

همراه فناوری

fanavari hamrah

فصلنامه‌ی تحلیلی خبری • بهار ۱۴۰۲

5G

AI

IOT

BIG Data

Cloud

شبکه‌های دسترسی
رادیویی ابری
نسل پنجم

تحقق لینک‌های
مخابراتی پویا
به وسیله RIS و SWIPT

استفاده از یادگیری
ماشین در شکل‌دهی
پرتو امواج میلی‌متری

شبکه‌های رادیویی:
انقلابی در حوزه
xRAN



شبکه‌های رادیویی قلب تپنده کسب و کار اپراتورهای مخابراتی بوده و همواره نقشی اساسی در تدوین سیاست‌گذاری‌های این سازمان‌ها و پیشبرد اهدافشان ایفا می‌کنند. اهمیت بالای این بخش در کنار روند فناوریانه حاکم بر بازار زیرساخت‌های سخت‌افزاری و هندورهای 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 شکل گرفته 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
هراه اول

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

راهبردهای اپراتورهای مخابراتی در دوران تحولات فناوری و تجاری
نگاهی بر نقش شبکه‌های مخابراتی و فناوری‌های مکمل ۲

مصاحبه Interview

- نشست ویژه شبکه‌های رادیویی ۸
- تحقیق و توسعه در صنعت ICT؛
چالش‌ها و فرصت‌های همکاری با دانشگاه ۱۶

رصد فناوری Technology Scouting

- بررسی روش‌های کاهش مصرف انرژی در شبکه دسترسی رادیویی 5G ۲۴
- استفاده از یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو امواج میلی‌متری ۳۲
- فناوری RIS و سیستم‌های Cell Free Massive MIMO در مخابرات بی‌سیم
نسل ۶ (6G) ۳۸
- پشتیبان ارتباطات اینترنت اشیاء
شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری نسل پنجم ۴۸
- تحقق لینک‌های مخابراتی پویا به وسیله RIS و SWIPT ۵۴
- آنتن‌های فراسطح بدون باند کناری (Sideband-free) با کدینگ فضا-زمان ۶۰
- بررسی چالش‌های سخت‌افزاری ساخت ایستگاه پایه نسل پنجم ۶۸
- طراحی و ساخت لامپ موج باند E برای لینک‌های بی‌سیم بانرخ داده بالا ۷۴

بینش فناوری Technlology Insight

- شبکه‌های رادیویی: انقلابی در حوزه xRAN ۸۴

ابزار فناوری Technology Tools

- معرفی 5G LLVienna ۹۴
- شبیه‌ساز پارامترهای لایه فیزیکی 5G ۹۴
- نمایه‌ای از رویدادها و همایش‌های جهانی در حوزه شبکه‌های رادیویی ۹۷

اخبار فناوری Technology News

- انتقال توان بی‌سیم به وسیله لیزر در ایستگاه‌های پایه اریکسون ۱۰۲
- اولین مازول آنتن 5G mmWave برای گوشی‌های هوشمند ۱۰۴
- راه‌اندازی ایستگاه پایه ماکرو 5G OpenRAN توسط کوالکام ۱۰۶
- آزمایش ادوات مخابراتی در شرایط محیطی بسیار سخت به وسیله آزمایشگاه Rohde & Schwarz ۱۰۸
- احداث آزمایشگاه تست و ارزیابی O-RAN توسط KEYSIGHT در اروپا ۱۱۰
- توسعه تراشه EdgeQ برای ایستگاه‌های پایه ۱۱۲
- اینفوگرافی ۱۱۵

همراه فناوری

No. ۸

fanavari hamrah

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

مدیر مسئول: حمید بهروزی

سر دبیر: 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 خیام‌باشی

علیرضا صوفی نژاد، مهدی طاهرخانی

حسین کامرانی، امیرحسین محمدی

عکاس:

سید میثم موسوی

گرافیکست اینفوگرافی و پوستر:

ایمان رفاقتی

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 شکل گرفته 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 حد اکثری 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 به‌گریبان 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، به‌طوری‌که 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) 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 با ظهور مکانیزم‌های جدید توسعه و مدیریت شبکه‌ها، اپراتورها از ترکیبی از منابع خود و زیرساخت 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



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 FTTH 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 5G، Open RAN، 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

شد. زیرا فعالیت آن‌ها در یک زیرساخت اشتراکی صورت می‌گیرد. امروزه ارائه‌دهندگان کاربردهای نوظهور شبکه‌های مخابراتی نظیر سرویس‌دهندگان تخصصی پوشش‌دهی فضاهای داخلی ساختمانی، اپراتورهای ماهواره‌ای و ارائه‌دهندگان سرویس اینترنت (ISP) 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 به شمار نروند، اما اهداف مشابهی را دنبال می‌کنند. در این راستا، شکل‌گیری انواع جدیدی از سرویس‌ها نظیر پیاده‌سازی کارخانه هوشمند و بهره‌گیری از فناوری‌های اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال نیز منجر به توسعه این گونه 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 ارائه‌دهندگان 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 پهن‌بند ثابت در منازل منجر به افزایش اهمیت توسعه شبکه فیبر نوری و در ادامه آن حضور بازیگران

2- Internet service provider



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 پوشش دهی مخابراتی در جایی که در کنار نیاز به اینترنت پهن‌بند، اتصالات اینترنت اشیا 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 راه کارهای 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

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)، رایانش ابری^۴، مجازی‌سازی^۵ 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 اتخاذ رویکرد راهبردی و تحول آفرین از سمت اپراتورهای مخابراتی و همچنین سازمان‌های تأثیرگذار مانند سازمان‌های تنظیم مقررات است و نیاز است این مسیر توسط نهادهای تصمیم‌گیرنده در سازمان‌ها و شرکت‌های مخابراتی با جدیت پیموده شود. به طور مثال، بهره‌گیری از روش‌های متنوع ارائه پوشش دهی مخابراتی مناسب از مواردی است که به

- 3- Artificial intelligence
- 4- Cloud computing
- 5- Virtualization

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، به طوری که دوقلو دیجیتال کپی شده به صورت بلادرنگ به روزرسانی شده و مانند مدل واقعی واکنش‌های خود را نسبت به محیط نشان می‌دهد. همانطور که این فناوری در بسیاری از صنایع به کار گرفته شده و منجر به نتایج ارزشمندی در بهبود فرایندها می‌شود، در صنعت تلکام نیز می‌تواند موثر عمل کرده و به‌طور مثال، به منظور بهینه‌سازی و ارزیابی عملکردها و راهبردهای شبکه‌های مخابرات بی‌سیم از طریق شبیه‌سازی فرایندهای کسب و کار (BPS) مورد استفاده قرار گیرد. در این صورت این فناوری اپراتورها را توانمند می‌کند تا یک کپی دقیق از فرایندهای کسب و کار خود را امتحان 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 دوقلو دیجیتال تولید کرد، به طوری 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؟

است‌نهادهای تنظیم‌گر و سیاست‌گذار خود را با تحولات به وجود آمده در اهداف و چشم‌انداز 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 دست‌اندرکاران 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 مرحله‌ای از بازنگری در مؤلفه‌های شبکه‌ها، سیاست‌ها و راهبردها را در دستور کار خود قرار دهند، به طوری که این فرآیند موجب طراحی شبکه‌های 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 پیش‌نیامده‌اند. به طوری 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]:

آمد [۵]

C-V2X 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 در باره 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 درآمذایی را برای خود ایجاد کنند [۶]

مدل‌های تجاری جدید و حضور بازیگران متنوع

فناوری‌ها و خدمات جدید اتصال ماهواره‌ای؛ نحوه

تطبيق 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 قابلیت‌ها را 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 اشیا مبتنی بر ماهواره استفاده شوند. در نتیجه، فناوری‌های نوآورانه مانند شبکه‌های 5G، هوش مصنوعی و ماهواره‌های نانو بر عملکرد سیستم‌های ارتباطات تأثیر به‌سزایی خواهند گذاشت. این پیشرفت‌ها سرعت، ظرفیت، قابلیت اعتماد

7- Cellular Vehicle-to-Everything

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 به‌ارمغان 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 اشیاء را به هم متصل می‌کند و فراتر از قابلیت‌های ارتباطی بهبود یافته، توانمندی ترکیبی از هوش مصنوعی، حسگرهای یکپارچه و فناوری‌های سبک‌وزن را به‌طور کامل به‌ارمغان 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 تقریباً 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، به‌طوری‌که در این ساختار سازمان‌ها قادر خواهند بود هر مؤلفه از شبکه 5G خصوصی خود را تحت کنترل خود در آورند. نظیر شبکه‌های Wi-Fi شرکتی، شبکه‌های 5G خصوصی کنترل کاملی بر منابع شبکه خود و نحوه توزیع آن منابع دارند. در شبکه‌های مخابرات خودروبی 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

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 کنترل کننده 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 Frackiewicz, The Advancements in Satellite Communication Technology: A Review, TS2 Space, 2023.
- [8] Filip de Greve, The rise of the open access network, Nokia, 2021.

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، به طوری که توسط چندین اپراتور به کار گرفته می‌شود. در واقع با به کارگیری از یک شبکه با دسترسی باز می‌توان از طراحی و ساخت ساختارهای تلکامی اضافه جلوگیری کرد. در این صورت ارگان‌های سرویس دهنده از این ساختارهای از پیش ساخته شده استفاده می‌کنند و این رویکرد سبب صرفه‌جویی قابل‌تأملی در به کارگیری منابع محدود هر اپراتور می‌گردد. به طور 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 سرویس‌دهندگان 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

نشست ویژه شبکه‌های رادیویی

شبکه‌های دسترسی رادیویی با انجام عملیات پردازشی سنگین و ایفای نقش کلیدی در ارسال امواج رادیویی به سمت کاربران و مسیریابی 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 به روزرسانی‌ها با دیگر بخش‌های شبکه، تعداد محدود و نودهای ارائه‌دهنده محصولات در دنیا و در نتیجه عدم رقابت پذیری و انتخاب محدود را برای اپراتورها به همراه می‌آورد. به ویژه 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 به کارگیری 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 سلیمی نژاد 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 تأثیرات آن بر بخش رادیویی شبکه، مسئله بومی‌سازی محصولات حوزه رادیویی و عمده فعالیت‌های مرکز تحقیق و توسعه در این حوزه و در نهایت تأثیر گسترش روابط صنعت با دانشگاه با نگاه توسعه محصولات حوزه رادیویی پاسخ داده‌اند.

service centric، تمامی اجزاء شبکه براساس 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 تقریباً 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

برای شروع، از آن‌جا که موضوع نشست شبکه‌های رادیویی است، لطفاً در خصوص این بخش از معماری شبکه برای مخاطبانمان صحبت کنید. می‌خواهیم بدانیم مرکز 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 (شامل گوشی‌های موبایل، مودم و با ظهور مفهوم IoT، سنسورها) برمی‌گردد. در حالی که عمده تمرکز اپراتورها همیشه بر نودهای بالادستی شبکه بوده است. به‌نظر من 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

1- User Equipment



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 راه کارها 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 است. چون تمرکز اصلی اپراتور روی کسب و کار اصلی آ و ارائه سرویس‌های اصلی مکالمه، پیامک و دیتا است. مرکز در این بخش می‌تواند به همراه اول کمک کند که مثلاً در حوزه NB-IoT و IoT، در ور تیکال‌های مختلف ورود کرده، با شرکت‌های ارائه دهنده سرویس و راه کار همکاری‌هایی شکل دهد و آزمایش سرویس‌های جدید را تار سیدن به یک پایلوت مناسب و قرار گیری در بدنه اصلی پیش ببرد.

حال که در مورد تغییرات نسل‌ها و تأثیرشان بر فعالیت‌های سازمان صحبت کردیم، این تحولات حتماً منجر به تغییراتی در بخش رادیویی شبکه (RAN) نیز شده‌اند. لطفاً 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 معمولاً از اوج خود فاصله گرفته و از بازار خارج می‌شوند. با این سرعتی



را متناسب با آن‌ها چابک کند. در این راستا، همراه اول برنامه توسعه‌ای در نظر گرفته است که در فازهای متفاوت، اقداماتی جهت به کارگیری 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، به طور 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 به وجود 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

- 2- New Business
- 3- Core Business



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، cRAN و SDN^۶ در این لایه از شبکه نیاز است.

مهم‌ترین 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^۹ 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 مثلاً 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)

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. مثلاً 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 به طوری 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^۴ و عمل جراحی از راه دور^۵ موتور

- 4- Smart Cities
- 5- Remote Surgery

موجودشان می آورند و کمتر کاربردها و سرویس های جدید را مدنظر قرار می دهند. پس ترندی که ما از آن صحبت می کنیم باید ابتدا یوز کیس آن اتفاق بیفتد و سپس اپراتورها و سازمان ها سراغ آن بروند که در حال حاضر خیلی این روند جاری نشده است. مثلاً در حوزه IoT سازمان ها آماده سرمایه گذاری نیستند و این انتظار را از اپراتورها دارند. پس اپراتورها در این مورد، باید در ایجاد نیاز نیز فعال باشند و سرویس های 5G را به هر هزینه ای ایجاد کنند. زیرا در موضوع 5G دیگر نباید تنها به فروش داده به صورت خام اکتفا کرد. تا زمانی که یوز کیس ها ایجاد نشود این تفاوت احساس نمی شود. به هر حال ترندها از کنار سرویس ها خواهند آمد. مثلاً با فناوری slicing در QoS¹¹، 5G چندین بعد می شود چون برای سرویس های مختلف نیاز شبکه متفاوت خواهد بود و برای نیاز های مختلف slice های متفاوت استفاده خواهد شد. اصلاً چنین مواردی در زمان 4G تعریف نشده بود. به عنوان مثال، در نمایشگاه کامپ امسال، مادر غرفه همراه اول تجربه MEC¹² را به بازدید کنندگان نشان دادیم که چه تغییری ایجاد خواهد کرد. پس برای رفتن سراغ فناوری های جدید ابتدا باید سرویس ها را ایجاد کنیم. به نظر می رسد که اپراتورها باید در ایجاد این نیازها و توسعه یوز کیس ها پیشگام باشند.

مهم ترین چالش هایی 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 هزینه های خرید و نگهداری، نیاز است به طریقی این موضوع برایشان جبران شود. پس تا زمانی که تعرفه با تورم اقتصادی کشور متناسب سازی نشود، سرمایه گذاری روی فناوری های جدید برای اپراتور بسیار مشکل است. الان تمام سرمایه گذاری هایی که اپراتور دارد با ریسک بالا است و این ریسک ها سمت اپراتور است که از سود خود بزند و وام های کلان بگیرد تا از فناوری عقب نماند. نکته ای که وجود دارد این است که سازمان های بالادستی مثل وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و دولت باید به کمک اپراتورها بیایند. توسعه 5G با یک کلید اتفاق نمی افتد. برای پیاده سازی

11- Quality of Service
12- Multiple-access Edge Computing



سرمایه گذاری برای فناوری های جدید صرفه اقتصادی برایشان ندارد. پس اپراتورها در توسعه فناوری هایی مانند 5G، با شرایطی روبه رو هستند که ممکن است بازار جذابیت داشته باشد ولی قادر به سرمایه گذاری در توسعه آن نباشد. به هر حال، نمی توان از این مسئله عبور کرد و 5G را پیاده سازی 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 نمی شود. موضوعی که در نسل جدید با آن مواجه هستیم مسئله سرویس محور¹⁰ بودن آن است. به این معنی که در نسل جدید، برای ارائه سرویس های متنوع، نیازمند تغییر در شبکه هستیم و تغییر در شبکه تغییر فناوری ها را به دنبال دارد. بنابراین تغییرات شبکه متناسب با سرویس های متناظر خواهد بود. مثلاً برای ارائه سرویس های جدید، ابتدا باید فناوری هایی مانند SDN، Cloudification، Virtualization و SDN اتفاق بیفتد. در خصوص 5G نیز این اتفاق باید بیفتد. الان تقریباً ۵۰ درصد سازمان ها 5G را فقط برای بهینه سازی فرایند

10- service oriented

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 می‌افتد بروند. برای این موضوع به نظر استفاده از توان تحقیق و توسعه برای پیاده‌سازی پایلوت‌ها بهترین گزینه است.

لطفاً در خصوص تحقیق و توسعه روی حوزه رادیویی و مهم‌ترین مسائلی که در این سال‌ها با آن مواجه بوده‌اید بنفرمائید.

آقای سلیمی نژاد:



تفاوتی که پروژه‌های حوزه رادیویی با حوزه‌های دیگر دارد این است که پروژه باید ۱۰۰٪ به نقطه‌نهایی برسد تا آماده بهره‌برداری 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 نرم‌افزاری که عملکرد آن را در فرایند توسعه آن‌ها بهبود می‌دهند، متفاوت است. همچنین تا سالیان قبل در کشور همتی برای بومی‌سازی 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. معمولاً 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 مانمانده و به سرعت توسعه پیدا می‌کند و پس 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 شکل‌گیری 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 می‌گذرد 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 شکل‌گرفتن 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 می‌کنیم ترجیحاً به سمت پروژه‌هایی برویم که حداقل داخل همراه اول بازار خوبی داشته باشد. لذا تقریباً تمام پروژه‌ها به جز آن‌هایی که از نوع رصد فناوری‌های نوظهور هستند یا نیاز امروز همراه اول اند یا خیالمان راحت است که در ۵ سال آینده در سید نیاز آن‌ها وجود دارد. از این راه است که برای شرکت‌ها اطمینان ایجاد می‌کنیم. 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 می‌کنند. 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 می‌گیرد. در این راستا، یکی از سید پروژه‌های ما مرتبط می‌شود با حوزه انتقال شامل بخش رادیویی ۱۸ و ۲۳ گیگ، لینک رادیویی باند فرکانسی ۱۳e و پروژه FSO^{۱۴}. در بخش RAN، تمرکز خوبی روی موضوعات باند پایه و RRU^{۱۵} داشتیم که

13- eband

14- Free-Space Optical communication

15- Remote Radio Unit



آقای معینی:



در حال حاضر، در لایه RAN، در قسمت تجهیزات غیر فعال^{۱۸} بیشتر محصولات به صورت بومی استفاده می شود. مثلاً SFPهایی که مصرف می کنیم (از کابل، کانکتور، فیبر الی آخر) کاملاً از داخل تامین می شود و از وندور خارجی خریداری نمی کنیم. در مجموع، بومی سازی در بخش رادیویی نسبت به قسمت های دیگر شبکه سهم بیشتری داشته است. مثلاً این سهم در لایه های 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 بومی سازی توجه ویژه داشته و از این موضوع استقبال می کند. کسانی که در این اداره کل هستند خودشان زمانی تجربه R&D داشته اند و از این رسوب دانش حمایت می کنند. البته ارتباط بین ما و تولیدکننده داخل باید به گونه ای باشد که همانطور که ما از آن ها 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 می رسیم. در سمت ماسعی بر این است که یک نیاز مندی بلند مدت حداقل یک ساله دیده شود و به تولیدکننده داخل این فرصت داده شود

18- Passive

امیدواریم به زودی تست های پایلوتش را انجام دهیم. در مورد آنتن نیز، پروژه های خیلی خوبی داشتیم که به سفارش گیری تعداد بالایی آنتن رسید. در این حوزه، پروژه های R&D هم داریم که یکی از آن ها آنتن های هایبرید است و امیدواریم به صورت پتنت آن را ثبت کنیم. در این میان، نیم نگاهی هم به 6G داشته ایم، مثلاً پروژه RIS^{۱۶} را داریم که فعلاً در مرحله تحقیق و توسعه است. از دیگر حوزه های مهمی که امسال تمرکز ویژه ای بر آن ها داریم، Open RAN و موضوعات مرتبط با 5G، از AAU^{۱۷} تا 5G base band است که در خصوص Open RAN، در حال تدوین نقشه راهی جهت پایلوت و بومی سازی آن هستیم. موضوعات دیگر نیز به زیر پروژه هایی شکسته شده و سعی داریم برای انجام آن از ظرفیت های موجود در کشور نیز بهره برداری کنیم. کار خیلی سختی است ولی امیدواریم و تلاش می کنیم که به نتیجه های خوبی منتج شود.

حال که صحبت از بومی سازی و تولید محصولات داخلی شد، در حال حاضر چند درصد از المان های شبکه بومی سازی شده اند؟ شما به عنوان نماینده ای از معاونت فنی همراه اول، استفاده از محصولات تولید داخل را در بخش رادیویی شبکه چگونه می بینید؟

16- Reconfigurable Intelligent Surface
17- Active Antenna Unit

با هسته‌های دانشگاهی (Academic research) چه

پیشنهادی جهت هر چه بهتر شدن و مؤثر تر شدن نقش

شرکت‌ها و توسعه رابطه دانشگاه و صنعت دارید؟

آقای کاردل:



این سوالتان را این گونه جواب می‌دهم که در حال حاضر اکثر شرکت‌های فعال در حوزه بومی سازی 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 باروش‌های سنتی قابل حل نیستند و نیاز است که دانشگاه‌ها که دانش روز دارند ورود کنند. پس الان به ویژه در پروژه‌های حوزه‌های بومی سازی، 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. همان طور که آقای معینی هم اشاره کردند، در حوزه passive، استفاده حداکثری از تجهیزات بومی سازی داریم. در مورد نودهای فعال^{۱۹} 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؟ قطعاً 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 همان طور که از نامش مشخص است، مجموعه‌های revenue based یا benefit based نیستند و باید اپراتورها در این حوزه‌ها سرمایه گذاری کنند تا پاسخگوی نیاز آینده‌شان باشد.

مهم ترین 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 مادر چند دسته قرار می‌گیرد. از مهم ترین آن‌ها مشکلاتی است که به دلیل قانون‌های بین مان 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 معمولاً در لبه فناوری کار می‌کردند و خیلی درگیر تولید و صنعتی سازی نبوده‌اند، وقتی پروژه‌ها را سمت دانشگاه می‌بریم در حالی که مشکلات فنی و گره‌های



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

در مورد تولید داخل صحبت کردیم و در خلال صحبت‌ها به این موضوع اشاره شد که باید بین اهدافی که اپراتور تعیین می‌کند و فعالیت‌های شرکت‌های داخلی یک همگرایی صورت بگیرد و مسیرها به هم نزدیک باشند، از نظر شما چه نوع همکاری‌هایی می‌توانند مؤثرتر باشند، (همکاری با صنعت و شرکت‌ها (Industrial partnership) یا همکاری

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 تازمانی 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 به‌سزایی خواهد داشت.

آقای معینی:

موضوع مهمی که باید به آن توجه داشته باشیم، همکاری 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 راه کارهای مناسب می‌شود. همان‌طور که وندورها 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 می‌طلبند. با تلاش‌هایی که در حال انجام است، امیدوارم راهی که شروع شده است به خوبی به ثمر نشست و دیگر گرفتار مسئله وابستگی به وندورها نباشیم و با افتخار بتوانیم از محصولات داخلی استفاده کنیم.

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 پروژه‌ها 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 کم‌کم 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 معمولاً به ترندهای دانشی روز اهمیت داده می‌شود که با نیاز امروز صنعت ما فاصله دارد. مادر 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 استارت‌آپ بروند. من فکر می‌کنم با این رویکرد، کم‌کم دانشگاه‌ها هم رقابت 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 پردازیم. 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





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 به‌کارگیری 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 هم‌افزایی 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.

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. هر چند که بحث تحریم‌ها نیز بر هر دو حوزه تأثیر چشمگیری داشته است.

با توجه به تجربه‌های تحصیلی و پژوهشی تان 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 بگویم 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 کشورهایایی که در این صنعت حرفی برای گفتن دارند، صنعت ما عمیق ندارد و ما بیشتر به دنبال 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 به دنبال تحقیق و توسعه بود، 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 بین‌المللی آن‌ها است علاقه دارند تا در لبه فناوری فعالیت نمایند. به عبارت 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 به واسطه شرکت همراه اول یک وجه صنعتی



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

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

من در سال ۷۷ در رشته مهندسی برق-مخابرات وارد دانشگاه تهران شدم. دوره کارشناسی ارشد 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 به صورت 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 پژوهش‌کننده‌های مخابرات در حوزه نظامی است. به صورت کلی، در همه جای جهان از جمله ایران، صنعت نظامی چند گام جلوتر از سایر صنایع است، این موضوع به علت 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

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

در صحبت‌ها بیان به این موضوع اشاره کردید که صنعت به صورت 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 نظر من 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 علاقه‌ای 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 همین‌طور است. شاهد مثال آن اینکه جوان‌ها و میانسال‌های صنعت و دانشگاه ما به صورت 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 به دلیل تحریم‌ها مارکت قابل دسترسی بین‌المللی ما نیز کوچک شده است. این در صورتی است که حتی در کشورهای ضعیف‌تر از ما شرکت‌ها به علت 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 به جای تحقیق و توسعه نیازهای خود را از تأمین‌کنندگان خارجی تأمین کند. اما این شرکت سختی تحقیق و توسعه را به جان می‌خورد 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 به دلیل 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 نظر تان می‌توان از مسیر دانشگاه‌ها تیم‌های بین‌المللی تشکیل داد و برای انجام پروژه‌های بین‌المللی برنامه‌ریزی کرد؟

این موضوع را صنعتگرها بهتر می‌توانند پاسخ دهند. ما از دیدگاه دانشگاهی جواب می‌دهیم. البته به علت اینکه دانشگاه‌های خارجی بعضاً در صنایع‌شان چند قدم جلوتر هستند تحقیقاتشان با تحقیقات مورد نیاز ما فاصله دارد. و گرنه 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 (گرنه)، دوره‌های کارآموزی و طرح‌های حمایتی از ایده‌های پژوهشی را برگزار می‌کند. تأثیر این برنامه‌ها را در بهبود



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

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 دانشجویها 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 در صدهای 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 دانشجویهای من در نظر داشت تا برای پایان‌نامه‌اش موضوعی تعریف کند که خیلی با نیاز صنعت هم‌راستا نبود. اما توانستیم با تغییر مشخصات فنی این پایان‌نامه آن را هم‌سوی با نیازهای همراه اول نماییم. و یادآور می‌شود دیگر پایان‌نامه یکی از دانشجویهای کارشناسی ارشد 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

به نظرم این طرح‌ها بسیار مفید هستند و باید خیلی پیش از این شروع می‌شدند. اجازه بدهید با طرح پژوهانه شروع کنم. به عنوان 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 پایان‌نامه 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 در حالی 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 پایان‌نامه یکی منجر به حل یک نیاز همراه اول شود یعنی این شرکت توانسته با صرف هزینه ناچیز نیاز خود را بر



برای او همراه پژوهش مشخص می‌کند. به نظر همراهِ پژوهش‌ها باید در طول مسیر پروژه بیشتر همراه دانشجوی باشند. فکر می‌کنم بهتر است آن‌ها علاوه بر روند گزارش‌گیری فعلی، یک مشاور صنعتی باشند و نکات صنعتی را نیز به دانشجوی بگویند و او را در جهت صنعتی شدن پایان‌نامه‌اش 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 همان‌طور که قبلاً گفتم بروکرهای 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 یافته بود در تأمین لجستیک، تجهیزات تست و تأمین قطعه به ما بسیار کمک کرد. به نظر من در تعریف پروژه‌های مربوط به دانشگاه باید به این نکته توجه داشته باشیم که کار دانشگاه نوآوری است. در

توسط آکادمی همراه اول تعریف می‌شود و همچنین کارآموزی که به صورت معمول در دانشگاه‌ها و پیش از پایان تحصیلات انجام می‌شود. در مورد اول به نظر من 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 برآورده سازد. به نظر من برنامه‌هایی مانند این دوره‌ها بسیار ضروری هستند. اما در باره مدل دوم کارآموزی که در دنیا نیز به نام اینترنشیپ Internship بسیار رواج دارد، دانشجوی معمولاً قبل از پایان تحصیلاتش این دوره را می‌گذراند. به نظر من این مدل نیز بسیار ضروری است که می‌تواند به برنامه کارآموزی همراه اول اضافه شود.

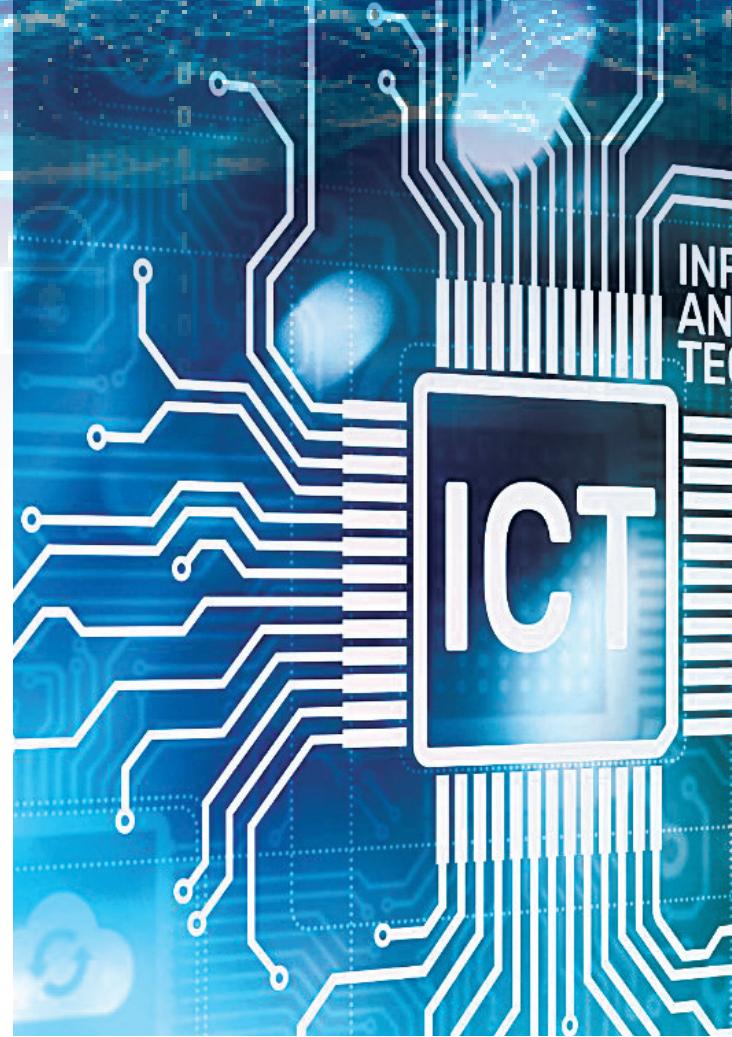
این سیاست کلی که همراه اول سعی دارد با دانشگاه‌ها ارتباط تنگاتنگ داشته باشد و حمایت نماید بسیار خوب است و از همین حالا اثرات خوب آن را می‌توان مشاهده کرد. البته می‌توان گفت در این اقدامات یکسری مشکلات اجرایی نیز وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان به فرآیند طولانی اداری و یا کمبود برنامه ریزی برای استفاده از خروجی این طرح‌ها اشاره کرد. همراه اول هم اکنون جهت ارتباط بیشتر دانشجوی با صنعت

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 به خوبی 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 به همراه 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 به خوبی 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 به دلیل 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



حقیقت در دانشگاه ما به نوآوری و حل مسئله و البته پیاده‌سازی می‌پردازیم و تخصص در امورمانند بازرگانی، مالیات و بیمه نداریم که البته در صدی 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 به مراتب بیشتر از یک محقق معادل در یک دانشگاه خارجی است. این مهارت تأمین قطعه و لجستیک همچنان در دانشگاه‌ها وجود ندارد. خاطر هست که در دوره دکتری در بلژیک وقتی قطعه‌ای نیاز داشتیم، 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 TRL¹ 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

1- Technology readiness level



است مانند فناوری نانو که در جای مناسب وارد آن شدیم و امروز حرفی برای گفتن داریم، شرايطی 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 به دست 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 هر چند 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.

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 به مرور 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 پرهزینه است را ندارد. همچنین تحریم‌های بیشتری هم در این باند وجود دارد. تمام این موارد دست به دست 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

رصد

Technology Scouting



شبکه‌های دسترسی
رادیویی ابری
نسل پنجم

۴۸

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

۳۸

استفاده از یادگیری ماشین
در شکل‌دهی پرتو امواج
میلی‌متری

۳۲

بررسی روش‌های کاهش
مصرف انرژی در شبکه
دسترسی رادیویی 5G

۲۴

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

۷۴

بررسی چالش‌های سخت
افزایی ساخت ایستگاه پایه
نسل پنجم

۶۸

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

۶۰

تحقق لینک‌های مخابراتی پویا
به وسیله
SWIPT و RIS

۵۴



کیوان احمدی

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

بررسی روش‌های کاهش مصرف انرژی در شبکه دسترسی رادیویی 5G

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 راه حل‌های 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 به کارگیری یک معماری جدید است که صرفه‌جویی انرژی با استفاده از آن در حدود ۳۰٪ است. این دوراه 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

بزرگی در این افزایش خواهد داشت [۴] بزرگ‌ترین چالش در صرفه‌جویی انرژی شبکه موبایل مربوط به ایستگاه‌های پایه^۳ 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 همه چیز را از ابتدا اختراع کنیم. راه کارهای صرفه‌جویی در انرژی شبکه، مانند خاموشی حامل، خاموشی کانال، خاموشی سمبل و غیره که از دوران 4G^۴ به وجود آمده‌اند، هنوز هم قابل استفاده هستند و می‌توانند مصرف انرژی 5G را کاهش دهند. در ادامه مختصری از این مفاهیم ارائه می‌شود.

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^۱ در همان سال [۲]، بسیاری از اپراتورهای شبکه تلفن همراه اهداف جسورانه‌ای در باره به صفر رساندن تولید کربن در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال Orange سال ۲۰۴۰ را برای کربن صفر تعیین کرده است. در عین حال، در دستورالعمل تدوین شده توسط GSMA برای اپراتورهای شبکه موبایل در باره اهداف اقلیمی، هدف کاهش انتشار کربن تا ۴۵٪ از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۳۰ در نظر گرفته شده است [۳-۱]

برای دستیابی به این اهداف، نیازمند رویکردهای جدید در ارتقای شبکه‌های سبز هستیم. مصرف کلی انرژی توسط صنعت موبایل طبق برخی پیش‌بینی‌های هادر عرض ده سال سه برابر خواهد شد و شبکه 5G^۲ نقش

3- Base station
4- 4th generation

1- Groupe Spécial Mobile Association
2- 5th generation



5G

5G

5G

5G

5

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^۱ 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 صرفه‌جویی در انرژی خاموش کند. برای افزایش نسبت

1- Scheduler

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.

اصول کاهش مصرف انرژی در ایستگاه پایه

مقیاس پذیری پویا

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



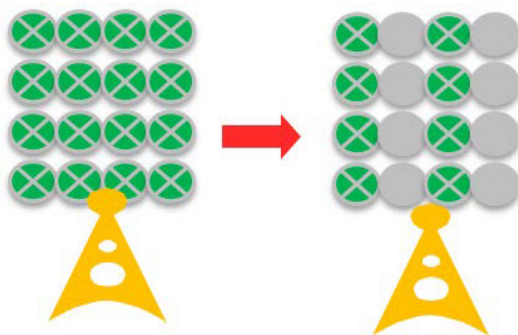
همواره بین میزان صرفه‌جویی در انرژی و کیفیت شبکه یک مصالحه وجود دارد. بنابراین لازم است در انتخاب روش دقت لازم وجود داشته باشد تا کمترین افت در کیفیت شبکه حاصل شود.

