

مهندسان فناوری بی‌سیم برای مدت‌ها به ناکارآمد بودن امواج فرکانس بالا برای کاربرد شبکه‌های سلولی اعتقاد دارند. ظاهراً بیش از این نمی‌توانستند در اشتباه باشند!

این مطلب یکی از مقالات چاپ شده در پرونده ویژه «نسل پنجم شبکه‌های موبایل» است. برای دانلود کل پرونده ویژه [اینجا](#) کلیک کنید.

کسانی که در حوزه املاک فعالیت می‌کنند لطیفه‌ای دارند که می‌گویند «در کار خرید و فروش املاک تنها سه چیز مهم هستند: موقعیت، موقعیت و موقعیت.» شاید بتوان همین مطلب را برای طیف‌های رادیویی تکرار کرد. فرکانس‌های به کار رفته برای ارتباطات سلولی به سرعت مورد استفاده قرار گرفته و به انتهای خود رسیده‌اند. اپراتورهای موبایل مانند خریداران مشتاق در حراج ویلاهای ساحلی با یکدیگر در جنگ هستند و در جریان این کشمکش گاهی تنها ده‌ها میلیارد دلار برای خرید بخش کوچکی از یک محدوده الکترومغناطیسی پرداخت می‌کنند.

صنعت مخابرات سلولی در طی چهار دهه عمر خود بر پایه طیفی کار می‌کند که آن را «باند فرکانسی فوق‌العاده بالا» یا «ایبرفرکانس» می‌نامند. این باند تنها یک درصد از کل طیف فرکانسی عادی را در بر می‌گیرد. متخصصان ارتباطات رادیویی مدت‌ها است محدوده فرکانسی بین 300 مگاهرتز تا 3 گیگاهرتز را به‌عنوان ناحیه ایده‌آل برای فعالیت شبکه‌های موبایلی مورد استفاده قرار داده‌اند. طول موج در این محدوده هم به اندازه‌ای کوتاه است که بتوان از آنتن‌های کوچک و قابل نصب در ابزارهای دستی برای دریافت و ارسال آن استفاده کرد و هم به اندازه کافی بلند که بتواند در مسیر خود از لابه‌لای موانع موجود مانند ساختمان‌ها و درختان عبور کند. این دسته از امواج حتی در صورت داشتن قدرت و توان پایین، توانایی طی مسافت‌های چند کیلومتری را در هر نوع محیط از مرکز شهر توکیو گرفته تا مزارع هموار آیووا دارند. مشکل این‌جا است که مهم نیست اپراتورها تا چه میزان مایل هستند برای استفاده از این طیف هزینه پرداخت کنند، بلکه دیگر فرکانس زیادی برای استفاده آنان وجود ندارد. به‌کارگیری گوشی‌های هوشمند و تبلت‌ها به‌طور روزافزون در حال افزایش است و کاربران همواره در حال مرور اینترنت، تماشای ویدیو و به‌اشتراک‌گذاری عکس هستند. امروز و بیش از هر زمان دیگر اطلاعات از طریق امواج و در هوا جابه‌جا می‌شوند. همه ساله حجم ترافیک موبایل دو برابر می‌شود و مطابق گزارش‌های منتشر شده از سوی سیسکو و اریکسون، این رشد در آینده با نرخ صعودی افزایش خواهد یافت. تا سال 2020 حجم مصرف سالانه داده برای یک کاربر متوسط موبایل به مرز یک ترابایت خواهد رسید. این میزان برابر با حجم هزار فیلم کامل است.

در سال 2020، حجم ترافیک موبایل در جهان به مرز یک ترابایت خواهد رسید. این میزان برابر با حجم هزار فیلم کامل است.

