگرافی و پوستر:
ایمان رفاقتی

سرمقاله

راهبردهای اپراتورهای مخابراتی در دوران تحولات فناوری و تجاری

نگاهی بر نقش شبکه‌های مخابراتی و فناوری‌های مکمل

شبکه‌های مخابراتی قلب تپنده کسب‌وکار اپراتورهای مخابراتی بوده و همواره نقشی اساسی در تدوین راهبردها و سیاست‌گذاری‌های این سازمان‌ها و پیشبرد اهدافشان ایفا می‌کنند. اهمیت بالای این بخش در کنار روند فناورانه حاکم بر بازار زیرساخت‌های سخت‌افزاری ارائه شده توسط وندورهای صنعت تلکام در نسل‌های دوم تا چهارم مخابرات سلولی سبب شکل‌گیری ذهنیتی در اپراتورهای مخابراتی شده است که مانع انطباق اپراتورها با تحولات صنعت تلکام مبتنی بر مجازی‌سازی و نرم‌افزارسازی زیرساخت‌ها می‌گردد و در نهایت باعث می‌شود تا ساختار شکل‌گرفته از انعطاف‌پذیری خوبی برخوردار نبوده و هرگونه توسعه نیازمند سرمایه‌گذاری سنگین باشد. در این خصوص معتقدیم که اپراتورها باید از ساختارهای سنتی متکی به شبکه مبتنی بر سخت‌افزار کنونی خود فاصله گرفته و با اعمال تغییرات گسترده نظیر مجازی‌سازی حداکثری به چابک‌سازی شبکه و فرایندهایشان روی آورند. در کنار این‌ها، توجه به این مسأله نیز حائز اهمیت است که شبکه 5G تنها یکی از بسیاری از فناوری‌های ارتباطی بوده و نیاز است اپراتورها برای تحقق هر چه موثرتر هدف پیاده‌سازی اتصال جهانی، به دیگر فناوری‌ها با نگاه مکمل 5G توجه ویژه داشته باشند. به عنوان مثال، شبکه‌های فیبر نوری و مخابرات ماهواره‌ای گزینه‌هایی هستند که در آینده نزدیک نقشی اساسی در توسعه پوشش‌دهی خواهند داشت.

تحولات در صنعت مخابرات: چالش‌ها و فرصت‌های اپراتورها با ظهور بازیگران جدید

در صنعت مخابرات، با ظهور هر استاندارد جدید مخابرات بی‌سیم یک چرخه قابل پیش‌بینی ارتقاء شبکه آغاز شده و به تبع آن در هر نسل جدید از فناوری‌های مخابرات بی‌سیم، شبکه‌ها و فناوری‌های پیشرفته و قدرتمندتری حاصل می‌شود که امکان توسعه برنامه‌ها و خدمات جدید را فراهم می‌آورد. این پیشرفت‌ها معمولاً منجر به رشد درآمد برای فروشندگان (شرکت‌های ارائه‌دهنده تجهیزات شبکه) و برای اپراتورها می‌شود. اما چالشی که در این مسیر اپراتورها با آن مواجه هستند، این مسأله است که پیاده‌سازی ارتقاءهای مورد نیاز همیشه امری ساده نبوده و ممکن است با مشکلاتی همچون پیچیدگی انطباق با شبکه موجود، تاخیر در پذیرش اهمیت آن‌ها، توسعه قابلیت‌های جدید و در نهایت درآمدزایی از امکانات ایجاد شده مواجه شوند. موضوعی که صنعت مخابرات در مهاجرت از GSM به 3G و از 3G به LTE نیز در سرتاسر دنیا با آن دست به گریبان بود.

بر این اساس به‌منظور همگام ماندن با تحولات رخ داده، تغییراتی شگرف در رویکرد نظارتی و راهبردی صنعت تلکام نیاز است. روش‌های نوین به اشتراک‌گذاری زیرساخت‌های مخابراتی به‌منظور ایجاد پوشش گسترده‌تر برای شبکه‌های ثابت و موبایل از این دست موضوعات هستند. بازارهای تجاری نیز با به‌کارگیری مدل‌های جدید سرمایه‌گذاری در توسعه شبکه‌های مکمل نظیر فیبر نوری و همچنین ایجاد شرکت‌های جداگانه متمرکز بر زیرساخت‌های موجود نقشی اساسی در این راستا ایفا می‌کنند.

نتیجه تحولات رخ داده در صنعت مخابرات باعث می‌شود تا نسل جدیدی از اپراتورهای مخابراتی ظهور کنند. این اپراتورها مسبب نوآوری در فناوری و چابک‌سازی مدل‌های تجاری هستند و با حضور آن‌ها، موقعیت فعالان در حال حاضر صنعت تلکام در صورت عدم پذیرش نیاز به تحول، با چالشی جدی روبه‌رو می‌شود. به‌طور دقیق‌تر، نرم‌افزارسازی و مجازی‌سازی شبکه‌ها باعث انعطاف‌پذیری و سازگاری بیشتر در صنعت تلکام می‌شود و امکان ظهور پلتفرم‌هایی با قابلیت اشتراک‌گذاری چندین اپراتور را فراهم می‌کند، به‌طوری که چندین لایه شبکه توسط اپراتورهای مختلف به اشتراک گذاشته شود. همچنین ترکیب فناوری‌های مختلف در شبکه را امکان‌پذیر کرده و سبب می‌شود که افراد از اختیارات و قابلیت‌های بیشتری برخوردار باشند.

در گذشته انواع دیگری از ارائه‌دهندگان سرویس‌های مخابراتی در کنار شرکت‌های اصلی مخابرات با استفاده از زیرساخت‌های آن‌ها فعالیت داشتند، این شرکت‌ها شامل اپراتورهای شبکه مجازی موبایل (MVNO[1]) و اپراتورهای در مقیاس کوچک جهت ایجاد شبکه‌های مخابراتی روستایی است. این ارائه‌دهندگان اغلب نادیده گرفته شدند یا در تصمیم‌گیری‌ها و تحلیل‌های گسترده صنعت مورد توجه قرار نگرفتند. این در حالی است که باظهور مکانیزم‌های جدید توسعه و مدیریت شبکه‌ها، اپراتورها از ترکیبی از منابع خود و زیر ساخت سایر شرکت‌ها برای ارائه خدمات استفاده می‌کنند. که در نتیجه این امر، تفاوت بین اپراتورهای «مجازی» (متکی به شبکه دیگران) و اپراتورهای دارای شبکه مجازی (ترکیب دارایی‌های مختلف) در حال از بین رفتن است و در ادامه مرز بین یک اپراتور مخابراتی سنتی و انواع دیگر ارائه‌دهندگان محو خواهد

1- Mobile Virtual Network Operators

شد. زیرا فعالیت آن‌ها در یک زیرساخت اشتراکی صورت می‌گیرد. امروزه ارائه‌دهندگان کاربردهای نوظهور شبکه‌های مخابراتی نظیر سرویس‌دهندگان تخصصی پوشش‌دهی فضاهای داخل ساختمانی، اپراتورهای ماهواره‌ای و ارائه‌دهندگان سرویس اینترنت (ISP[2]) بی‌سیم ثابت در مناطق روستایی می‌توانند همانند MNOها تجهیزات رادیویی و هسته شبکه 5G را تهیه و پیاده‌سازی کنند. این سرویس‌دهنده‌ها شاید از نظر رسمی به عنوان یک اپراتور مخابراتی به‌شمار نروند، اما اهداف مشابهی را دنبال می‌کنند. در این راستا، شکل‌گیری انواع جدیدی از سرویس‌ها نظیر پیاده‌سازی کارخانه هوشمند و بهره‌گیری از فناوری‌های اینترنت اشیاء و دوقلوی دیجیتال نیز منجر به توسعه این‌گونه ارائه‌دهندگان سرویس در کنار اپراتورهای مخابراتی سنتی می‌شوند. زیرا اپراتورهای مخابراتی عموماً در روندهای سنتی خود مانده و برای رقابت نیازمند تحولاتی گسترده در فرایندها و بینش خود هستند.

این ارائه دهندگان جدید، انواع خدمات تخصصی مخابراتی را به کسب و کارها و مشتریان نهایی ارائه می‌دهند. بسیاری از آن‌ها برای سرویس‌دهی از پلتفرم‌های ابری بهره می‌گیرند.

از طرفی، بروز مدل‌های جدید سبک زندگی مانند کار از راه دور و نیاز به برقراری ارتباطات پهن‌باند ثابت در منازل منجر به افزایش اهمیت توسعه شبکه فیبر نوری و در ادامه آن حضور بازیگران جدید و سرمایه‌گذاری گسترده به منظور تسریع در توسعه این شبکه شده است. در تعدادی از کشورها نظیر انگلیس بیش از ۱۰۰ اپراتور در حال توسعه شبکه مبتنی بر پروتکل FTTX هستند.

به طور کلی وقتی از این موضوع صحبت می‌کنیم که شبکه‌های مخابراتی نقش حیاتی در صنعت تلکام دارند، منطقی به نظر می‌رسد که نیاز به حضور بازیگران گسترده‌تری برای مالکیت زیرساخت‌های این شبکه‌ها و مدیریت و کنترل آن‌ها باشد.

با حرکت به سمت سال ۲۰۳۰، ظهور تحولات گسترده در صنعت تلکام امری بدیهی به نظر می‌رسد و این تغییرات تنها ناشی از وجود سرویس‌ها یا استانداردهایی نظیر Open RAN، 5G، فیبر نوری و شبکه‌های خصوصی نیستند. بلکه از این مسأله نشأت می‌گیرد که شکل فعلی اپراتورهای سنتی قادر به پاسخ‌گویی به گستره متنوع نیازهای جدید شکل گرفته در سمت مشتریان نهایی و به ویژه کسب و کارها نخواهد بود. بنابراین با موارد گفته شده، اپراتورهای مخابراتی لازم است تغییرات گسترده‌ای در راهبردها و نحوه مدیریت سرویس‌هایشان صورت دهند تا با تحولات صورت گرفته همگام مانده و جایگاه خود را با وجود گستره بازیگران جدید در کسب و کار و صنایع حفظ کنند.

توجه به سایر فناوری‌ها در کنار 5G برای پاسخ‌گویی به نیازهای ایجاد شده در سمت کسب و کار

با توجه به تمرکز زیاد اکوسیستم ارائه خدمات دیجیتال بر روی

2- Internet service provider

5G، فناوری‌ها و استانداردهای آن در چند سال گذشته، انتظار می‌رود در صنایع مختلف نظیر حوزه سلامت و حمل‌ونقل تحولی شگرف ایجاد شود. اما به نظر می‌رسد مجموعه اکوسیستم ارائه خدمات دیجیتال در فازهای عملیاتی توسعه شبکه و فعال کردن کاربردهای 5G چندان موفق عمل نکرده و تنها بر مزایای بالقوه این فناوری تمرکز می‌شود. علاوه بر این، ارزیابی کاملی از روند تأثیر 5G بر صنعت از طریق ارتباط از راه دور صورت نگرفته است. در کنار این مسائل، باید بدانیم که تحول در صنعت تلکام تنها ناشی از فناوری‌ها و استانداردهای 5G نیست، بلکه ترکیبی از فناوری‌های مختلف به سرعت در حال تحول در شبکه است که نقشی اساسی در این مسیر خواهند داشت. این فناوری‌ها شامل هوش مصنوعی (AI[3])، رایانش ابری[4]، مجازی‌سازی[5] و همچنین پیشرفت‌هایی در انواع دیگر ارتباطات مانند Wi-Fi و ارتباطات ماهواره‌ای است. لذا تحولاتی که در صنعت تلکام رخ می‌دهد فقط به استانداردهای 5G محدود نمی‌شود، بلکه تحت تأثیر طیف گسترده‌تری از پیشرفت‌های فناوری است. این پیشرفت‌ها و تحولات بر نحوه ساخت و عملکرد شبکه‌ها و همچنین مدل‌های نظارتی و تجاری حاکم بر صنعت تأثیر می‌گذارد.

شرکت مدیریت مشاوره‌ای STL معتقد است که جهت پاسخ‌گویی مناسب به نیازهای متنوع ایجاد شده در سمت مشتریان نهایی و صنعت نیاز به اخذ رویکرد راهبردی و تحول‌آفرین از سمت اپراتورهای مخابراتی و همچنین سازمان‌های تاثیرگذار مانند سازمان‌های تنظیم مقررات است و نیاز است این مسیر توسط نهادهای تصمیم‌گیرنده در سازمان‌ها و شرکت‌های مخابراتی باجدیت پیموده شود. به طور مثال، بهره‌گیری از روش‌های متنوع ارائه پوشش‌دهی مخابراتی مناسب از مواردی است که به ویژه در ارائه سرویس به سازمان‌هایی که مدیران IT و CIO آن‌ها نظرات مشخصی نسبت به راهکار درخواستی‌شان دارند، اهمیت پیدا می‌کند. به عنوان مثال، در بخش راه‌آهن، تنوع در روش‌های فراهم نمودن پوشش‌دهی مخابراتی در جایی که در کنار نیاز به اینترنت پهن‌باند، اتصالات اینترنت اشیاء نیز اهمیت دارد، نمود پیدا می‌کند.

اپراتورهای مخابراتی در مسیر تحول و کسب آمادگی برای نیازهای آینده، لازم است بازنگری‌هایی در چشم‌انداز خود داشته و این تفکر را که تنها نقطه کنترل‌کننده در تامین سرویس‌های مخابراتی برای مشتریان هستند کنار بگذارند و سعی بر شکل‌دهی همکاری‌های موثر با بازیگران جدید این حوزه داشته باشند. در غیر این صورت در برابر بازیگران جدید این حوزه و نوآوری‌ها و ایده‌های نوین گزینه‌ای جز ناکامی و شکست نخواهند داشت و این تفکر سنتی سبب می‌شود تا فرصت‌های جدید همکاری و فراهم آوردن ترکیبی از روش‌های متنوع برقراری ارتباطات نادیده گرفته شود. همچنین اپراتورها بایستی این ذهنیت که 5G به عنوان یک ابزار همه‌کاره برای پاسخ به نیازهای مشتریان خواهد بود و شبکه‌های سلولی هر نیازی در هر ورتیکالی را پاسخ خواهد داد کنار گذاشته و تعاملات حداکثری با بازیگران و توسعه راه‌کارهای جدید با فراهم آوردن امکان ارائه ترکیبی از انواع مدل‌های ارتباطی را در اولویت کارهای خود قرار دهند تا با کنار هم قرار گرفتن مهارت‌ها و دارایی‌ها چالش‌های کلیدی بازار و فناوری را حل کنند.

انطباق روندهای تنظیم‌گری و سیاست‌گذاری با چشم‌انداز جدید صنعت

همانطور که پیش از این نیز اشاره کردیم، با حضور بازیگران گسترده و ظهور طیف وسیعی از فناوری‌های متحول‌کننده نیاز

3- Artificial intelligence
4- Cloud computing
5- Virtualization

است نهادهای تنظیم‌گر و سیاست‌گذار خود را با تحولات به وجود آمده در اهداف و چشم انداز صنعت منطبق سازند. به این منظور، این نهادها نباید با پایبندی به رویه‌های سنتی مجوزدهی و نظارتی که به نفع شرکت‌های موجود نسبت به بازیگران و راه‌کارهای جدید است، مانع نوآوری و توسعه شوند. همچنین نیاز است سیاست‌های مبتنی بر رقابت اولویت پیدا کرده و دست اندرکاران این حوزه درک گسترده‌تر و جامع‌تری از صنعت داشته باشند.

برای مثال با اوج‌گیری کاربردهای حوزه انقلاب صنعتی چهارم شامل بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال برای هوشمندسازی صنایع و در نتیجه افزایش اقبال بر برقراری پوشش‌دهی مخابراتی در محیط‌های داخلی، نیاز است روندهای سیاست‌گذاری بیش از گذشته بر کاربردها و راهبردهای ساختارهای شبکه محیط‌های داخلی متمرکز شده و عواملی همچون قوانین طیفی، فضای رقابتی، مدل‌های عمده‌فروشی و ... در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال قوانین طیف به تخصیص و مدیریت فرکانس‌های رادیویی مورد استفاده برای ارتباطات بی‌سیم اشاره دارد. نهادهای تنظیم‌گر باید اطمینان حاصل کنند که طیف کافی برای برقراری پوشش‌دهی محیط‌های داخلی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده در دسترس است. همچنین باید در نظر بگیرند که چگونه می‌توان فضای رقابتی کارایی میان ارائه‌دهندگان برقرار کرد تا شرکت‌ها را تشویق به ارائه بهترین راه‌کارهای خود در این حوزه نمود.

اگر بخواهیم به‌طور گسترده‌تر به این موضوع بپردازیم، ارتباطات به‌عنوان یک گزینه فعال و توانمند در حوزه کسب و کار در حال تبدیل به یک عامل حمایت‌کننده برای بسیاری از کاربردها و عملیات حیاتی و حساس به زمان با برخورداری از قابلیت اطمینان و امنیت دقیق و سختگیرانه است، لذا بر اساس شرایط و تحولات موجود این انتظار وجود دارد تا سازمان‌های تنظیم‌گری مراحلی از بازنگری در مؤلفه‌های شبکه‌ها، سیاست‌ها و راهبردها را در دستور کار خود قرار دهند، به‌طوری که این فرآیند موجب طراحی شبکه‌ای پویا با برخورداری از نیازها و تقاضای مشتریان گردد. به‌طور کلی چالش‌ها و فرصت‌های متعددی در فضای سیاست‌گذاری و راهبردی در ارتباطات وجود دارد و این‌طور به نظر می‌رسد که نهادهای تنظیم‌گری و فضای سیاست‌گذاری کشورها همسو با ظهور فناوری‌های جدید پیش نیامده‌اند. به‌طوری که در صنعت تلکام صحبت از نسل ششم مخابرات بی‌سیم (6G) است ولی در حوزه 5G نیز فضای سیاست‌گذاری هنوز به بلوغ کافی نرسیده است [۱]

فرصت‌های بالقوه اپراتورها در چه حوزه‌هایی است؟

فرصت‌های زیادی در شبکه‌های آینده برای اپراتورهای مخابراتی وجود دارد که دیدگاه تنوع شبکه و بهره‌گیری از فرصت‌های ایجادشده را تقویت می‌کنند. زمینه‌های کلیدی که می‌توان به آن‌ها پرداخت عبارت است از [۱]:

فناوری‌ها و رویکردهای جدید در مسیر تحول شبکه

چگونه اپراتورهای مخابراتی می‌توانند از نسل‌های جدید WiFi در خانه‌ها یا محیط‌های تجاری کسب درآمد کنند؟

با توجه به روندهای جدید شکل گرفته، اپراتورها به سمت کاربردهای همزیستی مخابرات سلولی با WiFi در حرکت هستند. از طرفی پلتفرم‌های مختلفی جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها مبتنی بر هوش مصنوعی مهیا گردیده است که با بهره‌گیری از آن‌ها توانایی اپراتورها در کسب درآمد به‌طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. با چنین شرایطی جمع‌آوری مقدار مناسبی هوش تجاری مرتبط با مشترکین به ویژه از طریق شبکه‌های WiFi به‌عنوان یک گزینه درآمدزایی در نظر گرفته می‌شود. از این طریق با آنالیز و پایش داده‌های WiFi ارائه خدمات و سرویس‌های متنوع با کیفیت بالا برای کاربران مهیا می‌شود و با بهره‌گیری از این ابزار هوشمندسازی اپراتورها می‌توانند با اتکا بر نیازهای کاربر، سیاست‌گذاری‌ها و راهبردهای پویایی را در شبکه برگزینند. با این اوصاف رویکردهای مختلفی جهت امکان‌پذیری کسب و کار از طریق داده‌های WiFi حاصل می‌گردد و بهره‌گیری از تحلیل داده یکی از گزینه‌های رشد درآمدزایی از طریق WiFi خواهد بود [۲]

دوقلوهای دیجیتال در صنعت تلکام؛ چگونه این فناوری منجر به خلق ارزش در این صنعت می‌شود؟

همانطور که می‌دانیم، دوقلوهای دیجیتال یک کپی دقیق از اشیاء فیزیکی در دنیای واقعی است، به‌طوری که دوقلو دیجیتال کپی‌شده به‌صورت بلادرنگ به‌روزرسانی شده و مانند مدل واقعی واکنش‌های خود را نسبت به محیط نشان می‌دهد. همانطور که این فناوری در بسیاری از صنایع به‌کار گرفته شده و منجر به نتایج ارزشمندی در بهبود فرایندها می‌شود، در صنعت تلکام نیز می‌تواند موثر عمل کرده و به‌طور مثال، به‌منظور بهینه‌سازی و ارزیابی عملکردها و راهبردهای شبکه‌های مخابرات بی‌سیم از طریق شبیه‌سازی فرایندهای کسب و کار (BPS[۶]) مورد استفاده قرار گیرد. در این صورت این فناوری اپراتورها را توانمند می‌کند تا یک کپی دقیق از فرایندهای کسب و کار خود را مبتنی بر یک ساختار دیجیتالی تولید کنند و با استفاده از آن می‌توان تضمین کرد که آیا راهبردها و تصمیم‌های راهبردی اتخاذ شده با کاهش هزینه موجب افزایش درآمدزایی و سودآوری می‌گردد یا خیر. در این راستا، برای هر اپراتور می‌توان برای BPS یک دوقلوی دیجیتال تولید کرد، به‌طوری که تمامی شرایط دنیای واقعی و فیزیکی در نظر گرفته شود و تسریع در نتیجه‌گیری به وجود آمده، سبب می‌گردد فرایندهای کسب و کار در برابر تغییرات محیط بتوانند به سرعت پاسخ‌گو باشند [۳]

به روز رسانی 6G؛ مسیر تکامل 6G در شبکه چگونه است؟ اهداف و اولویت‌ها چه باید باشد؟

6- Business Process Simulation

پیشرفت فناوری‌های بی‌سیم به صورت مداوم ادامه دارد و ریتم طبیعی در ظهور نسل جدید تلفن همراه تقریباً هر ده سال است. هدف هر نسل به‌طور معمول به ارمغان آوردن پیشرفت‌های قابل توجهی در عملکرد و کارایی است که با نسل پیش قابل دستیابی نباشد. 6G نیز امکانات جدیدی را به همراه خواهد آورد که با تکامل 5G Advanced، چشم‌انداز اولیه و اهداف اساسی آن در حال ظهور است. براساس تحقیقات صورت گرفته، 6G فراتر از یک فناوری رادیویی جدید خواهد بود و علاوه بر جذب آخرین پیشرفت‌های فناوری، اهدافی در جهت تحقق رشد اقتصادی و اهداف پایداری اجتماعی نیز دارد. با این اوصاف 6G به عنوان ارتباطی یکپارچه، هوشمند و بی‌سیم معرفی می‌شود که افراد و اشیا را به هم متصل می‌کند و فراتر از قابلیت‌های ارتباطی بهبودیافته، توانمندی ترکیبی از هوش مصنوعی، حسگرهای یکپارچه و فناوری‌های سبز نوآورانه را به طور کامل به ارمغان خواهد آورد. در این میان، اپراتورهای مخابراتی باید در توسعه فناوری‌ها و ورود به دنیای 6G هوشیار بوده و با آگاهی نسبت به نیازهای مشتریان خود سراغ توسعه شبکه‌شان بروند [۴]

انتخاب مناسب اولویت‌های کلیدی و ملاحظات فناوری در توسعه کاربردهای نوظهور در صنایع مختلف

نقش 5G و شبکه‌های خصوصی به ویژه در کاربردهایی نظیر حمل و نقل و خدمات شهری

بر اساس نیازها و اهدافی که در نسل پنجم مخابرات بی‌سیم دنبال می‌گردد، اختلاف عملکرد بین 4G و 5G به حدی است که امکان استفاده از فناوری و خدمات جدیدی که قبلاً امکان پذیر نبوده‌اند را فراهم می‌کند. به عنوان مثال، 5G دارای تاخیر بسیار پایین تقریباً یک میلی‌ثانیه در شرایط بهینه است، لذا این امکان را به ما می‌دهد که فناوری‌هایی مانند خودروهای خودران، جراحی از راه دور و رباتیک پیشرفته تقریبا به‌صورت بلادرنگ را دریافت و اجرا کنیم. علاوه بر این با هدف تحقق بخشیدن به برخی انتظارات در نسل پنجم نظیر کاهش تأخیر و بهبود امنیت شبکه‌های 5G خصوصی معرفی می‌گردد، به‌طوری که در این ساختار سازمان‌ها قادر خواهند بود هر مؤلفه از شبکه 5G خصوصی خود را تحت کنترل خود درآوردند. نظیر شبکه‌های Wi-Fi شرکتی، شبکه‌های 5G خصوصی کنترل کاملی بر منابع شبکه خود و نحوه توزیع آن منابع دارند. در شبکه‌های مخابرات خودرویی نظیر خودروهای خودران شبکه‌های 5G و شبکه‌های 5G خصوصی نقش به‌سزایی را ایفا می‌کنند. همانطور که می‌دانیم خودروهای خودران باید بتوانند اطلاعات را در کمترین زمان ممکن پردازش کرده و مطابق آن تنظیمات خود را انجام دهند. تاخیر بسیار پایین، ظرفیت افزایش یافته و پوشش گسترده این امکان را می‌دهد تا به روزرسانی‌ها را دریافت کرده و تغییراتی را ایجاد کنند. همچنین با تکامل این فناوری، فرصت‌های جدیدی برای اپراتورها در خدمت‌رسانی به بازار خودروهای خودران با استفاده از شبکه 5G خصوصی به عنوان ستون اصلی کسب و کارشان به وجود خواهد آمد [۵]

C-V2X[7] با استاندارد 5G و ارتباط خودروی متصل به آن

برای اتصال خودروها به همدیگر و به زیرساخت‌ها (C-V2X) می‌توان از اتصال سلولی 4G و 5G بهره گرفت. در واقع، این فناوری تنها فناوری V2X است که بازگشت‌پذیری را حفظ می‌کند و همچنین قادر است از پهنای باند بزرگتر، تاخیر کمتر و قابلیت اطمینان بالاتر شبکه‌های نسل بعدی بهره‌برداری کند. با بهره‌گیری از 5G، C-V2X قادر خواهد بود به مجموعه‌ای از خدمات ایمنی پیشرفته، از جمله موقعیت‌یابی و محاسبه بسیار دقیق برای فعال کردن رانندگی همکارانه و خودکار، ارائه نقشه‌های محلی و پویا بر اساس داده‌های دوربین و حسگر و اتصال با تاخیر بسیار کم پشتیبانی کند. از آن‌جا که شبکه‌های 5G قادر به پشتیبانی از تعداد بسیار زیادی از اتصالات در یک منطقه کوچک هستند، خودروهای فردی قادر خواهند بود بیشترین حجم داده را درباره محیط اطراف خود به دست آورند. بنابراین، C-V2X با استاندارد 5G نقشی حیاتی در فعال‌سازی استقرار خودروهای کاملاً خودکار دارد و کاربردی است که اپراتورها می‌توانند با ورود به آن فرصت‌های گسترده درآمدزایی را برای خود ایجاد کنند [۶]

مدل‌های تجاری جدید و حضور بازیگران متنوع

فناوری‌ها و خدمات جدید اتصال ماهواره‌ای؛ نحوه تطبیق آن‌ها در تکامل شبکه

سیستم‌های ارتباطات ماهواره‌ای دهه‌هاست که به عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارهای ارتباطی جهانی به کار گرفته می‌شود و امکان ارتباط سریع در سراسر جهان و دسترسی به مناطق دورافتاده را فراهم می‌کنند. با این حال، پیشرفت‌های اخیر در این فناوری قابلیتی با پتانسیل بالا در روش عملکرد سیستم‌های ارتباطات ماهواره‌ای را ایجاد کرده است. قابلیت‌های جدید شامل ظرفیت و قابلیت اعتماد بیشتر نسبت به سیستم‌های ارتباطات ماهواره‌ای سنتی است که آن‌ها را برای کاربردهایی مانند نظارت و کنترل از راه دور، بسیار مناسب می‌سازد. علاوه بر این، با ظهور هوش مصنوعی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند برای بهینه‌سازی عملیات ماهواره‌ای مانند برنامه‌ریزی فعالیت‌های ایستگاه‌های زمینی و جهت‌دهی آنتن استفاده شوند. در نهایت، ظهور ماهواره‌های نانو پتانسیل بالایی در سیستم‌های ارتباطات ماهواره‌ای دارد. این ماهواره‌های کوچک و سبک می‌توانند به تعداد زیادی پرتاب شوند و یک «مجموعه» را ایجاد کنند که می‌تواند پوشش و تکرارپذیری بهتری را فراهم کند. علاوه بر این، ماهواره‌های نانو می‌توانند برای امکانات جدیدی مانند شبکه‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر ماهواره استفاده شوند. در نتیجه، فناوری‌های نوآورانه مانند شبکه‌های 5G، هوش مصنوعی و ماهواره‌های نانو بر عملکرد سیستم‌های ارتباطاتی تاثیر به‌سزایی خواهند گذاشت. این پیشرفت‌ها سرعت، ظرفیت، قابلیت اعتماد

7- Cellular Vehicle-to-Everything

و پوشش بهتر را فراهم می‌کنند، در عین حال کاربردها و خدمات جدیدی را فراهم می‌کنند. همان‌طور که این فناوری‌ها بهبود و تکامل می‌یابند، آینده سیستم‌های ارتباطات ماهواره‌ای روشن‌تر شده و توجه به آن‌ها از سوی اپراتورها بیش از پیش حائز اهمیت می‌شود [۷]

شبکه‌های دسترسی باز؛ چه رویکردهایی موفق خواهد بود؟

شبکه‌های با دسترسی باز یک شبکه منفرد وسیع است، به‌طوری که توسط چندین اپراتور به کار گرفته می‌شود. در واقع با به‌کارگیری از یک شبکه با دسترسی باز می‌توان از طراحی و ساخت ساختارهای تلکامی اضافه جلوگیری کرد. در این صورت ارگان‌های سرویس‌دهنده از این ساختارهای از پیش ساخته‌شده استفاده می‌کنند و این رویکرد سبب صرفه‌جویی قابل تأملی در به‌کارگیری منابع محدود هر اپراتور می‌گردد. به‌طور معمول شبکه‌های با دسترسی باز توسط یک شخص ثالث نظیر یک نهاد عمومی مدیریت می‌گردد و هدفی که در این راستا دنبال می‌گردد، ایجاد رقابت بین سرویس‌دهنگان است که با ارائه و گسترش سرویس‌های مختلف صورت می‌گیرد [۸]

سخن آخر

در این مقاله، تحولات فناوری و تجاری در صنعت مخابرات را بررسی و چالش‌ها و فرصت‌های اپراتورهای جدید و سنتی را در این زمینه مورد توجه قرار دادیم. در این راستا به این موضوع پرداختیم که با وجود تمرکز اپراتورها در جهان بر توسعه 5G، به نظر می‌رسد فاز عملیاتی و فعال کردن کاربردهای قابل ایجاد از 5G چندان موفق نبوده و جنبه‌های عملی این تحول نادیده گرفته شده و تنها به مزایای بالقوه آن توجه می‌شود. در عین حال، تأکید شد که شبکه 5G تنها یک جزء از تصویر کل صنعت مخابرات است و اپراتورها باید به دیگر فناوری‌های ارتباطی نیز توجه ویژه داشته باشند. لذا تحولاتی که در صنعت تلکام رخ می‌دهد فقط به استانداردهای 5G محدود نمی‌شود، بلکه تحت تأثیر طیف گسترده‌تری از پیشرفت‌های فناوری است. این پیشرفت‌ها و تحولات بر نحوه ساخت و عملکرد شبکه‌ها و همچنین مدل‌های نظارتی و تجاری حاکم بر صنعت تأثیر می‌گذارد. همچنین پیشنهاد شد که اپراتورهای مخابراتی در مسیر تحول و کسب آمادگی برای نیازهای آینده، بازنگری‌هایی در چشم‌انداز خود داشته و این تفکر را که تنها نقطه کنترل‌کننده در تامین سرویس‌های مخابراتی برای مشتریان هستند کنار بگذارند و سعی بر شکل‌دهی همکاری‌های موثر با بازیگران جدید این حوزه داشته باشند. زیرا در دوران تحول، تنها اپراتورهایی که بتوانند با نوآوری و تطبیق با شرایط جدید پاسخگو باشند، موفق خواهند بود.

منابع:

[1] Telecoms 2023: Meaningful Growth In Challenging Times, Stl Partners, 2023.

[2] When WiFi Networks Meet Powerful Monetisation Techniques, STL Tech, 2014.

[3] Why Digital Twin technology is the 'right call' for the next phase of the telecommunications industry, telecoms, 2023.

[4] Vision, market drivers, and research directions on the path to 6G How Qualcomm is setting the stage with 5G Advanced now for 6G in 2030 and beyond, Qualcomm, 2022.

[5] R. Mulam, M. Yavuz, R. Shah, and V. Anneboina, 5G Use Cases & Real World Examples, Celona, 2022.

[6] Connecting Vehicles Today and in the 5G Era with C-V2X, GSMA, 2019.

[7] Marcin Frąckiewicz, The Advancements in Satellite Communication Technology: A Review, TS2 Space, 2023.

[8] Filip de Greve, The rise of the open access networkle, Nokia, 2021.

نشست ویژه شبکه‌های رادیویی

شبکه‌های دسترسی رادیویی با انجام عملیات پردازشی سنگین و ایفای نقش کلیدی در ارسال امواج رادیویی به سمت کاربران و مسیردهی ترافیک داده به سمت هسته شبکه بخش مهمی از شبکه موبایل هستند که سهم قابل توجهی از هزینه‌های اپراتورهای مخابراتی صرف خرید، توسعه و نگهداری آن می‌شود. به موازات تحولات صنعت مخابرات، این بخش از شبکه نیز تغییرات گسترده‌ای را تجربه کرده و منجر به بهبود معناداری در عملکرد شبکه اپراتورها شده است. البته در کنار تمامی اثرات مثبت، تحولات این بخش چالش‌های راهبردی و عملیاتی متعددی نظیر تصمیم‌گیری در خصوص توسعه به هنگام فناوری‌های جدید، همسویی به‌روزرسانی‌ها با دیگر بخش‌های شبکه، تعداد محدود وندورهای ارائه‌دهنده محصولات در دنیا و در نتیجه عدم رقابت‌پذیری و انتخاب محدود را برای اپراتورها به همراه می‌آورد. به‌ویژه با ظهور 5G و انقلاب گسترده‌ای که در صنعت مخابرات و نحوه سرویس‌دهی اپراتورها رخ می‌دهد، در کنار تمام ویژگی‌های مثبت، نیازمند تصمیم‌گیری‌های مهم در توسعه فناوری‌های جدید بخش شبکه‌های دسترسی رادیویی در کنار سایر بخش‌های شبکه و چابکی اپراتورها در مواجهه با تغییرات و به‌کارگیری فناوری‌های جدید است. اینجا است که برای همگام ماندن اپراتورها با سرعت بالای ظهور فناوری‌ها و روندهای جدید در صنعت مخابرات، فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌شود. با توجه به موضوع این شماره از فصل‌نامه فناوری همراه که به‌طور ویژه به حوزه شبکه‌های رادیویی اختصاص دارد، با سه تن از مدیران همراه اول به گفت و گو در خصوص مسائل کلیدی حوزه رادیویی پرداخته‌ایم. در این نشست، جناب آقای بابک کاردل مدیر کل طرح و مهندسی شبکه رادیویی، جناب آقای مصطفی معینی رئیس اداره طرح و مهندسی شبکه انتقال رادیویی و جناب آقای رسول سلیمی‌نژاد رئیس اداره شبکه‌های رادیویی مرکز تحقیق و توسعه همراه اول به سوالات ما در خصوص موضوعاتی نظیر مهم‌ترین ترندها و فناوری‌های نوظهور حوزه شبکه‌های رادیویی، تحولات صنعت مخابرات، توسعه 5G و برجسته‌ترین تاثیرات آن بر بخش رادیویی شبکه، مسئله بومی‌سازی محصولات حوزه رادیویی و عمده فعالیت‌های مرکز تحقیق و توسعه در این حوزه و در نهایت تاثیر گسترش روابط صنعت با دانشگاه با نگاه توسعه محصولات حوزه رادیویی پاسخ داده‌اند.

برای شروع، از آن‌جا که موضوع نشست شبکه‌های رادیویی است، لطفا در خصوص این بخش از معماری شبکه برای مخاطبانمان صحبت کنید. می‌خواهیم بدانیم مرز شبکه‌های رادیویی در معماری چطور تعریف می‌شود؟

آقای کاردل:

مطابق استانداردها معماری شبکه موبایل شامل ۳ بخش دسترسی رادیویی شبکه (RAN)، زیرساخت (Transmission) و هسته (Core) است. معمولاً بخش زیرساخت نیز در قسمت دسترسی رادیویی شبکه قرار می‌گیرد. پس تمرکز حوزه رادیویی عمدتاً روی RAN و بخش زیرساخت است. البته امروزه با تغییرات فناوری و راه‌کارهای متنوعی که فراهم شده است، بسیاری از مسائل به حوزه UE[1] (شامل گوشی‌های موبایل، مودم و با ظهور مفهوم IoT، سنسورها) برمی‌گردد. در حالی که عمده تمرکز اپراتورها همیشه بر نودهای بالادستی شبکه بوده است. به نظرم آنچه لازم است اپراتورها بیشتر مورد توجه قرار دهند، موضوع UE است. بنابراین ضروری است که اپراتورها برای پاسخ‌گویی به نیازهای جدید، در ساختارهایشان بازنگری‌هایی داشته و این موضوعات را نیز مدنظر قرار دهند و به نوعی در نگاه end2end، تمامی اجزاء شبکه براساس service centric یا customer centric مورد توجه قرار گیرد.

آقای معینی:

شبکه RAN که گاهی اوقات شبکه دسترسی نیز نامیده می‌شود عنصر رادیویی شبکه سلولی است و از نسل اول (1G) تا نسل پنجم (5G) تکامل یافته و تحولاتی داشته است. در معماری شبکه خارج از نوع فناوری و نسل آن، بخش شبکه رادیویی از سایت رادیویی تا اولین نود Core شبکه تعریف می‌شود. به‌طور مثال در نسل اول از سایت BTS تا BSC و یا در نسل پنجم از gNB تا 5G Core تمامی عناصر و تجهیزات جز شبکه رادیویی می‌باشد.

صنعت مخابرات تقریبا هر ده سال دچار تحولاتی شده است. همراه اول برای پیش رفتن با این تغییرات و تحولاتی که در این صنعت به‌طور مشخص در ده سال گذشته اتفاق افتاده است (گذاری که صنعت از 3G به LTE و پس از آن به 5G داشته است)، چه تمهیداتی در نظر گرفته است؟

آقای کاردل:

همراه اول در مسیر تحول فناوری‌های موبایل همواره سعی کرده است از فناوری‌ها عقب نباشد و ساختار خود

1- User Equipment

را متناسب با آن‌ها چابک کند. در این راستا، همراه اول برنامه توسعه‌ای در نظر گرفته است که در فازهای متفاوت، اقداماتی جهت به‌کارگیری مناسب فناوری‌ها و ارائه سرویس مناسب به مشتریان دارد. در این مسیر همراه اول همواره سعی کرده است روی توان نیروی انسانی داخلی برنامه‌ریزی کرده و از آن استفاده کند. بر این اساس، به‌طور متمرکز شرکت نقش اول کیفیت (NAK) شکل گرفته و مدیریت وقت شرکت سعی بر این داشت که افراد با تجربه را حتی از شرکت‌های نوکیا و اریکسون در این شرکت جذب کند. شرکت نقش اول کیفیت بازوی اصلی همراه اول در حوزه توسعه، Optimization و عملیات است. نکته مثبت دیگری که تاسیس شرکت نقش اول کیفیت برای همراه اول داشت کمک به کاهش ریسک وندورها و افزایش قدرت همراه اول در خرید از وندورهای خارجی است. در فازهای بعدی توسعه و شرایط جدید به‌وجود آمده در کشور با افزایش تحریم‌ها، تمرکز بر موضوع بومی‌سازی افزایش یافت. با توجه به این موضوع که تمام اجزا شبکه در اختیار وندورهای خارجی بود، همراه اول تصمیم به بهره‌گیری حداکثری از توان داخلی کشور برای تامین اجزای مورد نیاز توسعه شبکه‌های خود گرفت. این موضوع در ابتدا از حوزه آنتن شروع شد. سپس تجهیزات لایه انتقال مورد توجه قرار گرفتند و شرکت‌های داخلی در این حوزه نیز ورود کردند. در حال حاضر حدود ۱۰۰۰ نقطه از شبکه انتقال همراه اول از شرکت‌های داخلی تامین می‌شوند. کار بسیار خوبی که همراه اول در این حوزه انجام داده است تاسیس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول است. همان‌طور که بسیاری از وندورهای بزرگ نیز در حدود ۳ تا ۵ درصد از درآمد خود را به این موضوع اختصاص می‌دهند. با تشکیل مرکز تحقیق و توسعه در همراه اول، پروژه‌هایی که موجب چابک‌سازی بدنه اصلی شود توسط این مجموعه انجام می‌شود. امروزه بیشترین انتظاری که همراه اول از این مجموعه دارد پیشبرد فناوری‌های جدید و تست و پایلوت آن‌ها و کمک به همراه اول در خصوص توسعه راه‌کارها و فناوری‌های نوظهور مانند Open-RAN و خروج از حالت تک-وندوری است. از دیگر موضوعاتی که ورود مرکز تحقیق و توسعه در آن کمک شایانی برای همراه اول است در حوزه بازارهای جدید[2] است. چون تمرکز اصلی اپراتور روی کسب و کار اصلی[3] و ارائه سرویس‌های اصلی مکالمه، پیامک و دیتا است. مرکز در این بخش می‌تواند به همراه اول کمک کند که مثلا در حوزه IoT و NB-IoT، در ورتیکال‌های مختلف ورود کرده، با شرکت‌های ارائه دهنده سرویس و راه‌کار همکاری‌هایی شکل دهد و آزمایش سرویس‌های جدید را تا رسیدن به یک پایلوت مناسب و قرارگیری در بدنه اصلی پیش ببرد.

حال که در مورد تغییرات نسل‌ها و تاثیرشان بر فعالیت‌های سازمان صحبت کردیم، این تحولات حتما منجر به تغییراتی در بخش رادیویی شبکه (RAN) نیز شده‌اند. لطفا در خصوص مهم‌ترین تحولات این بخش برای ما توضیح دهید.

آقای کاردل:

چرخه فناوری‌ها در صنعت مخابرات به صورتی است که نسل‌های جدید، هر ۵ سال رونمایی، هر ۱۰ سال تجاری‌سازی و هر ۲۰ سال هم معمولا از اوج خود فاصله گرفته و از بازار خارج می‌شوند. با این سرعتی

2- New Buisiness
3- Core Business

که در تغییرات فناوری وجود دارد، وندورها به سمتی رفته‌اند که در طراحی و ساخت تجهیزات، نسل‌های آینده را نیز در نظر بگیرند تا تجهیزاتشان با نسل‌های آتی نیز سازگار باشد. این روند در تجهیزات بخش‌های مختلف به طرق مختلف صورت می‌گیرد. مثلا در لایه Core، تغییرات معمولاً به صورت نرم‌افزاری و لایسنسی اتفاق می‌افتد. در حوزه انتقال، تغییر فناوری خود را با افزایش ظرفیت نشان می‌دهد و روند به‌طوری است که ظرفیت‌سازی شبکه انتقال نیز با کم‌ترین تغییرات نرم‌افزاری انجام شود. بخشی که هنوز کاملاً به این سمت نرفته است بخش RAN است. این قسمت هنوز در اختیار کامل وندورها است. البته الان این موضوع در حوزه RAN هم در حال تغییر است و وندورها تغییرات در نسل جدید RAN را مبتنی بر لایسنس کرده‌اند و نسل‌های جدید RAN عموماً از نسل‌های متفاوت شبکه پشتیبانی می‌کنند.

به نظر شما مهم‌ترین روندها در حوزه شبکه‌های رادیویی کدام‌ها هستند؟ در آینده چه فناوری‌هایی نقش اساسی بر روند تکامل شبکه‌های رادیویی خواهند داشت؟

آقای معینی:

از مهمترین روندها و فناوری‌هایی که روی شبکه رادیویی تاثیر می‌گذارند می‌توان به، 5G، AI، edge computing، IoT، AR/VR اشاره نمود که حوزه‌های کاربردی جدید مانند شهرهای هوشمند[4] و عمل جراحی از راه دور[5] موتور پیشران آن‌ها به حساب می‌آیند. تمام این فناوری‌ها مستقیماً روی شبکه رادیویی تاثیر گذارند و برای رسیدن به آن‌ها تغییرات و به‌روزرسانی‌های گسترده‌ای مانند اجرای open RAN، vRAN[7]، cRAN[6] و SDN[8] در این لایه از شبکه نیاز است.

4- Smart Cities
5- Remote Surgery

مهم ترین موضوعی که این روزها در موردش صحبت می‌شود، 5G، توسعه آن و تاثیراتی است که بر فعالیت‌های سنتی اپراتورها دارد، به نظر شما برای عملکرد موفق در این حوزه چه موضوعات و ملاحظاتی را باید در نظر گرفت؟

آقای کاردل:

موضوعی که در 5G نسبت به نسل‌های گذشته بسیار اهمیت می‌یابد مسئله تجاری‌سازی و درآمدزایی از حوزه کسب و کار سازمانی[9] است. مسئله‌ای که در 5G با آن مواجهیم هزینه‌های بسیار بالای پیاده‌سازی و توسعه آن است. پس برای موفقیت در توسعه این فناوری باید بر نحوه تجاری‌سازی آن توجه ویژه داشته باشیم. از طرفی مشکلی که اپراتور در کشور با آن مواجه است موضوع آمادگی بازار است. در واقع در شرایطی که شرکت‌های دیگر مثلا در حوزه فولاد، کشاورزی و نظایر آن با مشکلاتی مانند عدم امکان فروش محصولات و خدمات خود به خارج از کشور مواجه هستند، درآمدی که انتظار دارند حاصل نمی‌شود و

6- Cloud RAN
7- Virtualized RAN
8- Software-Defined Networking
9- Business to Business (B2B)

سرمایه‌گذاری برای فناوری‌های جدید صرفه اقتصادی برایشان ندارد. پس اپراتورها در توسعه فناوری‌هایی مانند 5G، با شرایطی روبه رو هستند که ممکن است بازار جذابیت داشته باشد ولی قادر به سرمایه‌گذاری در توسعه آن نباشد. به هر حال، نمی‌توان از این مسئله عبور کرد و 5G را پیاده‌سازی نکرد. با این وجود که هنوز به صورت کامل توسعه 5G توجیه اقتصادی ندارد و اکوسیستم باید آماده شود اپراتورها برای همگام ماندن با فناوری، باید به این سمت حرکت کنند. پس باید حواسمان به موضوع درآمدزایی از بازارهای جدید و ساخت رشته درآمدهای جدید باشد.

آقای معینی:

به نظرم در حال حاضر تمرکز عمده کشورها در جهان بر 5G است که هر چه در مورد آن صحبت کنیم اصل مطلب بیان نمی‌شود. موضوعی که در نسل جدید با آن مواجه هستیم مسئله سرویس محور[10] بودن آن است. به این معنی که در نسل جدید، برای ارائه سرویس‌های متنوع، نیازمند تغییر در شبکه هستیم و تغییر در شبکه، تغییر فناوری‌ها را به دنبال دارد. بنابراین تغییرات شبکه متناسب با سرویس های متناظر خواهد بود. مثلا برای ارائه سرویس‌های جدید، ابتدا باید فناوری‌هایی مانند Virtualization، Cloudification و SDN اتفاق بیفتد. در خصوص 5G نیز این اتفاق باید بیفتد. الان تقریباً ۵۰ درصد سازمان‌ها 5G را فقط برای بهینه سازی فرایند موجودشان می‌آورند و کمتر کاربردها و سرویس‌های جدید را مدنظر قرار می‌دهند. پس ترندی که ما از آن صحبت می کنیم باید ابتدا یوزکیس آن اتفاق بیفتد و سپس اپراتورها و سازمان‌ها سراغ آن بروند که در حال حاضر خیلی این روند جاری نشده است. مثلا در حوزه IoT سازمان‌ها آماده سرمایه‌گذاری نیستند و این انتظار را از اپراتورها دارند. پس اپراتورها در این مورد، باید در ایجاد نیاز نیز فعال باشند و سرویس‌های 5G را به هر هزینه‌ای ایجاد کنند. زیرا در موضوع 5G دیگر نباید تنها به فروش داده به صورت خام اکتفا کرد. تا زمانی که یوزکیس‌ها ایجاد نشود این تفاوت احساس نمی‌شود. به هر حال ترندها از کنار سرویس ها خواهند آمد. مثلا با فناوری slicing در QoS[11]، 5G چندین بعد می‌شود چون برای سرویس‌های مختلف نیاز شبکه متفاوت خواهد بود و برای نیازهای مختلف sliceهای متفاوت استفاده خواهد شد. اصلا چنین مواردی در زمان 4G تعریف نشده بود. به عنوان مثال، در نمایشگاه الکامپ امسال، ما در غرفه همراه اول تجربه MEC[12] را به بازدیدکنندگان نشان دادیم که چه تغییری ایجاد خواهد کرد. پس برای رفتن سراغ فناوری‌های جدید ابتدا باید سرویس ها را ایجاد کنیم. به نظر می‌رسد که اپراتورها باید در ایجاد این نیازها و توسعه یوزکیس‌ها پیشگام باشند.

مهم‌ترین چالش‌هایی که اپراتورها در مسیر توسعه 5G با آن مواجه هستند چه مسائلی است؟

آقای کاردل:

مشکل اصلی اپراتورها در ایران مسئله تعرفه است. چون بیش از ۱۰ سال است که تعرفه این صنعت تغییر نکرده است. باید به این موضوع توجه داشت که اپراتورها بنگاه اقتصادی هستند و با افزایش قابل توجه هزینه‌های خرید و نگهداری، نیاز است به طریقی این موضوع برایشان جبران شود. پس تا زمانی که تعرفه با تورم اقتصادی کشور متناسب سازی نشود، سرمایه‌گذاری روی فناوری‌های جدید برای اپراتور بسیار مشکل است. الان تمام سرمایه گذاری‌هایی که اپراتور دارد با ریسک بالا است و این ریسک ها سمت اپراتور است که از سود خود بزند وام های کلان بگیرد تا از فناوری عقب نماند. نکته‌ای که وجود دارد این است که سازمان‌های بالادستی مثلا وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و دولت باید به کمک اپراتورها بیایند. توسعه 5G با یک کلید اتفاق نمی‌افتد. برای پیاده‌سازی 5G

10- service oriented

11- Quality of Service

12- Multiple-access Edge Computing

تمام لایه‌های شبکه باید توسعه و ارتقاء پیدا کند که هزینه‌های بسیار بالایی به دنبال دارد. برنامه همراه اول ۲۰۰۰ سایت 5G می‌باشد. اما مشکلی که در این حوزه داریم آماده نبودن صنایع است. پس اپراتورها باید به موضوع آمادگی سمت صنایع توجه ویژه داشته باشند و به سمت کسب و کارهای نوظهور که در حوزه فناوری اتفاق میفتد بروند. برای این موضوع به نظرم استفاده از توان تحقیق و توسعه برای پیاده‌سازی پایلوت‌ها بهترین گزینه است.

لطفا در خصوص تحقیق و توسعه روی حوزه رادیویی و مهم ترین مسائلی که در این سال‌ها با آن مواجه بوده‌اید بفرمائید.

آقای سلیمی نژاد:

تفاوتی که پروژه‌های حوزه رادیویی با حوزه های دیگر دارد این است که پروژه باید ۱۰۰ % به نقطه نهایی برسد تا آماده بهره برداری شود. مثلاً در ساخت یک لینک رادیویی، این لینک باید پاسخگوی تمامی الزامات محیطی، فنی، امنیتی و نظایر آن باشد تا بتوان از آن در شبکه تجاری استفاده کرد. پس این حوزه با توسعه سرویس‌های نرم افزاری که عملکرد آن را در فرایند توسعه آن‌ها بهبود می‌دهند، متفاوت است. همچنین تا سالیان قبل در کشور همتی برای بومی سازی محصولات رادیویی نبوده است و به همین دلیل اکوسیستم بزرگ و فعالی داخل کشور در این حوزه شکل نگرفته و شرکت‌های فعال زیادی نیز وجود ندارد. مشکل دیگری که وجود دارد مسئله اعتماد است که باید شکل بگیرد. معمولا شرکت‌های داخلی نگران این مسئله هستند که در صورت حضور بازیگران بزرگی مانند اریکسون، بازار شرکت‌های داخل به چه شکل می‌شود. در کنار تمام این مسائل، فناوری منتظر ما نمانده و به سرعت توسعه پیدا می کند و این توسعه نیازمند تجهیزات جدید خواهد بود. پس با تغییر فناوری و سرعتی که توسعه آن دارد، هم باید به فکر توسعه زیرساخت‌هایمان باشیم و هم شرکت‌ها و اکوسیستم تقویت شود و اعتماد متقابلی میان اپراتور و شرکت‌های فعال شکل بگیرد که اپراتور می‌تواند روی شرکت‌ها حساب کند و شرکت‌ها نیز از حمایت اپراتور برخوردار خواهند بود. در این میان، تجهیزات تست و ساخت نیز باید توسعه پیدا کند و مهم‌ترین مسئله به صورت کلان این است که باید بازار این تجهیزات نیز توسعه یابد. حتماً باید به بازارهای بزرگ‌تر فکر کرد تا بتوان مسئله را حل کرد.

در خصوص اهمیت شکل گیری بازارهای جدید صحبت کردید، همراه اول برای این مسئله چه تمهیداتی داشته است؟

آقای سلیمی نژاد:

اساساً مرکز تحقیق و توسعه همراه اول با همین ایده تاسیس شد. در این ۳ سال که از ایجاد مرکز می گذرد ابزارهای متفاوتی مانند گرنت و تشکیل هسته‌های پژوهشی برای پیشبرد اینگونه اهداف شکل گرفته است. موضوع دیگری که همراه اول امسال شروع کرده است، بورسیه دانشگاهی و حمایت از دانشجویان نخبه است. ما سال گذشته در مرکز جشنواره ایده تا محصول را داشتیم که کمک خوبی در شکل گرفتن بازار برای شرکت‌ها بود. در این فرایند، حتی به تیم‌هایی که ایده‌هایشان متناسب نیازها و فعالیت‌های ما نبود کمک کردیم تا بتوانند به شرکت‌های مرتبط وصل شوند. در کنار این‌ها، هسته‌های پژوهشی در دانشگاه‌ها شکل گرفتند و سعی کردیم در پروژه‌هایی که در مرکز کار می کنیم ترجیحاً به سمت پروژه‌هایی برویم که حداقل داخل همراه اول بازار خوبی داشته باشد. لذا تقریبا تمام پروژه‌ها به جز آن‌هایی که از نوع رصد فناوری‌های نوظهور هستند یا نیاز امروز همراه اول‌اند یا خیالمان راحت است که در ۵ سال آینده در سبد نیاز آن‌ها وجود دارد. از این راه است که برای شرکت‌ها اطمینان ایجاد می کنیم. ۳ هاب اصفهان، بهشتی و شیراز هم در این مسیر بازوی کمکی همراه اول هستند و از مجموعه‌هایی که کوچک‌تر هستند و زیرساخت لازم را ندارند، حمایت می کنند. در مجموع، کار مشکلی است که حمایت همه جانبه می‌خواهد. از مدیران داخل مجموعه همراه اول گرفته تا اکوسیستم ICT کشور. امیدوارم که در آینده شاهد اتفاقات خوبی در این مسیر باشیم.

در حال حاضر عمده تمرکز اداره شبکه‌های رادیویی در مرکز تحقیق و توسعه همراه اول در چه حوزه‌ای است؟ رفع کدام یک از نیازهای شرکت همراه اول در اولویت این اداره قرار دارد؟

آقای سلیمی نژاد:

ماموریتی که برای اداره ما در نظر گرفته شده است، متناظر با قسمت Core به بالای شبکه است، یعنی محصولاتی که در حوزه باند پایه، رادیو، آنتن و شبکه انتقال قرار می گیرد. در این راستا، یکی از سبد پروژه‌های ما مرتبط می‌شود با حوزه انتقال شامل بخش رادیوی ۱۸ و ۲۳ گیگ، لینک رادیویی باند فرکانسی e[13] و پروژه FSO[14]. در بخش RAN، تمرکز خوبی روی موضوعات باند پایه و RRU[15] داشتیم که

13- eband
14- Free-Space Optical communication
15- Remote Radio Unit

امیدواریم به زودی تست‌های پایلوتش را انجام دهیم. در مورد آنتن نیز، پروژه های خیلی خوبی داشتیم که به سفارش گیری تعداد بالایی آنتن رسید. در این حوزه، پروژه‌های R&D هم داریم که یکی از آن‌ها آنتن‌های هایبرید است و امیدواریم به صورت پتنت آن را ثبت کنیم. در این میان، نیم‌نگاهی هم به 6G داشته‌ایم، مثلا پروژه RIS[16] را داریم که فعلاً در مرحله تحقیق و توسعه است. از دیگر حوزه‌های مهمی که امسال تمرکز ویژه‌ای بر آن‌ها داریم، Open RAN و موضوعات مرتبط با 5G، از AAU[17] تا base band 5G است که در خصوص Open RAN، در حال تدوین نقشه‌راهی جهت پایلوت و بومی‌سازی آن هستیم. موضوعات دیگر نیز به زیر پروژه‌هایی شکسته شده و سعی داریم برای انجام آن از ظرفیت‌های موجود در کشور نیز بهره برداری کنیم. کار خیلی سختی است ولی امیدواریم و تلاش می کنیم که به نتیجه‌های خوبی منتج شود.

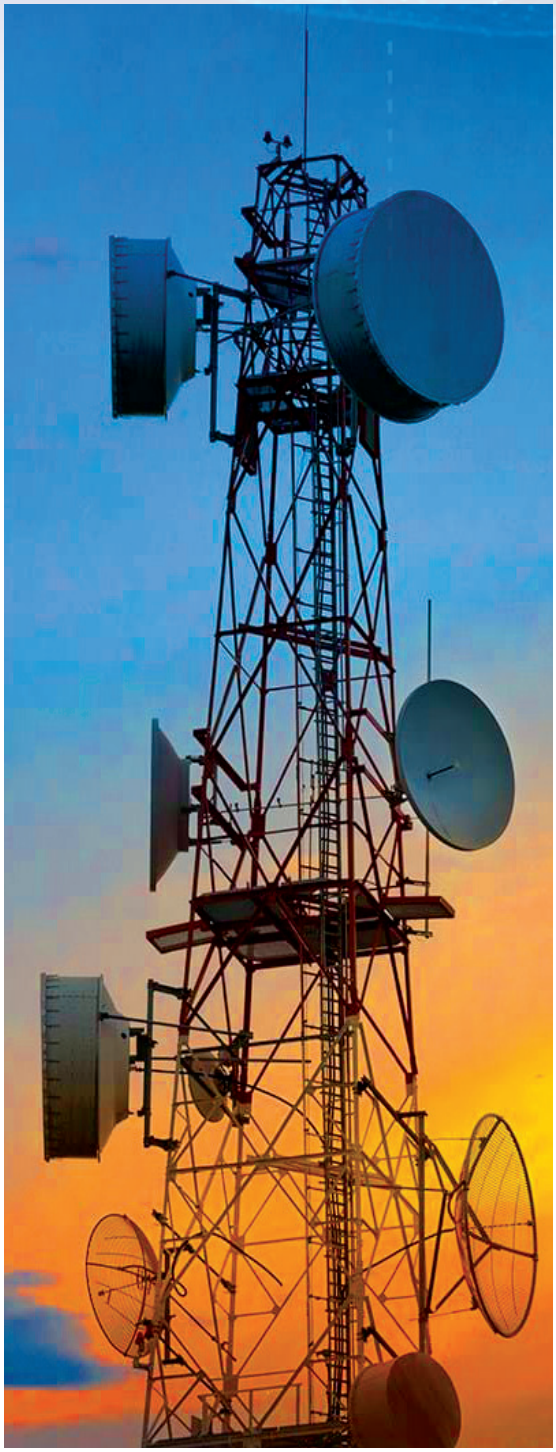
حال که صحبت از بومی سازی و تولید محصولات داخلی شد، در حال حاضر چند درصد از المان‌های شبکه بومی‌سازی شده‌اند؟ شما به عنوان نماینده‌ای از معاونت فنی همراه اول، استفاده از محصولات تولید داخل را در بخش رادیویی شبکه چگونه می‌بینید؟

16- Reconfigurable Intelligent Surface
17- Active Antenna Unit

آقای معینی:

در حال حاضر، در لایه RAN، در قسمت تجهیزات غیرفعال[18] بیشتر محصولات به صورت بومی استفاده می‌شود. مثلا SFPهایی که مصرف می کنیم (از کابل، کانکتور، فیبر الی آخر) کاملاً از داخل تامین می‌شود و از وندور خارجی خریداری نمی کنیم. در مجموع، بومی‌سازی در بخش رادیویی نسبت به قسمت‌های دیگر شبکه سهم بیشتری داشته است. مثلا این سهم در لایه‌های IP Backbone یا Core ناچیز است ولی در بخش رادیویی بسیار بیشتر است و معاونت فنی و به ویژه اداره کل طرح و مهندسی رادیویی به مسئله بومی‌سازی توجه ویژه داشته و از این موضوع استقبال می کند. کسانی که در این اداره کل هستند خودشان زمانی تجربه R&D داشته‌اند و از این رسوب دانش حمایت می کنند. البته ارتباط بین ما و تولیدکننده داخل باید به گونه‌ای باشد که همانطور که ما از آن‌ها حمایت می کنیم، از سمت تولیدکننده داخل نیز این تمایل به همکاری دیده شود. اگر این دو طرف به یک همگرایی خوبی برسند به نتایج خوبی می‌رسیم. در سمت ما سعی بر این است که یک نیازمندی بلند مدت حداقل یک ساله دیده شود و به تولیدکننده داخل این فرصت داده شود

18- Passive



که هم روی R&D کار کند و هم برای تامین تجهیزات آن برنامه‌ریزی کند.

در مورد تولید داخل صحبت کردیم و در خلال صحبت ها به این موضوع اشاره شد که باید بین اهدافی که اپراتور تعیین می کند و فعالیت‌های شرکت‌های داخلی یک همگرایی صورت بگیرد و مسیرها به هم نزدیک باشند، از نظر شما چه نوع همکاری‌هایی می توانند مؤثرتر باشند، (همکاری با صنعت و شرکت‌ها (Industrial partnership) یا همکاری با هسته‌های دانشگاهی (Academic research))؟ چه پیشنهادی جهت هرچه بهتر شدن و مؤثرتر شدن نقش شرکت‌ها و توسعه رابطه دانشگاه و صنعت دارید؟

آقای کاردل:

این سوالتان را این‌گونه جواب می‌دهم که در حال حاضر اکثر شرکت‌های فعال در حوزه بومی‌سازی توسط اساتید دانشگاه اداره می‌شوند و این ارتباط بین دانشگاه و صنعت برقرار شده است. چون نیاز بنگاه‌های اقتصادی به ویژه در خصوص اپراتورها که تغییر فناوری در آن‌ها بسیار سریع است، دیگر با روش‌های سنتی قابل حل نیستند و نیاز است که دانشگاه‌ها که دانش روز دارند ورود کنند. پس الان به‌ویژه در پروژه‌های حوزه‌های بومی‌سازی، ارتباط تنگاتنگی با دانشگاه‌ها دارند و ارتباط بین صنعت و دانشگاه برقرار شده و شرکت‌ها دانش روز را دارند. ولی اینکه آیا مسئله اپراتورها را حل می‌کنند یا نه، این موضوع پله به پله در حال پیشروی است. همان‌طور که آقای معینی هم اشاره کردند، در حوزه passive، استفاده حداکثری از تجهیزات بومی‌سازی داریم. در مورد نودهای فعال[19] نیز به واسطه کاربردهای جدید مانند صنعت ویدیو با ترافیک عظیمی مواجه هستیم که به فناوری‌های جدید و موضوع HighCap نیازمند می‌شویم. حال این فناوری جدید چطور پیاده می‌شود؟ قطعا به دانش اساتید دانشگاه و مراکز تحقیقات و به فرم بهتر قوای مراکز تحقیق و توسعه نیاز است. باید به این مسئله هم توجه داشته باشیم که تحقیق و توسعه همان‌طور که از نامش مشخص است، مجموعه‌های revenue based یا benefit based نیستند و باید اپراتورها در این حوزه‌ها سرمایه‌گذاری کنند تا پاسخگوی نیاز آینده‌شان باشد.

مهم‌ترین چالش‌های اداره شبکه‌های رادیویی در پروژه‌هایی که با همکاری دانشگاه‌ها انجام می‌شوند، کدام‌ها هستند؟ راهکار شما جهت رفع این چالش‌ها چیست؟

آقای سلیمی نژاد:

در این حوزه، مشکلات ما در چند دسته قرار می‌گیرد. از مهم‌ترین آن‌ها مشکلاتی است که به دلیل قانون‌های بین‌مان ایجاد می‌شود. در واقع شخصیت حقوقی ما و قواعد دانشگاه‌ها منجر به یک سری مشکلات رگولاتوری می‌شود. از این موضوع که بگذریم، چون دانشگاه‌های ما معمولا در لبه فناوری کار می‌کردند و خیلی درگیر تولید و صنعتی‌سازی نبوده‌اند، وقتی پروژه‌ها را سمت دانشگاه می‌بریم در حالی که مشکلات فنی و گره‌های

19- Active

فنی‌اش حل می‌شود، قابلیت تولید و توسعه پیدا نمی‌کند. این در حالی است که پروژه‌های ما معمولاً از جنسی هستند که باید به تولید برسند تا در شبکه مورد بهره‌برداری قرار بگیرند. به نظرم لازم است دانشگاه‌ها را با شرکت‌ها پیوند دهیم تا خروجی دانشگاه در شرکت تولید شود و به بهره‌برداری برسد. در مجموع، در حال حاضر فرایند مشخص و تعریف دقیقی از این موضوع وجود ندارد و مشکلی که داریم این است که پروژه را تا یک جایی پیش می‌بریم ولی فرایند مشخصی وجود ندارد که تولید انبوه و صنعتی‌سازی پروژه‌ها به چه شکلی انجام شود. برای حل این مشکل لازم است این اکوسیستم کم کم شکل گرفته و هماهنگ شود.

یکی از مشکلات عمده‌ای که در این حوزه وجود دارد فاصله میان علایق دانشگاهیان و اساتید و نیازهای صنعت است. راه حلی برای این موضوع دیده شده است که این دو موضوع به هم نزدیک شود؟

آقای سلیمی نژاد:

این موضوع یک مشکل قدیمی است. چون در دانشگاه معیارهای ارزیابی‌ای که وجود دارد متفاوت است و معمولا به ترندهای دانشی روز اهمیت داده می‌شود که با نیاز امروز صنعت ما فاصله دارد. ما در مرکز تحقیق و توسعه برای حل این مشکل، مسیری در پیش گرفته‌ایم که هم این آمادگی را ایجاد کنیم که دانشگاه‌ها در حوزه‌های لبه فناوری پروژه انجام دهند و هم روی هسته‌های پژوهشی سرمایه‌گذاری می‌کنیم که یک تیمی شکل بگیرد و تیم‌ها را کمک می‌کنیم به سمت تشکیل استارتاپ بروند. من فکر می‌کنم با این رویکرد، کم کم دانشگاه‌ها هم رقبت پیدا می‌کنند که همسو با نیازهای صنعت به لحاظ زمان و منابع سرمایه‌گذاری کنند. در این موضوع هاب‌های دانشگاهی نیز کمک ما هستند. امیدوارم این مشکل در آینده خیلی کمتر شود.

برای سخن آخر، اگر نکته مهمی در نظر دارید که در این گفتگو بدان پرداخته نشد، ممنون می‌شوم با ما به اشتراک بگذارید.