❖ صرفه‌جویی در مصرف انرژی در حوزه زمان

زمان‌بند تعدادی سمبل مشخص برای داده‌های فرسوس^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. به علاوه، 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 بار کم غیرفعال می‌شوند. به عنوان مثال در شکل ۱، خاموش کردن بخشی از آنتن MIMO، نشان داده شده است. دقت شود که ظرفیت باقیمانده باید برای خدمت‌رسانی به ترافیک کافی باشد اما به هر حال پوشش و نرخ انتقال داده ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد چون برخی از ماژول‌های تقویت‌کننده 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

- 3- Down-link
- 4- Massive MIMO

❖ 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 کمک‌کننده 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 تأثیر 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، همان‌طور 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، به دلیل تغییر در منابع و تعداد منابع، عملکرد اصلی سیستم را مختل می‌کنند. بنابراین، به دست آوردن وضعیت بهینه، کاری دشوار است. از سوی دیگر، در ساعت‌های کم‌باری 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 نه تنها به افزایش ظرفیت و قابلیت‌های شبکه منجر می‌شود، بلکه با رعایت اصول طراحی، فرصت‌های بزرگی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیز به دست 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 هوش مصنوعی^۲ استفاده شود و چگونگی استفاده از فناوری هوش مصنوعی 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 تأثیر روش استفاده شده بر کیفیت شبکه است؛ چرا که هر یک از روش‌های پیش‌رو می‌تواند روی عملکرد و کیفیت شبکه اثر داشته باشد و در نتیجه تجربه کاربر را تحت تأثیر قرار دهد. نکته این‌که در تمامی روش‌ها

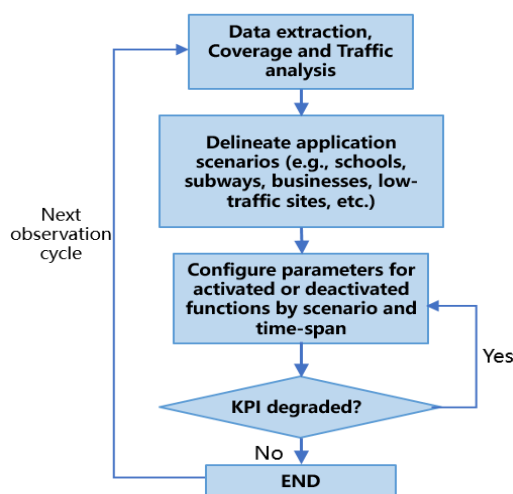
- 2- Artificial intelligence



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

کانال فعال می‌شود. استراتژی لازم بر روی سامانه مدیریت عملیات^۷ 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 هوش مصنوعی

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^۸، الگوریتم بهینه‌سازی، پوشش شبکه، توزیع کاربران و آستانه اولیه پیش‌بینی خواهد شد. با پیش‌بینی ترافیک و ارزیابی استفاده از منابع رادیویی به صورت زمان‌بندی بلادرنگ، استراتژی صرفه‌جویی

- 7- Operations management system
- 8- Long short-term memory

قطع می‌شود و به همین دلیل گاهی به آن خاموشی (قطع) حامل می‌گویند. در این روش، همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، 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. به عنوان مثال، با در نظر گرفتن شبکه هم‌پوشانی NR^۵ و LTE، می‌توانیم فرض کنیم که NR سیستم ظرفیت بالا و LTE سیستم پوشش پایه است. اگر ترافیک NR کم باشد، NR را می‌توان به صورت 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.

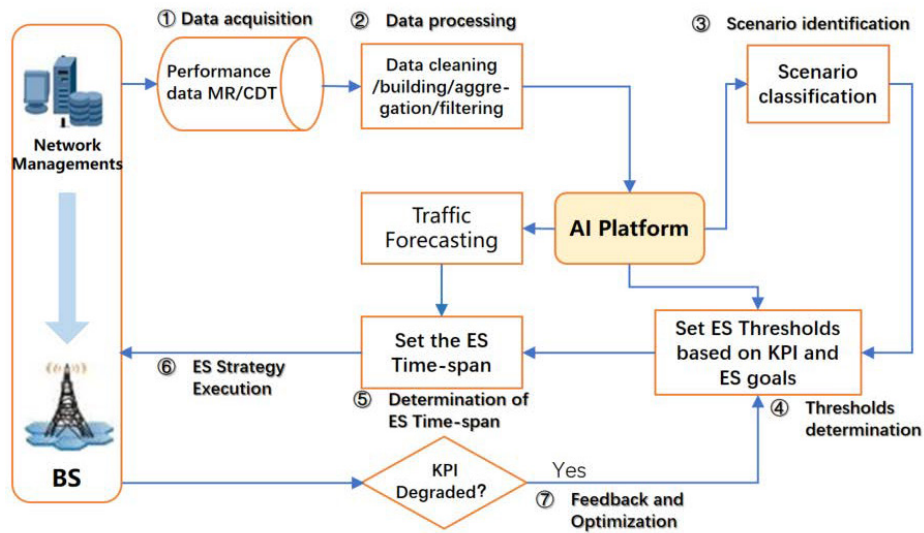
تقسیم‌بندی راه‌کارهای صرفه‌جویی در انرژی

راه‌کارهای صرفه‌جویی انرژی 5G اغلب به دو بخش تقسیم می‌شوند که عبارتند از حالت دستی و حالت یادگیری مبتنی بر هوش مصنوعی 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. به عنوان مثال، وقتی در بازه زمانی ۱۰ شب تا ۶ صبح، استفاده از PRB^۶ کمتر از ۱۰٪ است، خاموشی

- 5- New radio
- 6- Physical resource blocks



شکل ۴- فلوجارت صرفه جویی در انرژی 5G بر اساس AI [۱]

چین به صورت تجاری پیاده سازی شده، نشان می دهد 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 صرفه جویی انرژی ابتدایی، در هر سایت در حدود ۹ کیلووات ساعت انرژی در روز ذخیره می شود؛ هنگامی که پیش بینی ترافیک با استفاده از هوش مصنوعی فعال شود، در هر سایت حدود ۱۲ کیلووات ساعت انرژی در روز ذخیره می شود. پس از فعال سازی خدمات مبتنی بر هوش مصنوعی، تا ۱۴ کیلووات ساعت انرژی در روز در هر سایت قابل صرفه جویی است. نسبت صرفه جویی انرژی از ۱۶،۶٪ به ۲۴،۵٪ افزایش می یابد (همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است).

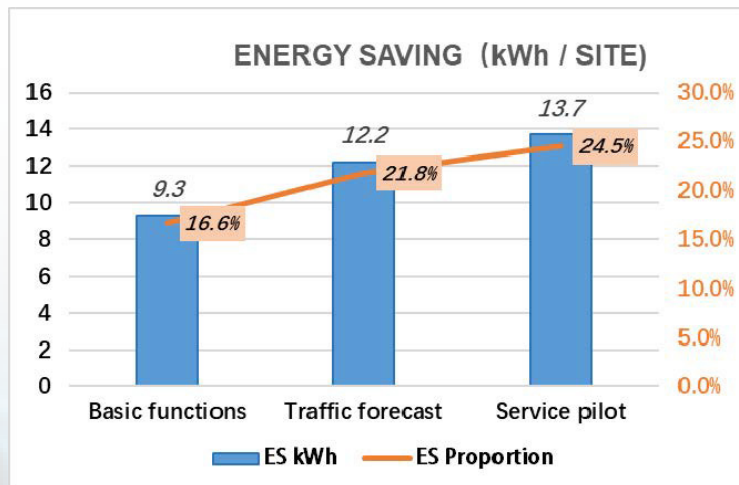
با استقرار راه حل آزمایشی فوق در کل شبکه 4G/5G شهر چنگدو، تخمین زده می شود که بیش از ۵ میلیون کیلووات ساعت در سال در هر هزار ایستگاه ذخیره می شود و حداقل ۲۵۰۰ تن از

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 برنامه کاربردی صرفه جویی در انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی در شبکه 5G را نشان می دهد. در این روش الگوریتم هوش مصنوعی برای دستیابی به تعادل بیشینه بین عملکرد سیستم و اثر صرفه جویی در انرژی استفاده می شود تا با استفاده از داده های پایه مانند پیکربندی، آمار و گزارش اندازه گیری یا پیگیری جزئیات تماس شبکه موجود، صرفه جویی بهینه در انرژی شبکه و کاهش مصرف انرژی را تحقق بخشد [۱]

نمونه هایی از صرفه جویی انرژی 5G مبتنی بر AI

صرفه جویی سرویس - آگاه

نتایج حاصل در این نمونه که در شهر چنگدو^۱ واقع در غرب 9- Chengdu

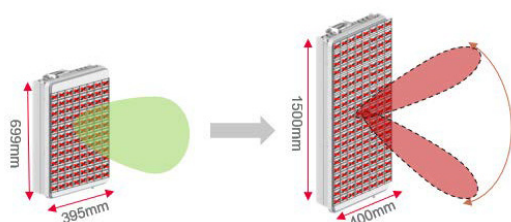


شکل ۵- میزان صرفه جویی انرژی در هر سایت بر اساس روش های مختلف [۱]

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 کرین کاهش می‌یابد. گذردهی^{۱۲} ارسال و دریافت سلول را ۳۰٪ افزایش دهد.



شکل ۶- مقایسه راج 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 بسیار ارائه شده 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. به عنوان نمونه‌ای از کاربردها، در این مقاله دو روش برتر برای راه‌حل‌های هوشمند صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی ارائه شد. یکی از آن‌ها، راه‌حل صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی برای شبکه

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 شده است. برای آرایه آنتن^{۱۰} AAU، 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 ارسال 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 سبزتر کمک کنند.

نمونه جدید AAU با استفاده از آرایه آنتن بسیار بزرگ در شهر شیامن^{۱۱} چین پیاده‌سازی شده است که اندازه آرایه آنتن آن دو برابر (از ۱۹۲ به ۳۸۴ عنصر) شده است. این آزمایش از بهینه‌سازی پرتو به صورت 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

10- Acrive antenna system

11- Xiamen

12- Throughput



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 Efficiency of Mobile, GSMA, London, U.K., 2021. F B. Debaillie, C. Desset, and F. Louagie, "A flexible 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.

4G/5G است و دیگری، بهره‌گیری از معماری جدید AAU با پهنه‌سازی پرتو مبتنی بر هوش مصنوعی. هر دو این راه‌حل‌ها می‌توانند به دست‌یابی به شبکه با کارایی بالا و هزینه‌های عملیاتی پایین کمک کنند.

با جمع‌آوری مداوم داده‌ها از شبکه‌های تجاری، الگوریتم یادگیری ماشین اجازه خواهد داد تا راه‌حل‌های صرفه‌جویی در انرژی مبتنی بر هوش مصنوعی به تدریج بهبود یابند. الگوریتم هوش مصنوعی تکامل خواهد یافت تا دستیابی به کارایی بالاتر و استراتژی 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



علیرضا صوفی نژاد

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

استفاده از یادگیری ماشین در شکل دهی پرتو امواج میلی متری

ارتباطات موج میلی متری به لطف مزایای استثنائی آن، به عنوان یک فناوری کلیدی برای ارتباطات بی سیم توجه زیادی را به خود جلب کرده است. شکل دهی پرتو در ارتباطات موج میلی متری با ایجاد پرتو باریک به سمت کاربران می تواند کیفیت ارتباط کاربران را بهبود بخشد. با این حال، تحقق چنین دستاوردهایی در عمل نیازمند غلبه بر چالش های متعددی مانند تضعیف شدید سیگنال، محدودیت های سخت افزاری و پیچیدگی طراحی است. پیچیدگی بالای تعیین بردارهای شکل دهی پرتو محققان را به این سمت سوق داده است تا از تکنیک های یادگیری ماشین برای شکل دهی پرتو در نسل های آتی مخابرات سلولی استفاده کنند. در این مقاله سعی شده است تا الگوریتم های مبتنی بر یادگیری ماشین مورد استفاده در موضوعات مختلف شکل دهی پرتو بررسی شوند و در مورد مزیت ها و چالش های آن ها بحث شود.

کلیدواژه: شکل دهی پرتو، موج میلی متری، یادگیری ماشین، MIMO انبوه، شبکه عصبی عمیق

سلولی باید به طور قابل توجهی با استفاده مؤثر از بازه های فرکانسی در دسترس افزایش یابد [۱]

بازه فرکانسی ۳۰ تا ۳۰۰ گیگاهرتز به دلیل طیف کمتر استفاده شده آن برای ارتباطات نسل پنجم و فراتر از آن از اهمیت زیادی برخوردار است، اما ویژگی های انتشار ضعیفی دارد. برای غلبه بر این مشکل، از آرایه های انبوه MIMO با شکل دهی پرتو برای رسیدن به نسبت سیگنال به نویز (SNR) مناسب استفاده می شود. در شکل دهی پرتو موج میلی متری به دلیل مصرف زیاد توان نمی توان از تکنیک های پیش کدگذاری مورد استفاده در فرکانس زیر گیگاهرتز استفاده کرد. در عوض، برای شکل دهی پرتو در موج میلی متری از شکل دهنده های پرتو آنالوگ یا ترکیبی استفاده می شود که یک مصالحه کارآمد بین شکل دهی پرتو آنالوگ با پیچیدگی کم و شکل دهی پرتو دیجیتال با

توسعه شبکه در جهت بالا بردن توان عملیاتی، تأخیر کم تر، اتصال گسترده و سرویس های قابل اعتماد جزو نیازهای اساسی شبکه های بی سیم است. برای دستیابی به این هدف، محققان در دانشگاه و صنعت در حال بررسی فناوری ها و بازه های طیفی مختلف برای شبکه های بی سیم نسل بعدی هستند. در نسل های مختلف مخابرات سلولی همواره سعی شده است تا با استفاده از فناوری های جدید کیفیت سرویس دهی به کاربران افزایش داده شود. برخی از فناوری های کلیدی که برای شبکه های نسل پنجم و فراتر از آن مورد توجه قرار گرفته اند، شامل آرایه های آنتن انبوه MIMO^۱، شکل دهی پرتو و دسترسی چندگانه غیر متعامد (NOMA)^۲ هستند. با این حال، برای پشتیبانی از اتصال گسترده، ظرفیت شبکه های

- 1- Massive
- 2- Multiple-Input-Multiple-Output
- 3- Non-Orthogonal Multiple Access

- 4- Beamforming
- 5- Signal to Noise Ratio

می شوند و سپس با استفاده از مجموعه‌ای از شیفت رجیسترها تحت شکل دهی پرتو آنالوگ قرار گرفته و به سمت گیرنده گسیل می شوند. در گیرنده نیز می توان به همین شکل پرتو مناسب را برای بهبود کیفیت سیگنال دریافتی ایجاد کرد.

در این قسمت، چندین کاربرد از به کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شکل دهی پرتو امواج موج میلی متری در شبکه‌های نسل پنجم و فراتر از آن مورد بررسی قرار داده می شود. حوزه‌های مختلفی از شکل دهی پرتو که یادگیری ماشین به آن‌ها ورود کرده است در شکل ۲ نمایش داده شده است [۱] همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود در سال‌های اخیر محققان در زمینه‌های مختلف شکل دهی پرتو از مزایای الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده کرده‌اند که در ادامه به اختصار به آن‌ها اشاره می شود.

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 می گیرند. محققان از مدل‌های مرسوم شبکه عصبی عمیق ۸ برای کاهش سربار انتخاب پرتو و برقراری ارتباط وسیله نقلیه به لینک‌های زیرساختی استفاده کرده‌اند. همچنین مسئله انتخاب پرتو را می توان به عنوان یک مسئله طبقه‌بندی چند کلاس برای یادگیری جفت پرتو بهینه فرموله کرد. علاوه بر این، می توان 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

پیچیدگی بالا فراهم می کند. تکنیک‌های شکل دهی پرتو مبتنی بر یادگیری ماشین به دنبال پیدا کردن بهترین بردارهای شکل دهی پرتو در فرستنده و گیرنده هستند.

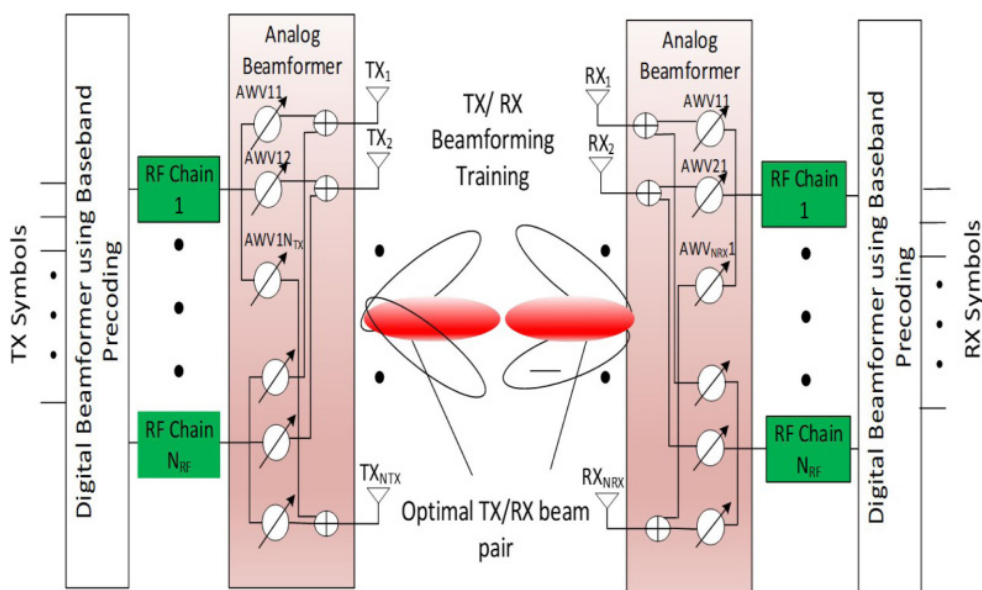
پیشرفت اخیر در یادگیری ماشین استفاده از آن را در کاربردهای مختلف شبکه بی سیم مانند ارتباط سلولی، مدیریت طیف، تخصیص منابع، مسیریابی، بازیابی اطلاعات حالت کانال، مدولاسیون، آشکارسازی و ارتباط دستگاه به دستگاه ممکن کرده است. یادگیری ماشین همچنین برای توسعه تکنیک‌های کارآمد شکل دهی پرتو مورد بررسی قرار می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

کاربردهای یادگیری ماشین در شکل دهی پرتو

در شکل دهی پرتو از خواص مکانی برای به وجود آوردن یک الگوی تشعشعی خاص در سیگنال استفاده می شود. شکل دهی پرتو ارسالی به وسیله تغییرات در فاز و دامنه سیگنال در هر کدام از آنتن‌ها نسبت به یکدیگر انجام می شود. در شکل ۱، شکل دهی پرتو در فرستنده و گیرنده نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود هر کدام از سیگنال‌های ارسالی ابتدا تحت شکل دهی پرتو دیجیتال قرار داده

8- Deep Neural Network

6- Angle of Arrival
7- Alignment



شکل ۱- ساختار شکل دهی پرتو ترکیبی (آنالوگ/دیجیتال) در ارتباطات موج میلی متری [۱]

(MAB) 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 شکل دهی 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 به سرعت 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 ۷ درجه می‌تواند بودجه لینک ۱۰ 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 وسایل نقلیه 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 به دلیل تحرک سریع و باریک بودن، یک چالش در سناریوهای بسیار متحرک مانند پهپاد و V2I^{۱۱} 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^{۱۲} را پیشنهاد داده‌اند که زاویه ورود یک کاربر موبایل را ردیابی می‌کند

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

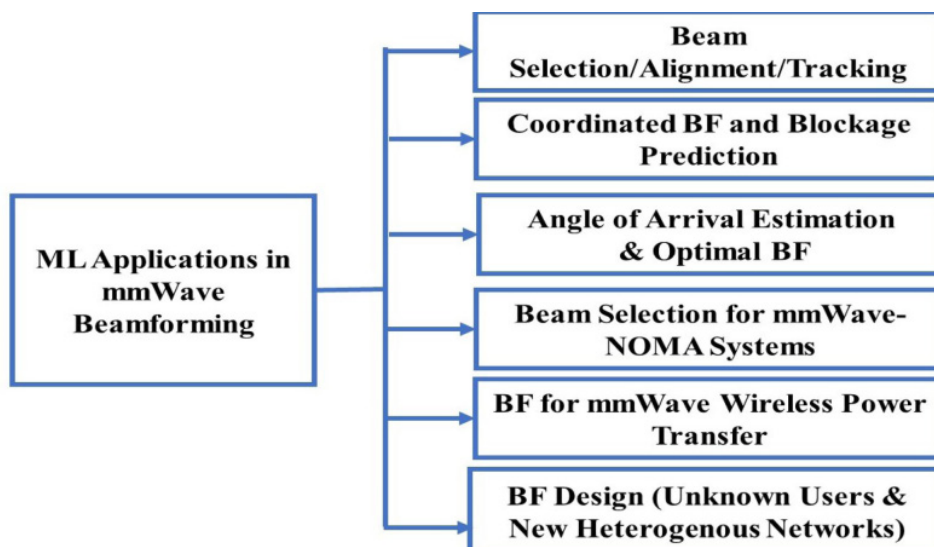
۱۵] استفاده از ردیابی پرتو مبتنی بر یادگیری ماشین می‌تواند کیفیت انتقال داده را بهبود بخشد و فرآیند سوئیچینگ پرتو را سرعت دهد.

تخمین انسداد^{۱۳} امواج و شکل دهی پرتو هماهنگ شده^{۱۴}

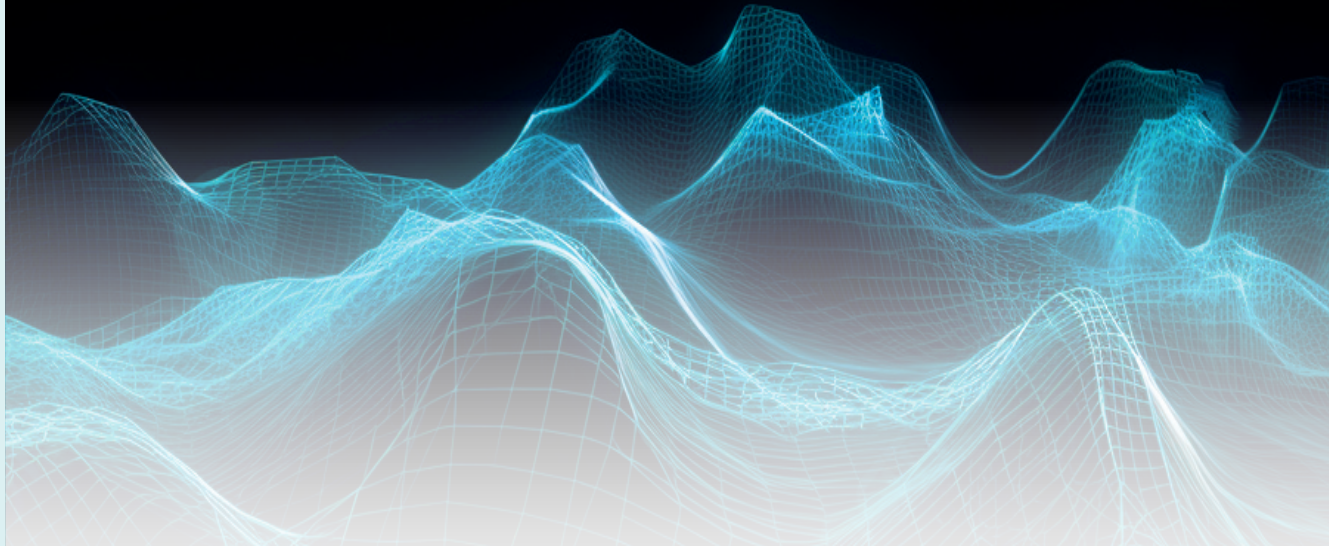
انسداد امواج موج میلی‌متری تا حد زیادی پوشش و قابلیت اطمینان کاربران موبایل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محققان برای افزایش پوشش، یکپارچه‌سازی تکنیک‌های یادگیری ماشین و شکل دهی پرتو هماهنگ را پیشنهاد می‌کنند که در آن ایستگاه‌های پایه هماهنگ و به‌طور هم‌زمان به کاربران تلفن همراه برای جلوگیری از انسداد خدمت رسانی می‌کنند. در این روش کاربران تنها یک دنباله آموزشی را در لینک فراسو^{۱۵} 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 شکل دهی 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 شکل دهی 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^{۱۶} پرداخته‌اند (با استفاده از

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



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



در سناریوهای دسترسی چندگانه غیر متعامد ($NOMA^{21}$) بررسی کرده‌اند. مشخص کردن بردارهای شکل دهی پرتو، تخصیص توان و گروه‌بندی کاربران، جزو چالش‌های NOMA است که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی 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 QoS²² 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 هم‌زمان پارامترهای مورد نظر به وسیله یک شبکه عصبی مورد توجه قرار گرفته است.

شکل دهی پرتو برای انتقال توان بی‌سیم

الگوریتم‌های یادگیری ماشینی 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 DNN²⁴ برای شارژ مؤثر گیرنده‌های توان توسعه داده‌اند [۹] همچنین روشی مبتنی بر یادگیری ماشینی 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 شکل دهنده پرتو

یافتن شکل دهنده‌های 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

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 شکل دهی 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 فراسورا به عنوان یک مسئله طبقه‌بندی چند کلاسه فرموله کردند و آن را با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی نظارت‌شده (طبقه‌بندی کننده‌های KNN^{17} و SVM^{18}) و شبکه عصبی عمیق حل کردند (استفاده از $[2] MLP^{19}$) همچنین می‌توان از الگوریتم طبقه‌بندی سیگنال چندگانه ($MUSIC^{20}$) نیز برای تخمین دقیق تر 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 شکل دهی 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 شکل دهی 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، به وسیله یک شبکه عصبی عمیق از بین دو الگوریتم شکل دهی پرتو، مورد بهینه تر را انتخاب می‌کند و شکل دهی پرتو را به وسیله 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 ماشینی را برای حل چالش‌ها

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

17- K-Nearest Neighbors
18- Support Vector Machine
19- MultiLayer Perceptron
20- Multiple Signal Classification



را به نحوی 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 استفاده از یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو ایجاد می‌کند، تحرک دائم کاربران است. کاربرانی که با سرعت زیادی در حال حرکت هستند باید به صورت مداوم مورد تحلیل قرار گیرند تا در صورتی که امواج ارسالی برای کاربر دچار انسداد شد، مشکلی در سیستم ایجاد نشود. این در حالی 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. به ویژه اگر تأخیر، جایجایی 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. به خصوص در زمینه استفاده از موج میلی‌متری محققان در بسیاری از سناریوهای شکل‌دهی پرتو از مزایای یادگیری ماشین استفاده کرده‌اند و همواره سعی در شتاب دادن فرایند آموزش در به کارگیری این تکنیک‌ها هستند. روش‌های مختلف برای سناریوهای تک کاربره تا یک شبکه همگن با تعداد کاربران زیاد مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند و در بسیاری از موارد

شبکه‌ها همگن^{۲۵} موج میلی‌متری پیچیده‌تر است (جایی که بین ایستگاه‌های پایه فواصل مختلفی وجود دارد و ایستگاه‌های 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 به عنوان ورودی به شبکه داده می‌شود و به عنوان 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] منابعه کرد.

چالش‌ها

با وجود پیشرفت در الگوریتم‌های یادگیری ماشین و پتانسیل آن‌ها برای کاهش پیچیدگی در شبکه‌های بی‌سیم و شکل‌دهی پرتو، تشخیص وجود مسائل و چالش‌های مختلفی که باید برای پذیرش آن‌ها در سیستم‌های عملی مورد توجه قرار گیرد، مهم است. در این بخش، نحوه تحت‌تأثیر قرار گرفتن الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین در شکل‌دهی پرتو و ارتباطات موج میلی‌متری بررسی می‌شوند. یکی از چالش‌های استفاده از یادگیری ماشین در الگوریتم‌های شکل‌دهی پرتو محدودیت داده‌های آموزشی است. همان‌طور که می‌دانیم برای آموزش یک شبکه عصبی برای استخراج بردارهای شکل‌دهی 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

25- HetNet

جدول ۱- شکل دهی پرتو موج میلی متری 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.
Multuser 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.
Multuser 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 dynamic 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 pblockaction 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

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, and W. 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.

نتایج به دست آمده، استفاده از این فناوری را در شکل دهی پرتو مؤثر می دانند.

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 شکل دهی پرتویی را پیشنهاد داده‌اند که میزان BER را به صورت قابل توجهی بهبود می دهد [۱۰] در این تحقیق ماتریس‌های شکل دهی پرتو بهینه با استفاده از شبکه‌های عصبی عمیق استخراج شده است. با استفاده از چنین ماتریس‌هایی برای شکل دهی پرتو سیگنال با توان بیشتری در سمت کاربر دریافت می شود که سبب بهبود SNR می شود. علاوه بر آن می توان مواردی را در استفاده از روش‌های یادگیری تقویتی پیدا کرد که باعث افزایش نرخ سیستم شده‌اند.

علی‌رغم مزایای روش‌های یادگیری ماشین در شکل دهی پرتو، استفاده از این الگوریتم‌ها دارای چالش‌هایی است که به‌هنگام طراحی باید در نظر گرفته شوند. طراحی این الگوریتم‌ها باید به صورتی 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–

فناوری RIS و سیستم‌های

Cell Free Massive MIMO

در مخابرات بی‌سیم نسل ۶ (6G)

سطوح هوشمند باز شکل پذیر یا RIS^۱ که با عنوان سطوح منعکس کننده هوشمند یا IRS^۲ نیز شناخته می‌شوند، ساختاری بر نامه پذیر هستند که امواج الکترومغناطیس (EM^۳) 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 سلول بندی استوار است. عواملی مانند محدودیت توان، محدودیت پهنای باند و تعداد زیاد کاربران باعث می‌شود که از سیستم‌های سلولی جهت پوشش دهی مناطق استفاده کرد. یکی از معایب سیستم‌های سلولی ضعف در پوشش دهی با کیفیت مناسب برای کاربران در مرز سلول‌ها می‌باشد. یکی از روش‌هایی که در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید (مانند 6G^۴) 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^۵) 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



حسین کامرانی

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

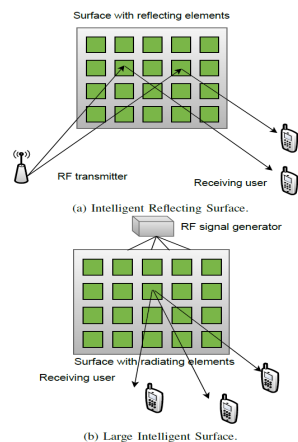
6G

چنین سیستم‌هایی محدودیت‌ها و چالش‌هایی وجود دارد اما در این سیستم‌ها تمامی کاربران به طور یکنواخت و با کیفیت مطلوبی سیگنال دهی می‌شوند. سیستم ترکیبی CFmMM-RIS 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 CFmMM-RIS را تشریح می‌کنیم و در انتها به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.



فناوری RIS

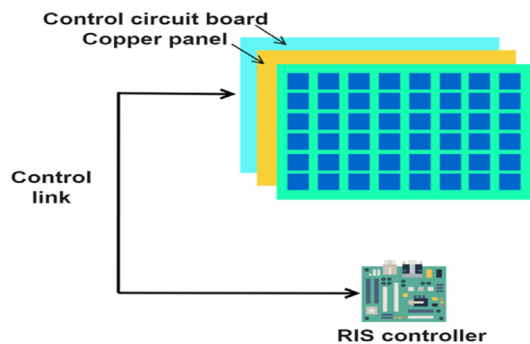
در یک تقسیم‌بندی فناوری صفحات هوشمند را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: ۱- فناوری LIS^{۱۲} و ۲- فناوری RIS. فناوری LIS یا صفحات هوشمند بزرگ از دو قسمت اصلی صفحات و تولید کننده سیگنال تشکیل شده‌اند. به عبارت دیگر فناوری LIS به عنوان صفحات فعالی در نظر گرفته می‌شوند که هر کدام از عناصر تشکیل دهنده آن امکان دریافت و ارسال اطلاعات را دارند. یکی از ویژگی‌های این صفحات این است که اثر ترویج متقابل^{۱۳} و همبستگی^{۱۴} آنتن‌های استفاده شده در این صفحات قابل صرف نظر 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 پر کاربرد باشند. سطوح هوشمند از تعداد زیادی عناصر منعکس کننده (آنتن‌های کوچک میکرو استریپ^{۱۵}) تشکیل شده‌اند که به یک مدار که امیدانس آن تغییر می‌کند متصل هستند. برخلاف 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



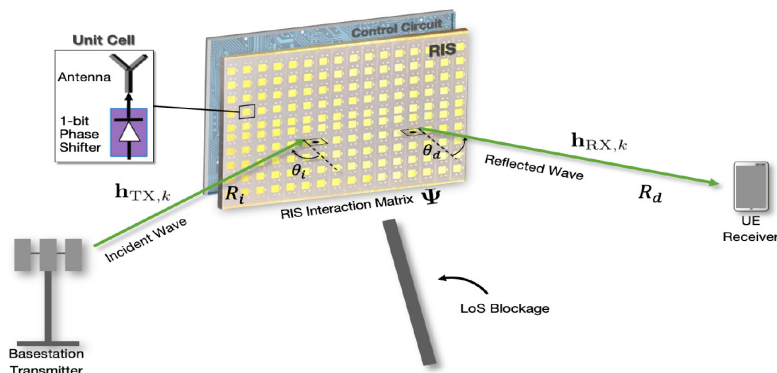
- 12- Large Intelligent Surfaces
- 13- Mutual coupling
- 14- Correlation
- 15- Microstrip antenna

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)^۶ و اینترنت همه چیز (IoE)^۷ 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، پوشش دهی 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^۸ مقابله کرده و سیگنال مناسبی را دریافت کرد. یکی از پیشنهاداتی که اخیراً 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^۹ 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 این رو اخیراً سیستم‌های CFmMM که در آن‌ها مناطق سلول‌بندی نمی‌شوند و تمامی کاربران توسط تمامی نقاط دسترسی (AP^{۱۰}) یا ایستگاه‌های پایه (BS^{۱۱}) سیگنال دهی می‌شوند پیشنهاد شده‌اند. مسلماً در طراحی

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



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



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

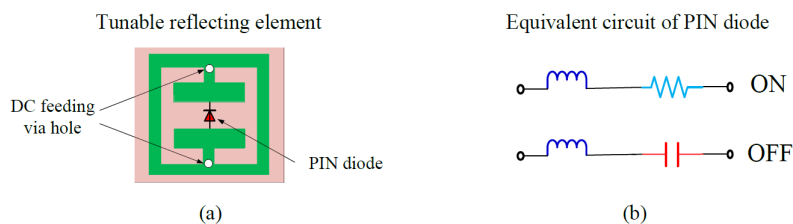
RIS خواهد بود. ساختار یک صفحه RIS در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۳ نحوه استفاده از صفحات RIS زمانی که یک مانع بین فرستنده و گیرنده وجود دارد و مسیر مستقیمی (LOS^{۱۷}) بین فرستنده و گیرنده وجود ندارد نشان داده شده است. برای عمل انعکاس در سلول‌های RIS از سه روش مختلف ۱- چرخش مکانیکی ۲- مواد کاربردی مانند کریستال‌های مایع و گرافن ۳- قطعات الکترونیکی مانند PIN^{۱۸} دیودها، ترانزیستورهای FET^{۱۹} و سوئیچ‌های MEMS^{۲۰} می‌توان استفاده کرد. در عمل روش سوم به دلیل پاسخ زمانی سریع، تلفات کم انعکاس، مصرف انرژی کم و هزینه ساخت مناسب مورد استقبال بیشتری قرار گرفته است.

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

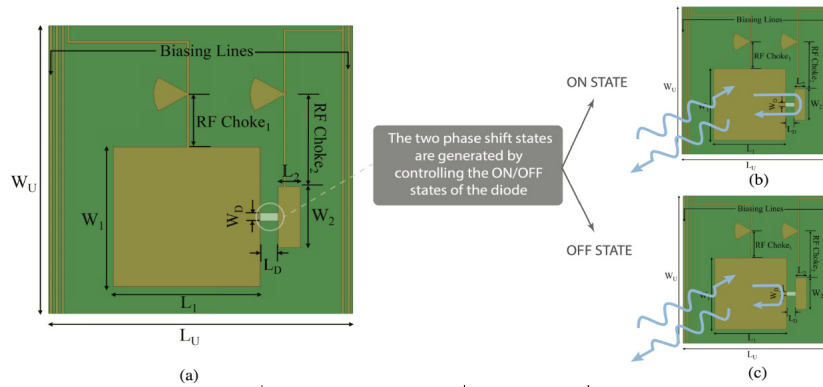
شکل ۱- (صفحات RIS یا IRS) صفحات LIS [1].