گروه‌های فعال در زمینه تعریف و ایجاد استانداردهای بی‌سیم، مجموعه بزرگی از انواع روش‌های هوشمندانه را برای افزایش ظرفیت شبکه‌های سلولی نسل چهارم موبایل (4G LTE) ابداع کرده‌اند. نتایج این روش‌ها به ایجاد ابزارهایی

با آنتن‌های چندگانه، سلول‌های کوچک‌تر و ارتباطات هوشمندتر بین ابزارها منجر شده‌اند. با وجود این، هیچ کدام از این راه‌حل‌ها نمی‌توانند از هجوم ترافیک در حال رشد طی چهار تا شش سال آینده پشتیبانی کنند. متخصصان صنعت با این نظر موافق هستند که فناوری سلولی نسل پنجم (5G) تا انتهای همین دهه باید آماده ورود به بازار باشد. اپراتورها برای استفاده از این شبکه جدید به طیف فرکانسی تازه‌ای نیاز دارند، اما چنین چیزی را از کجا باید یافت؟ توسعه زیادی روی فرکانس‌های بالای 3 گیگاهرتز صورت گرفته است و چشم‌انداز گسترده‌ای برای آن وجود دارد: «راجع به امواج میلی‌متری صحبت می‌کنیم.» مطابق تعاریف اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU) باند موج میلی‌متری که به آن «باند ابرفرکانس» نیز گفته می‌شود، در محدوده 30 تا 300 گیگاهرتز قرار می‌گیرد. هرچند از نظر ما دیگر رده‌های فرکانسی خیلی بالا که در مجاورت این محدوده قرار دارند نیز از 10 تا 30 گیگاهرتز شامل این دسته هستند؛ زیرا امواج در این محدوده نیز خواص مشابهی با امواج میلی‌متری از خود نشان می‌دهند. تخمین زده می‌شود رگولاتوری‌های دولتی برای استفاده ارتباطات موبایلی به ایجاد طیفی شامل 100 گیگاهرتز از این امواج قادر هستند. این میزان حدوداً صد برابر پهنای باندی است که شبکه‌های سلولی امروزی به آن دسترسی دارند. با دقت بر این مطلب درمی‌یابیم که اپراتورها این توانایی را دارند که با ارائه ظرفیت صد برابری برای سیستم‌های 4G LTE، نرخ دانلود داده را تا ده‌ها گیگابایت بر ثانیه افزایش دهند و به این ترتیب هزینه‌های مصرف‌کنندگان را پایین نگه دارند.



64 بیتی است. این فناوری با استفاده از تکنیک‌های MIMO (Multiple Input Multiple Output) و استفاده از فرکانس‌های بالاتر، امکان دسترسی همزمان به چندین آنتن را فراهم می‌کند. این امر باعث افزایش سرعت و ظرفیت شبکه می‌شود. همچنین، استفاده از فرکانس‌های بالاتر، امکان استفاده از پهنای باند بیشتری را فراهم می‌کند. این فناوری با استفاده از تکنیک‌های MIMO و استفاده از فرکانس‌های بالاتر، امکان دسترسی همزمان به چندین آنتن را فراهم می‌کند. این امر باعث افزایش سرعت و ظرفیت شبکه می‌شود. همچنین، استفاده از فرکانس‌های بالاتر، امکان استفاده از پهنای باند بیشتری را فراهم می‌کند.