آقای کاردل:

این جلسه باعث شد در کنار کارهای عملیاتی روزمره به موضوعات آینده پژوهی و فناوری‌های جدید و اهمیت آن‌ها در توسعه شبکه بپردازیم. در این راستا برای همگام ماندن با تغییرات فناوری باید نگاهمان به تحقیق و توسعه باشد تا بتوانیم در آینده به صورت تجاری از فناوری‌های جدید در شبکه بهره‌برداری کنیم. مورد دیگری که نیاز به توجه ویژه دارد، اهمیت تغییرات فناورانه در مدل کسب و کار شرکت‌ها است. به نظرم مشکل اصلی عدم حرکت اپراتورها در کسب و کارهای جدید مدل کسب و کارشان است. محصول اصلی اپراتورها و منبع درآمدشان سرویس‌های مکالمه و دیتا است و تا زمانی که تعرفه تغییر نکند اپراتورها نمی‌توانند به راحتی وارد کسب و کارهای جدید شوند. انتظار ما از سازمان‌های بالادستی این است که این مسائل اپراتورها را هم در نظر بگیرند. تغییرات فناوری هزینه دارد و کسب و کار جاری اپراتور باید پاسخگوی این هزینه‌ها باشد. وقتی درآمد و هزینه اپراتورها با هم نخواند، اپراتورها نمی‌توانند به این سمت حرکت کنند و صنعت تلکام دچار مشکل می‌شود. از طرفی باید به این موضوع نیز توجه کنیم که هر چه زودتر تحقیق و توسعه روی فناوری‌های جدید صورت گیرد، آمادگی برای توسعه نسل‌های جدید شبکه بیشتر شده و در رشد اقتصاد دیجیتال کشور نیز تاثیر به سزایی خواهد داشت.

آقای معینی:

موضوع مهمی که باید به آن توجه داشته باشیم، همگرایی فعالیت‌ها در بخش‌های متفاوت سازمان است. هماهنگی در معاونت‌های سازمان اصلی اساسی است که باید در نظر داشت. در این راستا، تشکیل مرکز تحقیق و توسعه و نزدیکی و همگرایی آن با تمام معاونت‌ها به ویژه معاونت فنی مهندسی اتفاق خوبی است که منجر به شناسایی سریع نیازها و پیشبرد آن‌ها تا رسیدن به راه‌کارهای مناسب می‌شود. همان‌طور که وندورهای بزرگ، مراکزی داخل دانشگاه‌ها تاسیس می‌کنند و با نزدیکی فیزیکی که ایجاد می‌کنند، موجب نزدیکی فکری و همگرایی فعالیت‌ها می‌شوند.

آقای سلیمی نژاد:

از نگاه تحقیق و توسعه، فرایند بومی سازی در حوزه شبکه رادیویی، کار بسیار سنگینی است که نیاز به صبر و حوصله و همچنین حمایت جدی در تمام لایه‌ها از مدیران ارشد تا کارشناسان دارد. در کنار حمایت‌ها، از سمت اکوسیستم تحقیق و توسعه نیز همت بزرگ می‌طلبد. با تلاش‌هایی که در حال انجام است، امیدوارم راهی که شروع شده است به خوبی به ثمر نشسته و دیگر گرفتار مسئله وابستگی به وندورها نباشیم و با افتخار بتوانیم از محصولات داخلی استفاده کنیم.

تحقیق و توسعه در صنعت ICT

چالش‌ها و فرصت‌های همکاری با دانشگاه

فناوری‌های نوین مخابراتی با افزایش سرعت، کارایی و توسعه کاربردها، موجب تغییرات گسترده در صنعت ICT در سراسر جهان شده و پتانسیل ایجاد تحولات عظیم در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی را دارند. برای بهره‌مند شدن از این فرصت‌های نوظهور، لازم است که صنعت ICT در کشور با تحقیق و توسعه، نوآوری و سرمایه‌گذاری مناسب، برای رقابت با رقبای جهانی خود آماده شود. اما چگونه می‌توان در صنعت ICT به تحقیق و توسعه پرداخت و نتایج مطلوب کسب کرد؟ پاسخ به این سوال نیاز به شناخت عوامل مؤثر بر تحقیق و توسعه در این صنعت دارد. یکی از این عوامل، همکاری و هم‌افزایی بین دانشگاه و صنعت است. از آن‌جا که دانشگاه محل تولید دانش و نخبگان است و صنعت محل به کارگیری آن، برای همخوانی بیشتر تحقیقات دانشگاهی با نیازهای صنعت و همچنین برای استفاده مطلوب صنعت از دانش و تجربه دانشگاه، لازم است که رابطه بین دانشگاه و صنعت قوی و مستمر باشد. در این شماره از فصل‌نامه فناوری همراه، با جناب آقای دکتر هادی علی‌اکبریان هیئت علمی گروه مخابرات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر به گفتگو در خصوص چالش‌ها و فرصت‌های فناوری‌های نوین مخابراتی در صنعت ICT با تمرکز بر حوزه شبکه‌های رادیویی پرداخته‌ایم. در این راستا، میزان هم‌راستایی پروژه‌های دانشگاهی و نیاز صنعت، نقش مرکز تحقیق و توسعه همراه اول در هم افزایی رابطه بین دانشگاه و صنعت، نزدیکی هر چه بیشتر فعالیت‌های صنعت و دانشگاه و اثرات مثبت آن بر کیفیت و کمیت تحقیق و توسعه با توجه به پتانسیل‌های بالقوه و بالفعل موجود موضوعاتی هستند که در این مصاحبه مورد بحث قرار گرفته‌اند.

از همکاری‌های دکتر علی‌اکبریان با مرکز تحقیق و توسعه همراه اول، پروژه طراحی و ساخت آنتن هیبرید یا چندگانه است. در این پروژه می‌توان قابلیت‌های سایت‌های FDD و TDD را روی یک دکل واحد داشت که این موضوع منجر به کاهش تعداد آنتن‌ها در سایت‌ها و در نتیجه کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی سایت‌ها برای کاربردهای جدید می‌شود. در شکل ۱ تصویری از اعضای پروژه در کنار خروجی آن ارائه شده است.

شکل ۱ -اعضای پروژه طراحی و ساخت آنتن هیبرید یا چندگانه به سرپرستی دکتر علی‌اکبریان در مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

برای آشنایی بیشتر خوانندگان، لطفاً درباره خودتان، سوابق و تجارب‌تان در صنعت ICT بفرمایید.

من در سال ۷۷ در رشته مهندسی برق-مخابرات وارد دانشگاه تهران شدم. دوره کارشناسی‌ارشد و امریه خود را نیز در این دانشگاه گذراندم. سپس جهت گذراندن دوره دکتری به بلژیک رفتم و مدرک دکتری خود را از دانشگاه KU Leuven دریافت نمودم. از سال ۹۲ در دانشگاه خواجه نصیر مشغول به خدمت هستم. در این سال‌ها در زمینه رادیویی و آنتن در حوزه‌های مختلف فعالیت داشته‌ام. شروع فعالیت و همکاری من به‌صورت مستقیم با صنعت ICT از حدود سه سال پیش است که از طریق همکاری با همراه اول شکل گرفت.

با توجه به تجربه‌هایی که در صنایع متفاوت داشته‌اید، به نظر شما مهم‌ترین تفاوت تحقیق و توسعه در صنعت ICT و سایر صنایع چیست؟

اجازه بدهید این سؤال را به نوع دیگری پاسخ دهم. صنعت مخابرات در کشور، دارای دو بازوی اصلی (۱) ICT تجاری و (۲) صنایع و پژوهشکده‌های مخابرات در حوزه نظامی است. به‌صورت کلی، در همه جای جهان از جمله ایران، صنعت نظامی چند گام جلوتر از سایر صنایع است، این موضوع به‌علت حساسیت بالاتر و لذا تزریق سرمایه بیشتر در آن سمت است. در همه جای دنیا سرریز فناوری نظامی وارد صنایع تجاری می‌شود که ایران هم از این امر مستثنی نیست. لکن به نظر من یکی از اولین و مهم‌ترین تفاوت‌هایی که در این دو حوزه وجود دارد بخش رقابت مارکت است. معمولاً در حوزه نظامی این رقابت آن‌چنان داغ نیست. اما در صنعت ICT رقابت بسیار فشرده است. این موضوع باعث می‌شود تا پویایی این صنعت نسبت به حوزه‌های نظامی بسیار بیشتر باشد. همچنین یکی دیگر از تفاوت‌های اساسی این صنایع تیراژ محصولات است. معمولاً در زمینه فعالیت در پروژه‌های نظامی تعداد محصولات تولید شده بسیار محدود است و شاید در نهایت چند ده دستگاه از محصول تولید شود. اما درباره پروژه‌های صنعتی، صحبت از چند هزار دستگاه از محصول نهایی پروژه است. در نتیجه چالش‌های تأمین قطعات و به‌طور کلی تأمین لجستیک پروژه‌های تجاری بسیار بیشتر از پروژه‌های نظامی است. هرچند که بحث تحریم‌ها نیز بر هر دو حوزه تأثیر چشمگیری داشته است.

با توجه به تجربه‌های تحصیلی و پژوهشی‌تان در ایران و خارج از کشور، ارزیابی شما از میزان هم‌راستایی پژوهش‌های دانشگاهی و نیاز صنایع در کشور چگونه است؟ نقش اپراتورها و شرکت‌های بزرگ در بهبود این ارتباط چه میزان است؟

ابتدا باید بگوییم بهتر است بپذیریم در کشور ما صنعت تلکام، حداقل در حوزه رادیویی، آن‌چنان قدرتمند نیست. و باید توجه داشت که ما در حال توسعه هستیم. البته بسیاری از کشورهای توسعه یافته نیز صنعت تلکام قوی ندارند. اما در مقایسه با کشورهایی که در این صنعت حرفی برای گفتن دارند، صنعت ما عمق ندارد و ما بیشتر به‌دنبال مهندسی معکوس هستیم! البته علت آن هم این است که این صنعت مارکت تقریباً داخلی دارد و لذا آن‌چنان بازار بزرگی نیست و طبیعتاً در این صنعت تحقیق و توسعه نیز آنچنان به صرفه نیست. چرا که کار این صنعت آن است که برای همین مارکت کوچک خود محصولاتی تولید کند و بفروشد و نیاز به تحقیق و توسعه در چنین مارکت کوچکی حس نمی‌شود. در صورتی هم که سازمانی در کشور ما به‌دنبال تحقیق و توسعه برود، این تحقیق و توسعه بر لبه فناوری نیست بلکه با توجه به نیاز مارکت چند گام عقب‌تر از لبه فناوری است. از طرفی بر خلاف صنعت، دانشگاه‌ها بر اساس سیاست‌هایی که دارند و همچنین رقابت‌هایی که برای رتبه‌بندی‌های ملی و بین المللی آن‌ها است علاقه دارند تا در لبه فناوری فعالیت نمایند. به‌عبارت دیگر در دانشگاه‌ها پژوهش بر اساس نیازهای صنعتی کشور نهادینه نشده است. این مسائل سبب شده تا بین صنعت و دانشگاه یک شکاف عمیق به وجود آید. اما به نظرم با اقداماتی مانند تأسیس مراکز رشد و پارک‌های علم و فناوری از سمت دانشگاه‌ها و همچنین مراکز تحقیق و توسعه از سوی صنعت می‌توان این فاصله را کاهش داد و این همان کاری است که همراه اول با تأسیس مرکز تحقیق و توسعه آن را شروع کرده است. نکته مثبتی که درباره این مرکز وجود دارد آن است که به‌واسطه شرکت همراه اول یک وجه صنعتی

دارد و همچنین به‌واسطه کارکنانش که بخش زیادی از آن از دانشگاه وارد شده‌اند یک ارتباط خوب با دانشگاه دارد.

در صحبت‌هایتان به این موضوع اشاره کردید که صنعت به‌صورت عملیاتی از لبه فناوری فاصله دارد اما جامعه دانشگاهی علاقه دارد تا در لبه فناوری فعالیت نماید. به نظر شما برای کاهش این فاصله و نزدیکی و هم‌راستایی هر چه بیشتر فعالیت‌های صنعت و دانشگاه چه می‌توان کرد؟

اولاً از دید یک دانشگاهی باید بگویم که به نظرم همواره می‌توان از پروژه‌های صنعتی نیز مقاله‌های علمی استخراج کرد. اما در دانشگاه‌ها مقالات داغ و یا مقالاتی با تعداد استناد زیاد بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند که خروجی فعالیت‌های صنعتی-دانشگاهی معمولاً چنین در نمی‌آید. این سیاست‌ها باعث می‌شود که توجه استاد دانشگاه بیش از حد به لبه فناوری معطوف شود. البته من مخالف مقاله و ثبت اختراع نیستم اما باید نیازهای کشور را نیز در نظر گرفت. این موضوعات زمانی خوب هستند که خروجی یک کار واقعی باشند نه هدف آن. به نظر می‌رسد نیاز است تا دانشگاه‌ها تا حدودی در سیاست‌های خود تجدید نظر کنند. البته قبلاً در بسیاری از صنایع نبود مراکز تحقیق و توسعه و همچنین تحقیقات کم عمق باعث می‌شد تا اساتید علاقه ای به همکاری در پروژه‌های صنعتی نداشته باشند. اما در موضوع مورد بحث ما اتفاق‌هایی مانند تأسیس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول کمک کرده تا تحقیقات دانشگاهی با نیازهای صنعتی همسوتر شوند.

شما گفتید که صنعت ICT ما عمق ندارد. این امکان وجود دارد که بتوانیم این صنعت را بهبود ببخشیم؟ به نظر شما این صنعت می‌تواند با تلاش مؤثر در مقیاس جهانی جایگاه شایسته‌ای کسب کند؟ علاوه بر این، نقش شرکت‌ها و سازمان‌هایی که در اکوسیستم صنعت در کشور فعالیت می‌کنند، در بهبود عملکرد و ارتقای حضور بین‌المللی کشور در این زمینه چیست؟

سؤال خوبی بود. البته افرادی که بیشتر در صنعت هستند بهتر می‌توانند پاسخ این سؤال را بدهند. اما من نظر خودم را می‌گویم. اولاً باید بگویم که ما متخصص‌های بسیار خوبی در کشور داریم. این موضوع به ما ثابت شده که درست است که از نظر فناوری از کشورهای پیشرو عقب هستیم اما از نظر دانش خیر. متخصصین ما همواره دانش خوبی داشته‌اند و اکنون نیز همین طور است. شاهد مثال آن اینکه جوان‌ها و میانسال‌های صنعت و دانشگاه ما به‌صورت روزانه در حال مهاجرت به بهترین شرکت‌ها و دانشگاه‌های جهان هستند. این خیلی بد است! لکن نشان از کیفیت آن‌ها دارد. در این زمینه می‌توان خیلی صحبت کرد اما من فکر می‌کنم یکی از مهم‌ترین عوامل عدم پیشرفت این صنعت، بازار کوچک آن است. متأسفانه به‌دلیل تحریم‌ها مارکت قابل دسترسی بین‌المللی ما نیز کوچک شده است. این در صورتی است که حتی در کشورهای ضعیف‌تر از ما شرکت‌ها به‌علت دسترسی به مارکت بزرگ امکان رشد دارند. البته باید این موضوع را در نظر بگیریم که تحریم‌ها کار را سخت می‌سازند اما غیر ممکن نه. به نظر می‌رسد ما باید پیش از هر چیز برای خودمان مارکت تولید کنیم. یکی از کارهایی که مرکز تحقیق و توسعه انجام می‌دهد همین ایجاد مارکت است. مسلماً برای شرکت همراه اول بسیار راحت‌تر است که به‌جای تحقیق و توسعه نیازهای خود را از تأمین کنندگان خارجی تأمین کند. اما این شرکت سختی تحقیق و توسعه را به جان می‌خرد تا مارکت برای بازیگران داخلی نیز ایجاد شود. البته بازیگران داخلی نیز باید سعی کنند تا جای ممکن برای خود چه در داخل و چه در خارج از کشور بازار ایجاد کنند. این کار می‌تواند سبب شود که این بازیگران با نیازهای جدید رو به رو شوند و در نتیجه دست به تحقیقات عمیق‌تر بزنند که این تحقیقات خود موجب پیشرفت آن‌ها و اکوسیستم می‌شود. اما چالش‌هایی مانند نگهداشت نیروی انسانی و نداشتن مارکت به‌دلیل تحریم‌ها نیز وجود دارد.

مسیر ایفای نقش در عرصه بین‌المللی را چگونه می‌بینید؟ آیا امکان عقد تفاهم‌نامه بین دانشگاه‌های داخلی و خارجی وجود دارد؟ به نظرتان می‌توان از مسیر دانشگاه‌ها تیم‌های بین‌المللی تشکیل داد و برای انجام پروژه‌های بین‌المللی برنامه‌ریزی کرد؟

این موضوع را صنعتگر ها بهتر می‌توانند پاسخ دهند. ما از دیدگاه دانشگاهی جواب می‌دهیم. البته به‌علت اینکه دانشگاه‌های خارجی بعضاً در صنایع‌شان چند قدم جلوتر هستند تحقیقاتشان با تحقیقات مورد نیاز ما فاصله دارد. وگرنه این مسئله کاملاً ممکن و بلکه در حال حاضر در برخی دانشگاه‌ها در حال اجرا است! اما با توجه به فاصله‌ای که میان صنایع داخلی و خارجی وجود دارد، خروجی این فعالیت‌های بین‌المللی مشترک معمولاً صنایع خارجی است و نه صنایع داخلی.

همراه اول برای بهبود ارتباط دانشگاه و صنعت برنامه‌های حمایتی متفاوتی نظیر طرح پژوهانه همراه اول (گرنت)، دوره‌های کارآموزی و طرح‌های حمایتی از ایده‌های پژوهشی را برگزار می‌کند. تاثیر این برنامه‌ها را در بهبود

ارتباط دانشگاه و صنعت، کارآفرینی، اشتغال‌زایی و توسعه بازار چگونه ارزیابی می‌کنید؟

به نظرم این طرح‌ها بسیار مفید هستند و باید خیلی پیش از این شروع می‌شدند. اجازه بدهید با طرح پژوهانه شروع کنم. به‌عنوان اولین مزیت این طرح می‌توانم به هم‌راستایی پژوهش‌های دانشگاهی و نیازهای صنعتی اشاره کنم. پتانسیل بزرگی در کشور وجود دارد تحت عنوان پایان‌نامه‌ها. تا پیش از این، این پتانسیل صرف عنوان‌هایی می‌شد که از نیاز صنعتی کشور بسیار دور بودند. به نظر می‌رسد همراه اول توانسته با استفاده از این طرح بخش بزرگی از این پتانسیل را معطوف نیازهای خود کند. فرض کنید همراه اول در یک دانشگاه به طور متوسط از تعداد ده پایان نامه حمایت کند. شاید مجموع رقم همه این قراردادها برای همراه اول عدد بالایی نباشد. اما با همین رقم کم توانسته بیش از ده نفر را در راستای نیازهای خود تشویق به تحقیق و توسعه و فعالیت کند درحالی که دریافتی ماهیانه دانشگاه برای هر کدام از این طرح‌ها تقریباً یک هشتم حقوق یک محقق تمام وقت کامل است. اگر فرض کنیم از هر صد پایان نامه یکی منجر به حل یک نیاز همراه اول شود یعنی این شرکت توانسته با صرف هزینه ناچیز نیاز خود را بر طرف سازد. البته مطمئناً نرخ موفقیت این پایان‌نامه‌ها بیش از این است. علاوه بر این به نظرم همراه اول توانسته با استفاده از این طرح به تقویت اکوسیستم و تربیت دانشجوها مطابق با نیازهای صنعت نیز کمک کند. و این امر باعث شده است بسیاری از پایان‌نامه‌ها با اینکه تحت پوشش گرنت نیستند سعی می‌کنند تا طبق نیاز صنعت پیش بروند. اما همچنان چالش علاقه جامعه دانشگاهی به مسائل لبه فناوری و دور بودن صنعت از فضای دانشگاه وجود دارد. به نظرم همواره درصدی هم‌پوشانی بین نیاز صنعت و علاقه جامعه دانشگاهی وجود داشته و دارد. در نتیجه می‌توان پایان‌نامه‌ها را به شیوه‌ای تعریف نمود که برای هر دو طرف برد-برد باشد. برای مثال یکی از دانشجوهای من در نظر داشت تا برای پایان‌نامه‌اش موضوعی تعریف کند که خیلی با نیاز صنعت هم‌راستا نبود. اما توانستیم با تغییر مشخصات فنی این پایان نامه آن را همسو با نیازهای همراه اول نماییم. و یا در موردی دیگر پایان نامه یکی از دانشجوهای کارشناسی‌ارشد من مطابق با یکی از پروژه‌های مرکز تحقیق و توسعه تعریف شد و ایشان توانست در بخشی از این پروژه مفید بوده و نقش مؤثری داشته باشد.

درباره کارآموزی نیز، دو مدل وجود دارد. کارآموزی که

توسط آکادمی همراه اول تعریف می‌شود و همچنین کارآموزی که به‌صورت معمول در دانشگاه‌ها و پیش از پایان تحصیلات انجام می‌شود. در مورد اول به نظرم این دوره‌ها بیشتر برای آموزش و تأمین نیروی انسانی همراه اول انجام می‌شود که اتفاقاً بسیار خوب است. چرا که فردی که تحصیلات خود را به اتمام رسانده و تجربه کار صنعتی ندارد احتمالاً هنوز برای برای کار صنعتی آماده نیست و نیاز به آموزش دارد و این دوره می‌تواند این نیاز را بر آورده سازد. به نظرم برنامه‌هایی مانند این دوره‌ها بسیار ضروری هستند. اما درباره مدل دوم کارآموزی که در دنیا نیز به نام اینترنشیپ Internship بسیار رواج دارد، دانشجو معمولاً قبل از پایان تحصیلاتش این دوره را می‌گذراند. به نظرم این مدل نیز بسیار ضروری است که می‌تواند به برنامه کارآموزی همراه اول اضافه شود.

این سیاست کلی که همراه اول سعی دارد با دانشگاه‌ها ارتباط تنگاتنگ داشته باشد و حمایت نماید بسیار خوب است و از همین حالا اثرات خوب آن را می‌توان مشاهده کرد. البته می‌توان گفت در این اقدامات یکسری مشکلات اجرایی نیز وجود دارد. به‌عنوان مثال می‌توان به فرآیند طولانی اداری و یا کمبود برنامه ریزی برای استفاده از خروجی این طرح‌ها اشاره کرد. همراه اول هم اکنون جهت ارتباط بیشتر دانشجو با صنعت برای او همراه پژوهش مشخص می‌کند. به نظرم همراه پژوهش‌ها باید در طول مسیر پروژه بیشتر همراه دانشجو باشند. فکر می‌کنم بهتر است آن‌ها علاوه بر روند گزارش گیری فعلی، یک مشاور صنعتی باشند و نکات صنعتی را نیز به دانشجو بگویند و او را در جهت صنعتی‌شدن پایان نامه‌اش همراهی کنند.

با توجه به همکاری‌هایی که با مرکز تحقیق و توسعه همراه اول داشته‌اید، نقش مرکز را در حمایت از طرح‌های دانشگاهی با هدف افزایش هم‌راستایی پروژه‌های دانشگاهی با نیاز صنعت چگونه می‌بینید؟ پیشنهاد شما جهت مؤثرتر شدن این ارتباط چیست؟

خب من بسیار خوشحال هستم که همراه اول این فرصت را به اساتید دانشگاهی داده تا در صنعت بتوانند ایفای نقش کنند. اما همان طور که قبلاً گفتم بروکراسی‌های اداری زمان‌بر هستند. یکی از چالش‌های دیگری که در این پروژه‌ها داشتیم نبود دید اقتصادی در تیم دانشگاهی بود. یعنی ما در تأمین لجستیک و امکانات این پروژه‌ها بسیار چالش داشتیم. اما تیمی که از طرف مرکز تحقیق و توسعه همراه اول به پروژه اختصاص یافته‌بود در تأمین لجستیک، تجهیزات تست و تأمین قطعه به ما بسیار کمک کرد. به نظرم در تعریف پروژه‌های مربوط به دانشگاه باید به این نکته توجه داشته باشیم که کار دانشگاه نوآوری است. در

حقیقت در دانشگاه ما به نوآوری و حل مسئله و البته پیاده‌سازی می‌پردازیم و تخصص در اموری مانند بازرگانی، مالیات و بیمه نداریم که البته درصدی از این کارها باید بر عهده بدنه اداری دانشگاه‌ها باشد که متأسفانه نیست. لذا وقت و انرژی که از مجریان پروژه دانشگاهی در این امور گرفته می‌شود به‌مراتب بیشتر از یک محقق معادل در یک دانشگاه خارجی است. این مهارت تأمین قطعه و لجستیک همچنان در دانشگاه‌ها وجود ندارد. خاطرم هست که در دوره دکتری در بلژیک وقتی قطعه‌ای نیاز داشتم، کافی بود شماره قطعه آن را از یکی از تأمین‌کننده‌های اصلی همانند فارنل یا موزر در یک سامانه وارد می‌کردم و قطعه بین ۲۴ ساعت تا نهایتاً یک هفته روی میز من بود! یا برای سفارشات بورد و لحیم کاری و... یک کارگاه حرفه‌ای داشتیم که خودشان انجام می‌دادند. این در حالی است که این نوع فعالیت‌ها امروزه در پروژه حدود ۵۰ درصد از توان ما را به هرز می‌برند.

به نظر من در شرایط حاضر دانشگاه‌ها نهایتاً تا TRL7[1] می‌توانند در پروژه‌ها شرکت نمایند و در تعریف پروژه‌ها باید به این نکته توجه نماییم. البته منظور من این نیست که به دانشگاه ساده بگیریم و در نتیجه به یک پروژه بی‌ثمر برسیم. یکی دیگر از چالش‌هایی که در کارهای صنعتی در دانشگاه داریم مسئله نیروی انسانی است. چرا که عمده نیروی انسانی موجود در دانشگاه از دانشجویان تشکیل شده که در مدت خیلی کوتاهی از دانشگاه خارج می‌شوند. دانشگاه‌ها ذاتاً پویا هستند. و متأسفانه هسته‌های نوآوری و دانش بنیان در دانشگاه‌ها به‌خوبی تشکیل نشده‌اند.

به‌عنوان فردی که سال‌هاست در صنعت تلکام و به‌طور خاص حوزه رادیویی فعالیت دارید، توانمندی کشور را در ابعاد متفاوت تخصص، مهارت فنی و زیرساخت در مباحث رادیویی چطور ارزیابی می‌کنید؟ به نظر شما چه موانع و چالش‌هایی در زمینه ساخت تجهیزات رادیویی در کشور وجود دارد؟ و شرکت‌ها نیازمند چگونه حمایت‌هایی برای فعالیت در این حوزه هستند؟

همانند دانشگاه‌ها چالش منابع انسانی در شرکت‌ها نیز حس می‌شود. متأسفانه سرعت خروج نیروی‌های کارآمد در شرکت‌های ما بسیار بیشتر از کشورهای خارجی است. سرمایه یک سازمان نیروی انسانی آن است نه ملک و زمین و تجهیزات. پس رفتن نیروی انسانی چالش بسیار جدی و بزرگی است. اگر سرعت خروج نیروها زیاد باشد شرکت‌ها توانایی جایگزینی این نیروها را نخواهند داشت.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد بسیاری از فعالان در صنایع نظامی علاقه دارند تا در صنعت ICT وارد شوند و بسیاری نیز وارد این حوزه شده‌اند. این موضوع هم می‌تواند برای صنعت مثبت باشد هم منفی. با توجه به حمایت‌های مناسبی که از شرکت‌های فعال در حوزه نظامی شده است و زمانی که این شرکت‌ها جهت توسعه داشته‌اند می‌توان گفت اکثر آن‌ها بسیار توانمند هستند. این توانمندی با اندکی تغییر قابلیت آن را دارد که در صنعت ICT استفاده شود. به همین دلیل می‌توان انتظار داشت که این صنعت در کشور ما شاهد پیشرفت‌هایی باشد. اما این موضوع چالش‌هایی هم به‌همراه خواهد داشت. شرکت‌های فعال در حوزه نظامی باید توجه کنند که صنعت ICT بسیار رقابتی است. امری که در حوزه نظامی کمتر دیده می‌شود. لذا نیاز است این شرکت‌ها مارکت را به‌خوبی شناسایی کنند. از طرفی بسیاری از تجهیزات رادیویی که در ICT و صنایع نظامی استفاده می‌شوند مشترک هستند. این موضوع باعث می‌شود که تحریم‌ها بر رشد این صنعت نیز تاثیر بزرگی بگذارند. در حال حاضر به‌دلیل تحریم‌ها توانایی تأمین بسیاری از محصولات خارجی وجود ندارد. مرکز تحقیق و توسعه نیز سعی کرده است تا بخشی از مارکت را به فعالان داخل کشور اختصاص دهد. اما این شرکت‌ها باید سعی کنند تا محصولات

1- Technology readiness level

خود را رقابتی کنند. چرا که در صورت رفع تحریم‌ها این احتمال وجود دارد که مارکت خود را از دست دهند. یکی دیگر از چالش‌های حوزه رادیویی وابستگی آن به تجهیزات است. در نقطه مقابل یک محصول هوش مصنوعی را در نظر بگیرید. این محصول بیشتر به نرم‌افزار وابسته است و هزینه تأمین قطعات چندانی ندارد. اما در حوزه رادیویی تأمین قطعات هزینه‌های بزرگی را به ما تحمیل می‌کند و شرکت برای اینکه بتواند محصولی رقابتی تولید نماید باید حاشیه سود کمی برای خود در نظر بگیرد.

آینده صنعت تلکام را با حضور روندهای نوظهوری مانند 6G چگونه می‌بینید؟ منتظر چه تغییرات شگرفی در حوزه شبکه‌های رادیویی باشیم؟ شرکت‌های فعال باید خود را برای چه موضوعاتی آماده کنند؟

برای پاسخ به این سوال بر حوزه تخصصی خودم تمرکز می‌کنم. در مورد نسل پنجم در باند زیر شش گیگاهرتز از جنبه رادیویی چالش چندانی نداریم. چرا که خیلی از تجهیزات آن را حتی با مشخصات فنی بهتر در صنعت نظامی پیاده‌سازی کرده‌اند. اما وقتی وارد باند میلی‌متری می‌شویم با یک جهش فناوری بزرگ مواجه می‌شویم. و استفاده از این باند به‌مرور بیشتر می‌شود. بازیگران بزرگ جهانی نیز در این باند مشغول تحقیق و توسعه هستند. اما برای ما شرایط بسیار دشوار است. چرا که صنعت درآمد کمی دارد و امکان هزینه کردن بر تحقیق و توسعه این باند که بسیار پر هزینه است را ندارد. همچنین تحریم‌های بیشتری هم در این باند وجود دارد. تمام این موارد دست به‌دست هم می‌دهند که چالش‌های جدی‌تری داشته باشیم. این شرایط در نسل ششم نیز بدتر می‌شوند. البته ما باید این فناوری را رصد کنیم تا در زمان مناسب وارد آن شویم. ممکن است مانند فناوری نانو که در جای مناسب وارد آن شدیم و امروز حرفی برای گفتن داریم، شرایطی وجود آید که بتوانیم در زمان مناسب وارد نسل ششم شویم. اکنون دانشگاه‌ها می‌توانند در رصد فناوری فعال ظاهر شوند. به نظرم یکی از کارهای دانشگاه همین است. مراکزی مثل مرکز تحقیق و توسعه می‌توانند با مشارکت دانشگاه‌ها این رصد فناوری را انجام دهند. برای مثال ممکن است بتوان از اطلاعاتی که در اجلاس‌هایی مانند اجلاس ITU یا نمایشگاه‌ها و کنفرانس‌ها به‌دست می‌آید استفاده کرد. البته باید یک تبادل اطلاعات بین مرکز تحقیق و توسعه و دانشگاه‌ها برقرار باشد. در کل فکر می‌کنم الان زمان رصد فناوری است نه ورود به آن. شاید حتی بتوان به رویدادهای مشترک بین دانشگاه‌ها و مرکز تحقیق و توسعه فکر کرد که در آن‌ها به بررسی و رصد فناوری نسل ششم پرداخت.

سخن آخر؟

باید همواره به این موضوع توجه داشته باشیم که در دانشگاه‌ها پتانسیل‌های بسیار خوبی وجود دارد. خوشبختانه تا به امروز حمایت‌های بسیار خوبی از جانب مرکز تحقیق و توسعه همراه اول وجود داشته است. این مرکز دقیقاً در جای مناسبی دست گذاشته و سعی کرده فاصله بین دانشگاه و صنعت را کاهش دهد. البته مشکلاتی نیز داشته است. اما این مشکلات از فرآیندها بوده نه از مرکز تحقیق و توسعه. به نظر می‌رسد که این اراده جهت بهبود فرآیندها در مرکز وجود دارد هرچند که اصلاحات این فرآیندها بسیار کند انجام می‌شود. امیدوارم ارزیابی‌های کلان نیز از این مرکز خوب بوده باشد. اما در نهایت فکر می‌کنم مرکز تحقیق و توسعه همراه اول در آینده نقش بسیار اساسی در پیشرفت صنعت ICT در کشور ایفا کند.

رصد

Technology Scouting

فناوری همراه
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم
رصد فناوری

بررسی روش‌های کاهش مصرف انرژی در شبکه دسترسی رادیویی 5G

کیوان احمدی
دکتری مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

در این مقاله راه‌های صرفه‌جویی انرژی در شبکه دسترسی رادیویی نسل پنجم (5G) شناسایی شده و اصول و فناوری‌های اصلی صرفه‌جویی انرژی در آن توصیف می‌شود. فناوری‌های قابل استفاده در صرفه‌جویی انرژی در شبکه مانند خاموشی حامل، خاموشی کانال، خاموشی سمبل در شبکه 5G (که از شبکه 4G به ارث رسیده‌اند) بررسی شده‌اند. با این وجود، برای تأمین نیازها به توسعه راه حل‌های موجود پرداخته شده و راه حل‌های نوین مانند استفاده از هوش مصنوعی (AI) و تحلیل داده‌های بزرگ معرفی شده است تا رویکرد دقیق‌تری بر اساس ترافیک و شرایط مرتبط با مکان شبکه شکل بگیرد. در پایان دو کاربرد تجاری از راه‌حل‌های صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی تشریح می‌شوند. یکی از آن‌ها صرفه‌جویی انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی برای شبکه‌های 4G/5G است که می‌تواند مصرف انرژی را تا ۲۰ % کاهش دهد. راه حل دیگر استفاده از الگوی پرتو با به‌کارگیری یک معماری جدید است که صرفه‌جویی انرژی با استفاده از آن در حدود ۳۰ % است. این دو راه کار می‌توانند به اپراتورهای شبکه تلفن همراه در دستیابی به شبکه با بهره‌وری انرژی بالا، عملکرد شبکه قابل قبول و کاهش هزینه‌های عملیاتی کمک کنند.

کلیدواژه: 5G، هوش مصنوعی، ایستگاه پایه، بازدهی، صرفه‌جویی در انرژی، شبکه دسترسی رادیویی.

مقدمه

سخن ابتدایی این است که تغییرات آب و هوا بزرگ‌ترین چالش زمان ماست. حتی یک جایزه نوبل در سال ۲۰۲۱ به پژوهشگران این حوزه اهدا شد و به گزارش GSMA[1] در همان سال [۲]، بسیاری از اپراتورهای شبکه تلفن همراه اهداف جسورانه‌ای درباره به صفر رساندن تولید کربن در نظر گرفته‌اند. به‌عنوان مثال Orange سال ۲۰۴۰ را برای کربن صفر تعیین کرده است. در عین حال، در دستورالعمل تدوین شده توسط GSMA برای اپراتورهای شبکه موبایل درباره اهداف اقلیمی، هدف کاهش انتشار کربن تا ۴۵% از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۳۰ در نظر گرفته شده‌است [۱-۳]

برای دستیابی به این اهداف، نیازمند رویکردهای جدید در ارتقای شبکه‌های سبز هستیم. مصرف کلی انرژی توسط صنعت موبایل طبق برخی پیش‌بینی‌ها در عرض ده سال سه‌برابر خواهد شد و شبکه 5G[2] نقش بزرگی در این افزایش خواهد داشت [۴] بزرگ‌ترین چالش در صرفه‌جویی انرژی شبکه موبایل مربوط به ایستگاه‌های پایه[3] است که بر اساس گزارش GSMA، حدود ۷۳% از مصرف کل انرژی یک شبکه موبایل معمولی را تشکیل می‌دهد [۵] بنابراین، مهم‌ترین کاری که باید انجام داد، کاهش اثر کربن به هر روش ممکن (البته با در نظر گرفتن تجربه کاربری) است.

خبر خوب این است که برای صرفه‌جویی انرژی در 5G، ما نیازی نداریم تا همه‌چیز را از ابتدا اختراع کنیم. راه‌کارهای صرفه‌جویی در انرژی شبکه، مانند خاموشی حامل، خاموشی کانال، خاموشی سمبل و غیره که از دوران 4G[4] به وجود آمده‌اند، هنوز هم قابل استفاده هستند و می‌توانند مصرف انرژی 5G را کاهش دهند. در ادامه مختصری از این مفاهیم ارائه می‌شود.

1- Groupe Spécial Mobile Association
2- 5th generation
3- Base station
4- 4th generation


5G
5G
5G
5G
5G
5G

در سیستم‌های رادیویی MIMO که از دوران 4G مورد استفاده قرار گرفته است، هنگامی که بار ترافیک شبکه کم است، بخش‌هایی از کانال‌ها (تقویت‌کننده‌های توان و فرستنده-گیرنده‌ها) می‌توانند به منظور صرفه‌جویی در انرژی خاموش شوند که به آن خاموشی کانال گفته می‌شود. پس از خاموش شدن این بخش‌ها، چگالی طیف توان کانال‌های باقی‌مانده باید افزایش یابد تا اطمینان حاصل شود که کل پوشش سلولی تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. این روش در سیستم‌های تک-فرکانس استفاده می‌شود. در مواردی که استفاده از خاموشی کانال قابل استفاده نیست، می‌توان از روش خاموشی سمبل استفاده کرد. در این روش هنگامی که ترافیک شبکه کم است، زمان‌بند[1] از تعداد کمتری از سمبل‌ها در اختصاص منابع استفاده می‌کند که این باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. هنگامی که بار ترافیک شبکه کم است، ایستگاه پایه می‌تواند برخی از اسلات‌ها را برای صرفه جویی در انرژی خاموش کند. برای افزایش نسبت اسلات‌های بی‌کار، زمان‌بندی با متمرکز کردن داده‌ها در اسلات‌های خاص انجام می‌شود؛ به این روش خاموشی تجمیع سمبل گفته می‌شود. در شبکه‌های چند-فرکانسه و چند-حالته با بار ترافیکی کم، با خاموش کردن بخشی از شبکه که استفاده از آن کم است در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود که به آن خواب عمیق گفته می‌شود. در این حالت ابتدا کاربران به شبکه سطح پایین‌تر منتقل شده و بعد شبکه بالا خاموش می‌شود که به این روش خواب عمیق گفته می‌شود [۶]

علاوه بر این، فناوری‌های بهبود یافته مانند خواب عمیق، خاموشی تجمیع سمبل و... در دوران 5G در حال توسعه هستند. هدف این مقاله بررسی این راه‌کارها است.

1- Scheduler

اصول کاهش مصرف انرژی در ایستگاه پایه

مقیاس پذیری پویا

منظور از مقیاس پذیری پویا، قابلیت تغییر مصرف پویای انرژی با تغییرات به‌موقع و بلادرنگ متناسب با تغییرات بار است.

خاموش کردن

برای دستیابی به مصرف انرژی متناسب با منابع، مصرف انرژی استاتیک ممکن است قابل توجه باشد؛ هنگامی که منابع کاهش می‌یابند، مصرف انرژی (مصرف انرژی استاتیک) به سطحی می‌رسد که دیگر با مقدار منابع متناسب نخواهد بود. در چنین مواردی، غیرفعال‌سازی قطعه یا اجزایی که منجر به کاهش مصرف انرژی استاتیک می‌شود کمک کننده است. نقطه ضعف این روش آن است که قطعه از سرویس خارج می‌شود و برای فعال‌سازی مجدد نیاز به صرف زمان خواهد بود که کیفیت عملکرد شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این روش بین کیفیت شبکه و صرفه‌جویی انرژی بایستی یک نقطه بهینه انتخاب شود [۱]

مصالحه

صرفه‌جویی در مصرف انرژی شامل مصالحه‌های مختلف است، همان طور که در بخش ۲-۲ بیان شد، یکی از آن‌ها مصالحه بین کیفیت عملکرد شبکه و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. بسیاری از روش‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی، به‌دلیل تغییر در منابع و تعداد منابع، عملکرد اصلی سیستم را مختل می‌کنند. بنابراین، به‌دست آوردن وضعیت بهینه، کاری دشوار است. از سوی دیگر، در ساعت‌های کم باری شبکه مانند شب، ظرفیت بزرگی وجود دارد و اگر از این فضا به‌درستی بهره‌برداری شود، صرفه‌جویی در مصرف انرژی امکان‌پذیر است.

روش‌های پایه‌ای کاهش مصرف انرژی برای شبکه دسترسی 5G

فناوری 5G با اضافه کردن قابلیت‌های جدیدی به شبکه رادیویی، امکانات جدیدی را فراهم می‌کند و همچنین از منابع بیشتری از کانال، پهنای باند و آنتن استفاده می‌کند. این موضوع نه‌تنها به افزایش ظرفیت و قابلیت‌های شبکه منجر می‌شود، بلکه با رعایت اصول طراحی، فرصت‌های بزرگی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز به‌دست می‌دهد. به هر حال، با توجه به پیچیدگی شبکه 5G و دشواری عملیات و مدیریت داده‌ها، استفاده از الگوریتم‌های ثابت یا ساده برای تضمین عملکرد بهینه هنگام استفاده از فناوری‌های مختلف صرفه‌جویی در مصرف انرژی، دشوار است. بنابراین، باید از هوش‌مصنوعی[۲] استفاده شود و چگونگی استفاده از فناوری هوش‌مصنوعی برای تحقق صرفه‌جویی در مصرف انرژی در عملیات و مدیریت واحدهای ارتباطی بی‌سیم بیشتر و مهم‌تر می‌شود [۱] و [۶]

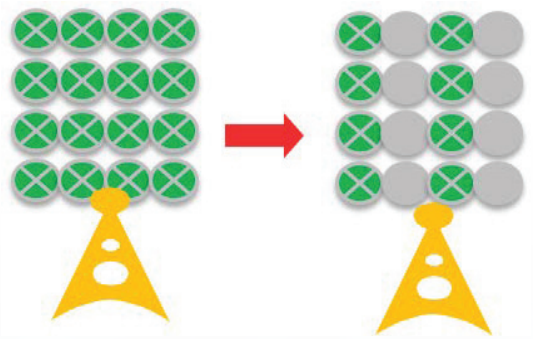
یک موضوع مهم که بایستی به آن توجه شود تاثیر روش استفاده شده بر کیفیت شبکه است؛ چرا که هر یک از روش‌های پیش رو می‌تواند روی عملکرد و کیفیت شبکه اثر داشته باشد و در نتیجه تجربه کاربر را تحت تاثیر قرار دهد. نکته این که در تمامی روش‌ها همواره بین میزان صرفه‌جویی در انرژی و کیفیت شبکه یک مصالحه وجود دارد. بنابراین لازم است در انتخاب روش دقت لازم وجود داشته باشد تا کمترین افت در کیفیت شبکه حاصل شود.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی در حوزه زمان

زمان‌بند تعدادی سمبل مشخص برای داده‌های فروسو[۳] را بر اساس بار سیستم و پیش‌بینی‌های لازم تخصیص می‌دهد و هنگامی که نیاز به ارسال اطلاعات نیست، تقویت‌کننده توان را خاموش می‌کند تا در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. به‌علاوه، امکان ایجاد سمبل‌های خالی، اسلات‌های زمانی و حتی زیرفریم‌ها با استفاده از برنامه‌ریزی هوشمند وجود دارد.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی در حوزه فضا

در صرفه‌جویی در مصرف انرژی در حوزه فضایی، تعدادی از کانال‌ها در سناریوهای با بار کم غیرفعال می‌شوند. به‌عنوان مثال در شکل ۱، خاموش کردن بخشی از آنتن MIMO، نشان داده‌شده‌است. دقت شود که ظرفیت باقیمانده باید برای خدمت رسانی به ترافیک کافی باشد اما به هر حال پوشش و نرخ انتقال داده ممکن است تحت‌تأثیر قرار گیرد چون برخی از ماژول‌های تقویت کننده توان و در نتیجه توان خروجی موجود از دسترس خارج می‌شوند. البته روش‌هایی برای جبران این موضوع وجود دارد. از آنجا که 5G و به‌طور کلی mMIMO[۴] از تعداد بیشتری آنتن و کانال RF نسبت به نسل‌های قبلی استفاده می‌کند، صرفه‌جویی در مصرف انرژی در حوزه فضایی یک فناوری صرفه‌جویی مهم در شبکه 5G است [۱]



شکل ۱- توصیف صرفه‌جویی انرژی در حوزه فضایی. در هنگام کم‌بار بودن سیستم، تعدادی از آنتن‌ها و کانال‌های مربوطه خاموش می‌شوند.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی در حوزه فرکانس

منظور از صرفه‌جویی انرژی در حوزه فرکانس، کاهش پهنای باند و در نتیجه کاهش مصرف توان است که به دو دسته بزرگ تقسیم می‌شود:

در مقیاس بزرگ؛ در این حالت یک حامل به‌طور کامل

2- Artificial intelligence

3- Down-link

4- Massive MIMO

شکل ۲- توصیف صرفه‌جویی انرژی در حوزه فرکانس؛ یکی از دو حامل (و بخش رادیویی مربوطه) غیر فعال‌شده‌اند.

قطع می‌شود و به همین دلیل گاهی به آن خاموشی (قطع) حامل می‌گویند. در این روش، همان طور که در شکل ۲ نشان داده‌شده‌است، حامل‌های مربوط به برخی باندهای فرکانسی قطع می‌شوند. وقتی این حامل‌ها به اجزای سخت‌افزاری فیزیکی مستقلی نگاشت می‌شوند (مانند یک واحد رادیو)، اجزای متناظر می‌توانند خاموش شده و از این طریق انرژی را صرفه‌جویی کنند.

در مقیاس کوچک، مانند کاهش پهنای باند و قطع زیر حامل؛ در این حالت، امکان قطع کامل یک یا چند حامل وجود ندارد بلکه فقط با تغییر در اختصاص واحدهای پردازشی می‌توان مصرف انرژی را کاهش داد که این همان مفهوم قابلیت پویا برای صرفه‌جویی انرژی است.

با راه‌اندازی شبکه 5G در باندهای فرکانسی جدید، صرفه‌جویی در مقیاس بزرگ در حوزه فضای فرکانسی، مانند قطع حامل، یک فناوری صرفه‌جویی مهم در حوزه انرژی خواهد بود.

در شبکه با بار کم و هم‌پوشانی شبکه‌ها، برخی از حامل‌ها قابلیت قطع را برای صرفه‌جویی در انرژی دارند. این عملکرد همچنین می‌تواند بر روی فناوری‌های دسترسی رادیویی مختلف به کار گرفته شود. به‌عنوان مثال، با در نظر گرفتن شبکه هم‌پوشانی NR[5] و LTE، می‌توانیم فرض کنیم که NR سیستم ظرفیت بالا و LTE سیستم پوشش پایه است. اگر ترافیک NR کم باشد، NR را می‌توان به‌صورت هوشمندانه قطع کرده و همزمان ترافیک را به LTE منتقل کرد. هنگامی که ظرفیت سرویس LTE از مقدار آستانه عبور می‌کند، حامل NR مجدداً فعال می‌شود. به این ترتیب، مصرف انرژی کل شبکه با حجم ترافیک تغییر می‌کند.

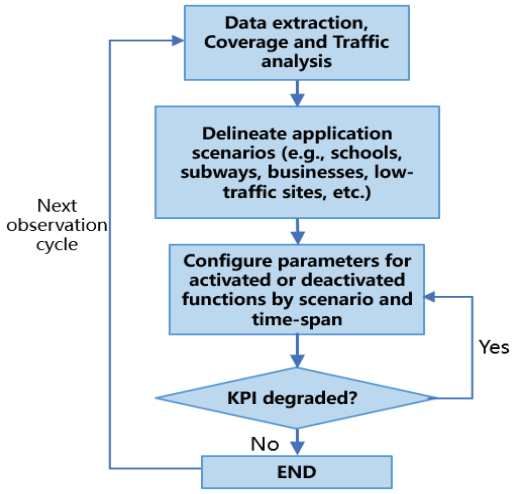
تقسیم‌بندی راه‌کارهای صرفه‌جویی در انرژی

راه‌کارهای صرفه‌جویی انرژی 5G اغلب به دو بخش تقسیم می‌شوند که عبارتند از حالت دستی و حالت یادگیری مبتنی بر هوش‌مصنوعی و یادگیری ماشین که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

حالت دستی

بر اساس تجزیه و تحلیل اولیه پوشش و ترافیک، راهکار صرفه‌جویی انرژی دستی برای سناریوهای ساده با استراتژی یکپارچه به کار می‌رود. به‌عنوان مثال، وقتی در بازه زمانی ۱۰ شب تا ۶ صبح، استفاده از PRB[6] کمتر از ۱۰ % است، خاموشی کانال فعال می‌شود. استراتژی لازم بر روی سامانه مدیریت عملیات[7] توسط نیروی انسانی پیکربندی می‌شود و میزان صرفه‌جویی در انرژی محاسبه می‌شود، همچنین شاخص‌های عملکرد توسط نیروی انسانی نظارت می‌شوند تا عملکرد شبکه تضمین شود. شکل ۳ روند گام به گام صرفه‌جویی انرژی 5G بر اساس حالت پیکربندی دستی را نشان می‌دهد.

در وهله اول اثر صرفه‌جویی در حالت دستی بسیار خوب است. اما با افزایش تعداد کاربران و بار ترافیکی شبکه، خطر تضعیف شاخص‌های عملکرد شبکه افزایش می‌یابد. با توسعه مداوم شبکه‌های 5G و کاربران آن، حالت سنتی دستی که عمدتاً بر تجربه مهندسان تکیه می‌کند، دیگر کارایی لازم را ندارد و نمی‌تواند به نیازهای کاربران پاسخ دهد.

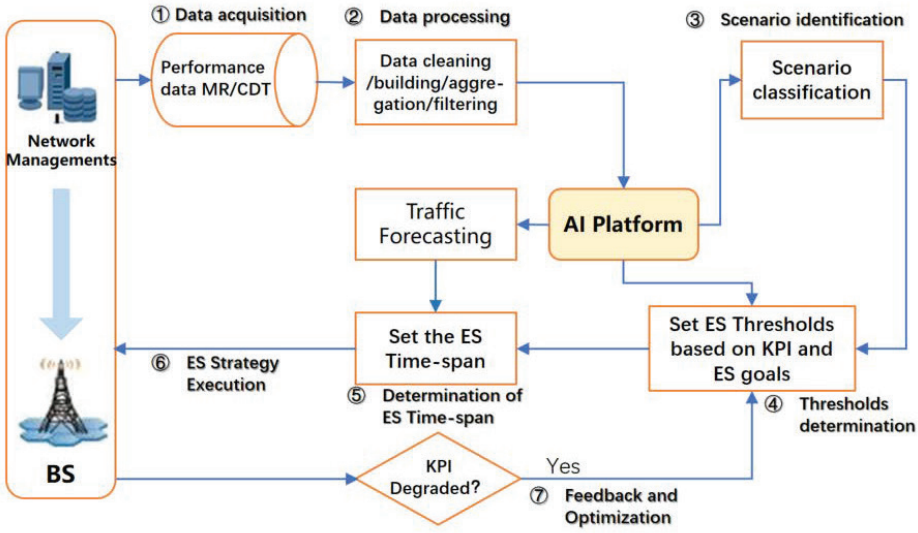


شکل ۳- فلوچارت صرفه‌جویی انرژی در 5G با استفاده از روش سنتی دستی [۱]

حالت یادگیری ماشین بر اساس هوش‌مصنوعی

در این روش ابتدا پیکربندی مختص به هر سایت، سابقه ترافیک و شاخص‌های عملکرد شبکه جمع‌آوری خواهند شد و با ترکیب الگوریتم‌های پیش‌بینی سری زمانی مانند LSTM[8]، الگوریتم بهینه‌سازی، پوشش شبکه، توزیع کاربران و آستانه اولیه پیش بینی خواهد شد. با پیش‌بینی ترافیک و ارزیابی استفاده از منابع رادیویی به‌صورت زمان‌بندی بلادرنگ، استراتژی صرفه‌جویی

5- New radio
6- Physical resource blocks
7- Operations management system
8- Long short-term memory



شکل ۴- فلوچارت صرفه‌جویی در انرژی 5G بر اساس AI [۱]

در انرژی مرتبط با هر سلول به شبکه اعمال خواهد شد تا تعادل بین عملکرد شبکه و مصرف انرژی حفظ شود. شکل ۴ نموداری از روش کار برنامه‌کاربردی صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش‌مصنوعی در شبکه 5G را نشان می‌دهد. در این روش الگوریتم هوش‌مصنوعی برای دستیابی به تعادل بیشینه بین عملکرد سیستم و اثر صرفه‌جویی در انرژی استفاده می‌شود تا با استفاده از داده‌های پایه مانند پیکربندی، آمار و گزارش اندازه‌گیری یا پیگیری جزئیات تماس شبکه موجود، صرفه‌جویی بهینه در انرژی شبکه و کاهش مصرف انرژی را تحقق بخشد [۱]

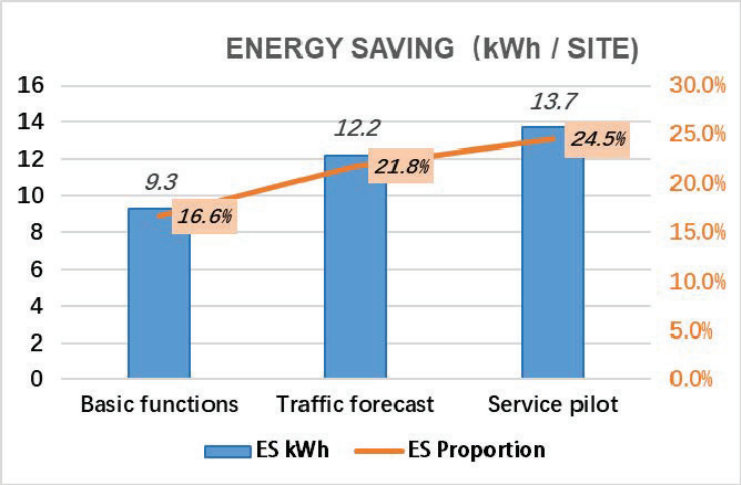
نمونه‌هایی از صرفه‌جویی انرژی 5G مبتنی بر AI

صرفه‌جویی سرویس-آگاه

نتایج حاصل در این نمونه که در شهر چنگدو[9] واقع در غرب چین به‌صورت تجاری پیاده‌سازی شده، نشان می‌دهد که بیش از ۳۵% از مصرف انرژی شبکه 4G/5G بدون تأثیر بر عملکرد شبکه و تجربه کاربر قابل کاهش است. این آزمایش شامل سه مرحله است. ابتدا فقط با استفاده از عملکرد صرفه‌جویی انرژی ابتدایی، در هر سایت در حدود ۹ کیلووات ساعت انرژی در روز ذخیره می‌شود؛ هنگامی که پیش‌بینی ترافیک با استفاده از هوش‌مصنوعی فعال شود، در هر سایت حدود ۱۲ کیلووات ساعت انرژی در روز ذخیره می‌شود. پس از فعال‌سازی خدمات مبتنی بر هوش‌مصنوعی، تا ۱۴ کیلووات ساعت انرژی در روز در هر سایت قابل صرفه‌جویی است. نسبت صرفه‌جویی انرژی از ۱۶٫۶% به ۲۴٫۵% افزایش می‌یابد (همان طور که در شکل ۵ نشان داده‌شده‌است).

با استقرار راه‌حل آزمایشی فوق در کل شبکه 4G/5G شهر چنگدو، تخمین زده می‌شود که بیش از ۵ میلیون کیلووات ساعت در سال در هر هزار ایستگاه ذخیره می‌شود و حداقل ۲۵۰۰ تن از

9- Chengdu



شکل ۵- میزان صرفه‌جویی انرژی در هر سایت بر اساس روش‌های مختلف [۱]

جدول ۱- مقایسه نتایج کارایی AAU با معماری جدید نسبت به معماری قدیمی [۱]

Performance gains	Traditional AAU	New architecture AAU
Coverage	Baseline	UL + 3dB ↑ DL + 3dB ↑
DL throughput rate at edge area	Baseline	30% ~ 40% ↑
UL throughput rate at edge area	Baseline	40% ~ 60% ↑
Power consumption	Baseline	-10% ↓

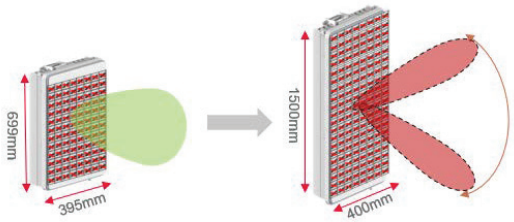
انتشار کربن کاهش می‌یابد.

معماری جدید AAU با بهینه‌سازی الگوی پرتو

بهینه‌سازی الگوی پرتو بین سلول و UE می‌تواند از تشعشع بی‌هدف ایستگاه پایه جلوگیری کند. عملکرد این نوع صرفه‌جویی انرژی هنوز در حال آزمایش و تحقیق است. در ادامه توضیحاتی از نتایج آزمایش اولیه آورده شده‌است.

برای آرایه آنتن AAU[10]، اندازه بزرگ‌تر آرایه آنتن، شعاع باریک‌تر پرتو و در نتیجه تمرکز بیشتر انرژی کانال را پدید می‌آورد که در نتیجه فاصله پوشش شبکه را بیشتر می‌کند. با معرفی یک آرایه آنتن بسیار بزرگ، پوشش UL/DL می‌تواند به‌طور همزمان بدون افزایش توان ارسالی افزایش یابد. بنابراین، استفاده از آرایه‌های آنتن بسیار بزرگ یک جهت‌گیری نوآورانه مهم برای بهبود پوشش و کاهش مصرف انرژی است. از طریق یکپارچه‌سازی و نوآوری ساختارها و الگوریتم‌های جدید، هم عملکرد شبکه و هم صرفه‌جویی انرژی می‌توانند ارتقا یابند و به اپراتورهای شبکه‌های 5G به ساخت شبکه‌های بهتر و سبز تر کمک کنند.

نمونه جدید AAU با استفاده از آرایه آنتن بسیار بزرگ در شهر شیامن[11] چین پیاده‌سازی شده است که اندازه آرایه آنتن آن دو برابر (از ۱۹۲ به ۳۸۴ عنصر) شده است. این آزمایش از بهینه‌سازی پرتو به‌صورت تطبیقی استفاده می‌کند و به‌طور هوشمند به تغییرات کانال بی‌سیم کاربران تطبیق پیدا می‌کند تا کارایی استفاده از منابع رابط هوایی را بهبود بخشد؛ و از کاهش نویز در دامنه شعاع بالا با رزولوشن بالا برای بهبود کارایی استفاده می‌کند. مقایسه و بهره‌وری عملکرد این نمونه‌برداری جدید در شکل ۶ و جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در مقایسه با راه‌حل سنتی، AAU جدید می‌تواند گذردهی[12] ارسال و دریافت سلول را ۳۰٪ افزایش دهد.



شکل ۶- مقایسه AAU رایج و AAU با معماری جدید با افزایش المان‌های آنتن از ۱۹۲ به ۳۸۴ [۱]

در صورتی که شاخص پوشش سلول در مناطق لبه ثابت بماند، ایستگاه پایه با توان انتقال کمتری پیکربندی می‌شود و از این طریق مصرف انرژی ایستگاه پایه کاهش می‌یابد. در مقایسه با AAU سنتی، میزان مصرف انرژی حدود ۳۰٪ کاهش می‌یابد [۱]

نتیجه‌گیری

در این مقاله، اصول صرفه‌جویی در مصرف انرژی و فناوری‌های کاربردی مانند خاموشی حامل، خاموشی کانال و خاموشی سمبل که از دوران 4G برای شبکه‌های ارتباطی سیار ارائه‌شده و برای کاهش مصرف انرژی در 5G نیز استفاده می‌شوند، بحث شد. همچنین، به بررسی برخی از فناوری‌های پیشرفته مانند خواب عمیق و خاموشی تجمیع سمبل که در دوران 5G در حال توسعه هستند، پرداخته شد. به‌عنوان نمونه‌ای از کاربردها، در این مقاله دو روش برتر برای راه‌حل‌های هوشمند صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش‌مصنوعی ارائه شد. یکی از آن‌ها، راه‌حل صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش‌مصنوعی برای شبکه

10- Acrive antenna system
11- Xiamen
12- Throughput

4G / 5Gاســـت و دیگری، بهره‌گیری از معماری جدید AAUبا بهینه‌سازی پرتو مبتنی بر هوش‌مصنوعی. هر دو این راه‌حل‌ها می‌توانند به دســـت‌یابی به شـــبکه با کارایی بالا و هزینه‌های عملیاتی پایین کمک کنند.

با جمع‌آوری مداوم داده‌ها از شـــبکه‌های تجـــاری، الگوریتم یادگیری ماشین اجازه خواهد داد تا راه‌حل‌های صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش‌مصنوعی به‌تدریج بهبود یابند. الگوریتم هوش‌مصنوعی تکامل خواهد یافت تا دستیابی به کارایی بالاتر و اســـتراتژی دقیق در هنگام تغییرات توپولوژی شبکه و مدل ترافیک ممکن شود.

منابع:

[1] R. Tan, Y. Shi, Y. Fan, W ZHU and T. WU, “Energy Saving Technologies and Best Practices for 5G Radio Access Network, ” IEEE Access, vol. 10, May, 2022, pp. 51747_2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3174089.

[2] Mobile Net Zero: State of the Industry on Climate Action 2021, GSMA, London, U.K., 2021. B Setting Climate Targets: A Step by Step Guide for Mobile Network Operators to Set Science Based Targets, GSMA, London, U.K., 2020.

[3] GHG Emissions Trajectories for the ICT Sector Compatible With the UNFCCC Paris Agreement, document ITU-T L.1470 (01/2020), Recommendation ITU-T, 2020.

[4] A. S. G. Andrae, “New perspectives on internet electricity use in 2030,” Eng. Appl. Sci. Lett., vol. 3, pp. 19_31, Jun. 2020.

[5] Going Green: Benchmarking the Energy Ef_ ciency of Mobile, GSMA, London, U.K., 2021. F B. Debaillie, C. Desset, and F. Louagie, “A _exible and future proof power model for cellular base stations, ” in Proc. IEEE 81st Veh. Technol. Conf. (VTC Spring), May 2015, pp. 1_7, doi: 10.1109/VTCSpring.2015.7145603.

[6] Smart Energy Saving of 5G Base Station: Based on AI and Other Emerging Technologies to Forecast and Optimize the Management of 5G Wireless Network Energy Consumption, document FG-AI4EE D.WG3-02, ITU-T Technical Report, 2021.

فناوری همراه
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم
رصد فناوری

علیرضا صوفی نژاد
دانشجوی دکتری مهندسی برق-مخابرات سیستم، دانشگاه شاهد، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

استفاده از یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو امواج میلی‌متری

ارتباطات موج میلی‌متری به لطف مزایای استثنائی آن، به‌عنوان یک فناوری کلیدی برای ارتباطات بی‌سیم توجه زیادی را به خود جلب کرده است. شکل‌دهی پرتو در ارتباطات موج میلی‌متری با ایجاد پرتو باریک به‌سمت کاربران می‌تواند کیفیت ارتباط کاربران را بهبود بخشد. با این حال، تحقق چنین دستاوردهایی در عمل نیازمند غلبه بر چالش‌های متعددی مانند تضعیف شدید سیگنال، محدودیت‌های سخت‌افزاری و پیچیدگی طراحی است. پیچیدگی بالای تعیین بردارهای شکل‌دهی پرتو محققان را به این سمت سوق داده است تا از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای شکل‌دهی پرتو در نسل‌های آتی مخابرات سلولی استفاده کنند. در این مقاله سعی شده است تا الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین مورد استفاده در موضوعات مختلف شکل‌دهی پرتو بررسی شوند و در مورد مزیت‌ها و چالش‌های آن‌ها بحث شود.

کلیدواژه: شکل‌دهی پرتو، موج میلی‌متری، یادگیری ماشین، MIMO انبوه، شبکه عصبی عمیق

توسعه شبکه در جهت بالا بردن توان عملیاتی، تأخیر کم‌تر، اتصال گسترده و سرویس‌های قابل اعتماد جزو نیازهای اساسی شبکه‌های بی‌سیم است. برای دستیابی به این هدف، محققان در دانشگاه و صنعت در حال بررسی فناوری‌ها و بازه‌های طیفی مختلف برای شبکه‌های بی‌سیم نسل بعدی هستند. در نسل‌های مختلف مخابرات سلولی همواره سعی شده است تا با استفاده از فناوری‌های جدید کیفیت سرویس‌دهی به کاربران افزایش داده شود. برخی از فناوری‌های کلیدی که برای شبکه‌های نسل پنجم و فراتر از آن مورد توجه قرار گرفته‌اند، شامل آرایه‌های آنتن انبوه[1] MIMO[2]، شکل‌دهی پرتو و دسترسی چندگانه غیر متعامد (NOMA[3]) هستند. با این حال، برای پشتیبانی از اتصال گسترده، ظرفیت شبکه‌های سلولی باید به‌طور قابل توجهی با استفاده مؤثر از بازه‌های فرکانسی در دسترس افزایش یابد [۱]

بازه فرکانسی ۳۰ تا ۳۰۰ گیگاهرتز به‌دلیل طیف کمتر استفاده شده آن برای ارتباطات نسل پنجم و فراتر از آن از اهمیت زیادی برخوردار است، اما ویژگی‌های انتشار ضعیفی دارد. برای غلبه بر این مشکل، از آرایه‌های انبوه MIMO با شکل‌دهی پرتو[4] برای رسیدن به نسبت سیگنال به نویز (SNR[5]) مناسب استفاده می‌شود. در شکل‌دهی پرتو موج میلی‌متری به‌دلیل مصرف زیاد توان نمی‌توان از تکنیک‌های پیش کدگذاری مورد استفاده در فرکانس زیر ۶ گیگاهرتز استفاده کرد. در عوض، برای شکل‌دهی پرتو در موج میلی‌متری از شکل‌دهنده‌های پرتو آنالوگ یا ترکیبی استفاده می‌شود که یک مصالحه کارآمد بین شکل‌دهی پرتو آنالوگ با پیچیدگی کم و شکل‌دهی پرتو دیجیتال با

1- Massive
2- Multiple-Input–Multiple-Output
3- Non-Orthogonal Multiple Access
4- Beamforming
5- Signal to Noise Ratio

پیچیدگی بالا فراهم می‌کند. تکنیک‌های شکل‌دهی پرتو مبتنی بر یادگیری ماشین به‌دنبال پیدا کردن بهترین بردارهای شکل‌دهی پرتو در فرستنده و گیرنده هستند.

پیشرفت اخیر در یادگیری ماشین استفاده از آن را در کاربردهای مختلف شبکه بی‌سیم مانند ارتباط سلولی، مدیریت طیف، تخصیص منابع، مسیریابی، بازیابی اطلاعات حالت کانال، مدولاسیون، آشکارسازی و ارتباط دستگاه به دستگاه ممکن کرده است. یادگیری ماشین همچنین برای توسعه تکنیک‌های کارآمد شکل‌دهی پرتو مورد بررسی قرار می‌گیرد و محققان در حال بررسی الگوریتم‌های مختلف برای انتخاب جفت پرتو، پیش‌بینی مکان، تخمین زاویه ورود (AoA[6])، انتخاب طرح مناسب شکل‌دهی پرتو و هم‌ترازی[7] پرتو موج میلی‌متری هستند. تکنیک‌های سنتی شکل‌دهی پرتو ممکن است برای سناریوهای بسیار دینامیک موج میلی‌متری مناسب نباشند و تکنیک‌های مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند به یادگیری محیط و فعال کردن الگوریتم‌های سریع شکل‌دهی و ردیابی پرتو کمک کنند [۲]،[۳] و [۴] این مقاله مروری بر تلاش‌های تحقیقاتی در حوزه‌های مختلف شکل‌دهی پرتو مبتنی بر یادگیری ماشین را ارائه می‌دهد.