شده 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 می‌کند قابل تنظیم می‌باشد. در شکل ۱ مقایسه‌ای بین صفحات IRS و LIS را مشاهده می‌کنیم. همان‌طور که می‌بینیم در فناوری LIS منبع تولید سیگنالی وجود دارد که می‌تواند بر روی سیگنال دریافتی کارهایی مانند تقویت کردن سیگنال دریافتی، حذف نویز و غیره را انجام دهد و سپس سیگنال را در جهت مورد نظر ارسال کند. فناوری RIS به دلیل عدم نیاز به منبع تولید سیگنال RF دارای ویژگی‌هایی مانند سادگی، قابل پیاده‌سازی و مقرون به صرفه‌تر بودن نسبت به فناوری LIS می‌باشد. بنابراین در ادامه این مقاله تمرکز ما بر روی فناوری

- 16- Codeword

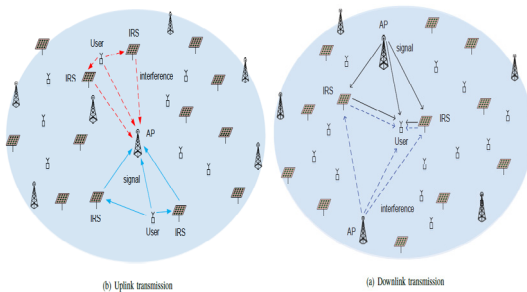


شکل ۴- دیودهای PIN مورد استفاده در سلول‌ها به همراه مدار معادل آن‌ها در دو حالت روشن و خاموش [۴]



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 ۷- استفاده از فناوری RIS با IRS در دو مسیر بالارونده و پایین رونده [۴]

شکل ۷ نمایی از کاربرد RIS در دو مسیر فراسو^{۲۲} و فرو سو^{۲۳} را نشان می دهد. توجه به این نکته ضروری است که صفحات RIS می توانند در دو حالت غیر فعال (در مسیر فراسو) و شبه غیر فعال

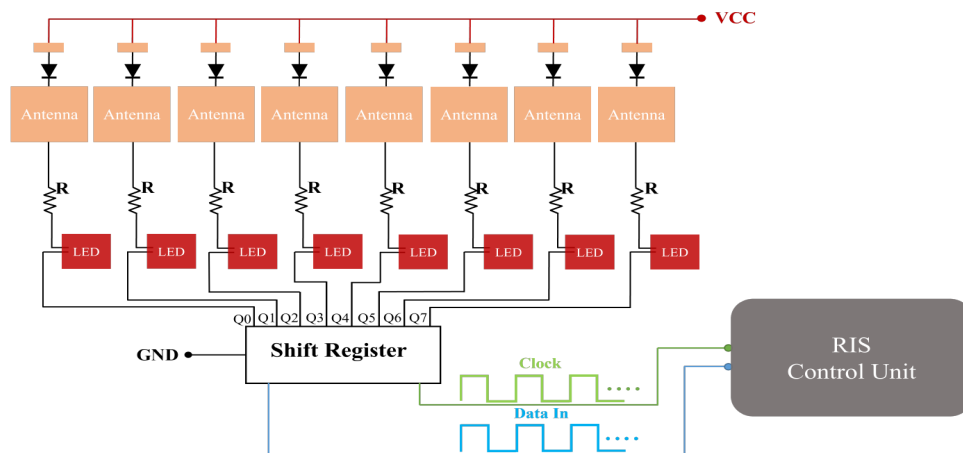
22-uplink
23-Downlink

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

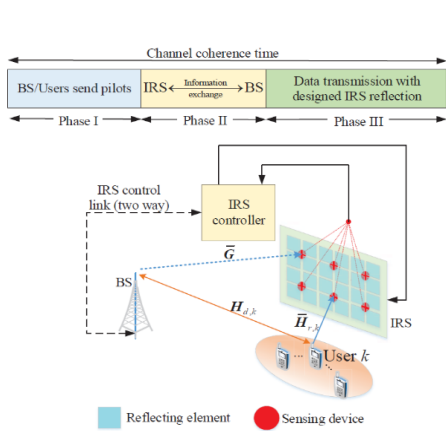
فرکانس سوئیچینگ دیودهای PIN می تواند بیشتر از ۵ مگاهرتز باشد. به عبارتی زمان سوئیچینگ کمتر از 0.2 میلی ثانیه خواهد بود که این زمان بسیار کوچک تر از زمان همدموسی^{۲۱} کانال بی سیم که در حدود میلی ثانیه است خواهد بود و مشکلی در دریافت سیگنال ها ایجاد نمی کند. در شکل ۵ یک سلول صفحه RIS به همراه ابعاد آن به طور دقیق تر نمایش داده شده است.

بخش مهم دیگر فناوری RIS قسمت کنترلر آن می باشد 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.

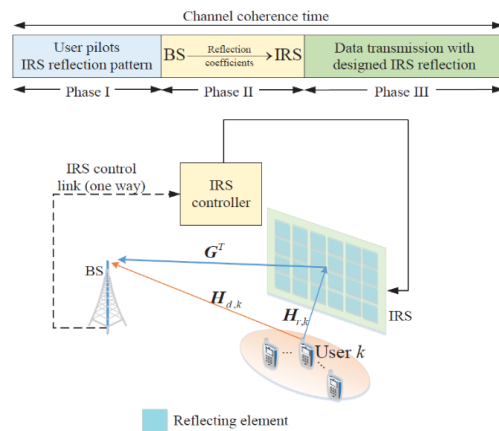
21-Coherence time



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

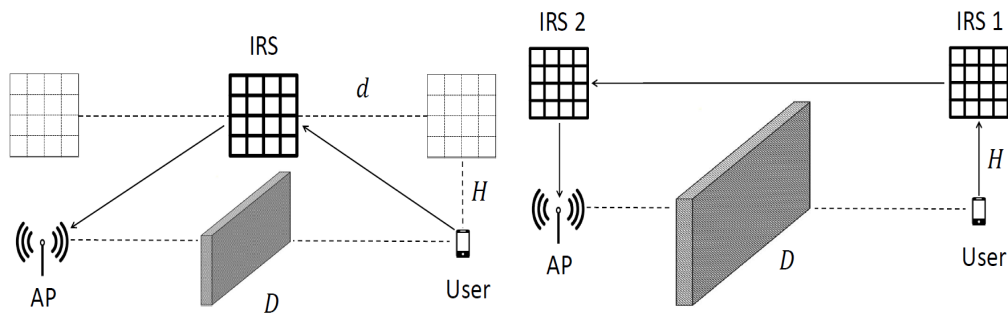


(a) Semi-passive IRS.



(b) Passive IRS (in the uplink).

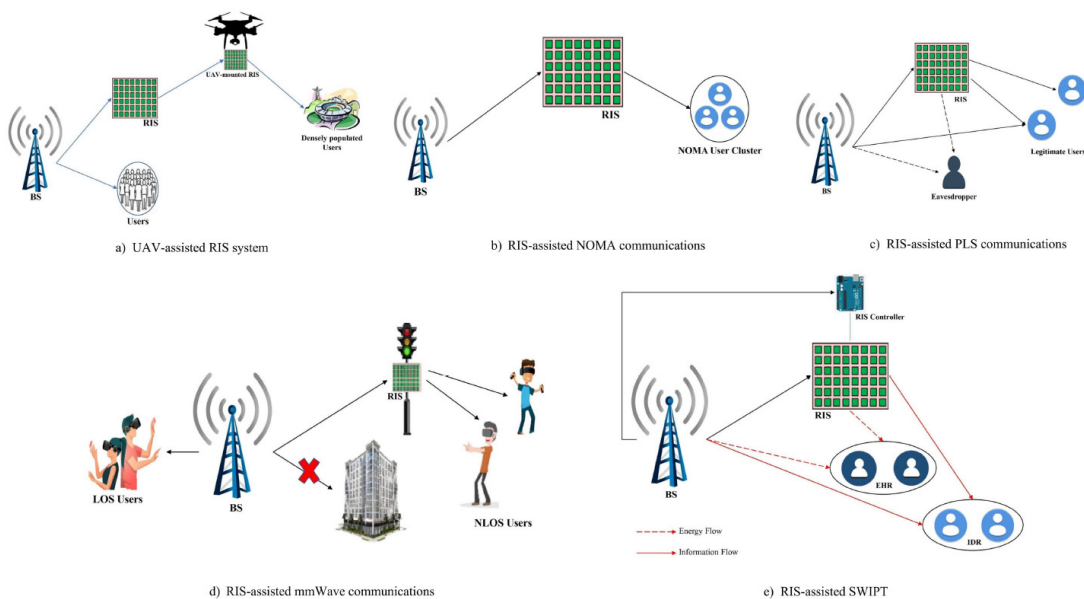
شکل ۸- پیکربندی صفحات RIS یا IRS در دو حالت عملی (a) شبه غیر فعال و (b) غیر فعال به همراه پروتکل‌ها پشان [۴]



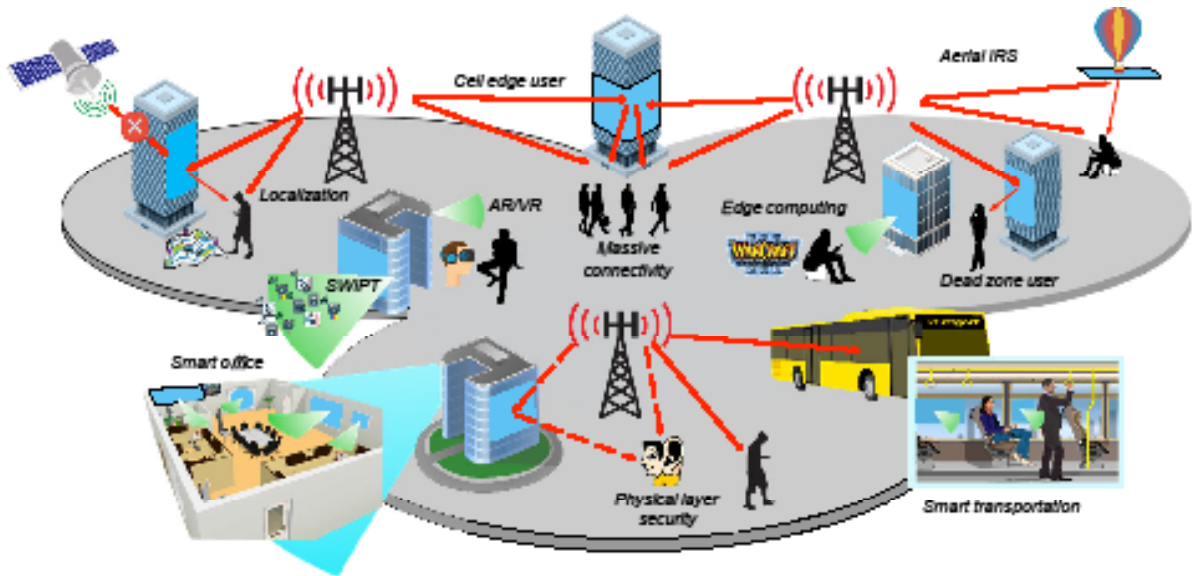
(a) Single IRS

(b) Two cooperative IRSs

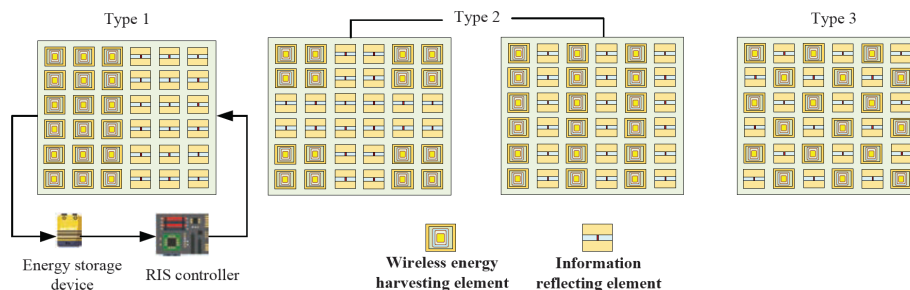
شکل ۹- دو حالت مختلف استفاده از صفحات RIS یا IRS در یک ارتباط نقطه به نقطه [۴]



شکل ۱۰- کاربردهای مختلف RIS یا IRS در فناوری‌های شبکه‌های مخابرات بی سیم 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]

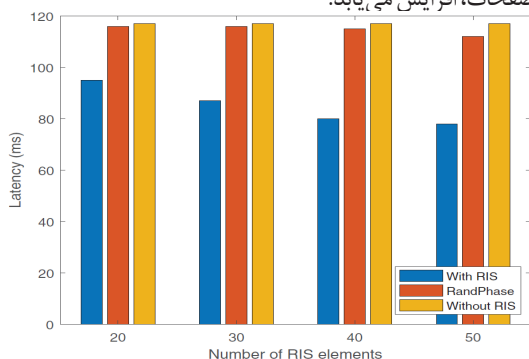
همه چیز انبوهی^{۲۴} از وسایل مختلف را به هم متصل کند. به عبارت دیگر وسایل هوشمند متعدد با ظرفیت انرژی محدود داریم که بحث تامین انرژی آن‌ها در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید مهم و ضروری است. از این رو انتقال انرژی به صورت بی‌سیم (WET^{۲۵}) یک فناوری کلیدی برای برطرف کردن این نیاز در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم نسل‌های جدید (مانند 6G) می‌باشد [۶] در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید انتقال داده و انرژی^{۲۶} SWIPT را خواهیم داشت که در شکل ۱۰ نیز نمایش داده شده است. همان‌طور 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 کاملاً مجزا از یکدیگر قرار گرفته‌اند.

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

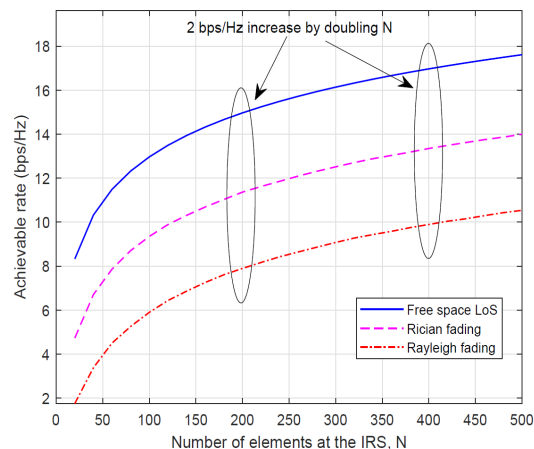
24-Internet of Everythings
25-Wireless Energy Transfer
26-Simultaneous wireless information and power transfer

و هزینه ساخت 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 در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم نسل‌های جدید (مانند 6G) بسیار مهم می‌باشد را نشان می‌دهد [۲] همان‌طور که مشاهده می‌کنیم با افزایش تعداد عناصر بر روی صفحات RIS میزان تاخیر کاهش می‌یابد. معیار مهم دیگری که می‌توان در اینجا به آن اشاره کرد نسبت توان سیگنال به نویز (SNR^{TV}) می‌باشد. در شکل ۱۵ مشاهده می‌کنیم که میزان SNR دریافتی با افزایش تعداد عناصر بر روی صفحات، افزایش می‌یابد.



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

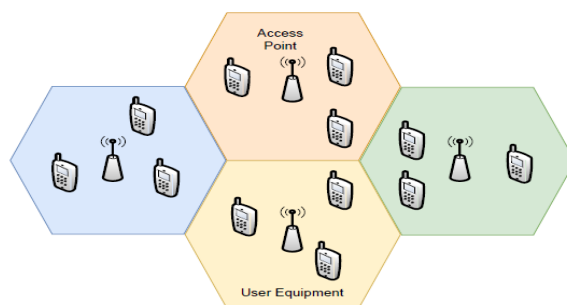
در نوع ۲، این چیدمان به صورت بلوک‌بندی شده است. در نوع ۳، همان‌گونه که مشاهده می‌کنیم این عناصر به صورت متناوب بر روی صفحات RIS پراکنده شده‌اند.



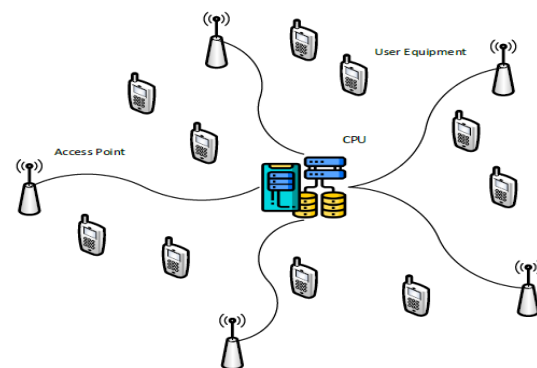
شکل ۱۳ - نرخ داده قابل دسترس بر حسب تعداد عناصر بر روی صفحات RIS یا IRS در کانال‌های مختلف مخابرات بی‌سیم [۴]

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 صفحات RIS را در کانال‌های مختلف مخابرات بی‌سیم نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینیم با افزایش تعداد عناصر و در نتیجه آن، افزایش ابعاد صفحات، میزان نرخ ارسال داده‌ها افزایش می‌یابد. از طرفی ابعاد صفحات

27-Signal to Noise Ratio



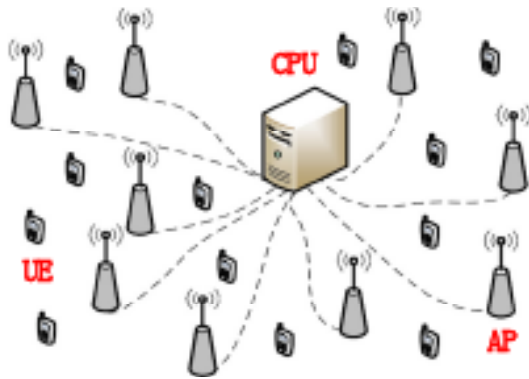
(a) Traditional cellular system.



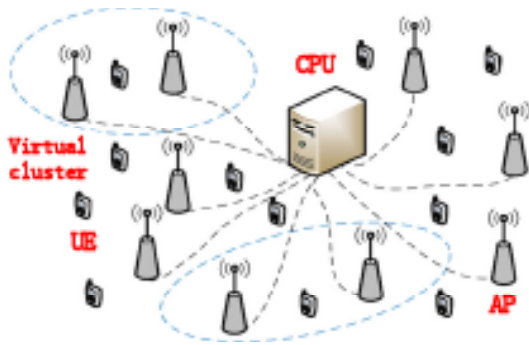
(b) Cell-free massive MIMO.

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

بهبتر، 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.



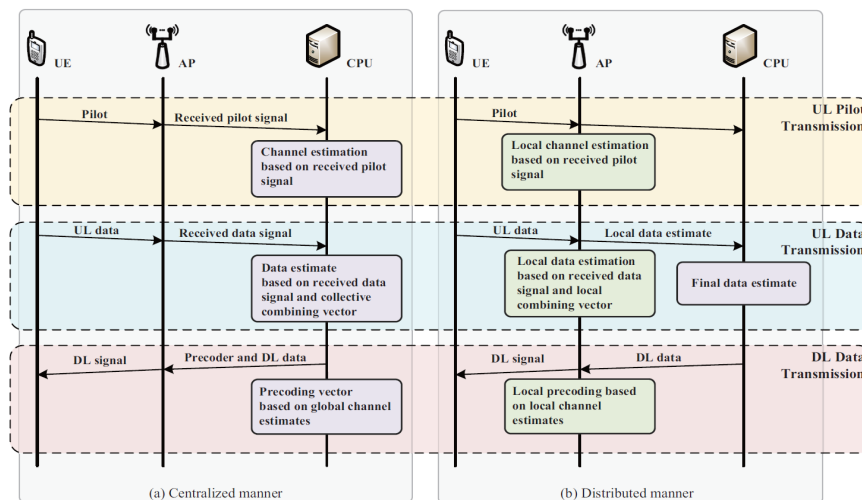
(a) conventional cell-free massive MIMO system.



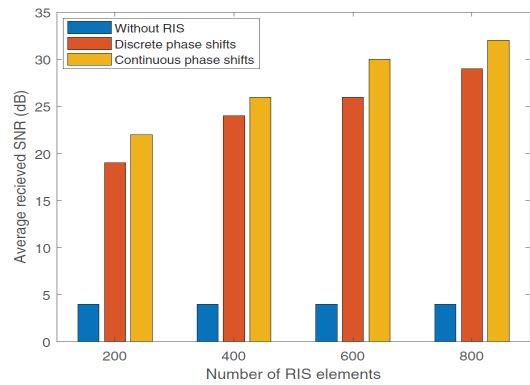
(b) scalable cell-free massive MIMO system.

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

29-Cell Free



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

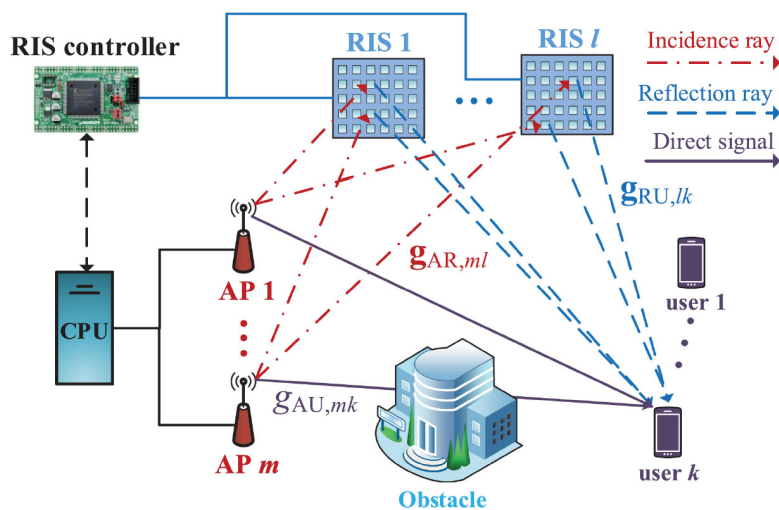


شکل ۱۵- متوسط SNR دریافتی بر حسب تعداد عناصر RIS [۲]

سیستم‌های Cell Free Massive MIMO^{۲۸}

سیستم‌های مخابرات بسیار 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 سیگنال دهی می‌شوند. عواملی مانند محدودیت توان، طیف فرکانسی محدود و تعداد زیاد کاربران باعث می‌شود که از سیستم‌های سلولی جهت پوشش دهی و سرویس دهی 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 پوشش دهی بهتر و یکسان در تمامی مناطق تحت پوشش می‌باشد. یک پیشنهاد در سیستم‌های مخابرات بسیار نسل جدید 6G جهت بهبود پوشش سیگنال دهی

28-CFmMM



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

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.

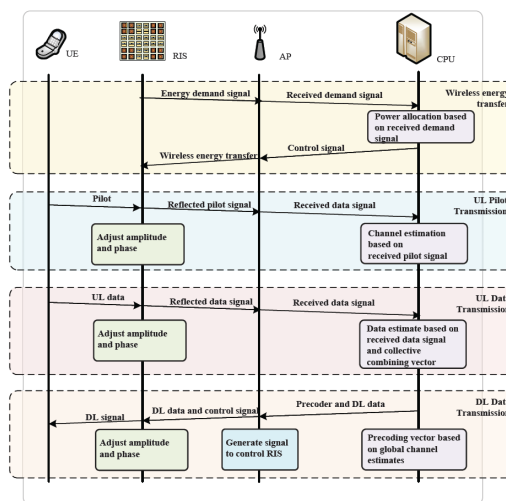
سیستم‌های مبتنی بر CFmMM و RIS

در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم نسل جدید مانند 6G از فرکانس‌های بالا جهت دسترسی به پهنای باند بیشتر استفاده خواهد شد. از طرفی کار کردن 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 می‌کند. بنابراین با توجه به اینکه در سیستم‌های CFmMM از تعداد زیادی (AP) جهت پوشش دهی 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 انرژی در سیستم RIS-CFmMM را مشاهده می‌کنیم. در یک شبکه RIS-CFmMM

در طراحی سیستم‌های CFmMM ساختارهای مختلفی قابل به کارگیری است که در ادامه به دو مورد اشاره شده است. ۱- روش TDD^{۳۱} و FDD^{۳۱} مرسوم بر پایه CFmMM که مطابق شکل ۱۷ (a) از تعداد زیادی AP که تعداد کمتری کاربر را سرویس دهی می‌کند 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 می‌توان دو حالت مختلف متمرکز و غیرمتمرکز را در نظر گرفت. در شکل ۱۸ نمایشی از مراحل این دو روش ترسیم شده است [۸] همان‌طور که می‌بینیم در روش

30- Time Division Duplexing

31- Frequency Division Duplexing

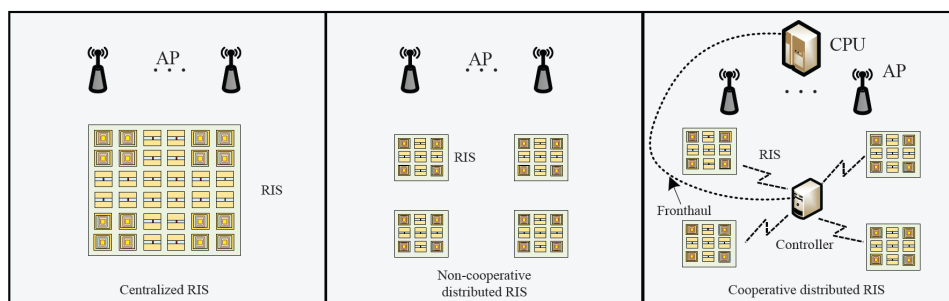


شکل ۲۰- مراحل ارسال و دریافت داده و انرژی در سیستم RIS- CFmMM [۶]

32-Access Point

33- mmWave

34- Thz



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.

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.

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 ارائه 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

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



آتنا ابراهیم خانی

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

پشتیبان ارتباطات اینترنت اشیا

شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری نسل پنجم

نیاز به پیاده‌سازی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری (C-RAN)^۱ که انعطاف پذیر و مقیاس پذیر هستند، با محبوبیت و گسترش اینترنت اشیا (IoT)^۲ بیش از گذشته پررنگ 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 اشیا می‌شود. عدم تعادل در ترافیک شبکه‌های اینترنت اشیا باعث می‌شود تا اتصال تعداد زیادی از دستگاه‌ها مسدود شده و کیفیت خدمات (QoS)^۳ کاهش یابد. همچنین مدیریت کارآمد منابع از یک سو و نیاز به ارتباطات با تأخیر کم از سوی دیگر چالش‌های شبکه‌های دسترسی رادیویی در اینترنت اشیا محسوب می‌شوند. از این رو شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری اخیراً برای ارتباطات بی‌سیم نسل پنجم (5G)^۴ 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 اشیا فراهم می‌کنند. در این گزارش روشی جهت پیکربندی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری جهت تعادل شدن ترافیک شبکه‌های بی‌سیم اینترنت اشیا 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)^۵ اتصالات منطقی واحدهای باند پایه (BBU)^۶ و گلاهدک منبع رادیویی (RRH)^۷ مجدداً پیکربندی می‌شود. نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که با استفاده از این روش ترافیک شبکه متعادل تر شده و در نتیجه کیفیت خدمات پیشینه شده و تعداد اتصالات مسدود شده به حداقل رسیده است.

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

- 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



بارگذاری می‌شود که توان ارسال 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)^۳ که از رایانش ابری پشتیبانی می‌کند، به عنوان یکی از راه‌حل‌های امیدوارکننده برای پشتیبانی از دستگاه‌های اینترنت اشیا سلولی با سیستم‌های سلولی قدیمی مطرح شده است. در این مقاله، کاربران سلول‌های بزرگ به عنوان کاربران قدیمی در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که دستگاه‌های اینترنت اشیا 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 «جین»^۴ با در نظر گرفتن تأثیر تعداد چگالی اینترنت اشیا 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 میلیون‌ها ادوات مختلف اینترنت اشیا 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 متعادل سازی بار در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری زمانی که پای اینترنت اشیا 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 متعادل سازی در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری که از اینترنت اشیا پشتیبانی می‌کند

از آن جا که اینترنت اشیا یک چارچوب جهانی است که اتصال تریلیون‌ها ادوات و اشیا 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 اشیا، کاهش کیفیت خدمات و افزایش تعداد انسداد یا شکست اتصال بین دستگاه‌های متصل در اینترنت اشیا می‌شود [۱] لذا شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری به دلیل انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری بالا یکی از بهترین گزینه‌ها برای پشتیبانی اینترنت اشیا محسوب می‌شوند. در شکل ۱، مثالی از

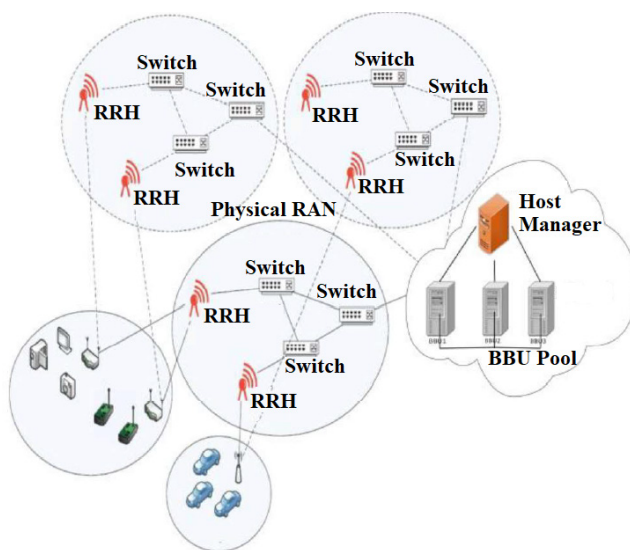
شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری با داشتن ویژگی‌هایی نظیر پردازش متمرکز توسط محاسبات ابری و تخصیص پویای منابع رادیویی، یک راه‌حل امیدوارکننده جهت رفع مشکلات سازمان‌دهی ترافیک شبکه‌های پربار هستند [۱] در این میان، سازمان‌دهی بار شبکه یکی از چالش‌های مهم در شبکه‌های بی‌سیم اینترنت اشیا است. تنوع زیاد در ترافیک شبکه‌های اینترنت اشیا منجر به اضافه بار برخی از سلول‌های رادیویی می‌شود، 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 ادوات متصل در اینترنت اشیا خواهیم داشت [۲] لذا متعادل سازی بار در شبکه‌های دسترسی رادیویی با وجود اینترنت اشیا 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 شبکه‌های تلفن همراه انجام شده است. در مرجع [۳] واحدهای BBU و RRH مربوط به C-RAN به گونه‌ای تخصیص داده شده‌اند که بار شبکه به صورت پویا متعادل گردد. این تخصیص از طریق حل یک مسئله برنامه‌نویسی بهینه‌سازی خطی مبتنی بر عدد صحیح با هدف پیشینه کردن کیفیت خدمات انجام شده و نتیجه مطلوب حاصل گشته است. شاخص عدالت در تخصیص بار نیز در این الگوریتم پیشینه شده است.

در مرجع [۴] از توانایی C-RAN برای پیکربندی مجدد پویا در نگاهت 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 آن جا که ادوات اینترنت اشیا باتری و توان محاسباتی بسیار محدودی دارند، پیشنهاد شده است که محاسبات مربوط به برنامه‌های اینترنت اشیا در شبکه دسترسی رادیویی ابری مجهز به فناوری چند ورودی-چند خروجی (MIMO)^۱ 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^۲ با ظرفیت محدود به BBU متصل می‌شود. امور محاسباتی ادوات اینترنت اشیا به گونه‌ای روی شبکه

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

1- Multiple Input Multiple Output
2- Fronthaul



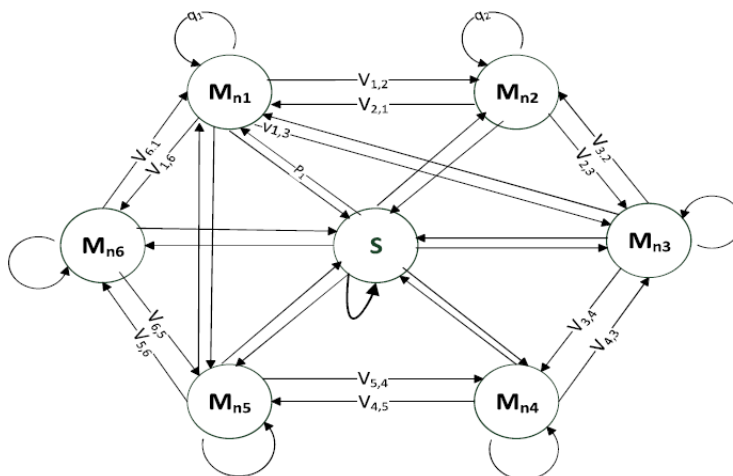
شکل ۱- نمونه‌ای از معماری شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری که از اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌کنند [۱]

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 متعادل سازی شود. در این راستا، به بررسی الگوریتم پیشنهادی در [۱] در ادامه پرداخته می‌شود.

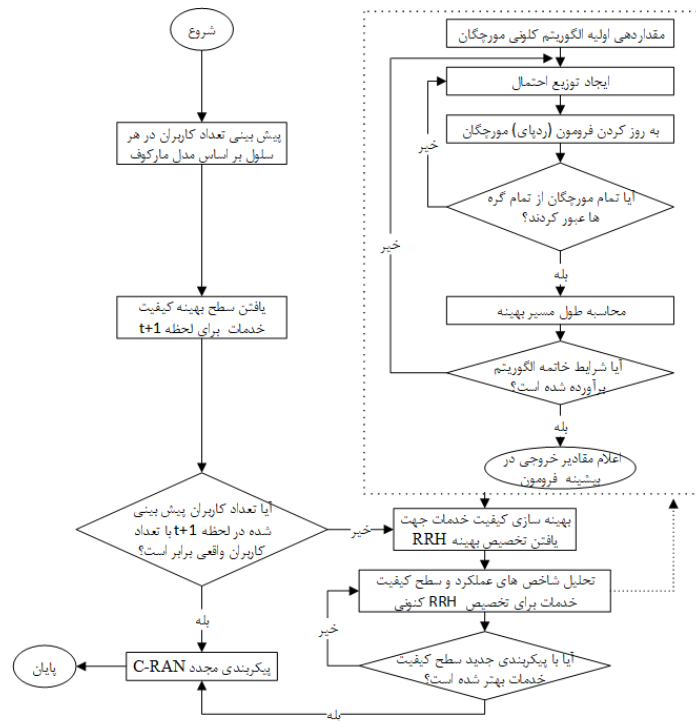
روش پیشنهادی پیکربندی شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری جهت متعادل سازی بار

همان طور که قبلاً هم ذکر شد، در روش پیشنهادی متعادل سازی 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 کلاک‌های 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_{ij} 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 S 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]



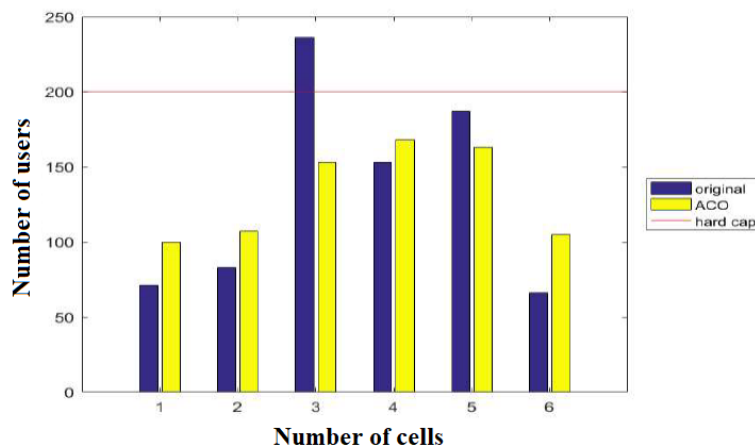
شکل ۳- الگوریتم بیکربندی C-RAN بر اساس مدل مارکوف و کلونی مورچگان [۱]

کاربران اینترنت اشیا دارند که با استفاده از آن می توان تعداد اولیه کاربران و ادوات اینترنت اشیا را در هر سلول به دست آورد. لذا تعداد کاربران در سلول $t+1$ را با نماد $N_i(t+1)$ نشان می دهیم که می توان از طریق احتمالات مارکوف و رابطه‌ی $N_i(t+1) = N_i(t) \times P_S^i + \sum_{j \in S^{adj}} N_j(t) \times P_{M_i}(j)$ آن را بدست آورد. در این رابطه $P_{M_i}(j)$ نشان دهنده مجموعه‌ی سلول های همجوار سلول است و $P_{M_i}(j)$ احتمال حرکت از سلول i به سلول j است. نیز احتمال ماندن در همان سلول i یا حالت S است.