اگر فکر می‌کنید این سناریو خیلی جذاب‌تر از آن است که بتواند حقیقت داشته باشد، بهتر است بدانید که در داشتن این عقیده تنها نیستید. در واقع، تا همین اواخر بیشتر متخصصان فناوری‌های بی‌سیم این مطلب را به اندازه کافی تکرار کرده‌اند. مدت‌ها است شرکت‌های اپراتور موبایل از استفاده طیف موج میلی‌متری سر باز می‌زنند؛ زیرا تجهیزات رادیویی مورد نیاز برای این طیف فرکانسی گران‌قیمت است و علاوه بر آن اعتقاد دارند که ارتباط امواج میلی‌متری بین دکل‌های سنتی و تجهیزات دستی به کندی صورت خواهد گرفت. همچنین، اپراتورها نگرانی دیگری نیز داشتند که بخش زیادی از امواج میلی‌متری توسط اتمسفر، باران و گیاهان جذب یا از مسیر خود منحرف شوند و به این ترتیب، راهی به داخل ساختمان‌ها پیدا نکنند. امروز این نظرها به سرعت در حال محو شدن هستند. تحقیقات جدید صنعت مخابرات سلولی را متقاعد ساخته است تا نگاه دوباره‌ای به این طیف وسیع، دست‌نخورده و بکر بیاندازند. با وجود این‌که امواج میلی‌متری به‌تازگی پا به عرصه مخابرات موبایل گذاشته‌اند، اما در کمال تعجب باید گفت این فناوری تاریخچه طولانی و جالبی دارد. در سال 1895 و یک سال پیش از این‌که مخترع ایتالیایی رادیو، گولیلمو مارکونی، با تلگراف بی‌سیم خود به همگان معرفی شود، یک دانشمند هندی به نام جاگادیش چاندر در سالن اجتماعات شهر کلکته نخستین ابزار علامت‌دهی جهان را معرفی کرد که بر پایه موج میلی‌متری ساخته شده بود. با استفاده از یک فرستنده «اخگر شکاف» وی موفق شد تا یک سیگنال 60 گیگاهرتزی را با کمک یک آنتن قیفی‌شکل از میان سه دیوار ساختمان فرمانداری عبور دهد و در آن سو در فاصله 23 متری سیگنال را از طریق یک آشکارساز

دریافت کند. برای اثبات نتیجه آزمایش، وی ابزار ساده‌ای ساخته بود تا با دریافت سیگنال یک زنگ به صدا درآید، یک اسلحه شلیک و یک مین کوچک منفجر شود. پس از گذشت بیش از نیم قرن و قبل از این که اختراع چاندرا از آزمایشگاه خارج شود، سربازان و «رادیو اخترشناسان» نخستین کسانی بودند که از این اجزای موج میلی‌متری استفاده کردند. اجزایی که به رادار و تلسکوپ‌های رادیویی تبدیل شدند. چند دهه بعد از آن، سازندگان خودرو از امواج میلی‌متری در ساخت کروزر کنترل و سیستم‌های هشدار تصادف استفاده کردند.

موج میلی‌متری 1895
در ابتدا در اواخر دهه 90 میلادی و در جریان حباب دات کام متوجه این طیف جدید شد. شرکت‌های

استارت‌آپ با درآمدهای فراوان و حبابی به سرعت دریافتند که فرکانس‌های عادی قابلیت جابه‌جایی به سمت باندهای موج میلی‌متری را دارند که برای استفاده در شبکه‌های محلی مانند منازل و شرکت‌ها یا انتقال سرویس‌ها در بخش انتهایی مسیر و در نقاطی که امکان استفاده از کابل، دشوار یا بسیار هزینه‌بر است، ایده‌آل خواهد بود. رگولاتوری‌های دولتی با تبلیغ و سر و صدای زیاد در سراسر دنیا شامل اروپا، کره جنوبی، کانادا و ایالات متحده سهمیه‌های عظیمی را از طیف‌های حاوی فرکانس میلی‌متری از دسترس بخش خصوصی خارج و برای اهداف آینده ذخیره کردند.