کاربردهای یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو

در شکل‌دهی پرتو از خواص مکانی برای به‌وجود آوردن یک الگوی تشعشعی خاص در سیگنال استفاده می‌شود. شکل‌دهی پرتو ارسالی به‌وسیله تغییرات در فاز و دامنه سیگنال در هر کدام از آنتن‌ها نسبت به یکدیگر انجام می‌شود. در شکل ۱، شکل‌دهی پرتو در فرستنده و گیرنده نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود هر کدام از سیگنال‌های ارسالی ابتدا تحت شکل‌دهی پرتو دیجیتال قرار داده می‌شوند و سپس با استفاده از مجموعه‌ای از شیفت رجیسترها تحت شکل‌دهی پرتو آنالوگ قرار گرفته و به سمت گیرنده گسیل می‌شوند. در گیرنده نیز می‌توان به همین شکل پرتو مناسب را برای بهبود کیفیت سیگنال دریافتی ایجاد کرد.

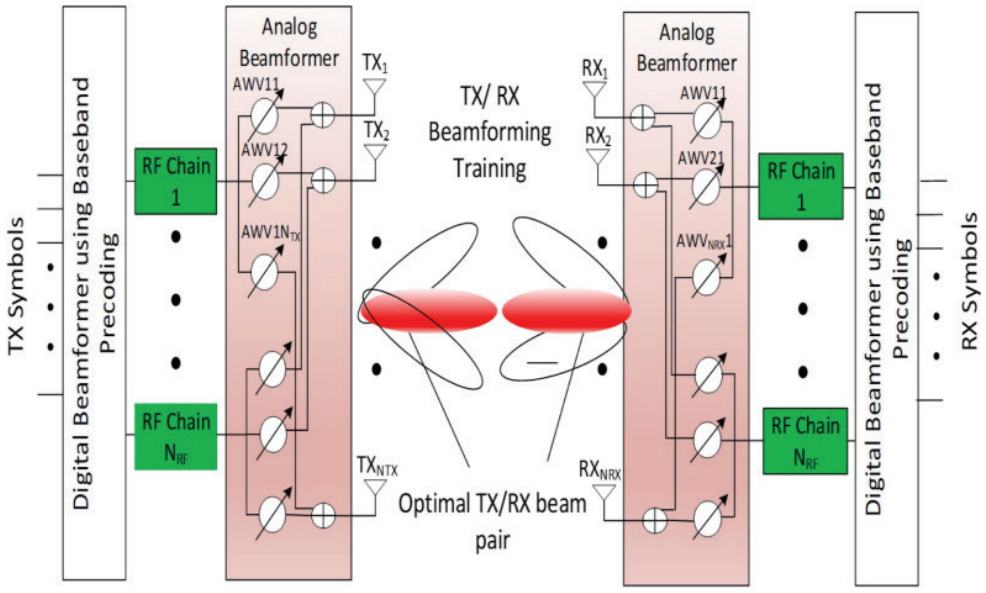
در این قسمت، چندین کاربرد از به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو امواج موج میلی‌متری در شبکه‌های نسل پنج و فراتر از آن مورد بررسی قرار داده می‌شود. حوزه‌های مختلفی از شکل‌دهی پرتو که یادگیری ماشین به آن‌ها ورود کرده است در شکل ۲ نمایش داده شده است [۱] همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در سال‌های اخیر محققان در زمینه‌های مختلف شکل‌دهی پرتو از مزایای الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده کرده‌اند که در ادامه به‌اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود.

انتخاب، تنظیم و ردگیری پرتو

تکنیک‌های یادگیری ماشین برای بهبود جستجو، انتخاب و هم‌ترازی پرتو در سیستم‌های مختلف ارتباطات سیار مانند وسایل نقلیه، قطارهای سریع‌السیر و وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین مورد استفاده قرار می‌گیرند. محققان از مدل‌های مرسوم شبکه عصبی عمیق[8] برای کاهش سربار انتخاب پرتو و برقراری ارتباط وسیله نقلیه به لینک‌های زیرساختی استفاده کرده‌اند. همچنین مسئله انتخاب پرتو را می‌توان به‌عنوان یک مسئله طبقه‌بندی چند کلاسه برای یادگیری جفت پرتو بهینه فرموله کرد. علاوه بر این، می‌توان برای سرعت بخشیدن به محاسبات تخمین کانال و فراهم کردن زمان کافی برای انتقال داده‌ها، از روش‌های جستجوی پرتو الهام گرفته از Bandit برای قطارهای پرسرعت استفاده کرد [۳] Bandit یا

6- Angle of Arrival
7- Alignment

8- Deep Neural Network



شکل ۱ - ساختار شکل‌دهی پرتو ترکیبی (آنالوگ/دیجیتال) در ارتباطات موج میلی‌متری[۱]

(MAB)[9] مفهومی در زمینه یادگیری تقویتی است که بر اساس الگوریتم یا استراتژی مشخصی خروجی بهینه (در اینجا پرتو بهینه) را به صورتی انتخاب میکند که مقدار پاداش حداکثر شود. در زمینه شکل‌دهی پرتو مقدار پاداش میتواند نرخ، SNR، کیفیت سرویس و ... باشد. این الگوریتم‌ها با استفاده از الگوهای ترافیکی واقع گرایانه ارزیابی شده‌اند و به ایستگاه‌های پایه این توانایی را می‌دهند تا به عملکرد نزدیک به بهینه برسند و به‌سرعت با تغییرات سیستم مانند انسداد و ترافیک سازگار شوند.

نتایج تجربی نشان می‌دهد که حتی یک عدم هم‌ترازی کوچک ۱۸ درجه در یک سیستم با عرض پرتو[7] درجه می‌تواند بودجه لینک[10] را تا ۱۷ دسی‌بل کاهش دهد و به‌طور بالقوه ارتباط را به‌طور کامل قطع کند؛ بنابراین، تنظیم دقیق پرتو در فرکانس موج میلی‌متری برای اطمینان از ارتباط پرسرعت بسیار مهم است. محققان با استفاده از اطلاعات موجود که در ارتباطات وسایل‌نقلیه و قطار سریع‌السیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند، الگوریتم‌های یادگیری هم‌ترازی پرتو با استفاده از اطلاعات محیط را توسعه داده‌اند (مانند MAB)[۳] همچنین می‌توان در یک سیستم MIMO موج میلی‌متری نقطه به نقطه، مسئله جستجوی هم‌ترازی پرتو توزیع شده را به‌صورت یک مسئله MAB فرمول‌بندی کرد.

ردگیری پرتو موج میلی‌متری به‌دلیل تحرک سریع و باریک بودن، یک چالش در سناریوهای بسیار متحرک مانند پهپاد و V2I[11] است. هوش مصنوعی و تکنیک‌های یادگیری ماشین می‌توانند محیط اطراف را پیش‌بینی کنند و عملکرد را بهبود بخشند. در مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است محققان یک مدل ردیابی پرتو مبتنی بر RNN[12] را پیشنهاد داده‌اند که زاویه ورود یک کاربر موبایل را ردیابی می‌کند [۵] استفاده از ردیابی پرتو مبتنی بر یادگیری ماشین می‌تواند کیفیت انتقال داده را بهبود بخشد و فرآیند سوئیچینگ پرتو را سرعت دهد.

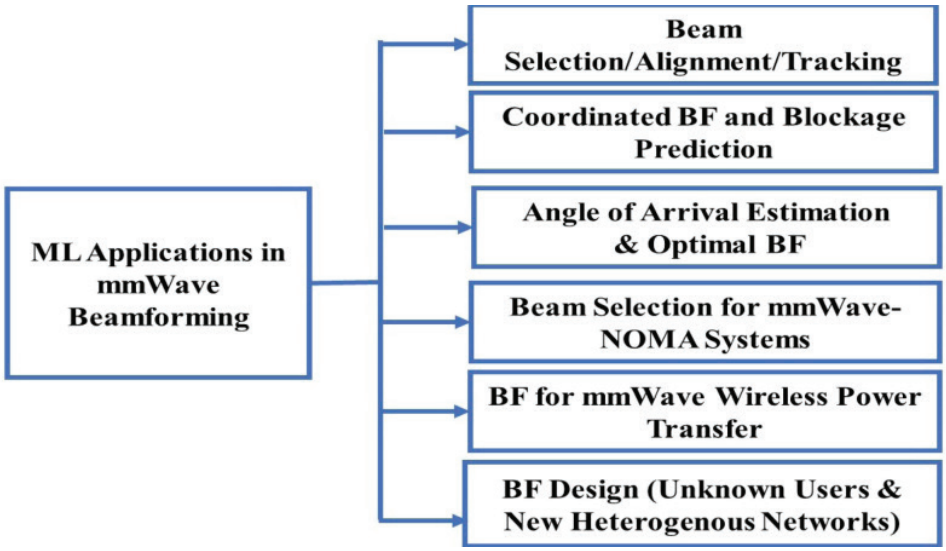
9- Multi Arm Bandit
10- Link Budget
11- Vehicle to Infrastructure
12- Recurrent Neural Network

تخمین انسداد[13] امواج و شکل‌دهی پرتو هماهنگ‌شده[14]

انسداد امواج موج میلی‌متری تا حد زیادی پوشش و قابلیت اطمینان کاربران موبایل را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. محققان برای افزایش پوشش، یکپارچه‌سازی تکنیک‌های یادگیری ماشین و شکل‌دهی پرتو هماهنگ را پیشنهاد می‌کنند که در آن ایستگاه‌های پایه هماهنگ و به‌طور هم‌زمان به کاربران تلفن همراه برای جلوگیری از انسداد خدمت رسانی می‌کنند. در این روش کاربران تنها یک دنباله آموزشی را در لینک فراسو[15] ارسال می‌کنند که در ایستگاه‌های پایه دریافت می‌شود و از آن برای مشخص کردن موقعیت کاربر و محیط اطراف استفاده می‌شود. بر این اساس محققان یک مدل یادگیری عمیق توسعه داده‌اند که با یادگیری این ویژگی‌ها، بردارهای شکل‌دهی پرتو را در ایستگاه‌های پایه مشخص می‌کند. سیستم پیشنهادی از یک تکنیک آموزش آنلاین استفاده می‌کند که با محیط سازگار است [۶]

انسداد می‌تواند ارتباط بین کاربر و ایستگاه پایه را قطع کند و باعث سربار و تأخیر بالا در هنگام اتصال مجدد به ایستگاه پایه دیگر (با دید مستقیم) شود. تکنیک‌های شکل‌دهی پرتو مبتنی بر یادگیری ماشین می‌توانند با پیش‌بینی اینکه لینک مورد نظر در چند فریم آینده دچار انسداد خواهد شد، پرتوهای مسدود نشده را پیش‌بینی کرده و برای برقراری ارتباط از آن‌ها استفاده کند. این قابلیت به ایستگاه پایه اجازه می‌دهد تا به‌طور فعال کاربر را به ایستگاه پایه دیگری منتقل کند که دارای دید مستقیم به کاربر است. بر این اساس در برخی مقالات محققان بر روی حداکثر کردن زمان اتصال کاربر به ایستگاه پایه پس از هر انتقال از سلولی به سلول دیگر[16] پرداخته‌اند (با استفاده از

13- Blockage
14- Coordinated Beamforming
15- Uplink
16- hand over



شکل ۲- کاربردهای یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو موج میلی‌متری [۱]

روش MAB). این رویکرد باعث افزایش اثربخشی انتقال از سلولی به سلول دیگر در ارتباط می‌شود و عملکرد شبکه را تا حد زیادی بهبود می‌بخشد.

تخمین AOA و انتخاب تکنیک شکل‌دهی پرتو بهینه

محققان بررسی کرده‌اند که چگونه می‌توان از اطلاعات زاویه ورود برای انتخاب پرتو در شبکه ارتباطی موج میلی‌متری استفاده کرد. آن‌ها انتخاب پرتو در لینک فراسو را به‌عنوان یک مسئله طبقه‌بندی چند کلاسه فرموله کردند و آن را با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده (طبقه‌بندی کننده‌های KNN[17] و SVM[18]) و شبکه عصبی عمیق حل کردند (استفاده از [۲] MLP)[19] همچنین می‌توان از الگوریتم طبقه‌بندی سیگنال چندگانه (MUSIC[20]) نیز برای تخمین دقیق‌تر AoA و توان‌های دریافتی استفاده کرد. در روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی عمیق، معماری شبکه یک تکنیک نگاشت را آموزش می‌بیند که سیگنال‌های دریافتی از آرایه آنتن را با AoA موج مرتبط کند.

روش‌های مختلفی برای شکل‌دهی پرتو امواج در حالت‌های مختلف مطرح شده است. انتخاب کارآمدترین این روش‌ها تحت محدودیت‌ها و شرایط محیطی مختلف ضروری است. در یکی از تحقیقات انجام گرفته، محققان یک طرح انتخاب الگوریتم شکل‌دهی پرتو مبتنی بر شبکه عصبی عمیق را برای یک کانال تداخلی چند ورودی تک خروجی دو کاربره پیشنهاد کردند [۷] در چنین طرحی هر کاربر با توجه به بردار کانال و توان ارسالی مورد نظر، به‌وسیله یک شبکه عصبی عمیق از بین دو الگوریتم شکل‌دهی پرتو، مورد بهینه‌تر را انتخاب می‌کند و شکل‌دهی پرتو را به‌وسیله آن روش انجام می‌دهد. در [۷] نشان داده شده است که با استفاده از این طرح، سیستم به نرخ مجموع بالاتری از هر کدام از دو الگوریتم می‌رسد.

انتخاب پرتو در سیستم‌های NOMA

محققان تکنیک‌های مختلف یادگیری ماشین را برای حل چالش‌ها در سناریوهای دسترسی چندگانه غیر متعامد (NOMA[21]) بررسی کرده‌اند. مشخص کردن بردارهای شکل‌دهی پرتو، تخصیص توان و گروه‌بندی کاربران، جزو چالش‌های NOMA است که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند به تشخیص بهینه این پارامترها کمک کند. در بسیاری از مقالات محققان برای گروه‌بندی کاربران در NOMA از الگوریتم k-means استفاده کرده‌اند. این الگوریتم می‌تواند با پیچیدگی کم، متناسب با تعریف یک معیار مناسب، کاربران را گروه‌بندی کند. همچنین می‌توان برای تخصیص بهینه توان در سناریوی NOMA از شبکه عصبی عمیق استفاده کرد تا با استفاده از آن در شرایط متفاوت QoS[22] مورد نیاز برای شبکه، تخصیص توان را برای حداکثر کردن بازدهی انرژی یا نرخ تبادل اطلاعات انجام داد [۸] همچنین در بسیاری از تحقیقات انجام گرفته در این زمینه استخراج هم زمان پارامترهای مورد نظر به‌وسیله یک شبکه عصبی مورد توجه قرار گرفته است.

شکل‌دهی پرتو برای انتقال توان بی‌سیم

الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند تحقق تکنیک‌های انتقال توان بی‌سیم (WPT[23]) را در ارتباطات موج میلی‌متری تسریع کنند. در این زمینه محققان یک تکنیک آنلاین برای موقعیت‌یابی گیرنده با استفاده از الگوریتم Random Forest و DNN[24] برای شارژ مؤثر گیرنده‌های توان توسعه داده‌اند [۹] همچنین روشی مبتنی بر یادگیری ماشین برای کنترل توان با کنترل سریع در فرستنده پیشنهاد شده است که در این روش از فناوری کم انرژی بلوتوث برای ارتباط استفاده شده است.

طراحی شکل‌دهنده پرتو

یافتن شکل‌دهنده‌های پرتو بهینه در سیستم‌های انبوه MIMO یک مسئله بهینه‌سازی غیر محدب پیچیده است که نیاز به تکنیک‌های بهینه‌سازی با هزینه محاسباتی بالا دارد. این مشکل در سناریوهای

17- K-Nearest Neighbors
18- Support Vector Machine
19- MultiLayer Perceptron
20- MUltiple SIgnal Classification

21-Non-orthogonal multiple access
22- Quality of Service
23- Wireless Power Transfer
24- Deep Neural Network

شـــبکه ناهمگن[۲۵] موج میلی‌متری پیچیده‌تر است (جایی که بین ایســـتگاه‌های پایه فواصل مختلفی وجود دارد و ایســـتگاه‌های پایه دارای تعداد زیادی آنتن هستند). محققان تلاش کرده‌اند تا بردارهای شکل‌دهی پرتو را در چنین حالتی با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین استخراج کنند. در یک طراحی مبتنی بر شبکه عصبی عمیق، اطلاعات حالت کانال به‌عنوان ورودی به شبکه داده می‌شود و به‌عنوان خروجی پرتو مناسب برای ارسال اطلاعات انتخاب می‌گردد[۱۰]
علاوه بر مطالب فوق در جدول ۱ می‌توان جزئیات الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین مورد استفاده در بخش‌های مختلف شکل‌دهی پرتو را مشاهده کرد. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توان به مرجع [۱] منابع کرد.

چالش‌ها

با وجود پیشرفت در الگوریتم‌های یادگیری ماشین و پتانسیل آن‌ها برای کاهش پیچیدگی در شبکه‌های بی‌سیم و شکل‌دهی پرتو، تشخیص وجود مســـائل و چالش‌های مختلفی که باید بـــرای پذیرش آن‌ها در سیستم‌های عملی مورد توجه قرار گیرد، مهم اســـت. در این بخش، نحوه تحت‌تأثیر قرار گرفتن الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو و ارتباطات موج میلی‌متری بررسی می‌شوند.
یکی از چالش‌های اســـتفاده از یادگیری ماشـــین در الگوریتم‌های شکل‌دهی پرتو محدودیت داده‌های آموزشـــی است. همان طور که می‌دانیم برای آموزش یک شبکه عصبی برای اســـتخراج بردارهای شـــکل‌دهی پرتو نیازمند تعداد زیادی داده آموزشی هستیم. نیاز به داده‌های آموزشی شبکه با بزرگ شدن ابعاد مسئله افزایش پیدا می‌کند. بدین ترتیب قبل از استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین باید طراحی را به‌نحوی انجام داد که از این مشکل جلوگیری کرد. برای جلوگیری از این مشکل می‌توان از ساختارهای آموزش آنلاین یا طرح‌هایی استفاده کرد که نیازمند داده‌های استاتیک برای آموزش نیستند.
مشکل دیگری که اســـتفاده از یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو ایجاد می‌کند، تحرک دائم کاربران است. کاربرانی که با سرعت زیادی در حال حرکت هستند باید به‌صورت مداوم مورد تحلیل قرار گیرند تا در صورتی که امواج ارسالی برای کاربر دچار انسداد شد، مشکلی در سیستم ایجاد نشود. این در حالتی است که شکل‌دهی پرتو بهینه در سیستم‌های موج میلی‌متری با آرایه آنتن بزرگ نیاز به سربار آموزشی قابل توجه و پردازش پیچیده دارد. در برخی از تحقیقات این مشکل را با در نظر گرفتن پرتوهای جایگزین برای پرتو اصلی کاربر حل کرده‌اند.
مشکل دیگر استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، پیچیدگی زیاد برخی از این الگوریتم‌ها است. با توجه به پیچیدگی ذاتی الگوریتم‌های آموزش در شکل‌دهی پرتو موج میلی‌متری، پیشنهاد یک الگوریتم مبتنی بر یادگیری ماشین بهینه (زیر بهینه) با زمان استنباط سریع یک کار چالش برانگیز است. به‌ویژه اگر تأخیر، جابجایی مکرر و تحرک کاربران در سناریوهای مربوط به همه‌چیز را در نظر بگیریم.

نتیجه‌گیری

تکنیک‌های طراحی شکل‌دهنده پرتو مبتنی بر یادگیری ماشین در سال‌های اخیر توسعه زیادی پیدا کرده‌اند. به‌خصوص در زمینه استفاده در موج میلی‌متری محققان در بسیاری از سناریوهای شکل‌دهی پرتو از مزایای یادگیری ماشین استفاده کرده‌اند و همواره سعی در شتاب دادن فرایند آموزش در به‌کارگیری این تکنیک‌ها هستند. روش‌های مختلف برای ســـناریوهای تک کاربره تا یک شبکه همگن با تعداد کاربران زیاد مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند و در بسیاری از موارد

25- HetNet

جدول ۱ - شکل‌دهی پرتو موج میلی‌متری مبتنی بر یادگیری ماشین[۱]

Reference and Scenario	Objective	Machine learning methods	Main conclusion
Downlink hybrid BF	Efficient hybrid BF design	KNN	Achieve the target BER at higher data rates.
Multiuser SIMO system	Beam selection using ML/DL based AoA	KNN,SVC,feed forward DNN, and MLP	Near sum rate and classification accuracy results to ES.
High speed trains	Fast beam searching with low latency at high speeds	RL, upper confidence bound (UCB)	Proposed scheme can achieve theoretical limit.
MISO system	Beam alignment and tracking	RL, Bayesian MAB	Faster learning rate.
Vehicular scenario plus LIDAR data	Beam alignment and tracking	DL, DCNN	Efficient configuration of mmWave v2I links.
V2I situational awareness	Beam selection with low latency	DL and classification methods	99% of throughput can be achieved.
Vehicular scenario	Intelligent beam/ channel tracking	LSTM model	Accurate prediction of CSI with less overhead
One user moving and served by N BSs	mmWave blockage prediction/ handoff requirement	Deep learning, RNN	Successful blockage/ handoff by 95%
mmWave coordinated BF	High mobility with reducing latency overhead	DL model that predicts BF vectors	High data rates with adaptation to changing environments.
Uplink mmWave	Beam selection using AoA	Multiclass classification KNN, SVM,MLP	MLP outperforms both KNN and SVM.
mmWave antenna array	Estimating AoA for radio waves	DNN	Computational complexity reduction compared to MUSIC.
MIMO channel transmitter	Predict CSI	LSTM and GRU	Reduce channel estimation and pilot overhead.
mmWave BF	Select the best BF technique	DNN	Improve BF performance.
Multiuser beam allocation	Beam allocation	DNN multiclass classification	Achieve 91.6 to 97.7% accuracy compared to EX.
mmWave user allocation and handover	Maximize user-BS connection time after handover	MAB	Enhance handover decision and network performance.
mmWave blockage prediction	Predict blockage using RGB image of the surrounding	DCNN	Enhance handover decision.
SVM based BF	Reduce complexity of calculated SVD	DNN	Reduce complexity and enhance performance.
Beam selection	Select primary and redundant beams	Iterative random search	Improve handover.
Clustering	User clustering and PA in mmWAve-NOMA settings	K-means	Improve user clustering with low complexity.
Pilot contamination	Pilot contamination attack detection in mmWave-NOMA	SVM, ELM, LOG	100% to 95% static and dyunamic detection rates.
RRM (user association and PA)	Maximize the system's EE under different constraints	Semi-Supervised learning, DNN	Higher EE with low complexity.
Inter-Beam Inter-Cell Interference Mitigation	User association, inter-beam PA in mmWAve-NOMA	Q-learning	30% sum rate enhancement.
Wireless power transfer (WPT)	Enhance the power transfer efficiency	Random forest, DNN	Improved performance and pblackiction accuracy.
Hybrid BF/ combining	High transmission capacity with low complexity	DNN, self supervised learning	Higher BER performance.
Blind beam alignment	Blind BF with multiple BS and users	DRL	Improved considerable data rates.
Hybrid precoding	Effective hybrid precoding with low complexity	DNN	Higher performance.
BF in mMIMO HetNets	Efficient BF technique	DNN,RNN,MLP	Higher weighted sum rates.
Beam selection in mmWave Hetnets	Develop efficient beam selection design	DNN	95% accuracy.
Initial Beam Alignment	AoA Estimation	DT	Significant improvement of the rate.
Hybrid BF in mmWave.	Find the BF that maximize the achieved rates	Autoencoder	60 - 70% gains in rates
Modeling Blockage Loss	Robust BF using statistical Blockage modeling	GMM	Better understanding of blockage effects on users

نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از این فناوری را در شکل‌دهی پرتو مؤثر می‌دانند.

در این بین، تکنیک‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی عمیق و یادگیری عمیق از استقبال بیشتری در بین محققان برخوردار هستند. محققان در مواردی با استفاده از شبکه عصبی سیستم شکل‌دهی پرتویی را پیشنهاد داده‌اند که میزان BER را به‌صورت قابل توجهی بهبود می‌دهد [۱۰] در این تحقیق ماتریس‌های شکل‌دهی پرتو بهینه با استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق استخراج شده است. با استفاده از چنین ماتریس‌هایی برای شکل‌دهی پرتو سیگنال با توان بیشتری در سمت کاربر دریافت می‌شود که سبب بهبود SNR می‌شود. علاوه بر آن می‌توان مواردی را در استفاده از روش‌های یادگیری تقویتی پیدا کرد که باعث افزایش نرخ سیستم شده‌اند.

علی‌رغم مزایای روش‌های یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو، استفاده از این الگوریتم‌ها دارای چالش‌هایی است که به‌هنگام طراحی باید در نظر گرفته شوند. طراحی این الگوریتم‌ها باید به‌صورتی باشد که بتوانند با سرعت مناسب در سناریوهای مختلف پیش آمده در سلول مخابراتی قابل استفاده باشند و در عین حال دارای پیچیدگی کمی باشد.

منابع:

[1]OECD Main Science and Technology Indicators 2021- www.oecd.org/sti

[2] B. M. ElHalawany, S. Hashima, K. Hatano, K. Wu and E. M. Mohamed, "Leveraging Machine Learning for Millimeter Wave Beamforming in Beyond 5G Networks, " in IEEE Systems Journal, vol. 16, no. 2, pp. 1739-1750, June 2022.

[3] C. Antón-Haro and X. Mestre, "Learning and data-driven beam selection for mmWave communications: An angle of arrival-based approach," IEEE Access, vol. 7, pp. 20404–20415, 2019.

[4] M. Cheng, J. Wang, J. Wang, M. Lin, Y. Wu, and H. Zhu, "A fast beam searching scheme in mmWave communications for high-speed trains," in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. 2019, pp. 1–6.

[5] S. Lavdas, P. K. Gkonis, Z. Zinonos, P. Trakadas, L. Sarakis and K. Papadopoulos, "A Machine Learning Adaptive Beamforming Framework for 5G Millimeter Wave Massive MIMO Multicellular Networks, " in IEEE Access, vol. 10, pp. 91597-91609, 2022.

[6] D. Burghal, N. A. Abbasi, and A. F. Molisch, "A machine learning solution for beam tracking in mmWave systems," in Proc. 53rd Asilomar Conf. Signals, Syst., Comput., 2019, pp. 173–177.

[7] A. Alkhateeb, S. Alex, P. Varkey, Y. Li, Q. Qu, and D. Tujkovic, "Deep learning coordinated beamforming for highly-mobile millimeter wave systems," IEEE Access, vol. 6, pp. 37328–37348, 2018.

[8] H. J. Kwon, J. H. Lee, andW. Choi, "Machine learning-based beamforming in two-user MISO interference channels," in Proc. Int. Conf. Artif. Intell. Inf. Commun., 2019, pp. 496–499.

[9] H. Zhang, H. Zhang, K. Long, and G. K. Karagiannidis, "Deep learning based radio resource management in NOMA networks: User association, subchannel and power allocation," IEEE Trans. Netw. Sci. Eng., vol. 7, no. 4, pp. 2406–2415, 2020.

[10] T. Bai, B. Mei, L. Zhao, and X. Wang, "Machine learning-assisted wireless power transfer based on magnetic resonance," IEEE Access, vol. 7, pp. 109454–109459, 2019.

[11] J. Chen et al., "Hybrid beamforming/combining for millimeter wave MIMO: A machine learning approach," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 69, no. 10, pp. 11353–11368, 2020.

فناوری همراه
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم

رصد فناوری

فناوری RIS و سیستم‌های Cell Free Massive MIMO در مخابرات بی‌سیم نسل ۶ (6G)

حسین کامرانی
دکتری مهندسی برق-مخابرات سیستم از دانشگاه شیراز، مشاور و پژوهشگر مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

سطوح هوشمند بازشکل پذیر یا RIS[1] که با عنوان سطوح منعکس کننده هوشمند یا IRS[2] نیز شناخته می‌شوند، ساختاری برنامه‌پذیر هستند که امواج الکترمغناطیس (EM[3]) تابیده شده به آن‌ها را کنترل می‌کنند. با قرار دادن این سطوح با توجه به نیاز در فضاهایی بین فرستنده و گیرنده می‌توان کیفیت سیگنال دریافتی در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم را بهبود بخشید. از طرفی امروزه توپولوژی شبکه‌های مخابرات سیار بر اساس سلول‌بندی استوار است. عواملی مانند محدودیت توان، محدودیت پهنای باند و تعداد زیاد کاربران باعث می‌شود که از سیستم‌های سلولی جهت پوشش‌دهی مناطق استفاده کرد. یکی از معایب سیستم‌های سلولی ضعف در پوشش‌دهی با کیفیت مناسب برای کاربران در مرز سلول‌ها می‌باشد. یکی از روش‌هایی که در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید (مانند 6G[4]) جهت برطرف کردن این ضعف پیشنهاد می‌شود، سیستم‌های مخابرات بی‌سیم بدون سلول است. این روش باعث پوشش یکنواخت و مطلوبی برای تمامی کاربران با سرعت انتقال داده خیلی خوب می‌شود. در این مقاله قصد داریم به معرفی فناوری RIS، سیستم مخابرات بی‌سیم چندورودی-چندخروجی انبوه بدون سلول (CFmMM[5]) و در نهایت سیستم ترکیبی RIS-CFmMM بپردازیم.

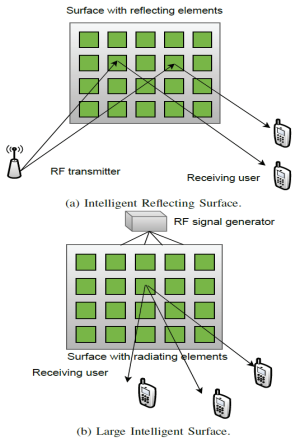
کلیدواژه: سیستم‌های مخابرات بی‌سیم 6G، فناوری RIS، سیستم مخابرات بی‌سیم CFmMM و سیستم مخابرات بی‌سیم RIS-CFmMM.

1- Reconfigurable Intelligence Surfaces
2- Intelligent Reflecting Surfaces
3- Electromagnetic waves
4- 6th generation
5- Cell Free Massive Multiple Input Multiple Output

رشد روز افزون فناوری و نیازهای امروزه بشر باعث شده است که دسترسی به یک شبکه مخابرات پرسرعت امری حیاتی و ضروری باشد. به عنوان مثال هوش مصنوعی(AI[6]) و اینترنت همه‌چیز (IoE[7]) بدون داشتن یک بستر مخابراتی پرسرعت نمی‌توانند به خوبی هدف‌های خود را دنبال و پیاده‌سازی کنند. بنابراین اهمیت دستیابی به سرعت انتقال داده بالا امری ضروری است. در این راستا در آینده نزدیک سیستم‌های مخابرات 6G نسبت به سیستم‌های مخابرات 5G دارای پهنای باند بیشتر، سرعت انتقال داده بیشتر، بازدهی طیف بیشتر، ظرفیت بیشتر، تاخیر کمتر، پوشش‌دهی بهتر و مقاومت بهتر در برابر تداخل را خواهند داشت. تمامی این پیشرفت‌ها مدیون پیشرفت در طراحی فرستنده و گیرنده‌های نسل‌های جدید سیستم‌های مخابراتی است. از طرفی یکی از قسمت‌های مهم و اثرگذار در طراحی هر سیستم مخابراتی، کانال مخابراتی است. در طراحی فرستنده و گیرنده سیستم‌های مخابراتی تمهیدات مختلفی صورت می‌گیرد تا با اثرات مخرب کانال [8] مقابله کرده و سیگنال مناسبی را دریافت کرد. یکی از پیشنهاداتی که اخیرا در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید مانند 6G جهت بهبود و مقابله با اثرات مخرب کانال پیشنهاد می‌شود فناوری RIS است. فناوری RIS برای سیستم‌های Beyond 5G[9] و 6G در نظر گرفته شده‌اند که در فرکانس‌های چند ده گیگاهرتز تا تراهرتز کار می‌کنند. در این فرکانس‌ها سیگنال ارسالی به شدت تحت تاثیر تضعیف کانال قرار می‌گیرند و حتی توسط موانع ممکن است به طور کامل قطع شوند. بنابراین در این شرایط، فناوری RIS می‌تواند کیفیت سیگنال ارسالی را بهبود بخشد. این صفحات هوشمند در مکان‌های مختلف مانند خیابان‌ها، ساختمان‌ها، بر روی دیوارها، محیط داخل خانه و غیره قابل استفاده هستند. از طرفی با تمامی تمهیداتی که در طراحی سیستم‌های مخابرات بی‌سیم سلولی در نظر گرفته می‌شود، کاربرانی که در مرز سلول‌ها قرار دارند از کیفیت مطلوب سیگنال برخوردار نیستند. با توجه به نیاز روز افزون کاربران به دسترسی به شبکه‌های مخابرات پرسرعت، برطرف کردن این مشکل از مهمترین دغدغه‌های طراحان سیستم‌های مخابرات بی‌سیم سلولی است. از این‌رو اخیرا سیستم‌های CFmMM که در آن‌ها مناطق سلول‌بندی نمی‌شوند و تمامی کاربران توسط تمامی نقاط دسترسی (AP[10]) یا ایستگاه‌های پایه (BS[11]) سیگنال‌دهی می‌شوند پیشنهاد شده‌اند. مسلما در طراحی چنین سیستم‌هایی محدودیت‌ها و چالش‌هایی وجود دارد اما در این سیستم‌ها تمامی کاربران به‌طور یکنواخت و با کیفیت مطلوبی سیگنال‌دهی می‌شوند. سیستم ترکیبی RIS-CFmMM از مزایای فناوری RIS و سیستم CFmMM استفاده می‌کند که در این مقاله به بررسی آن می‌پردازیم. در ادامه ابتدا به معرفی فناوری RIS یا IRS می‌پردازیم. سپس سیستم CFmMM را مورد بررسی قرار می‌دهیم. پس از آن سیستم ترکیبی RIS-CFmMM را تشریح می‌کنیم و در انتها به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

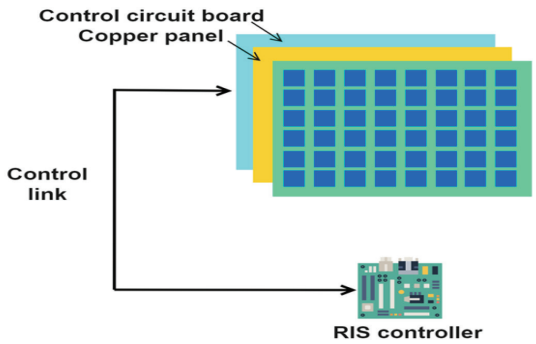
فناوری RIS

در یک تقسیم‌بندی فناوری صفحات هوشمند را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: ۱-فناوری LIS[12] و ۲-فناوری RIS. فناوری LIS یا صفحات هوشمند بزرگ از دو قسمت اصلی صفحات و تولید کننده سیگنال تشکیل شده‌اند. به عبارت دیگر فناوری LIS به عنوان صفحات فعالی در نظر گرفته می‌شوند که هر کدام از عناصر تشکیل دهنده آن امکان دریافت و ارسال اطلاعات را دارند. یکی از ویژگی‌های این صفحات این است که اثر تزویج متقابل [13] و همبستگی [14] آنتن‌های استفاده شده در این صفحات قابل صرف‌نظر کردن هستند به طوری که آرایه آنتن‌ها را می‌توان بزرگ در نظر گرفت[۱] این صفحات در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل ششم به دلیل نیاز به تاخیر کم (Low latency) و سرعت انتقال داده بالا در ارسال و دریافت اطلاعات می‌توانند بسیار پرکاربرد باشند. سطوح هوشمند از تعداد زیادی عناصر منعکس‌کننده (آنتن های کوچک میکرو استریپ [15]) تشکیل شده‌اند که به یک مدار که امپدانس آن تغییر می‌کند متصل هستند. بر خلاف فناوری LIS، صفحات استفاده شده در فناوری RIS غیرفعال می‌باشند به این معنا که بدون نیاز به یک منبع تولید انرژی، عمل انعکاس امواج تابیده

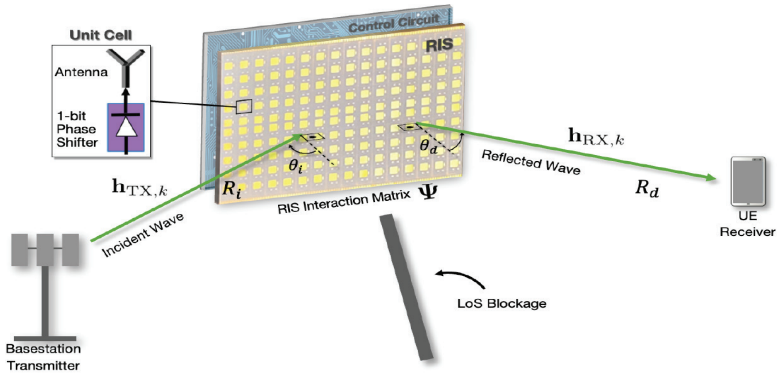


6- Artificial Intelligence
7- Internet of Everything
8- Channel
9- 5th generation mobile network
10- Access Point
11- Base Station

12- Large Intelligent Surfaces
13- Mutual coupling
14- Correlation
15- Microstrip antenna



شکل ۲- ساختار صفحات RIS یا IRS در شبکه های مخابرات بی‌سیم[۲]



شکل ۳- کاربرد فناوری RIS زمانی که مسیر LOS بین فرستنده و گیرنده وجود ندارد[۳]

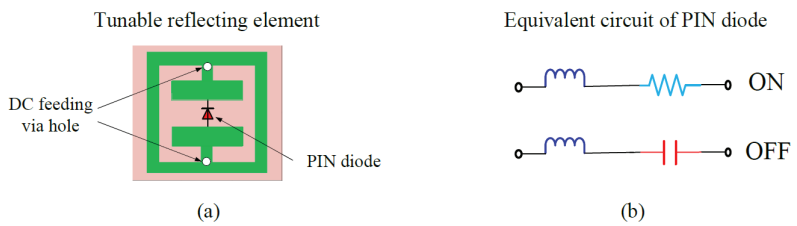
شکل ۱- (صفحات RIS a یا b IRS) صفحات LIS [1].

شـــده را انجام می‌دهند و با اصلاح فاز سیگنال دریافتی و بهبود توان آن، کیفیت سیگنال را بهبود می‌بخشند. نکته بسیار مهم و اساسی در این صفحات این است که زاویه امواج منعکس شده توسط یک واحد پردازش که رشته بیت‌هایی [۱۶] را تولید می کند قابل تنظیم می‌باشـــد. در شـــکل ۱ مقایســـه‌ای بین صفحات IRS و LIS را مشـــاهده می کنیم. همان‌طور کـــه می‌بینیم در فناوری LIS منبع تولید ســـیگنالی وجـــود دارد که می‌تواند بر روی ســـیگنال دریافتی کارهایی مانند تقویت کردن سیگنال دریافتی، حذف نویز و غیره را انجام دهد و ســـپس ســـیگنال را در جهت مورد نظر ارســـال کند. فناوری RIS به دلیل عدم نیاز به منبع تولید ســـیگنال RF دارای ویژگی‌هایی مانند سادگی، قابل پیاده‌سازی و مقرون به صرفه‌تر بودن نسبت به فناوری LIS می‌باشـــد. بنابراین در ادامه این مقاله تمرکز ما بر روی فناوری RIS خواهد بود. ساختار یک صفحه RIS در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۳ نحوه استفاده از صفحات RIS زمانی که یک مانع بین فرستنده و گیرنده وجود دارد و مسیر مستقیمی (LOS [۱۷]) بین فرستنده و گیرنده وجود ندارد نشان داده شده است. برای عمل انعکاس در سلول‌های RIS از سه روش مختلف ۱-چرخش مکانیکـــی ۲- مواد کاربردی مانند کریســـتال‌های مایع و گرافن ۳-قطعـــات الکترونیکی ماننـــد PIN [۱۸] دیودها، ترانزیســـتورهای FET [۱۹] و ســـوئیچ های MEMS [۲۰] می‌توان استفاده کرد. در عمل روش ســـوم به دلیل پاسخ زمانی سریع، تلفات کم انعکاس، مصرف انرژی کم و هزینه ســـاخت مناسب مورد استقبال بیشتری قرار گرفته است.

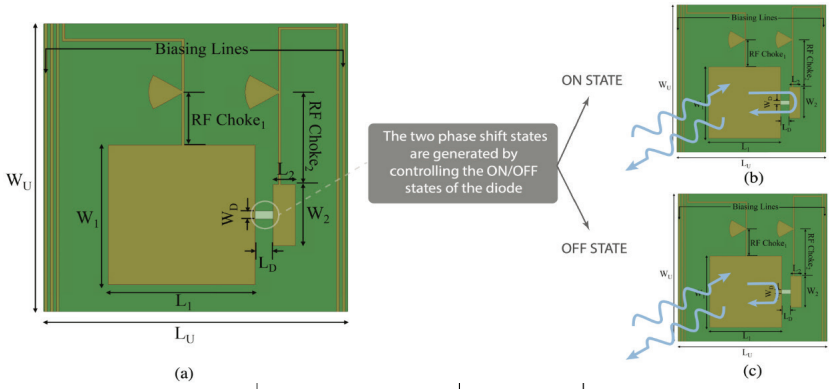
دیودهای PIN می‌توانند در دو حالت روشـــن و خاموش مطابق

16- Codeword

17- Line Of Sight
18- Positive Intrinsic Negative
19- Field Effect Transistor
20- Microelectromechanical systems



شکل ۴-دیود های PIN مورد استفاده در سلول‌ها به همراه مدار معادل آن‌ها در دو حالت روشن و خاموش[۴]



Unit Cell Design Parameters	Dimension (mm)
W_U	25.85
W_1	12.51
L_1	12.51
W_2	5.48
W_D	0.7
L_D	1.5

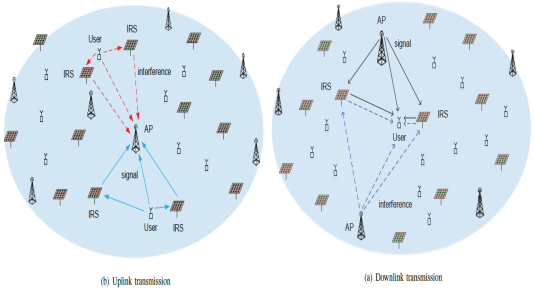
شکل ۵–نمایی از یک سلول RIS به همراه ابعاد آن[۳]

شکل ۴ قرار گیرند که باعث ایجاد شـــیفت فازی به اندازه مضرب π بر حسب آنکه روشن یا خاموش باشند بر روی سیگنال دریافت شده می‌شوند.

فرکانس سوئیچینگ دیودهای PIN می‌تواند بیشتر از ۵ مگاهرتز باشد. به عبارتی زمان سوئیچینگ کمتر از ۰/۲ میلی‌ثانیه خواهد بود که این زمان بســیار کوچک‌تر از زمان همدوســی [۲۱] کانال بی‌ســیم که در حدود میلی‌ثانیه اســت خواهد بود و مشکلی در دریافت سیگنال‌ها ایجاد نمی‌کند. در شکل ۵ یک سلول صفحه RIS به همراه ابعاد آن به‌طور دقیق‌تر نمایش داده شده است.

بخش مهم دیگر فناوری RIS قســمت کنترلر آن می‌باشــد که تنظیمات لازم جهت انعکاس موج تابیده شده به آن را انجام می دهد. نمایی از مدار کنترل صفحات هوشمند RIS در شکل ۶ آورده شده است.

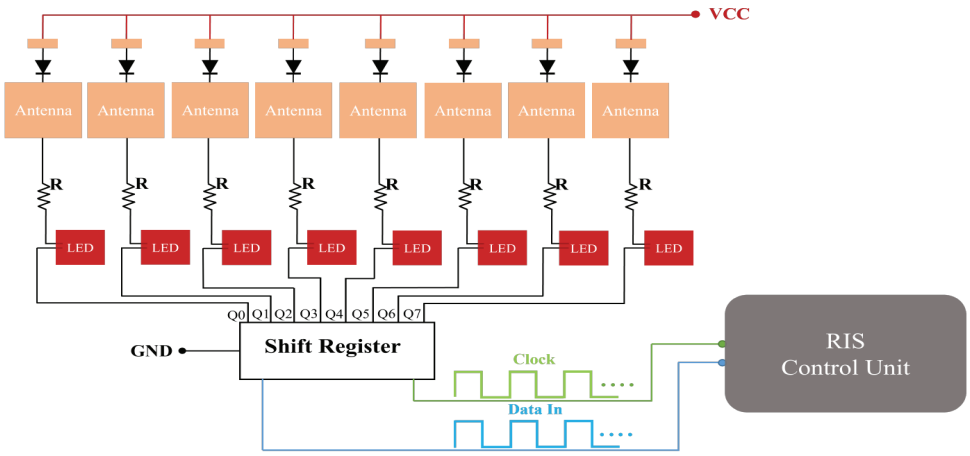
21-Coherence time



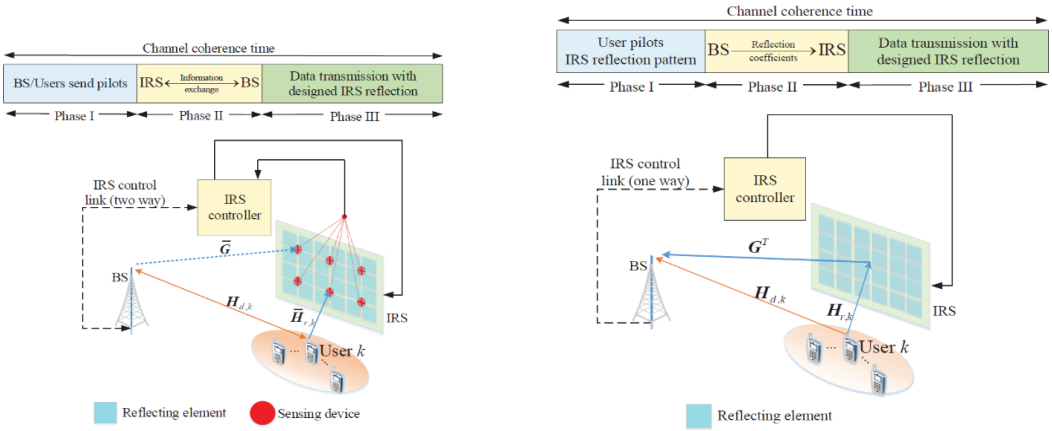
شکل ۷–استفاده از فناوری RIS یا IRS در دو مسیر بالارونده و پایین رونده[۴]

شکل ۷ نمایی از کاربرد RIS در دو مســیر فراسو[۲۲] و فرو سو[۲۳] را نشان می‌دهد. توجه به این نکته ضروری است که صفحات RIS می‌توانند در دو حالت غیرفعال (در مسیر فراسو) و شبه غیرفعال

22-uplink
23-Downlink

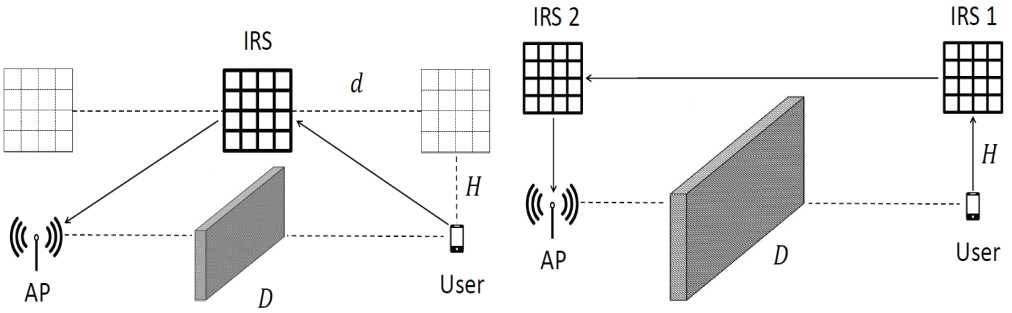


شکل ۶–نمایی از مدار کنترل صفحات RIS[۳]



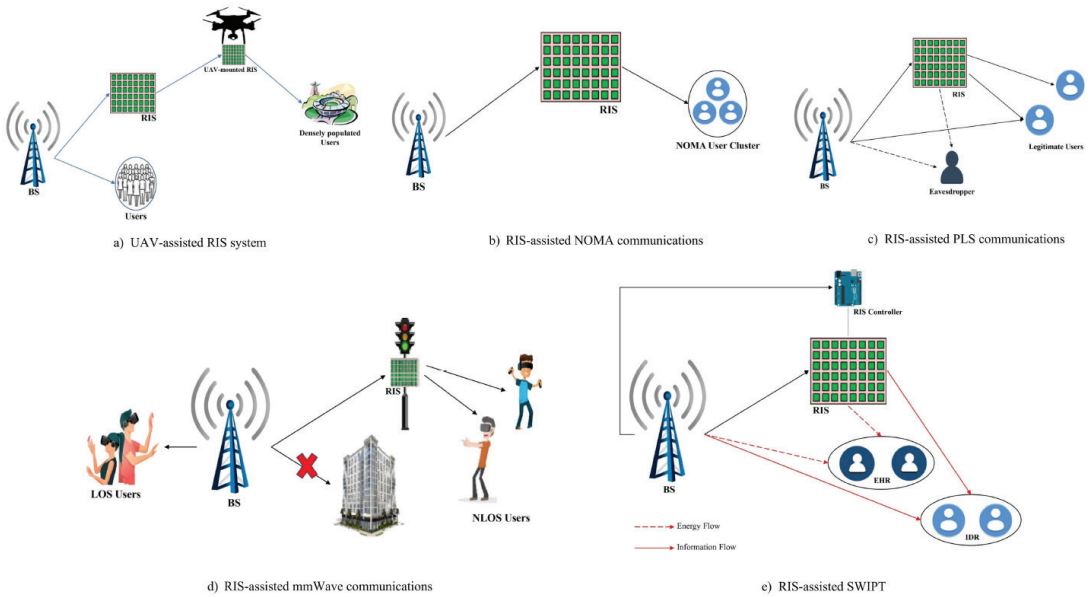
(a) Semi-passive IRS. (b) Passive IRS (in the uplink).

شکل ۸- پیکربندی صفحات RIS یا IRS در دو حالت عملی (a) شبه غیرفعال و (b) غیرفعال به همراه پروتکل‌هایشان[۴]

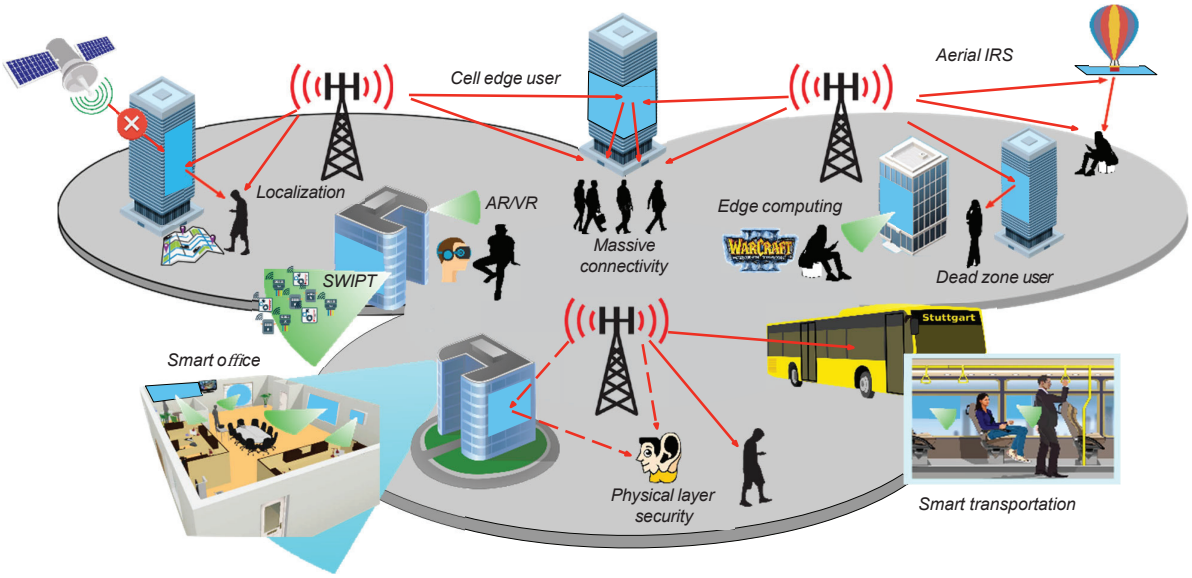


(a) Single IRS (b) Two cooperative IRSs

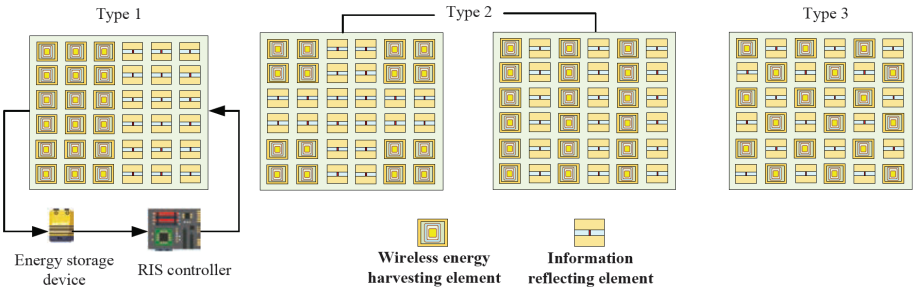
شکل ۹- دو حالت مختلف استفاده از صفحات RIS یا IRS در یک ارتباط نقطه به نقطه[۴]



شکل ۱۰- کاربردهای مختلف RIS یا IRS در فناوری‌های شبکه‌های مخابرات بی‌سیم آینده[۵]



شکل ۱۱- نمایش کاربردهای فناوری RIS در محیط‌ها و موقعیت‌های مختلف[۴]



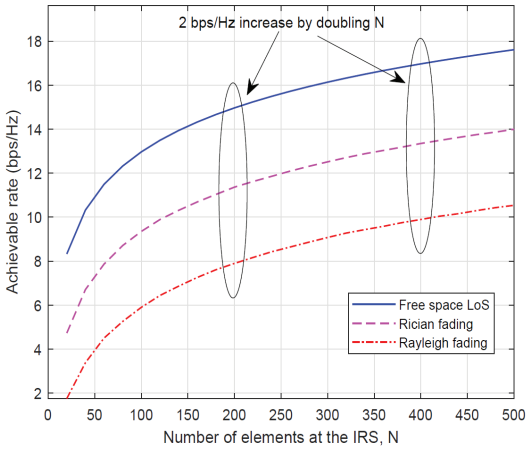
شکل ۱۲- چیدمان‌های مختلف عناصر داده و انرژی بر روی صفحات RIS[۶]

مطابق شکل ۸ طراحی و مورد استفاده قرار گیرند[۴] در حالت شبه غیرفعال (شکل a) بر روی صفحات RIS یا IRS سنسورهایی وجود دارد که سیگنال دریافتی را اندازه گرفته و به BS می‌تواند گزارش یا فرمان دهد. به عبارت دیگر یک ارتباط دو طرفه بین صفحات RIS با BS وجود دارد که می‌توانند تنظیمات لازم را جهت دریافت سیگنال بهتر انجام دهند در حالیکه در حالت غیرفعال (شکل b)، یک ارتباط یک طرفه از BS به صفحات RIS جهت تنظیمات لازم وجود دارد. پروتکل‌های مربوط به این دو حالت در شکل ۸ نمایش داده شده است. نکته جالب دیگر از کاربرد صفحات هوشمند در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم این است که در یک ارتباط نقطه به نقطه می‌توان از یک یا چند RIS مطابق شکل ۹ استفاده کرد.

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب نمایشی از کاربردهای مختلف فناوری RIS یا IRS در فناوری‌های شبکه‌های مخابرات بی‌سیم آینده و نمایی کامل‌تر از کاربرد آن‌ها در موقعیت‌ها و محیط‌های مختلف را نشان می‌دهند. نکته مهم دیگری که بایستی به آن اشاره کرد این است که در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم 6G انتظار می‌رود اینترنت همه چیز انبوهی[۲۴] از وسایل مختلف را به هم متصل کند. به عبارت دیگر وسایل هوشمند متعدد با ظرفیت انرژی محدود داریم که بحث تامین انرژی آن‌ها در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید مهم و ضروری است. از این رو انتقال انرژی به صورت بی‌سیم (WET[۲۵]) یک فناوری کلیدی برای برطرف کردن این نیاز در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم نسل‌های جدید (مانند 6G) می‌باشد[۶] در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید انتقال داده و انرژی SWIPT[۲۶] را خواهیم داشت که در شکل ۱۰ نیز نمایش داده شده است. همان طور که می‌بینیم فناوری RIS در این راستا نیز می‌تواند کمک کننده به شبکه باشد. در شکل ۱۲ چند حالت مختلف برای طراحی صفحات RIS در جهت ارسال و دریافت اطلاعات و جذب انرژی نمایش داده شده است. همان‌طور که می‌بینیم دو نوع عنصر متفاوت برای داده و انرژی داریم که نحوه چیدمان آن‌ها بر روی صفحات RIS حالت‌های مختلفی را نشان می‌دهد. در نوع ۱ عناصر داده و انرژی کاملا مجزا از یکدیگر قرار گرفته‌اند.

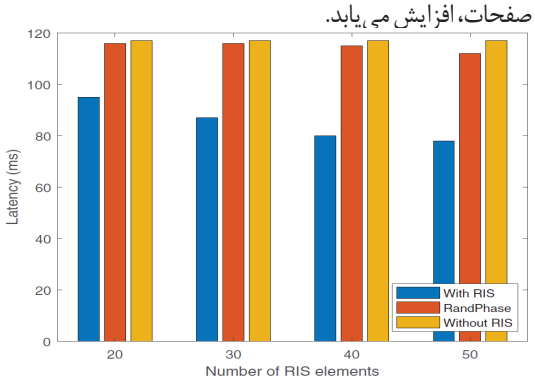
24-Internet of Everythings
25-Wireless Energy Transfer
26-Simultaneous wireless information and power transfer

در نوع ۲، این چیدمان به صورت بلوک‌بندی شده است. درنوع ۳، همان‌گونه که مشاهده می‌کنیم این عناصر به صورت متناوب بر روی صفحات RIS پراکنده شده‌اند.



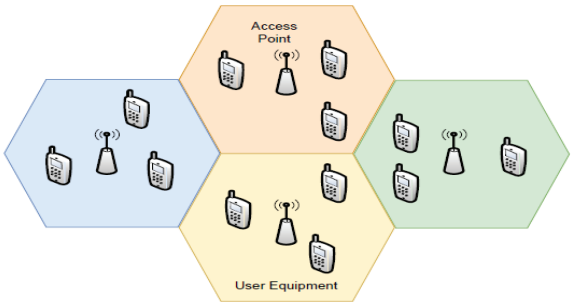
شکل ۱۳- نرخ داده قابل دسترس بر حسب تعداد عناصر بر روی صفحات RIS یا IRS در کانال‌های مختلف مخابرات بی‌سیم[۴]

یکی از معیارهای بسیار مهم در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم میزان نرخ ارسال داده می‌باشد. شکل ۱۳ میزان نرخ ارسال داده بر حسب تعداد عناصر موجود (N) بر روی صفحـــات RIS را در کانال‌های مختلف مخابرات بی‌سیم نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینیم با افزایش تعـــداد عناصر و در نتیجه آن، افزایـــش ابعاد صفحات، میزان نرخ ارسال داده‌ها افزایش می‌یابد. از طرفی ابعاد صفحات و هزینه ســـاخت آن‌ها می‌تواند محدودیت‌هایی را برای طراحی سیستم ایجاد کند. نکته مهم دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد این است که میزان تاخیر شبکه با استفاده از RIS کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی در شکل ۱۴ این ویژگی مهم را که درشبکه‌های مخابرات بی‌سیم نسل‌های جدید (مانند 6G) بسیار مهم می‌باشد را نشان می‌دهد[۲] همان‌طور که مشـــاهده می‌کنیم با افزایش تعداد عناصر برروی صفحات RIS میـــزان تاخیر کاهش می‌یابد. معیار مهم دیگری که می توان در اینجا به آن اشـــاره کرد نسبت توان ســـیگنال به نویز (SNR[۲۷]) می باشد. درشکل ۱۵ مشاهده می‌کنیم که میزان SNR دریافتی با افزایش تعداد عناصر بر روی صفحات، افزایش می یابد.

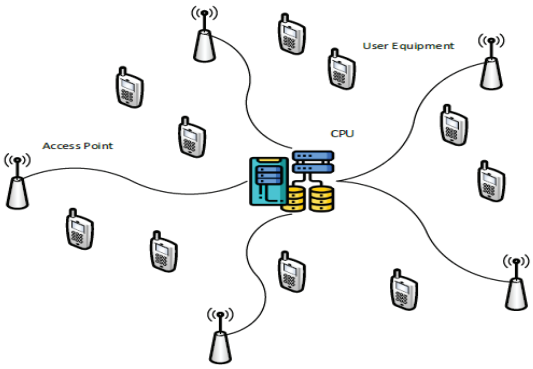


شکل ۱۴- مقایسه میزان تاخیر در شبکه بر حسب تعداد عناصر RIS یا IRS[۲]

27-Signal to Noise Ratio

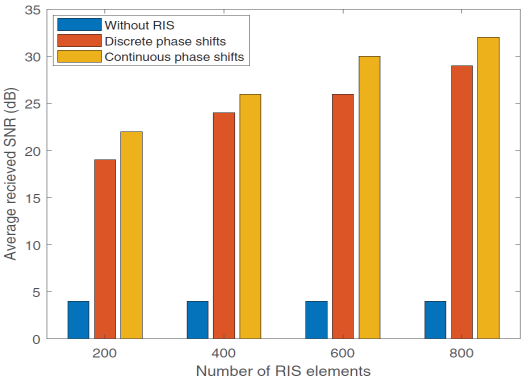


(a) Traditional cellular system.



(b) Cell-free massive MIMO.

شکل ۱۶-a) سیستم‌های سلولی و b) سیستم‌های CFmMM[۱]

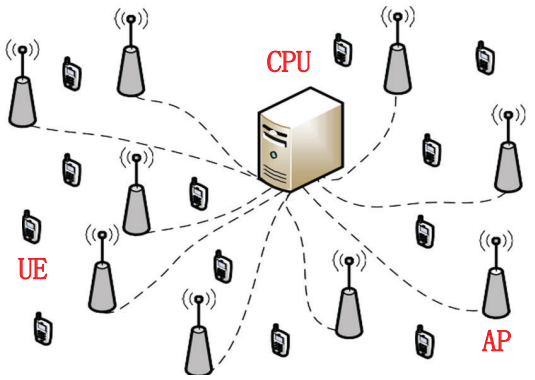


شکل ۱۵-متوسط SNR دریافتی بر حسب تعداد عناصر RIS[۲]

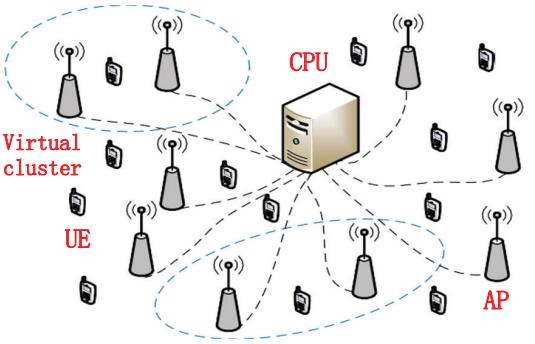
سیستم‌های Cell Free Massive MIMO[۲۸]

سیستم‌های مخابرات سیار سلولی همان‌طور که از اسم آن‌ها مشخص است بر پایه شبکه سلول‌بندی استوار هستند. در این شبکه‌ها هر منطقه به تعدادی سلول تقسیم بندی می‌شود که توسط BS ها در سلول‌ها سیگنال‌دهی می‌شوند. عواملی مانند محدودیت توان، طیف فرکانسی محدود و تعداد زیاد کاربران باعث می‌شود که از سیستم‌های سلولی جهت پوشش‌دهی و سرویس‌دهی کاربران استفاده شود. با تمام مزیت‌های شبکه‌های سلولی، معایب یا نقص‌هایی در این سیستم‌ها وجود دارد. یکی از مهمترین معایب آن‌ها این است که اگر کاربری در مرز سلول‌ها قرار گیرد میزان سیگنال دریافتی ضعیف خواهد بود ضمن اینکه روز به روز تقاضا برای دریافت نرخ ارسال داده بیشتر در حال افزایش است. از طرفی نیاز روزافزون به پوشش‌دهی بهتر و یکسان در تمامی مناطق تحت پوش می‌باشد. یک پیشنهاد در سیستم‌های مخابرات سیار نسل جدید 6G جهت بهبود پوشش سیگنال‌دهی بهتر، استفاده از شبکه‌های مخابرات بدون سلول[۲۹] می‌باشد.

در شبکه‌های CFmMM کاربر فقط به یک BS یا AP متصل نیست بلکه تمامی BS ها یا AP ها امکان سرویس دهی به کاربر را دارند. در شکل ۱۶ سیستم‌های سلولی و بدون سلول به طور ساده نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم در شبکه CFmMM تمامی نقاط دسترسی (AP) به یک واحد پردازش مرکزی (CPU) متصل هستند.



(a) conventional cell-free massive MIMO system.

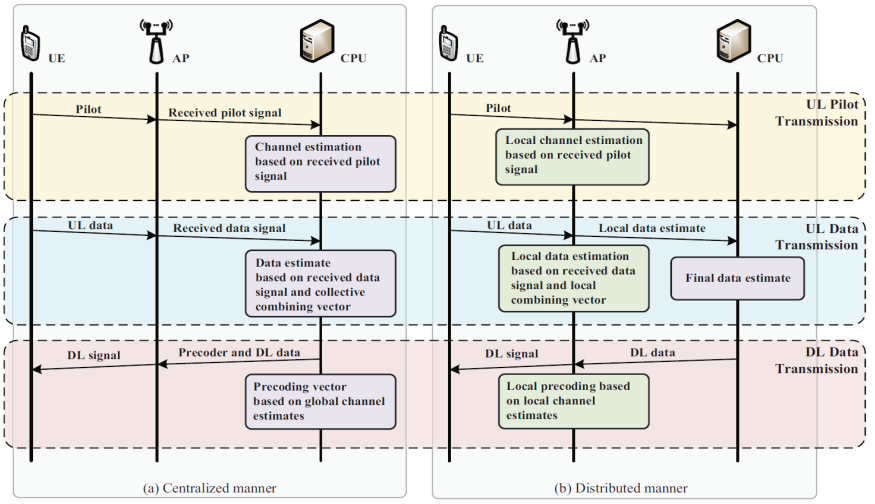


(b) scalable cell-free massive MIMO system.