حال که تعداد کاربران در هر سلول از طریق مدل مارکوف برای لحظات آینده پیش بینی شد، با استفاده از الگوریتم

کاربران اینترنت اشیا دارند که با استفاده از آن می توان تعداد اولیه کاربران و ادوات اینترنت اشیا را در هر سلول به دست آورد. لذا تعداد کاربران در سلول $t+1$ را با نماد $N_i(t+1)$ نشان می دهیم که می توان از طریق احتمالات مارکوف و رابطه‌ی $N_i(t+1) = N_i(t) \times P_S^i + \sum_{j \in S^{adj}} N_j(t) \times P_{M_i}(j)$ آن را بدست آورد. در این رابطه $P_{M_i}(j)$ نشان دهنده مجموعه‌ی سلول های همجوار سلول است و $P_{M_i}(j)$ احتمال حرکت از سلول i به سلول j است. نیز احتمال ماندن در همان سلول i یا حالت S است.

حال که تعداد کاربران در هر سلول از طریق مدل مارکوف برای لحظات آینده پیش بینی شد، با استفاده از الگوریتم



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



از اجرای الگوریتم ذکر شده با نام ACO^۵ 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. مثلاً 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

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 اشیا 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 اشیا در هر سلول بعد

ابری که مقیاس پذیری 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 اشیا پشتیبانی می‌کند، پیشنهاد شده است. همچنین در این گزارش، در یک شبکه اینترنت اشیا با اجرای الگوریتم پیشنهادی جهت متعادل سازی 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 می‌یابد و یک شبکه اینترنت اشیا 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," *Info-communications Journal*, 2009.



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

نتیجه‌گیری

با توجه به این که با رشد سریع تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیا مواجه هستیم، نیاز است تا شبکه‌های دسترسی رادیویی



علیرضا جعفری به

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

تحقق لینک‌های مخابراتی پویا به وسیله RIS و SWIPT

با توجه به روند پیشرفت فناوری و معرفی موضوعاتی نظیر اینترنت اشیا، تعداد دستگاه‌های بی‌سیم با افزایش چشمگیری مواجه شده است. این دستگاه‌ها 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 RIS‌ها، یکی از راهکارهای ایجاد لینک پویا به وسیله RIS و پهپادها (UAV) را بررسی می‌نماییم. در نهایت با ترکیب لینک‌های پویا معرفی شده و فناوری انتقال همزمان داده و توان به صورت بی‌سیم راهکاری جهت افزایش طول عمر این لینک‌ها معرفی می‌شود.

- 1- Reconfigurable Intelligent Surface
- 2- Unmanned aerial vehicle

اشیا (IoT)، ظرفیت فوق‌العاده^۱، بهبودهای بزرگ در استحکام لینک^۲، بهره‌وری انرژی، و انعطاف‌پذیری / کارایی استفاده در تخصیص طیف را ممکن می‌سازد [۱] فناوری‌های کلیدی در شبکه‌های 5G شامل سیستم‌های چند ورودی چند خروجی (MIMO)، دسترسی چندگانه غیر

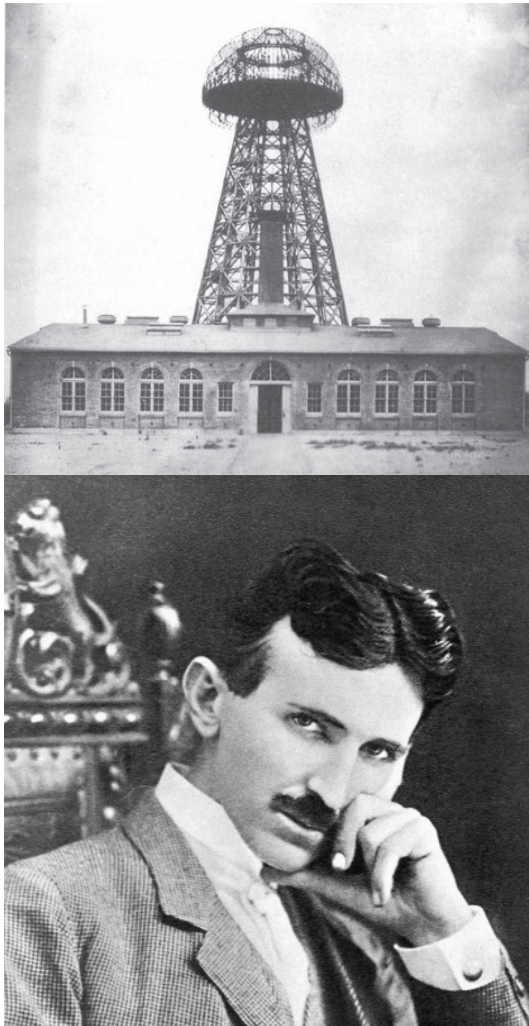
- 3- Ultra capacity
- 4- Order-of-magnitude improvements in the link robustness

استقرار و استانداردسازی شبکه‌های بی‌سیم نسل پنجم (5G) به سرعت در حال افزایش است. شبکه‌های 5G عملکردهای مختلفی مانند قابلیت اطمینان فوق‌العاده، تأخیر زیر میلی‌ثانیه‌ای، سرعت پیک داده چند گیگابیت بر ثانیه، اتصال / بهینه‌سازی بالا برای اینترنت

- 1- Ultra reliability
- 2- High connectivity/optimization

۱۹ مطرح شد. در این زمان نیکولا تسلا با الهام از پژوهش‌های ماهلون لومیس در باره 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 قابل حمل 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 به صورت بی‌سیم تسلا در کلرادو اسپرینگز.

متعامد (NOMA^۵)، استقرار سلول‌های کوچک بسیار متراکم، باندهای موج میلی‌متری^۶ و شبکه‌های رادیویی شناختی (CR^۷) 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 شده است [۱]و [۲]



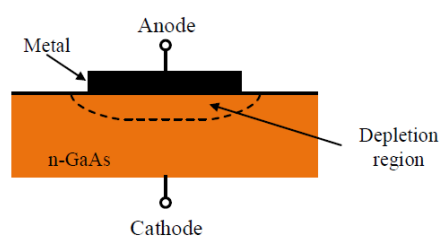
در حال حاضر پژوهش‌های بسیاری در باره شبکه‌های 6G انجام شده و یا در حال انجام است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۸ استانداردها و آزمایش‌های مربوط به این نسل تکمیل شوند. الزامات اصلی، دسته بندی خدمات و فناوری‌های عرضه شده، آینده‌ای انقلابی را برای شبکه‌های 6G نوید می‌دهند. مزیت‌های فناوریانه همچون استفاده نوآورانه، خدمات بی‌سابقه، کیفیت عالی خدمات (QoS^۸)، 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^۹، اشتراک گذاری طیف پویا با ارتباطات تمام دبلکس (FD)^{۱۰} و یا دستگاه به دستگاه^{۱۱} (D2D)، هوش مصنوعی (AI)، باند فرکانسی تراهرتز، ارتباطات غیر زمینی^{۱۲}، RIS و انتقال همزمان اطلاعات و توان به صورت بی‌سیم (SWIPT^{۱۳}) 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 به صورت بی‌سیم (WPT^{۱۴})

نخستین ایده‌ها در باره انتقال توان به صورت بی‌سیم در اواخر قرن

- 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



شکل ۲. یک اتصال شاتکی [۷]

که در آن $I_f(x)$ چند جمله‌ای بسط مرتبه m هستند. همان گونه که از این معادله مشخص است جریان دیود در این حالت دارای مولفه‌های DC و هارمونیک‌های ω_0 می‌باشد. معمولاً سه جمله اول این معادله دامنه بزرگ‌تری نسبت به سایر جملات دارند و دیگر جملات قابل چشم‌پوشی‌اند. از آن جا 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 به صورت بی‌سیم (SWIPT)

همان گونه که تأمین انرژی دستگاه‌های 5G و 6G بسیار ضروری است حفظ نرخ داده و کیفیت تجربه (QoE) نیز بسیار ضرورت دارد [۵]. این ضرورت تأمین همزمان انرژی و داده در این نسل‌ها موجب شد تا محققین به راه حلی جهت پاسخ به این ضرورت بیندیشند. در نهایت جهت پاسخ به این نیاز فناوری انتقال همزمان داده و توان به صورت بی‌سیم معرفی شد. در این فناوری در سمت گیرنده با به کارگیری یک تقسیم‌کننده توان^{۱۹} مسیر داده و انرژی از یکدیگر مجزا می‌شوند. وزن هر یک از این مسیرها با توجه 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

به اینترنت اشیا، اینترنت اشیا در زیر دریایی^{۱۵}، $(V2V)^{۱۶}$ و... اشاره نمود [۴] همچنین کاربردهایی در حوزه سلامت نیز مانند دستگاه‌های قابل جاگذاری در داخل و روی بدن انسان و یا حیوانات معرفی شده‌اند. در بسیاری 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 به صورت بی‌سیم دیگر صرفاً در حد یک ایده نخواهد بود. تاکنون طرح‌های مختلف جهت پیاده‌سازی ایده انتقال توان به صورت 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 به اختصار آن را رکتنا^{۱۸} می‌نامند. یکسو کننده‌ها معمولاً از ادوات میکروویوی مانند دیودهای شاتکی و یا ترانزیستورها، یک فیلتر DC و یک شبکه تطبیق تشکیل شده‌اند. شکل ۲ ساختار یک دیود شاتکی را نمایش می‌دهد. معادله ولتاژ جریان این دیود را می‌توان به صورت زیر نوشت [۶]:

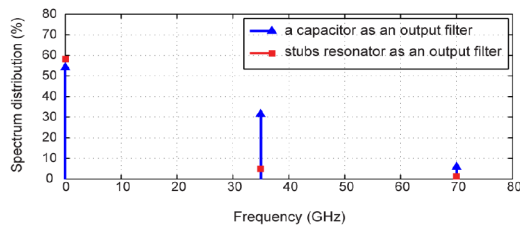
$$I_d = I_s \left(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

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

$$I_d = I_s (I_c(x) + v_L(x) \cos(\omega_c t) + v_L(x) \cos(2\omega_c t) + \dots) \quad (2)$$

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





شکل ۵. طیف فرکانسی خروجی یک یکسو کننده از نوع دو برابر کننده

ولتاژ [۷]

معمولاً اولین بلوک از یک یکسو کننده یک فیلتر میان گذر 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 اجزای مهم یکسو کننده‌ها فیلتر DC آن‌ها است. این فیلتر با حذف هارمونیک‌های فرکانس ورودی موجب می‌شود تا در خروجی یک ولتاژ DC با ریبیل کم به دست آید. در گذشته در فرکانس‌های پایین از یک خازن موازی استفاده می‌شد تا این عمل فیلترینگ انجام شود. اما با حرکت این فناوری به سمت فرکانس‌های میلی متری 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 به عنوان فیلتر پایین گذر استفاده شده است هارمونیک اول فرکانس ورودی در خروجی یکسو کننده دامنه قابل توجهی داشته است. اما زمانی که از استاب^{۲۱} استفاده شده است این هارمونیک‌ها تا حد زیادی فیلتر شده‌اند.

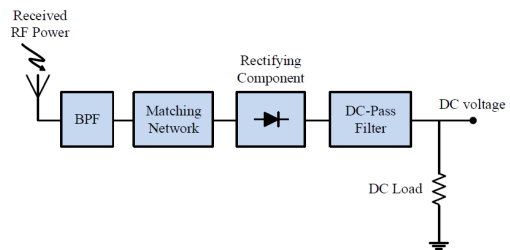
از جمله برتری‌های یکسو کننده‌های مبتنی بر دیود شاتکی می‌توان به راندمان تبدیل RF به DC نسبتاً بالا و همچنین سادگی طراحی و ساخت آن‌ها اشاره کرد. اما معمولاً این دیودها در یکسو کننده‌ها مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهند. از این رو مدار تطبیق این یکسو کننده‌ها معمولاً ابعاد بسیار بزرگی دارد. همین امر موجب 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 شده است. بسیاری به کارگیری 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 شکل پذیر (RIS)

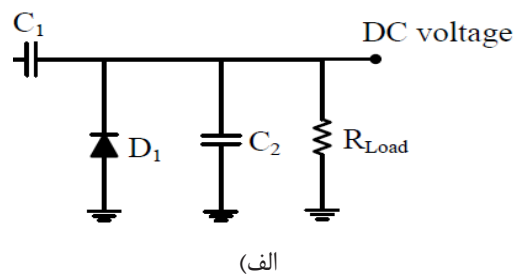
پهنای باند خالی موجود در فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز به تنهایی توانایی برآورده کردن نیازهای نسل پنجم و ششم را ندارد. لذا جهت برآورده کردن نیازهای این نسل‌ها نیاز است تا به باند

21- Stub

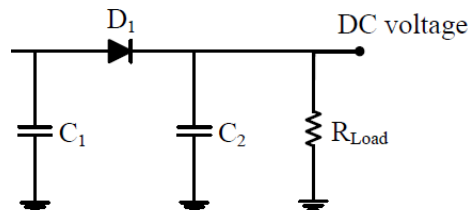
سیستم اشاره کرد. برای نمونه، زمانی که نسبت سیگنال به نویز از یک حد آستانه کمتر شود تمام توان در یافتی به بخش داده گیرنده منتقل می‌شود و عمل WPT انجام نمی‌شود. همانند WPT در SWIPT نیز در قسمت گیرنده یک یکسو کننده قرار دارد. شکل ۳ ساختار کلی یک یکسو کننده را به نمایش گذاشته است [۶] و [۷]



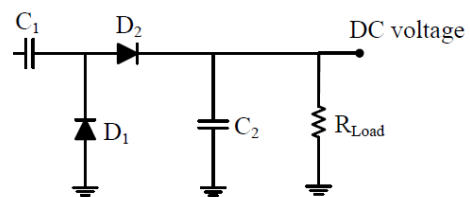
شکل ۳. ساختار کلی یکسو کننده [۷]



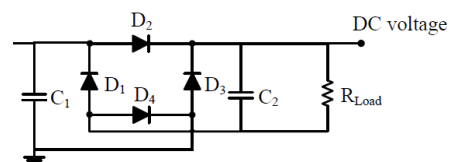
(الف)



(ب)



(پ)



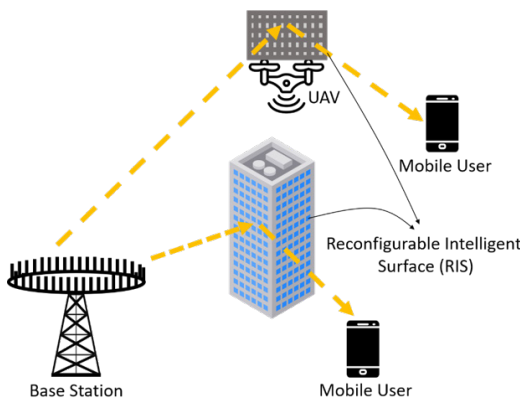
(ت)

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]

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 میلی متری 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 طراحی شده در باند موج میلی متری دارای ابعاد کوچکی می‌باشند [۷]

یک موج الکترومغناطیسی در باند موج میلی متری 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 به دلیل این تلفات زیاد عملاً کانال یک لینک میلی متری دارای خاصیت چند مسیری نمی‌باشد. این موضوع موجب این الزام می‌شود که در یک لینک میلی متری، 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 شکل پذیر (RIS) توجهات زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۱] و [۲]. این سطوح در واقع از شمار آنتن‌های پیچ کوچک به صورت آرایه صفحه‌ای، یک کنترل کننده دامنه و فاز و عناصری مانند دیود و ترانزیستور تشکیل شده‌اند. معمولاً از RIS‌ها 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،

22- Line of Sight.

23- Access point

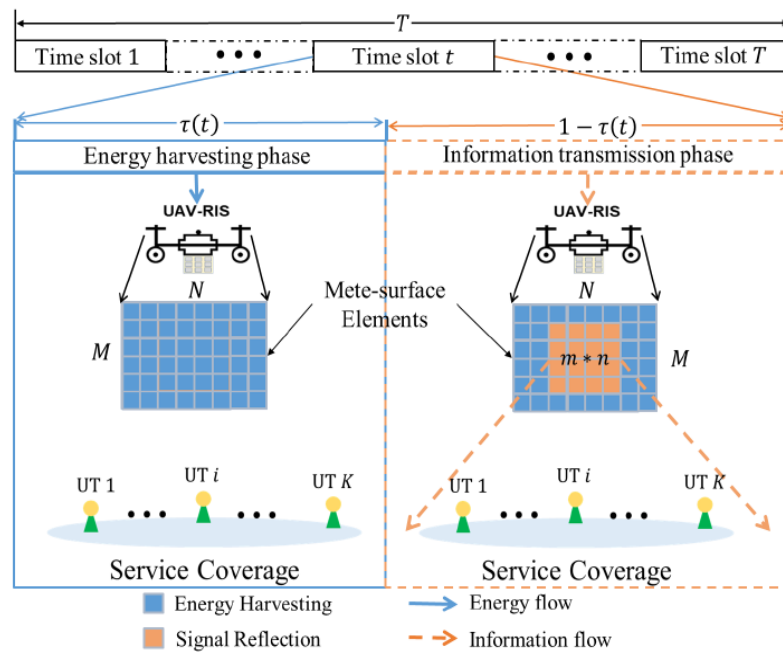
AP پر تو خود را به RIS می‌تابد و کنترلر RIS با تنظیم دامنه و فاز المان‌های آنتنی خود عمل شکل دهی پرتو^{۲۴} را انجام داده و بازتابش پرتو را به سمت کاربر تنظیم می‌نماید. به وسیله RIS‌ها می‌توان پوشش شبکه را در نقاطی که پوشش دهی رادیویی ضعیفی دارند تضمین کرد و ظرفیت انتقال را افزایش داد. به این شیوه می‌توان 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 بی سیم 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 به شدت افزایش می‌یابد. یکی از کاربردهای جدید RIS‌ها نصب آن‌ها به‌روی UAV به منظور دستیابی به یک لینک پویا می‌باشد [۲]. این ترکیب را می‌توان سیستم‌های RIS-UAV نامید. هر چند 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. یک فاز WPT و یک فاز SWIPT. فازهای WPT و SWIPT به ترتیب در سمت چپ و راست شکل ۷ نمایش داده شده‌اند. 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 یکسو کننده 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

24- Beamforming



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

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.

UAV بیش از پیش صرفه جویی شود.

نتیجه گیری

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 بی سیم و همچنین اهمیت آن در سیستم های نسل پنجم و ششم پرداختیم. سپس با توجه به اهمیت داده در شبکه های نوین مخابراتی، سیستم های مبتنی بر ارسال همزمان داده و توان را معرفی نمودیم. در این مقاله بخشی از ادوات مورد نیاز سیستم های SWIPT مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین به عنوان نمونه نتایج یک یکسو کننده توان مورد بررسی قرار گرفت. این سیستم ها در حال حاضر دارای ابعاد نسبتاً بزرگی می باشند و رقابت جهت تجاری سازی آن ها بسیار داغ است. همچنین به معرفی سیستم های RIS پرداختیم. مشاهده شد که این سیستم ها در نسل های پنجم و ششم شبکه های مخابراتی نقش مهمی در ایجاد ارتباط LOS دارند. همچنین می توان با ترکیب آن ها و UAV ها به لینک های پویا دست یافت. در تحقق لینک های پویا مسئله اساسی افزایش مدت زمان فعالیت آن ها است. از طرفی با توجه به اینکه UAV ها توسط باتری تغذیه می شوند، پس از مدت کوتاهی نیاز به شارژ مجدد دارند و در نتیجه تا مدتی نمی توان از آن ها استفاده کرد. افزایش زمان عملیات این لینک ها یکی از چالش های اساسی تحقق آن ها می باشد. با به کارگیری همزمان فناوری های RIS و SWIPT در این لینک های پویا می توان زمان انجام وظیفه آن ها را افزایش داد.



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 میلی متری 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 میلی متری به دلیل افت مسیر شدید و نیاز به ارتباط مستقیم بین فرستنده و گیرنده LOS، فناوری شکل‌دهی پرتو^۱ 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، پرتوآرسانی 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 دارد. 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 میلی متری با کاربردهای داخلی و خارجی تبدیل می‌کند. این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از فناوری شکل‌دهی پرتو در فرکانس‌های موج میلی متری باعث بهبود کیفیت انتقال داده و بهبود عملکرد سیستم‌های مخابراتی نسل پنجم می‌شود.

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

لورنتز^{۱۷} را به وسیله چینش متوالی^{۱۸} دو مدولاتور موج ساکن^{۱۹} با فاز نسبی و با به وسیله هدایت/گذردهی^{۲۰} انتشاری تک جهته 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 منفی آن، سیستم تقارن داشته باشد و پارامترهای سیستم پایستار باقی بمانند. همچنین قضیه هم پاسخی لورنتز به موضوع هم پاسخ بودن آنتن‌ها هنگام ارسال یا دریافت دلالت دارد). STMMهای غیرهم پاسخ می‌توانند به عنوان ایزولاتورها یا سیر کولاتورهای نوری که دارای کاربردهای فوتونیک جمع شده روی چیپ (On-chip) هستند، رفتار کنند. علاوه بر این، مدولاسیون فضا-زمان باعث ایجاد توانایی در کنترل طیف امواج هدایت شده با استفاده از تشکیل پتانسیل‌های گِیج^{۲۱} فوتونیک (در فیزیک یک پارامتر برای تشریح رفتار میدان تحت تعامل با امواج الکترومغناطیس است) را دارد، که منجر به پدیده‌های متنوعی مانند تولید دندان‌فرکانسی و ضرب 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 هم پاسخی 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 مجتمع سازی On-chip را دشوار می‌سازد.

سومین نوع از STMMها، در صدارتباط دادن و ایجاد پلی 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 هم پاسخی لورنتز تاکنون به صورت تجربی و اندازه گیری، نشان داده شده است. برای این نوع آنتن‌های فراسطح کاربردهای مختلفی مانند مخابرات بی سیم مایکروویو، Li-Fi و آشکار سازی نور وجود دارد. این سیستم‌ها نیازمند واسط^{۲۲}‌های پیشرفته که توانایی کوپل کردن امواج هدایت شده از منابع در-صفحه^{۲۳} (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^{۲۴} در فرکانس‌های مایکروویو برای ایجاد شکل دهی 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^{۲۵} و گری‌تینگ‌های

- 17- Lorentz reciprocity
- 18- Cascading
- 19- Standing wave
- 20- Permittivity
- 21- Gauge
- 22- Interface
- 23- In-plane
- 24- Phased array
- 25- Edge coupler

فرامواد^۱ موادی مصنوعی هستند که به طور معمول از ساختارهای زیر طول موج^۲ تشکیل شده‌اند که به نحوی چیده شده‌اند که خواص الکترومغناطیسی ماکروسکوپیک داشته باشند. فراسطوح^۳، که همتای دو بُعدی فرامواد هستند، می‌توانند مزایای مجزایی مانند افت عبوری کم، قابلیت ساخت ساده تر و قابلیت تطبیق پذیری^۴ نسبت به فرامواد داشته باشند. فراسطوح قابلیت ایجاد تغییر^۵ در امواج الکترومغناطیس شامل دامنه، فاز و پلاریزاسیون آن‌ها را دارند و می‌توانند به طور پویا این امواج را با استفاده از یکپارچه سازی با مواد کاربردی کنترل کنند. به طور خاص، فراسطوح دارای گرادین فضایی^۶ می‌توانند ممان^۷ امواج الکترومغناطیس را تغییر دهند که کاربردهای زیادی مانند تولید ممان زاویه‌ای چرخشی (OAM)^۸، هولوگرافی^۹ و پنهان کردن^{۱۰} دارد. همچنین با اضافه کردن اجزای تنظیم پذیر به فراسطوح، جبهه موج^{۱۱} در امواج الکترومغناطیس بر حسب کاربرد قابلیت سوئیچ شدن پیدا می‌کند.



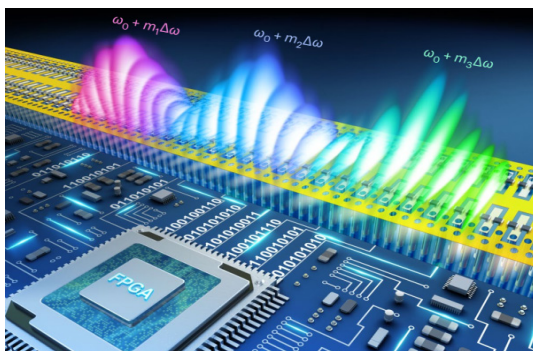
اخیراً، فراسطوح متغیر با زمان با مدولاسیون فضا که به فراسطوح مدوله شده فضا-زمانی (STMM)^{۱۲} معروف هستند، توسعه داده شده‌اند. STMMها دارای یک یا چند پارامتر متغیر با مکان و زمان، مانند فاز انتقال/انعکاس، دامنه، امپدانس سطحی^{۱۳} و هدایت^{۱۴} ماده ترکیبی^{۱۵} هستند. در مقایسه با فراسطوح گرادین متداول، 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^{۱۶} و هم پاسخی

- 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



موج‌بر که شامل آرایه‌ای از متاتم^{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-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 متاتم 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 غیر تشعشعی یک سلول واحد^{۳۳} را نشان می‌دهند. دیودهای PIN توسط FPGA^{۳۴} به نحوی که حالت کوپلینگ متاتم‌ها 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

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 بعد 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 باسیگنال‌های 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 ممان امواج الکترومغناطیس را دارد، که به طور معمول به مدولاسیون‌های فضا-زمانی چندبیتی یا پیوسته در STMMهای مبنی 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

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

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

هدایت شده اصلی در هر فرکانس هارمونیک اضافه می‌شود. به طور خاص، میدان مغناطیسی در فرکانس پایه برابر است با:

$$\vec{H}(x, \omega) = \hat{y} H_0 e^{j\omega t} c(x, \omega) e^{-j\zeta_{gw} x} \prod(x) \quad (4)$$

که در آن

$$c(x, \omega) = \frac{1}{T} \int_0^T C(x, t) dt \quad (5)$$

با توجه به رابطه (5)، مشخص است که ضریب کوپلینگ در فرکانس پایه برابر با میانگین زمانی ضریب کوپلینگ متغیر با زمان است، که مستقل از نوع استراژی مدولاسیون فضا-زمان اتخاذ شده توسط $C(x, t)$ است. به طور شهودی می‌توان گفت، یک تغییر تناوبی در انرژی کوپلینگ لحظه‌ای از موج بر، 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-روشن (ON-OFF) دیودهای PIN، که منجر به حالت‌های سوئیچینگ متناهم‌ها بین کوپلینگ (المان کدینگ "1") و عدم کوپلینگ (المان کدینگ "0") می‌شود، ضریب کوپلینگ بر اساس این طرح یک بیتی در یک دوره متناوب زمانی به صورت زیر نوشته می‌شود

$$C(x, t) = C_0 \begin{cases} 1, & t_s(x) - \frac{\tau(x)}{2} \leq t \leq t_s(x) + \frac{\tau(x)}{2} \\ \text{else} & \end{cases} \quad (6)$$

که در رابطه (6) $t_s(x)$ و $\tau(x)$ به ترتیب شیفت زمانی نرمالیزه و دوره کار⁴⁰ در موقعیت x هستند و در شروط $t_s(x) \geq 0$ و $\tau(x) \leq 1$ صدق می‌کنند. سوئیچینگ خاموش-روشن بین حالت‌های کوپلینگ و عدم کوپلینگ از موج بر یک طرح مدولاسیون دامنه (AM)⁴¹ یک بیتی است. در این حالت، می‌توان ضریب کوپلینگ مختلط معادل، رابطه (7) را به صورت زیر نوشت:

$$c(x, \omega + m\Delta\omega) = C_0 \tau(x) \text{sinc}[\pi m \tau(x)] e^{-j2\pi m t_s(x)} \quad (7)$$

با توجه به رابطه (7)، 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 موج بر در فرکانس هارمونیک مرتبه m را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\vec{H}(x, \omega + m\Delta\omega) = \hat{y} H_0 C_0 \tau(x) \text{sinc}[\pi m \tau(x)] e^{-j[\zeta_{gw} x + \pi m t_s(x)]} \prod(x) \quad (8)$$

الگوهای پراکندگی⁴² میدان دور مربوط به آنتن فراسطح در فرکانس هارمونیک مرتبه m برابر با $\omega + m\Delta\omega$ را می‌توان با تبدیل فوریه فضایی از رابطه (8) به صورت زیر نوشت:

$$H_{\text{rad}}(\theta, \omega + m\Delta\omega) = H_0 C_0 \text{FT} \left\{ \tau(x) \text{sinc}[\pi m \tau(x)] e^{-j[\zeta_{gw} x + \pi m t_s(x)]} \prod(x) \right\} \quad (9)$$

مطابق با رابطه (9)، طرح STC یک ممان اضافی $k_m = \pi m \frac{dt_s(x)}{dx}$ در طول محور x برای میدان کوپل شده

متناهم‌ها انرژی را از موج بر خارج می‌کنند، که می‌توان این حالت را به عنوان یک دایپل مغناطیسی تغذیه شده با موج بر در نظر گرفت که امواج الکترومغناطیسی را به فضای آزاد تشعشع می‌کند. با فرض اینکه ابعاد شبکه³⁵ متناهم‌ها بسیار کوچک‌تر از طول موج است، می‌توان متناهم‌ها را به این صورت در نظر گرفت که در حال نمونه‌برداری از امواج هدایت شده تغذیه در داخل موج بر در هر موقعیت المان هستند. با فرض اینکه دوره تناوب مدولاسیون زمان بسیار بزرگ‌تر از دوره تناوب فرکانس رادیویی³⁶ است، میدان مغناطیسی کوپل شده دقیقاً در بالای دهانه فراسطح به صورت رابطه (1) قابل نوشتن است:

$$\vec{H}(x, t) = \hat{y} H_0 e^{j\omega t} C(x, t) e^{-j\zeta_{gw} x} \prod(x) \quad (1)$$

که فرکانس زاویه‌ای سیگنال RF تزیق شده، T دامنه ثابت میدان مغناطیسی و ζ_{gw} عدد موج داخل موج بر است. $\prod(x)$ نشان دهنده تابع مستطیلی با فرض طول محدود دهانه فراسطح است. با فرض اینکه منبع تحریک در مکان $x=0$ قرار گرفته باشد و همچنین توان در راستای موج بر با طول L در راستای x منتشر می‌شود، می‌توان تابع مستطیلی را به صورت $\prod(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x < L \\ \text{else} & \end{cases}$ در نظر گرفت. در رابطه (1)، $C(x, t)$ 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 متناهم یک موج آهسته³⁷ تحدید شده³⁸ در موج بر خواهد بود. این امر به این دلیل است که ζ_{gw} از عدد موج فضای آزاد یعنی $k = \omega/c$ (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 موج بر 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:

$$C(x, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c(x, \omega + m\Delta\omega) e^{jm\Delta\omega t} \quad (2)$$

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

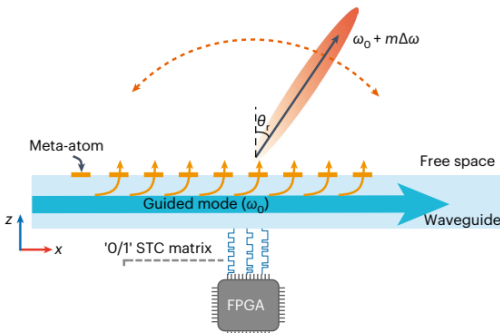
$$c(x, \omega + m\Delta\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T C(x, t) e^{-jm\Delta\omega t} dt \quad (3)$$

در روابط (2) و (3) ضریب کوپلینگ مختلط معادل در فرکانس هارمونیک مرتبه در مختصات است. با جایگذاری رابطه (2) در رابطه (1)، می‌توان دید که مدولاسیون زمانی ضریب کوپلینگ، باعث ایجاد شانه (دندانه)³⁹ فرکانسی با فرکانس مرکزی ω و فواصل فرکانسی $\Delta\omega$ برای خطوط طیفی می‌شود. علاوه بر این، مدولاسیون مذکور منجر به یک توزیع دامنه مختلط معادل اضافه، یعنی $c(x, \omega + m\Delta\omega)$ می‌شود که به موج

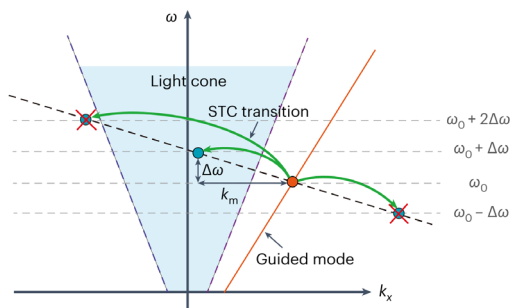
- 35- Lattice
- 36-RF
- 37- Slow wave
- 38- Confine
- 39- Comb

- 40- Duty cycle
- 41-amplitude modulation
- 42-Scattering

سازند. بنابراین، تنها فرکانس هارمونیک هدف +۱ قابلیت تولید و خروج به فضای آزاد را دارد، در حالی 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 شرط $\xi_m \sin \theta_r + k_m = \xi_{gw}$ 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:

$$t_s(x) = \frac{\xi_m \sin \theta_r - \xi_{gw}}{2m\pi} x \quad (11)$$

در این مثال، تبدیل رو به بالا^{۴۶} به فرکانس هارمونیک +۱ و همچنین دستکاری جهت پرتو نشان داده می‌شود. برای جلوگیری از ایجاد هارمونیک‌های فرکانسی +۲ از ورود به مخروط نور هنگامی که هارمونیک +۱ از جهت end-fire (تشعشع در راستای محور آرایه) عقب به جلو^{۴۷} اسکن می‌کند، دوره کار نرمالیزه τ برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است. از این رو، دامنه راندمان کوپلینگ معادل برای هارمونیک‌های +۲ صفر است. جهت تشعشع پرتو خروجی را می‌توان به طور انعطاف‌پذیر با تغییر

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

(۱۰)

$$\bar{H}(x, \omega, +m\Delta\omega) = \hat{y}H.C. \prod(x) \left\{ \begin{array}{l} \tau(x) e^{-i\xi_{gw}x}, \\ \tau(x) \text{sinc}[\pi m \tau(x)] e^{-i(\xi_{gw} + k_m)x} \end{array} \right. \quad m = \dots$$

در نگاه اول، آنتن فراسطح یک بیتی ممکن است مانند یک بیتی 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، اسکن پرتو پیوسته در فرکانس پایه و همچنین کنترل مستقل چندین هارمونیک این موضوع روشن می‌شود؛ که با ساختار STMM مبتنی بر تنها فضای آزاد یک بیتی امکان‌پذیر 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}، سیگنال موج‌بری ورودی در یک فرکانس به یک سیگنال 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 به موج پرتو 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 شکل ۳ است. مطابق با رابطه (۱۰)، مدولاسیون فضا-زمان منجر به تولید طیف جدید با فاصله فرکانسی $\Delta\omega$ و یک ممان مماسی 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 نشستی در زاویه تشعشع مشخص θ_r را داشته باشد. بر این اساس، هارمونیک‌های مراتب بالاتر نیز توسط یک ممان مماسی ولی m برابر 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 ناخواسته مراتب بالاتر به موج‌بر وارد نمی‌شوند، زیرا نمی‌توانند شرایط تطبیق فاز را برآورده

43-frequency conversion

44- Dispersion

45- Light cone

46- Upward

47-backward-to-forward

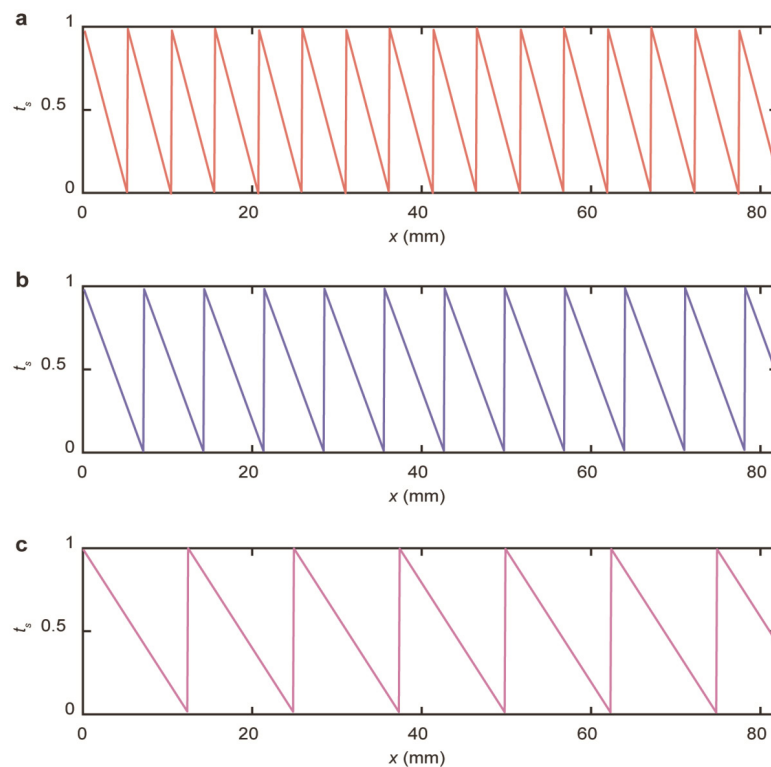
هارمونیک هدف قابلیت مورد تبدیل واقع شدن و انتشار به فضای آزاد را داشته باشد؛ این مهم با ایجاد تغییر در ماتریس STC امکان پذیر است. به این منظور، با فشردن کردن ماتریس STC فوق‌الذکر برای تشعشع هارمونیک $1 + \frac{1}{m}$ در حوزه زمان و تکرار ماتریس جدید به اندازه m دفعه در یک دوره مدولاسیون T ، به ماتریس‌های سنتز شده STC برای تبدیل‌های هارمونیک ۱-، ۲- و ۳- پیدا می‌شود که در شکل‌های ۸a تا ۸c نشان داده شده‌اند. توزیع‌های توان هارمونیک‌های اندازه‌گیری شده معادل این ماتریس‌ها در شکل‌های ۹a تا ۹c نشان داده شده‌اند. همچنین الگوهای تشعشعی اندازه‌گیری شده در هارمونیک‌های مختلف در شکل‌های ۱۰a تا ۱۰c نشان داده شده‌اند. مجدداً مشاهده می‌شود که هارمونیک‌های مطلوب ۱-، ۲- و ۳- مدهای 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 فیزیکی، می‌توان آنتن فراسطح STC را به صورت یک فرستنده هترودااین^{۴۹} برای پیاده‌سازی میکس فرکانس، فیلترینگ، شیفت فاز و همچنین تشعشع تفسیر کرد. مدولاسیون

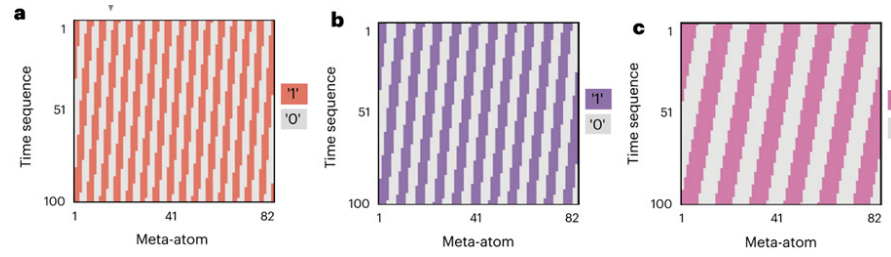
48- Directivity

49- Heterodyne

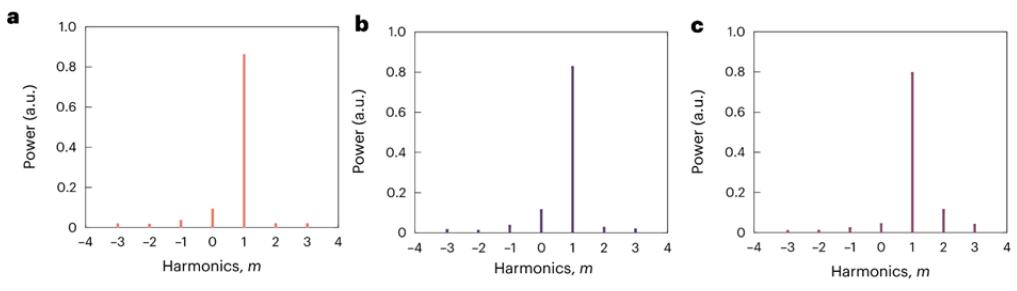
شیفت زمانی $t_s(x)$ مطابق با رابطه (۱۱) تنظیم کرد. برای تأیید اعتبار مفهوم و طراحی توضیح داده شده تاکنون، یک آنتن فراسطح STC مبتنی بر موج مجتمع با زیرلایه (SIW) که در فرکانس ۲۷ گیگاهرتز کار می‌کند، ساخته شده است. این آنتن دارای ۸۲ متاتم با طول کلی ۷.۲۸۸ است که λ طول موج فضای آزاد در فرکانس ۲۷ گیگاهرتز است. در این مثال، زوایای اسکن خروجی برای هارمونیک $1 +$ تبدیل شده، 50° ، 10° و 30° 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 T 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 متاتم، تعیین کرد (شکل‌های ۵a تا ۵c). توزیع توان معادل این ماتریس‌ها در هارمونیک‌های مختلف در شکل‌های ۶a تا ۶c نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که هارمونیک $1 +$ هدف با راندمان تبدیل بالای ۸۰ درصد، هارمونیک غالب در شکل ۶ است. الگوهای تشعشعی اندازه‌گیری شده معادل با این زوایا در هارمونیک‌های $1 +$ 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 $1 +$ به سمت جهت‌های مورد نظر به طور صحیح قابل اسکن هستند. علاوه بر این، در این ساختار می‌توان انتخاب کرد که کدام فرکانس



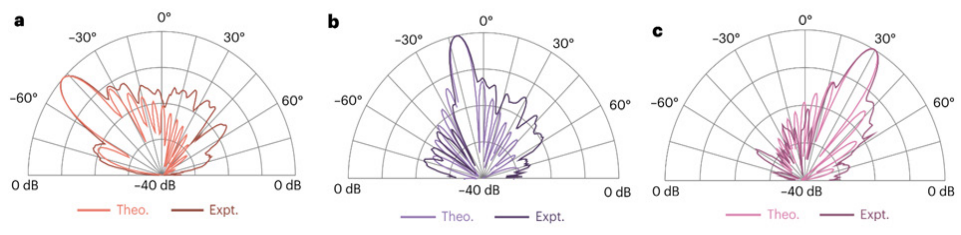
شکل ۴: شیفت‌های زمانی نرمالیزه مورد نیاز برای تبدیل فرکانسی، (a) معادل با زاویه خروجی 50° ، (b) 10° و (c) 30° درجه [۱]



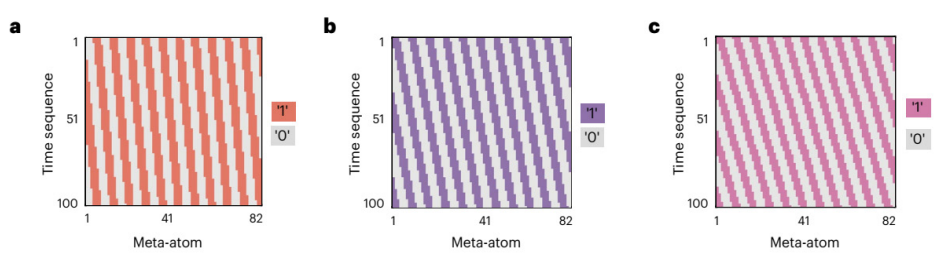
شکل ۵: ماتریس‌های دیجیتال «۰» و «۱» برای تبدیل‌های فرکانس هارمونیک ۱+ با زوایای خروجی (a) 50° ، (b) 10° و (c) 30° درجه [۱]



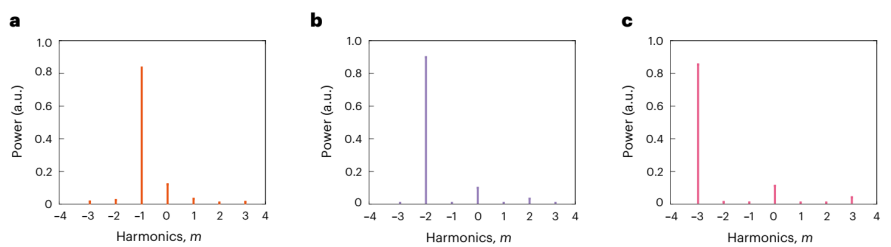
شکل ۶: توزیع‌های توان اندازه‌گیری شده در هارمونیک‌های مختلف معادل با ماتریس‌های شکل ۵ (به ترتیب از a تا c) [۱]



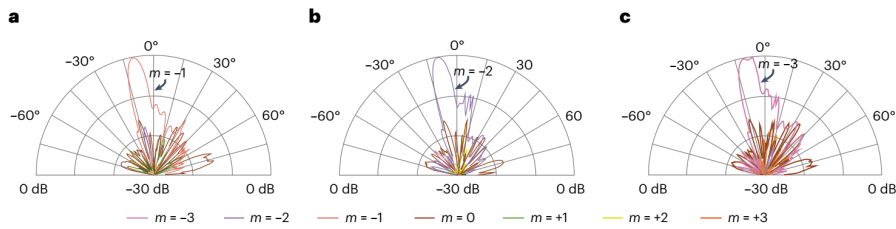
شکل ۷: الگوهای تشعشعی محاسبه شده بر اساس تئوری و اندازه‌گیری شده در فرکانس هارمونیک ۱+ معادل با شکل‌های ۵ و ۶ (به ترتیب از a تا c) [۱]



شکل ۸: ماتریس‌های دیجیتال «۰» و «۱» مورد نیاز برای تبدیل امواج هدایت شده در فرکانس ω_0 به امواج فضای آزاد در مرتبه‌های فرکانسی (a) 1 ، (b) 2 و (c) 3 [۱]



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



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

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 مدهای مختلف (چه در فرکانس ثابت و چه در هارمونیک‌های مختلف فرکانسی)، به عنوان یک کاندید مهم در سیستم Fronthaul شبکه‌های نسل پنجم موج‌میلی متری با کاربردهای Indoor و Outdoor مطرح می‌باشد.

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.

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 $t_g(x)$ در موقعیت‌های مختلف منجر به ایجاد یک شیفت‌دهنده فاز معادل که به هر متاتم متصل است، می‌شود. هر متاتم 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 $^{\circ}5$ و غیرفعال $^{\circ}51$ در فرستنده‌های هتروداین 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 موج‌میلی متری 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 موج‌میلی متری، قابلیت چرخش پرتو $^{\circ}52$ به جهت بهبود نسبت

- 50- Active
- 51- Passive
- 52-Beam Steering

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، ترنسپور 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) از چالش‌های طراحی سخت‌افزار ایستگاه پایه نسل پنجم 5G می‌باشند. با پیچیده‌تر شدن پردازش شکل‌دهی پرتو و افزایش حجم پردازش‌های خطی‌سازی و بالا/پایین بردن دیجیتالی فرکانس به دلیل 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.

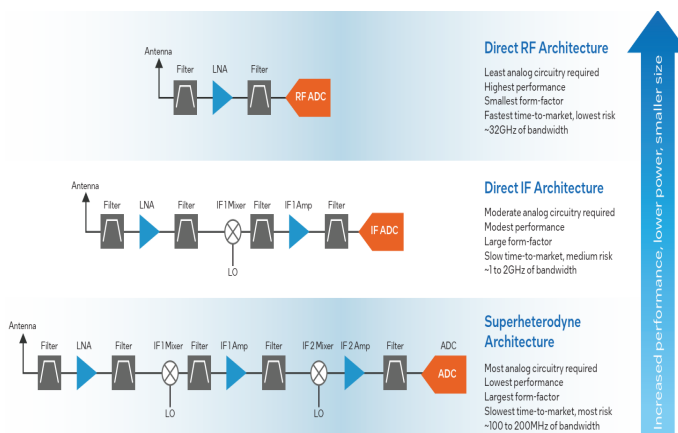
باند تا ۱۰۰ مگاهرتز و باند موج میلی‌متری (FR2) با پهنای باند تا ۴۰۰ مگاهرتز است که نیازمند فرستنده گیرنده با پهنای باند بالا و در نتیجه واسطه‌هایی سریع‌تر مانند JESD204C است که مصرف توان بالایی دارند؛ بنابراین یکپارچه‌سازی بیشتر قطعات فرستنده-گیرنده، مبدل داده و پردازشگر از حیثیت می‌یابد.

با توسعه مبدل‌های پرسرعت داده با نرخ نمونه‌برداری ده‌ها Gsps این امکان فراهم شده است که طراحی با معماری RF مستقیم انجام شود. معماری RF مستقیم با حذف یا کاهش تعداد قطعات گران‌قیمت آنالوگ موجب افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها و کاهش SWaP می‌شود. شکل ۱ روند تکامل قسمت جلویی RF از ساختار آنالوگ سوپرهتروداین 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، واسطه‌های موازی پرسرعت به گلوگاه جدیدی در طراحی بدل شدند. سرانجام واسطه سریال JESD204 برای این مبدل‌های سریع استاندارد سازی شد. آخرین نسخه JESD204C از پیشینه

نرخ انتقال ۳۲ گیگابیت بر ثانیه در هر خط پشتیبانی می‌کند. این
3- Joint Electron Device Engineering Council Serial Data Interface Standard 204
4- Giga sample per second

باند فرکانسی 5G شامل محدوده زیر ۶ گیگاهرتز (FR1) با پهنای

- 1- Size Weight and Power
- 2- Beamforming



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



مستلزم پیچیده تر شدن پردازش باند پایه لایه فیزیکی نسبت به OFDM مورد استفاده در LTE هستند. علاوه بر این، الگوریتم‌های LDPC^{۱۲} و Polar برای بهبود نرخ داده در کانال‌های نویزی استفاده می‌شوند. هر چند این الگوریتم‌ها از نظر محاسباتی دارای پیچیدگی زیادی هستند. لذا برای سبک کردن محاسبات به سخت افزارهای 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^{۱۳} مسئول واحدهای پردازش پاکت هستند و الزامات زمان بندی ساده تری نسبت به لایه ۱ فیزیکی دارند. این لایه‌ها می‌توانند بر روی پردازنده‌های همه منظوره (GPP^{۱۴}) 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^{۱۵} کمک می‌کنند.

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

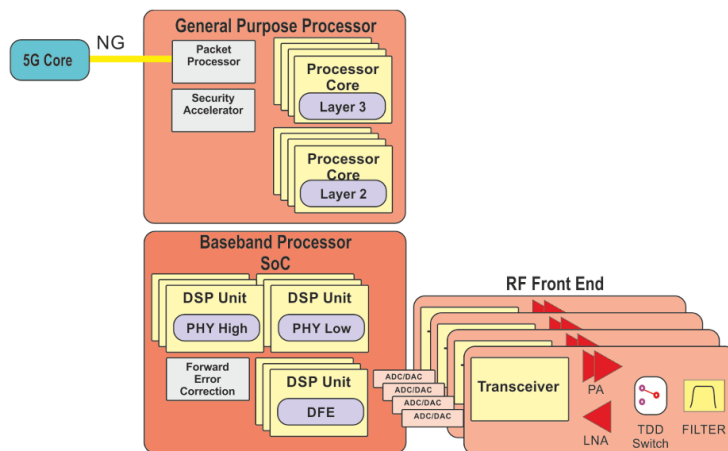
- 12- Low-Density Parity-Check
- 13- Open Systems Interconnection
- 14- General Purpose Processor
- 15- Throughput

استاندارد سریال در مقایسه با اتصال موازی مزایای متعددی از جمله کاهش فضای برد، سادگی مسیریابی PCB^۵، کاهش اندازه پکیج تراشه مبدل، کاهش مصرف توان ورودی / خروجی ها و ساده شدن زمان بندی واسط را دارد.

طراحان مدار مجتمع برای برآوردن نیاز 5G به توان بیشتر RF و ضریب قله بالاتر، به فناوری‌هایی مانند GaAs^۶ برای تقویت کننده‌های توان با بازده بیشتر و MMIC^۷ های تقویت کننده توان با ساختار دو هر تی روی آورده‌اند. هر چند این تقویت کننده‌ها نسبت به تقویت کننده‌های کلاس AB بازده بالاتری دارند، ولی همچنان دارای مشخصات غیر خطی و حافظه دار می‌باشند که به معنای لزوم به کارگیری روش‌های پیش اعوجاج دیجیتال (DPD^۸) برای حفظ تمامیت سیگنال است. هر چه پهنای باند بیشتر باشد، قسمت جلویی دیجیتال (DFE^۹) که DPD را پردازش می‌کند، نیاز به افزایش متناسب در توان پردازشی دارد.

شکل موج‌های CP-OFDM^{۱۰} و DFT-s-OFDM^{۱۱} که در 5G-NR معرفی شده‌اند موجب افزایش کارایی طیفی می‌شوند، اما

- 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



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

در قسمت جلویی دیجیتال DFE، برای فیلترینگ دیجیتالی، تبدیل بالا/پایین و روش‌های خطی‌سازی مانند کاهش ضریب قله (^{19}CFR) و پیش‌اعوجاج 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 به صورت خارجی به DFE^{۲۲} متصل شود.

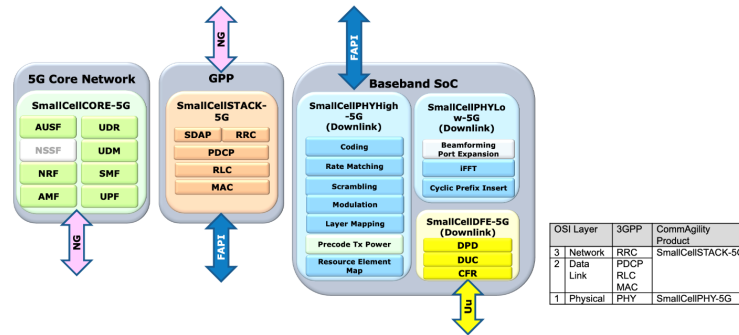
قسمت جلویی RF آنالوگ شامل یک ترنسپور RF که سیگنال باند پایه‌ای آنالوگ را به باند مورد نیاز برای انتقال بی‌سیم تبدیل می‌کند، یک تقویت‌کننده توان (^{23}PA)، یک تقویت‌کننده نویز

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 (Tiangang) استفاده خواهد کرد. لایه فیزیکی باند پایه (لایه ۱) نیازمند یک معماری زمان قطعی^{۱۶} (باحاشیه خطای زمانی تضمین شده) 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} به طور قابل توجهی منابع DSP^{۱۸} مورد نیاز در PHY را کاهش می‌دهد.

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

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





شکل ۳: اجزای نرم‌افزاری ایستگاه پایه نسل پنجم [۱]

مجموعه‌سازی قسمت جلویی آنالوگ

با مطرح شدن فناوری MIMO^{۳۳} و عملیاتی شدن شکل دهی 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 سوپرهتروداین غیرممکن ساخت. برای پاسخ به این نیاز فرستنده-گیرنده مجتمع چند کانالی به بازار ارائه شد. این ترنسیورها بخش قسمت جلویی آنالوگ را مجتمع‌سازی می‌کنند. فرستنده گیرنده چند کانالی 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 سینتی‌سایزرهای فرکانس، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال و مبدل‌های دیجیتال به آنالوگ و خطوط سریال JESD، و برخی بلوک‌های دیجیتال را به صورت 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. به عنوان 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 شکل دهی پرتو در 5G به ویژه در محدوده فرکانسی موج میلی‌متری، تراشه‌های مجتمع

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

پایین (LNA^{۳۴}) 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 نرم‌افزاری

شکل ۳ نشان می‌دهد که الگوریتم‌ها و وظایف انجام شده توسط اجزای نرم‌افزاری مشخص شده در بخش قبل به طور 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 شکل دهی پرتو در AAU^{۲۶} و LowPHY در BBU^{۲۷} پیاده‌سازی می‌شود. پیش‌تر^{۲۸} و PHY از رابط FAPI^{۲۹} استفاده می‌کنند و می‌تواند بر روی Ethernet نیز اجرا شود. FAPI 5G عملکرد GPP و SoC باند پایه را از لحاظ فیزیکی جدا می‌کند.

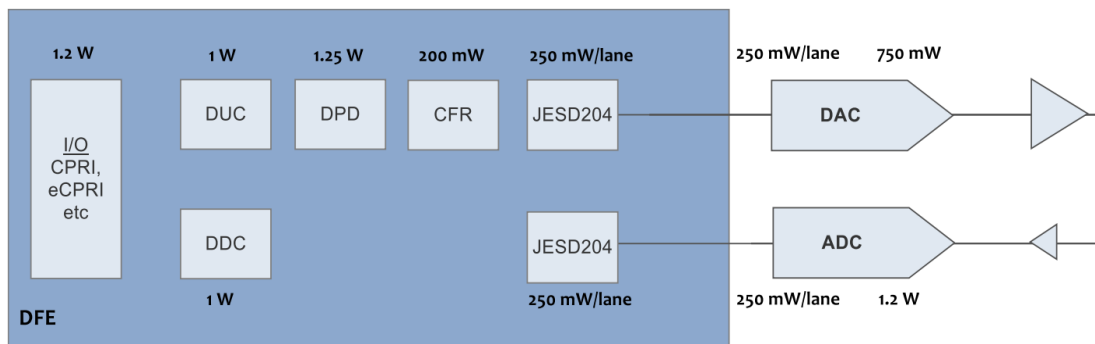
معماری تراشه‌ها متناسب با نیازمندی‌های 5G

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 داده شده‌اند. رویکرد اصلی، ساخت قطعات جدید مجتمع‌سازی فرانت اند آنالوگ، توسعه تراشه‌های مجتمع شکل دهنده پرتو، مجتمع‌سازی DFE و مدارات مبدل داده و پردازنده و سرانجام سخت‌افزاری کردن کدهای HDL^{۳۱} و ساخت ASIC^{۳۲}ها برای رسیدن به محصول با شمارگان بالا است.

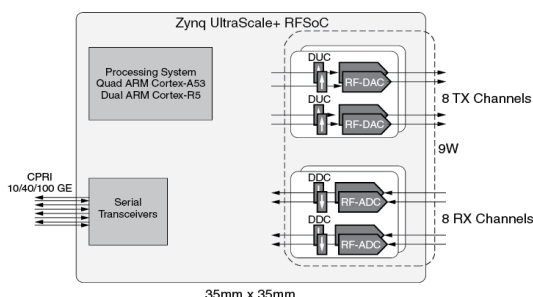
- 24- Low-Noise Amplifier
- 25- Split points
- 26- Active Antenna Unit
- 27- Baseband Unit

۲۸- استانداردهای موجود جهت محدود نمودن نرخ تبادل اطلاعات بین واحدهای مختلف چندین نقطه شکست ارائه داده‌اند. 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



شکل ۴: مصرف توان بر حسب کارکرد در یک ترنسپورر گسسته 5G [۲]



شکل ۵: مجتمع‌سازی مبدل‌های داده و پردازنده‌ها در محصول

RFSoc [۲]

تبدیل کد نرم افزاری HDL به سخت افزار ASIC

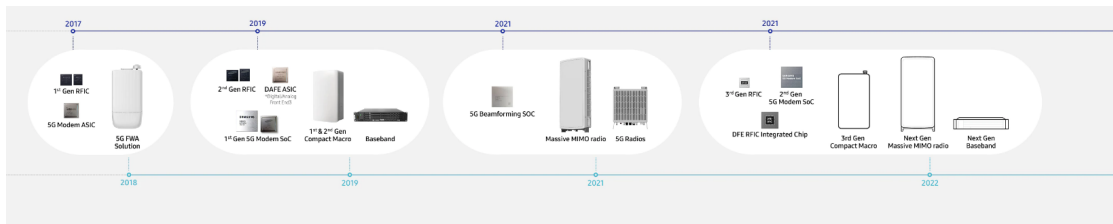
تبدیل کدهای HDL پردازش‌های دیجیتال به سخت افزار ASIC زمانی توجیه پذیر می‌شود که الزامات عملکردی تثبیت شده باشند و بازار کشتش تولید انبوه را داشته باشد. این موضوع در مورد LTE محقق شده است و تولید کنندگان در تولید ایستگاه‌های کاری از ASIC استفاده می‌کنند. در مورد 5G هنوز برخی از متغیرها به بلوغ کافی نرسیده‌اند و جنبه‌های مختلفی از شبکه هنوز در حال تکامل می‌باشند. مثلاً پیاده‌سازی شکل دهی پرتو هنوز در حال بهبود است. پهنای باند در حال افزایش است و رویکرد این است که به جای ۱۰۰ مگاهرتز از پهنای باند ۲۰۰ مگاهرتز یا بیشتر پشتیبانی شود تا نسخه‌های کمتری از یک محصول تولید شود که از لحاظ بهره برداری و نگهداری و تأمین قطعات مقرون به صرفه تر باشد. پیاده‌سازی‌های استاندارد نوظهور O-RAN^{۳۵} تا نهایه‌ی سازی نقطه شکست ۷.۲ و قطعی شدن کارکردهای کلیدی مانند پیش‌کدینگ، 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 به سوی 5G SA همچنان انعطاف پذیری طراحی سیستم یک نیاز واقعی است. همه این دلایل باعث می‌گردد تا زمانی مجهولات و الزامات 5G به درستی شناخته شود، استفاده از ASIC به تأخیر بیفتد و از طرح‌های منعطف‌تری مانند فرستنده-گیرنده چند کانالی مجتمع و FPGA یا RFSoc استفاده شود. با

35- Open radio access network

اختصاصی برای شکل دهی پرتو طراحی و در دسترس قرار گرفته است. برخی از محصولات معروف در این زمینه عبارتند از: RFFM4554، AFE7071، ADAR1000 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 DAC/ADC و پردازنده

مجتمع‌سازی مبدل‌های داده موجب کاهش زیاد در تلفات حرارتی ایستگاه‌های پایه 5G می‌شود. مقدار صرفه جویی حدود یک وات برای هر جریان داده (هر خط JESD204) است. در یک 64T MIMO این صرفه جویی بیش از ۶۰ وات از کل بودجه افت حرارتی ۲۵۰ وات خواهد بود [۲]. شرکت اینتل با معرفی سری FPGA های RF مستقیم Stratix 10 و ASIC های قادر به تبدیل مستقیم سیگنال RF در چندین کانال ورودی و خروجی با نرخ‌هایی به سرعت 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 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 نمونه برداری مستقیم RF تا نرخ 5GS/S و از مبدل دیجیتال به آنالوگ (DAC) ۱۴ بیتی با نرخ 10 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 تطبیق پذیر 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 به دست بیاورند.



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

استفاده در محصولات خود طراحی و تولید کرده است.

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 تجاری‌سازی محصولات را فراهم می‌کنند. این قطعات با ساختار منعطف امکان استفاده در فاز تحقیق و توسعه و نمونه اولیه‌سازی را برای طراحان رادیویی و باند پایه ایجاد می‌کنند. با تکامل و تثبیت عملکرد نمونه اولیه و توسعه بازار امکان سرمایه‌گذاری برای تولید ASIC و تجاری‌سازی محصول وجود خواهد داشت.

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® Agilix™ 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/>

افزایش 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 یا DAFE^{۳۶}.

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 شده است. نسل سوم تراشه RFIC سامسونگ هر دو باند 28GHz و 39GHz را پشتیبانی می‌کند.

به کارگیری RFIC‌ها نقش حیاتی در حمایت از کاهش اندازه و مصرف برق ایستگاه‌های پایه دارد. RFIC‌های جدید سامسونگ با استفاده از تکنولوژی نیمه رسانا 28nm CMOS در پهنای باند تا حداکثر ۱.۴ GHz در مقایسه با 800 MHz برای RFIC‌های 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 ASIC‌ها، DAFE به تنهایی بسیار جاگیر و ناکارآمد در مصرف برق است و نمی‌تواند نیازهای محصول اپراتور را برآورده کند، بنابراین سامسونگ در کنار استفاده از RFIC‌ها 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 نکرده است، زیرا این تراشه‌ها را به‌طور انحصاری برای

36- Digital Front-End - Radio Frequency Integrated Circuit

37- Digital / Analog Front End



غزاله خیام باشی

کارشناسی ارشد
مهندسی پزشکی و
مهندسی هسته‌ای
از دانشگاه صنعتی
امیرکبیر، کارشناس
مرکز تحقیق و توسعه
همراه‌اول



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

-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 این لینک‌ها توسط تقویت‌کننده‌های حالت جامد با توان خروجی حدود ۱ وات تغذیه می‌شوند. این سطح توان خروجی سبب می‌شود تا بازده طیفی^۱ و محدوده پوشش بسیار محدود شوند. این محدودیت باید توسط آنتن‌هایی با بهره بالا جبران شود. هر چند آنتن‌هایی با بهره بالا بسیار بزرگ می‌باشند و پهنای 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^۲) به دلیل 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 موج‌کند موجدار دوبل^۴ 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، موج‌کند موجدار دوبل، لینک بی‌سیم

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

جهت کاربردهای باند فرکانسی E مناسب است. هر چند 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^۷ در مراحل طراحی SWS فلزی، عملکرد آنها بسیار تحت تأثیر 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، هر چند 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^۴) 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، مقرون به‌صرفه 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 دوپل است. ساخت این موجبر به دلیل ساختار ساده و هم‌ترازی بخش‌ها، نسبتاً آسان است.

در این مقاله اولین نمونه ساخته شده یک موجبر TWT بر اساس موجبر موجدار دوپل با فرکانس کاری ۷۱-۷۶ گیگاهرتز برای ارتباطات بی‌سیم مورد بررسی قرار می‌گیرد. این TWT برای فراهم کردن حدود ۷۰-وات توان خروجی اشباع شده 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 دوپل 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.

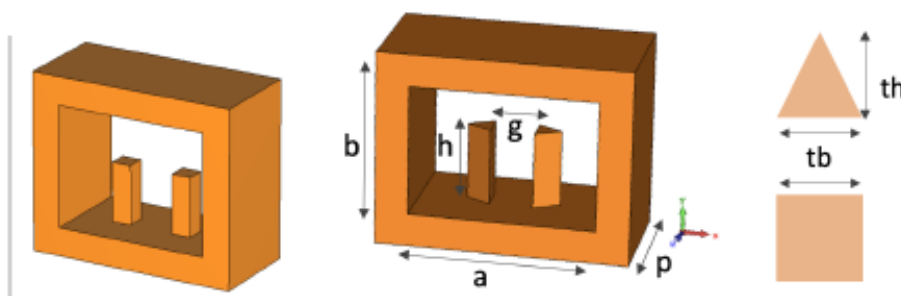
7- Tight tolerance
8- Microwave power module

باند فرکانسی E (۷۱-۷۶ گیگاهرتز و ۸۱-۸۶ گیگاهرتز) دارای پهنای باند ۱۰ گیگاهرتز برای ارتباطات بی‌سیم نقطه به نقطه (P2P) است [۱] - [۳]. لینک‌های با نرخ داده بالا برای توزیع داده‌های با ظرفیت بالا در لینک‌های عقبی^۲ 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. هر چند، 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^۳) مورد نیاز جهت دسترسی به لینک در ۹۹.۹۹٪ مواقع در شرایط جوی بارانی فراهم گردد [۴] و [۶] معمولاً آنتن‌های با بهره بالا 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 مجموعه‌ای بسیار دشوار می‌باشد [۷] لذا نیاز است تا به راه‌حلی جایگزین بیاوریم. 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 به وسیله یک سیگنال RF است که در یک ساختار موجبری یا ساختار موج آهسته (SWS^۴) 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^۵ 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 معرفی شده‌اند که از جمله می‌توان به ساختارهای موجبر خمیده^۶ [۱۰] و موجبر موجدار دوپل [۱۱] اشاره کرد. تولید این نوع ساختارهای فلزی SWS نسبت به ساختارهای مارپیچ شکل ساده‌تر است. به‌علاوه اینکه ابعاد کوچک ساختارهای فلزی SWS

- 1- Point to point
- 2- Backhaul
- 3-signal to noise ratio
- 4- Slow-wave structure
- 5- Helix
- 6- Folded Waveguide



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

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^۲)

در این مقاله یک DCW در باند ۷۱-۷۶ گیگاهرتز با سرعت فاز همزمان شده 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. متحنی پراکندگی برای هر دو ستون مستطیلی و مثلثی DCW در شکل ۲ نشان داده 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 داشته باشد، 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 نشان داده شده است. یک امپدانس اثر متقابل متوسط بالاتر از ۳.۵ اهم در کل باند برای DCW با ستون‌های مثلثی به دست آمده است. این داشته باشید که امپدانس اثر متقابل با ستون‌های مثلثی به صورت تقریبی دو برابر امپدانس اثر متقابل DCW با ستون‌های مربعی است [۱۹] لذا DCW با ستون‌های مربعی در ترویج‌کننده‌ها^{۱۷} استفاده می‌شود به‌طوریکه در آن‌ها هیچ اثر متقابلی با پرتو الکترونی وجود ندارد.

طراحی TWT

مشخصات موجبر TWT در باند فرکانسی E بر اساس 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 قابل دستیابی نیست. محدوده پوشش این لینک‌ها تابعی از بهره آنتن‌های آن‌ها و توان انتقالی لینک است. لازم به ذکر است، افزایش بهره 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، پیش‌نهاد کرده تا ۶ تا ۹ دسی‌بل عقب‌نشینی^{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 (بالزامتی نظیر ۹ دسی‌بل عقب‌نشینی 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 هر 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 کم‌نویز در گیرنده با بهره ۵ دسی‌بل، به حدود ۶۵ وات توان اشباع‌شده نیاز داریم. بر این اساس، جهت تحقق بخشی به این لینک، به یک TWT

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

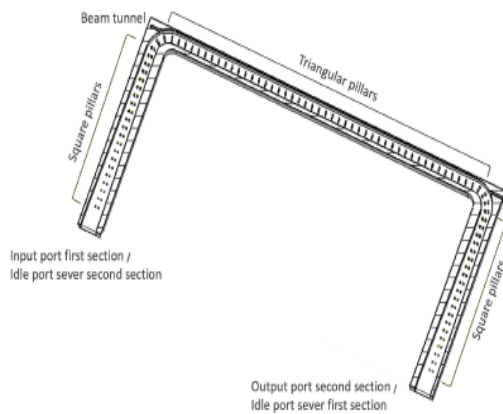
9-Gain
10- International telecommunication union
11- Linearity
12- Back-off
13- Quadrature Amplitude Modulation

نمایش داده شده است.

به طور معمول، یک TWT به دو بخش ساختار تعاملی نیاز دارد که توسط یک سرور^{۲۴} 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^{۲۵} خروجی بخش اول و درگاه ورودی بخش دوم که با مواد جذب با جذب بالا پوشیده شده است، تشکیل می‌گردد (درگاه‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند). اطلاعات فرکانس توسط پرتو الکترونی مدوله شده به بخش دوم منتقل می‌شود. پرتو الکترونی با جریان ۹۰ میلی آمپر تنظیم شده است، به طوری که توسط میدان مغناطیسی حدود ۰.۴ تسلا تولید می‌گردد. این میدان الکتریکی توسط یک سیستم مغناطیسی متناوب دائمی^{۲۶} (PPM) مرسوم تولید شده است.

جدول ۱. ابعاد DCW (میکرون) [۲۰].