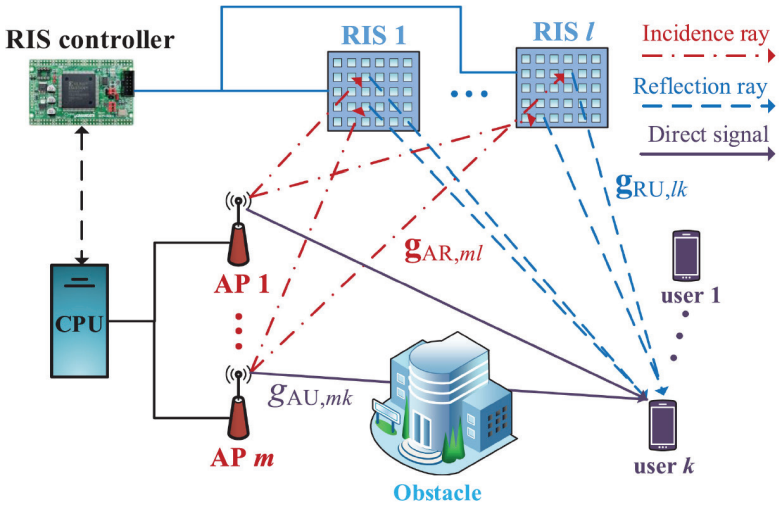
شکل ۱۷-دو ساختار پیشنهادی برای سیستم‌های CFmMM[۷]

28-CFmMM

29-Cell Free



شکل ۱۸-مراحل ارسال و دریافت داده‌ها در دو حالت (a متمرکز و b) غیرمتمرکز[۸]



شکل ۱۹- استفاده از فناوری RIS در یک شبکه CFmMM [۹]

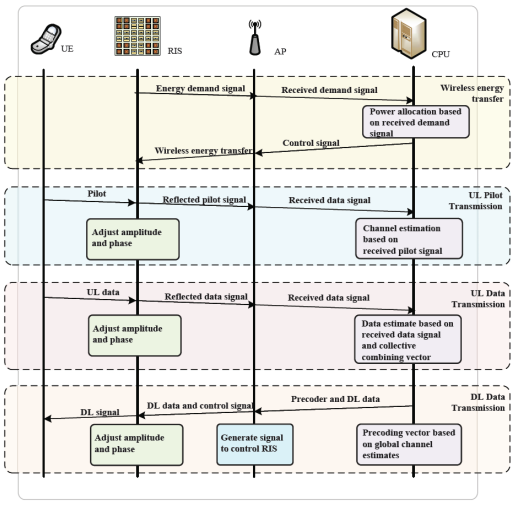
در طراحی سیستم‌های CFmMM ساختارهای مختلفی قابل به‌کارگیری است که درادامه به دو مورد اشاره شده است. ۱-روش TDD[۳۰] و FDD[۳۱] مرسوم بر پایه CFmMM که مطابق شکل ۱۷(a) از تعداد زیادی AP که تعداد کمتری کاربر را سرویس‌دهی می کند تشکیل شده است. ۲-سیستم CFmMM مقیاس پذیر. هر چند روش اول دارای بازدهی خوبی است ولی زمانی که تعداد کاربران زیاد است مناسب نیست. به همین دلیل در روش پیشنهادی دوم مطابق شکل ۱۷(b) کلاسترهای مجازی در نظر گرفته می‌شود تا بتوان ظرفیت بیشتری داشت. در طراحی سیستم CFmMM جهت ارسال و دریافت داده‌ها می توان دو حالت مختلف متمرکز و غیرمتمرکز را در نظر گرفت. در شکل ۱۸ نمایی از مراحل این دو روش ترسیم شده است [۸] همان‌طور که می‌بینیم در روش متمرکز (a) تمامی پردازش‌های لازم در واحد پردازش مرکزی انجام می‌شود. در شبکه‌هایی که میزان کاربران و داده‌ها زیاد است جهت کاهش بار محاسباتی واحد پردازش مرکزی، می‌توان از روش غیرمتمرکز استفاده کرد. همان‌طور که در شکل ۱۸(b) می‌بینیم بخشی از محاسبات و پردازش‌ها در نقاط دسترسی (AP[۳۲]) انجام می‌شود که در نتیجه آن، بار محاسباتی واحد پردازش مرکزی کاهش می‌یابد.

30- Time Division Duplexing
31- Frequency Division Duplexing

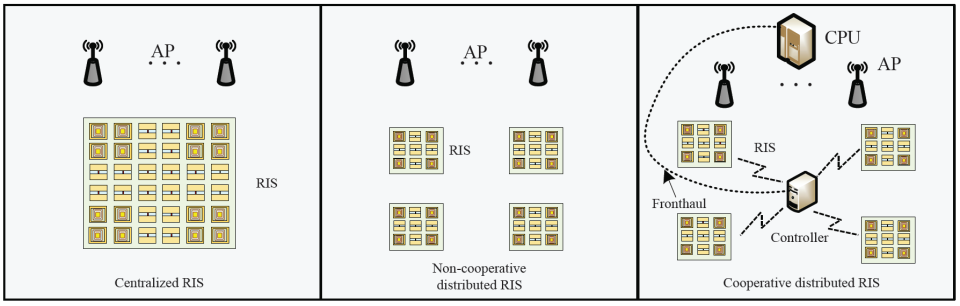
سیستم‌های مبتنی بر CFmMM و RIS

در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید مانند 6G از فرکانس‌های بالا جهت دسترسی به پهنای باند بیشتر استفاده خواهد شد. از طرفی کارکردن بر روی فرکانس‌های بالا مانند موج‌های میلیمتری[۳۳] و تراهرتز[۳۴] محدودیت‌هایی را بر روی طراحی سیستم مانند جذب و تضعیف بیشتر سیگنال‌های ارسالی توسط موانع و برد کمتر سیگنال‌ها ایجاد می کند. بنابراین با توجه به اینکه در سیستم‌های CFmMM از تعداد زیادی (AP) جهت پوشش‌دهی مناطق استفاده می‌شود می‌توان مشکل کاهش برد سیگنال‌ها و تضعیف آن‌ها را تا حدی حل کرد. در این راستا استفاده از فناوری RIS می‌تواند کمک بزرگی به بهبود کیفیت سیگنال‌های ارسالی سیستم باشد. بنابراین سیستم پیشنهادی RIS-CFmMM می‌تواند به عنوان یک ساختار جدید در سیستم‌های مخابرات سیار نسل جدید (مانند 6G) مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۱۹ نمایشی از نحوه استفاده از فناوری RIS در یک شبکه مخابرات بی‌سیم CFmMM را نمایش می‌دهد [۹] همان‌طور که می‌بینیم می‌توان از یک مدار کنترلر جهت تنظیمات و کنترل چندین RIS استفاده کرد. در شکل (۲۰) مراحل ارسال و دریافت داده و جذب انرژی در سیستم RIS-CFmMM را مشاهده می کنیم. در یک شبکه RIS-CFmMM

32-Access Point
33- mmWave
34- Thz



شکل ۲۰- مراحل ارسال و دریافت داده و انرژی در سیستم RIS-CFmMM [۶]



شکل ۲۱- حالت‌های مختلف در چیدمان و طراحی صفحات RIS در یک شبکه RIS-CFmMM [۶]

می‌توان حالت‌های مختلفی در چیدمان و طراحی صفحات RIS که ارسال و دریافت داده و انرژی را بر عهده دارد، در نظر گرفت. در شکل ۲۱ سه روش مختلف نمایش داده شده است. در روش اول (متمرکز[۳۵]) یک صفحه بسیار بزرگ RIS داریم که از تعداد زیادی عنصر (سلول) تشکیل شده است. در روش دوم (غیرمشارکتی-گسترده شده[۳۶]) از صفحات کوچک‌تر RIS در جاهای مختلف بسته به نیاز سیستم، استفاده شده است که ارتباطی بین این صفحات وجود ندارد. در روش سوم (مشارکتی-گسترده شده[۳۷]) همان‌طور که می‌بینیم از همان صفحات RIS روش دوم استفاده می‌شود با این تفاوت که این صفحات توسط مسیرهای فیزیکی یا بی‌سیم به یک واحد کنترلر متصل شده‌اند. در عمل روش متمرکز برای شبکه‌های کوچکتر با تعداد کاربر زیاد و متمرکز مناسب است در حالیکه روش‌های گسترده برای شبکه‌های بزرگ‌تر دارای بازدهی بهتری هستند.

نتیجه‌گیری

امروزه پیشرفت فناوری‌ها به همراه افزایش نیازهای بشر در دنیای دیجیتال باعث شده است که همواره دسترسی به یک شبکه مخابرات پرسرعت امری بسیار مهم و ضروری باشد. در آینده نزدیک سیستم‌های مخابرات بی‌سیم 6G را خواهیم داشت. سیستم‌های نو ظهوری که نسبت به سیستم‌های 5G دارای برتری‌هایی مانند سرعت انتقال داده بیشتر، پهنای باند بیشتر، تاخیر کمتر، ظرفیت بیشتر، پوشش‌دهی بهتر و موارد دیگر می‌باشند. در این راستا در سیستم‌های 6G فناوری‌ها و پیشنهادات متنوعی ارئه می‌گردند تا بتوان سیستم‌های حال حاضر را بهبود بخشید. در این مقاله جهت نزدیک شدن به این هدف، فناوری RIS و سیستم‌های مخابرات بی‌سیم CFmMM مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که دیدیم با کمک فناوری RIS می‌توان در نقاطی که به عنوان مثال موانع و ساختمان‌هایی وجود دارد و امکان نصب AP یا BS نمی‌باشد، کیفیت سیگنال دریافتی را بهبود بخشید. همچنین دیدیم که با کمک سیستم‌های CFmMM می‌توان ضعف سیستم‌های سلولی در پوشش‌دهی مطلوب در مرز سلول‌ها را برطرف کرد و به کاربرانی که در این مناطق هستند خدمات و پوشش‌دهی سیگنال مناسب‌تری داشت. نکته دیگری که در این مقاله اشاره شد این بود که با ترکیب فناوری RIS و سیستم‌های CFmMM نتایج بهتر و موثرتری در بهبود شبکه‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید خواهیم داشت.

35- Centralized RIS
36- Non-Cooperative Distributed RIS
37- Cooperative Distributed RIS

منابع:

[1] Y. Zhao, W. Zhai, J. Zhao, T. Zhang, S. Sun, D. Niyato, and K.Y. Lam "Comprehensive Survey of 6G Wireless Communications", subarXiv: 2101.03889v2 [eess.SP] 16 Feb 2021.

[2] S. Basharat, M. Khan, M. Iqbal, U. S. Hashmi, S. A. R. Zaidi, and I. Robertson, "Exploring reconfigurable intelligent surfaces for 6G: State-of-the-art and the road ahead," IET Communications, vol. 16, no. 13, pp. 1458-1474, 2022.

[3] G. Trichopoulos, P. Theofanopoulos, B. Kashyap, A. Shekhawat, A. Modi, T. Osman, S. Kumar, A. Sengar, A. Chang, and A. Alkhateeb, "Design and Evaluation of Reconfigurable Intelligent Surfaces in Real-World Environment," IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 3, pp. 462–474, 2022.

[4] Q. Wu, Sh. Zhang, B. Zheng, Ch. You, and R. Zhang, "Intelligent Reflecting Surface-Aided Wireless Communications: A Tutorial" IEEE Transactions on Communications, vol. 69, no. 5, pp. 3313-3351, 2021.

[5] M. Munochiveyi, A. Ch. Pogaku, D. Do, A. Le, M. Voznak, and N. Nguyen, "Reconfigurable Intelligent Surface Aided Multi-User Communications: State-of-the-Art Techniques and Open Issues", IEEE Access, Vol. 9, pp. 118584-118605, 2021.

[6] E. Shi, J. Zhang, Sh. Chen, J. Zheng, Y. Zhang, D. Ng, and B. Ai, "Wireless Energy Transfer in RIS-Aided Cell-Free Massive MIMO Systems: Opportunities and Challenges", IEEE Communications Magazine, Vol. 60, no. 3, pp. 26-32, 2022.

[7] H. He, X. Yu, J. Zhang, Sh. Song, and Kh. B. Letaief, "Cell-Free Massive MIMO for 6G Wireless Communication Networks", IEEE Journal of Communications and Information Networks, vol. 6, no. 4, pp. 321-335, 2021.

[8] Sh. Chen, J. Zhang, J. Zhang, E. Bjornson, and B. Ai, "A survey on user-centric cell-free massive MIMO systems", ScienceDirect Digital Communications and Networks, Vol. 8, no. 5, pp. 695-719, 2022.

[9] S. Jin, D. Yue, and H. Nguyen, "RIS-Aided Cell-Free Massive MIMO System: Joint Design of Transmit Beamforming and Phase Shifts", IEEE Systems Journal, Vol. 17, no. 2, pp. 3093-3104, 2023.

پشتیبان ارتباطات اینترنت اشیاء

شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری نسل پنجم

نیاز به پیاده‌سازی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری (C-RAN)[1] که انعطاف‌پذیر و مقیاس‌پذیر هستند، با محبوبیتو گسترش اینترنت اشیاء (IoT)[2] بیش از گذشته پُررنگ شده است. شبکه دسترسی رادیویی ابری راه‌حلی است برای مسئله‌ی افزایش بار که منجر به عدم تعادل ترافیک شبکه‌های بی‌سیم به واسطه استفاده از فناوری اینترنت اشیاء می‌شود. عدم تعادل در ترافیک شبکه‌های اینترنت اشیاء باعث می‌شود تا اتصال تعداد زیادی از دستگاه‌ها مسدود شده و کیفیت خدمات (QoS)[3] کاهش یابد. همچنین مدیریت کارآمد منابع از یک‌سو و نیاز به ارتباطات با تاخیر کم از سوی دیگر چالش‌های شبکه‌های دسترسی رادیویی در اینترنت اشیاء محسوب می‌شوند. از این‌رو شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری اخیراً برای ارتباطات بی‌سیم نسل پنجم (5G)[4] پیشنهاد شده است تا الزامات ارتباطات با تأخیر کم و مدیریت بهینه منابع را تضمین کند. شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری چارچوبی قابل اعتماد برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء فراهم می‌کنند. در این گزارش روشی جهت پیکربندی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری جهت متعادل شدن ترافیک شبکه‌های بی‌سیم اینترنت اشیاء و بهبود کیفیت خدمات ارائه می‌گردد. در این پیکربندی، بار ترافیک با استفاده از مدل مارکوف بر اساس مکان کاربران پیش‌بینی می‌شود و با استفاده از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان (ACO)[5] اتصالات منطقی واحدهای باند پایه (BBU)[6] و کُلاهک منبع رادیویی (RRH)[7] مجددا پیکربندی می‌شود. نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که با استفاده از این روش ترافیک شبکه متعادل‌تر شده و در نتیجه کیفیت خدمات بیشینه شده و تعداد اتصالات مسدود شده به حداقل رسیده است.

کلیدواژه: شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری (C-RAN)، اینترنت اشیاء (IoT)، ارتباطات بی‌سیم نسل پنجم (5G)، متعادل‌سازی بار ترافیک شبکه‌های دسترسی رادیویی.

آتنا ابراهیم‌خانی
دکتری مهندسی برق-مخابرات سیستم از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

1- Cloud Radio Access Networks
2- Internet of Things
3- Quality of Service
4- 5th generation
5- Ant Colony Optimization
6- Base Band Units
7- Radio Resource Heads

شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری با داشتن ویژگی‌هایی نظیر پردازش متمرکز توسط محاسبات ابری و تخصیص پویای منابع رادیویی، یک راه‌حل امیدوارکننده جهت رفع مشکلات سازمان‌دهی ترافیک شبکه‌های پُربار هستند [۱] در این میان، سازمان‌دهی بار شبکه یکی از چالش‌های مهم در شبکه‌های بی‌سیم اینترنت اشیاء است. تنوع زیاد در ترافیک شبکه‌های اینترنت اشیاء منجر به اضافه بار برخی از سلول‌های رادیویی می شود، در حالی که برخی از سلول‌ها ممکن است کم بار باقی بمانند. همچنین استفاده ناکارآمد از منابع شبکه باعث افت و تخریب کیفیت خدمات می‌شود. اگر ترافیک بار در شبکه‌های دسترسی رادیویی و استفاده از منابع به صورت خودکار و به شکل بهینه تنظیم شوند، آن‌گاه کیفیت ارائه خدمات تا سطح مطلوبی بالا خواهد رفت. طبق آمار منتشر شده، تا سال ۲۰۲۵ حدود ۷۵,۴۴ میلیارد اداوات متصل در اینترنت اشیاء خواهیم داشت [۲] لذا متعادل‌سازی بار در شبکه‌های دسترسی رادیویی با وجود اینترنت اشیاء یکی از مهم‌ترین چالش‌های روز خواهد بود. در حوزه علم و تحقیقات، تلاش‌هایی برای جبران کیفیت خدماتی که به خاطر ترافیک بار کاهش یافته‌اند، به ویژه در شبکه های تلفن همراه انجام شده است. در مرجع [۳] واحدهای BBU و RRH مربوط به C-RAN به‌گونه‌ای تخصیص داده شده‌اند که بار شبکه به صورت پویا متعادل گردد. این تخصیص از طریق حل یک مسئله‌ی برنامه‌نویسی بهینه‌سازی خطی مبتنی بر عدد صحیح با هدف بیشینه کردن کیفیت خدمات انجام شده و نتیجه مطلوب حاصل گشته است. شاخص عدالت در تخصیص بار نیز در این الگوریتم بیشینه شده است.

در مرجع [۴] از توانایی C-RAN برای پیکربندی مجدد پویا در نگاشت BBU و RRH برای دستیابی به حداقل تماس‌های مسدود شده در شبکه و همچنین به حداکثر رساندن کیفیت خدمات با استفاده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

در مرجع [۵]، از آن‌جا که ادوات اینترنت اشیاء باتری و توان محاسباتی بسیار محدودی دارند، پیشنهاد شده است که محاسبات مربوط به برنامه‌های اینترنت اشیاء در شبکه دسترسی رادیویی ابری مجهز به فناوری چند ورودی-چند خروجی (MIMO)[1] بارگذاری شوند. در شبکه دسترسی رادیویی ابری مجهز به MIMO، یک RRH که در آن از فناوری MIMO استفاده شده است، از طریق پیوند نمایان[2] با ظرفیت محدود به BBU متصل می‌شود. امور محاسباتی ادوات اینترنت اشیاء به گونه‌ای روی شبکه بارگذاری می‌شود که توان ارسالی ادوات به حداقل مصرف برسد. در این مقاله از روش یادگیری عمیق نظارت شده استفاده شده است. نتایج عددی حاصل شده اثربخشی الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی و روش‌های مبتنی بر یادگیری را تأیید می‌کند.

در مرجع [۶]، شبکه دسترسی رادیویی ابری ناهمگن (H-CRAN)[3] که از رایانش ابری پشتیبانی می‌کند، به عنوان یکی از راه‌حل‌های امیدوارکننده برای پشتیبانی از دستگاه‌های اینترنت اشیاء سلولی با سیستم‌های سلولی قدیمی مطرح شده است. در این مقاله، کاربران سلول‌های بزرگ به عنوان کاربران قدیمی در نظر گرفته می شوند، در حالی که دستگاه های اینترنت اشیاء سلولی و کاربران سلول‌های کوچک، کاربران جدید در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه یک روش دو مرحله‌ای کارآمد انرژی با پشتیبانی از H-CRAN پیشنهاد و مورد ارزیابی قرار گرفته است. روش پیشنهادی از نظر بازده انرژی و شاخص عدالت «جِین»[4] با در نظر گرفتن تأثیر تعداد چگالی اینترنت اشیاء سلولی در هر سلول کوچک H-CRAN ارزیابی شده و بسیار اثربخش بوده است.

در این گزارش، جهت متعادل شدن ترافیک بار شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری در حالتی که میلیاردها ادوات مختلف اینترنت اشیاء به شبکه متصل می‌شوند، پیکربندی جدیدی بررسی می‌شود. در این پیکربندی ابتدا بار شبکه با مدل مارکوف تخمین زده می‌شود و سپس پیکربندی اتصالات منطقی BBU و RRH از روش بهینه‌سازی کلونی مورچگان به دست می‌آید.

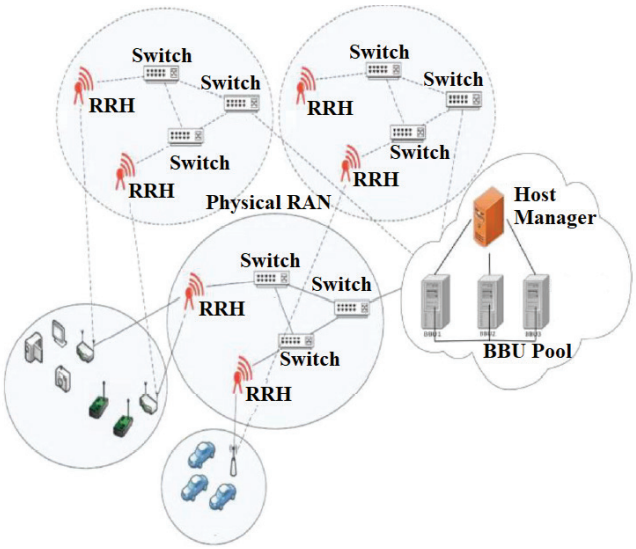
در ادامه‌ی این گزارش، ابتدا اهمیت مسئله‌ی متعادل‌سازی بار در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری زمانی که پای اینترنت اشیاء به میان می‌آید و شبکه پر ترافیک می‌شود، شرح داده می‌شود. سپس روش پیکربندی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری با استفاده از مدل مارکوف و کلونی مورچگان بررسی می‌شود. در نهایت نتیجه‌گیری از روش بررسی شده ارائه می‌گردد.

الزام متعادل‌سازی در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری که از اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌کنند

از آن‌جا که اینترنت اشیاء یک چارچوب جهانی است که اتصال تریلیون‌ها ادوات و اشیاء اطلاعاتی را برای رسیدن به رویای جهان هوشمند پیش بینی می‌کند، این افزایش شگفت‌انگیز در تعداد کاربران متصل، حجم عظیمی از ترافیک در شبکه‌های دسترسی رادیویی ایجاد می‌کند. ترافیک تولید شده متغیر زمان خواهد بود و ماهیت یکنواختی نخواهد داشت که این امر منجر به عدم تعادل ترافیک شبکه اینترنت اشیاء، کاهش کیفیت خدمات و افزایش تعداد انسداد یا شکست اتصال بین دستگاه‌های متصل در اینترنت اشیاء می شود [۱] لذا شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری به دلیل انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری بالا یکی از بهترین گزینه‌ها برای پشتیبانی اینترنت اشیاء محسوب می‌شوند. در شکل ۱، مثالی از

1- Multiple Input Multiple Output
2- Fronthaul

3- Heterogeneous Cloud Radio Access Network
4- Jain's Fairness Index



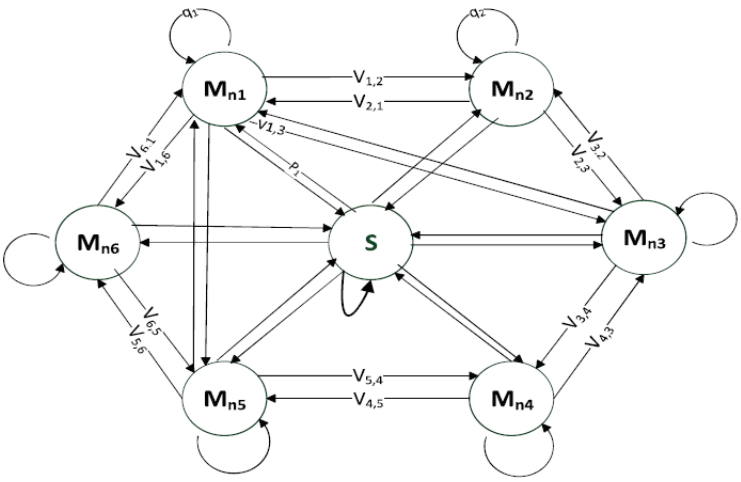
شکل ۱- نمونه‌ای از معماری شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری که از اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌کنند [۱]

معماری شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری که از اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌کنند، نمایش داده شده است. مسئله‌ی مهم در این مقوله، پیکربندی معماری شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری است، به گونه‌ای که ترافیک ناشی از حجم بالای ادوات متصل به اینترنت اشیاء متعادل‌سازی شود. در این راستا، به بررسی الگوریتم پیشنهادی در [۱] در ادامه پرداخته می‌شود.

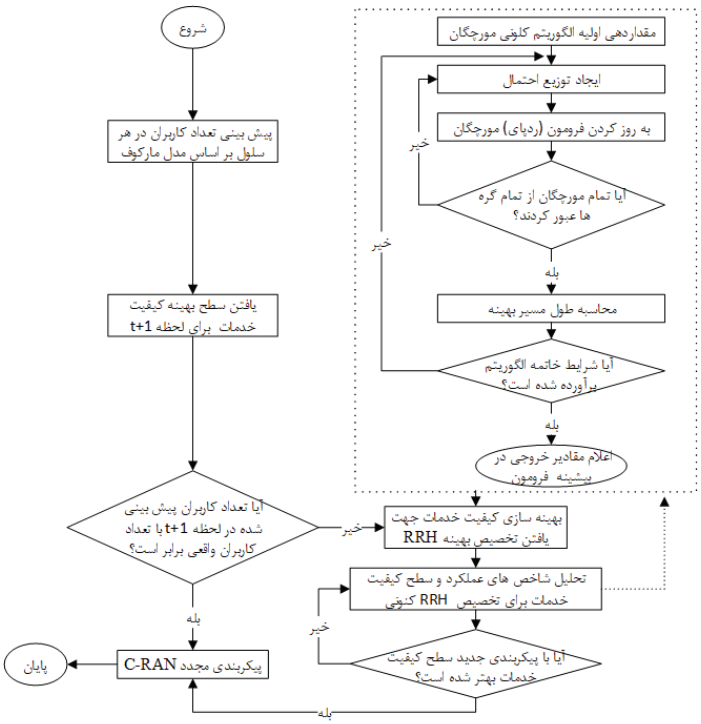
روش پیشنهادی پیکربندی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری جهت متعادل‌سازی بار

همان‌طور که قبلا هم ذکر شد، در روش پیشنهادی متعادل‌سازی بار در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری، ابتدا با استفاده از مدل مارکوف تعداد کاربران پیش‌بینی می‌شود و سپس با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان بهترین اتصال منطقی بین واحدهای باند پایه BBU و کلاهک‌های منابع رادیویی RRH به دست می‌آید.

مدل مارکوف برای اولین بار در مرجع [۷] معرفی شد. در این مدل، وضعیت مارکوف برای هر کاربر موبایل تعریف شده است و موقعیت بعدی کاربر در هر لحظه پیش‌بینی می‌گردد. این امر با نشان دادن تمام سلول‌های همسایه برای یک سلول خاص به عنوان یک حالت مارکوف جدا شده، محقق می‌شود. با توجه به شکل ۲ در نظر بگیرید که کاربری در موقعیتی به نام S قرار دارد، در لحظات بعدی این کاربر می‌تواند به یکی از شش سلول مجاور خود نقل مکان نماید که در شکل ۲، شش سلول مجاور با نماد M_{n1} تا M_{n6} نمایش داده شده است. همچنین نمایش‌دهنده‌ی $V_{i,j}$ بردار احتمال این است که کاربر از سلول i به سلول j برود. q_i نیز نمایش‌دهنده احتمال این است که کاربر در همان سلول باقی بماند. فرض بر این است که کاربران در زمان شروع t در سلول i قرار دارند. همچنین اپراتورها گزارشی از محل ادوات و



شکل ۲- مدل مارکوف جهت پیش‌بینی حضور کاربر در یکی از سلول‌های مجاور خود در زمان بعدی [۱]

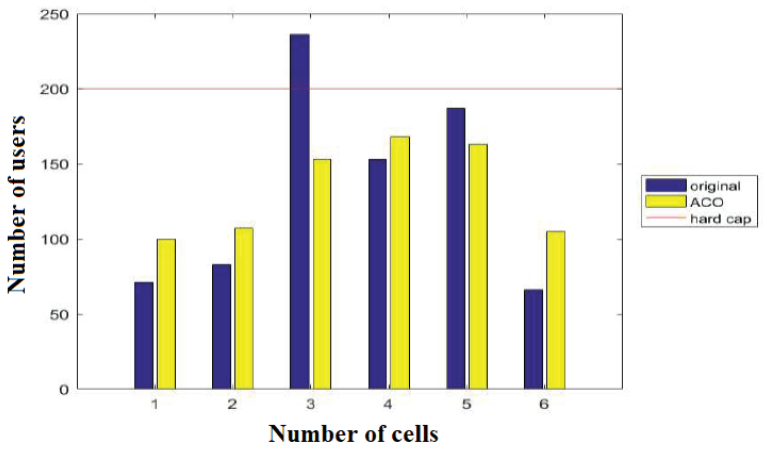


شکل ۳- الگوریتم پیکربندی C-RAN بر اساس مدل مارکوف و کلونی مورچگان [۱]

کاربران اینترنت اشـــیاء دارند که با اســـتفاده از آن می‌توان تعداد اولیه کاربران و ادوات اینترنت اشیاء را در هر سلول به دست آورد. لذا تعداد کاربران در ســـلول i در لحظه t+1 را با نمـــاد $N_i(t+1)$ نشان می‌دهیم که می‌توان از طریق احتمالات مارکوف و رابطه‌ی $N_i(t+1) = N_i(t) \times P_s^i + \sum_{j \in S_{adj}^i} N_j(t) \times P_{M_i}(j)$ آن را بدســـت آورد. در این رابطه S_{adj}^i نشان دهنده مجموعه‌ی سلول‌های همجوار سلول i است و $P_{M_i}(j)$ احتمال حرکت از سلول i به سلول j است. P_s^i نیز احتمال ماندن در همان سلول i یا حالت S است.

حال که تعداد کاربران در هر ســـلول از طریق مدل مارکوف برای لحظات آینده پیش‌بینی شـــد، با اســـتفاده از الگوریتم کلونی مورچگان اتصال منطقی بهینه بین واحدهای BBU و RRH به دست خواهد آمد. برای نگاشـــت BBU به RRH از QoS استفاده می‌شـــود. در هر مرحله از الگوریتم، نگاشت و اتصال واحدهای BBU و RRH بـــا پارامتر QoS اندازه‌گیری می‌شـــود و در صورتی که تعداد کاربران در بازه زمانی بعدی در فرمول ذکر شـــده، تغییر کرده باشـــد، نگاشت جدید بین واحدهای BBU و RRH به‌گونـــه‌ای تغییر می‌کند که پارامتر QoS بهینه شـــود. روند این الگوریتم در شکل ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، به عنوان نمونه در شش ســـلول همجوار روش فوق امتحان شده اســـت و در بسیاری از



شکل ۴- نمایش تعداد کاربران در هر سلول قبل و بعد از اجرای الگوریتم و مشاهده‌ی متعادل‌تر شدن ترافیک شبکه [۱]

سلول‌ها تعداد کاربران مسدود شده کمتر شده و کاربران بیشتری می‌توانند از خدمات با کیفیت مطلوب استفاده کنند. در شکل ۴، محور افقی نمایش‌دهنده‌ی شماره‌های شش سلول همجوار است و محور عمودی تعداد کاربران اینترنت اشیاء در آن سلول را نشان می‌دهد. تعداد کاربران نباید در هر سلول از ۲۰۰ کاربر بیشتر شود که این میزان با خط قرمز رنگ به نام hard cap در شکل ۴ مشخص است. ستون بنفش رنگ نمایش‌دهنده‌ی تعداد کاربران در حالت اصلی و قبل از اجرای الگوریتم است. ستون زرد رنگ نیز تعداد کاربران اینترنت اشیاء در هر سلول بعد از اجرای الگوریتم ذکر شده با نام ACO[5] را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است قبل از اجرای الگوریتم (یعنی ستون‌های بنفش رنگ) کاربران در برخی سلول‌ها تجمع بیشتری داشتند و در برخی سلول‌ها تجمع کمتری داشتند. مثلا تعداد کاربران سلول شماره ۳ حتی از میزان ظرفیت تعداد کاربران یک سلول نیز عبور کرده است. همچنین تعداد کاربران در سلول‌های شماره ۴ و ۵ نزدیک میزان ظرفیت است. در حالی که سلول‌های شماره ۱، ۲ و ۶ تعداد کاربران کمتری

5- Ant Colony Optimization

دارند. پس از اجرای الگوریتم (یعنی ستون‌های زرد رنگ) مشاهده می‌شود که پیکربندی اتصالات BBU-ها و RRH-ها به‌گونه‌ای نگاشته شده است که سربار سلول‌های پر ترافیک روی سلول‌های کم ترافیک ریخته شده است. در نتیجه ترافیک شبکه متعادل‌تر گردیده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که با رشد سریع تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیاء مواجه هستیم، نیاز است تا شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری که مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان بالایی دارند به کار گرفته شوند. نکته حائز اهمیت اتصال واحدهای باند پایه و کلاهک‌های رادیویی به نحوی است که بار ترافیک شبکه متعادل گردد. لذا در این گزارش، روشی جهت پیکربندی و نگاشت پویای واحدهای باند پایه و کلاهک‌های رادیویی در شبکه دسترسی رادیویی ابری که از اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌کند، پیشنهاد شده است. همچنین در این گزارش، در یک شبکه اینترنت اشیاء با اجرای الگوریتم پیشنهادی جهت متعادل‌سازی بار در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری شاهد به حداقل رساندن تعداد کاربران مسدود شده و کاهش نرخ خطا که منجر به حداکثر شدن کیفیت خدمات می‌شود هستیم. در این الگوریتم، تعداد تخمینی کاربران در هر سلول بر اساس یک مدل مارکوف پیدا می‌شود و سپس نگاشت بهینه بین واحدهای باند پایه و کلاهک‌های رادیویی بر اساس بار تخمین زده شده با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان به دست می‌آید تا از قبل پیکربندی مناسب را پیش‌بینی کند که باعث صرفه‌جویی در زمان اجرا و افزایش کیفیت خدمات شود. از این رو، عملکرد سیستم افزایش می یابد و یک شبکه اینترنت اشیاء متعادل به دست می‌آید.

منابع:

[1] M. Mouawad, Z. Dziong, and A. El-Ashmawy, “Load-balancing in 5G C-RAN based on dynamic BBU-RRH mapping supporting IoT communications,” in Proceeding of IEEE Global Conference on Internet of Things, 2018.

[2] T. Alam, “A reliable communication framework and its use in Internet of Things,” International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, vol. 3, no. 5, 2018.

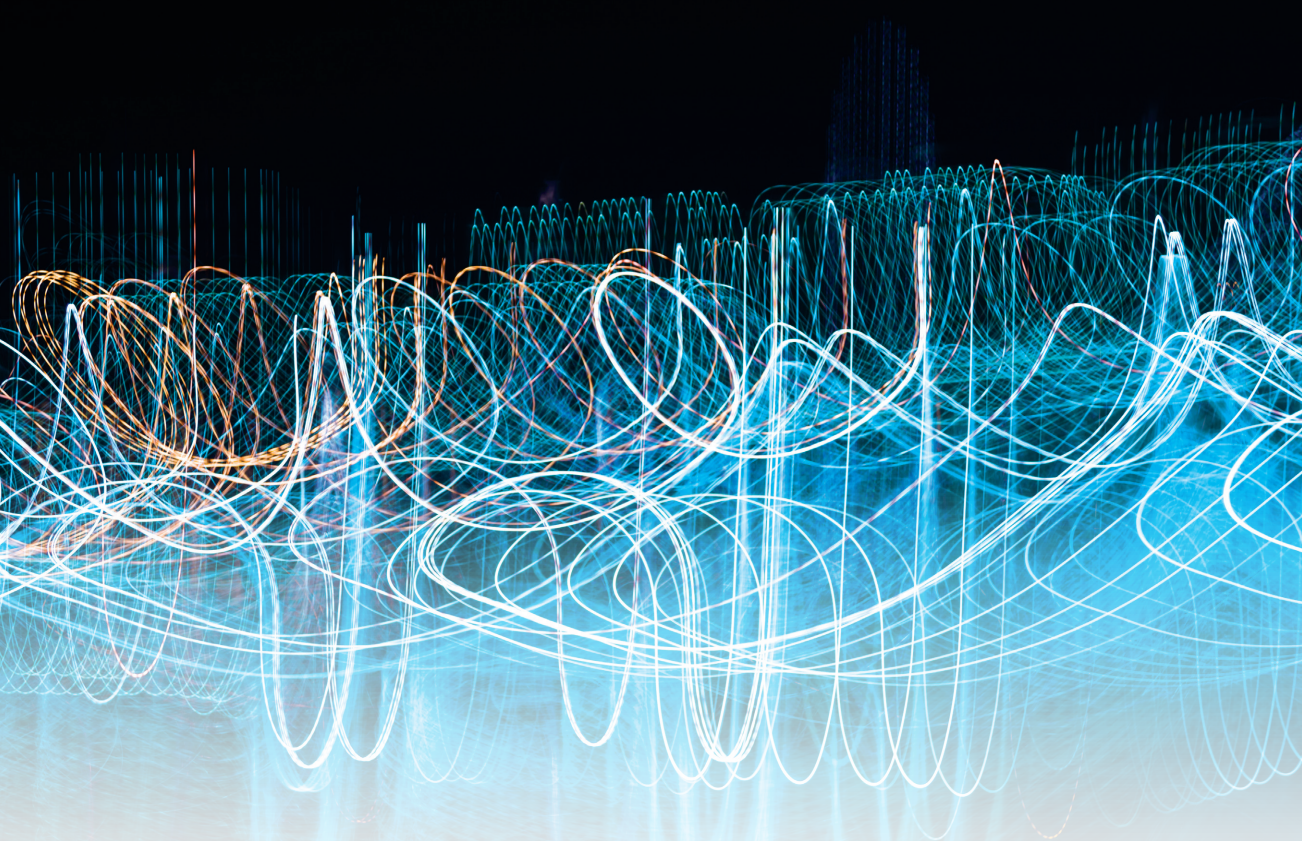
[3] M. Khan, F. A. Sabir, and H. S. Al-Raweshidy, “Load balancing by dynamic BBU-RRH mapping in a self-optimised Cloud Radio Access Network,” in proceeding of 24th International Conference on Telecommunications (ICT), 2017.

[4] M. Khan, R. S. Alhumaima, and H. S. Al-Raweshidy, “Quality of Service aware dynamic BBU-RRH mapping in Cloud Radio Access Network,” in proceeding of International Conference on Emerging Technologies (ICET), 2015.

[5] C. Pradhan, et al., “Computation offloading for IoT in C-RAN: optimization and deep learning,” IEEE Transactions on Communications, vol. 68, no. 7, pp. 4565-4579, Jul. 2020.

[6] L. Ferdouse, et al., “Energy efficient downlink resource allocation in cellular IoT supported H-CRANS,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 70, no. 6, pp. 5803-5816, Jun. 2021.

[7] T. Szalka, et al., “Markov model-based location prediction in wireless cellular networks,” Infocommunications Journal, 2009.



علیرضا جعفریه
کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات میدان از دانشگاه صنعتی شریف، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

تحقق لینک‌های مخابراتی پویا به‌وسیله RIS و SWIPT

با توجه به روند پیشرفت فناوری و معرفی موضوعاتی نظیر اینترنت اشـــیاء انبوه، تعداد دستگاه‌های بی‌سیم با افزایش چشمگیری مواجه شده است. این دســـتگاه‌ها جهت تأمین توان مورد نیاز خود نیاز به باتری دارند. از طرفی، با توجه به کاربردهایی که برای نسل‌های پنجم و ششم در نظر گرفته شده است، در بسیاری از این کاربردها امکان شارژ مجدد و یا تعویض این باتری‌ها وجود ندارد. لذا نیاز است تا به یک راه حل جایگزین جهت تأمین توان دستگاه‌های نسل پنجم و ششم بیاندیشیم. همچنین تحقق لینک‌های پویا در شبکه‌های نسل ششم بسیار اهمیت دارد. در این لینک‌ها باید بتوانیم حتی در صورتی که ارتباط مستقیم را از دست دادیم برای مدت مناسب کاربران را تحت پوشش قرار دهیم. در این راستا، در این مقاله با توجه به لزوم انتقال داده و همچنین اهمیت تأمین انرژی همزمان، انتقال بی‌سیم توان را به‌عنوان یک راهکار تأمین انرژی ادوات کاربران در نسل‌های پنجم و ششم مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این مقاله نقاط ضعف و قوت یکسو کننده توان نیز به‌عنوان یکی از رکن‌های اساسی این فناوری بررسی می‌شود. از طرفی، با توجه به اهمیت وجود لینک‌های پویا در نسل‌های جدید شبکه، علاوه بر معرفی RIS[1]ها، یکی از راهکارهای ایجاد لینک پویا به‌وسیله RIS و پهپادها (UAV[2]) را بررسی می‌نماییم. در نهایت با ترکیب لینک‌های پویا معرفی شده و فناوری انتقال همزمان داده و توان به‌صورت بی‌سیم راهکاری جهت افزایش طول عمر این لینک‌ها معرفی می‌شود.

1- Reconfigurable Intelligent Surface
2- Unmanned aerial vehicle

استقرار و استانداردسازی شبکه‌های بی‌سیم نسل پنجم (5G) به‌ســـرعت در حال افزایش اســـت. شبکه‌های 5G عملکردهای مختلفی مانند قابلیت اطمینان فوق‌العاده[1]، تأخیر زیر میلی ثانیه‌ای، سرعت پیک داده چند گیگابیت بر ثانیه، اتصال / بهینه‌سازی بالا[2] برای اینترنت اشـــیا (IoT)، ظرفیت فوق‌العـــاده[3]، بهبودهای بزرگ در استحکام لینک[4]، بهره‌وری انرژی، و انعطاف‌پذیری / کارایی اســـتفاده در تخصیص طیـــف را ممکن می‌ســـازد [۱] فناوری‌های کلیدی در شبکه‌های 5G شامل سیستم‌های چندورودی چند خروجی (MIMO)، دسترسی چندگانه غیر

1- Ultra reliability
2- High connectivity/optimization

3- Ultra capacity
4- Order-of-magnitude improvements in the link robustness

متعامد (NOMA[5])، استقرار سلول‌های کوچک بسیار متراکم، باندهای موج میلی‌متری[6] و شبکه‌های رادیویی شناختی (CR[7]) می‌باشند. اما با وجود این فناوری‌های انقلابی، 5G نمی‌تواند تمام الزامات را برآورده کند. با این امر، مفهوم سازی شبکه‌های نسل ششم (6G) برای حفظ مزیت رقابتی شبکه‌های ارتباطات بی‌سیم آغاز شده‌است [۱]و[۲]

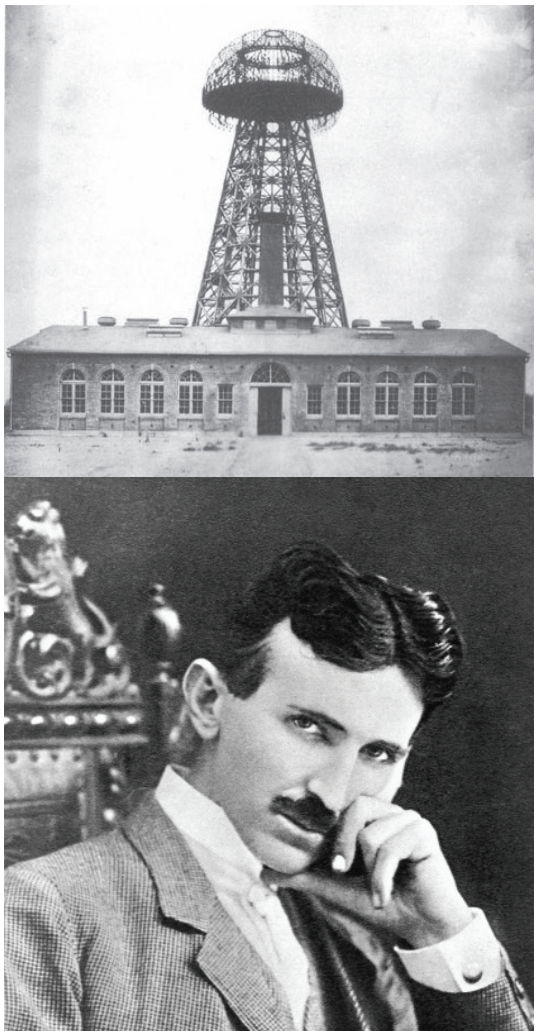
در حال حاضر پژوهش‌های بسیاری درباره شبکه‌های 6G انجام شده و یا در حال انجام است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۸ استانداردها و آزمایش‌های مربوط به این نسل تکمیل شوند. الزامات اصلی، دسته بندی خدمات و فناوری‌های عرضه‌شده، آینده‌ایی انقلابی را برای شبکه‌های 6G نوید می‌دهند. مزیت‌های فناورانه همچون استفاده نوآورانه، خدمات بی‌سابقه، کیفیت عالی خدمات (QoS[8])، اتصال هوشمند همه‌جا حاضر راه‌حل‌های فراگیری را برای سال ۲۰۳۰ و فراتر از آن ارائه می‌دهند. برای این منظور، فناوری‌ها و راه‌حل‌های کلیدی بالقوه فعال کننده شبکه‌های 6G شامل سیستم‌های چند ورودی چند خروجی انبوه[9]، اشتراک‌گذاری طیف پویا با ارتباطات تمام دوبلکس (FD)[10] و یا دستگاه به دستگاه[11] (D2D)، هوش‌مصنوعی (AI)، باند فرکانسی تراهرتز، ارتباطات غیرزمینی[12]، RIS و انتقال همزمان اطلاعات و توان به‌صورت بی‌سیم (SWIPT[13]) می‌باشند. به‌طور خاص، RIS و SWIPT فناوری‌های جدیدی هستند که بهره‌وری انرژی و بهره‌وری طیف را فعال می‌کنند و راه‌حل‌های نوآورانه‌ای را برای چالش‌های ذاتی در توسعه‌های سیستم‌های 6G ارائه می‌کنند [۲]و [۳]

با توجه به اینکه فناوری‌های SWIPT و RIS هر دو نقشی اساسی در تحقق لینک‌های پویا دارند، در این مقاله این دو فناوری معرفی شده‌اند و بعضی از تکنیک‌ها و چالش‌های تحقق آن‌ها بررسی شده است. همچنین با ادغام این دو فناوری در انتهای این مقاله یک روش افزایش زمان عملیاتی لینک‌های پویا معرفی و بررسی شده است.

انتقال توان به‌صورت بی‌سیم (WPT[14])

نخستین ایده‌ها درباره انتقال توان به‌صورت بی‌سیم در اواخر قرن ۱۹ مطرح شد. در این زمان نیکولا تسلا با الهام از پژوهش‌های ماهلون لومیس درباره وجود لایه‌هایی با شارژ الکتریکی در جو زمین نخستین ایده را جهت انتقال بی‌سیم انرژی الکتریکی به خانه‌ها و کارخانه‌ها مطرح نمود. او جهت آزمایش طرح خود یک برج مخابراتی در شهر کلرادو اسپرینگز احداث نمود. اما این طرح با شکست مواجه شد و وی هرگز نتوانست آن را تجاری نماید. یکی از اساسی‌ترین ایرادهای این طرح آسیب‌های زیست محیطی آن بود. توان بالای منتقل شده توسط این برج می‌توانست بر سلامتی موجودات زنده اطراف اثر منفی گذارد.

امروزه با توجه به رشد فناوری، تعداد دستگاه‌های قابل‌حمل مانند تلفن‌های همراه و تبلت‌ها رشد چشمگیری پیدا کرده است. پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ میلادی تعداد دستگاه‌های قابل حمل نسبت به سال ۲۰۲۰ میلادی ۴٫۲ میلیارد افزایش یابد. علاوه بر این، کاربردهای جدیدی نیز برای نسل پنجم و ششم مخابرات بی‌سیم معرفی شده‌اند. از جمله این کاربردها می‌توان



شکل ۱. تنظیمات تست ایده انتقال توان به‌صورت بی‌سیم تسلا در کلرادو اسپرینگز.

5- Non orthogonal multiple access
6-mmWave
7- Cognitive radio
8-Quality of service
9- Massive MIMO
10- Full Duplex
11- Device to device communication
12- Non-terrestrial communication
13-Simultaneous Wireless Information and Power Transfer
14-wireless power transmitt

به اینترنت اشیا، اینترنت اشـــیا در زیر دریا[۱۵]، (V2V[۱۶]) و... اشاره نمـــود [۴] همچنین کاربردهایـــی در حوزه ســـلامت نیز مانند دســـتگاه‌های قابل جاگـــذاری در داخل و روی بدن انســـان و یا حیوانات معرفی شده‌اند. در بســـیاری از این موارد، دستگاه‌های مورد استفاده جهت تأمین توان مصرفی خود دارای باتری هستند. عمر این باتری‌ها معمولاً محدود است و پس از زمانی نیاز به شارژ مجدد و یا تعویض دارند. در بسیاری موارد تعویض این باتری‌ها به صرفه و یا عملی نیست. لذا جهت تأمین توان مصرفی این دستگاه ناچار به یافتن یک راهکار مکمل می‌باشیم [۵]

بر خلاف قرن ۱۹ امروزه انتقال توان به‌صورت بی‌سیم دیگر صرفاً در حد یک ایده نخواهـــد بود. تاکنون طرح‌هـــای مختلف جهت پیاده‌سازی ایده انتقال توان به‌صورت بی‌سیم معرفی شده‌اند. اما در حالت کلی اساس اکثر آن‌ها همانند هم می‌باشد.

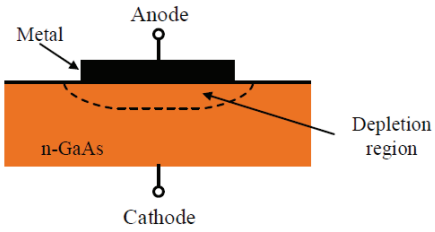
معمولاً سیستم‌های انتقال توان در بخش گیرنده از یک آنتن و یک یکسو کننده[۱۷] تشکیل شده است که به‌اختصار آن را رکتنا[۱۸] می‌نامند. یکسو کننده‌ها معمولاً از ادوات مایکروویوی مانند دیودهای شاتکی و یا ترانزیستورها، یک فیلتر DC و یک شبکه تطبیق تشکیل شده‌اند. شکل ۲ ساختار یک دیود شـــاتکی را نمایش می‌دهد. معادله ولتاژ جریان این دیود را می‌توان به‌صورت زیر نوشت [۶]:

$$I_d = I_s\left(e^{\frac{qV_d}{\eta K_B T}} - 1\right) \quad (1)$$

که در آن V_d ولتاژ آند کاتد دیود شـــاتکی می‌باشد. چنانچه این ولتاژ به‌صورت یک موج متناوب با فرکانس ω_0 به دیود اعمال شود، جریان این دیود را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$I_d = I_s(I_0(x) + 2I_1(x)\cos(\omega_0 t) + 2I_2(x)\cos(2\omega_0 t) + \cdots) \quad (2)$$

15- Internet-of-underwater-things
16-Vehicle-to-Vehicle communication in wireless communication
17- Rectifier
18- Rectena



شکل ۲. یک اتصال شاتکی[۷]

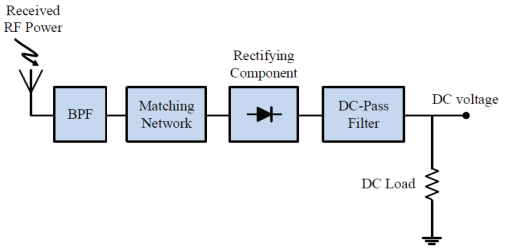
که در آن $I_i(x)$ چند جمله‌ای بسل مرتبه iام هستند. همان گونه که از این معادله مشخص اســـت جریان دیود در این حالت دارای مولفه‌های DC و هارمونیک‌های ω_0 می‌باشد. معمولاً سه جمله اول این معادله دامنه بزرگ‌تری نســـبت به ســـایر جملات دارند و دیگر جملات قابل چشم‌پوشـــی‌اند. از آن‌جا که در انتقال توان بی‌سیم به جریان DC نیاز است لذا نیاز است تا جملات مرتبه بالا این معادله فیلتر شوند. معمولاً در انتهای یک رکتنا از یک خازن موازی استفاده می‌شود تا هارمونیک‌های مرتبه بالاتر فیلتر شوند.

انتقال همزمان داده و توان به‌صورت بی‌سیم (SWIPT)

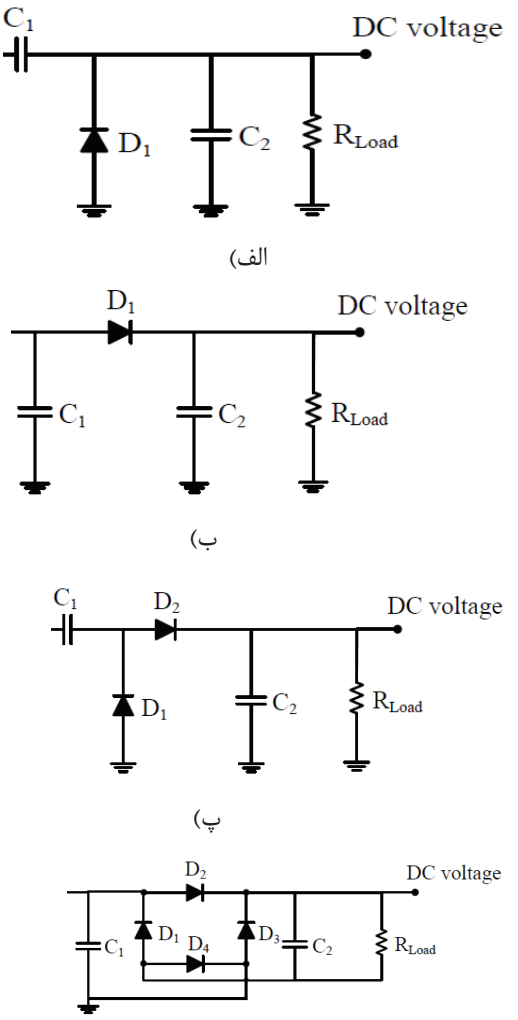
همان گونه که تأمین انرژی دستگاه‌های 5G و 6G بسیار ضروری است حفظ نرخ داده و کیفیت تجربه (QoE[۱۹]) نیز بسیار ضرورت دارد [۵] این ضرورت تأمین همزمان انرژی و داده در این نســـل‌ها موجب شـــد تا محققین به راه حلی جهت پاســـخ به این ضرورت بیندیشند. در نهایت جهت پاسخ به این نیاز فناوری انتقال همزمان داده و توان به‌صورت بی‌سیم معرفی شد. در این فناوری در سمت گیرنده با به‌کارگیری یک تقسیم کننده توان[۲۰] مسیر داده و انرژی از یکدیگر مجزا می‌شـــوند. وزن هر یک از این مسیرها باتوجه به پارامترهای مختلفی تعیین می‌شود. از جمله این پارامترها می‌توان به نسبت سیگنال به نویز، ظرفیت باتری دستگاه و حالت عملیاتی

19-Quality of Experience
20- Power divider

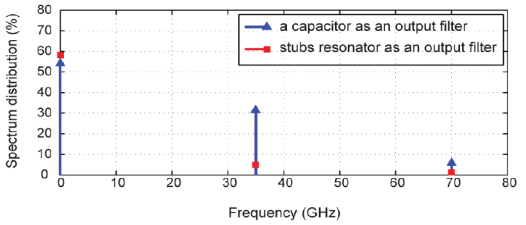
سیستم اشاره کرد. برای نمونه، زمانی که نسبت سیگنال به نویز از یک حد آستانه کمتر شود تمام توان دریافتی به بخش داده گیرنده منتقل می‌شود و عمل WPT انجام نمی‌شود. همانند WPT در SWIPT نیز در قسمت گیرنده یک یکسو کننده قرار دارد. شکل ۳ ساختار کلی یک یکسو کننده را به نمایش گذاشته‌است [۶] و [۷]



شکل ۳. ساختار کلی یکسو کننده[۷]



شکل ۴. چند طراحی معروف یکسو کننده بر پایه دیود شاتکی. الف) نیم موج موازی. ب) نیم موج سری. پ) تمام موج دو برابر کننده ولتاژ. ت) تمام موج پل[۶]



شکل ۵. طیف فرکانسی خروجی یک یکسو کننده از نوع دو برابر کننده ولتاژ[۷]

معمولاً اولین بلوک از یک یکسو کننده یک فیلتر میان‌گذر جهت حذف سیگنال‌های ناخواسته است. همچنین یکسو کننده‌های مبتنی بر دیودهای شاتکی معمولاً از یک یا چند دیود شاتکی تشکیل شده‌اند. شکل ۴ چند طراحی معروف بر پایه دیود شاتکی را نمایش می‌دهد. یکی از اجزأ مهم یکسو کننده‌ها فیلتر DC آن‌ها است. این فیلتر با حذف هارمونیک‌های فرکانس ورودی موجب می‌شود تا در خروجی یک ولتاژ DC با ریپل کم به‌دست آید. در گذشته در فرکانس‌های پایین از یک خازن موازی استفاده می‌شد تا این عمل فیلترینگ انجام شود. اما با حرکت این فناوری به‌سمت فرکانس‌های میلی‌متری نیاز به فیلترهای پیچیده‌تر بیش از پیش حس شد. شکل ۵ طیف فرکانسی خروجی یک یکسو کننده از نوع دو برابر کننده ولتاژ را نمایش می‌دهد. فرکانس ورودی این یکسو کننده ۳۵ گیگاهرتز بوده است. همان گونه که از این شکل مشخص است زمانی که از یک خازن موازی به‌عنوان فیلتر پایین گذر استفاده شده‌است هارمونیک اول فرکانس ورودی در خروجی یکسو کننده دامنه قابل توجهی داشته است. اما زمانی که از استاب[۲۱] استفاده شده‌است این هارمونیک‌ها تا حد زیادی فیلتر شده‌اند.

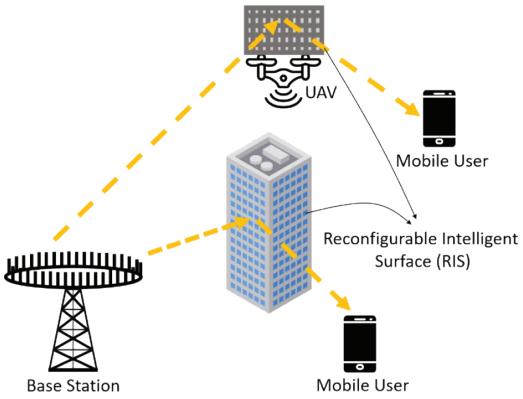
از جمله برتری‌های یکسو کننده های مبتنی بر دیود شاتکی می‌توان به راندمان تبدیل RF به DC نسبتاً بالا و همچنین سادگی طراحی و ساخت آن‌ها اشاره کرد. اما معمولاً این دیودها در یکسوکننده ها مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهند. از این رو مدار تطبیق این یکسو کننده‌ها معمولاً ابعاد بسیار بزرگی دارد. همین امر موجب می‌شود تا ابعاد این یکسو کننده‌ها جهت استفاده در کاربردهای نسل پنجم مناسب نباشد. از این رو در سال‌های گذشته تحقیقات بسیاری جهت کاهش ابعاد یکسو کننده‌ها انجام شده‌است. بسیاری به‌کارگیری ادوات دیگری مانند ترانزیستورها را جهت طراحی یکسو کننده‌ها پیشنهاد داده‌اند. به نظر می‌رسد این راه‌حل در صنعت با اقبال بیشتری رو به رو شده است و در سال‌های آینده شاهد نمونه‌های تجاری این فناوری خواهیم بود.

سطوح هوشمند باز شکل‌پذیر (RIS)

پهنای باند خالی موجود در فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز به‌تنهایی توانایی برآورده کردن نیازهای نسل پنجم و ششم را ندارد. لذا جهت برآورده کردن نیازهای این نسل‌ها نیاز است تا به باند

21- Stub

فرکانسی جدیدی بیاندیشیم [۱] همچنین با توجه به کاربردهای 5G و 6G نیاز است تا ادوات و تجهیزات مربوط به آن‌ها تا جای ممکن کوچک طراحی شوند. با توجه به نیاز به



شکل ۶. یک شبکه مبتنی بر RIS [۷]

پهنای باند خالی و همچنین ابعاد کوچک، باند موج میلی‌متری یک گزینه مناسب جهت تحقق شبکه‌های 5G و 6G می‌باشد. چرا که از یک سوء پهنای باند وسیعی در این باند خالی و قابل استفاده می‌باشد و از سوی دیگر با توجه به طول موج کوچک این باند ادوات طراحی‌شده در باند موج میلی‌متری دارای ابعاد کوچکی می‌باشند [۷]

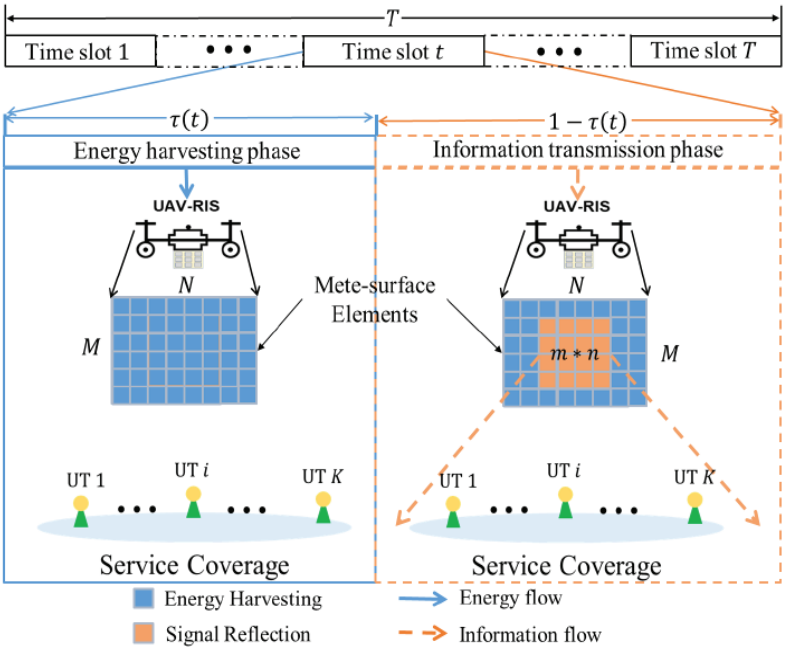
یک موج الکترومغناطیسی در باند موج میلی‌متری جذب اتمسفر بسیار بالایی را تجربه می‌کند. علاوه بر جذب اتمسفر تلفات برآمده از درختان و دیگر موانع نیز در این باند نسبت به فرکانس‌های پایین‌تر بسیار افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که تلفات مسیر در این باند بسیار زیاد است. همچنین به‌دلیل این تلفات زیاد عملاً کانال یک لینک میلی‌متری دارای خاصیت چند مسیری نمی‌باشد. این موضوع موجب این الزام می‌شود که در یک لینک میلی‌متری، جهت برقراری ارتباط حتماً گیرنده و فرستنده در دید یکدیگر (LoS[۲۲]) باشند. این بدان معناست که چنانچه مانعی بین فرستنده و گیرنده قرار گیرد و یا زمانی که فاصله آن‌ها از یکدیگر افزایش یابد ارتباط بین آن‌ها مختل می‌شود. در سال‌های اخیر چه در صنعت و چه در مقالات سطوح هوشمند باز شکل‌پذیر (RIS) توجهات زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۱] و [۲] این سطوح درواقع از شمار آنتن‌های پچ کوچک به‌صورت آرایه صفحه‌ای، یک کنترل کننده دامنه و فاز و عناصری مانند دیود و ترانزیستور تشکیل شده‌اند. معمولاً از RIS ها زمانی استفاده می‌شود که ارتباط LOS بین AP[۲۳] و کاربر قابل حصول نباشد. RISها معمولاً به‌روی ساختمان‌ها و یا سازه‌های بلند قرار می‌گیرند. زمانی که بین AP و کاربر ارتباط LOS برقرار نباشد، AP پرتو خود را به RIS می‌تابد و کنترلر RIS با تنظیم دامنه و فاز المان‌های آنتنی خود عمل شکل‌دهی پرتو[۲۴] را انجام داده و بازتابش پرتو را به‌سمت کاربر تنظیم می‌نماید. به‌وسیله RIS ها می‌توان پوشش شبکه را در نقاطی که پوشش‌دهی رادیویی ضعیفی دارند تضمین کرد و ظرفیت انتقال را افزایش داد. به این شیوه می‌توان هزینه پوشش یک منطقه را کاهش داد. چرا که همان گونه که گفته شد RISها از المان‌های غیرفعال تشکیل شده‌اند و هزینه ساخت آن‌ها از هزینه ساخت APها بسیار کمتر است.

تحقق لینک‌های پویا با طول عمر بالا

همان گونه که قبلاً گفته شد، حفظ ارتباط LOS در ارتباطات بی‌سیم نسل پنجم و ششم بسیار اهمیت دارد. اما در شرایط خاصی ممکن است که این ارتباط قابل حصول نباشد. در این شرایط می‌توان از ایده لینک‌های پویا استفاده کرد. از لینک‌های پویا می‌توان در شرایط زلزله، سیل، و سایر شرایط بحرانی استفاده نمود تا همچنان بتوان پوشش رادیویی را حفظ کرد. همچنین از این ایده می‌توان جهت پوشش ارتفاعات و دره‌های عمیق در شرایط بحران استفاده کرد. یکی دیگر از کاربردهای این لینک‌ها پوشش مناطقی است که در زمان‌های بسیار محدودی از سال بسیار پر تراکم می‌شوند و تعداد کاربران در آن مناطق و در آن زمان‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد. یکی از کاربردهای جدید RIS ها نصب آن‌ها به‌روی UAV به‌منظور دستیابی به یک لینک پویا می‌باشد [۲] این ترکیب را می‌توان سیستم‌های RIS-UAV نامید. هرچند که این سیستم‌ها در شرایط ذکر شده می‌توانند نقش بسیار مؤثری را ایفا کنند اما یک چالش بسیار جدی در مسیر تحقق آن‌ها وجود دارد. UAVها معمولاً به‌وسیله یک باتری تغذیه می‌شوند و این باتری ظرفیت محدودی دارد. در اینجا می‌توان از فناوری SWIPT استفاده کرد تا زمان عملیات دستگاه‌های RIS-UAV را افزایش داد. شکل ۷ یک

طراحی پیشنهادی از RIS-UAV با به‌کارگیری فناوری SWIPT را نمایش می‌دهد. این سیستم پیشنهادی دارای دو فاز است. یک‌فاز WPT و یک‌فاز SWIPT. فازهای WPT و SWIPT به‌ترتیب در سمت چپ و راست شکل ۷ نمایش داده‌شده‌اند. در فاز WPT تمام المان‌های RIS جهت دریافت توان از AP و انتقال آن به یکسو کننده RIS مورد استفاده قرار می‌گیرند. و در فاز SWIPT بخشی از این المان‌ها (سلول‌های آبی) به دریافت توان و انتقال آن به یکسوکننده و بخشی دیگر (سلول‌های نارنجی) به انتقال داده به کاربر اختصاص داده شده‌اند. با این روش RIS همواره در حال دریافت توان RF جهت تبدیل آن به توان DC مورد نیاز خود می‌باشد. همچنین در این طرح پیشنهاد شده است تا زمانی که تعداد کاربران تحت پوشش RIS-UAV کم است، در فاز SWIPT، تنها بخشی از سلول‌های نارنجی فعال باشند تا در مصرف انرژی

22- Line of Sight.
23- Access point
24- Beamforming



شکل ۷. یک سیستم RIS-UAV با به‌کارگیری فناوری SWIPT [۲]

UAV بیش از پیش صرفه‌جویی شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد تا دو فناوری اساسی در مخابرات نسل پنجم و ششم معرفی و بازبینی شوند. در ابتدا به بررسی فناوری ارسال توان بی‌سیم و همچنین اهمیت آن در سیستم‌های نسل پنجم و ششم پرداختیم. سپس با توجه به اهمیت داده در شبکه‌های نوین مخابراتی، سیستم‌های مبتنی بر ارسال همزمان داده و توان را معرفی نمودیم. در این مقاله بخشی از ادوات مورد نیاز سیستم‌های SWIPT مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین به‌عنوان نمونه نتایج یک یکسو کننده توان مورد بررسی قرار گرفت. این سیستم‌ها در حال حاضر دارای ابعاد نسبتاً بزرگی می‌باشند و رقابت جهت تجاری سازی آن‌ها بسیار داغ است. همچنین به معرفی سیستم‌های RIS پرداختیم. مشاهده شد که این سیستم‌ها در نسل‌های پنجم و ششم شبکه‌های مخابراتی نقش مهمی در ایجاد ارتباط LOS دارند. همچنین می‌توان با ترکیب آن‌ها و UAV ها به لینک‌های پویا دست یافت. در تحقق لینک‌های پویا مسئله اساسی افزایش مدت زمان فعالیت آن‌ها است. از طرفی با توجه به اینکه UAVها توسط باتری تغذیه می‌شوند، پس از مدت کوتاهی نیاز به شارژ مجدد دارند و در نتیجه تا مدتی نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد. افزایش زمان عملیات این لینک‌ها یکی از چالش‌های اساسی تحقق آن‌ها می‌باشد. با به‌کارگیری همزمان فناوری‌های RIS و SWIPT در این لینک‌های پویا می‌توان زمان انجام وظیفه آن‌ها را افزایش داد.