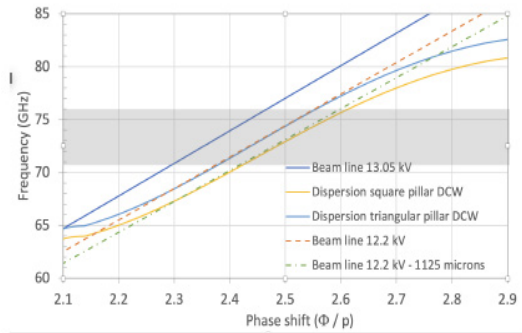
Beam tunnel width (g)	300
Square pillar width (tb)	200
Triangular pillar base (tb)	200
Triangular pillar height (th)	200
Pillar height (h)	680
Period (P)	1100
Waveguide height (b)	1270
Waveguide width (a)	1680
Beam radius	130
Input Output Port Flanges	WR10



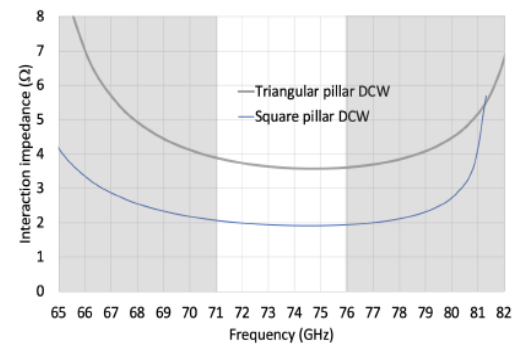
شکل ۴. مدار عمومی DCW با ناحیه برهمکنش

و تزویج کننده‌ها [۲۰]

- 24- Server
- 25- Port
- 26- Periodic magnetic system



شکل ۲. پراکنده‌گی DCW^{۱۸} با ستون مثلثی به عنوان تابعی از فرکانس [۲۰]

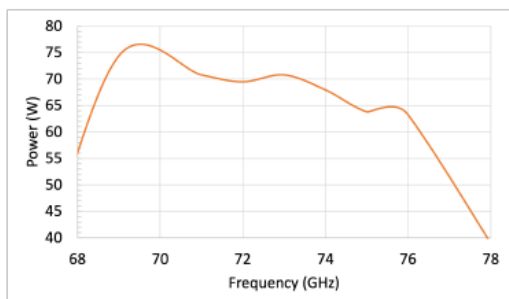


شکل ۳. امیدانس اثر متقابل DCW با ستون مثلثی و DCW با ستون مربعی [۲۰]

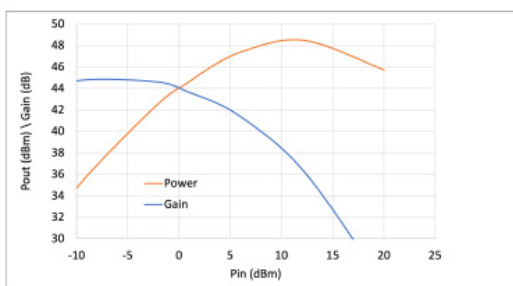
توپولوژی کلی یک بخش از مدار برهمکنشی^{۱۹} DCW که می‌تواند به عنوان بخش اول یا دوم در یک TWT تک بخشی یا دو بخشی استفاده شود در شکل ۴ نشان داده شده است. دوره تکرار ستون‌ها به مشخصات طراحی بستگی دارد. ناحیه تعامل^{۲۰} شامل ستون‌های مثلثی است، در حالی که تزویج کننده‌ها توسط ستون‌های مربعی ساخته می‌شوند. ستون‌های مثلثی مقاومت متقابل بالاتری دارند اما ساخت آن‌ها سخت‌تر است. به همین دلیل استفاده از آن‌ها در منطقه تعامل محدود است. هدف از تزویج کننده‌ها، تبدیل مد^{۲۱} ترکیبی^{۲۲} در DCW به یک مد^{۲۳} TE₀₁ است. از آنجایی که نیاز به هیچ تعاملی با پرتو الکترونی وجود ندارد، در ساخت تزویج کننده‌ها از ستون‌های مستطیلی که ساخت آن‌ها آسان‌تر است، استفاده شده است. هر تزویج کننده 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 تزویج کننده در شکل ۵

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

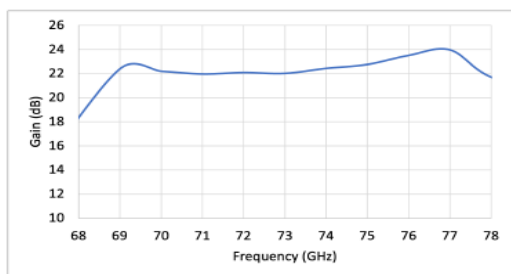
۱۰) ناشی از تغییر اندک در شرایط تعامل^{۲۷} است. TWT تک‌بخشی توسط سیگنال RF تغذیه می‌شود. بخش دوم TWT دو بخش توسط یک پرتو مدوله‌شده تغذیه می‌شود که یک تغییر در شرایط همگام‌سازی در فرکانس بالاتر را تعیین می‌کند.



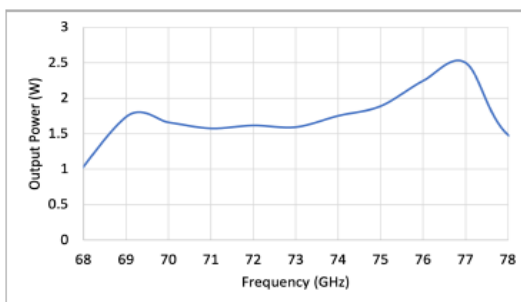
شکل ۴. توان خروجی DCW با TWT دوبخشی [۲۰]



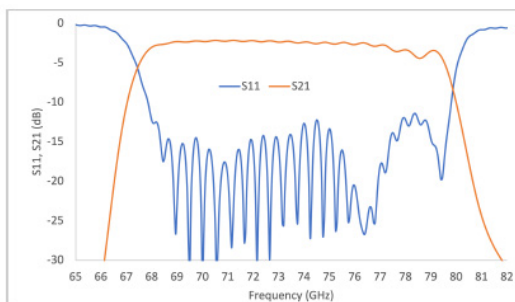
شکل ۵. نمودار توان خروجی بر اساس توان ورودی DCW با TWT دوبخشی [۲۰]



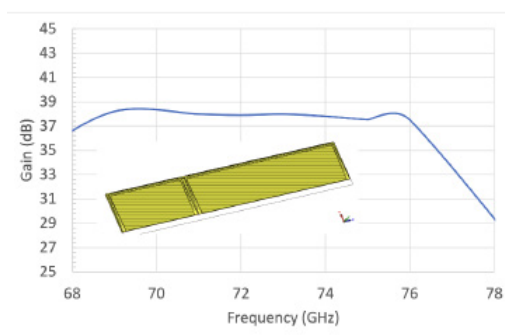
شکل ۶. بهره DCW با TWT تک‌بخشی [۲۰]



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



شکل ۸. پارامترهای S برای مدار DCW شکل ۴ [۲۰]



شکل ۹. بهره DCW با TWT دوبخشی [۲۰]

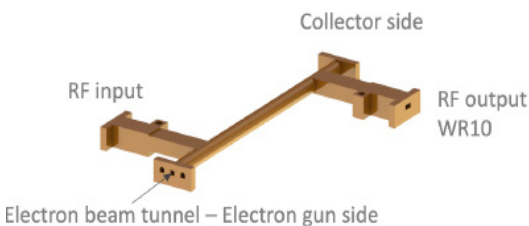
TWT باند E در ابتدا با دو بخش طراحی شده بود تا مشخصات مورد نظر را برآورده کند. بخش اول شامل ۳۰ دوره از ستون‌ها برای ارائه بهره حدود ۱۹ دسی‌بل است. بخش خروجی شامل ۶۰ دوره از ستون‌ها برای برآورده کردن بهره و مشخصات توان است. طول کل ناحیه برهمکنش حدود ۱۰۰ میلی‌متر است. شبیه‌سازی‌های PIC بهره بهتر از ۳۷ دسی‌بل و توان خروجی حدود ۷۰ وات با توان ورودی ۱۰ میلی‌وات را نشان می‌دهد، این نتایج به ترتیب 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 بخش، به‌عنوان یک مرجع با ستون‌های تماماً مربعی، با ۴۰ دوره تکرار ستون‌ها 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 نمونه اولیه TWT، تصمیم گرفته شد که یک TWT مشابه با TWT دو بخش اما با یک بخش ساخته 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 دسی‌بل (شکل ۹) و توان خروجی بیش از ۱.۵ وات (شکل ۱۰) با توان ورودی ۱۰ میلی‌وات طراحی شده است. این مقادیر برای جلوگیری از نوسانات احتمالی به اندازه کافی کم هستند. رفتار متفاوت توان خروجی به‌عنوان تابعی از فرکانس بین TWT دو بخش (شکل ۷) و TWT تک‌بخشی (شکل

از مس با رسانایی بالا بدون اکسیژن (OFHC^{۳۱}) ساخته شده است. یک بلوک شامل موجبر با ستون‌ها، تزویج‌کننده‌ها و تونل پر تو 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^{۳۳} سطح دیواره‌های فلزی باید به‌طور ایده‌آل کمتر از عمق پوستی^{۳۳} (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^{۳۴} بسیار بالا (۵۰۰۰ دور در دقیقه) به دست 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 امکان‌پذیر است. پیوند آتمی 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 به شکل مناسب برای پشتیبانی از سیستم تمرکز مغناطیسی دائمی ماشین‌کاری می‌شود. طراحی نهایی مدار DCW تک‌بخشی پس از فرز کاری CNC برای مونتاژ در TWT در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

این مرحله نهایی ماشین‌کاری بلوک پیوندی بسیار حیاتی است. شکل ۱۴ یک ساختار بلوک‌های مجزا را برای پیوند نفوذی نشان می‌دهد [۱]. مدار در دو بلوک ماشین‌کاری شده است. این پیوند باید در تمام سطح تماس به صورت کامل به دست 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 پر تو تعریف شده است قوی نباشد یا ناقص باشد، می‌تواند منجر به شکستگی مواد یا تغییر شکل در حین ماشین‌کاری 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 ماشین‌کاری شود، وجود ندارد. این امر درصد موفقیت ماشین‌کاری نهایی و تکمیل موفقیت‌آمیز آن را بدون آسیب زدن به ساختار، نامشخص می‌سازد.



شکل ۱۳. ترسیم ساختار نهایی مدار DCW تک‌مقطعی [۲۰]

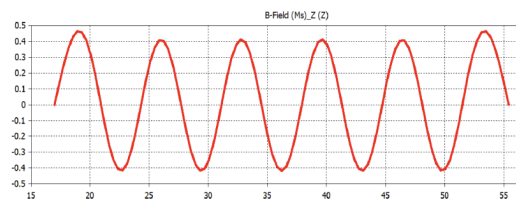
- 31- Oxygen Free High Conductivity
- 32- Roughness
- 33- Skin depth
- 34- Spindle

B. اپتیک الکترونی، جمع‌کننده^{۲۸} و دریچه‌های RF

تفنگ الکترونی برای تولید یک پرتو با شعاع ۱۳۰ میکرومتر و جریان ۹۰ میلی‌آمپر طراحی شده است [۲۱]. یک سیستم مغناطیسی متناوب دائمی برای تولید میدان الکتریکی با شدت ۰.۴ تسلا (شکل ۱۱) در طول ساختار برهمکنش طراحی شده است. جمع‌کننده یک جمع‌کننده 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 در پیچه RF در شکل ۱۲ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که در کل پهنای باند S11 زیر ۱۵ دسی‌بل است. S11 پایین از باند، در حدود ۶۹ گیگاهرتز، برای TWT تک‌بخشی نیز به دلیل توان کم تولید شده حیاتی نیست.

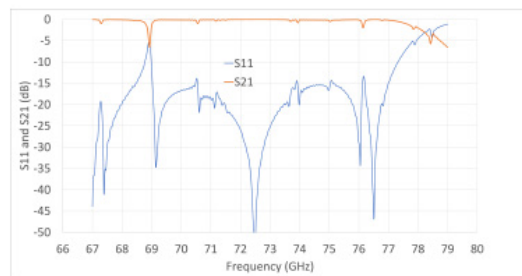
ساخت TWT باند E

در این بخش جنبه‌های اصلی ساخت قطعات TWT مورد بحث قرار خواهد گرفت. به‌طور خاص، یک تکنیک جدید برای غلبه بر خطر پیوند انتشار ضعیف^{۲۹} برای مونتاژ مدار DCW شرح داده خواهد شد.



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

[۲۰]



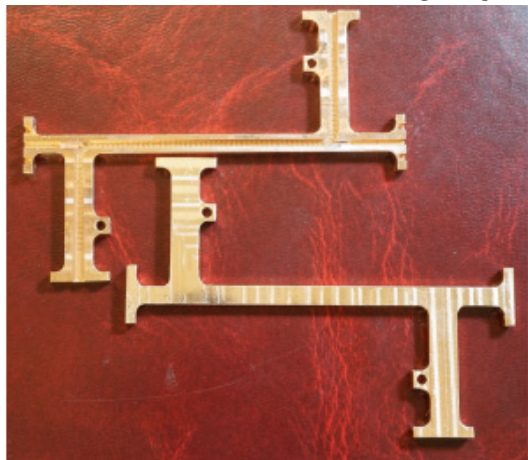
شکل ۱۲. پارامتر S شبیه‌سازی شده از دریچه RF [۲۰]

A. ساخت مدار موجبری موجدار دوبل

مدار موجبری موجدار دوبل شامل تزویج‌کننده‌های ورودی و خروجی با فلنچ^{۳۰} برای اتصال دریچه‌های RF و تفنگ الکترونی و جمع‌کننده تونل پر تو است. این مدار توسط دو بلوک تقسیم شده

- 28- Collector
- 29- Eventual weak diffusion
- 30- Flange

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]



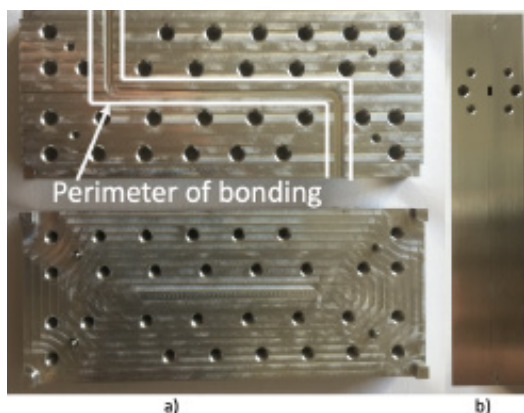
شکل ۱۶. جزئیات ستون‌های مثلثی در منطقه تعامل [۲۰]



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



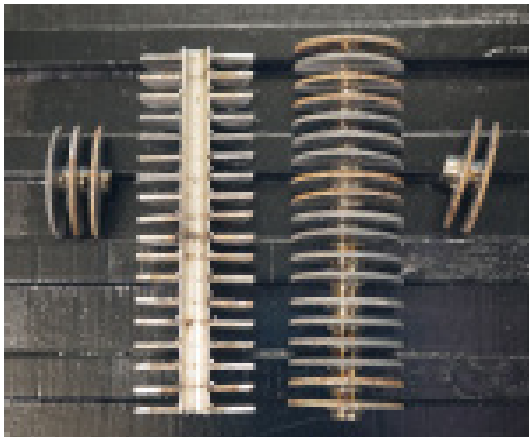
شکل ۱۸. شکل لوله تفنگ نهایی پس از ماشین‌کاری کاری نهایی CNC [۲۰]



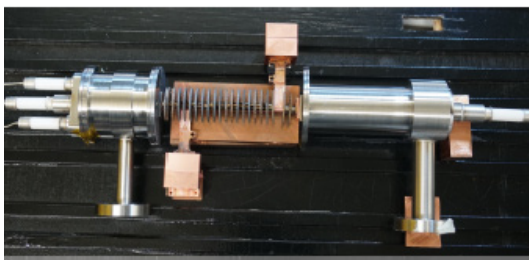
شکل ۱۴. رویکرد بلوک تقسیم معمولی (الف) بلوک‌های تقسیم شده، (ب) مونتاژ شده برای اتصال [۱]

برای حل این مشکل، یک ساختار دو بخشی جدید پیشنهاد شده است. دو بلوک از مدار DCW با هندسه‌ای بسیار نزدیک به شکل 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 ساخته شده، 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 دابل به دست می‌آید. با توجه 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 جمع‌کننده است. پروفایل دو بخش کمی گسترده‌تر از هندسه نهایی است تا دیواره‌های فلزی ضخامت کافی برای ماشین‌کاری نهایی CNC داشته باشند. این هندسه اجازه می‌دهد تا پس از پیوند نفوذی، کیفیت پیوند در سطح مشترک در سراسر محیط ارزیابی شود و در نهایت ناحیه پیوند ضعیف یا نشست خلأ با یک مرحله لحیم‌کاری اضافی تقویت شود. پیوند نفوذی دو بلوک، به دلیل 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 نشست خلأ نداشته باشد. سپس ماشین‌کاری CNC مدار برای دستیابی به شکل نهایی، همان‌طور 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 جمع‌کننده متصل می‌شود. شکل ۱۹، سی‌تی اسکن 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



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



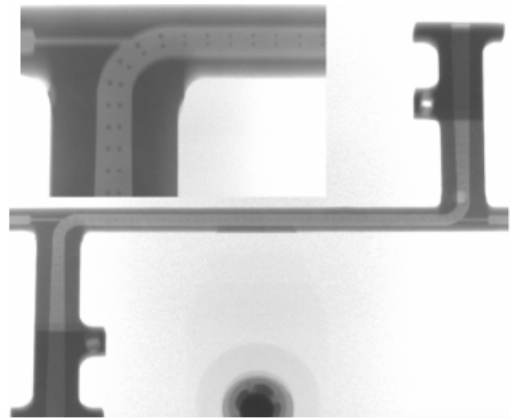
شکل ۲۳. TWT باند E ساخته شده، مهر و موم نشده (بدون آهن ربا) [۲۰]

C. سیستم مغناطیسی متناوب دائمی (PPM)

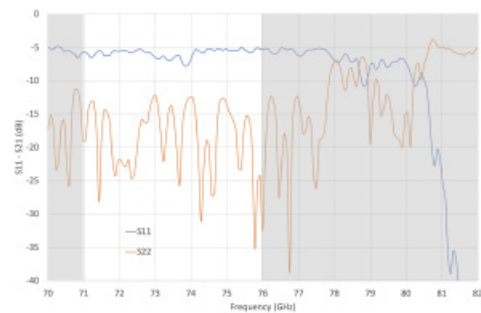
سیستم PPM شامل قطب‌های آهنی است که با آهن ربا متناوب می‌شوند. قطعات میله‌های آهنی در دو نیمه ساخته شده‌اند. آنها با لیزر به یک لوله فولادی ضد زنگ که مدار DCW را در بر می‌گیرد جوش داده می‌شوند. لوله فولاد ضد زنگ در امتداد محور به دو نیمه تقسیم می‌گردد تا در اطراف لوله مونتاژ و سپس جوش داده شود. هدف از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

D. مجموعه TWT باند E

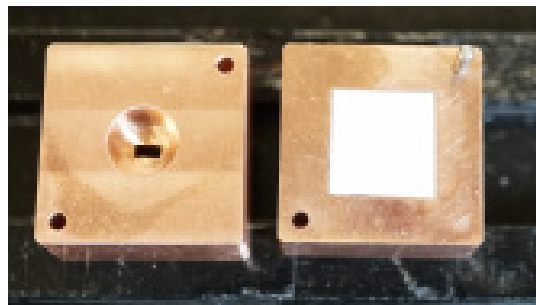
مونتاژ بخش‌های TWT در مرحله نهایی است. مدار DCW با در پیچه‌های RF لحیم شده است. متأسفانه، باقیمانده‌ای از مواد لحیم کاری در تونل پرتو نشسته کرده‌اند. تونل پرتو به صورت مکانیکی تمیز شده است، اما برای جلوگیری از خطر وجود ذرات درون DCW، در پیچه‌های DCW و RF جدیدی ساخته و مونتاژ شدند. علاوه بر این، جمع‌کننده 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.



شکل ۱۹. تصاویر سی‌تی اسکن 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 در پیچه RF، حفره (چپ)؛ صفحه آلومینیومی (سمت راست) [۲۰]

B. در پیچه RF

ساخت در پیچه RF با فرز CNC دو بلوک با نیم حفره 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 در پیچه 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.

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:

- [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 (IRM-MW-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.
- [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.

بینش فناوری

Technology Insight



شبکه‌های رادیویی:
انقلابی در حوزه xRAN

۸۴



فاطمه بهادری

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

XRAN

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 مصرف‌کنندگان 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.



تهویه مطبوع، حصار کشی و کابل کشی است. سایت‌ها برای فراهم نمودن پوشش مخابراتی، با یکدیگر و با backhaul 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

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 نظر سنجی و دریافت نظرات بیش از ۵۰ مدیر عامل در صنعت مخابرات است می‌پردازیم.



ظهور xRAN‌ها

سیستم‌های RAN بخشی اساسی از معماری شبکه‌های مخابراتی بوده و نقش مهمی در ارائه خدمات مخابرات بسیار ایفا می‌کنند. به بیان ساده، RAN یک سایت متشکل از یک برج، تجهیزات الکترونیکی، آنتن‌ها و زیرساخت‌های غیرفعال پشتیبانی مانند



متفاوتی دارند:

در CRAN، هدف اصلی بهبود کارایی با استفاده از «تجمیع منابع» است. تحت این معماری، صداها 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^۱ 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 انعطاف پذیری برای اپراتورها جهت سفارشی کردن شبکه‌های خود بر اساس نیازمندی‌های خود منجر شود.

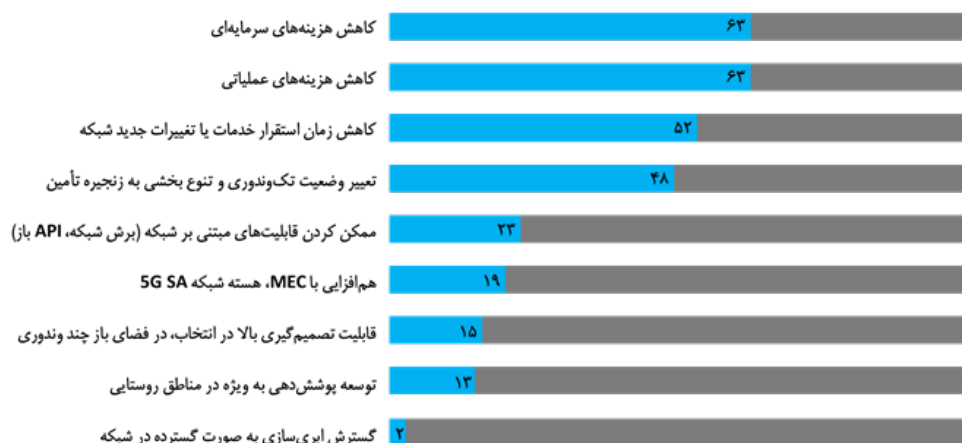
VRAN از مجازی‌سازی پشتیبانی می‌کند و با بهره‌گیری از مفاهیم ابری به جدا کردن سخت افزار شبکه از نرم افزار منجر شده و در نتیجه آن افزایش مقیاس پذیری و چابکی شبکه را نتیجه می‌دهد.

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.

انتظار برای منحنی S: مزایا، محرک‌ها و محدودیت‌ها

برای به دست آوردن درک عمیق در خصوص مسیر بازار xRAN، موسسه مکنزی طی یک نظر سنجی گسترده با ۵۰ مدیر مخابراتی از اپراتورهای معتبر در سراسر جهان با تمرکز بر انتظارات از مزایا و چالش‌های بالقوه به کارگیری 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

1- O-RAN Alliance در سال ۲۰۱۸ توسط AT&T، China Mobile، Deutsche Telekom، NTT DOCOMO و Orange تأسیس شده است و در حال حاضر دارای مشارکت بیش از ۲۰ اپراتور جهانی موبایل و ۲۰۰ شرکت (فروشنده، 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 Intel، Qualcomm، Mavenir، Red Hat و AltioStar 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.



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



یک سوم اپراتورها گفته‌اند قصد ندارند رهبری خود را در xRAN از دیگران بگیرند، باز یکنان بر تر مخابراتی که 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 داشت - 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 منعکس‌کننده زمینه و موقعیت یک اپراتور خاص، انواع مدل‌های مستقر شده و مقیاس پیاده‌سازی هستند. استقرارهای

هزینه، استقرار سریع‌تر خدمات و تنوع فروشنده را به عنوان مزایای بالقوه کلیدی در پذیرش xRAN می‌دانند (شکل ۱).

علاوه بر این، مدیران صنعت مخابرات توافق دارند که موجی از پذیرش xRAN در افق پیش‌رو است. اکثریت 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

🔥 شناخته شدن به عنوان بازیگران نوآور از دید صنعت و سرمایه‌گذاران

با این وجود، حدود ۴۰ درصد از اپراتورها می‌گویند که طرح‌ها و پروژه‌های استقرار و بهره‌برداری از xRAN را تا زمانی که اپراتورهای پیشرو سطح یک استقرار کامل xRAN را اجرا کنند، به تعویق می‌اندازند و ۱۵ درصد دیگر نیز منتظر خواهند ماند تا «بیشتر صنعت» به طور کامل این فناوری را به کار گیرد. در حالی که تقریباً



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



کند و از بهترین راه حل‌ها 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 تأخیر در عملکرد سخت‌افزارهای تجاری (COTS) ممکن است ۳ تا ۵ درصد بیشتر از RAN سنتی باشد و مناطق ترافیکی مترکم 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 باز یکنان نیمه‌رسانا از چرخه‌های نوآوری سریع و دانش داخلی به دست آمده از طریق همکاری با OEM‌های سازنده تجهیزات فعلی در توسعه چیپ‌ست استفاده می‌کنند. به علاوه، مجازی‌سازی به عنوان 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 به طور 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 نرم‌افزار واحد متمرکز (CU)/واحد توزیع شده (DU)، بهره ببرند. همچنین مجموعه‌ای در حال ظهور از فروشندگان فناوری و

هدفمند و گسسته احتمالاً صرفه جویی بیشتری نسبت به ابتکارات در مقیاس بزرگ با هدف تبدیل معماری شبکه به طور یکنواخت در یک رد پای کامل به همراه خواهد داشت. گفته می‌شود، صرفه جویی و کاهش هزینه‌ها با بلوغ یک فناوری افزایش می‌یابد. با نگاهی دقیق به سه مدل خاص xRAN، شاهد واگرایی از اثرات و محرک‌های هزینه کوتاه مدت هستیم:

CRAN: CRAN بزرگترین نتیجه را در صرفه جویی در هزینه‌ها دارد و به طور بالقوه هزینه کل مالکیت 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 به دست آمده تا حد زیادی به وضعیت هر ارائه دهنده بستگی دارد، زیرا میزان هزینه‌ای که با استفاده از CRAN صرفه جویی شده است می‌تواند به راحتی با سرمایه گذاری‌های 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 سرمایه گذاری در کوتاه مدت شود. با این حال، کاهش دارایی‌های فیزیکی از طریق متمرکز کردن شبکه به طور ذاتی منجر به کاهش سرمایه گذاری و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

ORAN: انتظار می‌رود ORAN رقابت صنعتی را تحریک کند، اپراتورها را تشویق به نوآوری کند، وضعیت تک‌وندوری را تضعیف

2- total cost of ownership (TCO)



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 چشم‌انداز 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

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

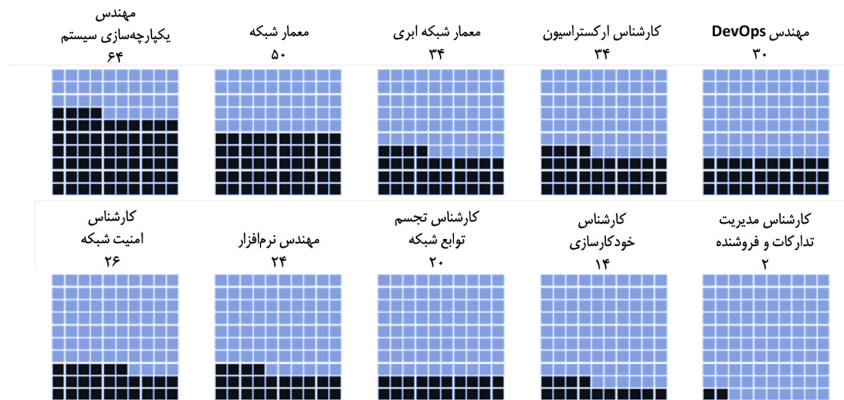
با هدایت استانداردسازی و کاهش حالت تک‌فروشنده‌ای، تکامل xRAN احتمالاً باعث ظهور فروشنده‌گان تخصصی می‌شود که نقش خاصی در یک محیط چند فروشنده ایفا می‌کنند. ۲۵ درصد از اپراتورهای مورد بررسی معتقدند vRAN تخصص فروشنده را تسریع می‌کند، در حالی که ۴۰ درصد فکر می‌کنند ORAN چنین تأثیری را خواهد داشت. در حالی که به طور بالقوه امکان بهترین راه‌حل‌ها، رقابت و نوآوری فراهم می‌شود، تخصص می‌تواند منجر به افزایش فروشنده‌گانی شود که بر اجزای شبکه جداگانه تمرکز می‌کنند. این موضوع به نوبه خود می‌تواند چالش‌های مهمی را در مورد مدیریت چند باز یکن 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 Open RAN Ecosystem خود (OREC) برای ترویج پذیرش Open RAN است. سوال این است که آیا سایر اپراتورها از تخصص یکپارچه‌سازی 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

اپراتورهای مخابراتی برای موفقیت در حوزه xRAN به طیف وسیعی از مهارت‌ها نیاز دارند که توسط مهندسان یکپارچه‌سازی سیستم و معماران شبکه رهبری می‌شوند.



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

می‌دهند. این صنعت استاندارددهارادوچندان می‌کند و یکپارچه‌سازان سیستم را تشویق می‌کند تا نقش فعال‌تری 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 می‌کنند، همانطور که در حال حاضر توسط Rakuten و docomo انجام می‌شود. از محرک‌های اصلی استقرار xRAN: 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 مقیاس پذیر و چندفروشنده 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 می‌کنند. 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 می‌کنند. با این حال، موانعی مانند هزینه‌های انتقال و چالش‌های مدیریتی بالقوه مرتبط با نظارت بر محیط‌های چندفروشنده 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

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 یکپارچه‌سازی سیستم و معماران شبکه حیاتی‌ترین نیاز هستند (شکل ۳). اپراتورهایی که در حال حاضر تنها یک یا دو فروشنده را مدیریت می‌کنند، نیازهای یکپارچه‌سازی سیستم‌ها را به ویژه ضروری می‌بینند، در حالی که اپراتورهایی که سه یا چند فروشنده RAN را مدیریت می‌کنند، معماران شبکه را در اولویت قرار می‌دهند. برای از بین بردن شکاف یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، بسیاری از اپراتورها قصد دارند به برون‌سپاری تکیه کنند، همانطور که در دهه گذشته برای رسیدگی به عرضه و عملیات RAN انجام داده‌اند. این ارائه‌دهندگان شامل فروشندگان جدید ORAN، OEM و یکپارچه‌سازهای سیستم‌های شخص ثالث خواهند بود. xRAN همچنین تغییرات قابل توجهی را در مدل‌های عملیاتی ایجاد می‌کند، به طوری که دو سوم اپراتورها می‌گویند که تحولی کل‌نگر را متصور هستند. در حالی که شرکت‌های مخابراتی به طور سنتی برای معرفی متولوژی‌های چابک به پیاده‌سازی شبکه تلاش می‌کنند، پیرامون قابلیت‌های جدید xRAN، که توسط محیط‌های «نرم‌افزاری» (vRAN) و چندفروشنده (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 می‌کند. 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 ارائه‌دهنده راه حل یکپارچه و انتها به انتها ادغام شده و جایگزینی رقابتی برای OEM‌های موجود ارائه



پذیرش سریع می‌شود.

نتیجه‌گیری

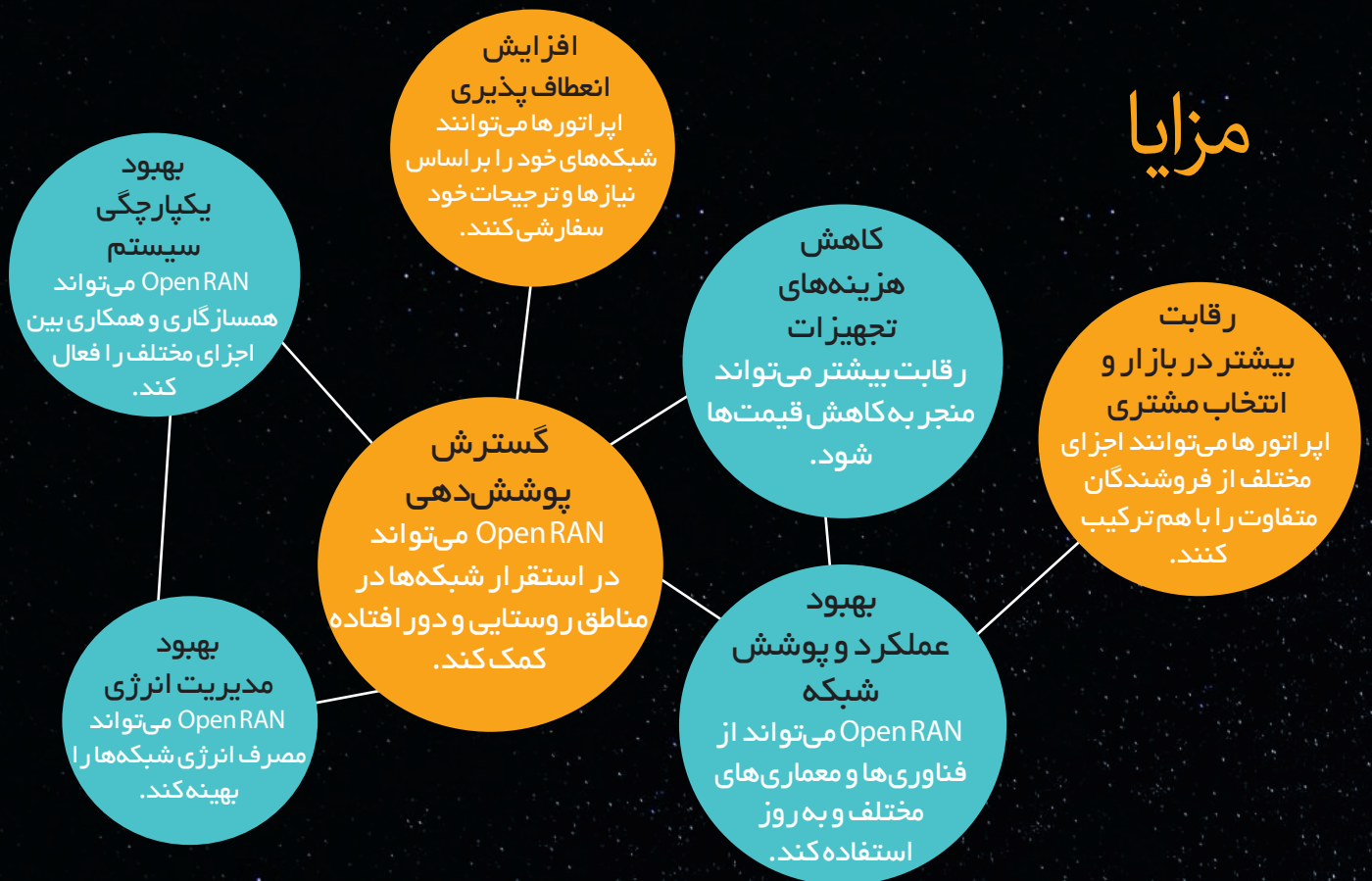
در دهه اخیر، تکامل فناوری شبکه دسترسی رادیویی (RAN) و ظهور روند استفاده از مجازی‌سازی، میکروسرویس‌ها و فناوری‌های مبتنی بر استفاده از رابط‌های باز، منجر به معرفی مفهوم xRAN (فناوری‌های CRAN، vRAN و Open RAN) در صنعت مخابرات شده است. این مفهوم در اوایل دهه ۲۰۱۰ به عنوان پاسخی به ماهیت انحصاری راه‌حل‌های 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 راه‌حل RAN که عناصر مختلف راز شرکت‌های مختلف بگیرد بسیار دشوار بود. تجزیه RAN، cloudification و معرفی open RAN یک فلسفه منبع باز را حمایت می‌کند و این

قدرت را به ارائه‌دهندگان خدمات می‌دهد که عناصر مختلف (CU، RU، DU) را از شرکت‌های مختلف به نحوی که به نیازهای منحصر به فرد خود منطبق باشند، انتخاب کنند. از طرفی، با توجه به افزایش پیچیدگی در شبکه‌های نسل جدید و افزایش مقیاس RAN ها، این نوع انعطاف‌پذیری در ارائه راه‌حل در شبکه‌های مخابرات بی‌سیم امری ضروری به نظر می‌رسد. از این رو، در این مقاله به بررسی روند پذیرش xRAN ها 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



OPEN RAN

چالش‌ها



ابزار فناوری

Technology Tools



نمایه‌ای از رویدادها و همایش‌های
جهانی در حوزه شبکه‌های رادیویی

۹۷

معرفی 5G LVienna
شبیه‌ساز پارامترهای لایه فیزیکی 5G

۹۴

شبیه‌سازی

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 به کارگیری 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 شبیه‌سازی‌های متنوعی جهت شبیه‌سازی سطح لینک 5G معرفی شده‌اند. از میان آن‌ها می‌توان به **Vienna 5G LL** و **GTEC 5G LL-ns-3** و **OpenAirInterface** اشاره کرد.

اما توسعه شبیه‌سازی‌های LTE به سمت 5G به دلیل 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 شکل دهی پرتوی تمام‌بعدی/انبوه چند ورودی چند خروجی (MIMO)، دسترسی چندگانه غیر متعامد^۱، و انتقال در باند موج میلی‌متری (mmWave) در 5G معرفی شده‌اند. لذا نیاز به بهبود مجموعه شبیه‌سازی‌های VCCS توسط TUWien احساس می‌شود. در نتیجه این نیاز، این مؤسسه شبیه‌سازی‌های خود را گسترش داده و شبیه‌سازی‌هایی منطبق با کاربردهای 5G ارائه نموده است.

شبیه‌سازی سطح لینک Vienna 5G بر روی لایه فیزیکی (PHY) سیستم ارتباطی تمرکز دارد. هدف این ابزار شبیه‌سازی تمام‌زنجیره فرستنده-گیرنده (کدگذاری کانال^۲، پردازش MIMO، مدولاسیون چند حامل^۳، تخمین کانال^۴، یکسان‌سازی^۵) است که از طیف وسیعی از پارامترهای شبیه‌سازی پشتیبانی می‌کند. در شبیه‌سازی 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 شبیه‌سازی شامل تنظیمات پارامتری است که امکان سازگاری با استانداردهایی از جمله LTE و همچنین 5G را مهیا می‌سازد. علاوه بر این پارامترسازی امکان شبیه

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



در این گزارش، جدیدترین عضو مجموعه شبیه‌سازی‌های ارتباطات سلولی وین (VCCS)، شبیه‌سازی سطح لینک (LL) 5G وین معرفی شده و با تعدادی از شبیه‌سازی‌های موجود مقایسه شده است. این شبیه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB با استفاده از روش‌های برنامه‌نویسی شیء‌گرا پیاده‌سازی شده و کد منبع آن تحت مجوز استفاده آکادمیک برای دانلود در دسترس است.

به لطف برنامه‌نویسی شیء‌گرا و ماژولار به‌روزرسانی این شبیه‌سازی بسیار ساده بوده و در آینده بخش‌های جدیدی به آن اضافه خواهد شد. گروه تحقیقاتی ارتباطات سیار مستقر در مؤسسه ارتباطات TUWien سابقه طولانی و موفقی در توسعه و به اشتراک‌گذاری شبیه‌سازی‌های ارتباطات سلولی منطبق با استانداردهای متنوع دارد. به طور کلی این شبیه‌سازی‌ها قابلیت تکرارپذیری را در تحقیقات دانشگاهی و پروژه‌های تحقیق و توسعه در زمینه ارتباطات بی‌سیم افزایش می‌دهند. پیاده‌سازی شبیه‌سازی‌های LTE وین در سال ۲۰۰۹ آغاز شد، که منجر به سه شبیه‌سازی‌ساز گار با استاندارد قابل اعتماد LTE شد. این سه شبیه‌سازی عبارتند از: یک شبیه‌سازی سطح سیستم downlink و دو شبیه‌سازی سطح لینک، یکی برای uplink و دیگری برای downlink. نقشه راه تدوین شده برای 5G توسط 3GPP مبتنی بر LTE است،

- 1- Link Layer

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

قطبی^{۱۰}. شبیه‌ساز سطح لینک وین از هر چهار روش ذکر شده پشتیبانی می‌کند. بر اساس مشخصات فنی اعلام شده توسط 3GPP برای تجهیزات 5G NR^{۱۱} تولید کنندگان این تجهیزات در انتخاب شکل موج‌های^{۱۲} مبتنی بر OFDM برای محصولات خود محدودیتی ندارند. البته بر اساس این مشخصات فنی CP-OFDM^{۱۳} به عنوان پایه اصلی Wave form های استفاده شده در 5G معرفی شده است. شبیه‌ساز مورد بحث ما از Waveformهایی مانند CP-OFDM^{۱۷}، WOLA^{۱۶}، UFMC^{۱۵}، f-OFDM^{۱۴} و FBMC پشتیبانی می‌کند. علاوه بر موارد بالا، این شبیه‌ساز شامل پیکربندی‌های MIMO گوناگونی است. تعداد آنتن‌های فرستنده

- 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

سازی هر سیستم بی‌سیم بر پایه تقسیم فرکانس متعامد (OFDM) مانند 802.11a/p، IEEE 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 به کارگیری 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^۷، توربو^۸، LDPC^۹، و کدگذاری

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



۱-۱ یک سناریو ارتباطی بین دو ایستگاه پایه (BS1 و BS2) و دو کاربر (UE1 و UE2) شبیه‌سازی شده است. 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 سازی شده را دارد. گزینه‌های شبیه‌سازی سناریوهای متفاوت در این شبیه‌ساز به‌اختصار به شرح زیر است.

شبیه‌سازی لینک‌های متفاوت و تأثیر سیگنال‌های تداخلی بر آن‌ها

شبیه‌سازی سناریوهای 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 شبیه‌سازی زاویه ورود و زاویه خروج مطابق شکل ۱-۴

شبیه‌سازی پارامترهای کانال طبق شکل ۱-۲

و گیرنده برای هر نود از شبکه قابل تنظیم است و می‌توان هر مقدار دلخواهی را به آن‌ها اختصاص داد. حالت‌های انتقال^{۱۸} متنوعی مانند transmit diversity، OLSM^{۱۹} و CLSM^{۲۰} توسط این شبیه‌ساز ارائه شده است. همچنین یک حالت انتقال سفارشی نیز در نظر گرفته شده است که آزادانه قابل تنظیم است. این شبیه‌ساز از یک استراتژی دسترسی چندگانه غیر متعامد در بخش downlink استفاده می‌کند. همچنین، این شبیه‌ساز از مدل‌های موج شونده‌گی فرکانس‌گزینه‌ی کانال مانند Pedestrian A، Pedestrian B، Vehicular A، TDL-A، TDL-B، TDL-C، Extended Vehicular A و Extended Pedestrian A استفاده کرده است. در جدول ۱ مقایسه‌ای بین ویژگی‌های شبیه‌سازهای مختلف ارائه شده است.

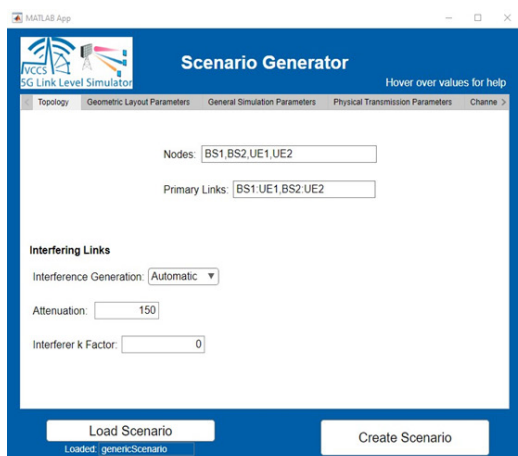
محیط کاربری شبیه‌ساز

شکل ۱ محیط کاربری این شبیه‌ساز را نمایش می‌دهد، که جهت پیاده‌سازی سناریوهای ارتباطی متفاوت استفاده می‌شود. در شکل

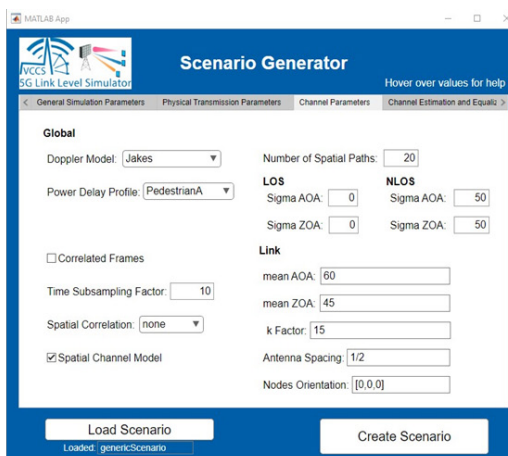
18- Transmission mode.

19- Open loop spatial multiplexing

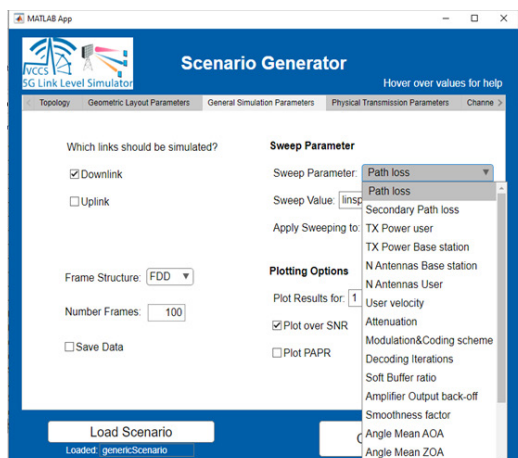
20- Closed loop spatial multiplexing



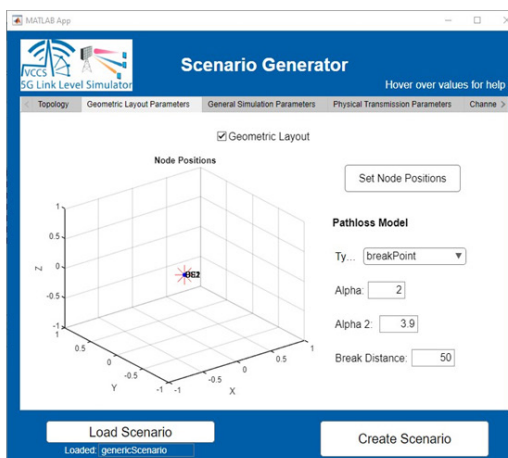
۱-۱



۲-۱



۳-۱



۴-۱

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 به صورت 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، مجازی‌سازی شبکه‌های رادیویی، امواج میلی‌متری، O-RAN^۲ 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 رویدادها و 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

همایش‌های آینده WRC.

همایش جهانی امسال، (WRC-23) از ۲۰ نوامبر تا ۱۵ دسامبر ۲۰۲۳ به نمایندگی از (TDRA^۲) در مرکز تجارت جهانی دبی در امارات متحده عربی برگزار می‌گردد و WRC-۲۳ مقامات دولتی ملی و نهادهای نظارتی مخابراتی 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/>

همایش CROWNCOM



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 رادیو شناختی 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

همایش جهانی مخابرات رادیویی (WRC)



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 بر اساس دستور کار مصوب توسط شورای ITU^۲ انجام می‌شود، به طوری که بر اساس توصیه‌ها و پیشنهادهای مورد تأیید توسط همایش‌های WRC قبلی صورت می‌گیرد. بازه کلی دستور کار همایش‌های WRC چهار تا شش سال قبل تعیین می‌شود و دستور کار 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

1- World Radiocommunication Conference
2- International Telecommunication Union



علی ترابزاده

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

مجموعه همایش‌های اصلی - همایش بین‌المللی امواج فرسرخ و میلی‌متری (IRMMW) به همایش بین‌المللی THz Electronics پیوست تا بیست و نهمین همایش بین‌المللی مشترک امواج فرسرخ 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 فرسرخ، 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 فرسرخ، میلی‌متری و تراهرتز (IRMMW-THz) بیانیه مأموریت مخصوص خود را این گونه عنوان می‌کنند: «ترویج جمع‌آوری، انتشار و تبادل علمی و دانش فنی در زمینه‌ها ورشته‌های مربوط به امواج فرسرخ، میلی‌متری و تراهرتز در سراسر جهان». همایش IRMMW او نشریه ماهانه همراه آن، مجله امواج فرسرخ، میلی‌متری و تراهرتز، یکی از اولین رسانه‌های علمی برای حوزه رو به رشد اجزا و ابزار فرسرخ دور است که در اواسط دهه ۱۹۷۰ پدید آمدند. حوزه تحقیقاتی این همایش شامل دستگاه‌ها، اجزاء و سیستم‌های موج میلی‌متری، آشکارسازها و ابزارهای فرسرخ دور، ساختارهای میکرو و نانو مقیاس، شتاب‌دهنده‌ها و توکامک‌های مقیاس بزرگ و کاربردهای آن‌ها می‌شود. همچنین در سال ۲۰۱۱ یک مجله جدید

۵- نام نوعی دستگاه است که کار آن محصورسازی پلاسماست و برای ایجاد پایداری پلاسما بر مبنای محصورسازی مغناطیسی طراحی شده است. این سیستم‌ها حاوی پلاسما می‌باشند و در طی فرآیند پخت و پز می‌توانند دو سری میدان مغناطیسی نگهداری می‌شوند، و شکلی مانند چنبره تشکیل می‌دهند.

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

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

لینک صفحه رسمی همایش:

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

همایش بین‌المللی امواج فرسرخ، 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 فرسرخ، 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

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

به اشتراک گذاشتن تجربیات و نتایج تحقیقات خود در تمام جنبه‌های مخابراتی، شبکه‌ها و ماهواره هر ساله به صورت مجازی و فیزیکی برگزار می‌گردد. این همایش همچنین یک پلتفرم بین رشته‌ای برتر برای محققان، پزشکان و مربیان فراهم می‌کند تا آخرین نوآوری‌ها، 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



IEEE NFV-SDN

همایش IEEE NFV-SDN یک انجمن مهم برای تبادل مداوم جدیدترین ایده‌ها، پیشرفت‌ها و نتایج دانشگاه و صنعت است که هر ساله به صورت حضوری توسط مؤسسه IEEE حمایت و پشتیبانی می‌شود. به طور کلی این همایش به اشتراک‌گذاری دانش و بحث در مورد رویکردهای جدید و همچنین کارهای مربوط به رفع شکاف‌ها و بهبودها در معماری‌ها، الگوریتم‌ها و چارچوب‌های عملیاتی NFV⁴ و SDN⁵ فعال برای توابع و زیرساخت‌های شبکه مجازی را تقویت می‌کند. 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 می‌گردد.

لینک صفحه رسمی همایش:

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

- 7- IEEE Conference on Network Functions Virtualization and Software-Defined Networking
- 8- Network function virtualization
- 9- Software-defined radio

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

لینک صفحه رسمی همایش:

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

انجمن جهانی OpenRAN



انجمن جهانی OpenRAN هر ساله رویدادی با محوریت آینده Open RAN برگزار می‌کند. به طور کلی در این رویداد پیشرفت Open RAN و نقش حیاتی RIC⁶ مورد بررسی قرار می‌گیرد. موضوعات اصلی که در این رویداد مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد 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

کاوش‌گری در توسعه و تکامل Open RAN

در این رویداد کلیه افراد در صنعت با هدف اشتراک‌گذاری یافته‌های خود در حوزه Open RAN و کسب اطلاعات کافی از مدل‌های جدید Open RAN، سیاست‌گذاران 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

6- RAN Intelligent Controller

TELECOMMUNICATION ANTENNAS





راه اندازی ایستگاه
پایه ماکرو و 5G Open RAN
توسط کوالکام

۱۰۶

توسعه
تراشه EdgeQ برای
ایستگاه‌های پایه

۱۱۲

اولین ماژول آنتن
5G mmWave برای
گوشی‌های هوشمند

۱۰۴

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

۱۱۰

انتقال توان بی‌سیم
به وسیله لیزر در ایستگاه‌های
پایه اریکسون

۱۰۲

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

۱۰۸



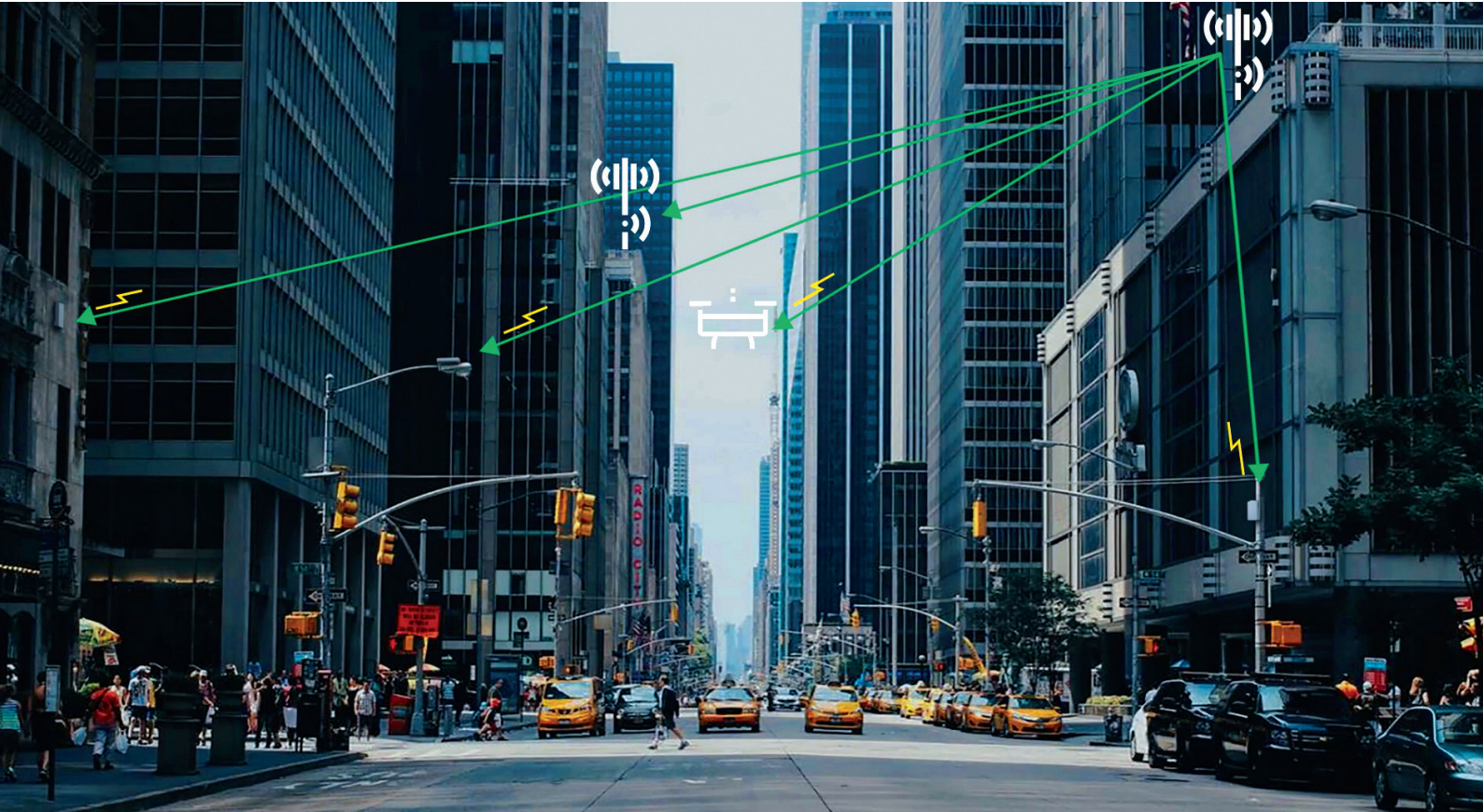
ERICSSON

همراه
فناوری
fanavari hamrah

فصلنامه‌ی خبری تحلیلی
بهار ۱۴۰۲
شماره‌ی هشتم

اخبار فناوری

انتقال توان بی سیم به وسیله لیزر در ایستگاه‌های پایه اریکسون



باشد، به‌ویژه هنگامی که شبکه وسیع‌تر می‌شود. به گفته کوین زوکل، سرپرست شبکه‌های اریکسون در آمریکا 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^۱ کوچک PowerLight در زیر ایستگاه پایه اریکسون قرار می‌گیرد. در این نمونه از یک واحد موج میلی‌متری Ericsson Streetmacro 6701 5G استفاده شده

اریکسون برای اولین بار در جهان از فناوری پر تولیزر برای تأمین انرژی یک ایستگاه پایه 5G به صورت 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 پر تولیزر بر پایه لیزر، الکتروسیسته را به نوری با شدت بالا تبدیل می‌کند که توسط ایستگاه پایه رادیویی دریافت شده و به الکتروسیسته تبدیل می‌شود تا تأمین انرژی به صورت بی‌سیم انجام شود. استفاده از این روش می‌تواند گزینه مناسبی برای پاسخگویی به چالش تأمین انرژی ایستگاه‌های پایه در استقرار سایت‌های سلولی جدید باشد. زیرا تأمین انرژی باروش‌های سنتی و دسترسی به این شبکه و فرآیند مربوطه می‌تواند زمان‌بر و پرهزینه باشد، یا به دلیل موقعیت مکانی یا جغرافیایی دشوار

1- power distribution unit

سیلندر از پرتو توان محافظت می‌کند (که حلقه ایمنی نامیده می‌شود). اگر کسی یا چیزی مانع انتقال پرتو شود، بلافاصله پرتو خاموش می‌شود. این امر در عرض چند میلی ثانیه انجام می‌شود. حتی اگر پرتو به طور موقت قطع شود، ایستگاه پایه همچنان فعال می‌ماند و باطری پشتیبان سایت کار می‌کند 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 انعطاف پذیری می‌دهد تا رادیوها را در جایی که قبلاً ممکن نبود، مستقر کنیم." جدای از استقرار سریع تر ایستگاه‌های پایه در سطح خیابان، اریکسون در نظر دارد از قدرت ارتباط بی سیم نوری برای استقرار موقت استفاده کند. مانند شرایط اضطراری یا رویدادهایی که در آن ازدحام تراکم برای مدت معینی وجود خواهد داشت، مانند جشنواره‌های موسیقی یا رویدادهای ورزشی. با این طرح بدون نیاز به سیم کشی به منبع برق، می‌توان از ماشین‌های متصل مانند وسایل نقلیه هدایت‌شونده خودکار، پهپادها یا حسگرها و لامپ‌های IoT نیز پشتیبانی کرد. اولسون از PowerLight در بیانیه‌ای افزود: "بیشتر مردم می‌دانند که فناوری شارژ بی سیم 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 می‌کند، جهش عمده‌ای را که اخیراً به سمت تجاری سازی انتقال برق بی سیم و ایمن برای سیستم‌های مقیاس بزرگ‌تر انجام داده‌ایم، نشان می‌دهد."

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-devices-wirelessly>

است. در بالای دکل، یک گیرنده PV (فتوولتائیک آ) 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، الکتروسیسته را به فوتون (پرتو لیزر) تبدیل می‌کند که به گیرنده PV ارسال می‌شود و فوتون‌ها را دوباره به برق قابل استفاده تبدیل می‌کند. 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 بی صدا است.



شکل ۱. جعبه توزیع PowerLight در ایستگاه پایه نسل پنجم

میلی متری اریکسون [۱]

به گفته دست اندر کاران 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 به صورت تجاری در دسترس خواهد بود.

ایمنی سیستم معرفی شده

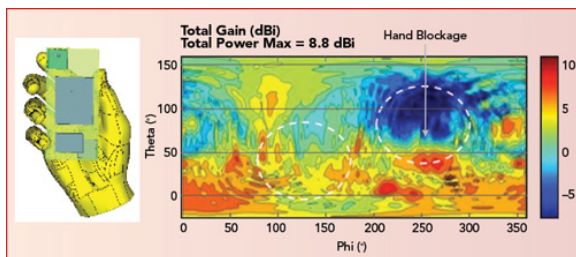
یکی از اهداف این نسخه آزمایشی نمایش این امر بود که انتقال توان بی سیم برای موجودات زنده و محیط زیست بی خطر است. به گفته مجری این طرح، یکی از راه‌های تضمین موضوع امنیت این است که برای پرتو برقی که در وسط سیستم‌ها ارسال می‌کند یک سیلندر نامرئی در نظر گرفته شده است. این

2- Photovoltaic

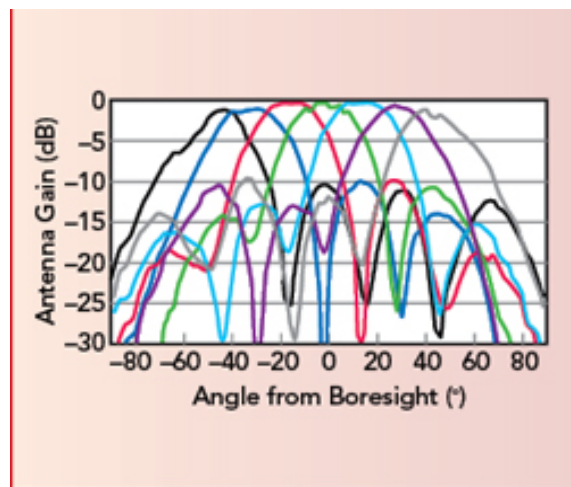


اولین ماژول آنتن 5G mmWave برای گوشی‌های هوشمند

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 داده شده است.



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



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

آرایه‌های آنتنی^۷ شامل آنتن‌های پیچ^۸ یا دو قطبی^۹ هستند که می‌توانند دارای قطبش^{۱۰} تک‌ یا دو تایی^{۱۱} خطی باشند. این آرایه‌ها

- 7- Array antenna
- 8- Patch
- 9- dipole
- 10- Polarization
- 11- Dual

بهره‌گیری از باند فرکانسی امواج میلی‌متری نقشه‌ی 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 در نظر 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 موج میلی‌متری، به گونه‌ای که با فرم فاکتوری 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 تجمیع شده^۳ شامل آنتن تا پردازش‌های باند پایه^۴ است که مشخصات 5G New Radio (NR) را از استاندارد 15 توسط 3GPP 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 رادر 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^۵ رادیویی و مدیریت توان است. این ماژول به مودم Qualcomm X50 5G متصل می‌شود، که وظیفه کنترل شکل‌دهی پرتو^۶ و هدایت پرتو را بر عهده دارد. در ادامه بخش‌های مختلف این ماژول و نحوه عملکرد آن‌ها معرفی شده‌اند.

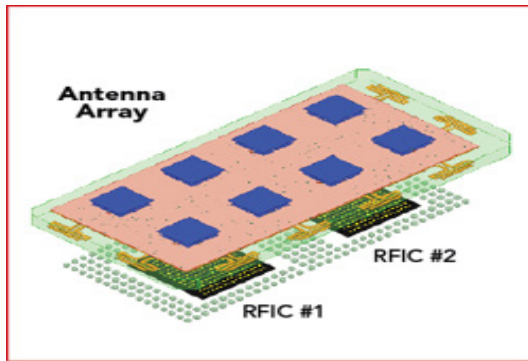
آرایه آنتن

گزینه‌های مختلفی برای آنتن وجود دارد که هم در قسمت صفحه نمایش و هم در لبه گوشی قرار می‌گیرند. آزمایش‌های Qualcomm

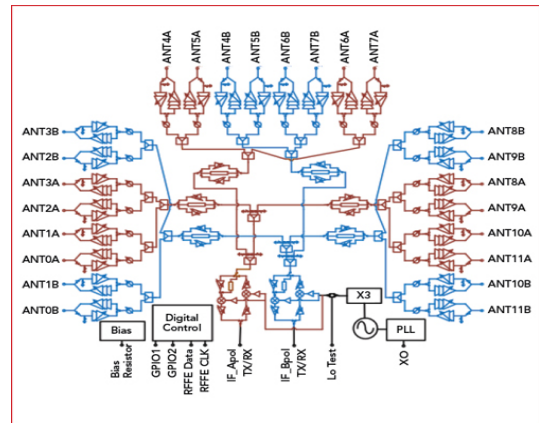
- 1- mmWaves
- 2- Integrated
- 3- Baseband
- 4- 3rd Generation Partnership Project
- 5- Transceiver
- 6- Beamforming

RFIC های فرستنده-

هدایت پرتو را بین زوایای $\pm 45^\circ$ در جهه حول محور عمودی آنتن انجام می دهند. بهره^{۱۲} یک آرایه آنتنی در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۴: تراز گره های RFIC به سمت پشت بردی که شامل آرایه های آنتن است، نصب می شوند [۱]



شکل ۳: نمودار بلوک تجسمی از فرستنده-گیرنده RFIC [۱]

در آرایه های شبکه ای توپی^{۲۲} به صورت flip-chip بسته بندی شده اند، و در قسمت پشتی بردی که شامل آرایه آنتن است، نصب می شوند. شکل ۴ این RFIC ها را نمایش می دهد.

فرستنده-گیرنده

مدار مجتمع فرکانس رادیویی (RFIC^{۱۳}) فرستنده-گیرنده، که با استفاده از فرآیند سیلیکون تولید می شود، کانال های فرستنده و گیرنده را برای هر عنصر آنتن یکپارچه می کند. و همچنین تبدیل فرکانس بین RF و IF را فراهم می کند. تبدیل بالا رو^{۱۴} و پایین رو^{۱۵} روی تراشه شامل میکسر^{۱۶} نوسان ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO^{۱۷}) با ضرب کننده و حلقه قفل فاز (PLL^{۱۸}) است. شکل ۳ بلوک تجمعی این RFIC را نمایش می دهد. تقویت کننده توانی که در ساختار فرستنده وجود دارد، می تواند ۱۰ dBm تا ۱۵ dBm توان خروجی فراهم کند. خروجی آن به حدود ۶ dBm تا ۸ dBm تنظیم می شود. سوئیچ فرستنده / گیرنده (T/R) در آنتن در مسیر گیرندگی قرار می گیرد تا توان خروجی کاهش نیابد. همچنین در سمت گیرنده از یک تقویت کننده کم نویز^{۱۹} LNA استفاده شده است تا عملکرد پیوند فرسوسو^{۲۰} حتی با وجود تلف سوئیچ T/R، محدود نشود. مدار دیجیتال روی تراشه^{۲۱} درون ساختار فرستنده-گیرنده، فرمان های از سمت مودم X50 را برای کنترل وضعیت T/R و همچنین دامنه و فاز هر المان آنتن، ترجمه می کند. همچنین تنظیم دامنه و هدایت پرتو توسط شیفت دهنده های فاز و تضعیف کننده های داخل ساختار فرستنده-گیرنده، تنظیم می شوند.

EIRP و تلف توان

برد کوتاه لینک های موج میلی متری، توان خروجی در دسترس از تقویت کننده های توان و همچنین فرم فشرده گوشی موبایل، چالش هایی را برای طراحی QTM052 به منظور دستیابی به توان خروجی مطلوب و کاهش تلف توان به وجود آورده است. همان گونه که اشاره شد، تقویت کننده توان سیلیکونی می تواند در ۲۸ گیگاهرتز ۱۰ تا ۱۵ dBm توان خروجی ارائه دهد. یک آنتن پیچ نصف طول موج^{۲۳}، دارای بهره حدود ۵ dBi است و یک آرایه ۲ در ۲ می تواند مجموع ۶ dB و توان شکل دهی پرتو ۶ dB داشته باشد. استفاده از قطبش تکی مقدار ۳ dB دیگر نیز اضافه می کند که در نهایت بهره آنتن را ۲۰ dB خواهد کرد، که توان خروجی رادیو (EIRP^{۲۴}) را به ۳۰ dBm تا ۳۵ dBm افزایش می دهد.

طراحی حرارتی برد شامل آرایه های شبکه توپی در RFIC باید به گونه ای باشد که گرما را بدون ایجاد نقاط داغ در گوشی به نحوی که کار بر متوجه آن شود، هدایت کند. برای یک آرایه ۲*۲ که سیگنال OFDM^{۲۵} یا SCFDM^{۲۶} با مدولاسیون 64QAM در فرکانس ۲۸ گیگاهرتز ارسال می کند، هر تقویت کننده توان تا حدود ۶ dBm تا ۸ dBm کاهش می یابد (بک آف شدن). برای این خروجی، توان تلف شده متداول مستقیم (DC) برای ۴ کانال ارسال در حدود ۳۵۰ dBm 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 division multiplexing
- 26- Single Carrier Frequency Division Multiplexing

- 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

راه اندازی ایستگاه پایه ماکرو 5G Open RAN توسط کوالکام

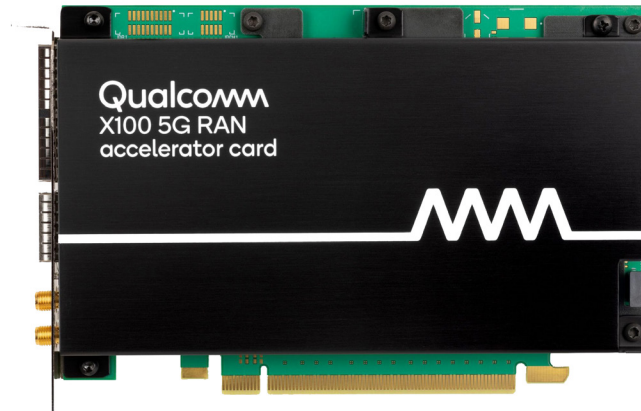
ماه پیش نمونه‌برداری از محصولات جدید خود را با مشتریان و شرکای کلیدی آغاز کرده است. سبک ماکرو RAN Open کوالکام اساساً از دو محصول تشکیل شده است: پلتفرم رادیویی QRU 100 و کارت شتاب دهنده RAN X100.

کوالکام در حال توسعه مجموعه‌ای از محصولات زیرساخت 5G مبتنی بر Open RAN 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

1- Radio access network

Qualcomm





شکل ۱. کارت شتاب دهنده X100 RAN [۱]

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 شامل 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 کوالکام در بازار زیرساخت 5G به‌عنوان یک ارائه‌دهنده راه‌حل‌های تراشه O-RAN خواهد بود که بسیاری از OEM^{۱۱}های رادیویی جدید را قادر می‌سازد تا وارد بازار شوند و همچنین برخی از فروشندگان سنتی را تأمین کند. کوالکام در حال حاضر باره‌حل‌های 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 ایستگاه‌های پایه کلان بارانه طیف وسیعی از راه‌حل‌های تراشه‌ای مبتنی بر O-RAN از پیش یکپارچه و اثبات شده برای طیف گسترده‌ای از فروشندگان است. شرکای تجاری کوالکام تا به امروز عبارتند از، Fujitsu، NEC، Viptel و Mavenir، Rakuten Symphony.

افق بازار

داستان vRAN^{۱۲}/O-RAN در حال شتاب گرفتن است چرا که اپراتورهای اصلی مانند Verizon، NTT DoCoMo در حال انتقال به شبکه‌های کاملاً مجازی‌سازی شده هستند. طبق تحقیقات Counterpoint پیش‌بینی می‌شود که این امر در سال ۲۰۲۳ شتاب گیرد، که این عمده‌تأبرآمده از علاقه‌پراتورها به بهره‌برداری از مزایای معماری‌های بومی ابری است. این مزایا شامل چابکی شبکه بهبود یافته^{۱۳}، مقیاس‌پذیری^{۱۴} و اتوماسیون است و امکان معرفی انواع جدیدی از خدمات رانیز 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>

- 11- Original equipment manufacturer
 12- Virtualized radio access networks
 13- Improved network agility
 14- Scalability

پلتفرم رادیویی QRU 100

این پلتفرم برای استفاده در رادیوهای MIMO انبوه TRx32 و TRx64 و همچنین رادیوهای بسیار ساده‌تر TRx4 و TRx8 طراحی شده است. تراشه رادیویی QRU 100 شامل فرستنده-گیرنده و پردازنده‌های شکل‌دهی پرتو^۱ است و از قابلیت‌های سلولی پیشرفته مانند اشتراک‌گذاری DSS^۲، RAN^۳ و غیره پشتیبانی می‌کند. همچنین در مورد باند فرکانسی mmWave، تراشه شامل ماژول‌های فرانت‌اند RF و آنتن است.