منابع:

[1] W. Khalid, H. Yu, J. Cho, Z. Kaleem, and S. Ahmad. “Rate-energy tradeoff analysis in RIS-SWIPT systems with hardware impairments and phase-based amplitude response.” IEEE Access Vol. 10 pp. 31821-31835. 2022

[2] H. Peng, L.C. Wang, G.Y. Li, and A.H. Tsai. “Long-lasting UAV-aided RIS communications based on SWIPT”. In 2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) (pp. 1844-1849). IEEE. (2022)

[3] Y. Fang,, Y. Tao, H. Ma, Y. Li, and M. Guizani. “Design of a reconfigurable intelligent surface-assisted FM-DCSK-SWIPT scheme with non-linear energy harvesting model.” IEEE Transactions on Communications Vol. 71, no. 4, pp. 1863-1877. (2023)

[4] K. G. Omeke, M. Mollel, S. T. Shah, L. Zhang, Q. H. Abbasi, and M. A. Imran. “Towards a Sustainable Internet-of-Underwater-Things based on AUVs, SWIPT, and Reinforcement Learning.” arXiv preprint arXiv:2302.10368 (2023).

[5] D. Kim, M. Choi, and D.W. Seo. "Optimal Power Allocation and Power Splitting Ratio Assignments for SWIPT-Enabled Orthogonal Multiple Access with Distributed Antenna Systems". Electronics, Vol. 12, no. 9, pp.1995. (2023)

[6] Colinge, J.P. and Colinge, C.A., 2005. Physics of semiconductor devices. Springer Science & Business Media.

[7] Ladan, Shabnam. “Simultaneous wireless power transmission and data communication.” PhD diss., École Polytechnique de Montréal, 2014.

همراه فناوری
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم
رصد فناوری

مهدی طاهرخانی
دکتری مهندسی برق- مخابرات میدان از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

آنتن‌های فراسطح
بدون باند کناری (Sideband-free)
با کدینگ فضا–زمان

با معرفی نسل پنجم سیستم‌های مخابراتی، نیاز به افزایش سرعت انتقال داده، افزایش پهنای باند و کاهش تاخیر در شبکه‌های سلولی و موبایل اهمیت بیشتری پیدا کرده است. در این نسل، استفاده از فرکانس‌های موج میلی‌متری به دلیل پهنای باند بزرگ قابل استفاده، به عنوان یکی از راه‌حل‌های محبوب در فناوری مخابراتی و به خصوص در شبکه‌های سلولی رواج یافته است. با این حال، در فرکانس‌های موج میلی‌متری به دلیل افت مسیر شدید[1] و نیاز به ارتباط مستقیم بین فرستنده و گیرنده[2] LOS، فناوری شکل‌دهی پرتو[3] به منظور بهبود نسبت سیگنال به نویز در سمت گیرنده، به عنوان یکی از موارد اساسی در نسل پنجم مخابراتی مطرح می‌شود. با استفاده از این فناوری، پرتو ارسالی به طور دقیق به جهت‌های مختلف انتشار یافته و به طور موثرتری با سیگنال‌های مزاحم تداخل نمی‌کند. در این مقاله، یک آنتن با قابلیت شکل‌دهی پرتو و کاربردهای متعدد در شبکه‌های نسل پنجم مخابراتی تشریح شده است. این آنتن توانایی تنظیم پرتو در حالت‌های مختلف و در فرکانس‌های متفاوت را داراست. این ویژگی‌ها آن را به یک گزینه مهم در سیستم‌های Fronthaul (قسمتی از شبکه که ارتباط میان سایت‌های مختلف را تأمین می‌کند) شبکه‌های نسل پنجم میلی‌متری با کاربردهای داخلی و خارجی تبدیل می‌کند. این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از فناوری شکل‌دهی پرتو در فرکانس‌های موج میلی‌متری باعث بهبود کیفیت انتقال داده و بهبود عملکرد سیستم‌های مخابراتی نسل پنجم می‌شود.

1-Path Loss
2-line of sight
3-Beamforming

مقدمه

فراموادِ[1] موادی مصنوعی هستند که به طور معمول از ساختارهای زیرطول موج[2] تشکیل شده‌اند که به نحوی چیده شده‌اند که خواص الکترومغناطیسی ماکروسکوپیک داشته باشند. فراسطوح[3]، که همتای دو بُعدی فراموادِ هستند، می‌توانند مزایای مجزایی مانند افت عبوری کم، قابلیت ساخت ساده‌تر و قابلیت تطبیق‌پذیری[4] نسبت به فراموادِ داشته باشند. فراسطوح قابلیت ایجاد تغییر[5] در امواج الکترومغناطیس شامل دامنه، فاز و پلاریزاسیون آن‌ها را دارند و می‌توانند به طور پویا این امواج را با استفاده از یکپارچه‌سازی با مواد کاربردی کنترل کنند. به طور خاص، فراسطوح دارای گرادیان فضایی[6] می‌توانند ممانِ[7] امواج الکترومغناطیس را تغییر دهند که کاربردهای زیادی مانند تولید ممان زاویه‌ای چرخشی (OAM)[8]، هولوگرافی[9] و پنهان کردن[10] دارد. همچنین با اضافه کردن اجزای تنظیم‌پذیر به فراسطوح، جبهه موج[11] در امواج الکترومغناطیس بر حسب کاربرد قابلیت سوئیچ شدن پیدا می‌کند.

اخیراً، فراسطوح متغیر با زمان با مدولاسیون فضا که به فراسطوح مدوله شده فضا-زمانی (STMM)[12] معروف هستند، توسعه داده شده‌اند. STMMها دارای یک یا چند پارامتر متغیر با مکان و زمان، مانند فاز انتقال/انعکاس، دامنه، امپدانس سطحی[13] و هدایت[14] ماده ترکیبی[15] هستند. در مقایسه با فراسطوح گرادیانی متداول، STMMها دارای یک بُعد بیشتر (یعنی زمان) در طراحی هستند، که امکان ایجاد یک پدیده فیزیکی جدید و در نتیجه یک سطح جدید در تغییر موج الکترومغناطیس در فضاهای ممان و فرکانس را فراهم می‌کند.

STMMها را می‌توان بر حسب اینکه تحریک و خروجی آن‌ها امواج هدایتی یا امواج فضای آزاد هستند، به سه دسته تقسیم کرد. اولین دسته، امواج را داخل موج‌برها کنترل می‌کند. STMMهای مبتنی بر موج‌بر می‌توانند تقارن معکوس زمانی[16] و هم‌پاسخی لورنتز[17] را به وسیله چینش متوالی[18] دو مدولاتور موج ساکن[19] با فاز نسبی و یا به وسیله هدایت/گذردهیِ[20] انتشاریِ تک‌جهته از محیط سازنده، بشکنند (دقت شود که تقارن معکوس زمانی در فیزیک نظری به یک تقارن فرضی تحت تبدیل معکوس زمان گفته می‌شود. یعنی در صورت تغییر زمان به منفیِ آن، سیستم تقارن داشته باشد و پارامترهای سیستم پایستار باقی بمانند. همچنین قضیه هم‌پاسخی لورنتز به موضوع هم‌پاسخ بودن آنتن‌ها هنگام ارسال یا دریافت دلالت دارد). STMMهای غیرهم‌پاسخ می‌توانند به عنوان ایزولاتورها یا سیرکولاتورهای نوری که دارای کاربردهای فوتونیکی تجمیع شده روی چیپ (On-chip) هستند، رفتار کنند. علاوه بر این، مدولاسیون فضا-زمان باعث ایجاد توانایی در کنترل طیف امواج هدایت‌شده با استفاده از تشکیل پتانسیل‌های گِیج[21] فوتونیکی (در فیزیک یک پارامتر برای تشریح رفتار میدان تحت تعامل با امواج الکترومغناطیس است) را دارد، که منجر به پدیده‌های متنوعی مانند تولید دندانه فرکانسی و ضریب شکست منفی می‌شود. در این حالت، هر دو ورودی و خروجی مودهای هدایت شده هستند که در داخل موج‌برها منتشر می‌شوند.

دسته دوم STMMها، توسط امواج فضای آزاد خارجی تحریک می‌شوند و پدیده‌های فیزیکی جالبی مانند توانایی غلبه کردن بر قیود هم‌پاسخی لورنتز، تولید هارمونیک، تبدیل فرکانس و مدولاسیون اطلاعات مستقیم را ارائه می‌کنند. برای این حالت، هر دو ورودی و خروجی امواج فضای آزاد هستند که موضوع مجتمع‌سازیِ On-chip را دشوار می‌سازد.

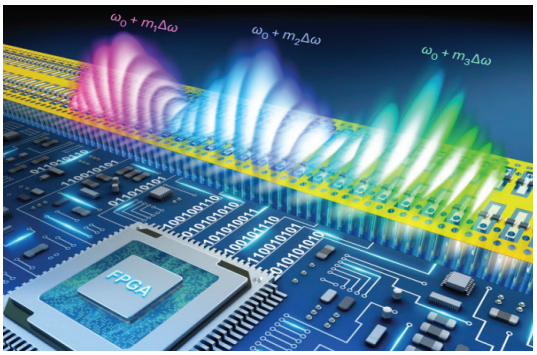
سومین نوع از STMMها، در صدد ارتباط دادن و ایجاد پُلی بین مودهای فضای آزاد و هدایت شده است. این حالت را می‌توان به عنوان آنتن فراسطح در نظر گرفت. مطالعات بر روی این نوع STMMها در حال حاضر در حال انجام است و تنها شکست حد هم‌پاسخی لورنتز تاکنون به صورت تجربی و اندازه‌گیری، نشان داده شده است. برای این نوع آنتن‌های فراسطح کاربردهای مختلفی مانند مخابرات بی‌سیم مایکروویو، Li-Fi و آشکارسازی نور وجود دارد. این سیستم‌ها نیازمند واسط[22]های پیشرفته که توانایی کوپل کردن امواج هدایت شده از منابع در-صفحه[23] (منظور از در-صفحه امواج و مودهای انتشاری سطحی هستند) به فضای آزاد را داشته باشند و همچنین بتوانند امواج استخراجی فضای آزاد را برای کاربردهای مورد نظر تغییر (Manipulate) دهند. آنتن‌های آرایه فازی[24] در فرکانس‌های مایکروویو برای ایجاد شکل‌دهی و هدایت پرتو بسیار شناخته شده هستند، ولی دارای معایبی چون هزینه ساخت بالا و نیاز به توان بالا هستند. از سوی دیگر، کوپلرهای لبه‌ای[25] و گریتینگ‌های

1- Metamaterials
2-Subwavelength
3- Metasurfaces
4- Conformability
5- Manipulate
6- Spatial Gradient
7- Momentum
8- Orbital angular momentum
9- Holography
10- Cloaking
11- Wavefront
12- Spatiotemporally
13- Surface impedance
14- Conductivity
15- Constitutive
16- Time-reversal symmetry
17- Lorentz reciprocity
18- Cascading
19- Standing wave
20- Permittivity
21- Gauge
22- Interface
23- In-plane
24- Phased array
25- Edge coupler

سطحی[۲۶] که برای کوپلینگ نوری On-chip به فضای آزاد استفاده می‌شوند، قابلیت‌های محدودی از لحاظ کنترل نور دارند. فراسطوح توانمندی‌های فراوانی برای ایجاد ارتباط بین موج‌برها و فضای آزاد دارند، ولی اکثر آنتن‌های فراسطح تاکنون فقط دارای مدولاسیون فضایی بوده‌اند و از بُعد زمان بهره نبرده‌اند. همچنین شلوغی باندهای کناری[۲۷] یکی از مشکلات اساسی در کاربردهای مختلف STMMها است. به طور خاص، مدولاسیون زمانی متناوب در STMMها و آرایه‌های مدوله شده در زمان، تشعشعات هارمونیکی ناخواسته ایجاد می‌کنند که به شدت با سیگنال‌های مفید تداخل ایجاد می‌کنند. از اهداف این گزارش، معرفی یک ساختار با قابلیت خود-فیلترینگ[۲۸] برای آنتن‌های فراسطح مجتمع شده با موج‌بر می‌باشد. در این ساختار از کدینگ فضا-زمان (STC) برای دستیابی به قابلیت‌های تطبیقی و پیچیده انتقال مود هدایتی به فضای آزاد در هر دو حوزه فضایی و طیفی که عاری از شلوغی باند کناری باشد، استفاده شده است. همچنین به صورت تئوری و اندازه‌گیری نشان داده شده است که یک طرح کدینگ یک بیتی (که ساده‌ترین حالت دیجیتال از فراسطوح است)، قابلیت دستیابی به کنترل کامل محتواهای فرکانس و ممانِ امواج الکترومغناطیس را دارد، که به طور معمول به مدولاسیون‌های فضا-زمانی چند بیتی یا پیوسته در STMM[۲۹]های مبتنی بر فضای متداول نیاز دارد. همچنین نشان داده شده است که این ساختار قابلیت هدایت پرتو به صورت پیوسته را دارا است.

روابط تئوری

یک نمایش مفهومی از ساختار آنتن فراسطح STC مجتمع شده با موج‌بر که شامل آرایه‌ای از متااتُم[۳۰]های یک‌بُعدی است، در شکل ۱ نشان داده شده است. امواج انتشاری هدایت شده داخل موج‌بر قابلیت خارج شدن و تبدیل به امواج فضای آزاد خارج-از-صفحه[۳۱] (در مقابل امواج در-صفحه قرار می‌گیرد) در هر دو حوزه فرکانسی و فضایی را دارا هستند. دیودهای PIN[۳۲] به عنوان اجزای فعال در هر متااتم تعبیه شده‌اند تا به طور مستقل و متناوب بتوانند المان را بین حالت‌های کوپلینگ و عدم کوپلینگ سوئیچ کنند. این عملیات منجر به یک طرح دیجیتال STC یک بیتی می‌شود که در آن "۱" و "۰" به ترتیب حالت‌های تشعشعی و غیرتشعشعی یک سلول واحد[۳۳] را نشان می‌دهند. دیودهای PIN توسط FPGA[۳۴] به نحوی که حالت کوپلینگِ متااتم‌ها به صورت پویا در یک دنباله STC از پیش طراحی شده قابل برنامه‌ریزی باشد، کنترل می‌شوند.



شکل ۱: نمایش مفهومی از ساختار آنتن فراسطح STC

26- Surface grating
27- Sideband pollution
28- Self-filtering
29-spatial time code

30- Meta-atom
31- Out-of-plane
32- Positive-intrinsic-negative
33- Unit cell
34- Field-programmable gate array

متاتام‌ها انرژی را از موج‌بر خارج می‌کنند، که می‌توان این حالت را به عنوان یک دایپل مغناطیسی تغذیه شده با موج‌بر در نظر گرفت که امواج الکترومغناطیسی را به فضای آزاد تشعشع می‌کند. با فرض اینکه ابعاد شبکه[35] متاتام‌ها بسیار کوچک‌تر از طول موج است، می‌توان متاتام‌ها را به این صورت در نظر گرفت که در حال نمونه‌برداری از امواج هدایت شده تغذیه در داخل موج‌بر در هر موقعیت المان هستند. با فرض اینکه دوره تناوب مدولاسیون زمان T بسیار بزرگ‌تر از دوره تناوب فرکانس رادیویی[36] است، میدان مغناطیسی کوپل شده دقیقاً در بالای دهانه فراسطح به صورت رابطه (۱) قابل نوشتن است:

$$\vec{H}(x,t) = \hat{y}H_{\cdot}e^{j\omega_{\cdot}t}C(x,t)e^{-j\xi_{gw}x}\prod(x) \qquad (۱)$$

که فرکانس زاویه‌ایِ سیگنال RF تزریق شده، T دامنه ثابت میدان مغناطیسی و ξ_{gw} عدد موج داخل موج‌بر است. $\prod(x)$ نشان دهنده تابع مستطیلی با فرض طول محدودِ دهانه فراسطح است. با فرض اینکه منبع تحریک در مکان x=0 قرار گرفته باشد و همچنین توان در راستای موج‌بر با طول L در راستای x منتشر می‌شود، می‌توان تابع مستطیلی را به صورت $\prod(x) = \begin{cases} ۱, & ۰ < x < L \\ ۰, & \text{else} \end{cases}$ در نظر گرفت. در رابطه (۱)، C(x,t) ضریب کوپلینگ در مکان‌ها و لحظه‌های مختلف زمانی است. اگر ضریب کوپلینگ مستقل از زمان و فضا باشد، خواهد بود، و موج کوپل شده به وسیله متاتام یک موج آهسته[37] تحدید شده[38] در موج‌بر خواهد بود. این امر به این دلیل است که ξ_{gw} از عدد موج فضای آزاد یعنی $k_{\cdot} = \omega_{\cdot}/c$ (c سرعت نور در فضای آزاد است) بزرگ‌تر است. اگر C(x,t) یک تابع متناوب از زمان با دوره تناوب باشد، میدان کوپل شده بالای موج‌بر نیز به صورت متناوب با زمان تغییر خواهد کرد. ضریب کوپلینگ متناوب C(x,t) را می‌توان بر حسب سری فوریه در حوزه فرکانس به صورت زیر نوشت:

$$C(x,t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c(x,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega)e^{jm\Delta\omega t} \qquad (۲)$$

که $\Delta\omega$ فرکانس زاویه‌ای مدولاسیون است. ضرایب فوریه $c(x,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega)$ برابرند با:

$$c(x,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega) = \frac{۱}{T}\int_{\cdot}^{T} C(x,t)e^{-jm\Delta\omega t}dt \qquad (۳)$$

در روابط (۲) و (۳) $c(x,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega)$ ضریب کوپلینگ مختلط معادل در فرکانس هارمونیک مرتبه در مختصات است. با جایگذاری رابطه (۲) در رابطه (۱)، می‌توان دید که مدولاسیون زمانی ضریب کوپلینگ، باعث ایجاد شانه (دندانه)[39] فرکانسی با فرکانس مرکزی $\omega_{\cdot}$ و فواصل فرکانسی $\Delta\omega$ برای خطوط طیفی می‌شود. علاوه بر این، مدولاسیون مذکور منجر به یک توزیع دامنه مختلط معادل اضافه، یعنی $c(x,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega)$ می‌شود که به موج هدایت شده اصلی در هر فرکانس هارمونیک اضافه می‌شود. به طور خاص، میدان مغناطیسی در فرکانس پایه برابر است با:

$$\vec{H}(x,\omega_{\cdot}) = \hat{y}H_{\cdot}e^{j\omega_{\cdot}t}c(x,\omega_{\cdot})e^{-j\xi_{gw}x}\prod(x) \qquad (۴)$$

که در آن

$$c(x,\omega_{\cdot}) = \frac{۱}{T}\int_{\cdot}^{T} C(x,t)\,dt \qquad (۵)$$

با توجه به رابطه (۵)، مشخص است که ضریب کوپلینگ در فرکانس پایه برابر با میانگین زمانی ضریب کوپلینگِ متغیر با زمان است، که مستقل از نوع استراتژی مدولاسیون فضا-زمان اتخاذ شده توسط C(x,t) است. به طور شهودی می‌توان گفت، یک تغییر تناوبی در انرژی کوپلینگ لحظه‌ای از موج‌بر، دارای تأثیر زمانی میانگین روی ضریب کوپلینگ در فرکانس پایه است. این مشخصه، برای رسیدن به هدایت پرتو در فرکانس پایه و همچنین کاهش تشعشعات باندهای کناری مؤثر است.

با فرض ساده‌ترین نوع مدولاسیون برای STC یعنی سوئیچینگ خاموش-روشنِ (ON-OFF) دیودهای PIN، که منجر به حالت‌های سوئیچینگ متاتام‌ها بین کوپلینگ (المان کدینگ "۱") و عدم کوپلینگ (المان کدینگ "۰") می‌شود، ضریب کوپلینگ بر اساس این طرح یک بیتی در یک دوره متناوب زمانی به صورت زیر نوشته می‌شود

$$C(x,t) = C_{\cdot}\begin{cases} ۱, & t_s(x) - \frac{\tau(x)}{۲} \le T \le t_s(x) + \frac{\tau(x)}{۲} \\ ۰, & \text{else} \end{cases} \qquad (۶)$$

که در رابطه (۶) $t_s(x)$ و $\tau(x)$ به ترتیب شیفت زمانی نرمالیزه و دوره کار[40] در موقعیت x هستند و در شروط $t_s(x) \ge ۰$ و $\tau(x) \le ۱$ و صدق می‌کنند. سوئیچینگ خاموش-روشن بین حالت‌های کوپلینگ و عدم کوپلینگ از موج‌بر یک طرح مدولاسیون دامنه (AM[41]) یک بیتی است. در این حالت، می‌توان ضریب کوپلینگ مختلط معادل رابطه (۳) را به صورت زیر نوشت:

$$c(x,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega) = C_{\cdot}\tau(x)\,\mathrm{sinc}[\pi m\tau(x)]\,e^{-j2\pi m t_s(x)} \qquad (۷)$$

با توجه به رابطه (۷)، دامنه ضریب کوپلینگ معادل به وسیله دوره کار نرمالیزه τ محاسبه می‌شود، در حالی که فاز انتقالی به وسیله طرح STC به طور عمده مبتنی بر شیفت زمانی نرمالیزه t_s است. میدان دهانه بالای موج‌بر در فرکانس هارمونیک مرتبه m را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\vec{H}(x,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega) = \hat{y}H_{\cdot}C_{\cdot}\tau(x)\,\mathrm{sinc}[\pi m\tau(x)]\,e^{-j[\xi_{gw}x+\pi m t_s(x)]}\prod(x) \qquad (۸)$$

الگوهای پراکندگی[42] میدان دور مربوط به آنتن فراسطح در فرکانس هارمونیک مرتبه m برابر با $\omega_{\cdot}+m\Delta\omega$ را می‌توان با تبدیل فوریه فضایی از رابطه (۸) به صورت زیر نوشت:

$$H_{\mathrm{rad}}(\theta,\omega_{\cdot}+m\Delta\omega) = H_{\cdot}C_{\cdot}\mathrm{FT}\left\{\tau(x)\,\mathrm{sinc}[\pi m\tau(x)]\,e^{-j[\xi_{gw}x+\pi m t_s(x)]}\prod(x)\right\} \qquad (۹)$$

مطابق با رابطه (۷)، طرح STC یک ممان اضافی $k_m = ۲\pi m\frac{dt_s(x)}{dx}$ در طول محور x برای میدان کوپل شده

35- Lattice
36-RF
37- Slow wave
38- Confine
39- Comb

40- Duty cycle
41-ampilitude modulation
42-Scattering

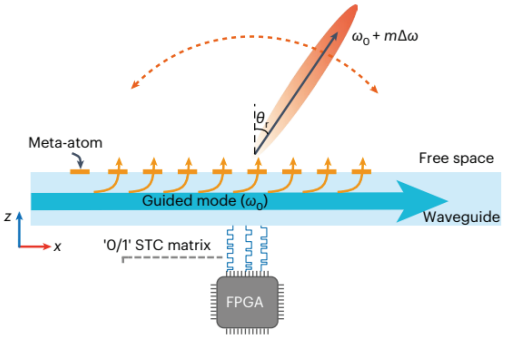
ایجاد می‌کند. بر این اســـاس، رابطه (۸) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\vec{H}(x,\omega_0+m\Delta\omega)=\hat{y}H_0\prod(x)\begin{cases}\tau(x)e^{-j\xi_{gw}x}, & m=0\\ \tau(x)\,\mathrm{sinc}[\pi m\tau(x)]\,e^{-j(\xi_{gw}+k_m)x} & m=\pm1,\pm2\ldots\end{cases} \quad (۱۰)$$

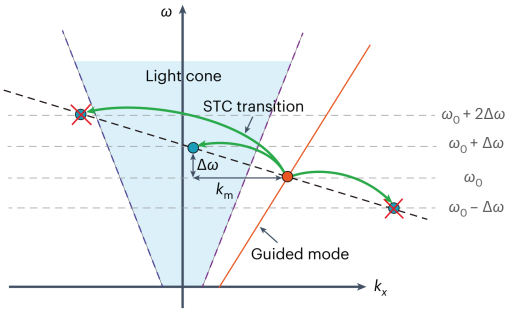
در نگاه اول، آنتن فراسطح یک بیتی ممکن است مانند یک STMM یک بیتی تنها مبتنی بر فضای آزاد با انعطاف‌پذیری فرکانسی و فضایی محدود به نظر برسد. با این حال، این ساختار با بهره‌گیری از طبیعت خاص خود که مبتنی بر تحریک از طریق امواج هدایت شده است، دارای قابلیت کنترل امواج الکترومغناطیسی در هر دو حوزه فضایی و طیفی است. در ادامه، با مثال‌هایی از قبیل تبدیل فرکانس با راندمان بالا و هدایت پرتو، اســـکن پرتو پیوســـته در فرکانس پایه و همچنین کنترل مستقل چندین هارمونیک این موضوع روشن می‌شود؛ که با ساختار STMM مبتنی بر تنها فضای آزاد یک بیتی امکان پذیر نیست. برای فهم بهتر موضوع، یکی از مثال‌ها به طور کامل تشریح می‌شود و در خصوص مثال‌های دیگر (اسکن پرتو پیوسته در فرکانس پایه و کنترل مستقل روی چند هارمونیک برای تشعشع) خوانندگان علاقمند می‌توانند به مرجع [۱] منابعه کنند.

تبدیل فرکانس و هدایت پرتو

در فرایند تبدیل فرکانس[۴۳]، ســـیگنال موج‌بری ورودی در یک فرکانس به یک ســـیگنال در فضای آزاد با فرکانس دیگر تبدیل می‌شود (شکل ۲). منحنی پاشندگی[۴۴] قاعده عملکرد این ساختار را به طور کیفی نشان می‌دهد (شکل ۳). سیگنال ورودی با فرکانس ω_0 به موج‌بر تزریق شده و در راستای $+x$ به صورت امواج هدایت شده منتشر می‌شود، که متناظر با نقطه قرمز نشان داده شده مود هدایت شده در منحنی پاشندگی شـــکل ۳ است. مطابق با رابطه (۱۰)، مدولاسیون فضا-زمان منجر به تولید طیف جدید با فاصله فرکانسی $\Delta\omega$ و یک ممان مماســـی k_m اضافی به هر فرکانس هارمونیک می‌شود. در این ساختار از این ممان برای جابه‌جایی فرکانس تبدیل هدف (در این مثال هارمونیک ۱+) به مخروط نور[۴۵] (به شکل ۳ دقت شود) استفاده می‌شود به نحوی که این فرکانس قابلیت تشعشع به عنوان موج نشـــتی در زاویه تشعشع مشخص θ_r را داشته باشد. بر این اســـاس، هارمونیک‌های مراتب بالاتر نیز توسط یک ممان مماسی ولی m برابرِ هارمونیک ۱+، منتقل می‌شوند. از شکل ۳ مشخص است که هارمونیک‌های مراتب بالاتر خارج از مخروط نور هستند. بنابراین، به دلیل عدم تطبیق ممان، هارمونیک‌های مراتب بالاتر قابلیت تشعشع به فضای آزاد نخواهند داشت. علاوه بر این، هارمونیک‌های ناخواســـته مراتب بالاتر به موج‌بر وارد نمی‌شوند، زیرا نمی‌توانند شرایط تطبیق فاز را برآورده سازند. بنابراین، تنها فرکانس هامونیک هدف ۱+ قابلیت تولید و خروج به فضای آزاد را دارد، در حالـــی که مابقی هارمونیک‌های ناخواسته تضعیف یا Suppress می‌شوند. این قابلیت را می‌توان "خود-فیلترینگ" نیز در نظر گرفت.



شکل ۲: شماتیک آنتن فراسطح STC برای تبدیل فرکانس راندمان-بالا و اسکن پرتو [۱]



شکل ۳: منحنی پاشندگی برای تبدیل فرکانسی [۱]

برای اینکه فرکانس هارمونیک هدف در راستای θ_r تشعشع کند، ممان جبران ساز که توسط مدولاسیون STC منتقل می‌شود باید در شـــرط $\xi_{gw}+k_m=\xi_m\sin\theta_r$ صدق کند، که ξ_m عدد موج فضای آزاد در فرکانس هارمونیک مرتبه m است. شیفت زمانی نرمالیزه مورد نیاز یعنی $t_s(x)$ در طرح STC یک بیتی را می‌توان به این صورت محاسبه کرد:

$$t_s(x)=\frac{\xi_m\sin\theta_r-\xi_{gw}}{2m\pi}x \quad (۱۱)$$

در ایـن مثـال، تبدیـل رو بـه بـالا[۴۶] بـه فرکانـس هارمونیـک ۱+ و همچنیـن دسـتکاری جهـت پرتـو نشـان داده می‌شـود. بـرای جلوگیـری از ایجـاد هارمونیک‌هـای فرکانسـی ۲+ از ورود بـه مخـروط نـور هنگامـی کـه هارمونیـک ۱+ از جهـت end-fire (تشعشـع در راسـتای محـور آرایـه) عقـب بـه جلـو[۴۷] اسـکن می‌کنـد، دوره کار نرمالیـزه τ برابـر بـا ۰/۵ در نظـر گرفتـه شـده اسـت. از ایـن رو، دامنـه راندمـان کوپلینـگ معـادل بـرای هارمونیک‌هـای ۲+ صفر اسـت. جهت تشعشـع پرتـو خروجـی را می‌تـوان بـه طـور انعطاف‌پذیـر بـا تغییـر

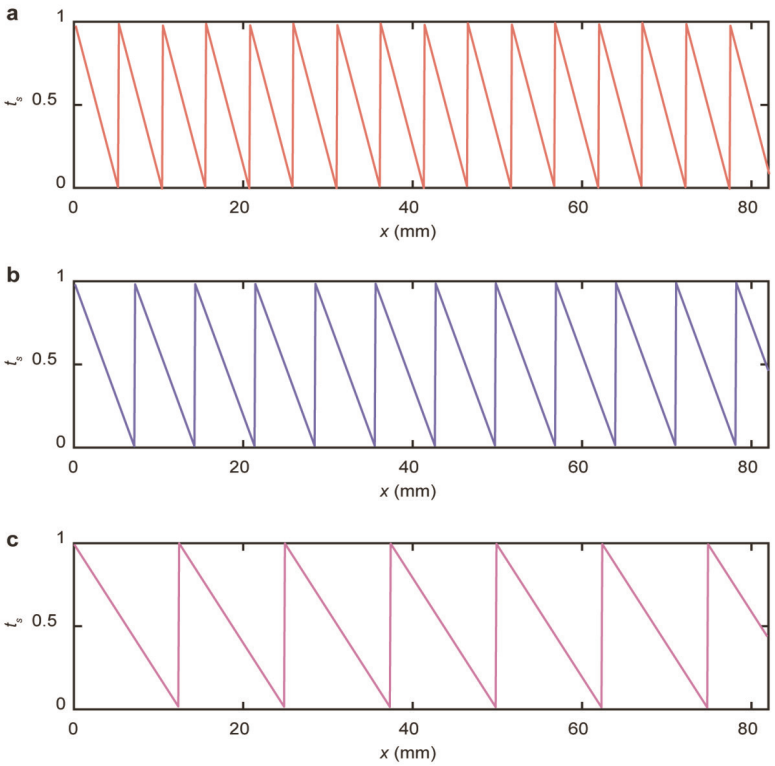
43-frequency conversion
44- Dispersion
45- Light cone
46- Upward
47-backward-to-forward

شـیفت زمانی $t_s(x)$ مطابـق بـا رابطـه (۱۱) تنظیـم کـرد. برای تأیید اعتبار مفهوم و طراحی توضیح داده شده تاکنون، یک آنتن فراسطح STC مبتنی بر موج‌بر مجتمع با زیرلایه (SIW) که در فرکانس ۲۷ گیگاهرتز کار می‌کند، ساخته شده است. این آنتن دارای ۸۲ متااتم با طول کلی $۷.۳۸\lambda_{۰}$ اســت که $\lambda_{۰}$ طول موج فضای آزاد در فرکانس ۲۷ گیگاهرتز اســت. در این مثال، زوایای اسکن خروجی برای هارمونیک ۱+ تبدیل شده، ۵۰-، ۱۰- و ۳۰ درجه در نظر گرفته شده است. شیفت‌های زمانی $t_s(x)$ معادل این زوایا در شکل ۴ نشان داده شده است. زمانی که $t_s(x)$ و τ مشخص باشند، می‌توان دنباله خاموش-روشن را تعیین کرد. برای هر جهت پرتو، ماتریس STC را می‌توان به وسیله دنباله خاموش-روشن نمونه‌برداری در هر موقعیت متااتم، تعیین کرد (شکل‌های ۵a تا ۵c). توزیع توان معــادل این ماتریس‌ها در هارمونیک‌های مختلف در شکل‌های ۶a تا ۶c نشــان داده شده است. مشاهده می‌شود که هارمونیک ۱+ هدف با راندمان تبدیل بالای ۸۰ درصد، هارمونیک غالب در شکل ۶ است. الگوهای تشعشعی اندازه‌گیری شده معادل با این زوایا در هارمونیک‌های ۱+ در شکل‌های ۷a تا ۷c نشان داده شده‌اند، که با نتایج پیش‌بینی شده توسط رابطه (۹) مطابقت خوبی دارند. همچنین، از نتایج الگوهای تشعشعی شکل ۷ مشخص است که امواج تبدیل شده در فرکانس هارمونیک ۱+ به سمت جهت‌های مورد نظر به طور صحیح قابل اسکن هستند.

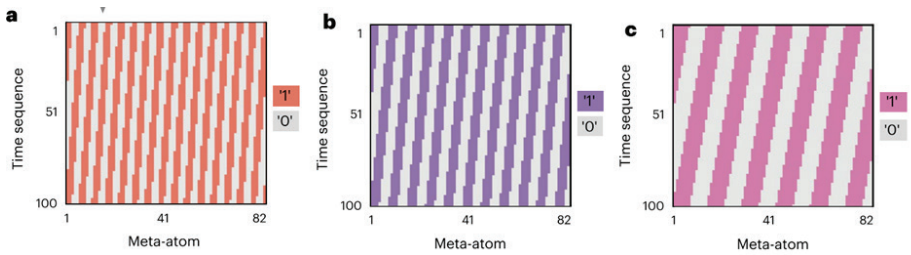
علاوه بر این، در این ساختار می‌توان انتخاب کرد که کدوم فرکانس هارمونیک هدف قابلیت مورد تبدیل واقع شدن و انتشار به فضای آزاد را داشــته باشــد؛ این مهم با ایجاد تغییر در ماتریس STC امکان‌پذیر است. به این منظور، با فشــرده کردن ماتریس STC فوق‌الذکر برای تشعشع هارمونیک ۱+ به $۱/m$ در حوزه زمان و تکرار ماتریس جدید به اندازه m دفعه در یک دوره مدولاسیون T، به ماتریس‌های سنتز شده STC برای تبدیل‌های هارمونیک ۱-، ۲- و ۳- پیدا می‌شود که در شــکل‌های ۸a تا ۸c نشان داده شده‌اند. توزیع‌های توان هارمونیکی اندازه‌گیری شده معادل این ماتریس‌ها در شــکل‌های ۹a تا ۹c نشان داده شده‌اند. همچنین الگوهای تشعشعی اندازه‌گیری شده در هارمونیک‌های مختلف در شکل‌های ۱۰a تا ۱۰c نشان داده شــده‌اند. مجدداً مشاهده می‌شود که هارمونیک‌های مطلوب ۱-، ۲- و ۳- مودهای غالب در امواج فضای آزاد خروجی را با راندمان تبدیل بالای ۸۲ درصد در بر می‌گیرند. همچنین، آنتن فراسطح STC قابلیت ایجاد یک پرتو با جهت‌دهی ۴۸ بالا در فرکانس هارمونیک مورد نظر را دارد، در حالی که تمام هارمونیک‌های ناخواسته دیگر به طور قابل توجهی Suppress می‌شوند.

از نظر فیزیکــی، می‌توان آنتن فراســطح STC را به صورت یک فرســتنده هترودایــن[۴۹] برای پیاده‌ســازی میکــس فرکانس، فیلترینگ، شیفت فاز و همچنین تشعشع تفسیر کرد. مدولاسیون

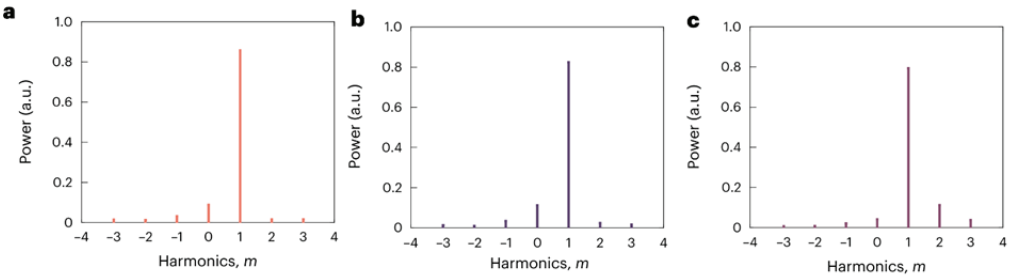
48- Directivity
49- Heterodyne



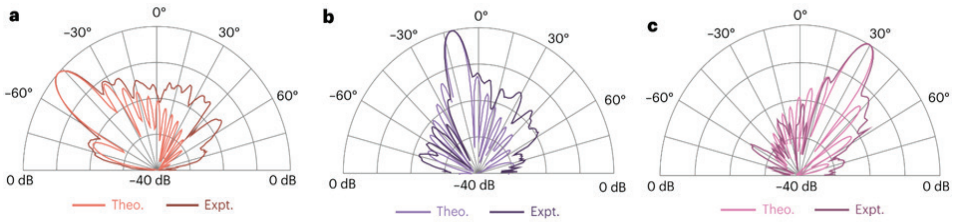
شکل ۴: شیفت‌های زمانی نرمالیزه مورد نیاز برای تبدیل فرکانسی، a) معادل با زاویه خروجی ۵۰-، b) ۱۰- و c) ۳۰ درجه [۱]



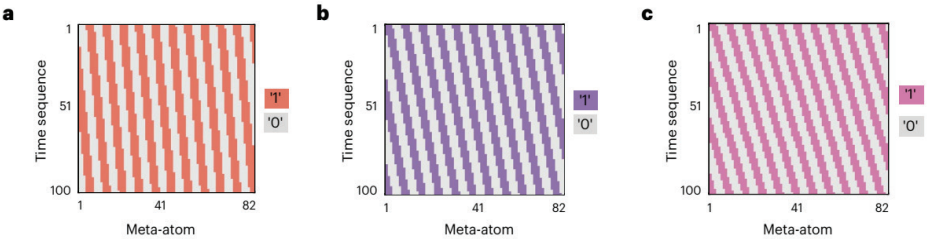
شکل ۵: ماتریس‌های دیجیتال «۰» و «۱» برای تبدیل‌های فرکانس هارمونیک ۱+ با زوایای خروجی a) ۵۰-، b) ۱۰- و c) ۳۰ درجه [۱]



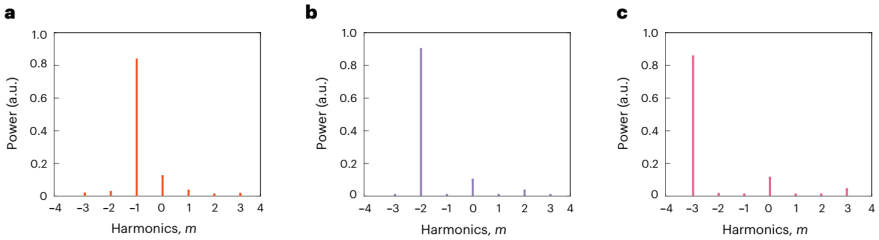
شکل ۶: توزیع‌های توان اندازه‌گیری شده در هارمونیک‌های مختلف معادل با ماتریس‌های شکل ۵ (به ترتیب از a تا c) [۱]



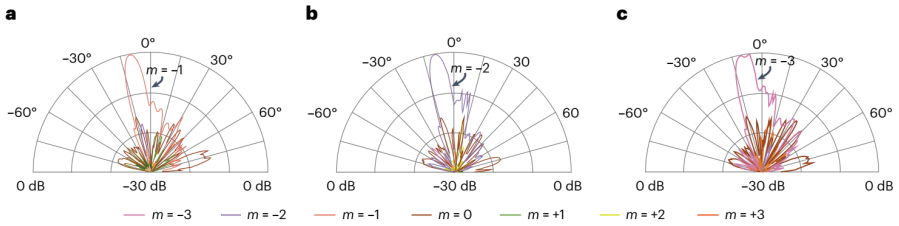
شکل ۷: الگوهای تشعشعی محاسبه شده بر اساس تئوری و اندازه‌گیری شده در فرکانس هارمونیک ۱+ معادل با شکل‌های ۵ و ۶ (به ترتیب از a تا c) [۱]



شکل ۸: ماتریس‌های دیجیتال «۰» و «۱» STC مورد نیاز برای تبدیل أمواج هدایت شده در فرکانس ω_0 به امواج فضای آزاد در مرتبه‌های فرکانسی a) ۱-، b) ۲- و c) ۳- [۱]



شکل ۹: توزیع‌های توان اندازه‌گیری شده در هارمونیک‌های مختلف برای تبدیل‌های فرکانسی هارمونیکی $m = -1, -2, -3$ معادل شکل ۸ (به ترتیب از a تا c) [۱]



شکل ۱۰: الگوهای تشعشعی اندازه‌گیری شده در فرکانس‌های هارمونیکی مختلف معادل با شکل‌های ۸ و ۹ (به ترتیب از a تا c) [۱]

زمانی در آنتن فراسطح STC قابلیت میکس شدن سیگنال‌های RF ورودی و مدولاسیون را می‌دهد که این امر منجر به تولید هارمونیک‌های جدید می‌شود. شرایط تطبیق ممان دقیق معادل یک فیلتر میان‌گذر ایده‌آل است که فرکانس هارمونیک مورد هدف را جهت عبور انتخاب می‌کند و هارمونیک‌های ناخواسته را فیلتر می‌کند. شیفت زمانی $t_s(x)$ در موقعیت‌های مختلف منجر به ایجاد یک شیفت‌دهنده فاز معادل که به هر متااتم متصل است، می‌شود. هر متااتم به عنوان یک آنتن دایپل مغناطیسی عمل می‌کند که امواج الکترومغناطیس را به فضای آزاد منتشر می‌کند. به عنوان یک نتیجه، عملکرد اجزای مختلف فعال[۵۰] و غیرفعال[۵۱] در فرستنده‌های هترودایین RF متداول، شامل میکسرها، فیلترها، تقسیمکننده‌های توان، شیفت‌دهنده‌های فاز و آرایه‌های آنتن را می‌توان توسط یک آنتن فراسطح STC تنها پیاده‌سازی و در آن تجمیع کرد. این مهم مزایایی از جمله معماری ساده‌تر، قابلیت تجمیع بالاتر، نسبت سیگنال به نویز بالاتر و اتلاف توان کم‌تر، در طراحی یک دستگاه بی‌سیم دارد. اکثر STMMهای گزارش شده تاکنون دارای هارمونیک‌های نامطلوب هستند که به عنوان باند کناری شناخته می‌شوند و منجر به شلوغی طیف شدید می‌شوند. همانطور که در مطالعات نشان داده شده است، یک فراسطح STC مبتنی بر فضای آزاد، دارای بیشینه راندمان تبدیل حدود ۴۰ درصد است، و مابقی توان صرف تشعشع هارمونیک‌های ناخواسته می‌شود. اما در ساختار STC معرفی شده در این گزارش که مبتنی بر فضا-زمان است، این راندمان به عدد بالاتر از ۸۰ درصد رسیده است.

نتیجه‌گیری

با ظهور نسل پنجم مخابراتی در شبکه‌های مخابرات سلولی و موبایل، نیاز به افزایش نرخ داده، افزایش پهنای باند و کاهش تأخیر بیش از پیش وجود دارد. استفاده از فرکانس‌های موج‌میلی‌متری به دلیل پهنای باند بالا محبوبیت چشم‌گیری در سال‌های اخیر در فناوری‌های مخابراتی و خصوصاً در سیستم‌های مخابرات سلولی پیدا کرده است. به دلیل افت مسیر بیشتر و نیاز به ایجاد مسیر مستقیم یا LOS بین فرستنده و گیرنده در فرکانس‌های موج‌میلی‌متری، قابلیت چرخش پرتو[۵۲] به جهت بهبود نسبت سیگنال به نویز در سمت گیرنده (یا هندست)، یک فناوری اساسی در سیستم‌های مخابراتی نسل پنجم به شمار می‌رود. آنتن معرفی شده در این مقاله، با قابلیت ایجاد چرخش پرتو و عملکرد در مودهای مختلف (چه در فرکانس ثابت و چه در هارمونیک‌های مختلف فرکانسی)، به عنوان یک کاندید مهم در سیستم Fronthaul شبکه‌های نسل پنجم موج‌میلی‌متری با کاربردهای Indoor و Outdoor مطرح می‌باشد.

50- Active
51- Passive
52-Beam Steering

منابع:

[1] Wu, Geng-Bo, Jun Yan Dai, Qiang Cheng, Tie Jun Cui, and Chi Hou Chan. “Sideband-free space–time-coding metasurface antennas” Nature Electronics (2022): 1-12.

[2] Taravati, Sajjad, and Christophe Caloz. “Mixer-duplexer-antenna leaky-wave system based on periodic space-time modulation.” IEEE transactions on antennas and propagation 65, no. 2 (2016): 442-452.

[3] Dai, Jun Yan, Liu Xi Yang, Jun Chen Ke, Ming Zheng Chen, Wankai Tang, Xiang Li, Mao Chen et al. “High-efficiency synthesizer for spatial waves based on space-time-coding digital metasurface.” Laser & Photonics Reviews 14, no. 6 (2020): 1900133.

[4] Balanis, Constantine A. Antenna theory: analysis and design. John wiley & sons, 2016.

همراه فناوری
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم
رصد فناوری

بررسی چالش‌های سخت‌افزاری
ساخت ایستگاه پایه نسل پنجم

این نوشته به بررسی نیازمندی‌های سخت‌افزاری و چالش‌های ساخت ایستگاه پایه نسل پنجم و راهکارهای موجود برای تحقق سخت‌افزاری ایستگاه پایه می‌پردازد. افزایش تعداد باندهای فرکانسی، افزایش تعداد زنجیره‌های فرستنده-گیرنده، افزایش پهنای باند، کاهش ابعاد، وزن و مصرف توان از چالش‌های طراحی سخت‌افزار ایستگاه پایه نسل پنجم 5G هستند.

کلیدواژه: 5G، ترنسیور مجتمع، ایستگاه پایه، شکل‌دهی پرتو، MIMO

امیرحسین محمدی
کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات میدان از دانشگاه علم و صنعت، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

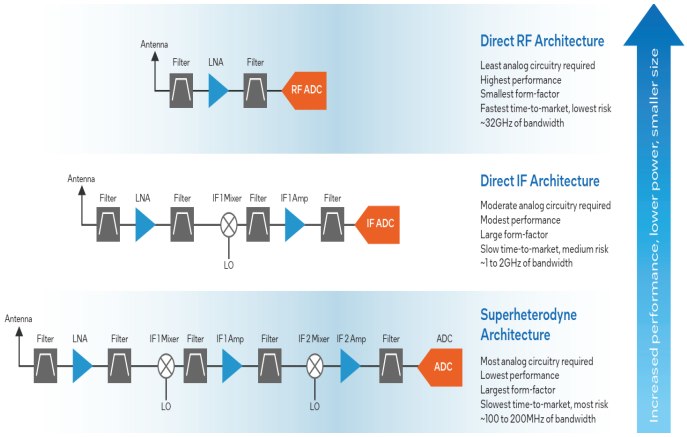
مقدمه

افزایش تعداد باندهای فرکانسی، افزایش سیستم‌های مرتبط به فرستنده و گیرنده، افزایش پهنای باند برای افزایش ظرفیت رادیو، همزیستی میان باندها و استانداردها، افزایش توان خروجی متوسط، کاهش ابعاد، وزن و مصرف توان (SWaP[1]) از چالش‌های طراحی سخت‌افزار ایستگاه پایه نسل پنجم 5G می‌باشند. با پیچیده‌تر شدن پردازش شکل‌دهی پرتو[2] و افزایش حجم پردازش‌های خطی سازی و بالا / پایین بردن دیجیتالی فرکانس به‌دلیل افزایش تعداد زنجیره‌های فرستنده / گیرنده، سخت‌افزار پردازنده قدرتمندتر و تعداد خطوط ارتباطی بیشتر و سریع‌تری نیاز است. در این نوشته نگاهی به این چالش‌ها و رویکردهای موجود برای ساخت ایستگاه پایه نسل پنجم می‌پردازیم.

باند فرکانسی 5G شامل محدوده زیر ۶ گیگاهرتز (FR1) با پهنای باند تا ۱۰۰ مگاهرتز و باند موج میلی‌متری (FR2) با پهنای باند تا ۴۰۰ مگاهرتز است که نیازمند فرستنده گیرنده با پهنای باند بالا و در نتیجه واسط‌هایی سریع‌تر مانند JESD204[3] است که مصرف توان بالایی دارند؛ بنابراین یکپارچه‌سازی بیشتر قطعات فرستنده-گیرنده، مبدل داده و پردازشگر ارجحیت می‌یابد.

با توسعه مبدل‌های پرسرعت داده با نرخ نمونه‌برداری ده‌ها Gsps[4] این امکان فراهم شده است که طراحی با معماری RF مستقیم انجام شود. معماری RF مستقیم با حذف یا کاهش تعداد قطعات گران قیمت آنالوگ موجب افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و کاهش SWaP می‌شود. شکل ۱ روند تکامل قسمت جلویی RF از ساختار آنالوگ سوپرهترودایین به ساختار نمونه‌برداری مستقیم IF و ساختار نمونه‌برداری مستقیم RF را نشان می‌دهد. با در دسترس قرار گرفتن مبدل‌های آنالوگ قادر به تبدیل مستقیم RF، واسط‌های موازی پرسرعت به گلوگاه جدیدی در طراحی بدل شدند. سرانجام واسط سریال JESD204 برای این مبدل‌های سریع استانداردسازی شد. آخرین نسخه JESD204C از بیشینه نرخ انتقال ۳۲ گیگابیت بر ثانیه در هر خط پشتیبانی می‌کند. این

1- Size Weight and Power
2- Beamforming
3- Joint Electron Device Engineering Council Serial Data Interface Standard 204
4- Giga sample per second



شکل ۱: تکامل قسمت جلویی RF از کاملاً آنالوگ به دیجیتال با نمونه‌برداری مستقیم RF [۳]

استاندارد سریال در مقایسه با اتصال موازی مزایای متعددی از جمله کاهش فضای برد، سادگی مسیردهی PCB[5]، کاهش اندازه پکیج تراشه مبدل، کاهش مصرف توان ورودی / خروجی‌ها و ساده شدن زمان‌بندی واسط را دارد.

طراحان مدار مجتمع برای برآوردن نیاز 5G به توان بیشتر RF و ضریب قله بالاتر، به فناوری‌هایی مانند GaAs[6] برای تقویت‌کننده‌های توان با بازده بیشتر و MMIC[7]های تقویت کننده توان با ساختار دو هرتی روی آورده‌اند. هرچند این تقویت‌کننده‌ها نسبت به تقویت‌کننده‌های کلاس AB بازده بالاتری دارند، ولی همچنان دارای مشخصات غیرخطی و حافظه‌دار می‌باشند که به‌معنای لزوم به‌کارگیری روش‌های پیش اعوجاج دیجیتال (DPD[8]) برای حفظ تمامیت سیگنال است. هرچه پهنای باند بیشتر باشد، قسمت جلویی دیجیتال (DFE[9]) که DPD را پردازش می‌کند، نیاز به افزایش متناسب در توان پردازشی دارد.

شکل موج‌های CP-OFDM[10] و DFT-s-OFDM[11] که در 5G-NR معرفی شده‌اند موجب افزایش کارایی طیفی می‌شوند، اما مستلزم پیچیده‌تر شدن پردازش باند پایه لایه فیزیکی نسبت به OFDM مورد استفاده در LTE هستند. علاوه بر این، الگوریتم‌های LDPC[12] و Polar برای بهبود نرخ داده در کانال‌های نویزی استفاده می‌شوند. هرچند این الگوریتم‌ها از نظر محاسباتی دارای پیچیدگی زیادی هستند. لذا برای سبک کردن محاسبات به سخت‌افزارهای شتاب‌دهنده نیاز است.

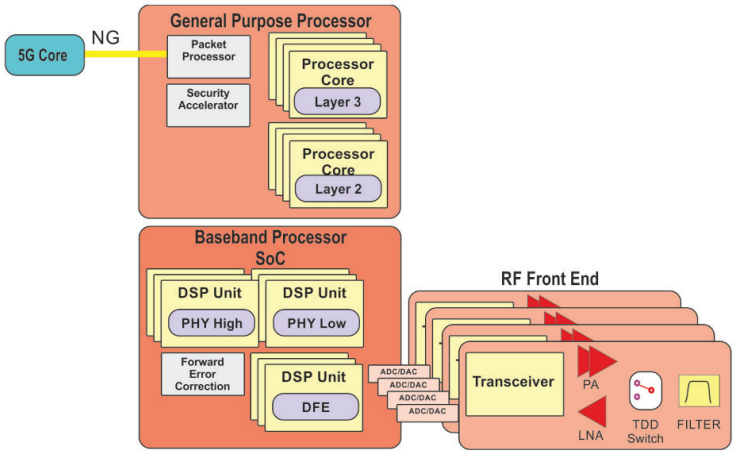
الزامات ایستگاه پایه 5G

الزامات سخت افزاری

شکل ۲، اجزای کارکرد اساسی یک ایستگاه پایه یکپارچه gNodeB را نشان می‌دهد. لایه ۲ و لایه ۳ مدل OSI[13] مسئول واحدهای پردازش پاکت هستند و الزامات زمان‌بندی ساده‌تری نسبت به لایه ۱ فیزیکی دارند. این لایه‌ها می‌توانند بر روی پردازنده‌های همه منظوره (GPP[14]) اجرا شوند که معمولاً شامل چندین هسته Arm یا Intel هستند. تعداد هسته‌های این پردازنده‌ها متناسب با نرخ داده مورد نیاز است. شتاب‌دهنده‌های پاکت برای اتصال و امنیت در پشتیبانی، به کاهش بار پردازشی و بهبود گذردهی[15] کمک می‌کنند.

به‌عنوان مثال Intel Atom P5900 نخستین تراشه ۱۰ نانومتری مبتنی بر معماری شرکت اینتل برای ایستگاه پایه است که

5- Printed Circuit Board
6- Gallium Arsenide
7- Monolithic Microwave Integrated Circuit
8- Digital Pre-Distortion
9- Decision Feedback Equalizer
10- Cyclic Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing
11- Discrete Fourier Transform spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing
12- Low-Density Parity-Check
13- Open Systems Interconnection
14- General Purpose Processor
15- Throughput



شکل ۲: یک gNodeB یکپارچه شامل یک هسته 5G، PHY، DFE، فرانت اند RF، و پردازش پاکت لایه ۲ و لایه ۳ [۱]

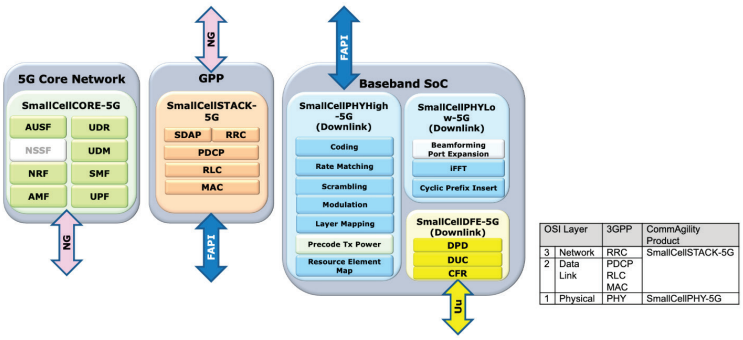
پشتیبانی از نیازهای بحرانی شبکه 5G مانند ظرفیت بالا و تأخیر بسیار کم را نوید می‌دهد. اریکسون، نوکیا و ZTE از این تراشه در ایستگاه‌های پایه خود استفاده خواهند کرد، اما هواوی در تجهیزات شبکه خود از فناوری خود (تراشه Tiangang) استفاده خواهد کرد. لایه فیزیکی باند پایه (لایه ۱) نیازمند یک معماری زمان قطعی[۱۶] (با حاشیه خطای زمانی تضمین‌شده) است که در آن چندین بلوک پردازش سیگنال در قالب واحدهای پردازش سیگنال اختصاصی کارایی را بهبود میبخشند. تعداد واحدهای DSP مورد نیاز را گذرداد، پهنای باند، تعداد حامل‌ها و تعداد آنتن‌ها تعیین می‌کنند. در لایه فیزیکی بالا (high-PHY)، تفکیک بار محاسباتی FEC[۱۷] به‌طور قابل توجهی منابع DSP[۱۸] مورد نیاز در PHY را کاهش می‌دهد.

16- time-deterministic
17- Forward Error Correction
18- Digital Signal Processing

در قسمت جلویی دیجیتال DFE، برای فیلترینگ دیجیتالی، تبدیل بالا/پایین و روش‌های خطی‌سازی مانند کاهش ضریب قله (CFR[۱۹]) و پیش اعوجاج دیجیتال (DPD) منابع DSP بیشتری مورد نیاز است که باعث می‌شود تا مجتمع‌سازی فشرده با فرستنده گیرنده دیجیتالی ADC[۲۰] و DAC[۲۱] مورد نیاز گردد که می‌تواند بر روی تراشه باشد یا از طریق رابطی مانند JESD به‌صورت خارجی به DFE[۲۲] متصل شود.

قسمت جلویی RF آنالوگ شامل یک ترنسیور RF که سیگنال باند پایه‌ای آنالوگ را به باند مورد نیاز برای انتقال بی‌سیم تبدیل می‌کند، یک تقویت‌کننده توان (PA[۲۳])، یک تقویت‌کننده نویز

19- Coefficient Frequency Response
20- Analog-to-Digital Converter
21- Digital-to-Analog Converter
22- Decision Feedback Equalizer
23- Power Amplifier



OSI Layer		3GPP	CommAgility Product
3	Network	RRC	SmallCellSTACK-5G
2	Data Link	PDCP RLC MAC	
1	Physical	PHY	SmallCellPHY-5G

شکل ۳: اجزای نرم افزاری ایستگاه پایه نسل پنجم [۱]

پایین (LNA[۲۴]) و فیلترینگ مربوط به حذف سیگنال‌های ناخواسته است. TDD مستلزم یک سوئیچ ارسال/دریافت است که در مرزهای فریم‌ها با کنترل نرم‌افزار PHY فعال می‌شود. طراحی تقویت کننده‌های توان و فیلترها مختص هر باند انجام می‌شود.

اجزای نرم افزاری

شکل ۳ نشان می‌دهد که الگوریتم‌ها و وظایف انجام شده توسط اجزای نرم‌افزاری مشخص‌شده در بخش قبل به‌طور دقیق‌تر چگونه عمل می‌کنند. SoC باند پایه از دو بخش HighPHY و LowPHY تشکیل می‌شود. در نقطه شکست ۷,۲[۲۵] بخش اعظم HighPHY و اجرای شکل‌دهی پرتو در AAU[۲۶] و LowPHY در BBU[۲۷] پیاده‌سازی می‌شود.[۲۸] پشته و PHY از رابط FAPI[۲۹] استفاده می‌کنند و می‌تواند بر روی Ethernet نیز اجرا شود. FAPI 5G عملکرد GPP و SoC[۳۰] باند پایه را از لحاظ فیزیکی جدا می‌کند.

معماری تراشه‌ها متناسب با نیازمندی‌های 5G

با شناخت الزامات ایستگاه پایه 5G سازندگان قطعات مدار مجتمع نیز برای پاسخ به نیازمندی‌های 5G محصولات جدیدی به بازار عرضه کرده‌اند. این محصولات همسو با توسعه بازار و بلوغ 5G توسعه داده‌شده‌اند. رویکرد اصلی، ساخت قطعات جدید مجتمع‌سازی فرانت اند آنالوگ، توسعه تراشه‌های مجتمع شکل‌دهنده پرتو، مجتمع‌سازی DFE و مدارات مبدل داده و پردازنده و سرانجام سخت افزاری کردن کدهای HDL[۳۱] و ساخت ASIC[۳۲]ها برای رسیدن به محصول با شمارگان بالا است.

24- Low-Noise Amplifier
25- Split points
26- Active Antenna Unit
27- Baseband Unit
۲۸- استانداردهای موجود جهت محدود نمودن نرخ تبادل اطلاعات بین واحدهای مختلف چندین نقطه شکست ارائه داده اند. نقطه شکست ۷.۲ در O-RAN استفاده می‌شود. جهت اطلاع بیشتر می‌توانید به [۶] رجوع کنید.
29- Front-haul Application Programming Interface
30- System-on-Chip
31- Hardware Description Language
32- Application-Specific Integrated Circuit

مجتمع‌سازی قسمت جلویی آنالوگ

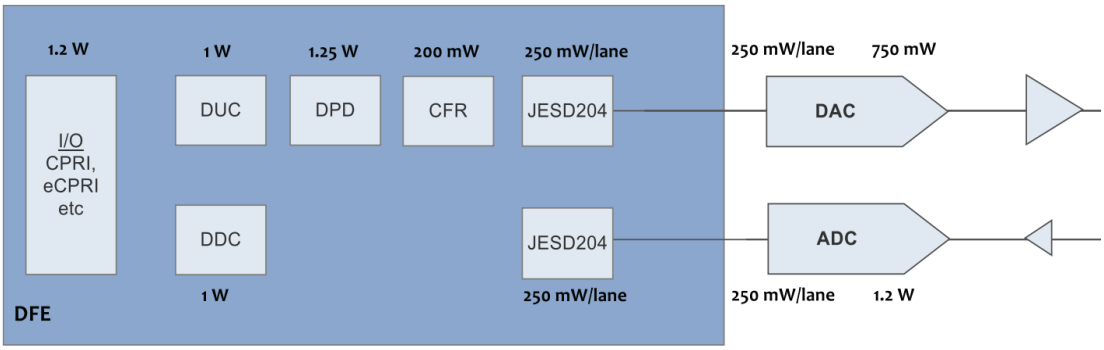
با مطرح شدن فناوری MIMO[۳۳] و عملیاتی شدن شکل‌دهی پرتو نیاز افزایش تعداد سیستم‌های مرتبط به فرستنده و گیرنده در نسل پنجم پیش آمد که عملاً امکان پیاده‌سازی گسسته مدارات RF را با روش‌های سنتی سوپرهترودین غیرممکن ساخت. برای پاسخ به این نیاز فرستنده-گیرنده مجتمع چندکانالی به بازار ارائه شد. این ترنسیورها بخش قسمت جلویی آنالوگ را مجتمع‌سازی می‌کنند. فرستنده گیرنده چندکانالی با معماری IF مستقیم یا معماری RF مستقیم قابل پیاده‌سازی هستند. معماری RF مستقیم پهنای باند بیشتری با مصرف توان بیشتر در اختیار می‌گذارد و برای کاربرد موج میلی‌متری مناسب است.

فرستنده-گیرنده IF مستقیم مدارات بالا/پایین برنده فرکانس و نوسان سازهای محلی و سینتی سایزرهای فرکانس، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال و مبدل‌های دیجیتال به آنالوگ و خطوط سریال JESD و برخی بلوک‌های دیجیتال را به‌صورت مجتمع در یک تراشه ارائه می‌دهند. از جمله این ترنسیورها می‌توان به ADRV9026 و ADRV9029 شرکت آنالوگ اشاره کرد که دارای چهار فرستنده، چهار گیرنده و چهار گیرنده نظارتی (4T4R4O) با پهنای باند ۲۰۰ MHz برای گیرنده است. به‌عنوان مثال برای ساخت یک سلول کوچک 4T4R نسل پنجم در باند زیر ۶ گیگاهرتز از یک عدد از این ترنسیورها در کنار یک FPGA[۳۴] و مدارات قسمت جلویی و تقویت کننده و آنتن می‌توان استفاده کرد. از جمله فرستنده-گیرنده RF مستقیم می‌توان قطعه AD9988 شرکت آنالوگ که دارای چهار کانال فرستنده و گیرنده با پهنای باند ۱۲۰۰ MHz یا قطعه AFE7920 شرکت تگزاس که دارای چهار کانال فرستنده با پهنای باند ۱۲۰۰ MHz و چهار کانال گیرنده با پهنای باند ۶۰۰ MHz است را نام برد. این دو قطعه برای پیاده‌سازی AAU موج میلی‌متری مناسب می‌باشند.

تراشه‌های مجتمع شکل دهنده پرتو

با ضرورت یافتن استفاده از MIMO و شکل‌دهی پرتو در 5G به‌ویژه در محدوده فرکانسی موج میلی‌متری، تراشه‌های مجتمع

33- multiple-input and multiple-output
34- Field Programmable Gate Arrays

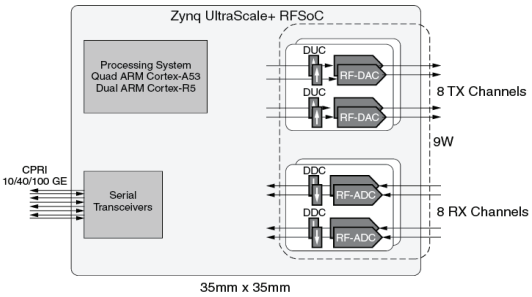


شکل ۴: مصرف توان برحسب کارکرد در یک ترنسیور گسسته 5G [۲]

اختصاصی برای شکل‌دهی پرتو طراحی و در دسترس قرار گرفته است. برخی از محصولات معروف در این زمینه عبارتند از:
ADAR1000، AFE7071، RFFM4554 همگی دارای ۴ کانال برای فرکانس‌های تا ۶ گیگاهرتز.
PE29102: دارای ۴ کانال و قابلیت پشتیبانی از MIMO در فرکانس‌های تا ۴۰ گیگاهرتز.
ADMV4821 و ADMV4828 دارای هشت کانال با قطبش افقی و هشت کانال با قطبش عمودی در باند ۲۴ تا ۲۹٫۵ گیگاهرتز.

مجتمع‌سازی DFE و ADC/DAC و پردازنده

مجتمع‌سازی مبدل‌های داده موجب کاهش زیاد در تلفات حرارتی ایستگاه‌های پایه 5G می‌شود. مقدار صرفه‌جویی حدود یک وات برای هر جریان داده (هر خط JESD204) است. در یک 64T m-MIMO این صرفه‌جویی بیش از ۶۰ وات از کل بودجه افت حرارتی ۲۵۰ واتی خواهد بود [۲]
شرکت اینتل با معرفی سری FPGA های RF مستقیم Agilex 9 و Stratix 10 و ASIC های قادر به تبدیل مستقیم سیگنال RF در چندین کانال ورودی و خروجی با نرخ‌هایی به‌سرعت ۱۲ گیگابیت بر ثانیه روی ۱۶ کانال و ۶۴ گیگابیت بر ثانیه روی ۸ کانال با پهنای باند ۳۶ گیگابیت بر ثانیه امکان پیاده‌سازی راه‌حل‌های بهینه در کاربردهای RF را فراهم کرده است [۳] شرکت زایلینکس نیز قطعات جدید Zynq UltraScale+ RFSoC خود را گسترش داده است که قادر به پوشش باند فرکانسی کامل زیر ۶ گیگاهرتز برای پیاده‌سازی شبکه 5G هستند. این قطعات از مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) ۱۴ بیتی با نمونه‌برداری مستقیم RF تا نرخ 5GS/S و از مبدل دیجیتال به آنالوگ ۱۴ بیتی (DAC) با نرخ ۱۰ GS/S با پهنای باند آنالوگ تا ۶ گیگاهرتز پشتیبانی می‌کنند. با حذف قطعات گسسته، تا ۵۰ درصد کاهش توان و فضای برد فراهم می‌شود که این قطعات را برای ایستگاه‌های پایه MIMO نسل پنجم مناسب می‌کند. این پلتفرم رادیویی تطبیق‌پذیر با فراهم کردن سازگاری بین میان نسل‌های مختلف تراشه، به مشتریان این امکان را می‌دهد تا با استفاده از تراشه‌های نسل اول، سیستم خود را طراحی و پیاده‌سازی کنند و راهبردی برای نسل دوم و سوم در پیش بگیرند تا عملکرد بیشتری برای خود به‌دست بیاورند.