کارت شتاب دهنده X100 RAN

این کارت یک کارت شتاب دهنده درون خطی مبتنی بر PCIe^۴ مبتنی بر تراشه QDU ۱۰۰ است که بارهای کاری محاسبه‌فشرده و به تأخیر حساس باند پایه PHY و لایه عملیاتی مانند کدگذاری کانال، دمدولاسیون و همچنین پردازش MIMO^۵ توسط آن انجام می‌شود. این امر باعث کاهش تعداد هسته‌های CPU مورد نیاز و در نتیجه کاهش هزینه کلی^۶ DU می‌شود. کارت X100 از همه‌گزینه‌های تقسیم^۷ تابع باند پایه تعریف شده توسط O-RAN^۸ Alliance پشتیبانی می‌کند و در فرکانس‌های زیر ۶ گیگاهرتز و موج میلی‌متری کار می‌کند. کوالکام با همکاری HPE^۹ کارت X100 را در سرور ProLiant DL 110 Gen 10 Plus آزمایش می‌نماید. این سرور برای بارهای کاری O-RAN بهینه شده است. 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^{۱۰}، Fujitsu و Mavenir ارائه کرده است. آزمایش‌های گسترده در محیط آزمایشگاهی از اوایل سال ۲۰۲۳ آغاز شده است و پیش‌بینی می‌شود استقرار تجاری تا پایان

- 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

آزمایش ادوات مخابراتی در شرایط محیطی بسیار سخت به وسیله آزمایشگاه

Rohde & Schwarz

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 استاندارد دی مانند سرما، گرما، رطوبت، آب، لرزش، آزمایشگاه همچنین از تخصص گسترده شرکت در سازگاری الکترومغناطیسی (EMC) بهره‌می‌برد 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.

به کارگیری سیستم‌های مخابراتی به عنوان 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

1-Electromagnetic compatibility





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

یکی از جذاب‌ترین ادوات تست در مقر Rohde & Schwarz تکان دهنده^۴ است. این دستگاه یک سیستم ارتعاش الکترو دینامیکی است که نیروهای فیزیکی را شبیه‌سازی می‌کند. به وسیله 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. به وسیله 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 ویران شده در محل‌های حادثه قابل شبیه‌سازی هستند.

منابع:

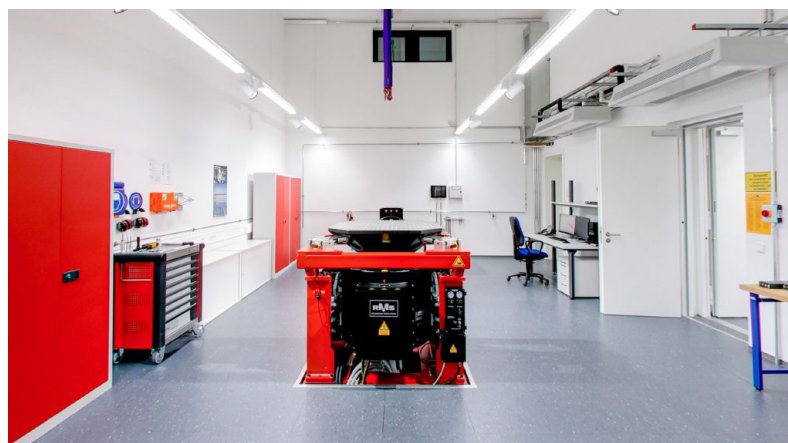
[1] Johann Fuchs, "Rohde & Schwarz environmental test lab verifies product functionality under extreme conditions," Rohde & Schwarz, 2023. https://www.rohde-schwarz.com/about/magazine/environmental-test-lab/environmental-test-lab_256153.html?change_c=true (accessed Jul. 07, 2023).

شرایط سخت نیازمند راه‌حل‌های بزرگ است

از دماهای شدید در محفظه آب و هوایی گرفته تا آزمایش‌های ارتعاش بر روی لرزاننده و آزمایش EMC در اتاق‌های آنکوئیک^۱ - Rohde & Schwarz 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 دسترس 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 تأمین‌کنندگان می‌دهد که محصولات خود را در بازه دمایی ۷۰- درجه سلسیوس تا ۱۸۰ درجه سلسیوس تست نمایند. همچنین ابعاد بزرگ چمبر آب و هوایی والک-این^۲ 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

4- Shaker



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

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

اشتراک‌گذاری نتایج رادر 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 رادر اختیار کاربران قرار می‌دهد.

این آزمایشگاه که بر اساس راه‌حل KORA ساخته شده است، راه‌اندازی سری تاسری 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 به منظور ایجاد یک بستر آزمایشی برای 6G 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

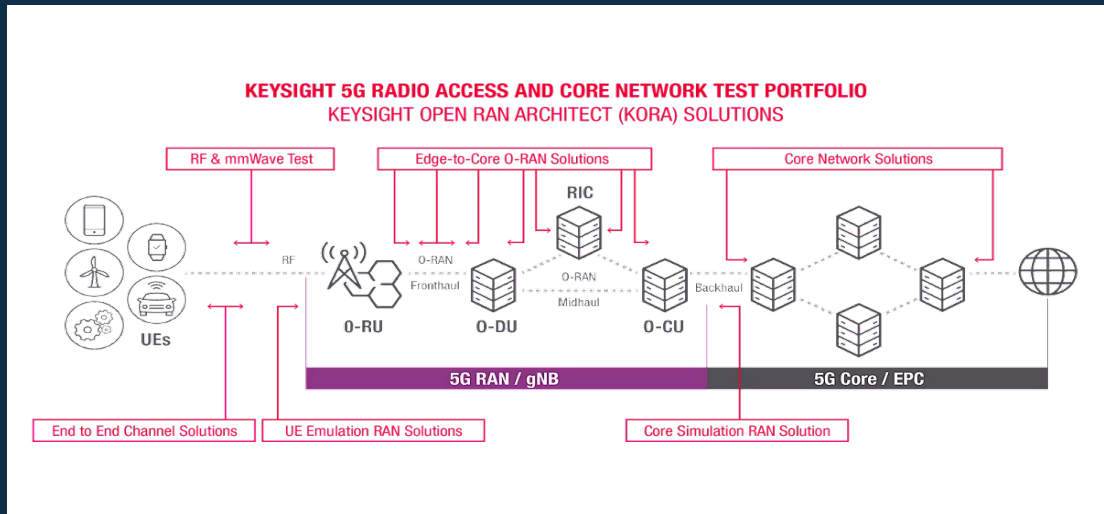
در ماه آوریل سال ۲۰۲۳ میلادی، KEYSIGHT اعلام کرد که در اروپا آزمایشگاهی جهت تست واحد رادیویی O-RAN بر اساس معماری KORA^۲ احداث می‌کند. این آزمایشگاه در دفتر این شرکت در شهر میلان کشور ایتالیا احداث می‌شود. هدف اصلی آزمایشگاه کمک به اپراتورهای تلفن همراه و تأمین‌کنندگان تجهیزات در اروپا است تا محصولات خود را از نظر عملکرد و انطباق با سایر تجهیزات راستی‌آزمایی کنند.

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

کارلو سانتانجلو^۳، مدیر راه‌حل‌های EMEA در Keysight، گفت: "راه‌اندازی این آزمایشگاه،

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





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

تحقیقاتی برای 6G 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.

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

بخشی از تعهد مشترک خدمات و شبکه‌های هوشمند کمیسیون اروپا است که در سال ۲۰۲۱ تأسیس شد. Keysight خاطر نشان کرد: این پروژه بزرگ با هدف آزمایش توانمندسازی فنی حوزه 6G، مانند هوش شبکه 4، هوش مصنوعی، امنیت، معماری چند اجزای انعطاف پذیر 5، دوقلوهای دیجیتال و سطوح هوشمند قابل تنظیم مجدد 7 تشکیل شده است.

به گفته Keysight بستر آزمایش 6G به منظور اعتبارسنجی فناوری‌های جدید و پیشرفت‌های

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





توسعه تراشه EdgeQ برای ایستگاه‌های پایه

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 پیکر بندی نرم‌افزاری استفاده می‌کند. این فناوری تمام عملکردهای یک ایستگاه پایه از رادیوهای 5G و 4G گرفته تا پردازش بسته‌ها، زمان بندی و شکل دهی پرتو را انجام می‌دهد. تراشه شامل نرم‌افزاری از EdgeQ است که به آن این امکان را می‌دهد تا عملکردهای RF Layer-1 و باند پایه را انجام دهد. در شکل ۱، این محصول به عنوان یک ایستگاه پایه نمایش داده شده است.



شرکت EdgeQ اعلام کرده است در حال توسعه "ایستگاه پایه روی یک تراشه" است که قابلیت تنظیم نرم‌افزاری برای سلول‌های ماکرو و 4G و 5G و سلول‌های کوچک را دارد. از ژوئن ۲۰۲۲، این شرکت شروع به نمایش این فناوری در تأسیسات خود در دره سیلیکون^۱ کرده است. فناوری اخیر EdgeQ شامل یک کارت PCIe^۳ حاوی دو قطعه تراشه EdgeQ است. از جمله کاربردهای این فناوری می‌توان به روترها، نقاط دسترسی ثابت اینترنت در

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



شکل ۱.۱ در زمان استفاده به عنوان یک ایستگاه پایه، سیلیکون EdgeQ به یک هسته 5G وصل می شود [۱].

محدوده عملکرد

این تراشه می تواند در سلول های ماکرو و سلول های کوچک کاربرد داشته باشد. نسخه نمایشی ارائه شده توسط این شرکت به عنوان یک سلول کوچک 4x4 5G متصل به هسته شبکه 5G عمل می کند. در نسخه ی نمایشی، تراشه به تلفن همراه متصل می شود.

بازار و شرکای EdgeQ

مشتریان اصلی EdgeQ اپراتورهای تلفن همراه و صاحبان شبکه های خصوصی هستند. عادل کیدوای مدیر محصول EdgeQ گفته است "ما با شرکای OEM^۴ شخص ثالث برای توسعه و ترسیم چارچوب ها کار می کنیم. همچنین در نظر داریم تا با کاربران نهایی نیز همکاری نماییم." بدین ترتیب می توان 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 به ویژه برای استفاده در شبکه های خصوصی که به دسترسی بی سیم تخصصی نیاز دارند، طراحی کنند.

محبوبیت در بین طراحان

یکی از مهم ترین ویژگی های این فناوری قابلیت ارتقاء آن است. این ویژگی باعث جذابیت آن در میان طراحان شده است. آن ها مجموعه کاملی از ویژگی های این فناوری را دریافت می نمایند اما آن دسته از ویژگی ها که سفارش داده اند فعال خواهند بود. این فناوری با یک کلید نرم افزاری قابل ارتقاء است. برای مثال، طراحان می توانند دستگاهی با قابلیت های 4G را به صورت نرم افزاری به دستگاهی با قابلیت های 5G ارتقاء دهند.

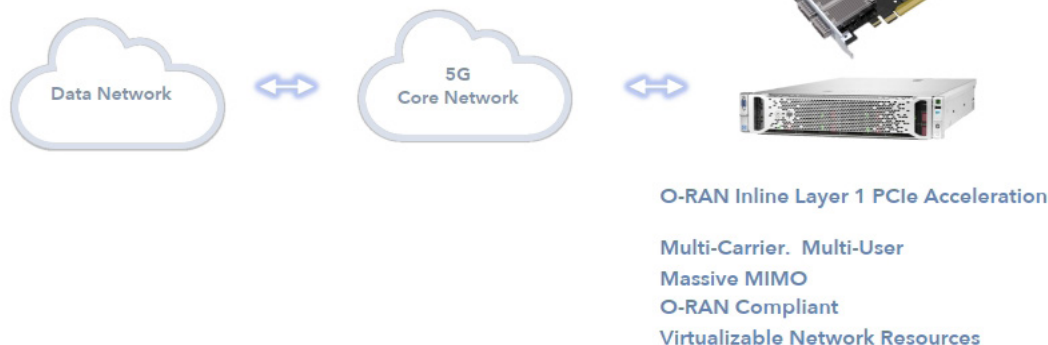
عادل کیدوای اظهار داشت "مشکل تراشه قابل تنظیم با نرم افزار این است که همیشه از توان بیشتری نسبت به سخت افزار اختصاصی استفاده می کند. هر چند ما این روند را تغییر داده ایم و تراشه EdgeQ کمتر از ۲۰ وات توان مصرف می کند."

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 پروتکل های eCPRI^۵ برای عملکرد به عنوان یک واحد رادیویی (RU) سازگار با O-RAN و واحد توزیع (DU) فراهم می کند. این کارت که در داخل

5- Evolved Common Public Radio Interface
6-Radio unit

4- Original equipment manufacturer



شکل ۱.۲ ایستگاه پایه EdgeQ روی یک تراشه روی کارت PCIe برای کاربردهای Open RAN کار می کند [۱]



EDGE Q

5G WITH AN EDGE

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.

منابع:

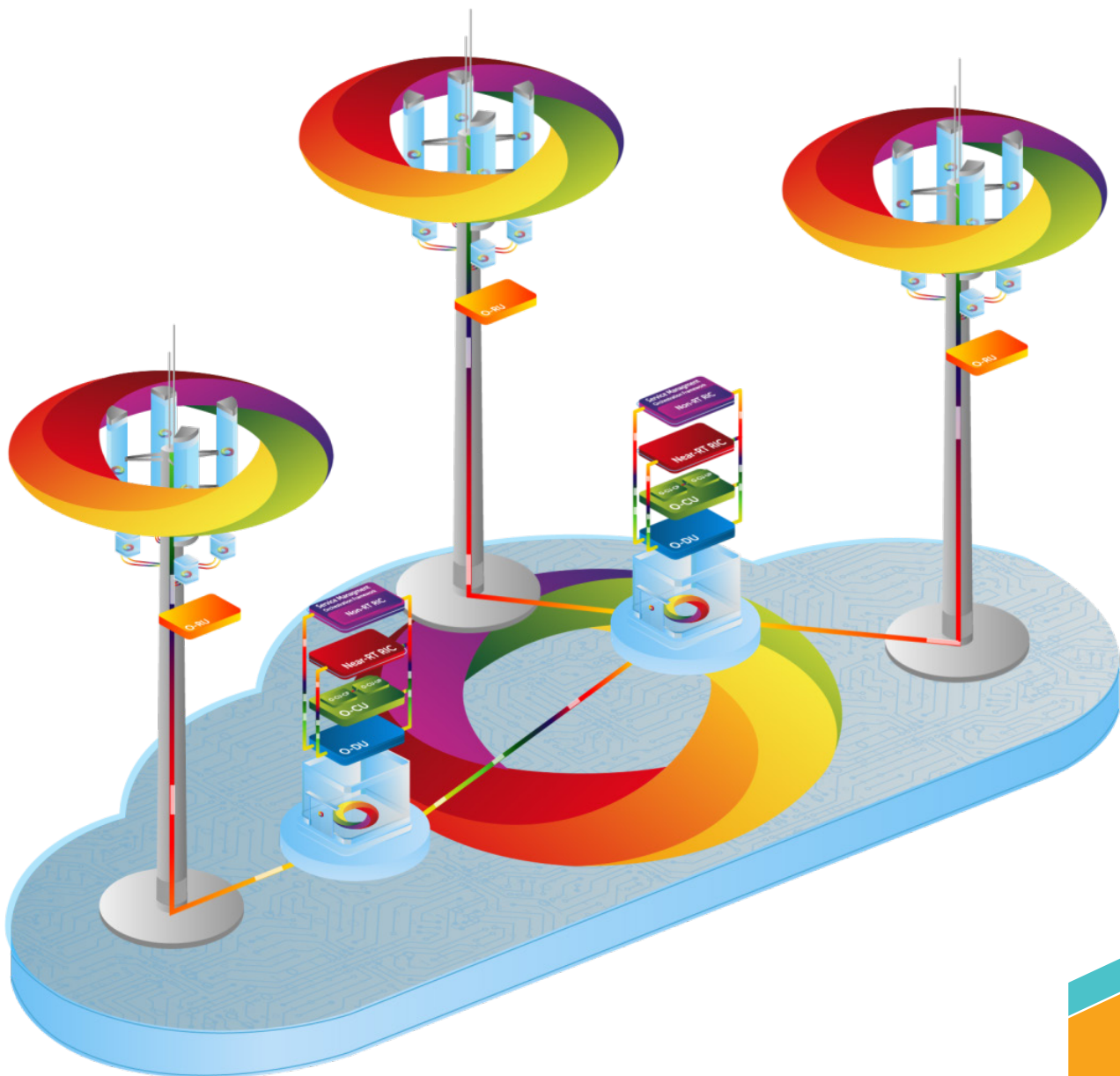
[1] [https://www.5gtechnologyworld.com/edgeq-](https://www.5gtechnologyworld.com/edgeq-demos-ic-for-base-stations-pcie-card-for-open-ran/)

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

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^۷ عمل می‌کند. کارت PCIe شامل دو تراشه EdgeQ است. این پیکربندی برای اجرا با استفاده از هر یک از تقسیم‌بندی‌های عملکردی O-RAN^۸، از گزینه ۱ تا گزینه ۸، قابل تنظیم است. هنگام اجرای گزینه ۱، DU، RU 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

7- Radio unit

8- Split points



اینفوگرافی

Infographic



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

۱۱۸

وضعیت پیاده‌سازی Open-RAN
در جهان

۱۱۶

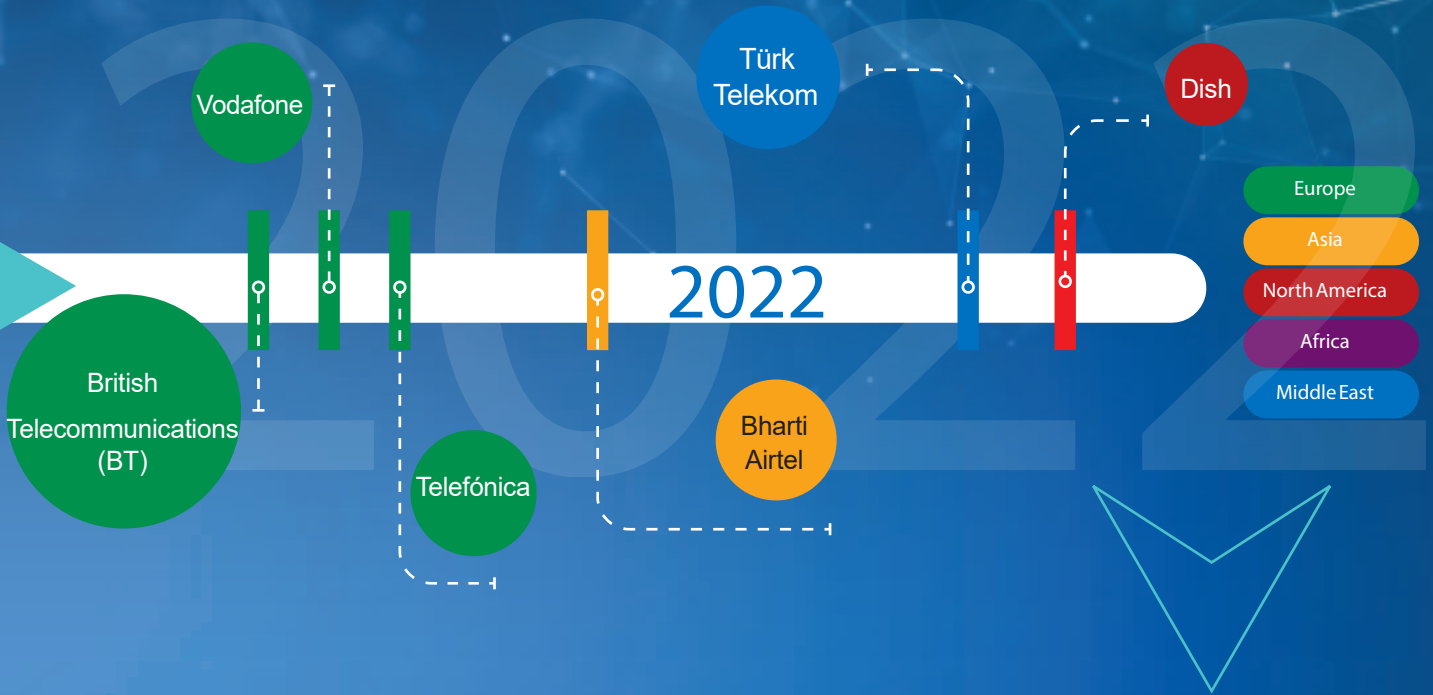
دستاوردهای مرکز تحقیق و توسعه
همراه اول

۱۲۰

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

۱۱۹

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 ساسونگ، سروهای 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

شبکه ای به نام Internet para Todos شامل ۶۵۰ سایت مخابراتی در پرو ساخته است که حدود نیمی از آن، سایت‌های 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 استقرار 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 پهن‌بند 5G ارائه می‌دهد. شبکه چند وندوری 5G SA Open RAN دیش مبتنی بر شبکه RAN ابری ساسونگ و Mavenir (تجهیزات O-DU و O-CU)، O-RU های فوجیتسو و M.TI، هسته/IMS نوکیا روی زیرساخت ابری AWS و مدیریت ابر مخابراتی VMware است.

اپراتور Türk Telekom

در فوریه ۲۰۲۲، همکاری خود را با شبکه‌های Juniper و Parallel Wireless برای ارائه ابتکار چند وندوری Open RAN در راستای ارائه پیشرفته‌ترین ارتباطات پهن‌بند 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.

2021

Rakuten Mobile

AT&T

Etisalat

Telecom Italia (TIM)

Deutsche Telekom (DT)

NTT DoCoMo

Telecom Egypt

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 کاملاً مجازی 5G با ۳۷۵ هزار سایت Open RAN پیاده‌سازی کرده است. برای توسعه این شبکه از تجهیزات، نرم‌افزار و خدمات شرکت‌های اینتل، سیسکو، نوکیا، کوالکام، آئیوسنار، NEC، Mavenir و Airspan استفاده می‌کند.

اپراتور Telecom Egypt

این اپراتور در جولای ۲۰۲۱ اعلام کرده است که با پشتیبانی Altiosfar، 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 وندوره‌های متعددی نظیر Mavenir در بخش رادیو / هسته، Intel و Dell 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 (STC، Zain، Du و Mobily) 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 فناوری‌های اینتل را برای اعضا و وندورها فراهم می‌کند.

اپراتور AT&T

این اپراتور از سال ۲۰۱۸ با همکاری در تأسیس 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 استقرار 5G NSA انجام دادند.

موضوعات کلیدی تحقیق و توسعه روی نسل ششم

مخابرات (6G)، مکنزی ۲۰۲۳

JCAS

تکامل راه کارهای داپلکسینگ، Giga-MIMO، فناوری های امواج میلی متری، برقراری ارتباطات فرازمینی، RIS ها، روش های جدید کدگذاری، بهینه سازی مصرف انرژی، توسعه فناوری ارتباطات و حسگری همزمان (JCAS)



طراحی فناوری ها و راه کارهای نوین در شبکه های رادیویی

معماری شبکه مقیاس پذیر



افزایش مقیاس پذیری شبکه های مخابراتی با مجازی سازی، ابری سازی و توسعه مفاهیم رابط باز مانند Open-RAN ها، بهره گیری و توسعه راهکار MEC

توسعه به کارگیری فناوری های مبتنی بر واقعیت مجازی و واقعیت افزوده، گسترش بهره گیری از متاورس در صنایع متفاوت



توسعه جهان مجازی

بهره گیری از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در ارتباطات E2E



طراحی داده محور شبکه ارتباطی با بهره گیری از مدل های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و شبکه عصبی

AI

گسترش طیف فرکانسی به باند تراهرتز، بهره گیری از مدل های جدید به اشتراک گذاری طیف و راه کارهای هماهنگی پویا در استفاده از فرکانس



گسترش طیف فرکانسی و به اشتراک گذاری آن

پیشبرد مفهوم تاب آوری در مخابرات



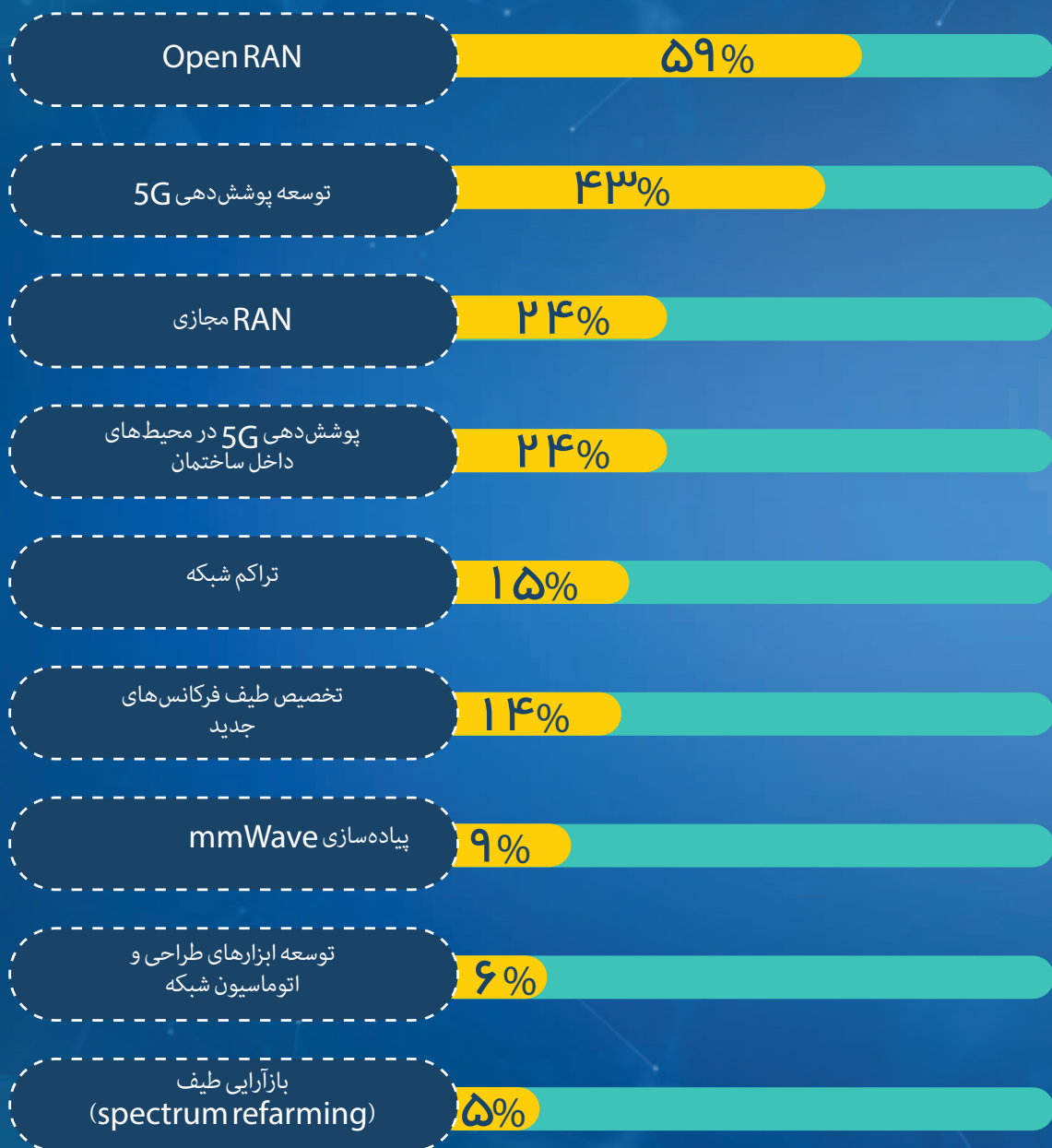
توسعه مفاهیم اعتماد چند وجهی و امنیت قابل تنظیم، امنیت پست کوانتومی، شبکه های مقاوم در برابر خرابی ها و حملات

E2E

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 داده می‌شود 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.



لینک‌های کم ظرفیت ماکروویو

امروزه به منظور 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 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 به دلیل مقرون به صرفه تر بودن نسبت به لینک‌های خارجی در پروژه USO بهره‌مند خواهیم شد.



مودم‌های پر ظرفیت 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 پر ظرفیت تا یک گیگابیت بر ثانیه را در کشور ایجاد نماید. هم‌اکنون با ایجاد این بستر در کوتاه‌ترین زمان ممکن امکان ساخت لینک‌های پر ظرفیت 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 به خصوص در مواقعی که پهنای باند بالا در فرکانس‌های آزاد شبکه‌های موبایل و لینک مخابراتی با امنیت بالا نیاز باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.



طراحی، توسعه و بومی‌سازی آنتن چند بانندی 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، کاربردها، و تیکال‌ها و رهیافت‌های نوین فناوری در یافت 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، لایحه‌ها 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.



۱. جدول ۲... 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 ۱۰۰ تا ۱۰ خواهد بود که در قالب جدول زیر انجام می‌شود:

ردیف	بازه امتیازات	سطح	وضوح
۱	۱۰۰ الی ۱۳۰	A	تألیف برای انتشار
۲	۷۵ الی ۹۵	B	تألیف برای انتشار
۳	۵۰ الی ۷۰	C	رد و انتشار در صورت وجود ظرفیت
۴	۲۰ الی ۴۰	D	رد

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

نام و نام خانوادگی:	مدرک تحصیلی:	رشته تحصیلی:
محل	شغل:	دانشگاه:
درج تصویر		
	جایگاه سازمانی:	
	سابق‌های کوتاه (رزومه علمی و تخصصی):	

جدول ۱- مشخصات نویسنده

ارتباط موضوع با فعالیت‌های فعلی همراه اول	کم	متوسط	زیاد	کاملاً منطبق
قابلیت فناوری در ایجاد تحول در کسب‌وکار	کم	متوسط	زیاد	متحول‌کننده
فاز توسعه فناوری	حضور کامل در بازار	محصول مفهومی و اولیه	آماده‌سازی بازار	تحقیقات کاربردی و پایه
اقدام پیشنهادی برای همراه اول	اصلاً ورود نکند	به رصد تحولات مربوطه بپردازد	جهت ورود، آمادگی کسب‌کند	نیاز به اقدام فوری است

جدول ۲- مشخصات فناوری رصد شده

ویژگی‌های مطالب 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 گزیده‌های 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 مطالب 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 اندازه ۱۴ pt و عناوین بخش‌ها با همین قلم و به صورت بولد تایپ شود.
- ✓ 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

همراه فناوری

Fanavari hamrah

فصلنامه علمی تحلیلی «فناوری همراه» اثر کلیه پژوهشگران و صاحب نظران دعوت می نماید تا محتوای علمی، تحلیلی خود را در خصوص فناوری ها و روندهای نوظهور صنعت تلکام جهت انتشار در فصلنامه ارسال نمایند.



جهت کسب اطلاعات بیشتر

و دریافت شماره های منتشر شده به نشانی

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



همراه فناوری

fanavari hamrah

نهمین شماره

فصلنامه فناوری همراه



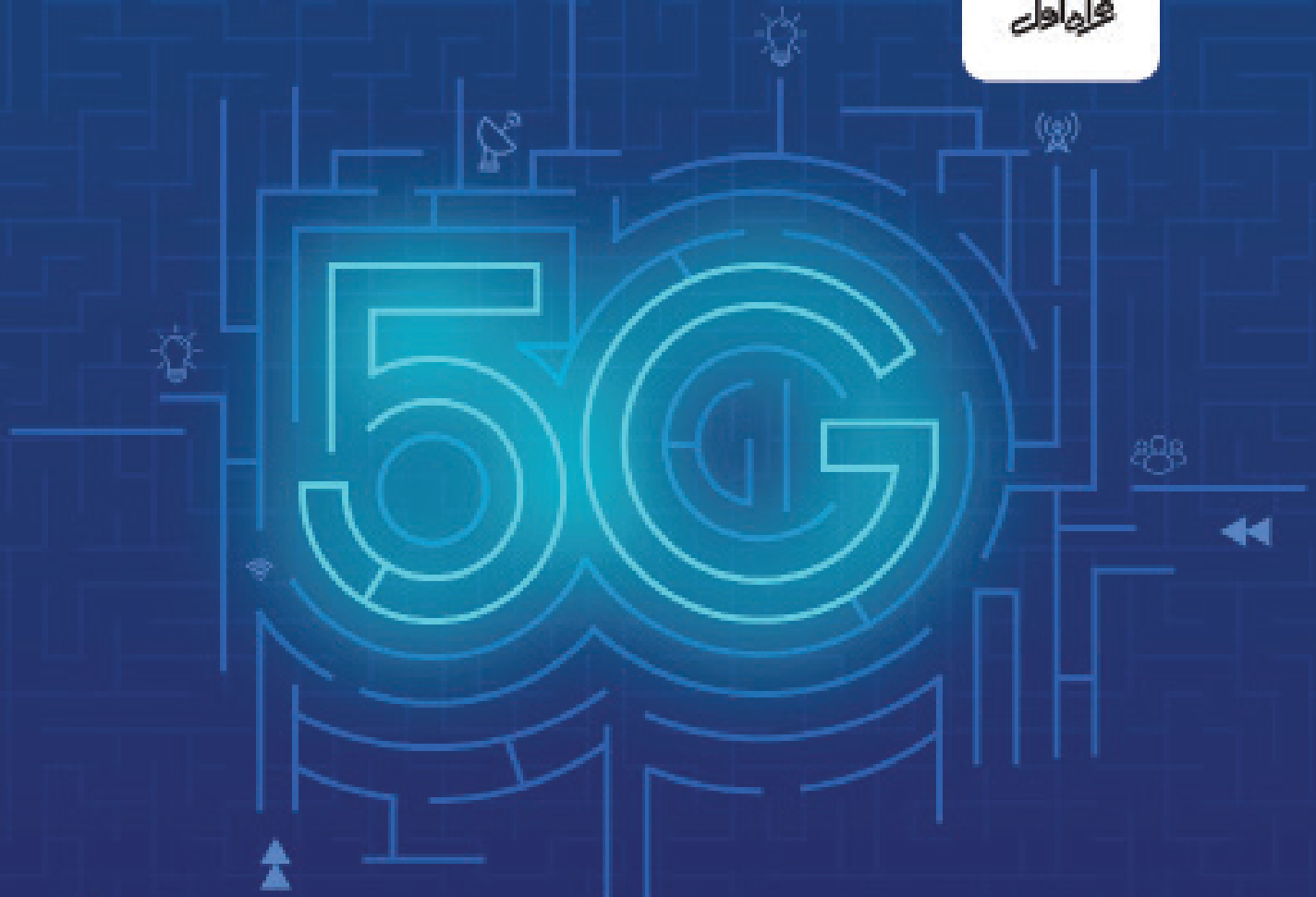
ویژه نامه انقلاب صنعتی چهارم

زمان انتشار: زمستان ۱۴۰۲



Telecommunication Networks





مجموعه هکاتون های 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 تیم های برگزیده

امکان همکاری و جذب افراد مستعد در همراه اول

امکان عقد قرارداد و سرمایه گذاری در تیم های برتر

امکان بهره مندی از امتیاز نخبگانی

اعطای گواهی شرکت در رویداد

مزایای شرکت در رویداد:



ثبت نام کنید

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



رایسجمهوری

سازمان مخابرات و فناوری اطلاعات

معاونت توسعه و نوآوری

معاونت توسعه و نوآوری

همراه اول

همراه اول



بسم الله الرحمن الرحيم

تحقیق و توسعه فناوری مسئله بسیار مهمی است. امروز همه صنایع دنیا دانش محور است. باب تحقیق را بایستی باز گذاشت. دستگاه‌های مختلف، مدیران صنعتی و دولتی مشرف بر صنعت، بر روی مسئله 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: ۹۷۸-۶۲۲-۹۹۸۴۶-۷-۳

موضوع: تلفن همراه، تکنولوژی، همراه اول، مخابرات - ایران - جهان

رده‌بندی کنگره: ۸ ت / VTP ۸۰ / ۱۴۰۰

رده‌بندی دیویی: ۵۹/۳۸۵ ک ۳۷۳

شماره کتاب‌شناسی ملی: ۳۱۰۰۳۱۱