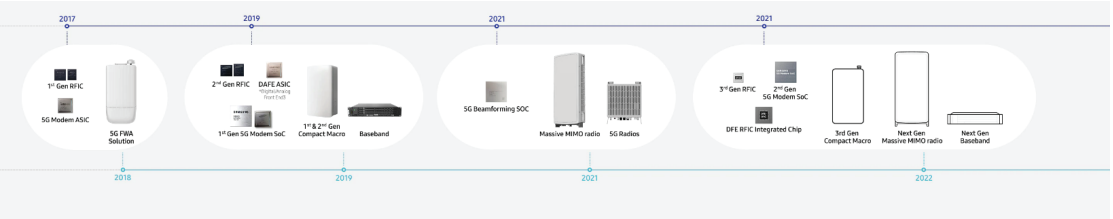


شکل ۵: مجتمع‌سازی مبدل‌های داده و پردازنده‌ها در محصول RFSoC [۲]

تبدیل کد نرم‌افزاری HDL به سخت‌افزار ASIC

تبدیل کدهای HDL پردازش‌های دیجیتال به سخت‌افزار ASIC زمانی توجیه‌پذیر می‌شود که الزامات عملکردی تثبیت شده باشند و بازار کشش تولید انبوه را داشته باشد. این موضوع در مورد LTE محقق شده است و تولیدکنندگان در تولید ایستگاه‌های کاری از ASIC استفاده می‌کنند. در مورد 5G هنوز برخی از متغیرها به بلوغ کافی نرسیده‌اند و جنبه‌های مختلفی از شبکه هنوز در حال تکامل می‌باشند. مثلاً پیاده‌سازی شکل‌دهی پرتو هنوز در حال بهبود است. پهنای باند در حال افزایش است و رویکرد این است که به‌جای ۱۰۰ مگاهرتز از پهنای باند ۲۰۰ مگاهرتز یا بیشتر پشتیبانی شود تا نسخه‌های کمتری از یک محصول تولید شود که از لحاظ بهره‌برداری و نگهداری و تأمین قطعات مقرون به صرفه‌تر باشد. پیاده‌سازی‌های استاندارد نوظهور O-RAN[۳۵] تا نهایی‌سازی نقطه شکست ۷.۲ و قطعی‌شدن کارکردهای کلیدی مانند پیش کدینگ، نگاشت لایه و تخمین کانال در حال تغییر می‌باشند و چند سالی تا تثبیت آنها زمان لازم است، به ویژه در شرایط فعلی که بازار هنوز در حال شناخت عملکرد شبکه 5G در دنیای واقعی است و با گذار به‌سوی 5G SA همچنان انعطاف‌پذیری طراحی سیستم یک نیاز واقعی است. همه این دلایل باعث می‌گردد تا زمانی مجهولات و الزامات 5G به‌درستی شناخته شود، استفاده از ASIC به تأخیر بیفتد و از طرح‌های منعطف‌تری مانند فرستنده-گیرنده چندکانالی مجتمع و FPGA یا RFSoC استفاده شود. با

35- Open radio access network



شکل ۵: روند توسعه تراشه‌ها و محصولات 5G سامسونگ [۴]

اقزایش این پیچیدگی‌ها در 5G حجم آستانه برای توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری برای توسعه ASIC، تولید بیش از ۲۰۰۰۰۰ واحد در سال است. این حجم برای تولیدکنندگان چینی مانند هواوی و ZTE که نیاز بازار به حجم تولید بیش از ۱۴ میلیون ASIC دارند، برای سرمایه‌گذاری و تولید ASIC کاملاً توجیه‌پذیر است.

نگاهی به رویکرد تولیدکنندگان ایستگاه پایه

شرکت سامسونگ

سامسونگ برای توسعه محصولات 5G خود توسعه و تولید سه نوع تراشه 5G را در دستور کار قرار داده است؛ مودم‌های SoC، RFICهای موج میلی‌متری و sub-6، تراشه‌های DFE و در نهایت مجتمع‌سازی DFE-RFIC[۳۶] یا DAFE[۳۷].

شرکت سامسونگ نسل اول ایستگاه پایه رادیو 5G-NR خود را با واحد رادیو و دیجیتال مجزا (RU-DU با رادیو مجزا) راه‌اندازی کرد. تراشه مودم 5G SoC به کار رفته در این محصول S9100 نام دارد که موجب کاهش ۲۵ درصدی ابعاد، وزن و مصرف توان در مقایسه با محصول بدون استفاده از تراشه مودم شده‌است. نسل سوم تراشه RFIC سامسونگ هر دو باند 28GHz و 39GHz را پشتیبانی می‌کند.

به‌کارگیری RFICها نقش حیاتی در حمایت از کاهش اندازه و مصرف برق ایستگاه‌های پایه دارد. RFIC های جدید سامسونگ با استفاده از تکنولوژی نیمه رسانا CMOS 28nm در پهنای باند تا حداکثر ۱.۴ GHz در مقایسه با 800 MHz برای RFIC های قبلی کار می‌کنند. اندازه RFIC به مقدار ۳۶ درصد کاهش یافته و عملکرد کلی با کاهش سطح نویز و بهبود مشخصات خطی، تقویت شده است [۴] بدون سرمایه‌گذاری در ASIC ها، DAFE به‌تنهایی بسیار جاگیر و ناکارآمد در مصرف برق است و نمی‌تواند نیازهای محصول اپراتور را برآورده کند، بنابراین سامسونگ در کنار استفاده از RFIC ها DAFE خود را در قالب یک ASIC با مصرف کم و اندازه کوچک توسعه داده است. تراشه DAFE جدید سامسونگ وظایف RFIC و DFE را برای هر دو کاربرد زیر ۶ گیگاهرتز و موج میلی‌متری ترکیب نموده و از پهنای باند دو برابر قبل پشتیبانی می‌کند، ابعاد را کاهش داده و توان خروجی را برای راه‌حل‌های 5G نسل بعدی افزایش می‌دهد. شرکت سامسونگ اطلاعات دقیقی در مورد شماره قطعه مربوط به SOC شکل‌دهی پرتو و DAFE خود منتشر نکرده‌است، زیرا این تراشه‌ها را به‌طور انحصاری برای استفاده در محصولات خود طراحی و تولید کرده‌است.

شرکت هواوی

شرکت هواوی تراشه تیان گنگ Tiangang را برای ایستگاه‌های پایه 5G طراحی کرده است. این تراشه از طیف وسیع فرکانس (پهنای باند ۲۰۰ مگاهرتز)، یکپارچه‌سازی بزرگ مقیاس تقویت‌کننده‌های توان فعال و آنتن‌های غیرفعال، ظرفیت محاسبات بالا و قابلیت کنترل تا ۶۴ کانال با فناوری شکل‌دهی پرتو پشتیبانی می‌کند. تراشه Tiangang همچنین ۵۰ درصد کوچک‌تر، ۲۳ درصد سبک‌تر و ۲۱ درصد مصرف انرژی کمتر از نسل قبل دارد. علاوه بر این هواوی مدعی است که زمان نصب ایستگاه‌های پایه 5G نصف ایستگاه‌های پایه 4G خواهد بود [۵]

جمع‌بندی

همگام با توسعه و تکامل صنعت زیرساخت رادیویی نسل پنجم، صنعت تولید قطعات الکترونیکی نیز با توسعه فناوری مجتمع‌سازی، تراشه‌های جدیدی با معماری متناسب با نیازمندی‌ها و الزامات آن روانه بازار کرده است. این تراشه‌های مجتمع با کاهش هزینه‌های SWaP امکان تجاری سازی محصولات را فراهم می‌کنند. این قطعات با ساختار منعطف امکان استفاده در فاز تحقیق و توسعه و نمونه اولیه سازی را برای طراحان رادیویی و باند پایه ایجاد می‌کنند. با تکامل و تثبیت عملکرد نمونه اولیه و توسعه بازار امکان سرمایه گذاری برای تولید ASIC و تجاری سازی محصول وجود خواهد داشت.

36- Digital Front-End - Radio Frequency Integrated Circuit
37- Digital / Analog Front End

منابع:

[1] Paul A. Moakes, “The challenges of building a 5G base station”, April 2021, (https://www.5gtechnologyworld.com/the-challenges-of-building-a-5g-basestation)
[2] Dan McNamara, ” FPGA vs ASIC: 5G changes the equation”, (https://www.mobile-experts.net/Home/Report/2172)
[3] Jim Felix, “Intel Delivers a Game-Changing Portfolio of Analog-Enabled Intel® Agilex™ 9 FPGAs Direct-RF Series, Structured ASICs, and ASICs”, White Paper, Intel Corporation
[4] http://news.samsung.com
[5] https://www.huawei.com/en/news/2019/1/huawei-first-5g-base-station-core-chip-5g
[6] https://www.5gtechnologyworld.com/functional-splits-the-foundation-of-an-open-5g-ran/

فناوری همراه
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم
رصد فناوری

طراحی و ساخت لامپ موج باند E برای لینک‌های بی‌سیم با نرخ داده بالا

غزاله خیام‌باشی
کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی و مهندسی هسته‌ای از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

–باند فرکانسی E (۷۱ – ۷۶ گیگاهرتز و ۸۱ – ۸۶ گیگاهرتز) در حال حاضر در لینک‌های نقطه به نقطه بی‌سیم با ظرفیت چند گیگابیت بر ثانیه استفاده می‌شود. قسمت پیشرو[1] این لینک‌ها توسط تقویت‌کننده‌های حالت جامد با توان خروجی حدود ۱ وات تغذیه می‌شوند. این سطح توان خروجی سبب می‌شود تا بازده طیفی[2] و محدوده پوشش بسیار محدود شوند. این محدودیت باید توسط آنتن‌هایی با بهره بالا جبران شود. هرچند آنتن‌هایی با بهره بالا بسیار بزرگ می‌باشند و پرهزینه می‌باشند. لذا نیاز است تا به یک راه حل جایگزین دست بیابیم. دسترسی به ده‌ها وات توان انتقالی به ما اجازه می‌دهد تا به کارایی طیفی بالاتر و محدوده پوشش وسیع‌تر دست بیابیم. لامپ موج (TWT[3]) به‌دلیل قدرت بالا نسبت به دستگاه‌های حالت جامد، به‌منظور تأمین این توان ارسالی بالا، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله طراحی و ساخت اولین TWT باند E براساس یک ساختار موج کند موجبر موجدار دوبل[4] پیشنهاد شده است. این TWT برای فراهم کردن حدود ۷۰ وات توان و بیش از ۳۵ دسی‌بل بهره در باند ۷۱ – ۷۶ گیگاهرتز طراحی شده است.

کلیدواژه: باند E، لامپ موج، موجبر موجدار دوبل، لینک بی‌سیم

1- Frontend
2- Spectral efficiency
3-Traveling-wave tube
4- Double-corrugated waveguide

باند فرکانسی E (۷۱ – ۷۶ گیگاهرتز و ۸۱ – ۸۶ گیگاهرتزی برای ارتباطات بی‌سیم نقطه به نقطه (P2P[1]) است [۱] – [۳] لینک‌های با نرخ داده بالا برای توزیع داده‌های با ظرفیت بالا در لینک‌های عقبی[2] در تحقق شبکه‌های 5G و 6G بسیار ضروری هستند. لینک‌های باند E به‌صورت تجاری با نرخ داده چند گیگابیت بر ثانیه در دسترس هستند. نرخ داده این لینک‌ها بر اساس شرایط جوی متغیر است. هرچند، توان نسبتاً پایین تقویت‌کننده‌های حالت جامد، که معمولاً در محدوده ۱ وات می‌باشد، باید توسط آنتن‌های با بهره بالا جبران شود تا نسبت سیگنال به نویز (SNR[3]) مورد نیاز جهت دسترسی به لینک در ۹۹.۹۹٪ مواقع در شرایط جوی بارانی فراهم گردد [۴] و [۶] معمولاً آنتن‌های با بهره بالا ابعاد نسبتاً بزرگی دارند. در نتیجه، اگر به ده‌ها لینک با ظرفیت چند گیگابیت در ثانیه نیاز باشد، باید از مجموعه‌ای از قسمت‌های پیشرو با ابعاد بزرگ استفاده شود. یافتن دکل مناسب برای نصب چنین مجموعه‌ایی بسیار دشوار می‌باشد [۷] لذا نیاز است تا به راه حلی جایگزین بیاندیشیم. دسترسی به توان انتقالی بالاتر، کارایی طیفی و نرخ داده را افزایش و ابعاد آنتن را کاهش می‌دهد. این بهبودها سبب سهولت در نصب قسمت‌های پیشرو می‌شوند.

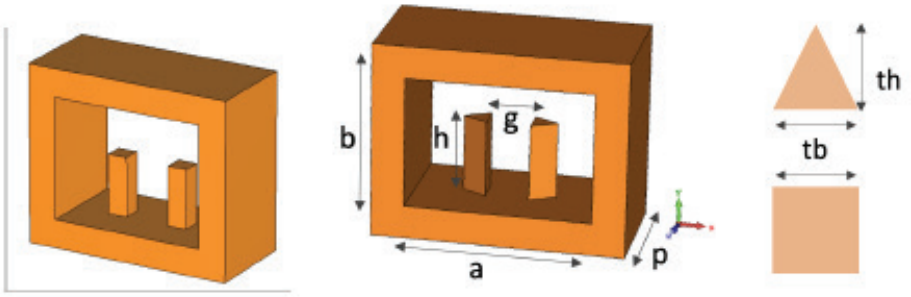
TWT تنها ابزارهایی هستند که در عین برخورداری از ابعاد فشرده قادر به فراهم کردن ده‌ها وات توان در باند موج میلی‌متری هستند [۸] نحوه عملکرد آن‌ها مبتنی بر انتقال انرژی از یک پرتو الکترونی در خلأ به‌وسیله یک سیگنال RF است که در یک ساختار موجبری یا ساختار موج آهسته (SWS[4]) انتشار می‌یابد. با توجه به لزوم هماهنگی سرعت فاز موج با سرعت الکترون، SWS سرعت فاز موج را کاهش می‌دهد. ابعاد SWS تابعی از طول موج است، لذا طول موج کوتاه در باند فرکانسی E طراحی ساختار مارپیچ[5] معمولی SWS، که در TWT های مایکروویو کاربرد دارند را بسیار دشوار می‌سازد. تا به امروز تنها یک ساختار مارپیچی TWT باند فرکانسی E با ابعاد کوچک گزارش شده است، به‌طوریکه فرکانس قطع آن ۷۵ GHz است [۹] انواع مختلف SWS مبتنی بر موجبرهای فلزی معرفی‌شده‌اند که از جمله می‌توان به ساختارهای موجبر خمیده[6] [۱۰] و موجبر موجدار دوبل [۱۱] اشاره کرد. تولید این نوع ساختارهای فلزی SWS نسبت به ساختارهای مارپیچ شکل ساده‌تر است. به‌علاوه اینکه ابعاد کوچک ساختارهای فلزی SWS جهت کاربردهای باند فرکانسی E مناسب است. هرچند در طراحی ساختار فلزی SWS با چالش‌هایی نیز برخورد می‌کنیم. با توجه به طول موج کوتاه در باند فرکانسی E، ابعاد این ساختارها در این باند بسیار کوچک است. در نتیجه حتی در صورت وجود تلورانس کوچک[7] در مراحل طراحی SWS فلزی، عملکرد آنها بسیار تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد.

طراحی TWT به لطف نرم‌افزارهای شبیه‌سازی الکترومغناطیسی به‌طور قابل توجهی ساده‌تر از پیش شده است. این افزایش سهولت در نتیجه اضافه شدن امکان استفاده از ظرفیت‌های محاسباتی GPU در این نرم‌افزارها می‌باشد. در نتیجه می‌توان شبیه‌سازی‌های دقیقی را برای مدل‌سازی نحوه عملکرد TWT انجام داد. با این حال، دقت ساخت، خطا کوچک، خطای مونتاژ و غیر صیقلی بودن سطح دیواره فلزی SWS تا حد محدودی می‌توانند در شبیه‌سازی‌ها گنجانده شوند، هرچند که این موارد در تولید موفقیت‌آمیز TWT بسیار حیاتی هستند [۱۲]

TWT در باند فرکانسی E [۱۳]، [۱۶] عمدتاً برای کاربردهای فضایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و تنها چند نمونه اولیه تولید و آزمایش شدند. تنها یک موجبر خمیده TWT با توان خروجی بیش از ۴۰ وات و بهره ۳۸ دسی‌بل گزارش شده است [۱۰] یک ماژول قدرت مایکروویو (MPM[8]) شامل یک TWT مارپیچ در فرکانس ۸۱ گیگاهرتز با توان خروجی ۲۰۰ وات در [۱۴] گزارش شده است. TWT در حال حاضر در کاربردهای ویژه مانند فضا و صنایع دفاعی نیز استفاده می‌شوند و بودجه‌های کلان به این کاربردها اختصاص یافته است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مورد نظر برای TWT پذیرش در بازار مخابرات سیستم‌های بی‌سیم، مقرون‌به‌صرفه بودن و ساختار ساده برای تولید با تعداد بالا است. یکی از اصلی‌ترین گزینه‌ها برای ساخت TWT با مشخصات قابل قبول در بازار مخابرات سیار موجبر موجدار دوبل است. ساخت این موجبر به‌دلیل ساختار ساده و هم‌ترازی بخش‌ها، نسبتاً آسان است.

در این مقاله اولین نمونه ساخته‌شده یک موجبر TWT بر اساس موجبر موجدار دوبل با فرکانس کاری ۷۱–۷۶ گیگاهرتز برای ارتباطات بی‌سیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. این TWT برای فراهم کردن حدود ۷۰–وات توان خروجی اشباع‌شده و بهره بیش از ۳۵ دسی‌بل طراحی شده است. ساختار و عملکرد ساده این موجبر TWT ارائه شده اجازه می‌دهد تا لینک‌های P2P با نرخ داده چندین گیگابیت بر ثانیه و همچنین پوشش منطقه‌ای وسیع با آنتن‌های با بهره پایین فراهم شود. به‌طور کلی در این مقاله به معرفی TWT بر اساس موجبرهای موجدار دوبل می‌پردازیم. همچنین در این مقاله، ساختار ارائه شده با چند ساختار مرسوم دیگر مقایسه شده و روند طراحی آن به‌صورت کامل بیان می‌گردد. علاوه بر این، روش نوآورانه ساخت TWT معرفی و چالش‌های فرآیند ساخت آن مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

1- Point to point
2- Backhaul
3-signal to nose ratio
4- Slow-wave structure
5- Helix
6- Folded Waveguide
7- Tight tolerance
8- Microwave power module



شکل ۱. (چپ) DCW با ستون مربعی؛ (مرکز) DCW با ستون مثلثی؛ (راست) شکل ستون‌ها از بالا[۲۰]

طراحی TWT

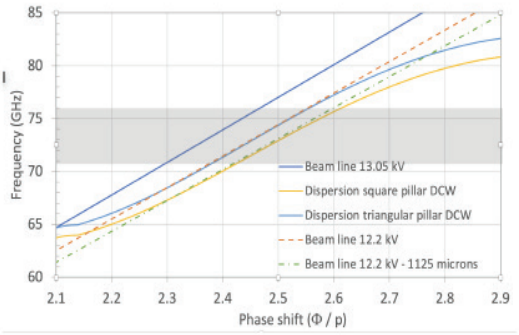
مشخصات موجبر TWT در باند فرکانسی E براساس سناریوی استقرار مربوط به شبکه‌های 5G و 6G تعریف شده‌اند [۲] و [۱۷] نیاز به نرخ داده چندین گیگابایت بر ثانیه در لینک‌های طولانی 5G و 6G که باید توسط قسمت پیشروی باند فرکانسی E تأمین شود، با تقویت‌کننده‌های حالت جامد موجود قابل‌دستیابی نیست. محدوده پوشش این لینک‌ها تابعی از بهره آنتن‌های آن‌ها و توان انتقالی لینک است. لازم به ذکر است، افزایش بهره[۹] آنتن با محدودیت‌هایی از جمله محدودیت ابعاد، مواجه است. در نتیجه تنها توان انتقالی بالاتر می‌تواند جهت افزایش محدوده پوشش مؤثر واقع شود. همچنین شرایط جوی می‌تواند قیدهای بیشتری به شرایط و محدوده پوشش این لینک‌ها بیافزاید. به‌عنوان مثال برای برقراری ارتباط در ۹۹٫۹۹٪ در شرایط جوی بارانی (۴۲ میلی‌متر در ساعت) ITU[۱۰] پیشنهاد کرده است تا حدود ۱۲ دسی‌بل در کیلومتر تلفات اضافی در محاسبه بودجه لینک لحاظ شود. نرخ داده مورد نیاز مدولاسیون در یک محدوده پوشش معین تابعی از معیار سیگنال به نویز است. همچنین ITU برای مدولاسیون‌های مرتبه بالا، که نیاز به خطینگی[۱۱] مرتبه بالایی دارند، پیش نهاد کرده تا ۶ تا ۹ دسی‌بل عقب نشینی[۱۲] در محاسبات بودجه لینک لحاظ شود. یک کانال با پهنای باند ۱ گیگاهرتز را در نظر بگیرید، دستیابی به ظرفیت انتقال داده در حدود ۶ گیگابایت بر ثانیه (با الزاماتی نظیر ۹ دسی‌بل عقب نشینی در محاسبات بودجه لینک و SNR حدود ۳۵ دسی‌بل) با مدولاسیون QAM با مرتبه ۲۵۶ (مدولاسیون دامنه تربیعی[۱۳])، با کارایی طیفی حدود ۶ بیت بر ثانیه بر هرتز (bits / s / Hz) امکان‌پذیر است. به‌عنوان یک تخمین مناسب از بودجه لینک، برای یک لینک با پوشش ۱.۵ کیلومتر و یک آنتن بشقابی کوچک با بهره ۳۹ دسی‌بل و با فرض تقویت‌کننده کم نویز در گیرنده با بهره ۵ دسی‌بل، به حدود ۶۵ وات توان اشباع‌شده نیاز داریم. بر این اساس، جهت تحقق‌بخشی به این لینک، به یک TWT باند فرکانسی E برای فراهم کردن حدود ۷۰-وات توان خروجی و بیش از ۳۵ دسی‌بل بهره در باند ۷۱ - ۷۶ گیگاهرتز طراحی نیاز است. در ادامه، طراحی و شبیه‌سازی یک TWT با مشخصات مذکور توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز سه‌بعدی (CST MWS [۱۸]) مورد بحث قرار خواهد گرفت.

A. موجبر موجدار دوبل (DCW[۱۴])

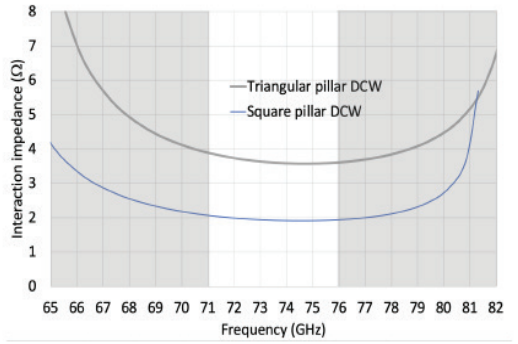
در این مقاله یک DCW در باند ۷۱ - ۷۶ گیگاهرتز با سرعت فاز همزمان‌شده با یک ولتاژ پرتو ۱۲.۲ کیلوولت طراحی شده است. ولتاژ این پرتو نسبتاً کوچک است تا بتوان آن را توسط یک منبع تغذیه فشرده نسبتاً کم توان تولید کرد. DCW با دو ستون مستطیلی و مثلثی طراحی شده است. شکل ۱ طرح کلی یک DCW را نمایش می‌دهد. ابعاد ستون‌های مستطیلی و مثلثی مورد استفاده در DCW در جدول ۱ فهرست شده‌اند. منحنی پراکندگی برای هر دو ستون مستطیلی و مثلثی DCW در شکل ۲ نشان‌داده شده است. یک دوره تناوب تکرار ستون‌ها با تفاوت بسیار کم نسبت به ستون مثلثی (۱۱۲۵ میکرون) برای ستون مربعی DCW استفاده شد تا همزمانی یکسانی با پرتو ۱۲,۲ کیلوولت داشته‌باشد، لذا امپدانس اثر متقابل (DCW[۱۵]) با هر دو نوع ستون برای ولتاژ پرتو یکسان شود. خط پرتو مربوط به ولتاژ پرتو (مورد استفاده در شبیه‌سازی سلول (PIC[۱۶]) نیز در شکل ۲ نشان‌داده شده است. یک امپدانس اثر متقابل متوسط بالاتر از ۳.۵ اهم در کل باند برای DCW با ستون‌های مثلثی به‌دست آمده است. این امپدانس اثر متقابل در شکل ۳ نمایش داده شده است. توجه داشته باشید که امپدانس اثر متقابل با ستون‌های مثلثی به‌صورت تقریبی دو برابر امپدانس اثر متقابل DCW با ستون‌های مربعی است [۱۹] لذا DCW با ستون‌های مربعی در تزویج‌کننده‌ها[۱۷] استفاده می‌شود به‌طوریکه در آن‌ها هیچ اثر متقابلی با پرتو الکترونی وجود ندارد.

9-Gain
10- International telecommunication union
11- Linearity
12- Back-off
13- Quadrature Amplitude Modulation

14- Double-corrugated waveguide
15- Interaction impedance
16- Particle in Cell
17- Coupler



شکل ۲. پراکندگی[18] DCW با ستون مثلثی به‌عنوان تابعی از فرکانس [۲۰]



شکل ۳. امپدانس اثر متقابل DCW با ستون مثلثی و DCW با ستون مربعی [۲۰]

توپولوژی کلی یک بخش از مدار برهمکنشی[19] DCW که می‌تواند به‌عنوان بخش اول یا دوم در یک TWT تک بخشی یا دو بخشی استفاده شود در شکل ۴ نشان‌داده شده است. دوره تکرار ستون‌ها به‌مشخصات طراحی بستگی دارد. ناحیه تعامل[20] شامل ستون‌های مثلثی است، در حالی که تزویج‌کننده‌ها توسط ستون‌های مربعی ساخته می‌شوند. ستون‌های مثلثی مقاومت متقابل بالاتری دارند اما ساخت آن‌ها سخت‌تر است. به همین دلیل استفاده از آن‌ها در منطقه تعامل محدود است. هدف از تزویج‌کننده‌ها، تبدیل مد[21] ترکیبی[22] در DCW به یک مد[23] TE01 است. از آنجایی که نیاز به هیچ تعاملی با پرتو الکترونی وجود ندارد، در ساخت تزویج‌کننده‌ها از ستون‌های مستطیلی که ساخت آن‌ها آسان‌تر است، استفاده شده است. هر تزویج‌کننده شامل ۱۵ ردیف ستون است که از ارتفاع کوتاه شده‌اند تا با بال WR-10 مطابقت داشته باشند. پارامترهای S یک مدار DCW با ۴۵ دوره از ستون‌های مثلثی در ناحیه تعامل و ۱۵ دوره از ستون‌های مربعی برای هر تزویج‌کننده در شکل ۵

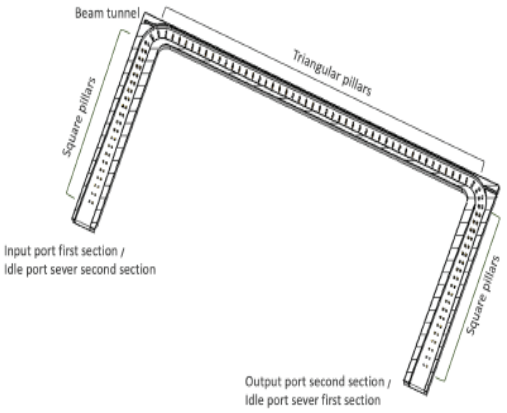
18-Dispersion
19- Interaction circuit
20- Interaction region
21- Mode
22- Hybrid
23- Transverse Electric

نمایش داده شده است.

به‌طور معمول، یک TWT به دو بخش ساختار تعاملی نیاز دارد که توسط یک سرور[24] از هم جدا شده است تا مشخصات بهره را برآورده کند [۱] سرور ناحیه‌ای بین دو بخش است که برای جلوگیری از نوسانات، در آن سیگنال RF وجود ندارد. سرور TWT باند E از درگاه[25] خروجی بخش اول و درگاه ورودی بخش دوم که با مواد جاذب با جذب بالا پوشیده شده است، تشکیل می‌گردد (درگاه‌ها در شکل ۴ نمایش داده‌شده‌اند). اطلاعات فرکانس توسط پرتو الکترونی مدوله‌شده به بخش دوم منتقل می‌شود. پرتو الکترونی با جریان ۹۰ میلی‌آمپر تنظیم شده است، به‌طوریکه توسط میدان مغناطیسی حدود ۰.۴ تسلا تولید می‌گردد. این میدان الکتریکی توسط یک سیستم مغناطیسی متناوب دائمی[26] (PPM) مرسوم تولید شده است.

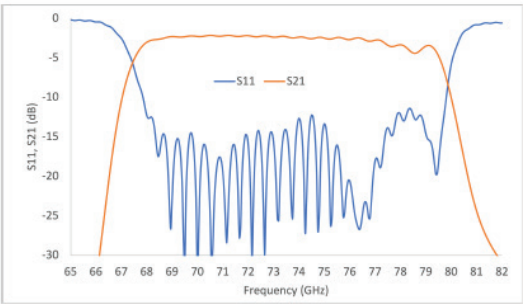
جدول ۱. ابعاد DCW (میکرون) [۲۰].

Beam tunnel width (g)	300
Square pillar width (tb)	200
Triangular pillar base (tb)	200
Triangular pillar height (th)	200
Pillar height (h)	680
Period (P)	1100
Waveguide height (b)	1270
Waveguide width (a)	1680
Beam radius	130
Input Output Port Flanges	WR10

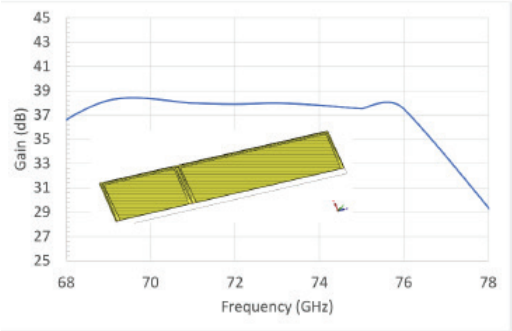


شکل ۴. مدار عمومی DCW با ناحیه برهمکنش و تزویج‌کننده ها [۲۰]

24- Server
25- Port
26- Periodic magnetic system



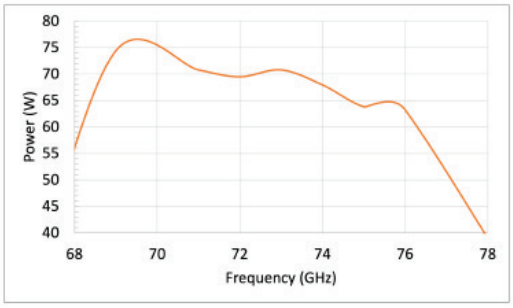
شکل ۵. پارامترهای S برای مدار DCW شکل ۴ [۲۰]



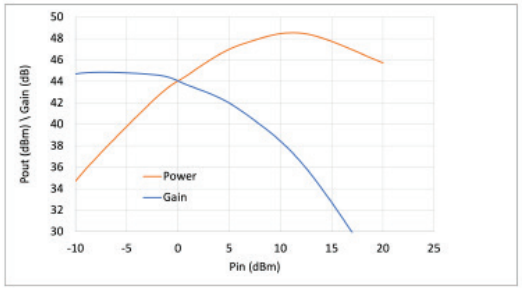
شکل ۶. بهره DCW با TWTدوبخشی [۲۰]

TWTباند E در ابتدا با دو بخش طراحی شـــده بود تا مشخصات مورد نظر را برآورده کند. بخش اول شامل ۳۰ دوره از ستون‌ها برای ارائه بهره حدود ۱۹ دسی‌بل است. بخش خروجی شامل ۶۰ دوره از ستون‌ها برای برآورده کردن بهره و مشخصات توان است. طول کل ناحیه برهمکنش حدود ۱۰۰ میلی‌متر است. شبیه‌سازی‌های PIC بهره بهتر از ۳۷ دســـی‌بل و توان خروجی حدود ۷۰ وات با توان ورودی ۱۰ میلی‌وات را نشان می‌دهد، این نتایج به‌ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ نمایش داده شده‌اند. شکل ۸ منحنی Pin – Pout ناحیه خطی توان خروجی را برای عملکرد TWT نشان می‌دهد. یک DCW با TWT دو بخشی، به‌عنوان یک مرجع با ستون‌های تماماً مربعی، با ۴۰ دوره تکرار ســـتون‌ها در بخش اول و ۹۰ دوره تکرار ستون‌ها در بخش دوم تنها ۳۰ دسی‌بل بهره تولید می‌کند. این به‌خوبی تأثیر ستون‌های مثلثی در جهت افزایش بهره را نمایش می‌دهد.

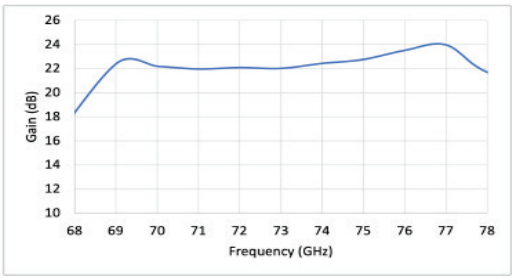
به‌عنوان نمونـــه اولیه TWT، تصمیم گرفته شـــد که یک TWT مشابه با TWT دو بخشی اما با یک بخش ســـاخته شود. این امر اجازه می‌دهد تا فرآیند ساخت کامل TWT با مزیت ناحیه تعامل کوتاه برای کاهش تلاش برای هم‌ترازی پرتو و تمرکز مغناطیسی آزمایش شود. یک ساختار برهمکنش DCW ستون مثلثی ۴۵ دوره‌ای برای بهره حدود ۲۲ دســـی‌بل (شکل ۹) و توان خروجی بیش از ۱٫۵ وات (شکل ۱۰) با توان ورودی ۱۰ میلی وات طراحی شده است. این مقادیر برای جلوگیری از نوسانات احتمالی به‌اندازه کافی کم هســـتند. رفتار متفاوت توان خروجی به‌عنوان تابعی از فرکانس بین TWT دو بخشی (شکل ۷) و TWT تک‌بخشی (شکل ۱۰) ناشی از تغییر اندک در شرایط تعامل[۲۷] است. TWT تک‌بخشی توسط سیگنال RF تغذیه می‌شود. بخش دوم TWT دو بخشی توسط یک پرتو مدوله‌شده تغذیه می‌شود که یک تغییر در شرایط همگام‌سازی در فرکانس بالاتر را تعیین می‌کند.



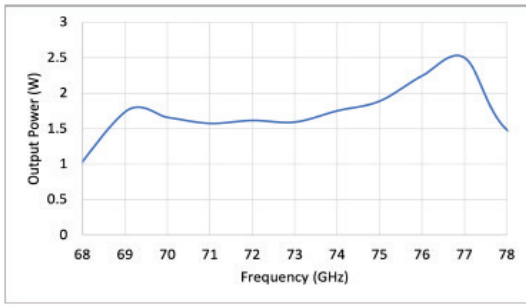
شکل ۷. توان خروجی DCW با TWT دوبخشی [۲۰]



شکل ۸. نمودار توان خروجی بر اساس توان ورودی DCW با TWT دوبخشی [۲۰]



شکل ۹. بهره DCW با TWT تک‌بخشی [۲۰]



شکل ۱۰. توان خروجی DCW با TWT تک‌بخشی [۲۰]

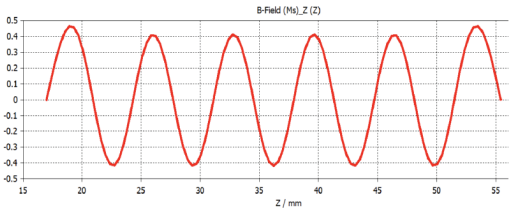
27- Interaction conditions

B. اپتیک الکترونی، جمع کننده[28] و دریچه‌های RF

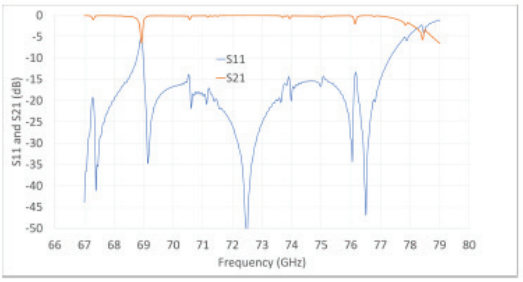
تفنگ الکترونی بـــرای تولید یک پرتو با شـــعاع ۱۳۰ میکرومتر و جریان ۹۰ میلی‌آمپر طراحی شـــده اســـت [۲۱] یک سیستم مغناطیسی متناوب دائمی برای تولید میدان الکتریکی با شدت ۰.۴ تسلا (شکل ۱۱) در طول ساختار برهمکنش طراحی شده است. جمع کننده یک جمع کننده تک مرحله‌ای با احتمال پراکندگی است. پنجره‌های RF حفره‌هایی مانند جعبه قرص معمولی با یک لایه دی الکتریک از جنس آلومینا هستند. شبیه‌سازی پارامترهای S دریچه RF در شکل ۱۲ نشان داده‌شده است. توجه داشته‌باشید که در کل پهنای باند S11 زیر ۱۵ دسی‌بل است. S11 پایین از باند، در حدود ۶۹ گیگاهرتز، برای TWT تک بخشی نیز به‌دلیل توان کم تولید شده حیاتی نیست.

ساخت TWT باند E

در این بخش جنبه‌های اصلی ساخت قطعات TWT مورد بحث قرار خواهد گرفت. به‌طور خـــاص، یک تکنیک جدید برای غلبه بر خطر پیوند انتشار ضعیف[29] برای مونتاژ مدار DCW شرح داده خواهد شد.



شکل ۱۱. میدان مغناطیسی (T ۰.۴) تولید شده توسط سیستم PPM. [۲۰]



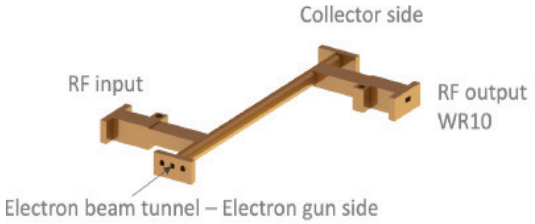
شکل ۱۲. پارامتر S شبیه‌سازی شده از دریچه RF [۲۰]

A. ساخت مدار موجبری موجدار دوبل

مدار موجبری موجدار دوبل شـــامل تزویج کننده‌های ورودی و خروجی با فلنج[30] برای اتصال دریچه‌های RF و تفنگ الکترونی و جمع کننده تونل پرتو است. این مدار توسط دو بلوک تقسیم شده از مس با رسانایی بالا بدون اکسیژن (OFHC[31]) ساخته شده است. یک بلوک شامل موجبر با ستون‌ها، تزویج کننده‌ها و تونل پرتو است. ساخت این بلوک نیاز به دقت بالا در کنترل عددی کامپیوتر CNC و ابزارهایی با قطر بسیار کوچک (چند صد میکرون) دارد. بلوک دوم یک در تخت برای بستن موجبر است. زبری[32] سطح دیواره‌ای فلزی باید به‌طور ایده‌آل کمتر از عمق پوستی[33] (۲۴۰ نانومتر در ۷۶ گیگاهرتز) باشد تا از تلفات اهمی پایین اطمینان حاصل شود. این درجه از پرداخت سطح (حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر) با استفاده از فرز CNC با سرعت اسپیندل[34] بسیار بالا (۵۰۰۰۰ دور در دقیقه) به‌دست می‌آید [۱۲] و [۲۲]

این دو بلوک مونتاژ شده با استفاده از پیوند نفوذی به یکدیگر محکم پیوند داده می‌شوند. پیوند نفوذی فرایندی است که با اعمال فشار بالا در دمای نزدیک به نقطه ذوب فلز امکان بازیابی پیوند اتمی دو یا چند بخش فلزی را فراهم می‌آورد. این فرآیند خلأ مدار را تضمین می‌کند. پس از پیوند نفوذی، بلوک حاصل توسط دستگاه CNC برای دستیابی به‌شکل مناسب برای پشتیبانی از سیستم تمرکز مغناطیسی دائمی ماشین کاری می‌شود. طراحی نهایی مدار DCW تک‌بخشی پس از فرزکاری CNC برای مونتاژ در TWT در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

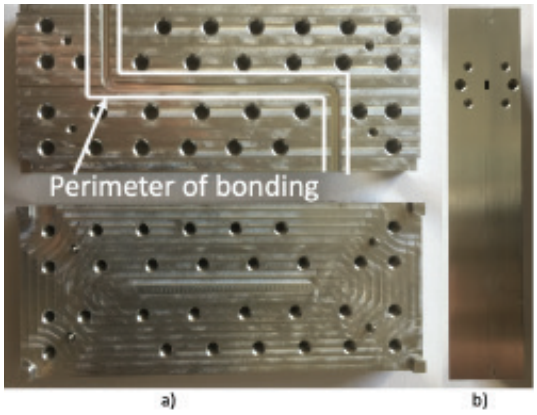
این مرحله نهایی ماشین کاری بلوک پیوندی بسیار حیاتی است. شکل ۱۴ یک ساختار بلوک‌های مجزا را برای پیوند نفوذی نشان می‌دهد [۱] مدار در دو بلوک ماشین کاری شده است. این پیوند باید در تمام سطح تماس به‌صورت کامل به‌دست آید. با این حال، منطقه‌ایی که پیوند باید قوی و محکم باشد در امتداد محیط موجبر است. اگر اتصال در امتداد محیطی که توسط دیواره‌های موجبر و تونل پرتو تعریف شده است قوی نباشد یا ناقص باشد، می‌تواند منجر به شکستگی مواد یا تغییر شکل در حین ماشین کاری شود که مدار را غیرقابل استفاده می‌کند و نیاز به ساخت یک مدار جدید با هزینه‌های اضافی زیاد ایجاد می‌شود. پس از پیوند نفوذی، هیچ راه ساده‌ای برای بررسی کیفیت پیوند در محیط ساختار نهایی که باید ماشین کاری شود، وجود ندارد. این امر درصد موفقیت ماشین کاری نهایی و تکمیل موفقیت‌آمیز آن را بدون آســـیب زدن به ساختار، نامشخص می‌سازد.



شکل ۱۳. ترسیم ساختار نهایی مدار DCW تک مقطعی [۲۰]

28- Collector
29- Eventual weak diffusion
30- Flange

31- Oxygen Free High Conductivity
32- Roughness
33- Skin depth
34- Spindle



شکل ۱۴. رویکرد بلوک تقسیم معمولی الف) بلوک‌های تقسیم‌شده، ب) مونتاژ شده برای اتصال [۱]

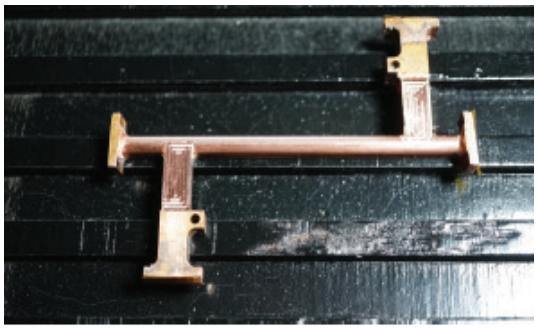
برای حل این مشکل، یک ساختار دو بخشی جدید پیشنهاد شده است. دو بلوک از مدار DCW با هندسه‌ای بسیار نزدیک به‌شکل نهایی تشکیل شده‌اند. با روی هم قرار دادن این دو بخش و با انجام عملیات پیوند نفوذی می‌توان به ساختار نهایی دست یافت. شکل ۱۵ دو بخش ساخته‌شده، بلوک موجبری و در پوش تخت DCW باند فرکانسی E را نشان می‌دهد. شکل ۱۶ جزئیات ستون‌های مثلثی درون موجبر را نشان می‌دهد. تنظیم دو بخش روی یکدیگر با استفاده از پین‌های دوبل به‌دست می‌آید. باتوجه به کیفیت ساخت بالا، طول کلی هر بلوک حدود ۸۰ میلی‌متر است که شامل منطقه برهمکنش (حدود ۵۰ میلی‌متر) و تونل تیر با فلنج برای اتصال به تفنگ الکترونی و جمع کننده است. پروفایل دو بخش کمی گسترده‌تر از هندسه نهایی است تا دیواره‌های فلزی ضخامت کافی برای ماشین کاری نهایی CNC داشته باشند. این هندسه اجازه می‌دهد تا پس از پیوند نفوذ، کیفیت پیوند در سطح مشترک در سراسر محیط ارزیابی شود و در نهایت ناحیه پیوند ضعیف یا نشت خلأ با یک مرحله لحیم کاری اضافی تقویت شود. پیوند نفوذی دو بلوک، به‌دلیل ساختار فلزی ظریف نیاز به تعریف دقیق فشار و دما دارد تا از تغییر شکل سازه جلوگیری شود. برای سازه مورد بحث، فشار ۱۰ کیلو نیوتن با دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد اعمال شده است.

شکل ۱۷ دو بلوک را بعد از پیوند نفوذی نشان می‌دهد. این مدار مورد بازرسی قرار گرفته است تا نشت خلأ نداشته باشد. سپس ماشین کاری CNC مدار برای دستیابی به‌شکل نهایی، همان طور که در شکل ۱۸ نمایان می‌گردد، انجام شده است. دو بال جانبی به دریچه‌های RF متصل شده‌اند. تونل پرتو توسط فلنج‌هایی با استفاده از پین‌های رولپلاک برای هم‌ترازی با دقت بالا به تفنگ الکترونی و جمع کننده متصل می‌شود. شکل ۱۹، سی‌تی‌اسکن اشعه ایکس مدار DCW پیوندی را نمایش می‌دهد. کیفیت پیوند و عدم وجود هرگونه تغییر شکل پس از پیوند نفوذی در این شکل نمایان است. شکل ۲۰، S11 و S21 اندازه‌گیری شده از مدار DCW را پس از پیوند نفوذی نشان می‌دهد. اندازه‌گیری از طریق درگاه‌های ورودی و خروجی انجام شده است، که در شکل ۱۸ به‌طور مستقیم به فلنج‌های بسط‌دهنده[۳۵] متصل شده، که اندکی دقت را کاهش داده است.

شکل ۱۵. دو بلوک از مدار DCW که باید توسط پیوند نفوذی مونتاژ شوند [۲۰]

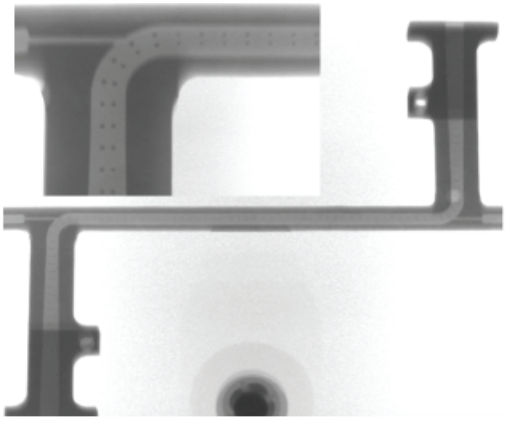
شکل ۱۶. جزئیات ستون‌های مثلثی در منطقه تعامل [۲۰]

شکل ۱۷. مدار DCW پس از پیوند نفوذی [۲۰]

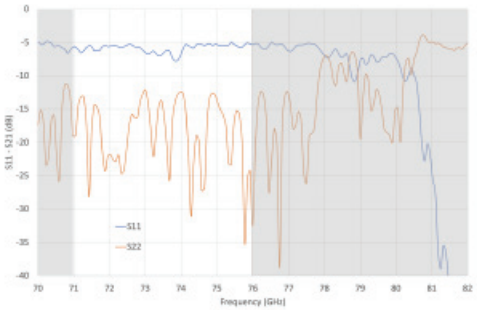


شکل ۱۸. شکل لوله تفنگ نهایی پس از ماشین کاری کاری نهایی CNC [۲۰]

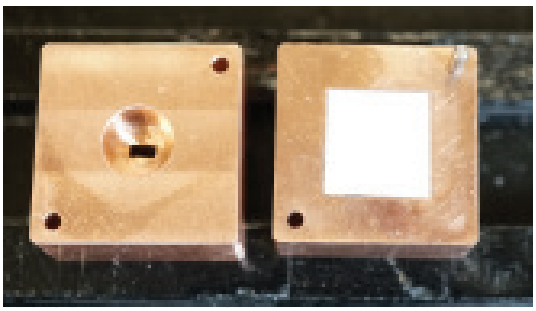
35- Extender flanges



شکل ۱۹. تصاویر سی‌تی‌اسکن اشعه ایکس از مدار DCW متصل شده. (بالا) جزئیات خم، (پایین) مدار DCW کامل [۲۰]



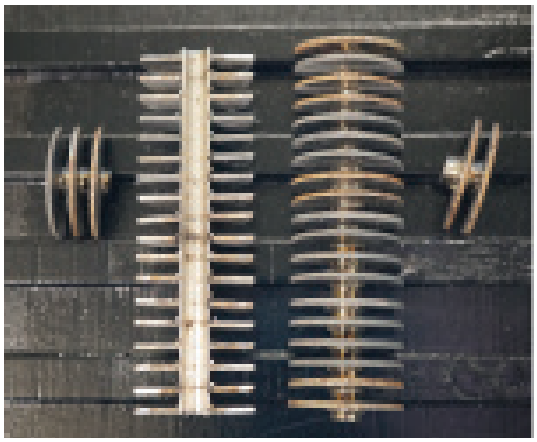
شکل ۲۰. پارامترهای S اندازه‌گیری شده مدار DCW پس از پیوند نفوذی [۲۰]



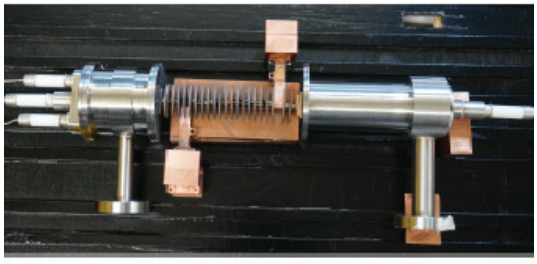
شکل ۲۱. بلوک‌های دریچه RF؛ حفره (چپ)؛ صفحه آلومینیومی (سمت راست) [۲۰]

B. دریچه RF

ساخت دریچه RF با فرز CNC دو بلوک با نیم‌حفره یکسان انجام می‌شود. اولین بلوک دارای یک فلنج برای اتصال به فلنج متناظر بلوک DCW است (شکل ۱۳). بلوک دوم دارای بال WR10 در یک طرف و قاب برای حمایت از ورق سرامیک در طرف دیگر است. جزئیات این دریچه در شکل ۲۱ نمایش داده شده است. اولین بلوک به مدار DCW لحیم می‌گردد، سپس قسمت دوم با ورق آلومینیومی به قسمت اول لحیم می‌شود.



شکل ۲۲. مونتاژ قطعه قطب برای پشته PPM [۲۰]



شکل ۲۳. TWT باند E ساخته‌شده، مهر و موم نشده (بدون آهن‌ربا) [۲۰]

C. سیستم مغناطیسی متناوب دائمی (PPM)

سیستم PPM شامل قطب‌های آهنی است که با آهن‌ربا متناوب می‌شوند. قطعات میله‌های آهنی در دو نیمه ساخته‌شده‌اند. آنها با لیزر به یک لوله فولادی ضد زنگ که مدار DCW را در بر می‌گیرد جوش داده می‌شوند. لوله فولاد ضد زنگ در امتداد محور به دو نیمه تقسیم می‌گردد تا در اطراف لوله مونتاژ و سپس جوش داده شود. هدف از این لوله نیز ارائه یک پشتیبان قوی برای ساختار ظریف مس است. این سیستم در شکل ۲۲ نمایش داده شده است.

D. مجموعه TWT باند E

مونتاژ بخش‌های TWT در مرحله نهایی است. مدار DCW با دریچه‌های RF لحیم شده است. متأسفانه، باقیمانده‌ای از مواد لحیم کاری در تونل پرتو نشست کرده‌اند. تونل پرتو به‌صورت مکانیکی تمیز شده است، اما برای جلوگیری از خطر وجود ذرات درون DCW، دریچه‌های DCW و RF جدیدی ساخته و مونتاژ شدند. علاوه بر این، جمع کننده و تفنگ الکترونی با استفاده از جوشکاری لیزری به مدار DCW مونتاژ می‌شوند. بعد از مرحله مونتاژ، TWT برای رسیدن به سطح خلأ بهتر از ۱۰-۸ برای عملکرد صحیح، پخته خواهد شد. در نهایت، اندازه‌گیری‌های انتقال پرتو و خروجی RF انجام خواهد شد. شکل ۲۳، TWT را پس از مونتاژ نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله طراحی و ساخت یک TWT برای باند فرکانسی E مورد بررسی قرار گرفت. این TWT دارای ویژگی‌هایی مانند ابعاد کوچک، هزینه ساخت کم و فرایند ساخت ساده است. همچنین روش‌های ساخت و طراحی این TWT نیز در این مقاله مورد بررسی قرار گرفتند. این TWT می‌تواند تحقق سایت‌های 5G و 6G را ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر از پیش نماید.

منابع:

[1] X. Li, X. Huang, S. Mathisen, R. Letizia, and C. Paoloni, “Design of 71-76 ghz double-corrugated waveguide traveling-wave tube for satellite downlink, ” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 65, no. 6, pp. 2195–2200, 2018.

[2] C. Dehos, J. L. Gonzalez, A. De Domenico, D. Kt ´ enas, and L. Dussopt, “Millimeter-wave access and backhauling: the solution to the exponential data traffic increase in 5g mobile communications systems?, ” IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 9, pp. 88–95, 2014.

[3] U. J. Lewark, J. Antes, J. Walheim, J. Timmermann, T. Zwick, and I. Kallfass, “Link budget analysis for future e-band gigabit satellite communication links (71–76 and 81–84 ghz), ” CEAS Space Journal, vol. 4, no. 1, pp. 41–46, 2013.

[4] A. M. Al-Samman, M. Mohamed, Y. Ai, M. Cheffena, M. H. Azmi, and T. A. Rahman, “Rain attenuation measurements and analysis at 73 ghz e-band link in tropical region, ” IEEE Communications Letters, vol. 24, no. 7, pp. 1368–1372, 2020.

[5] C. Han and S. Duan, “Impact of atmospheric parameters on the propagated signal power of millimeter-wave bands based on real measurement data, ” IEEE Access, vol. 7, pp. 113626–113641, 2019.

[6] L. Manoliu, R. Henneberger, A. Tessmann, J. Seidel, M. Eppard, and I. Kallfass, “Impairments of atmospheric attenuation on a wideband eband outdoor communication link, ” in 2021 51st European Microwave Conference (EuMC), pp. 990–993, 2022.

[7] F. Andre, J.-C. Racamier, R. Zimmermann, Q. Trung Le, V. Krozer, ´ G. Ulisse, D. F. G. Minenna, R. Letizia, and C. Paoloni, “Technology, assembly, and test of a w-band traveling wave tube for new 5g highcapacity networks, ” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 67, no. 7, pp. 2919–2924, 2020.

[8] C. Paoloni, D. Gamzina, R. Letizia, Y. Zheng, and N. C. L. Jr., “Millimeter wave traveling wave tubes for the 21st century, ” Journal of Electromagnetic Waves and Applications, vol. 35, no. 5, pp. 567–603, 2021.

[9] N. R. Robbins, D. R. Dibb, W. L. Menninger, X. Zhai, and D. E. Lewis, “Space qualified, 75-watt v-band helix twta, ” in IVEC 2012, pp. 349– 350, 2012.

[10] S. Liu, Q. Xie, Z. Chen, Y. Wu, Z. Zi, X. Wu, J. Cai, and J. Feng, “High linear power e-band traveling-wave tube for communication applications, ” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 68, no. 6, pp. 2984–2989, 2021.

[11] M. Mineo and C. Paoloni, “Double-corrugated rectangular waveguide slow-wave structure for terahertz vacuum devices, ” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 57, no. 11, pp. 3169–3175, 2010.

[12] D. Gamzina, H. Li, L. Himes, R. Barchfeld, B. Popovic, P. Pan, R. Letizia, M. Mineo, J. Feng, C. Paoloni, and N. C. Luhmann, “Nanoscale surface roughness effects on thz vacuum electron device performance, ” IEEE Transactions on Nanotechnology, vol. 15, no. 1, pp. 85–93, 2016.

[13] Z. Zi, S. Liu, Q. Xie, S. Li, J. Cai, and S. Zhao, “A 70w 81-86ghz eband cw travelling wave tube, ” in 2019 International Vacuum Electronics Conference (IVEC), pp. 1–2, 2019.

[14] R. Kowalczyk, A. Zubyk, C. Meadows, T. Schoemehl, R. True, M. Martin, M. Kirshner, and C. Armstrong, “High efficiency e-band mpm for communications applications, ” in 2016 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC), pp. 1–2, 2016.

[15] R.-J. Hwu, D. K. Kress, S. V. Judd, J. M. Krebs, and L. P. Sadwick, “81–86 ghz e-band 90 watts high power traveling wave tubes, ” in 2016 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC), pp. 1–2, 2016.

[16] C. Robertson, A. Cross, C. Gilmour, D. Dyson, P. G. Huggard, F. Cahill, M. Beardsley, R. Dionisio, and K. Ronald, “71-76 ghz folded waveguide twt for satellite communications, ” in 2019 International Vacuum Electronics Conference (IVEC), pp. 1–2, 2019.

[17] C. Paoloni, “Sub-thz wireless transport layer for ubiquitous high data rate, ” IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 5, pp. 102–107, 2021.

[18] “Cst studio suite (microwave studio),” 2018. http://www.cst.com

[19] M. Mineo and C. Paoloni, “Improved corrugation cross-sectional shape in terahertz double corrugated waveguide, ” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 59, no. 11, pp. 3116–3119, 2012.

[20] Basu, R., Gates, J., Narasimhan, P., Letizia, R. and Paoloni, C., 2022, August. E-band traveling wave tube for high data rate wireless links. In 2022 47th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz) (pp. 1-2). IEEE.

[21] R. Basu, J. M. Rao, R. Letizia, and C. Paoloni, “Low-cost electron gun for d-band traveling wave tubes, ” in 2021 22nd International Vacuum Electronics Conference (IVEC), pp. 1–2, 2021.

[22] D. Gamzina, L. G. Himes, R. Barchfeld, Y. Zheng, B. K. Popovic, C. Paoloni, E. Choi, and N. C. Luhmann, “Nano-cnc machining of subthz vacuum electron devices, ” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 63, no. 10, pp. 4067–4073, 2016.

بینش فناوری

Technlology Insight

شبکه‌های رادیویی:

انقلابی در حوزه xRAN

فناوری همراه
fanavari hamrah
فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم

بینش فناوری

فاطمه بهادری
کارشناسی ارشد
مهندسی برق-
مخابرات سیستم از
دانشگاه شهید بهشتی،
کارشناس مرکز تحقیق و
توسعه همراه اول

شبکه‌های رادیویی:
انقلابی در حوزه xRAN

با معرفی نسل پنجم (5G)، صنعت مخابرات دچار تحولات گسترده‌ای شده و برای نوآوری در نوع و نحوه ارائه سرویس از سمت اپراتورها به کسب و کارها و مصرف کنندگان نهایی، معماری شبکه نیازمند ایجاد تغییرات و تکامل است. با این حال، اصول معماری شبکه از قرن گذشته تکاملات چندانی نداشته است. امروزه، ۸۰ تا ۹۰ درصد اپراتورهای مخابراتی هنوز برای اجرای سیستم‌های شبکه دسترسی رادیویی (RAN) به روش‌های سنتی متکی هستند. البته با توجه به بهبود قابل توجهی که بهره‌گیری از نوآوری‌های اخیر مدل‌های RAN در کارآیی عملکرد ممکن می‌کنند، شاهد تغییر روند فعلی و سوق اپراتورها به بهره‌گیری از فناوری‌های جدید در RAN هستیم. این مدل‌ها به طور بالقوه می‌توانند به نوآوری و کاهش هزینه‌ها کمک کنند که این موضوع در زمانی که همه شرکت‌های مخابراتی با مشکلات اقتصادی قوی مواجه هستند، بسیار حائز اهمیت می‌شود. با این حال، سرعت و مقیاس دقیق انقلاب RAN نامشخص است و مواردی مانند هزینه‌های انتقال، میزان بهبود عملکرد، میزان تغییرات و نیازهای تخصصی باید پاسخ داده شوند.

برای همگام ماندن با این محیط پویا، نکته حائز اهمیت این است که بازیگران اکوسیستم در خصوص نحوه و زمان اتخاذ فناوری‌های نوظهور استراتژی مناسبی را برگزینند. در این راستا، در این مقاله به بررسی روندها و شاخص‌های کلیدی بازار RAN با بهره‌گیری از گزارش موسسه مشاوره‌ای مکنزی که خروجی نظرسنجی و دریافت نظرات بیش از ۵۰ مدیرعامل در صنعت مخابرات است می‌پردازیم.

ظهور xRANها

سیستم‌های RAN بخشی اساسی از معماری شبکه‌های مخابراتی بوده و نقش مهمی در ارائه خدمات مخابرات سیار ایفا می‌کنند. به بیان ساده، RAN یک سایت متشکل از یک برج، تجهیزات الکترونیکی، آنتن‌ها و زیرساخت‌های غیرفعال پشتیبانی مانند تهویه مطبوع، حصارکشی و کابل‌کشی است. سایت‌ها برای فراهم نمودن پوشش مخابراتی، با یکدیگر و با backhaul و هسته شبکه که اطلاعات کاربر نهایی و پیوندها به شبکه‌های خارجی را مدیریت می‌کند، مرتبط هستند.

پیشرفت‌ها و فناوری‌های نوظهور در این بخش از شبکه موجب ظهور چند رویکرد جدید برای RAN شده است که می‌توان آن‌ها را به طور گسترده به عنوان xRAN توصیف کرد. با رویکرد xRAN در کاهش نیازمندی‌های دارایی‌های فیزیکی از یک سو و با ساده‌سازی و استانداردسازی پیاده‌سازی از سوی دیگر، انتظار می‌رود که xRAN هزینه‌های سرمایه‌گذاری (capex) و هزینه‌های عملیاتی (opex) را کاهش دهد، تنوع فروشنده را افزایش دهد و رقابت میان فروشندگان را تحریک کند.

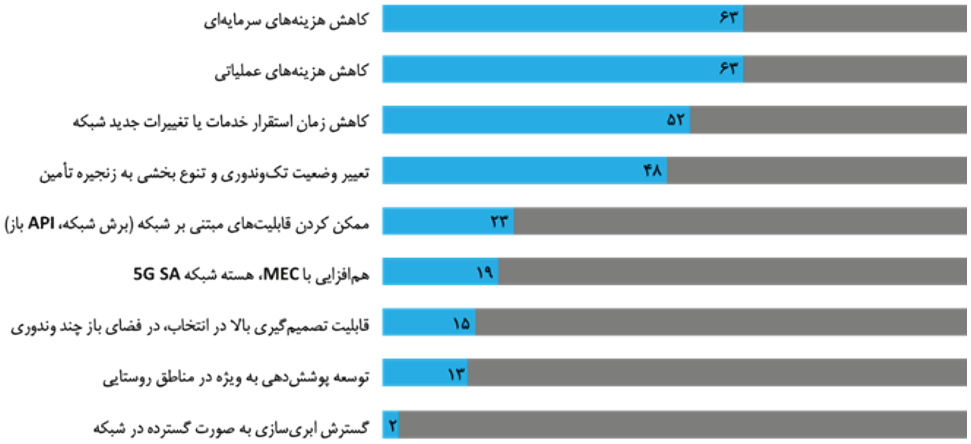
مدل‌های معرفی شده در xRAN در سه دسته کلی تقسیم می‌شوند، RAN متمرکز (CRAN)، RAN باز (ORAN) و RAN مجازی (VRAN). که هر کدام از این معماری‌ها مزایا، چالش‌ها و محرک‌های

متفاوتی دارند:
در CRAN، هدف اصلی بهبود کارآیی با استفاده از «تجمیع منابع» است. تحت این معماری، صدها سایت تلفن همراه می‌توانند بخش‌هایی از تجهیزات را در یک مکان به اشتراک بگذارند و دیگر هر سایت به تجهیزات خاص خود نیاز نخواهد داشت.
ORAN باز بودن مورد نیاز برای توسعه رابط‌های جدید و استاندارد بین اجزای شبکه RAN را امکان پذیر می‌کند. بدین ترتیب، ORAN با تسهیل محیط‌های چند فروشنده‌ای، موجب افزایش رقابت و نوآوری می‌شود. در این زمینه، برنامه‌های کلان صنعتی مانند O-RAN Alliance[1] بازیگران صنعت را گرد هم می‌آورد تا مسائل استانداردسازی را نیز پیش برند. Open RAN با حذف قفل فروشنده به اپراتور اجازه می‌دهد تا رقابت و نوآوری در صنعت را افزایش دهد. این رقابت بالاتر می‌تواند به کاهش قیمت تجهیزات، بهبود عملکرد شبکه و افزایش انعطاف‌پذیری برای اپراتورها جهت سفارشی کردن شبکه‌های خود براساس نیازمندی‌های خود منجر شود.
VRAN از مجازی‌سازی پشتیبانی می‌کند و با بهره‌گیری از مفاهیم ابری به جدا کردن سخت‌افزار شبکه از نرم‌افزار منجر شده و در نتیجه آن افزایش مقیاس‌پذیری و چابکی شبکه را نتیجه می‌دهد.
هر یک از این مدل‌ها شامل رویکرد هزینه/عملکرد متفاوتی هستند. البته در حالی که رویکرد و ویژگی‌ها متمایز است، همپوشانی‌ها و هم‌افزایی بین این سه مدل به اپراتورها اجازه می‌دهد تا هنگام پیاده‌سازی و مقیاس‌بندی استقرار، رویکرد ترکیبی را اتخاذ کنند. با توجه به ملاحظات متعدد درگیر، استقرار موثر xRAN مستلزم درک عمیق فناوری، هزینه و استراتژی است.

۱- O-RAN Alliance در سال ۲۰۱۸ توسط AT&T، China Mobile، NTT DOCOMO، Deutsche Telekom و Orange تأسیس شده است و در حال حاضر دارای مشارکت بیش از ۲۰ اپراتور جهانی موبایل و ۲۰۰ شرکت (فروشندگان، مراکز تحقیقات و موسسات) که در صنعت شبکه دسترسی رادیویی فعالیت دارند، است. شرکت‌های زیادی در توسعه فناوری Open RAN دخیل هستند. به عنوان مثال، Airtel با همکاری با شرکت‌هایی مانند Mavenir، Qualcomm، Intel، Altiostar و Red Hat در هند پیشرو در ابتکار O-RAN است. اپراتورهای اتحادیه اروپا نیز از جمله Vodafone، Orange، Telefónica، Telecom Italia و Deutsche Telekom در پروژه‌های نمایش Open RAN شرکت می‌کنند.

انتظار برای منحنی S: مزایا، محرک‌ها و محدودیت‌ها

برای به دست آوردن درک عمیق در خصوص مسیر بازار xRAN، موسسه مکنزی طی یک نظرسنجی گسترده با ۵۰ مدیر مخابراتی از اپراتورهای معتبر در سراسر جهان با تمرکز بر انتظارات از مزایا و چالش‌های بالقوه به‌کارگیری xRAN و همچنین آمادگی برای اتخاذ مدل‌های VRAN، CRAN و ORAN مصاحبه کرده و نتایجی منتشر کرده است که نشان می‌دهند اکثر اپراتورها در جهان، صرفه‌جویی در



شکل ۱- مزایای بهره‌گیری از xRAN، نتایج نظرسنجی از ۵۲ مدیر عامل در صنعت مخابرات (اعداد به درصد هستند) [۱]

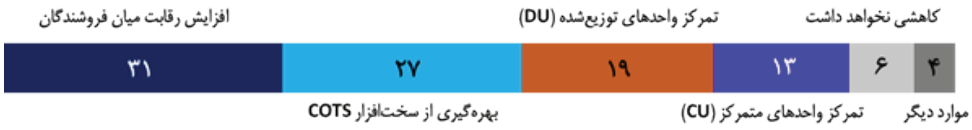
هزینه، استقرار سریع‌تر خدمات و تنوع فروشنده را به عنوان مزایای بالقوه کلیدی در پذیرش xRAN می‌دانند (شکل ۱).
علاوه بر این، مدیـــران صنعت مخابرات توافـــق دارند که موجی از پذیرش xRAN در افق پیش رو اســـت. اکثریـــت قابل توجهی نیز می‌گویند که آن‌ها مزایایی راهبردی از پذیرش اولیه xRAN دیده‌اند.
تعدادی از این مزایا شامل موارد زیر می‌شود:

- تحریک رقابت میان فروشندگان اصلی
- تخریب ساختار سنتی تعامل با فروشندگان
- پیشتازی در ساخت xRAN
- شـــناخته شـــدن به عنوان بازیگران نوآور از دیـــد صنعت و سرمایه‌گذاران

با این وجود، حدود ۴۰ درصد از اپراتورهـــا می‌گویند که طرح‌ها و پروژه‌های استقرار و بهره‌برداری از xRAN را تا زمانی که اپراتورهای پیشرو ســـطح یک اســـتقرار کامل xRAN را اجرا کنند، به تعویق می‌اندازنـــد و ۱۵ درصد دیگر نیز منتظر خواهند ماند تا «بیشـــتر صنعت» به طور کامل این فناوری را به کار گیرد. در حالی که تقریباً یک ســـوم اپراتورها گفته‌اند قصد ندارند رهبری خود را در xRAN از دیگران بگیرند، بازیکنان برتر مخابراتی کـــه پذیرش را افزایش می‌دهند به وضوح می‌توانند یک عامل کلیدی در ترغیب دیگران به دنبال کردن این روند باشند.

کاهش هزینه‌ها در شبکه

اکثر اپراتورها معتقدند که xRAN در نهایت هزینه‌های کمتری را به همراه خواهد داشـــت - ۷۰ درصد کاهش سرمایه را پیش‌بینی می‌کنند در حالی که ۶۰ درصد انتظار دارند opex پایین‌تری ببینند (شکل ۲). با این حال، در کوتاه‌مدت، دو سوم اپراتورهای مورد بررسی افزایش سرمایه‌گذاری را پیش‌بینی می‌کنند، در حالی که یک سوم انتظار دارند opex افزایش یابد.
در همین حال، تحلیل‌ها نشان می‌دهند که استفاده از xRAN موجب کاهش ۱۰ درصدی تا افزایش ۱۰ درصدی هزینه‌ها در اپراتورها شده است. این واریانس منعکس کننده زمینه و موقعیت یک اپراتور خاص، انواع مدل‌های مستقر شده و مقیاس پیاده‌سازی هستند. استقرارهای



شکل ۲- محرک‌های کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای بالقوه از استقرار xRAN، نتایج نظرسنجی از ۵۲ مدیر عامل در صنعت مخابرات (اعداد به درصد هستند) [۱]

هدفمند و گسسته احتمالاً صرفه جویی بیشتری نسبت به ابتکارات در مقیاس بزرگ با هدف تبدیل معماری شبکه به طور یکنواخت در یک ردپای کامل به همراه خواهد داشت. گفته می شود، صرفه‌جویی و کاهش هزینه‌ها با بلوغ یک فناوری افزایش می‌یابد.

با نگاهی دقیق به سه مدل خاص xRAN، شاهد واگرایی از اثرات و محرک‌های هزینه کوتاه‌مدت هستیم:

CRAN: CRAN بزرگترین نتیجه را در صرفه‌جویی در هزینه‌ها دارد و به طور بالقوه هزینه کل مالکیت[2] RAN را ۵ تا ۷ درصد کاهش می‌دهد. به طور خاص، تمرکز می‌تواند هزینه‌های انرژی را ۵ تا ۱۰ درصد، هزینه‌های اجاره را تا ۱۵ درصد، هزینه‌های عملیات و نگهداری را ۵ تا ۱۰ درصد، و هزینه‌های تجهیزات RAN را ۵ تا ۸ درصد کاهش دهد. نتایج واقعی به‌دست‌آمده تا حد زیادی به وضعیت هر ارائه‌دهنده بستگی دارد، زیرا میزان هزینه‌ای که با استفاده از CRAN صرفه‌جویی شده است می‌تواند به راحتی با سرمایه‌گذاری‌های مورد نیاز در فیبر و تجهیزات انتقال جبران شود. به عنوان مثال، اپراتورهایی که به شدت به شرکت‌های برج (TowerCos) متکی هستند، ممکن است به دلیل تعهدات اجاره بلندمدت، تأثیر هزینه کمی از CRAN را تجربه کنند.

محرک‌های اصلی افزایش هزینه برای اجرای CRAN در حال حاضر، ارتقاء شبکه انتقال و backhaul برای فعال کردن معماری‌های CRAN است که بسته به سطح فعلی فیبراسیون شبکه، بسته به اپراتور بسیار متفاوت است. هزینه‌های انتقال ممکن است منجر به افزایش سرمایه‌گذاری در کوتاه مدت شود. با این حال، کاهش دارایی‌های فیزیکی از طریق متمرکز کردن شبکه به طور ذاتی منجر به کاهش سرمایه‌گذاری و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

ORAN: انتظار می‌رود ORAN رقابت صنعتی را تحریک کند، اپراتورها را تشویق به نوآوری کند، وضعیت تک‌وندوری را را تضعیف کند و از بهترین راه‌حل‌ها حمایت کند. این روندها بسته به موقعیت بازار و تنظیم فعلی فروشندگان، اپراتورها را به درجات مختلفی تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این حال، محیط‌های مجازی و چند فروشنده‌ای می‌توانند هزینه‌های یکپارچه‌سازی سیستم‌های ORAN را در کوتاه‌مدت ۱۰ تا ۲۰ درصد، بسته به نقطه شروع و قابلیت‌های اپراتور، افزایش دهند.

VRAN: در حال حاضر، هزینه VRAN به دلیل هزینه‌های بالاتر تجهیزات و انرژی، و همچنین تاخیر در عملکرد سخت‌افزارهای تجاری (COTS) ممکن است ۳ تا ۵ درصد بیشتر از RAN سنتی باشد و مناطق ترافیکی متراکم می‌توانند چالش‌های اجرایی خاصی ایجاد کنند. با این حال، با نگاهی به آینده، انتظار داریم که سخت‌افزار COTS شکاف عملکرد را در برابر راه‌حل‌های فعلی ببندد، زیرا بازیکنان نیمه‌رسانا از چرخه‌های نوآوری سریع و دانش داخلی به‌دست‌آمده از طریق همکاری با OEMهای سازنده تجهیزات فعلی در توسعه چیپ‌ست استفاده می‌کنند. به‌علاوه، مجازی‌سازی به‌عنوان یک عامل کلیدی ORAN، مزیت استراتژیک تقویت رقابت صنعتی و مزایای مرتبط با آن را ارائه می‌کند. اینکه چه زمانی این انتظارات محقق خواهد شد، یک سوال باز باقی می‌ماند.

xRAN و تحول در چشم‌انداز وندوری اپراتورها

تقریباً ۵۰ درصد از اپراتورها انتظار دارند VRAN و ORAN تنوع اکوسیستم وندورها را به‌طور گسترده پیش ببرد. بسیاری از وندورها در حال حاضر تلاش می‌کنند تا با هدف قرار دادن راه‌حل‌های خاص از فرصت ORAN در سمت نرم‌افزار، از ارکستراسیون باز تا نرم افزار واحد متمرکز (CU)/واحد توزیع شده (DU)، بهره ببرند. همچنین مجموعه‌ای در حال ظهور از فروشندگان فناوری و

2- total cost of ownership (TCO)

یکپارچه‌کننده‌های سیستم دیده می‌شوند که راه‌حل‌هایی را برای پیاده‌سازی ORAN و همچنین راه‌حل‌های سفارشی برای یک اپراتور خاص ارائه می‌کنند.

با هدایت استانداردسازی و کاهش حالت تک‌فروشنده‌ای، تکامل xRAN احتمالاً باعث ظهور فروشندگان تخصصی می‌شود که نقش خاصی در یک محیط چند فروشنده ایفا می‌کنند. ۲۵ درصد از اپراتورهای مورد بررسی معتقدند VRAN تخصص فروشنده را تسریع می‌کند، در حالی که ۴۰ درصد فکر می‌کنند ORAN چنین تأثیری را خواهد داشت. در حالی که به طور بالقوه امکان بهترین راه حل‌ها، رقابت و نوآوری فراهم می‌شود، تخصص می‌تواند منجر به افزایش فروشندگانی شود که بر اجزای شبکه جداگانه تمرکز می‌کنند. این موضوع به نوبه خود می‌تواند چالش‌های مهمی را در مورد مدیریت چند بازیکن در یک محیط پیچیده ایجاد کند.

برای پرداختن به چالش یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، برون‌سپاری‌ها و ارائه‌دهندگان خدمات را می‌بینیم که وارد فضای مدیریت چند فروشنده xRAN می‌شوند (به عنوان مثال، Tech Mahindra). راه‌حل دیگر ادغام چندین ارائه دهنده در یک پیشنهاد تلفیقی و انتها به انتها است. برای مثال، Rakuten، یک راه‌حل کلید در دست xRAN را بر اساس استقرار در مقیاس ملی خود در ژاپن توسعه داده است. Docomo همچنین در حال توسعه راه‌حل ORAN Ecosystem خود (OREC) برای ترویج پذیرش Open RAN است. سوال این است که آیا سایر اپراتورها از تخصص یکپارچه سازی سیستم‌های موجود استفاده خواهند کرد یا روی قابلیت‌های جدید سرمایه‌گذاری خواهند کرد تا رویکرد مشابهی را دنبال کنند.

xRAN و تحول در خطوط عملیات و فناوری اپراتورها

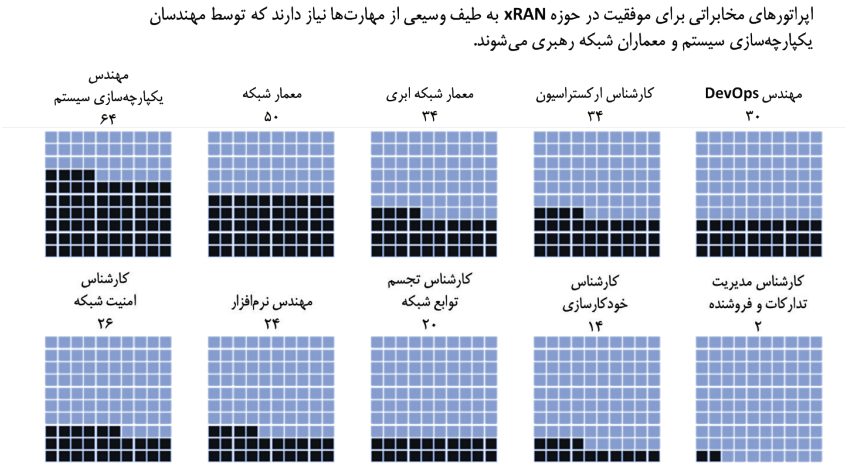
اپراتورها نسبت به تأثیر فناوری xRAN خوش‌بین هستند و تقریباً سه چهارم معتقدند که باز بودن و مجازی‌سازی موجب افزایش نوآوری خواهد شد. به طور خاص، ۵۰ تا ۷۰ درصد اپراتورها انتظار دارند xRAN استقرار و پذیرش موارد استفاده از 5G در اینترنت اشیاء، کاربردهای نیازمند تاخیر بسیار پایین یا پهنای باند موبایل پیشرفته در مقیاس را تسهیل کند. در همین حال، ۵ تا ۱۵ درصد از اپراتورها معتقدند xRAN بر این روند تأثیر منفی خواهد گذاشت.

از نظر موانع در راه استقرار xRAN، ۶۲ درصد از اپراتورها نگرانی‌های خود را در مورد عملکرد xRAN نسبت به RAN سنتی ابراز می‌کنند. در حالی که چشم انداز در طول زمان بهبود می‌یابد، عملکرد در دراز مدت نگرانی اصلی برای شکاکان xRAN است. در همین راستا، قابلیت اطمینان xRAN نظرات متفاوتی دریافت می‌کند، تقریباً نیمی از اپراتورها ابراز نگرانی می‌کنند که محیط‌های نابالغ و چند فروشنده‌ای ممکن است منجر به شکاف در قابلیت اطمینان شوند. پس از دهه‌ها اجرای محیط‌های RAN تک‌وندوری، صنعت ممکن است به مدتی زمان نیاز داشته باشد تا به قابلیت اطمینان RAN چند فروشنده‌ای اعتماد کند.

تکامل xRAN نشان دهنده یک واقعیت جدید است که منجر به تغییر قابلیت‌های اپراتور و مدل‌های عملیاتی آن‌ها خواهد شد. با این حال، امروزه تنها حدود ۲۰ درصد از اپراتورها بر این باورند که سازمان آن‌ها برای اجرای یک محیط xRAN مجهز است.

برای اکثریت قریب به اتفاق، شکاف‌های قابل توجهی باید برطرف شود. چشمگیرترین آن فقدان تجربه و قابلیت‌های مرتبط مورد نیاز برای مدیریت xRAN و به طور خاص، نظارت بر چندین فروشنده است. حدود یک چهارم اپراتورهای مورد بررسی می‌گویند امروز تنها یک فروشنده در شبکه‌های خود دارند و تقریباً به همین نسبت در آخرین چرخه سرمایه‌گذاری، مبادله فروشنده عمده‌ای انجام نداده‌اند.

با تغییرات قابل توجهی که با پذیرش xRAN در زمینه‌های عملیات



شکل ۳- قابلیت‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی و نگه‌داری xRAN، نتایج نظرسنجی از ۵۲ مدیر عامل در صنعت مخابرات (اعداد به درصد هستند) [۱]

و نگهداری، برنامه‌ریزی شبکه، بهینه‌سازی و استقرار اتفاق می‌افتد اپراتورها انتظار دارند بخش مهندسی شبکه در ساختار سازمانی‌شان بیشترین تأثیر را از پذیرش xRAN تجربه کنند.

از نظر قابلیت‌های مورد نیاز در محیط جدید، مهندسان یکپارچه سازی سیستم و معماران شبکه حیاتی ترین نیاز هستند (شکل ۳). اپراتورهایی که در حال حاضر تنها یک یا دو فروشنده را مدیریت می‌کنند، نیازهای یکپارچه سازی سیستم ها را به ویژه ضروری می بینند، در حالی که اپراتورهایی که سه یا چند فروشنده RAN را مدیریت می‌کنند، معماران شبکه را در اولویت قرار می دهند.

برای از بین بردن شکاف یکپارچه سازی سیستم‌ها، بسیاری از اپراتورها قصد دارند به برون سپاری تکیه کنند، همانطور که در دهه گذشته برای رسیدگی به عرضه و عملیات RAN انجام داده‌اند. این ارائه دهندگان شامل فروشندگان جدید OEM، ORANهای فعلی و یکپارچه سازهای سیستم‌های شخص ثالث خواهند بود.

xRAN همچنین تغییرات قابل توجهی را در مدل‌های عملیاتی ایجاد می کند، به طوری که دو سوم اپراتورها می گویند که تحولی کل‌نگر را متصور هستند. در حالی که شرکت‌های مخابراتی به طور سنتی برای معرفی متدولوژی‌های چابک به پیاده‌سازی شبکه تلاش می‌کنند، پیرامون قابلیت‌های جدید xRAN، که توسط محیط‌های «نرم‌افزاری» (VRAN) و چند فروشنده (ORAN) به‌طور فزاینده‌ای هدایت می‌شوند، xRAN ممکن است گام‌هایی را در این جهت با ایجاد چند کارکردی تسهیل کند.

محرک‌ها و سناریوهای بالقوه xRAN

در حالی که سطح علاقه بالا است و صنعت مشتاق است از مزایای xRAN استفاده کند، سؤالات کلیدی تمایل و توانایی اپراتورها برای پذیرش xRAN در مقیاس را احاطه می کند. در نتیجه، استقرار اولیه xRAN احتمالاً فرصت‌ها و شرایط خاص را هدف قرار می‌دهد.

با این حال، چندین سناریو صنعت بالقوه می‌تواند پذیرش xRAN را در مقیاس بسیار گسترده‌تری هدایت کند. این موارد شامل موارد زیر است:

فروشندگان ORAN در چند ارائه دهنده راه حل یکپارچه و انتها به انتها ادغام شده و جایگزینی رقابتی برای OEMهای موجود ارائه می‌دهند.

این صنعت استانداردها را دوچندان می کند و یکپارچه سازان سیستم را تشویق می کند تا نقش فعال تری در ارائه یک لایه میانی بین اپراتورها و بازیگران ORAN داشته باشند.

اپراتورهای پیشرو قابلیت‌های یکپارچه‌سازی سیستم‌های داخلی و آزمایشگاه‌های xRAN را توسعه می‌دهند. به عنوان مثال، راه‌حل‌های خدماتی را به سایر بازیکنان صادر می کنند، همانطور که در حال حاضر توسط Rakuten و docomo انجام می‌شود.

از محرک‌های اصلی استقرار xRAN از نظر اپراتورها که می‌تواند اجرای xRAN را تسریع کند، پیاده‌سازی فناوری‌های جدید است که می‌تواند شامل راه‌اندازی شبکه‌های سلول کوچک، 5G-SA (5G مستقل) یا 6G باشد. چنین ابتکاراتی کمتر به تجهیزات قدیمی متکی هستند و بنابراین بیشتر به روی تنوع فروشنده باز هستند. با کاهش سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی مورد نیاز برای طرح‌های xRAN، این استقرارها ممکن است شتابی برای پذیرش ایجاد کنند. همکاری و استانداردسازی به ویژه برای ORAN و VRAN محرک‌های دیگر پذیرش xRAN هستند. اپراتورها امروزه در حال بررسی ابتکاراتی مانند توافقنامه‌های دوجانبه و آزمایش راه حل مشترک، و همچنین تمرکز بر استانداردسازی رابط به عنوان یک جزء ضروری در استقرار مقیاس‌پذیر و چند فروشنده هستند.

اکثر اپراتورهای مخابراتی امروزه همچنان به معماری شبکه‌های سنتی متکی هستند، اما پیشرفت‌های مداوم در زمینه ابر، متمرکز سازی و استانداردسازی فرصت‌های جدیدی را برای استفاده از مدل‌های نوآورانه xRAN ایجاد می کند. علاقه صنعت به این رویکردها در حال افزایش است و بسیاری از بازیگران در حال بررسی گزینه‌ها و پتانسیل‌های خود برای رفتن به استراتژی‌های بازار هستند. علاوه بر این، برخی از اپراتورها به دنبال پذیرش زودهنگام هستند و از این طریق زمینه را برای تازه‌واردان فراهم می کنند. با این حال، موانعی مانند هزینه‌های انتقال و چالش‌های مدیریتی بالقوه مرتبط با نظارت بر محیط‌های چند فروشنده متفاوت وجود دارد. با این وجود، دیدگاه ما این است که حرکت به رشد خود ادامه خواهد داد و توده مهمی از بازیگران صنعت به این نتیجه خواهند رسید که مزایای پذیرش xRAN بر خطرات آن بیشتر است و باعث ایجاد مسیر منحنی S برای

پذیرش سریع می‌شود.

نتیجه‌گیری

در دهه اخیر، تکامل فناوری شبکه دسترسی رادیویی (RAN) و ظهور روند استفاده از مجازی‌سازی، میکروسرویس‌ها و فناوری‌های مبتنی بر استفاده از رابط‌های باز، منجر به معرفی مفهوم xRAN (فناوری‌های CRAN، VRAN و Open RAN) در صنعت مخابرات شده است. این مفهوم در اوایل دهه ۲۰۱۰ به عنوان پاسخی به ماهیت انحصاری راه‌حل‌های سنتی RAN پدید آمد. ایده این بود که یک رابط باز بین BBU و RRH ایجاد شود، که به اپراتورها اجازه می‌دهد سخت‌افزار و نرم‌افزار را از شرکت‌های مختلف با هم ترکیب کنند. این موضوع باعث ایجاد رقابت بین شرکت‌ها، افزایش نوآوری و کاهش هزینه‌ها می‌شود. در گذشته، به دلیل طرز طراحی RAN ها، پیدا کردن یک راه حل RAN که عناصر مختلف را از شرکت‌های مختلف بگیرد بسیار دشوار بود. تجزیه cloudification، RAN و معرفی open RAN یک فلسفه منبع باز را حمایت می کند و این قدرت را به ارائه‌دهندگان خدمات می‌دهد که عناصر مختلف (DU، RU و CU) را از شرکت‌های مختلف به نحوی که به نیاز های منحصر به فرد خود منطبق باشند، انتخاب کنند. از طرفی، با توجه به افزایش پیچیدگی در شبکه‌های نسل جدید و افزایش مقیاس RANها، این نوع انعطاف پذیری در ارائه راه حل در شبکه های مخابرات بی‌سیم امری ضروری به نظر می‌رسد. از این رو، در این مقاله به بررسی روند پذیرش xRANها توسط اپراتورها در سراسر جهان و چالش‌هایی که در این مسیر با آن مواجه هستند پرداخته‌ایم.

منابع:

[1] Telecom networks: Tracking the coming xRAN revolution, McKinsey & Company, February 2023.

[2]What Are the Open RAN Benefits and Challenges?, SdxCentral, https://www.sdxcentral.com/5g/ran/definitions/what-are-open-ran-benefits-challenges/

مزایا

افزایش انعطاف‌پذیری
اپراتورها می‌توانند شبکه‌های خود را بر اساس نیازها و ترجیحات خود سفارشی کنند.

بهبود یکپارچگی سیستم
Open RAN می‌تواند همسازگاری و همکاری بین اجزای مختلف را فعال کند.

کاهش هزینه‌های تجهیزات
رقابت بیشتر می‌تواند منجر به کاهش قیمت‌ها شود.

رقابت بیشتر در بازار و انتخاب مشتری
اپراتورها می‌توانند اجزای مختلف از فروشندگان متفاوت را با هم ترکیب کنند.

گسترش پوشش‌دهی
Open RAN می‌تواند در استقرار شبکه‌ها در مناطق روستایی و دور افتاده کمک کند.

بهبود مدیریت انرژی
Open RAN می‌تواند مصرف انرژی شبکه‌ها را بهینه کند.

بهبود عملکرد و پوشش شبکه
Open RAN می‌تواند از فناوری‌ها و معماری‌های مختلف و به روز استفاده کند.

OPEN RAN

چالش‌ها

همسازگاری عناصر مختلف از فروشندگان مختلف

دستیابی به پذیرش گسترده

خطرات امنیتی

مشکلات یکپارچگی سیستم

مشکلات پشتیبانی فنی

تولید سطوح عملکرد مشابه با شبکه‌های فروشنده تکی

استاندارد سازی

آمادگی عملیاتی

هزینه‌ها

ابزار فناوری
Technology Tools

معرفی Vienna 5G LL

شبیه‌ساز پارامترهای لایه فیزیکی 5G


علیرضا صوفی نژاد
دانشجوی دکتری مهندسی برق-مخابرات سیستم، دانشگاه شاهد، کارشناس مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

اندازه‌گیری، تحلیل و شبیه‌سازی پارامترهای مرتبط با لینک مخابراتی، از ابزارهای پایه‌ای در توسعه سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم به حساب می‌آیند. این اندازه‌گیری‌ها از آن‌جا که مبنایی برای مدل‌سازی کانال هستند و معیار عملکرد نهایی معماری فرستنده گیرنده را فراهم می‌کنند، پیش‌نیاز تحلیل و شبیه‌سازی هستند. با این حال اینگونه اندازه‌گیری‌ها بسیار پرهزینه و زمان‌بر هستند و سازگاری آن‌ها با سناریوهای ارتباطی خاص دشوار است. مزیت بزرگ آنالیزهای تحلیلی پتانسیل آن‌ها برای آشکار کردن روابط بین پارامترهای کلیدی یک سیستم است. با این حال، این آنالیزها اغلب مستلزم به‌کارگیری مفروضات و ساده‌سازی‌های محدودکننده هستند که ارزش نتایج تحلیلی را در شرایط واقعی محدود می‌کند. روش شبیه‌سازی سطح لینک در بررسی سیستم‌های بسیار پیچیده، مانند فرستنده‌ها و گیرنده‌های بی‌سیم بسیار مورد توجه است. این شبیه‌سازی‌ها امکان ترکیب محدودیت‌های واقعی و عملی را فراهم می‌کنند و به ما کمک می‌کنند تا فاصله نتایج آنالیزهای تحلیلی با واقعیت را کمتر کنیم. تاکنون شبیه‌سازهای متنوعی جهت شبیه‌سازی سطح لینک 5G معرفی شده‌اند. از میان آن‌ها می‌توان به OpenAirInterface، ns-3، GTEC 5G LL و Vienna 5G LL اشاره کرد.

در این گزارش، جدیدترین عضو مجموعه شبیه‌سازهای ارتباطات سلولی وین (VCCS)، شبیه‌ساز سطح لینک (LL)[1] 5G وین معرفی شده و با تعدادی از شبیه‌سازهای موجود مقایسه شده است. این شبیه‌ساز در نرم‌افزار MATLAB با استفاده از روش‌های برنامه نویسی شیءگرا پیاده سازی شده و کد منبع آن تحت مجوز استفاده آکادمیک برای دانلود در دسترس است.

به لطف برنامه نویسی شیءگرا و ماژولار به‌روزرسانی این شبیه‌ساز بسیار ساده بوده و در آینده بخش‌های جدیدی به آن اضافه خواهد شد. گروه تحقیقاتی ارتباطات سیار مستقر در مؤسسه ارتباطات TU Wien سابقه طولانی و موفقی در توسعه و به اشتراک گذاری شبیه‌سازهای ارتباطات سلولی منطبق با استانداردهای متنوع دارد. به طور کلی این شبیه‌سازها قابلیت تکرارپذیری را در تحقیقات دانشگاهی و پروژه‌های تحقیق و توسعه در زمینه ارتباطات بی‌سیم افزایش می‌دهند. پیاده‌سازی شبیه‌سازهای LTE وین در سال ۲۰۰۹ آغاز شد، که منجر به سه شبیه‌ساز سازگار با استاندارد قابل اعتماد LTE شد. این سه شبیه‌ساز عبارتند از یک شبیه‌ساز سطح سیستم downlink و دو شبیه‌ساز سطح لینک، یکی برای uplink و دیگری برای downlink. نقشه راه تدوین شده برای 5G توسط 3GPP مبتنی بر LTE است، اما توسعه شبیه‌سازهای LTE به‌سمت 5G به‌دلیل عدم انعطاف‌پذیری پلتفرم شبیه‌سازی از نظر اجرا و عملکرد، امر ساده‌ای نیست. زیرا انتظار می‌رود که ارتباطات سیار در 5G از موارد کاربردی بسیار ناهمگن و همه‌کاره‌تر در مقایسه با 4G پشتیبانی کند، مواردی مانند پهنای باند موبایل پیشرفته (eMBB)، ارتباط نوع ماشین عظیم (mMTC) یا ارتباطات فوق‌العاده قابل اعتماد و با تأخیر کم (uRLLC).

علاوه بر این، مفاهیم جدیدی مانند شکل‌دهی پرتوی تمام‌بعدی/انبوه چندورودی چندخروجی (MIMO)، دسترسی چندگانه غیر متعامد[2]، و انتقال در باند موج میلی متری (mmWave) در 5G معرفی شده‌اند. لذا نیاز به بهبود مجموعه شبیه‌سازهای VCCS توسط TU Wien احساس می‌شود. در نتیجه این نیاز، این مؤسسه شبیه‌سازهای خود را گسترش داده و شبیه سازهایی منطبق با کاربردهای 5G ارائه نموده‌است.

شبیه‌ساز سطح لینک Vienna 5G بر روی لایه فیزیکی (PHY) سیستم ارتباطی تمرکز دارد. هدف این ابزار شبیه‌سازی تمام زنجیره فرستنده-گیرنده (کدگذاری کانال[3]، پردازش MIMO، مدولاسیون چندحامل[4]، تخمین کانال[5]، یکسان‌سازی[6]) است که از طیف وسیعی از پارامترهای شبیه‌سازی پشتیبانی می‌کند. در شبیه‌ساز سطح لینک کل زنجیره فرستنده، گیرنده و انتقال سیگنال از طریق یک کانال بی‌سیم برای هر نمونه سیگنال اجرا می‌شود و بنابراین سطح بسیار بالایی از جزئیات و دقت را ارائه می‌دهد. این شبیه‌ساز شامل تنظیمات پارامتری است که امکان سازگاری با استانداردهایی از جمله LTE و همچنین 5G را مهیا می‌سازد. علاوه بر این پارامترسازی امکان شبیه

1- Link Layer

2- Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)
3- Channel coding
4- OFDM modulation
5- Channel Estimation
6- Equlization

جدول ۱ – مقایسه‌ای میان شبیه‌سازهای سطح لینک موجود

Simulator	Language/ platform	Multi-link	Waveforms	Channel codes	Flexible numerology
GTEC 5G LL	MATLAB	No	OFDM, FBMC	-	No
ns-3	C++, Python	Yes	(PHY model)	(PHY model)	No
OpenAirInterface	C	Yes	OFDM	turbo	No
Vienna 5G LL	MATLAB	Yes	CP-OFDM, f-OFDM, FBMC, UFMC, WOLA	LDPC, turbo, polar, convolutional	Yes Up to 120 KHz

سازی هر سیستم بی‌سیم بر پایه تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) مانند IEEE 802 .11a/p، WiMAX و یا همانند آن را ایجاد می‌نماید. علاوه بر این، عملکرد همه کاره این شبیه‌ساز این فرصت را فراهم می‌کند تا فراتر از شبیه‌سازی‌های سازگار با استاندارد برویم. برای مثال، این ابزار شبیه‌سازی ترکیب‌های مختلف تنظیمات PHY و همچنین بررسی به‌کارگیری همزمان فناوری‌های مختلف در 5G را ممکن می‌سازد.

ویژگی‌ها و توانمندی‌ها

یکی از اولین بلوک‌های پردازشی در سیستم‌های مخابراتی بلوک channel coding است. این بلوک قابلیت‌هایی مانند تشخیص و اصلاح خطا را فراهم می‌آورد. 3GPP چهار روش کدگذاری کانال را برای کاربردهای 5G پیشنهاد داده است. این روش‌ها عبارتند از کدهای کانولوشنی[7]، توربو[8]، LDPC[9]، و کدگذاری قطبی[10]. شبیه‌ساز سطح لینک وین از هر چهار روش ذکر شده پشتیبانی می‌کند. بر اساس مشخصات فنی اعلام شده توسط 3GPP برای تجهیزات 5G NR[11] تولید کنندگان این تجهیزات در انتخاب شکل موج‌های[12] مبتنی بر OFDM برای محصولات خود محدودیتی ندارند. البته بر اساس این مشخصات فنی CP-OFDM[13] به‌عنوان پایه اصلی Wave form های استفاده شده در 5G معرفی شده‌است. شبیه‌ساز مورد بحث ما از Wave formهایی مانند CP-OFDM، WOLA[17]، UFMC[16]، f-OFDM[15] و FBMC[14] پشتیبانی می‌کند. علاوه بر موارد بالا، این شبیه‌ساز شامل پیکربندی‌های MIMO گوناگونی است. تعداد آنتن‌های فرستنده

7- Convolutional coding
8- Torbu coding
9- Low density parity check

10- Polar coding
11- New Radio
12- Wave form
13- Cyclic Prefix Orthogonal frequency division multiplexing
14- Filter banked multicarrier
15- Filtered OFDM
16- Universal filtered multicarrier
17- Weighted overlap and add

و گیرنده بـــرای هر نود از شـــبکه قابل تنظیم اســـت و می‌توان هر مقدار دلخواهـــی را به آن‌ها اختصـــاص داد. حالت‌هـــای انتقال[18] متنوعـــی ماننـــد OLSM[19]، transmit diversity و CLSM[20] توسط این شبیه‌ساز ارائه‌شده اســـت. همچنین یک حالت انتقال سفارشـــی نیز در نظر گرفته شـــده اســـت که آزادانه قابل تنظیم اســـت. این شبیه‌ساز از یک اســـتراتژی دسترســـی چندگانه غیر متعامـــد در بخش downlink اســـتفاده می‌کنـــد. همچنین، این شبیه‌ســـاز از مدل‌های محو شـــوندگی فرکانس گزین کانال مانند Pedestrian A، Pedestrian B، Vehicular A، TDL-A، TDL-B، TDL-C، Extended Pedestrian A و Extended Vehicular A اســـتفاده کرده اســـت. در جدول ۱ مقایســـه‌ای بین ویژگی‌های شبیه‌سازهای مختلف ارائه شده است.

محیط کاربری شبیه‌ساز

شکل ۱ محیط کاربری این شبیه‌ســـاز را نمایش می‌دهد، که جهت پیاده سازی سناریوهای ارتباطی متفاوت استفاده می‌شود. در شکل ۱-۱ یک سناریو ارتباط بین دو ایستگاه پایه (BS1 و BS2) و دو کاربر (UE1 و UE2) شبیه‌سازی شده‌است. بعد از مشخص شدن کاربران و ایستگاه‌های پایه می‌توان کاربران اصلی هر یک از ایستگاه‌های پایه را مشخص نمود. در این سناریو می‌توان سطح تداخل بین لینک‌ها را نیز به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در کیفیت آن‌ها لحاظ کرد. همچنین مطابق شکل ۱-۲ می‌توان پارامترهای کانال انتشار را در سناریو ارتباطی مشخص نمود. این قسمت قابلیت شبیه‌سازی کانال‌های استاندارد و کانال‌های شخصی ســـازی شـــده را دارد. گزینه‌های شبیه‌سازی سناریوهای متفاوت در این شبیه‌ساز به‌اختصار به شرح زیر است.

- شبیه‌سازی لینک‌های متفاوت و تأثیر سیگنال‌های تداخل بر آن‌ها
- شبیه‌سازی ســـناریوهای Uplink و Downlink در حالت‌های FDD و TDD مطابق شکل ۱-۳
- شبیه‌سازی سناریوهای MIMO
- شبیه‌سازی پارامترهای مدولاسیون‌های متفاوت
- شبیه‌سازی پارامترهای کدگذاری کانال
- جانمایی کاربر و شبیه‌ســـازی زاویه ورود و زاویه خروج مطابق شکل ۱-۴
- شبیه‌سازی پارامترهای کانال طبق شکل ۱-۲

18- Transmission mode.
19- Open loop spatial multiplexing
20- Closed loop spatial multiplexing

شکل ۱ محیط کاربری شبیه‌ساز جهت تولید سناریوهای متفاوت

نمایه‌ای از رویدادها و همایش‌های جهانی در حوزه شبکه‌های رادیویی

این گزارش به بررسی نمایه‌ای از همایش‌ها و رویدادهای حوزه شبکه‌های رادیویی می‌پردازد. در این رویدادها و نشست‌های علمی که به‌صورت سالانه برگزار می‌گردد، موضوعاتی مانند فناوری‌های نوین در شبکه‌های مخابراتی و رادیویی با تمرکز بر استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، استفاده از روش‌هایی نظیر شکل‌دهی پرتو[1]، مجازی‌سازی[2] شبکه‌های رادیویی، امواج میلی‌متری، O-RAN[3] و ... با هدف بهبود عملکرد شبکه‌های 5G و فراتر از آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و نقش فناوری‌های جدید در شبکه‌های ارتباطی هوشمند و بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های رادیویی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین، چالش‌ها و راهکارهای موجود در حوزه مخابرات رادیویی در پیاده‌سازی راه‌کارهای جدید مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج این رویدادهای مخابراتی نشان می‌دهد که استفاده از راهبردها و نوآوری‌های جدید در این حوزه با تمرکز بر آنچه بیان گردید، موضوعات مورد تمرکز بازیگران بزرگ این عرصه در جهان بوده و نیاز است که در کشور نیز تمرکز ویژه‌ای به این موارد داشته باشیم.

1- Beamforming
2- Virtualization
3- Open radio access network

همایش جهانی مخابرات رادیویی (WRC[1])

همایش‌های جهانی مخابرات رادیویی (WRC) هر سه تا چهار سال یکبار برگزار می‌شود تا مقررات رادیویی، پیمان بین‌المللی حاکم بر استفاده از طیف فرکانسی و مدارهای ماهواره geostationary و non-geostationary بررسی و در صورت لزوم بازنگری گردد.

بازنگری‌ها براساس دستورکار مصوب توسط شورای ITU[2] انجام می‌شود، به‌طوریکه براساس توصیه‌ها و پیشنهادهای مورد تأیید توسط همایش‌های WRC قبلی صورت می‌گیرد. بازه کلی دستورکار همایش‌های WRC چهار تا شش سال قبل تعیین می‌شود و دستورکار نهایی توسط شورای ITU دو سال قبل از همایش و با موافقت اکثریت کشورهای عضو تعیین می‌گردد. طبق قوانین ITU، اختیارات WRC شامل موارد زیر می‌شود:

- بازنگری مقررات رادیویی و هرگونه تخصیص فرکانس مرتبط
- رسیدگی به موضوعات ارتباطات و شبکه‌های رادیویی در سراسر جهان
- ارائه دستورالعمل‌هایی به هیئت مقررات رادیویی و اداره ارتباطات رادیویی و بررسی فعالیت‌های آن‌ها
- تعیین سؤالات و موضوعات کلیدی برای مطالعه توسط مجمع ارتباطات رادیویی و گروه‌های مطالعاتی آن به منظور آمادگی برای همایش‌های آینده WRC.

همایش جهانی امسال، (WRC-23) از ۲۰ نوامبر تا ۱۵ دسامبر ۲۰۲۳ به نمایندگی از (TDRA[3]) در مرکز تجارت جهانی دبی در امارات متحده عربی برگزار می‌گردد و WRC-۲۳ مقامات دولتی ملی و نهادهای نظارتی مخابرات را با نمایندگان کاربران و ارائه‌دهندگان کلیدی ارتباطات رادیویی برای بحث‌های مهم در زمینه سیاست و مقررات فنی در سطح جهانی گرد هم می‌آورد.

لینک صفحه همایش:

https://www.itu.int/wrc-23/about/about-wrcs/

1- World Radiocommunication Conference
2- International Telecommunication Union

همایش CROWNCOM

EAI COMMUNITY THAT BUILDS YOUR CAREER
Collaborative research. Objective evaluation. Fair recognition.

همایش CROWNCOM با هدف ارائه دیدگاه‌ها و نتایج تحقیقاتی جدید حوزه شبکه‌های رادیویی شناختی، انجمن‌هایی را برای تبادل ایده‌ها، بحث در مورد راه‌حل‌ها و به اشتراک گذاشتن تجربیات بین محققان و کارشناسان دانشگاه، صنعت، استانداردها و سیاست‌ها فراهم می‌کند. حوزه اصلی کنفرانس CROWNCOM به رادیو و شبکه‌های فعال با هوش مصنوعی اختصاص یافته است. با ظهور پارادایم جدید 5G و تحولاتی که در آینده 6G و به بعد از آن پیش‌بینی می‌شود، شبکه‌های رادیوشناختی نقش گسترده‌تری در شبکه‌های ارتباطی ایفا خواهند کرد و در افزایش انعطاف‌پذیری شبکه‌های رادیویی نقش مهمی خواهند داشت. به همین دلیل، تحقیقات و پیشنهادات صنعتی برای ارائه هوشمندی در شبکه‌ها به طور گسترده‌ای افزایش یافته است، که معمولاً از طریق یادگیری ماشین و تجزیه و تحلیل داده‌های

3- Telecommunications and Digital Government Regulatory Authority

علی تراب‌زاده
دانشجوی دکتری مهندسی برق-مخابرات سیستم، دانشگاه سمنان
کارآموز مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

بزرگ صورت می‌گیرد. هدف CROWNCOM ارائه نتایج تحقیقات جدید است و در این زمینه تمام جنبه های تحقیقاتی مربوط به 5G و سیستم‌های فراتر از آن را که ممکن است از معرفی مکانیسم‌های شناختی بهره‌مند شوند شامل می گردد، همچنین الگوریتم‌های مخابرتی، پروتکل‌ها و فناوری‌هایی که توانایی به‌کارگیری مفهوم رادیوشناختی را دارند نیز در حوزه تحقیقاتی این همایش قرار گرفته می‌شود.

CROWNCOM هر سال توسط دانشگاه Hebei Normal در شهر شیجیاژوانگ، مرکز استان Hebei برگزار می‌شود. همچنین داوطلبانی که شرایط حضور فیزیکی در همایش را نداشته باشند، شرایط حضور مجازی برای ایشان فراهم می گردد.

لینک صفحه رسمی همایش:

https://crowncom.eai-conferences.org/2023/

همایش بین‌المللی امواج فروسرخ، میلی‌متری و تراهرتز (IRMMW-THz)[۴]

IRMMW-THz
International Society of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves: IRMMW-THz
"Promoting the worldwide collection, dissemination, and exchange of scientific and technical knowledge in the areas and disciplines involving infrared, millimeter and terahertz waves"

همایش بین‌المللی امواج فروسرخ، میلی‌متری و تراهرتز (IRMMW-THz)، که در سال ۱۹۷۴ فعالیت خود را آغاز کرده است، قدیمی‌ترین و بزرگترین انجمنی است که به طور خاص به حوزه الکترونیک و کاربردهای فرکانس‌های فوق‌العاده بالا می‌پردازد. در سال ۲۰۰۴ مجموعه همایش‌های اصلی - همایش بین المللی امواج فروسرخ و میلی‌متری (IRMMW) به همایش بین‌المللی THz Electronics پیوست تا بیست و نهمین همایش بین‌المللی مشترک امواج فروسرخ و میلی‌متری و دوازدهمین همایش بین‌المللی الکترونیک تراهرتز (IRMMW-THz) را تشکیل دهند (۲۰۰۴). در سال ۲۰۰۸ نام همایش به سی و سومین همایش بین‌المللی امواج فروسرخ، میلی‌متری و تراهرتز اختصار یافت و همان مخفف کلی آن حفظ شد: IRMMW-THz 20XX. در سال ۲۰۰۹ مجموعه همایش به طور رسمی در یک انجمن علمی با منافع متقابل ثبت شده در ایالت کالیفرنیا، در ایالات متحده آمریکا گنجانده شد. انجمن بین‌المللی امواج فروسرخ، میلی‌متری و تراهرتز (IRMMW-THz) بیانیه مأموریت مخصوص خود را این گونه عنوان می کنند: «ترویج جمع‌آوری، انتشار و تبادل علمی و دانش فنی در زمینه‌ها و رشته‌های مربوط به امواج فروسرخ، میلی‌متری و تراهرتز در سراسر جهان.»

همایش IRMMW او نشریه ماهانه همراه آن، مجله امواج فروسرخ، میلی‌متری و تراهرتز، یکی از اولین رسانه‌های علمی برای حوزه رو به رشد اجزا و ابزار فروسرخ دور است که در اواسط دهه ۱۹۷۰ پدید آمدند. حوزه تحقیقاتی این همایش شامل دستگاه‌ها، اجزاء و سیستم‌های موج میلی‌متری، آشکارسازها و ابزارهای فروسرخ دور، ساختارهای میکرو و نانو مقیاس، شتاب‌دهنده‌ها و توکامک‌های[۵] مقیاس بزرگ و کاربردهای آن‌ها می‌شود. همچنین در سال ۲۰۱۱ یک مجله جدید

4- International Society of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves

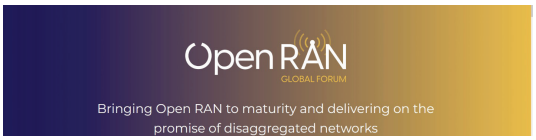
۵- نام نوعی دستگاه است که کار آن محصورسازی پلاسما است و برای ایجاد پایداری پلاسما بر مبنای محصورسازی مغناطیسی طراحی شده‌است. این سیستم‌ها حاوی پلاسمای دوتریوم-تریتیوم هستند که توسط دو سری میدان مغناطیسی نگهداری می‌شوند، و شکلی مانند چنبره تشکیل می‌دهند.

متمرکز THz دیگر به نام IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology به لیست رسانه های فنی مرتبط برای اعضای انجمن IRMMW-THz اضافه شد.

لینک صفحه رسمی همایش:

https://www.irmmw-thz.org/

انجمن جهانی Open RAN



انجمن جهانی Open RAN هرساله رویدادی با محوریت آینده Open RAN برگزار می کند. به‌طور کلی در این رویداد پیشرفت Open RAN و نقش حیاتی RIC[6] مورد بررسی قرار می گیرد. موضوعات اصلی که در این رویداد مورد بحث و بررسی قرار می گیرد عبارت‌اند از:

- کسب اطلاعات از اپراتورها در خصوص میزان به کارگیری Open RAN
- آشنایی با مدل‌های شبکه آینده و ایجاد تغییرات لازم در مدل‌های عملیاتی شبکه
- بررسی نقشه راه دولت‌ها برای به کارگیری Open Ran
- کشف فرصت‌های جدید توسط Real Time RIC
- تعیین نقش Open RAN در پایداری و بهره‌وری انرژی در مخابرات
- کاوش گری در توسعه و تکامل Open RAN

در این رویداد کلیه افراد در صنعت با هدف اشتراک گذاری یافته‌های خود در حوزه Open RAN و کسب اطلاعات کافی از مدل‌های جدید Open RAN، سیاست گذاران با هدف تعیین، به روزرسانی و طراحی نقشه راه مناسب با معیارها و استانداردهای مورد نظر و تولید کنندگان با هدف برنامه‌ریزی کسب و کار خود قادر به شرکت هستند.

لینک صفحه رسمی رویداد:

https://www.openranforum.com/

همایش بین‌المللی مخابرات، شبکه و ماهواره

همایش بین‌المللی مخابرات، شبکه و ماهواره با هدف گردآوری دانشمندان برجسته دانشگاهی، محققان و پژوهشگران برای تبادل و به اشتراک گذاشتن تجربیات و نتایج تحقیقات خود در تمام جنبه‌های مخابراتی، شبکه‌ها و ماهواره هرساله به‌صورت مجازی و فیزیکی برگزار می گردد. این همایش همچنین یک پلتفرم بین رشته‌ای برتر برای محققان، پزشکان و مربیان فراهم می کند تا آخرین نوآوری ها، روندها و چالش‌های عملی موجود و راه‌حل‌های اتخاذ شده در زمینه‌های مخابرات، شبکه و ماهواره را ارائه و بحث کنند.

لینک صفحه رسمی همایش:

https://waset.org/communication-networks-and-satellite-conference-in-september-2023-in-lisbon?utm_source=conferenceindex&utm_medium=referral&utm_campaign=listing

همایش IEEE NFV-SDN[7]

همایش IEEE NFV-SDN یک انجمن مهم برای تبادل مداوم جدیدترین ایده‌ها، پیشرفت‌ها و نتایج دانشگاه و صنعت است که هرساله به‌صورت حضوری توسط مؤسسه IEEE حمایت و پشتیبانی می‌شود. به‌طور کلی این همایش به اشتراک گذاری دانش و بحث در مورد رویکردهای جدید و همچنین کارهای مربوط به رفع شکاف‌ها و بهبودها در معماری‌ها، الگوریتم‌ها و چارچوب‌های عملیاتی NFV[8] و SDN[9] فعال برای توابع و زیرساخت‌های شبکه مجازی را تقویت می کند. علاوه بر این، همایش IEEE NFV-SDN شامل بررسی رابطه فراتر شبکه‌های 5G/6G و روش‌های ارسال و دریافت با کاربردهای دارای مفاهیم ساختاری NFV است و توجه ویژه‌ای به نحوه طراحی، تنظیم و مدیریت کاربردهای شبکه 5G و 6G با ساختار NFV می گردد.

لینک صفحه رسمی همایش:

https://www.comsoc.org/conferences-events/ieee-conference-network-function-virtualization-and-software-defined-networks-5

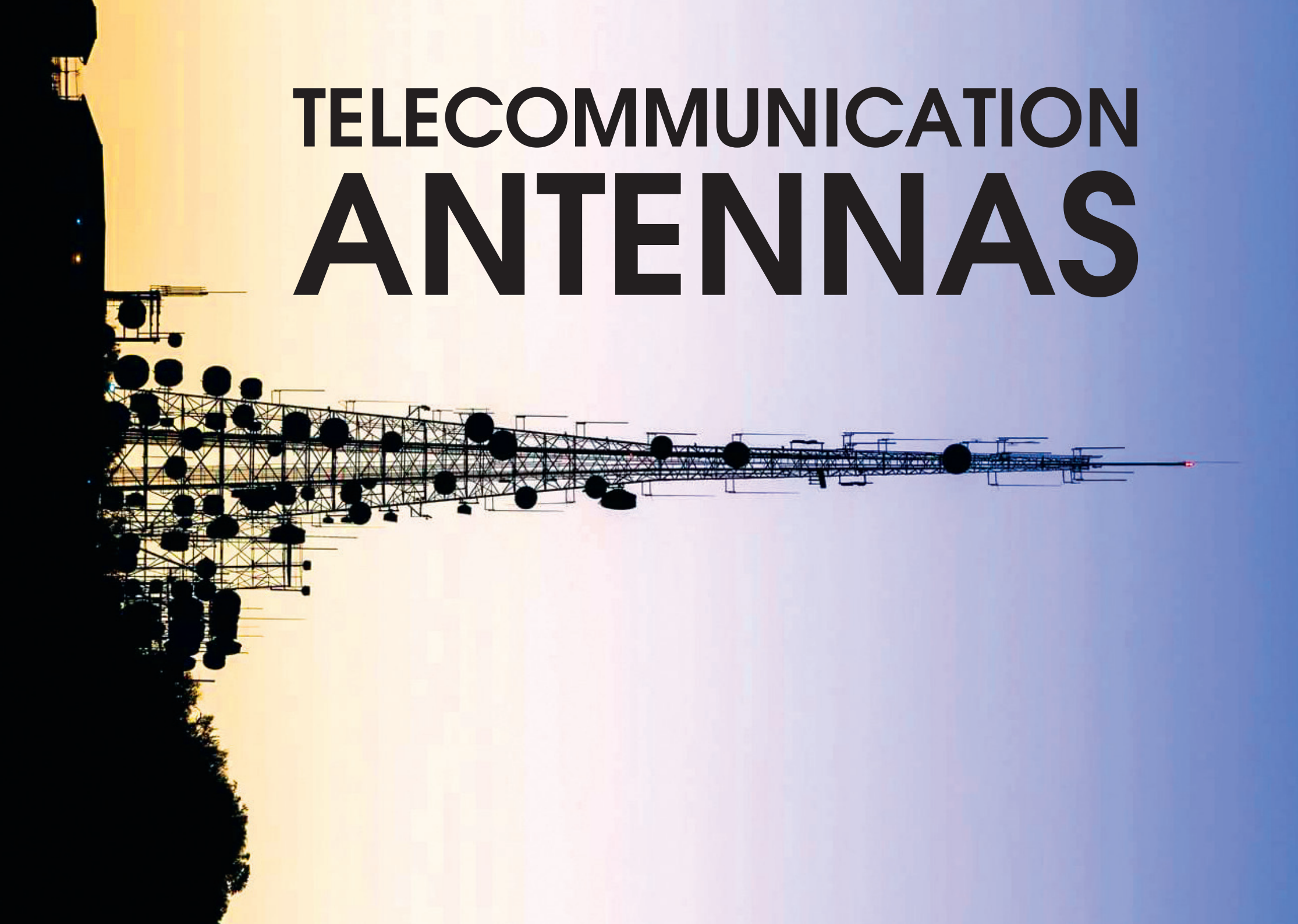
6- RAN Intelligent Controller

7- IEEE Conference on Network Functions Virtualization and Software-Defined Networking

8- Network function virtualization

9- Software-defined radio

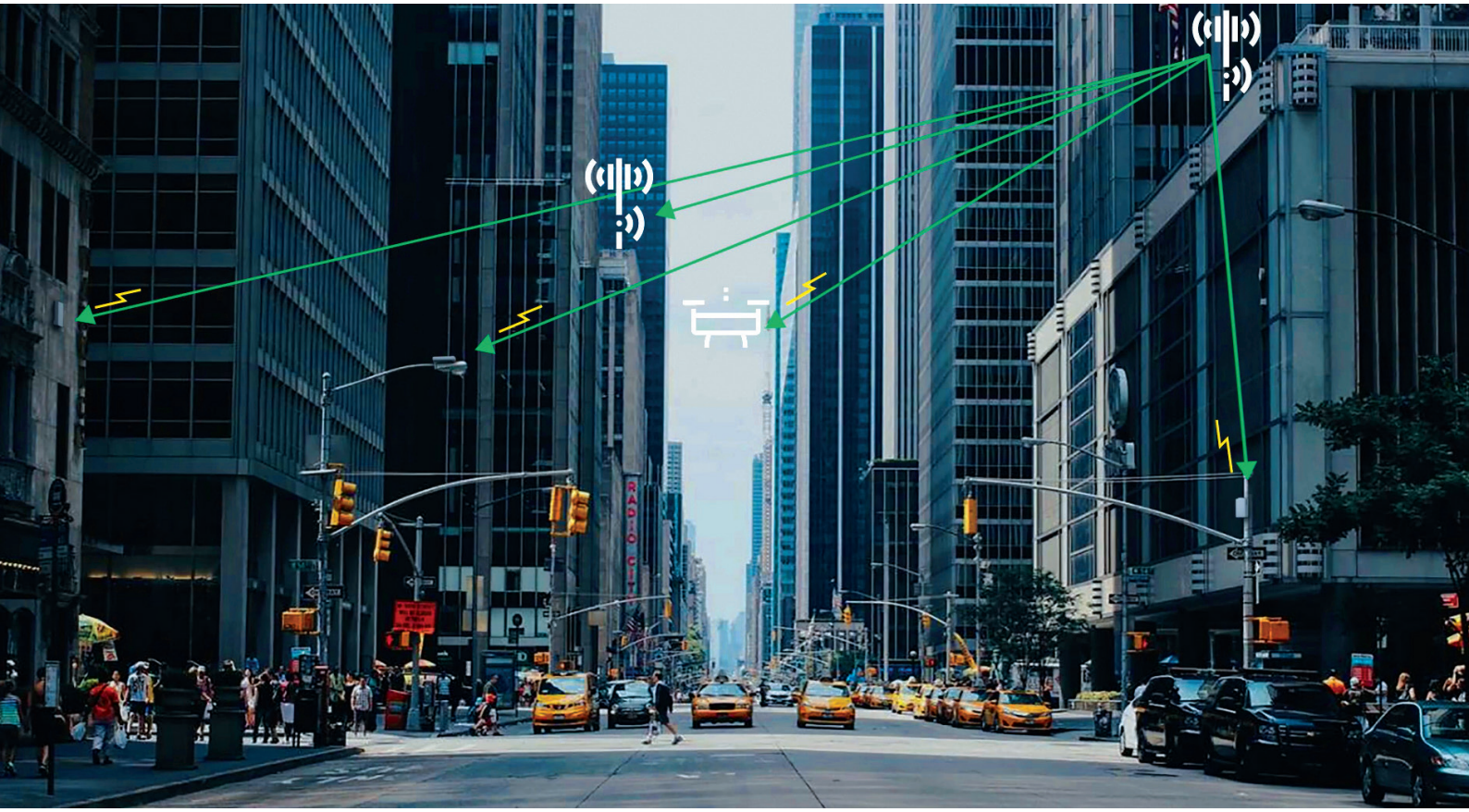
TELECOMMUNICATION ANTENNAS



اخبار فناوری
technology news

ERICSSON

انتقال توان بی‌سیم
به‌وسیله لیزر در ایستگاه‌های پایه اریکسون



اریکسون برای اولین بار در جهان از فناوری پرتو لیزر برای تأمین انرژی یک ایستگاه پایه 5G به‌صورت کاملاً بی‌سیم، بدون اتصال به شبکه برق یا تولید برق در محل استفاده کرد.

نمونه اولیه این طرح با همکاری شرکت PowerLight Technologies در شهر سیاتل پیاده شده است. در این طرح، فناوری پرتو نوری بر پایه لیزر، الکتریسیته را به نوری با شدت بالا تبدیل می‌کند که توسط ایستگاه پایه رادیویی دریافت شده و به الکتریسیته تبدیل می‌شود تا تامین انرژی به‌صورت بی‌سیم انجام شود. استفاده از این روش می‌تواند گزینه مناسبی برای پاسخگویی به چالش تامین انرژی ایستگاه‌های پایه در استقرار سایت‌های سلولی جدید باشد. زیرا تامین انرژی با روش‌های سنتی و دسترسی به این شبکه و فرآیند مربوطه می‌تواند زمان‌بر و پرهزینه باشد، یا به‌دلیل موقعیت مکانی یا جغرافیایی دشوار باشد، به‌ویژه هنگامی که شبکه وسیع‌تر می‌شود.

به گفته کوین زوکل، سرپرست شبکه‌های اریکسون در آمریکای شمالی "توانایی انتقال ایمن برق در فواصل بدون نیاز به اتصال به شبکه برق یکی از موانع بزرگی را که در ساخت سایت‌های سلولی جدید داریم، از بین می‌برد. صرفه‌جویی در زمان و افزایش انعطاف‌پذیری، این راه‌حل را به یک راه‌حل جذاب برای مشتریان ما تبدیل می‌کند".

جزئیات نمونه آزمایشی راه‌اندازی شده در سیاتل به شرح زیر است:

یک واحد توزیع برق PDU[1] کوچک PowerLight در زیر ایستگاه پایه اریکسون قرار می‌گیرد. در این نمونه از یک واحد موج میلی‌متری Ericsson Streetmacro 6701 5G استفاده شده

1- power distribution unit

است. در بالای دکل، یک گیرنده PV (فتوولتائیک[2]) قرار دارد. این نمونه در یک پارکینگ نصب شده است. در انتهای این پارکینگ، در یک گاراژ باز، فرستنده پرتو قرار دارد. فرستنده پرتو قدرت، الکتریسیته را به فوتون (پرتو لیزر) تبدیل می کند که به گیرنده PV ارسال می‌شود و فوتون‌ها را دوباره به برق قابل استفاده تبدیل می کند. سپس آن برق در جعبه PDU در زیر ایستگاه پایه ذخیره می‌شود. در نسخه‌ی آزمایشی، یک پرتو برق نوری با به کارگیری فناوری لیزر PowerLight قادر است تا صدها وات توان را در طول صدها متر در هوا منتقل کند. این پرتو نامرئی و بی‌صدا است.

شکل ۱. جعبه توزیع PowerLight در ایستگاه پایه نسل پنجم میلی‌متری اریکسون [۱]

به گفته دست اندرکاران این طرح، این روش یک نقطه عطف بزرگ است زیرا در نسل‌های بعدی این محصول می‌تواند چندین کیلووات انرژی را در فواصل طولانی‌تر مانند کیلومتر منتقل کند. کلیس اولسون، رئیس اجرایی PowerLight در اطلاعیه‌ای گفت که این محصول در حال توسعه است و در چند سال آینده به‌صورت تجاری در دسترس خواهد بود.

ایمنی سیستم معرفی شده

یکی از اهداف این نسخه آزمایشی نمایش این امر بود که انتقال توان بی‌سیم برای موجودات زنده و محیط زیست بی‌خطر است. به گفته مجری این طرح، یکی از راه‌های تضمین موضوع امنیت این است که برای پرتو برقی که در وسط سیستم‌ها ارسال می کند یک سیلندر نامرئی در نظر گرفته شده‌است. این سیلندر از پرتو توان محافظت می کند (که حلقه ایمنی نامیده می‌شود). اگر کسی یا چیزی مانع انتقال پرتو شود، بلافاصله پرتو خاموش می‌شود. این امر در عرض چند میلی ثانیه انجام‌می‌شود. حتی اگر پرتو به طور موقت قطع شود، ایستگاه پایه همچنان فعال می‌ماند و باطری پشتیبان سایت کار می کند تا مطمئن شود سایت تلفن همراه قابل اعتماد باقی می‌ماند. برای نشان دادن این موضوع، اریکسون یک آونگ را در مقابل گیرنده PV تکان داد. یک چراغ LED برای چند ثانیه قرمز شد تا نشان دهد که واحد توزیع برق با قطع پرتو لیزر (در حالی که ایستگاه پایه 5G هنوز روشن است) خاموش شده است. پس از اینکه آونگ از سر راه خارج شد، این چراغ دوباره سبز شد.

به گفته جانسون "فناوری پرتو برق به ما در اریکسون انعطاف‌پذیری می‌دهد تا رادیوها را در جایی که قبلاً ممکن نبود، مستقر کنیم." جدای از استقرار سریع‌تر ایستگاه‌های پایه در سطح خیابان، اریکسون در نظر دارد از قدرت ارتباط بی‌سیم نوری برای استقرار موقت استفاده کند. مانند شرایط اضطراری یا رویدادهایی که در آن ازدحام متراکم برای مدت معینی وجود خواهد داشت، مانند جشنواره‌های موسیقی یا رویدادهای ورزشی. با این طرح بدون نیاز به سیم‌کشی به منبع برق، می‌توان از ماشین‌های متصل مانند وسایل‌نقلیه هدایت‌شونده خودکار، پهپادها یا حسگرها و لامپ‌های IoT نیز پشتیبانی کند. اولسون از PowerLight در بیانیه‌ای افزود: "بیشتر مردم می‌دانند که فناوری شارژ بی‌سیم امروزه برای دستگاه‌های الکترونیکی کوچک مانند تلفن‌های همراه و ساعت‌ها در دسترس است. این نمایش موفقیت‌آمیز که از بهترین فناوری نوآورانه PowerLight و Ericsson استفاده می کند، جهش عمده‌ای را که اخیراً به‌سمت تجاری‌سازی انتقال برق بی‌سیم و ایمن برای سیستم‌های مقیاس بزرگ‌تر انجام داده‌ایم، نشان می‌دهد."

2- Photovoltaic

منابع:

[1] https://www.fiercewireless.com/tech/ericsson-uses-laser-beams-to-wirelessly-power-5g-mmwave-base-station

[2] https://www.ericsson.com/en/blog/2018/3/how-one-company-is-powering-iot-devic-es--wirelessly

اولین ماژول آنتن 5G mmWave برای گوشی‌های هوشمند

بهره‌گیری از باند فرکانسی امواج میلی‌متری[1] نقشی اساسی در تحقق کامل اهداف شبکه 5G دارد. در این مسیر، یکی از چالش‌های بزرگ، عملکرد تلفن‌های همراه در این باند فرکانسی است. از جمله این چالش‌ها عبارت‌اند از:

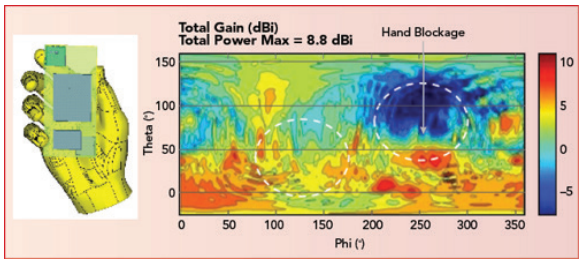
- اطمینان حاصل کردن از پوشش آنتن بدون درنظر گرفتن جهت گوشی و مکان قرارگیری دست
- حفظ حاشیه‌های لینک کافی در هنگام ارسال و دریافت
- بیشینه‌سازی عمر باتری گوشی
- کمینه‌سازی افزایش دمای ماژول و گوشی با طراحی حرارتی
- کوچک‌سازی اندازه رادیو موج‌میلی‌متری، به‌گونه‌ای که با فرم فاکتوریِ مطابق با یک گوشی همخوان باشد

در ماه جولای ۲۰۱۸، شرکت Qualcomm Technologies خانواده ماژول‌های آنتن موج میلی‌متری QTM052 را برای تلفن‌های همراه معرفی کرد که اولین نمونه معرفی شده در صنعت بود. با استفاده از مودم Snapdragon X50 5G، سیستم تجمیع‌شده[2] شامل آنتن تا پردازش‌های باند پایه[3] است که مشخصات 5G New Radio (NR) را از استاندارد ۱۵ توسط 3GPP[4] برآورده می‌سازد. سپس در ماه اکتبر، کوالکام طراحی ماژول جدیدی را به خانواده QTM052 اضافه کرد که با کاهش ۲۵ درصدی اندازه، امکان نصب ماژول را در لبه‌های گوشی‌های نازک‌تر فراهم می‌کند.

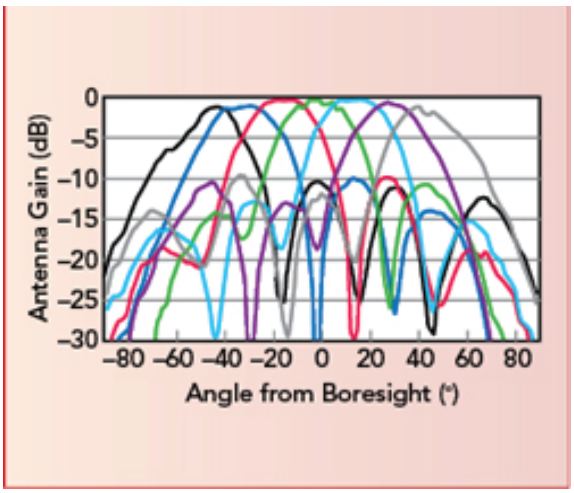
در حال حاضر QTM052 سه باند 5G را پوشش می‌دهد که شامل باند ۲۶/۵ تا ۲۸/۵ گیگاهرتز (n257) و همچنین پوشش کامل باندهای ۲۷/۵ تا ۲۸/۳۵ گیگاهرتز (n261) و ۳۷ تا ۴۰ گیگاهرتز (n260) است. از نظر عملکرد، QTM052 شامل یک آنتن آرایه فازی، فرستنده-گیرنده[5] رادیویی و مدیریت توان است. این ماژول به مودم Qualcomm X50 5G متصل می‌شود، که وظیفه کنترل شکل‌دهی پرتو[6] و هدایت پرتو را بر عهده دارد. در ادامه بخش‌های مختلف این ماژول و نحوه عملکرد آن‌ها معرفی شده‌اند.

آرایه آنتن

گزینه‌های مختلفی برای آنتن وجود دارد که هم در قسمت صفحه نمایش و هم در لبه گوشی قرار می‌گیرند. آزمایش‌های Qualcomm نشان می‌دهد که هر دو جهت‌گیری دارای عملکرد مشابهی هستند، بنابراین انتخاب بین آن‌ها بستگی به مصالحه‌های دیگر طراحی مانند ضخامت گوشی دارد. چندین ماژول آنتن در قسمت‌های مختلفی در گوشی قرار می‌گیرند تا پوشش مناسب در جهت‌گیری‌های مختلف گوشی و همچنین جبران‌سازی برای اتلاف توان زیاد سیگنال توسط دست را ایجاد کنند. تضعیف ناشی از دست انسان در شکل ۱ نمایش داده‌شده‌است.



شکل ۱: شبیه‌سازی الکترومغناطیسی تلفن همراه برای نمایش تضعیف سیگنال موج‌میلی‌متری ناشی از نگه‌داشتن گوشی در دست[۱]

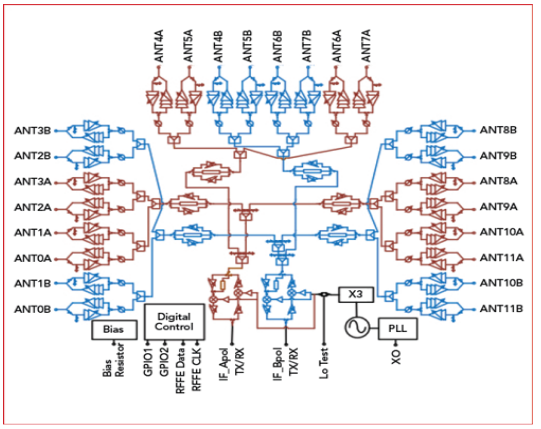


شکل ۲: الگوهای آنتن آرایه‌ای پچ با قطبش عمودی که هدایت پرتو را بین زوایای ۴۵+ و ۴۵- درجه نشان‌می‌دهد[۱]

آرایه‌های آنتنی[7] شامل آنتن‌های پچ[8] یا دوقطبی[9] هستند که می‌توانند دارای قطبش[10] تکی یا دوتایی[11] خطی باشند. این آرایه‌ها

1-mmWaves
2- Integrated
3- Baseband
4-3rd Generation Partnership Project
5- Transceiver
6- Beamforming
7- Array antenna
8- Patch
9- dipole
10- Polarization
11- Dual

هدایت پرتو را بین زوایای ۴۵±درجه حول محور عمودی آنتن انجام می‌دهند. بهره[12] یک آرایه آنتنی در شکل ۲ نمایش داده شده است.



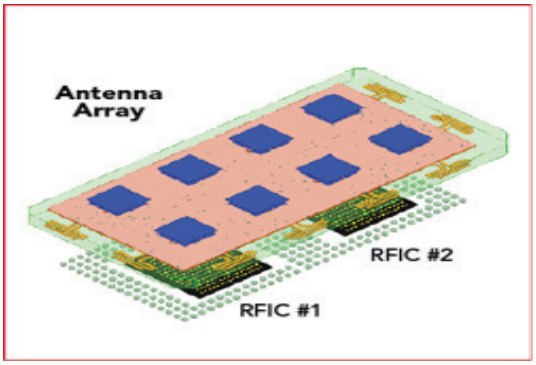
شکل ۳: نمودار بلوک تجسمی از فرستنده-گیرنده RFIC[1]

فرستنده-گیرنده

مدار مجتمع فرکانس رادیویی (RFIC[13]) فرستنده-گیرنده، که با استفاده از فرآیند سیلیکون تولید می‌شود، کانال‌های فرستنده و گیرنده را برای هر عنصر آنتن یکپارچه می‌کند و همچنین تبدیل فرکانس بین RF و IF را فراهم می‌کند. تبدیل بالارو[14] و پایین‌رو[15] روی تراشه شامل میکسر[16]، نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO[17]) با ضرب کننده و حلقه قفل فاز (PLL[18]) است. شکل ۳ بلوک تجمعی این RFIC را نمایش می‌دهد. تقویت‌کننده توانی که در ساختار فرستنده وجود دارد، می‌تواند ۱۰ dBm تا ۱۵ dBm توان خروجی فراهم کند. خروجی آن به حدود ۶ dBm تا ۸ dBm تنظیم می‌شود. سوئیچ فرستنده / گیرنده (T/R) در آنتن در مسیر گیرندگی قرار می‌گیرد تا توان خروجی کاهش نیابد. همچنین در سمت گیرنده از یک تقویت‌کننده کم‌نویز[19] LNA استفاده شده‌است تا عملکرد پیوند فروسو[20] حتی با وجود تلف سوئیچ T/R، محدود نشود. مدار دیجیتال روی تراشه[21] درون ساختار فرستنده-گیرنده، فرمان‌های از سمت مودم X50 را برای کنترل وضعیت T/R و همچنین دامنه و فاز هر المان آنتن، ترجمه می‌کند. همچنین تنظیم دامنه و هدایت پرتو توسط شیفت‌دهنده‌های فاز و تضعیف‌کننده‌های داخل ساختار فرستنده-گیرنده، تنظیم می‌شوند.

12- Gain
13-Radio Frequency Integrated Circuit
14- Up-Conversion
15- Down-Conversion
16- Mixer
17- Voltage Controlled Oscillator
18-Phase Locked Loop
19- Low Noise Amplifier
20-Downlink
21- On-Chip

RFICهای فرستنده-



شکل ۴: ترازگرهای RFIC به‌سمت پشت بردی که شامل آرایه‌های آنتن است، نصب می‌شوند [1]

در آرایه‌های شبکه‌ای توپی[22] به‌صورت flip-chip بسته‌بندی‌شده‌اند، و در قسمت پشتی بُردی که شامل آرایه آنتن است، نصب می‌شوند. شکل ۴ این RFICها را نمایش می‌دهد.

EIRP و تلف توان

برد کوتاه لینک‌های موج‌میلی‌متری، توان خروجی در دسترس از تقویت‌کننده‌های توان و همچنین فرم فشرده گوشی موبایل، چالش‌هایی را برای طراحی QTM052 به‌منظور دستیابی به توان خروجی مطلوب و کاهش تلف توان به وجود آورده‌است. همان گونه که اشاره شد، تقویت‌کننده توان سیلیکونی می‌تواند در ۲۸ گیگاهرتز ۱۰ تا ۱۵ dBm توان خروجی ارائه دهد. یک آنتن پچ نصف طول موج ۲۳، دارای بهره حدود ۵ dBi است و یک آرایه ۲ در ۲ می‌تواند توان مجموع ۶ dB و توان شکل‌دهی پرتو ۶ dB داشته باشد. استفاده از قطبش تکی مقدار ۳ dB دیگر نیز اضافه می‌کند که در نهایت بهره آنتن را ۲۰ dB خواهد کرد، که توان خروجیِ رادیو (EIRP[24]) را به ۳۰ dBm تا ۳۵ dBm افزایش می‌دهد.

طراحی حرارتی بُرد شامل آرایه‌های شبکه توپی در RFIC باید به‌گونه‌ای باشد که گرما را بدون ایجاد نقاط داغ در گوشی به‌نحوی که کاربر متوجه آن شود، هدایت کند. برای یک آرایه 2 * 2 که سیگنال OFDM[25] یا SCFDM[26] با مدولاسیون 64QAM در فرکانس ۲۸ گیگاهرتز ارسال می‌کند، هر تقویت‌کننده توان تا حدود ۶ dBm تا ۸ dBm کاهش می‌یابد (بک‌آف شدن). برای این خروجی، توان تلف شده متداولِ مستقیم (DC) برای ۴ کانال ارسال در حدود ۳۵۰ تا ۳۸۰ dBm است.

منابع:

[1] https://www.microwavejournal.com/articles/31448-first-5g-mmwave-antenna-module-for-smartphones

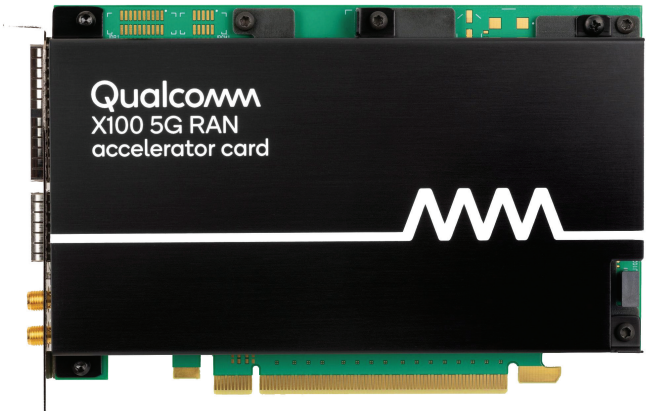
22- Ball Grid Array
23- Wavelength
24-Effective Isotropic Radiated Power
25-orthogonal frequency devison multiplexing
26-Single Carrier Frequency Division Multiplexing

راه اندازی ایستگاه پایه ماکرو 5G Open RAN توسط کوالکام

کوالکام در حال توسعه مجموعه‌ای از محصولات زیرساخت 5G مبتنی بر Open RAN[1] است. دو سال پیش، این شرکت اعلام کرد که خط تولید جدید ایستگاه پایه ماکرو را احداث می‌نماید. مطابق این وعده، این شرکت از چند ماه پیش نمونه‌برداری از محصولات جدید خود را با مشتریان و شرکای کلیدی آغاز کرده است. سبد ماکرو RAN Open کوالکام اساساً از دو محصول تشکیل شده‌است: پلتفرم رادیویی QRU 100 و کارت شتاب دهنده X100 RAN.

1- Radio access network

Qualcomm



شکل ۱. کارت شتاب دهنده X100 RAN [۱]

پلتفرم رادیویی QRU 100

این پلتفرم بـــرای اســـتفاده در رادیوهای MIMO انبـــوه TRx32 و TRx64 و همچنین رادیوهای بسیار ساده‌تر TRx4 و TRx8 طراحی شده است. تراشه رادیویی QRU 100 شـــامل فرستنده-گیرنده و پردازنده‌های شکل‌دهی پرتو[1] است و از قابلیت‌های سلولی پیشرفته مانند اشـــتراک‌گذاری DSS[3]، RAN[2] و غیره پشـــتیبانی می‌کند. همچنین در مورد باند فرکانسی mmWave، تراشه شامل ماژول‌های فرانت‌اند RF و آنتن است.

کارت شتاب دهنده X100 RAN

این کارت یک کارت شـــتاب دهنده درون خطی مبتنی بر PCIe[4] مبتنی بر تراشه QDU ۱۰۰ است که بارهای کاری محاسبه فشرده و به تأخیر حساس باند پایه PHY و لایه ۱ عملیاتی مانند کدگذاری کانال، دمدولاســـیون و همچنین پردازش mMIMO[5] توســـط آن انجام می‌شـــود. این امر باعث کاهش تعداد هسته‌های CPU مورد نیاز و در نتیجـــه کاهش هزینه کلی DU[6] می‌شـــود. کارت X100 از همه گزینه‌های تقسیم[7] تابع باند پایه تعریف شده توسط O-RAN[8] Alliance پشتیبانی می‌کند و در فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز و موج میلی‌متری کار می‌کند. کوالکام با همکاری HPE[9] کارت X100 را در سرور ProLiant DL 110 Gen 10 Plus آزمایش می‌نماید. این سرور برای بارهای کاری O-RAN بهینه شده‌است. سرور DL100 قادر به پشتیبانی از چهار کارت است. کوالکام ادعا می‌کند که این کارت در هنگام بارگیری ۷۰ درصد تقریباً ۳۵ وات انرژی مصرف می‌کند.

برنامه تست و اعتبارسنجی

کوالکام از اواسط سال ۲۰۲۲ نمونه‌های مهندسی سخت‌افزار خود را برای وندورهای شریک خود از جمله NEC[10]، Fujitsu و Mavenir ارائه کرده است. آزمایش‌های گسترده در محیط آزمایشگاهی از اوایل سال ۲۰۲۳ آغاز شده‌است و پیش‌بینی می‌شود استقرار تجاری تا پایان سال ۲۰۲۳ آغاز شود. علاوه بر این، کوالکام قصد دارد در سال ۲۰۲۳ آزمایش‌های یکپارچه‌سازی گسترده‌ای را با شرکای خود در تأسیسات OREC NTT DoCoMo انجام دهد. این امر شـــامل آزمایش کارت X100 بر روی سرور HPE Proliant مبتنی بر اینتل به‌عنوان بخشی از راه‌حل کامل ایستگاه پایه 5G است.

نقش کوالکام و اکوسیستم شریک

نقش کوالـــکام در بازار زیرســـاخت 5G به‌عنوان یـــک ارائه‌دهنده راه‌حل‌های تراشـــه O-RAN خواهد بود که بسیاری از OEM[11]های رادیویی جدید را قادر می‌سازد تا وارد بازار شوند و همچنین برخی از فروشندگان سنتی را تأمین کند. کوالکام در حال حاضر با راه‌حل‌های FSM100 و FSM200 خود بر بازار سلول‌های کوچک تسلط دارد و فهرست قابل توجهی از مشتریان را ایجاد کرده است. روشن است که هدف در اینجا انجام همین کار در بازار ایســـتگاه‌های پایه کلان با ارائه طیف وسیعی از راه‌حل‌های تراشـــه‌ای مبتنی بر O-RAN از پیش یکپارچه و اثبات شده برای طیف گســـترده‌ای از فروشندگان است. شرکای تجاری کوالکام تا به امروز عبارتند از NEC، Fujitsu، Rakuten Symphony، Mavenir و Viettel.

افق بازار

داســـتان O-RAN/vRAN[12] در حال شـــتاب گرفتن است چرا که اپراتورهای اصلی ماننـــد Verizon، NTT DoCoMo در حال انتقال به شـــبکه‌های کاملاً مجازی‌سازی شده هســـتند. طبق تحقیقات Counterpoint پیش‌بینی می‌شود که این امر در سال ۲۰۲۳ شتاب گیرد، که این عمدتاً برآمده از علاقه اپراتورها به بهره‌برداری از مزایای معماری‌های بومی ابری است. این مزایا شامل چابکی شبکه بهبود یافته[13]، مقیاس پذیری[14] و اتوماســـیون است و امکان معرفی انواع جدیدی از خدمات را نیز فراهم می‌کند.

منابع:

[1]https://www.counterpointresearch.com/qualcomm-openran-5g-macro-base-station/

[2]https://www.qualcomm.com/news/onq/2023/03/how-we-won-the-acceleration-architecture-debate

1- Beamforming
2-radio access network
3-Dynamic Spectrum Sharing
4-Peripheral Component Interconnect Express
5-Massive MIMO
6- Distributed Unit
7- Split Points
8-Open RAN
9-Hewlett Packard Enterpris
10-Information technology company
11- Original equipment manufacturer
12-Virtualized radio access networks
13- Improved network agility
14- Scalability

آزمایش ادوات مخابراتی در شرایط محیطی بسیار سخت به‌وسیله آزمایشگاه Rohde & Schwarz

به‌کارگیری سیستم‌های مخابراتی به‌عنوان یک ابزار حیاتی برای کاوشگران، دریانوردان و کوهنوردان اجتناب‌ناپذیر است، لذا شرایط پیچیده و مختلف نظیر شرایط جوی، محیطی از جمله مناطقی نظیر گرینلند با حداکثر دمای ۱۰ درجه سیلیوس در تابستان می‌تواند در عملکرد سیستم‌های مخابراتی اثرگذاری داشته باشد. در این راستا، فناوری موج کوتاه Rohde & Schwarz تماس رادیویی با قابلیت اطمینان مناسب را تضمین می‌کند. این کمپانی با فناوری‌های پیشرفته خود تمام تجهیزات و سیستم‌های خود را در آزمایشگاه تست محیطی خود تحت آزمایش‌های عمیق قرار می‌دهد تا از عملکرد صحیح تمامی مولفه‌های محصولات در پیچیده‌ترین شرایط اطمینان حاصل کند. Rohde & Schwarz ادعا می‌کند توانایی تماس رادیویی با قابلیت اطمینان مناسب را در سخت‌ترین شرایط محیطی تضمین کند. این شرکت فناوری محور جهت اطمینان از اینکه تمامی محصولاتش تحت شرایطی با پیچیدگی شدید کار می‌کنند، مانند محصولات موجود در اطراف اقیانوس اطلس شمالی، روی آزمایشگاه تست محیطی بسیار حرفه‌ای خود سرمایه‌گذاری‌های کلانی انجام داده است. علاوه بر شرایط استانداردی مانند سرما، گرما، رطوبت، آب، لرزش، آزمایشگاه همچنین از تخصص گسترده شرکت در سازگاری الکترومغناطیسی (EMC[1]) بهره می‌برد تا محصولات خود را برای شرایط غیراستاندارد نیز آماده کند. این آزمایشگاه قادر به انجام طیف وسیعی از آزمایشات احتمالی است و دامنه مزایای آن به همان بسیار گسترده است.

1-Electromagnetic compatibility

شکل ۱. آزمایشگاه شرایط محیطی Rohde & Schwarz [۱]

شرایط سخت نیازمند راه حل‌های بزرگ است

از دماهای شـــدید در محفظه آب و هوایی گرفته تا آزمایش‌های ارتعاش بر روی لرزاننده و آزمایش EMC در اتاق‌های آنکوئیک[۱] - Rohde & Schwarz[۲] طیف گسترده‌ای از قابلیت‌های آزمایش را ارائه می‌دهد. کارشناسان کنترل کیفیت شرایط محیطی واقعی را در آزمایشگاه شبیه‌سازی می‌کنند تا بتوانند به‌طور قابل اعتمادی در دســـترس بودن و عملکرد ایمن تجهیزات خود را پیش‌بینی کنند. دما و رطوبت و همچنین تغییرات سریع هر کدام می‌تواند به‌طور جدی بر عملکرد و طول عمر تجهیزات الکترونیکی تأثیر بگذارند. همچنین این تأثیرات فقط در زمانی که دستگاه روشن است بر آن تأثیر نمی‌گذارند بلکه حتی اگر یک محصول کاملاً بسته بندی شده باشد و تنها در انبار منتظر ارسال باشد، از نوسانات آب و هوایی مصون نیست. آزمایشگاه شرایط محیطی این شرکت این امکان را به مهندسان و تأمین کنندگان می‌دهد که محصولات خود را در بازه دمایی ۷۰- درجه سلســـیوس تا ۱۸۰ درجه سلسیوس تست نمایند. همچنین ابعاد بزرگ چمبر آب و هوایی والک-این[۳] موجود در این آزمایشگاه سبب می‌شود تا تست ادوات بسیار بزرگ در این آزمایشگاه ممکن شود.

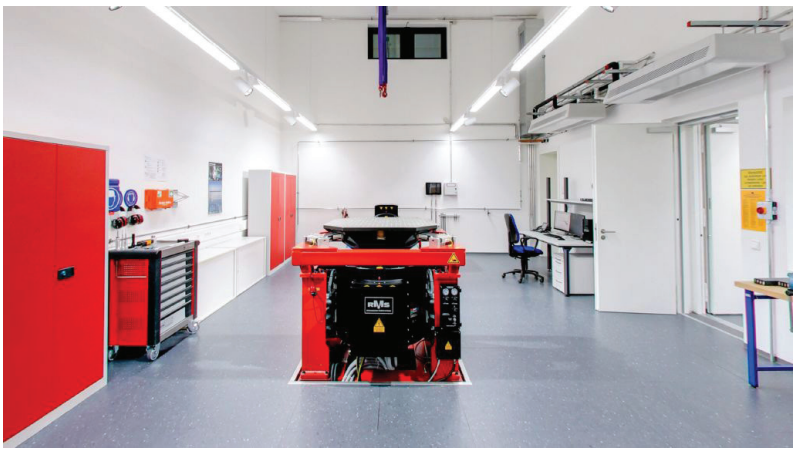
1- electromagnetic compatibility
2- Anechoic
3- Walk-in climate chamber

یکی از جذاب‌ترین ادوات تســـت در مقر Rohde & Schwarz تکان‌دهنـــده[۴] اســـت. این دســـتگاه یـــک سیســـتم ارتعاش الکترودینامیکی است که نیروهای فیزیکی را شبیه سازی می‌کند. به‌وسیله آن می‌توان شرایطی را شبیه‌سازی کرد که تجهیزات و سیستم‌ها در هنگام حمل و نقل و موقعیت‌های عملیاتی شدید هستند. این دستگاه می‌تواند طیف وسیعی از شرایط، از مسیرهای یخی گرینلند تا صحرای کلمبیا را شبیه‌سازی کند. به‌وسیله این دستگاه می‌توان ارتعاشات انواع سیستم‌ها را شبیه‌سازی کرد. برای مثال ارتعاشات فرستنده‌های تلویزیونی با کارایی بالا در بالای مرکز تجارت جهانی وان در قلب شهر نیویورک گرفته تا جاده‌ها، پل‌ها و خطوط راه‌آهن ویران‌شده در محل‌های حادثه قابل شبیه‌سازی هستند.

منابع:

[1]Johann Fuchs, “Rohde & Schwarz environmental test lab verifies product functionality under extreme conditions,” Rohde & Schwarz, 2023. https://www.rohde-schwarz.com/about/magazine/environmental-test-lab/environmental-test-lab_256153.html?change_c=true (accessed Jul. 07, 2023).

4- Shaker



شکل ۲. دستگاه تکان دهنده Rohde & Schwarz [۱]

احداث آزمایشگاه تست و ارزیابی O-RAN توسط KEYSIGHT در اروپا

در ماه آوریل سال ۲۰۲۳ میلادی، KEYSIGHT اعلام کرد که در اروپا آزمایشگاهی جهت تست واحد رادیویی O-RAN[1] بر اساس معماری KORA[2] احداث می‌کند. این آزمایشگاه در دفتر این شرکت در شهر میلان کشور ایتالیا احداث می‌شود. هدف اصلی آزمایشگاه کمک به اپراتورهای تلفن همراه و تأمین‌کنندگان تجهیزات در اروپا است تا محصولات خود را از نظر عملکرد و انطباق با سایر تجهیزات راستی آزمایی کنند.

راه‌حل‌های Open RAN Architect Keysight با مجموعه‌هایی که به‌طور خاص برای سازندگان چیپ‌ست، توسعه‌دهندگان پشته نرم‌افزار، تولیدکنندگان تجهیزات شبکه، اپراتورهای تلفن همراه، و Open Test طراحی شده‌اند، قابلیت انطباق، همکاری، عملکرد و تست‌های امنیتی را در کل چرخه حیات ممکن می‌سازد.

کارلو سانتانجلو[3]، مدیر راه‌حل‌های EMEAI در Keysight، گفت: "راه‌اندازی این آزمایشگاه، اشتراک‌گذاری نتایج را در فرایند گردش کار ساده کرده و زمان ورود به بازار محصولات را سرعت می‌بخشد. این مجموعه گسترده، جامع‌ترین آزمایشگاه برای آزمایش واحد رادیویی را ارائه داده و امکانات کاملی نظیر شبیه‌سازهای تجهیزات شبکه، کاربر و RF را در اختیار کاربران قرار می‌دهد."

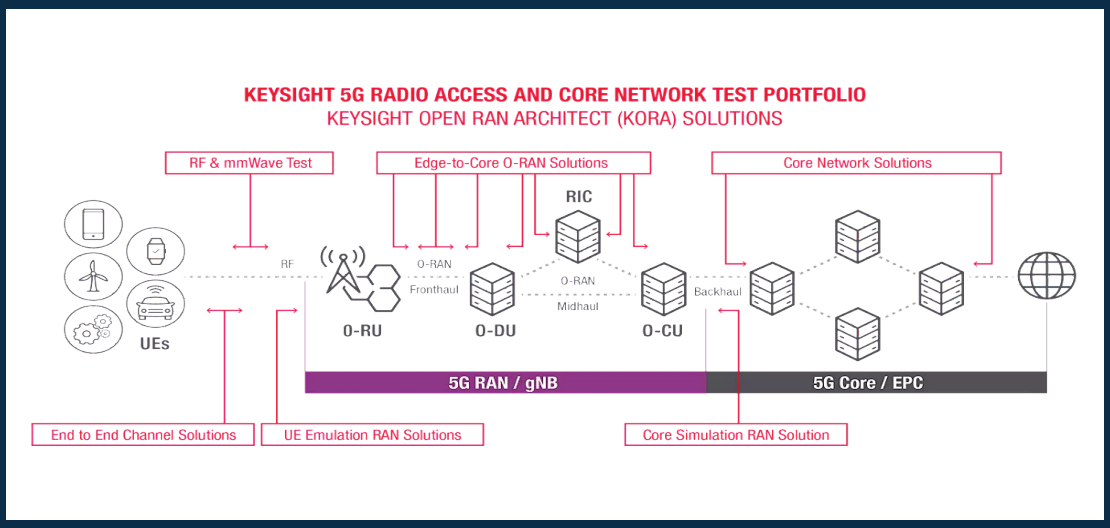
این آزمایشگاه که بر اساس راه‌حل KORA ساخته شده است، راه‌اندازی سرتاسری شبکه را برای انجام آزمایش یکپارچه رادیویی مطابق با آخرین تست‌های انطباق ارائه شده توسط O-RAN Alliance فراهم می‌کند.

به گفته Keysight، آزمایش‌های اولیه در طول چرخه توسعه، می‌توانند به تسریع استقرار پلتفرم‌های مجازی برای پشتیبانی از خواسته‌های 5G O-RAN کمک کند.

در ژانویه ۲۰۲۳، Keysight گفت که به‌منظور ایجاد یک بستر آزمایشی برای ۶G به ۱۶ شرکت و سازمان دیگر ملحق شده است. این اتحاد تحت عنوان برنامه 6G-SANDBOX توسط Horizon Europe معرفی شده و فراهم آوردن زنجیره تأمین سیستم‌های بی‌سیم پیشرفته اروپا از اهداف آن است.

6G-SANDBOX با بودجه‌ای حدود ۲۵۰ میلیون یورو

1-Open-RAN
2- Keysight O-RAN Architect
3- Carlo Santangelo



شکل ۱. دسترسی رادیویی 5G و شبکه هسته آزمایشی Keysight [۱]

بخشی از تعهد مشترک خدمات و شبکه‌های هوشمند کمیسیون اروپا است که در سال ۲۰۲۱ تأسیس شد. Keysight خاطرنشان کرد: این پروژه بزرگ با هدف آزمایش توانمندسازی فنی حوزه 6G، مانند هوش شبکه[۴]، هوش مصنوعی، امنیت، معماری چند اجاره‌ای انعطاف‌پذیر[۵]، دوقلوهای دیجیتال[۶] و سطوح هوشمند قابل تنظیم مجدد[۷] تشکیل شده است.

به گفته Keysight بستر آزمایش 6G به منظور اعتبارسنجی فناوری‌های جدید و پیشرفت‌های تحقیقاتی برای ۶G گره‌های دیجیتال و فیزیکی را با یکدیگر ترکیب می‌کند تا یک شبکه سرتاسری با قابلیت تنظیم، مدیریت و کنترل ارائه کند. در آینده، مشابه این آزمایشگاه در اسپانیا، آلمان، فنلاند و یونان نیز احداث خواهد شد که به سازمان‌ها امکان انجام آزمایش فناوری‌های نوظهور را می‌دهد.

4- Network intelligence
5- Flexible multi-tenancy architecture
6- Digital twins
7- Reconfigurable intelligent surfaces

منابع:

[1] https://www.keysight.com/us/en/cmp/2020/5g-o-ran-software.html
[2] https://www.rcrwireless.com/20230406/open_ran/keysight-opens-o-ran-testing-lab-europe

توسعه تراشه EdgeQ برای ایستگاه‌های پایه

شرکت EdgeQ اعلام کرده است در حال توسعه "ایستگاه پایه روی یک تراشه[1]" است که قابلیت تنظیم نرم‌افزاری برای سلول‌های ماکرو 4G و 5G و سلول‌های کوچک را دارد. از ژوئن ۲۰۲۲، این شرکت شروع به نمایش این فناوری در تأسیسات خود در دره سیلیکون[2] کرده است. فناوری اخیر EdgeQ شامل یک کارت PCIe[3] حاوی دو قطعه تراشه EdgeQ است. از جمله کاربردهای این فناوری می‌توان به روترها، نقاط دسترسی ثابت اینترنت در فضای باز و سلول‌های کوچک اشاره کرد. محدوده کاربردی این فناوری از شبکه‌های خصوصی تا مراکز داده را شامل می‌شود. EdgeQ برخلاف سخت‌افزار اختصاصی، از پیکربندی نرم‌افزاری استفاده می‌کند. این فناوری تمام عملکردهای یک ایستگاه پایه از رادیوهای 5G و 4G گرفته تا پردازش بسته‌ها، زمان‌بندی و شکل‌دهی پرتو را انجام می‌دهد. تراشه شامل نرم‌افزاری از EdgeQ است که به آن این امکان را می‌دهد تا عملکردهای Layer-1 RF و باند پایه را انجام دهد. در شکل ۱، این محصول به‌عنوان یک ایستگاه پایه نمایش داده شده است.

1- Base station on a chip
2- Silicon Valley
3- Peripheral Component Interconnect Express

شکل ۱. در زمان استفاده به‌عنوان یک ایستگاه پایه، سیلیکون EdgeQ به یک هسته 5G وصل می‌شود [۱].

محدوده عملکرد

این تراشه می‌تواند در سلول‌های ماکرو و سلول‌های کوچک کاربرد داشته باشد. نسخه نمایشی ارائه شده توسط این شرکت به‌عنوان یک سلول کوچک ۴×۴ 5G متصل به هسته شبکه 5G عمل می‌کند. در نسخه‌ی نمایشی، تراشه به تلفن همراه متصل می‌شود.

بازار و شرکای EdgeQ

مشتریان اصلی EdgeQ اپراتورهای تلفن همراه و صاحبان شبکه‌های خصوصی هستند. عادل کیدوای مدیر محصول EdgeQ گفته است "ما با شرکای OEM[۴] شخص ثالث برای توسعه و ترسیم چارچوب‌ها کار می‌کنیم. همچنین در نظر داریم تا با کاربران نهایی نیز همکاری نماییم." بدین ترتیب می‌توان گفت یک الگوی طراحی مرجع برای طراحان ایستگاه پایه، توسط EdgeQ ارائه شده است. با گذشت زمان، این شرکت از مهندسان انتظار دارد که محصولات دیگری را پیرامون تراشه EdgeQ به‌ویژه برای استفاده در شبکه‌های خصوصی که به دسترسی بی‌سیم تخصصی نیاز دارند، طراحی کنند.

4- Original equipment manufacturer

محبوبیت در بین طراحان

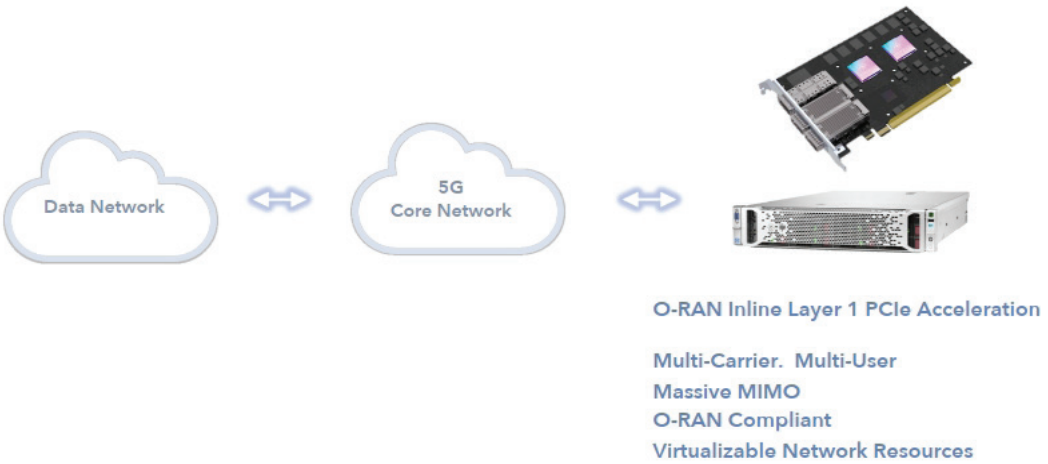
یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این فناوری قابلیت ارتقاء آن است. این ویژگی باعث جذابیت آن در میان طراحان شده است. آن‌ها مجموعه کاملی از ویژگی‌های این فناوری را دریافت می‌نمایند اما آن دسته از ویژگی‌ها که سفارش داده‌اند فعال خواهند بود. این فناوری با یک کلید نرم افزاری قابل ارتقاء است. برای مثال، طراحان می‌توانند دستگاهی با قابلیت‌های 4G را به صورت نرم افزاری به دستگاهی با قابلیت‌های 5G ارتقاء دهند.

عادل کیدوای اظهار داشت "مشکل تراشه قابل تنظیم با نرم‌افزار این است که همیشه از توان بیشتری نسبت به سخت‌افزار اختصاصی استفاده می‌کند. هرچند ما این روند را تغییر داده‌ایم و تراشه EdgeQ کمتر از ۲۰ وات توان مصرف می‌کند."

استفاده از کارت PCIe

EdgeQ همچنین تراشه قابل تنظیم خود را روی کارت PCIe پیکربندی کرده است. در این پیکربندی، کارت اترنت ۲,۲ گیگابیت بر ثانیه را با استفاده از پروتکل‌های eCPRI[۵] برای عملکرد به‌عنوان یک واحد رادیویی (RU)[۶] سازگار با O-RAN و واحد توزیع (DU) فراهم می‌کند. این کارت که در داخل

5- Evolved Common Public Radio Interface
6-Radio unit



شکل ۲. ایستگاه پایه EdgeQ روی یک تراشه روی کارت PCIe برای کاربردهای Open RAN کار می‌کند [۱]

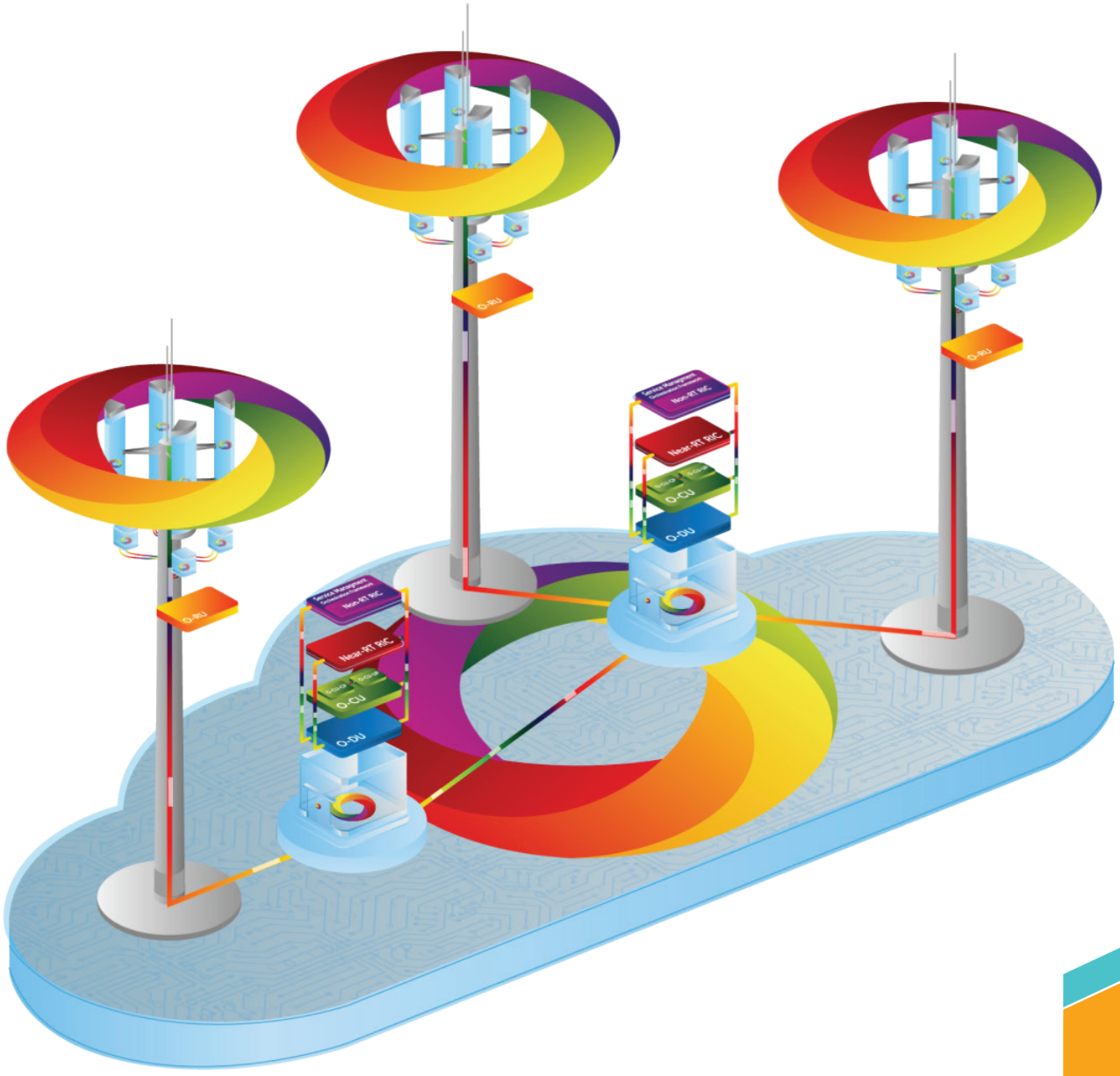
EDGE Q
5G WITH AN EDGE

یک کامپیوتر COTS اجرا می‌شود، کامپیوتر را به یک سرور RU سازگار با O-RAN تبدیل می‌کند. این کارت همچنین به‌عنوان یک شتاب دهنده RU[7] عمل می‌کند. کارت PCIe شامل دو تراشه EdgeQ است. این پیکربندی برای اجرا با استفاده از هر یک از تقسیم‌بندی‌های عملکردی[8] O-RAN، از گزینه ۱ تا گزینه ۸، قابل تنظیم است. هنگام اجرای گزینه ۱، RU، DU و واحد متمرکز (CU) در یک تراشه قرار می‌گیرند. رادیو درون تراشه EdgeQ می‌تواند با مدولاسیون 256QAM در فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز (FR1) کار کند. هنگام کار به‌عنوان یک سلول ماکرو، برد PCIe به‌عنوان یک شتاب دهنده RU عمل می‌کند که لایه فیزیکی 4G و 5G را اجرا می‌کند. سپس نرم‌افزار L2 را با سرعت 2.2 گیگابیت بر ثانیه و یک رابط eCPRI در گزینه 7.2 اجرا می‌کند. بنابراین، تراشه می‌تواند یک سلول کوچک یا هر چیزی از طریق یک سرور DU باشد که با O-RAN سازگار است. شکل ۲ ایستگاه پایه EdgeQ روی یک تراشه روی کارت PCIe را نمایش می‌دهد.

7- Radio unit
8- Split points

منابع:

[1] https://www.5gtechnologyworld.com/edgeq-demos-ic-for-base-stations-pcie-card-for-open-ran/



اینفوگرافی
Infographic

وضعیت پیاده‌سازی Open-RAN در جهان

اپراتور Vodafone

در ژانویه ۲۰۲۲، اولین سایت 5G Open RAN خود را در شبکه تجاری فعال کرد. این پیاده‌سازی با استفاده از نرم‌افزار / رادیوهای RAN سامسونگ، سرورهای دل و اینتل و پلتفرم مدیریت نرم‌افزار Wind River Studio صورت گرفت. Vodafone قصد دارد حدود ۲۵۰۰ سایت به طور عمده در مناطق روستایی توسعه دهد.

اپراتور Telefónica

Telefónica شبکه ای به نام Internet para Todos شامل ۶۵۰ سایت مخابراتی در پرو ساخته است که حدود نیمی از آن، سایت های Open RAN با تجهیزات شرکت Parallel Wireless هستند. در فوریه ۲۰۲۲ نیز، Telefónica یک شبکه سلول کوچک 5G SA با Open RAN در آزمایشگاه فناوری و اتوماسیون خود راه‌اندازی و آزمایش کرد. در این شبکه از پلتفرم FSM 100 RAN شرکت کوالکام استفاده شده و از دو طیف فرکانسی پایین ۶ گیگاهرتز و امواج میلی‌متری پشتیبانی می‌کند.

اپراتور Bharti Airtel

در ژوئن ۲۰۲۲، اعلام کرد که با مشارکت Mavenir، موفق به پیاده‌سازی و آزمایش اولین شبکه 5G Open RAN هند شده است. این آزمایش روی باند فرکانسی ۳۵۰۰ مگاهرتز، در حالت استقراری NSA انجام شده است.

اپراتور British Telecommunications (BT)

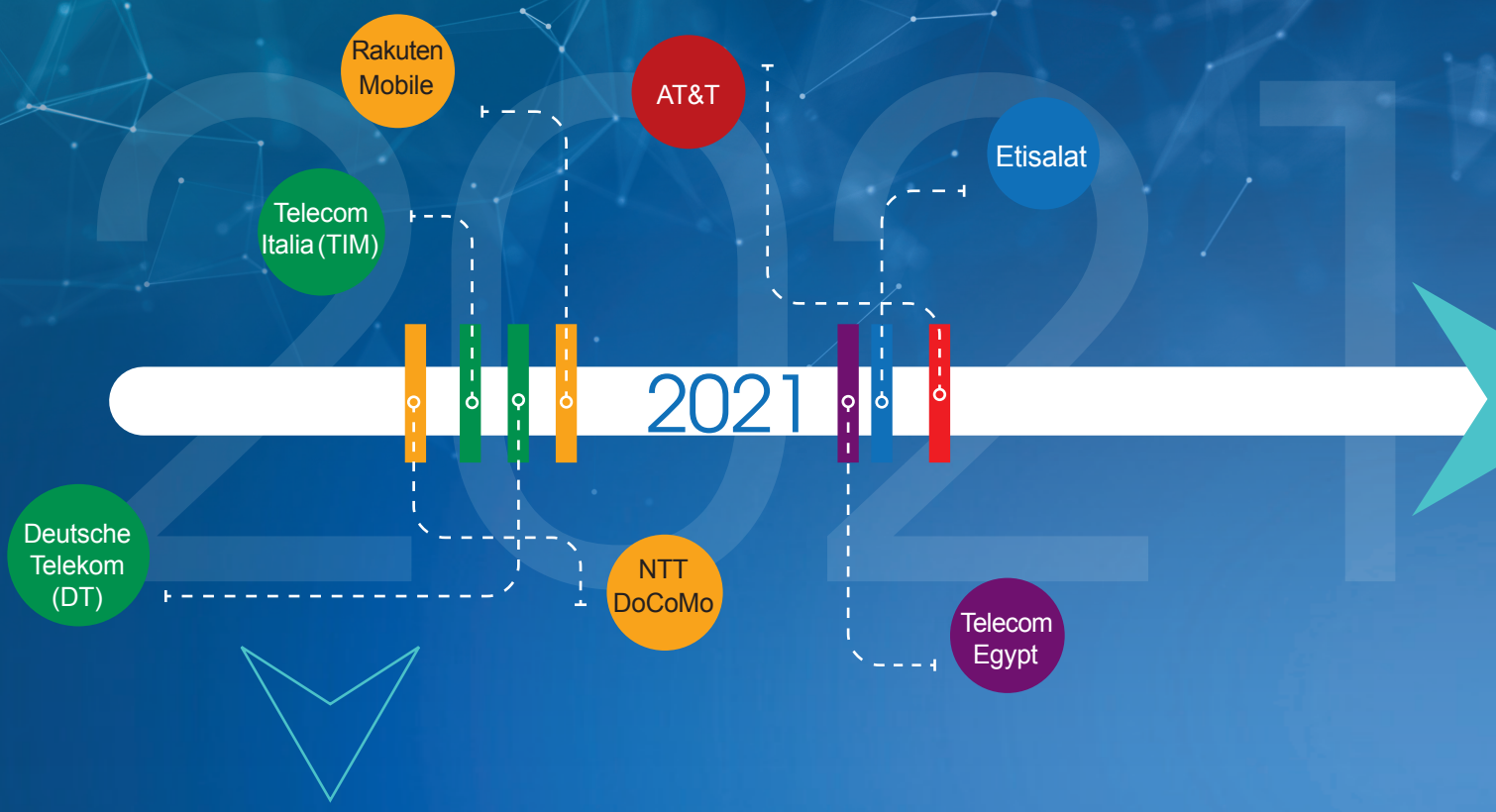
در ژانویه ۲۰۲۲، اعلام به پیاده‌سازی نسخه آزمایشی Open RAN با RIC نوکیا نمود. فاز اولیه این پروژه بر روی RIC بلادرنگ و استقرار در مناطق شهری در فضای باز متمرکز است.

اپراتور Dish

در ۱۴ ژوئن ۲۰۲۲، دیش اعلام کرد که به بیش از ۲۰ درصد از جمعیت ایالات متحده خدمات پهن‌باند 5G ارائه می‌دهد. شبکه چند وندوری Open RAN 5G SA دیش مبتنی بر شبکه RAN ابری سامسونگ و Mavenir (تجهیزات O-DU و O-CU)، O-RU‌های فوجیتسو و MTI، هسته/ IMS نوکیا روی زیرساخت ابری AWS و مدیریت ابر مخابراتی Vmware است.

اپراتور Türk Telekom

در فوریه ۲۰۲۲، همکاری خود را با شبکه‌های Parallel Wireless و Juniper برای ارائه ابتکار چند وندوری Open RAN در راستای ارائه پیشرفته‌ترین ارتباطات پهن باند اعلام کرد. این اپراتور در حال توسعه فناوری RIC برای Open RAN در مرکز نوآوری Türk Telekom است.
اپراتور Vodafone ترکیه نیز در حال آزمایش عناصر Open RAN در آزمایشگاه R&D خود در ترکیه است.



اپراتور NTT DoCoMo

در پایان سال ۲۰۲۱، NTT DoCoMo بیش از ۱۰ هزار ایستگاه پایه مبتنی بر 5G Open RAN با استفاده از تجهیزات CU/DU شرکت نوکیا و تجهیزات RU شرکت فوجیتسو پیاده‌سازی کرد. این اپراتور در انتهای مارچ ۲۰۲۲، پیاده‌سازی ۲۰ هزار سایت دیگر را به ثبت رسانده و ۱۰ میلیون از ۸۲ میلیون مشترک خود را با سایت‌های 5G Open RAN سرویس‌دهی می‌کند.

اپراتور Rakuten Mobile

راکوتن شبکه موبایلی کاملا مجازی 5G با ۲۷۵ هزار سایت Open RAN پیاده کرده است. برای توسعه این شبکه از تجهیزات، نرم افزار و خدمات شرکت‌های اینتل، سیسکو، نوکیا، کوالکام، آلتیوستار، NEC، Mavenir و Airspan استفاده می‌کند.

اپراتور Telecom Egypt

این اپراتور در جولای ۲۰۲۱ اعلام کرده است که با پشتیبانی Altiostar، Cisco و Telecom Infra Project (TIP) در حال کار بر روی آزمایش اثبات مفهوم راه‌حل‌های Open RAN در مصر است.

اپراتور Telecom Italia (TIM)

در سپتامبر ۲۰۲۱، اولین اتصال 5G Open RAN را روی باند فرکانسی 3.7 گیگاهرتز در در آزمایشگاه نوآوری TIM در تورین پیاده‌سازی کرد، این پروژه با همکاری وندورهای متعددی نظیر Mavenir در بخش رادیو/ هسته، Dell و Intel در زیرساخت و پلتفرم VMware Telco Cloud صورت گرفت.

اپراتور Deutsche Telekom (DT)

در سال ۲۰۲۱، با بهره‌گیری از RAN مجازی شرکت Mavenir، باند پایه 4G/5G ابری‌سازی شده و آنتن AAU با قابلیت mMIMO موفق به ارائه خدمات 4G و 5G مبتنی بر ORAN در ۲۵ شهر در کشور آلمان شد.

اپراتور Etisalat

در جولای ۲۰۲۱، اتصالات به همراه چهار اپراتور دیگر خاورمیانه (STC، Zain، Mobily و Du) یادداشت تفاهمی برای پیشبرد راه‌حل‌های Open RAN در شبکه مخابراتی خود امضا کردند. در مارس ۲۰۲۲، اپراتورهای خاورمیانه اولین آزمایشگاه آزمایش متمرکز Open RAN منطقه را با همکاری پروژه Telecom Infra (TIP) و اینتل تأسیس کردند. این آزمایشگاه امکانات مشترک و دسترسی به فناوری های اینتل را برای اعضا و وندورها فراهم می‌کند.

اپراتور AT&T

این اپراتور از سال ۲۰۱۸ با همکاری در تاسیس O-RAN Alliance فعالیت خود را در این زمینه آغاز و در سال ۲۰۲۰ موفق به پیاده‌سازی سایت Open RAN روی باند 5G mmWave با استفاده از تجهیزات سامسونگ در آزمایشگاه 5G خود شد. این اپراتور با همکاری نوکیا موفق به پیاده‌سازی Near-RT RIC شده و در سال ۲۰۲۱ پیاده‌سازی آزمایشی Open RAN با Near-RT RIC را روی باندهای فرکانسی 5G mmWave و FR1 در حالت استقراری 5G NSA انجام دادند.

موضوعات کلیدی تحقیق و توسعه روی نسل ششم مخابراتی (6G)، مکنزی ۲۰۲۳

JCAS

طراحی فناوری‌ها و راه‌کارهای نوین در شبکه‌های رادیویی

تکامل راه‌کارهای داپلکسینگ، Giga-MIMO، فناوری‌های امواج میلی‌متری، برقراری ارتباطات فرازمینی، RISها، روش‌های جدید کدگذاری، بهینه‌سازی مصرف انرژی، توسعه فناوری ارتباطات و حسگری همزمان (JCAS)

معماری شبکه مقیاس‌پذیر

افزایش مقیاس‌پذیری شبکه‌های مخابراتی با مجازی‌سازی، ابری‌سازی و توسعه مفاهیم رابط باز مانند Open-RANها، بهره‌گیری و توسعه راهکار MEC

توسعه جهان مجازی

توسعه به‌کارگیری فناوری‌های مبتنی بر واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، گسترش بهره‌گیری از متاورس در صنایع متفاوت

AI

بهره‌گیری از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در ارتباطات E2E

طراحی داده محور شبکه ارتباطی با بهره‌گیری از مدل‌های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه عصبی

E2E

گسترش طیف فرکانسی و به اشتراک‌گذاری آن

گسترش طیف فرکانسی به باند تراهرتز، بهره‌گیری از مدل‌های جدید به اشتراک‌گذاری طیف و راه‌کارهای هماهنگی پویا در استفاده از فرکانس

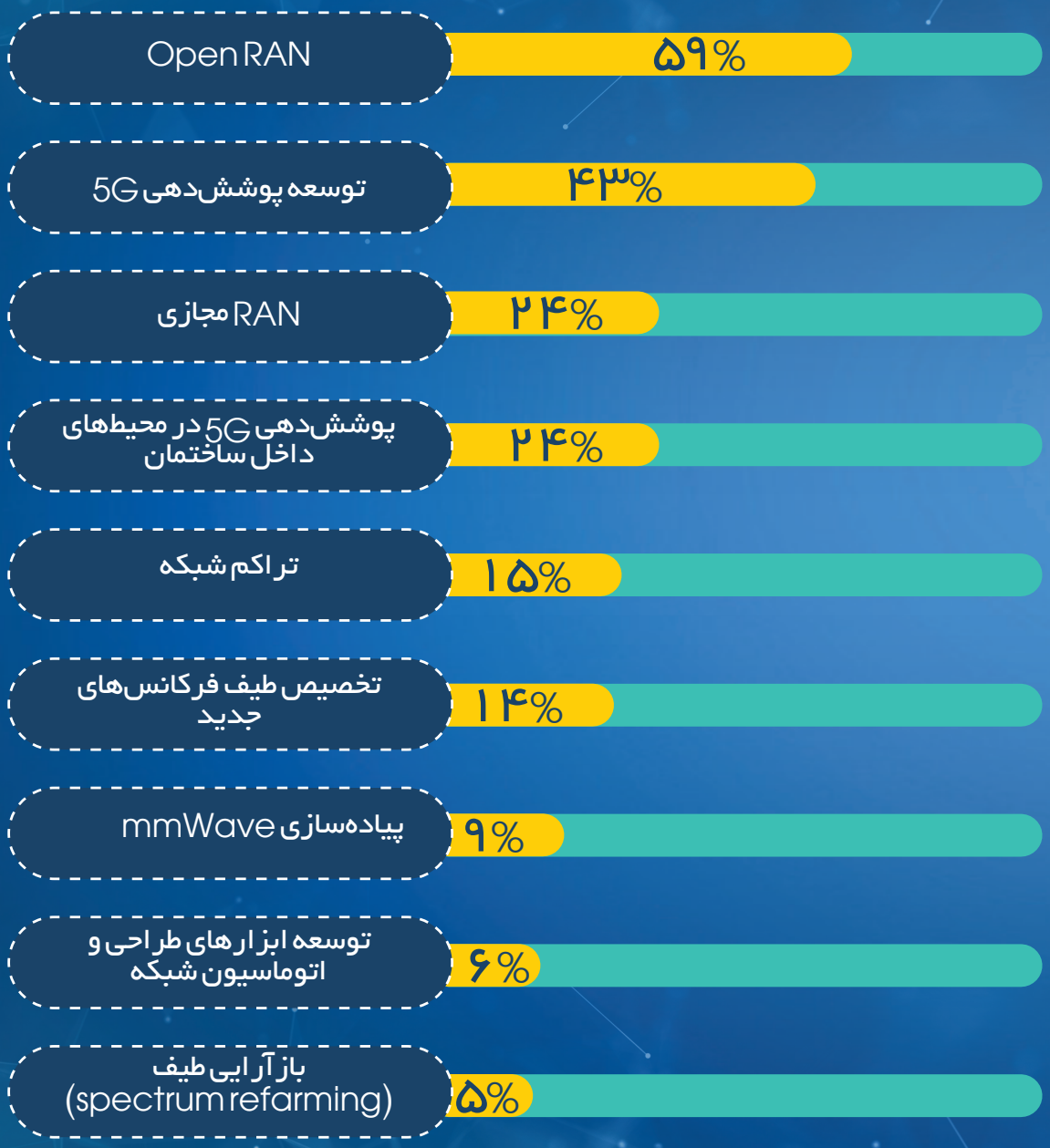
پیشبرد مفهوم تاب‌آوری در مخابرات

توسعه مفاهیم اعتماد چند وجهی و امنیت قابل تنظیم، امنیت پست کوانتومی، شبکه‌های مقاوم در برابر خرابی‌ها و حملات

MCI

مهم‌ترین حوزه‌های سرمایه‌گذاری در زمینه شبکه‌های رادیویی برای ارائه خدمات موفق 5G در ۲ سال آینده؛ نتیجه نظرسنجی از ۱۰۰ اپراتور پیشرو

GSMA Intelligence 2022



دستاوردهای

مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

در توسعه راهکارها و فناوری‌های حوزه شبکه‌های رادیویی

طراحی سامانه RRU با فناوری TDD

هدف از انجام این پروژه دستیابی به دانش طراحی و فناوری به کار رفته در ساخت RRU مورد استفاده در شبکه تلفن همراه است. با دستیابی به این دانش، زمینه بومی‌سازی RRU در کشور فراهم شده و شبکه تلفن همراه از RRU بومی بهره‌مند خواهد شد.

مانیتورینگ ریپیترهای همراه

در این پروژه یک ماژول مانیتورینگ طراحی و ساخته شده که ارزیابی عملکرد ریپیتر و ارسال خطا از طریق آن انجام خواهد شد. همچنین با استخراج کدهای مانیتورینگ ریپیترهای مجهز به سیم کارت در شبکه همراه اول، اطلاعات حاوی خطاهای رخ داده در ریپیترها از طریق سامانه تیکتینگ به واحد پشتیبانی اطلاع داده‌می‌شود تا در اولین فرصت رفع اشکال انجام شود. برای ریپیترهای فاقد سیم کارت نیز یک ماژول مانیتورینگ طراحی و ساخته شده که ارزیابی عملکرد ریپیتر و ارسال خطا از طریق آن انجام خواهد شد.

مودم‌های پرظرفیت (IDU لینک‌های مخابراتی)

برای تأمین ظرفیت بالای انتقال داده توسط لینک‌های مخابراتی، عمده ضعف شرکت‌های داخلی در قسمت پردازش (مودم و سوئیچ) لینک‌ها است که در این راستا مرکز تحقیق و توسعه برای رفع این مشکل با سرمایه‌گذاری در شرکت‌های داخلی بر آن شده تا دانش ساخت مودم‌های پرظرفیت تا یک گیگابیت بر ثانیه را در کشور ایجاد نماید. هم اکنون با ایجاد این بستر در کوتاه‌ترین زمان ممکن امکان ساخت لینک‌های پرظرفیت ماکروویو امکان‌پذیر است.

FSO صنعتی

هدف این پروژه برقراری ارتباط نقطه به نقطه نوری در فاصله ۲ کیلومتری با نرخ بیت ۱۰۰۰ مگابیت بر ثانیه جهت استفاده در شبکه‌های تلفن همراه است. این تکنولوژی به‌خصوص در مواقعی که پهنای باند بالا در فرکانس‌های آزاد شبکه‌های موبایل و لینک مخابراتی با امنیت بالا نیاز باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

لینک‌های E-Band

از لینک‌های Eband به‌دلیل در دسترس بودن پهنای باند آزاد بیشتر نسبت به لینک‌های ماکروویو برای مناطق پرظرفیت شهری استفاده می‌گردد. از پهنای باند وسیع باند E در 5G برای دستیابی به پهنای باند مورد نیاز شبکه بک هال –ارتباط زیر ساخت اصلی مخابرات به برج‌های تلفن همراه زمینی و HAPS –استفاده می‌شود. درحال‌حاضر تنها باند فرکانسی تجاری در این باند ۷۱- ۸۱ گیگاهرتز است که برای شبکه‌های متراکم 5G جایگزین خوبی برای شبکه‌های فیبر است. هدف از این پروژه آماده کردن زیرساخت 5G و جایگزینی مناسب برای شبکه‌های فیبر نوری در مکان‌هایی که زیرساخت فیبر وجود ندارد، است.

لینک‌های کم ظرفیت ماکروویو

امروزه به‌منظور افزایش سرعت، بهبود کیفیت، کاهش هزینه‌ها و زمان نصب و راه اندازی از لینک‌های مخابراتی مایکروویو استفاده می‌گردد. مرکز تحقیق و توسعه با همکاری معاونت فنی و توسعه شبکه همراه اول برای بهره برداری از تخصص نیروهای داخلی بر آن شده تا درصدی از لینک‌های مخابراتی مورد نیاز خود را از طریق شرکت‌های ایرانی تأمین کند. از این لینک‌ها به‌دلیل مقرون به صرفه تر بودن نسبت به لینک‌های خارجی در پروژه USO بهره‌مند خواهیم شد.

طراحی، توسعه و بومی سازی آنتن چند باندی هیبریدی FDD + TDD

این پروژه در راستای تحقیق اهداف بومی‌سازی آنتن‌های ایستگاه‌های پایه (BTS) تعریف شده است. با توجه به ماهیت این آنتن که متشکل از فناوری‌های TDD و FDD به‌طور توأمان و همچنین پشتیبانی کردن از باندهای فرکانسی نسل‌های مختلف مخابرات سلولی از 2G تا 5G است، فاز تحقیقاتی پروژه از اهمیت بالایی برخوردار است و رسوب دانش آن می‌تواند در فرآیند بومی‌سازی آنتن‌های ایستگاه پایه نقشی اساسی ایفا کند.

راهنمای مطالب ارسالی به فصلنامه فناوری همراه

نشریه فناوری همراه، مطالب دریافتی را در چهار بخش رصد فناوری، ابزار فناوری، اخبار فناوری و بینش فناوری پذیرش کرده و منتشر می‌کند. انتظار می‌رود در بخش **رصد فناوری**، مقالات و گزارش‌های ترویجی پیرامون فناوری‌های نوظهور، کاربست‌ها، ورتیکال‌ها و رهیافت‌های نوین فناورانه دریافت شود.

در بخش **ابزار فناوری** به معرفی نهادها، کنفرانس‌ها، نمایشگاه‌ها، وبسایت‌های آموزشی و... پرداخته می‌شود.

در بخش **اخبار فناوری** آخرین اخبار و تحلیل‌های مربوط به صنعت ICT جهان در حوزه سرمایه‌گذاری‌ها، توسعه محصولات، لانچ‌ها و... به چاپ خواهد رسید. بخش **بینش فناوری** نیز به معرفی و تحلیل فرآیندهایی مانند جریان‌های تحقیق و توسعه فناوری، انتقال فناوری، همکاری‌های فناورانه و برنامه‌ریزی‌های راهبردی در حوزه فناوری‌های جدید تلکام می‌پردازد.

ویژگی‌های مطلب ارسالی

- به ازای هر ۵۰۰ کلمه یک سوتیتر مناسب ارائه شود (۳۰ الی ۸۰ کلمه)؛
- برای هر گزارش حداقل ۳ منبع به روز (بعد از ۲۰۱۹) استفاده شود (در صورتی که منبعی اعتبار بالایی داشته باشد با تأیید دبیر کمیته تخصصی یک منبع کافی است؛ همچنین اگر منبعی از اعتبار بالا برخوردار بوده ولی مربوط به قبل از ۲۰۱۹ باشد، قابل قبول است)؛
- بازه زمانی اخبار و تحلیل حداکثر برای ۱ ماه گذشته باشد؛

ترتیب عناوین مقالات و گزارش‌ها

مقالات به طور دقیق شامل این عناوین باشد: چکیده، کلیدواژه‌ها، مقدمه، بدنه اصلی، نتیجه‌گیری، معرفی منابع.

- چکیده فارسی شامل گزیده‌ای از مطلب بوده و به روند مقاله از ابتدا تا نتایج اشاره دارد. چکیده مقاله، نباید کمتر از ۱۵۰ کلمه و بیشتر از ۲۵۰ کلمه باشد.
- در قسمت کلیدواژه‌ها باید حداقل ۳ و حداکثر ۵ واژه بوده که با کاما (،) از هم جدا شده و در یک خط و به ترتیب اهمیت‌شان آورده شود.
- در قسمت مقدمه به صورت کوتاه به موضوع و اهمیت آن اشاره کرده و ذهن خواننده را برای ورود به بدنه اصلی گزارش آماده کنید.
- در قسمت بدنه اصلی گزارش نتیجه رصد فناوری که در حوزه تخصصی خود انجام داده‌اید را با لحنی ساده و روان ارائه دهید.
- در قسمت نتیجه‌گیری، نتیجه گزارش از زبان نویسنده بیان گردد (۱۰۰ الی ۲۰۰ کلمه).
- منابع به ترتیب حروف الفبا و بر اساس یکی از سبک‌های معتبر رفرنس‌دهی در پایان گزارش ارائه شود.

ترتیب مطلب اخبار، و تحلیل‌ها

این نوع از مطالب به طور دقیق شامل این تیترها باشد: بدنه اصلی و منابع.

- در قسمت بدنه اصلی متن را با لحنی ساده و روان ارائه دهید.
- منابع به ترتیب حروف الفبا و بر اساس یکی از سبک‌های معتبر رفرنس‌دهی در پایان ارائه شود.

فونت

متن اصلی به صورت تک‌ستونی با قلم (فونت) B Mitra و اندازهٔ pt. ۱۴ و عناوین بخش‌ها با همین قلم و به صورت بولد تایپ شود.

حجم

- حجم مقالات بین ۱۴۰۰ الی ۲۰۰۰ کلمه باشد؛ (شامل چکیده ۱۵۰ الی ۲۵۰؛ سوتیتر ۳۰ الی ۸۰؛ نتیجه‌گیری ۱۰۰ الی ۲۰۰ و بقیه بدنه اصلی گزارش)
- حجم اخبار، و تحلیل‌ها بین ۵۰۰ الی ۱۰۰۰ کلمه باشد.

تصاویر و جداول

لازم است تصاویر مرتبط با مطلب با کیفیت بالا ارائه شده و به ترتیب به صورت شکل ۱، شکل ۲ و... شماره‌گذاری شوند.

همچنین لازم است جداول به زبان فارسی بوده و از گذاشتن جداول به صورت عکس و با زبان انگلیسی خودداری شود. جداول باید به ترتیب به صورت جدول ۱، جدول ۲ و... شماره‌گذاری شده و در نخستین مکان ممکن پس از اولین اشاره در متن قرار گیرند.

ارزیابی محتواهای ارسالی از منظر ۳ پارامتر زیر انجام خواهد شد:

- کیفیت کلی محتوا (بروز بودن، رعایت رویکرد دیده‌بانی، جذابیت و...)؛
- رعایت اصول نگارشی فصلنامه (داشتن بخش چکیده و نتیجه‌گیری، رعایت استاندارد ۱۴۰۰ الی ۲۰۰۰ کلمه، رعایت فونت‌ها، نکات ویرایشی، فوت‌نوت و...)؛
- کیفیت ترجمه (سلیس و روان بودن با رعایت امانت در انتقال محتوا)؛
- امتیاز نهایی پس از داوری ارزیابان فنی محتواها، عددی بین ۰ تا ۱۰۰ خواهد بود که در قالب جدول زیر انجام می‌شود:

ردیف	بازه امتیازات	سطح	وضعیت
۱	۷۶ الی ۱۰۰	A	تأیید برای انتشار
۲	۵۱ الی ۷۵	B	تأیید برای انتشار
۳	۲۱ الی ۵۰	C	رد و انتشار در صورت وجود ظرفیت
۴	۰ الی ۲۰	D	رد

لازم است جداول زیر برای مقالات ارسالی بخش رصد فناوری تکمیل شود.

نام و نام خانوادگی:

رشته تحصیلی: مدرک تحصیلی:

دانشگاه: شغل:

جایگاه سازمانی:

سابق‌های کوتاه (رزومه علمی و تخصصی):

محل درج تصویر

جدول ۱- مشخصات نویسنده

ارتباط موضوع با فعالیت‌های فعلی همراه اول

☐ کم ☐ متوسط ☐ زیاد ☐ کاملا منطبق

قابلیت فناوری در ایجاد تحول در کسب‌وکار

☐ کم ☐ متوسط ☐ زیاد ☐ متحول کننده

فاز توسعه فناوری

☐ حضور کامل در بازار ☐ آماده‌سازی بازار

☐ محصول مفهومی و اولیه ☐ تحقیقات کاربردی و پایه

اقدام پیشنهادی برای همراه اول

☐ اصلا ورود نکند

☐ به رصد تحولات مربوطه بپردازد

☐ جهت ورود، آمادگی کسب کند

☐ نیاز به اقدام فوری است

جدول ۲- مشخصات فناوری رصد شده

فناوری همراه

Fanavari hamrah

فصل‌نامه علمی تحلیلی **«فناوری همراه»** از کلیه پژوهشگران و صاحب نظران دعوت می‌نماید تا **محتواهای علمی، تحلیلی** خود را درخصوص **فناوری‌ها** و **روندهای نوظهور صنعت تلکام** جهت انتشار در فصل‌نامه ارسال نمایند.

جهت کسب اطلاعات بیشتر

و دریافت شماره‌های منتشر شده به نشانی

https://mci.ir/web/rd/tech-scouting

مراجعه نمایید.

همراه اول

همراه فناوری

fanavari hamrah

نهمین شماره

فصل‌نامه فناوری همراه

5G

IoT

AI

ویژه نامه انقلاب صنعتی چهارم

زمان انتشار: زمستان ۱۴۰۲

Telecommunication Networks

همراه اول

مجموعه هکاتون‌های 5G مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

هکاتون شماره ۱: راهکار درخواست سرویس با کیفیت تضمین شده بر مبنای پیاده سازی تابع عملکردی NEF در شبکه 5G

۲ میلیارد ریال جایزی نقدی برای تیم‌های برگزیده

مزایای شرکت در رویداد:

- امکان همکاری و جذب افراد مستعد در همراه اول
- امکان عقد قرارداد و سرمایه‌گذاری در تیم‌های برتر
- امکان بهره‌مندی از امتیاز نخبگانی
- اعطای گواهی شرکت در رویداد

ثبت نام کنید

https://mci.ir/web/rd/5ghackathon

ریاست جمهوری
معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان
ستاد توسعه فناوری های اتصال پذیری و ارتباطات

مرکز تحقیق و توسعه
همراه اول

شبکه‌های رادیویی قلب تپنده کسب‌وکار اپراتورهای مخابراتی بوده و همواره نقشی اساسی در تدوین سیاست‌گذاری‌های این سازمان‌ها و پیشبرد اهدافشان ایفا می‌کنند. اهمیت بالای این بخش در کنار روند فناورانه حاکم بر بازار زیرساخت‌های سخت‌افزاری و ندورهای صنعت تلکام سبب شکل‌گیری ذهنیتی در اپراتورهای مخابراتی شده است که مانع انطباق اپراتورها با تحولات صنعت تلکام مبتنی بر مجازی‌سازی و نرم‌افزارسازی زیرساخت‌ها می‌گردد و در نهایت باعث می‌شود تا ساختار شکل‌گرفته از انعطاف‌پذیری خوبی برخوردار نبوده و هرگونه توسعه نیازمند سرمایه‌گذاری سنگین باشد. در این خصوص معتقدیم که اپراتورها باید از ساختارهای سنتی مبتنی بر سخت‌افزار کنونی خود فاصله گرفته و با اعمال تغییرات گسترده نظیر مجازی‌سازی حداکثری و بهره‌گیری از فناوری‌های جدید به چابک‌سازی شبکه و فرایندهایشان روی آورند. در توسعه فناوری‌های جدید، باید توجه نمود که شبکه **5G** تنها یک جزء از تصویر کل صنعت مخابرات است و اپراتورها باید به دیگر فناوری‌های ارتباطی نیز توجه ویژه داشته باشند. لذا تحولاتی که در صنعت تلکام رخ می‌دهد فقط به استانداردهای **5G** محدود نمی‌شود، بلکه تحت تأثیر طیف گسترده‌تری از پیشرفت‌های فناوری است. این پیشرفت‌ها و تحولات بر نحوه ساخت و عملکرد شبکه‌ها و همچنین مدل‌های نظارتی و تجاری حاکم بر صنعت تأثیر می‌گذارد. بنابراین، اپراتورهای مخابراتی در مسیر تحول و کسب آمادگی برای نیازهای آینده، باید بازنگری‌هایی در چشم‌انداز خود داشته و این تفکر را که تنها نقطه کنترل‌کننده در تامین سرویس‌های مخابراتی برای مشتریان هستند کنار بگذارند و سعی بر شکل‌دهی همکاری‌های موثر با بازیگران جدید این حوزه داشته باشند. زیرا در دوران تحول، تنها اپراتورهایی که بتوانند با نوآوری و تطبیق با شرایط جدید پاسخگو باشند، موفق خواهند بود.

مرکز تحقیق و توسعه همراه اول

نشانی: تهران، بلوار افریقا، خیابان یزدان پناه، نبش کوچه دبیر، پلاک ۳
کدپستی ۱۹۶۸۸۷۳۱۰۹ - مرکز تحقیق و توسعه همراه اول
تلفن: ۸۶۰۸۷۱۹۸-۰۲۱ و ۸۶۰۸۷۱۹۲-۰۲۱
تلفکس: ۸۸۶۶۴۴۳۸-۰۲۱