محصولات مصرفی با تأخیر زیادی ظهور کردند. شرکت‌ها به سرعت متوجه شدند که مدارهای RF موج میلی‌متری و سیستم‌های آنتن بسیار گران‌قیمت هستند. صنعت نیمه‌رساناها به سادگی فاقد قابلیت‌های فنی یا تقاضای کافی در بازار برای تولید محصولات تجاری و ابزارهایی بودند که برای کار با فرکانس‌های موج میلی‌متری به اندازه کافی سریع باشند. بنابراین، برای مدتی حدود دو دهه این بسته عظیم پهنای باند در انتظار مصرف‌کنندگان خود نشسته بود. در هر حال، این وضعیت در حال تغییر است. بخشی از این تغییر را مدیون قانون مور و افزایش تعداد تجهیزات پارک خودکار و دیگر ابزارهای مبتنی بر رادار در خودروهای لوکس هستیم. اکنون دیگر می‌توان یک بسته کامل رادیویی موج میلی‌متری را روی یک سی‌موس یا تراشه سیلیکون ژرمانیوم جای داد. به این ترتیب، محصولات موج میلی‌متری در نهایت در حجم انبوه وارد بازار می‌شوند. برای مثال، بسیاری از تلفن‌های هوشمند پیش‌رفته، تلویزیون‌ها و لپ‌تاپ‌های مخصوص بازی به چیپ‌هایی مجهز هستند که بر مبنای دو استاندارد موج میلی‌متری رقیب یکدیگر ساخته شده‌اند؛ استاندارد نخست WirelessHD (سرنام Wireless High Definition) و استاندارد دوم WiGig (سرنام Wireless Gigabit) نام دارند. این فناوری‌ها برای استفاده در ارتباطات مانند گوشی هوشمند یا آنتن سلولی ایجاد نشده‌اند. به جای آن از آن‌ها برای انتقال حجم‌های بزرگ داده مانند ویدیوهای فشرده نشده و کوتاه کردن مسیر انتقال بدون نیاز به کابل‌های پردردسر اترنت یا کابل‌های HDMI استفاده می‌شود.

موج میلی‌متری 1895
در ابتدا در اواخر دهه 90 میلادی و در جریان حباب دات کام متوجه این طیف جدید شد. شرکت‌های
استارت‌آپ با درآمدهای فراوان و حبابی به سرعت دریافتند که فرکانس‌های عادی قابلیت جابه‌جایی به سمت باندهای
موج میلی‌متری را دارند که برای استفاده در شبکه‌های محلی مانند منازل و شرکت‌ها یا انتقال سرویس‌ها در بخش
انتهایی مسیر و در نقاطی که امکان استفاده از کابل، دشوار یا بسیار هزینه‌بر است، ایده‌آل خواهد بود. رگولاتوری‌های
دولتی با تبلیغ و سر و صدای زیاد در سراسر دنیا شامل اروپا، کره جنوبی، کانادا و ایالات متحده سهمیه‌های
عظیمی را از طیف‌های حاوی فرکانس میلی‌متری از دسترس بخش خصوصی خارج و برای اهداف آینده ذخیره کردند.

هر دو سیستم WirelessHD و WiGig در محدوده باند فرکانس 60 گیگاهرتز و با پهنای حدود 5 تا 7 گیگاهرتز کار می‌کنند. چنین پهنای باندی در بردارنده طیف گسترده‌تر حتی در مقایسه با سریع‌ترین شبکه‌های وای‌فای بوده و سرعت انتقال داده را تا مرز 7 گیگابیت در هر ثانیه افزایش خواهد داد. سازندگان تجهیزات شبکه‌های سلولی نیز به طریق مشابه بهره‌برداری از باندهای فوق پهن در طیف موج میلی‌متری را آغاز کرده‌اند. چند تأمین‌کننده شامل اریکسون، هواوی، نوکیا و استارت‌آپ BridgeWave از موج میلی‌متری برای فراهم کردن خطوط پرسرعت ارتباطی بین ایستگاه‌های اصلی و شبکه Backbone خود بهره می‌برند تا به این ترتیب خود را از لینک‌های گران‌قیمت فیبر نوری

بی‌نیاز کنند. همچنان که موج‌های میلی‌متری سرویس‌های جدید داخلی و وایرلس را فعال می‌کنند، بسیاری از متخصصان هنوز به پشتیبانی این فرکانس‌ها از لینک‌های سلولی با دیده تردید می‌نگرند. نگرانی عمده در این است که شبکه‌های موبایلی که روی فرکانس موج میلی‌متری کار می‌کنند، قادر نیستند پوشش کامل را در همه جا فراهم آورند. این وضعیت به‌ویژه در محیط مغشوش بیرونی مانند شهرها نمود بیش‌تری از این نقطه ضعف را نمایان می‌کند، به دلیل این‌که در چنین فضاهایی برقراری خط دید مستقیم ارتباطی بین ایستگاه مرکزی یا دستگاه دستی در صد در صد موارد تضمین نمی‌شود. برای مثال، اگر کاربر گوشی هوشمند ناگهان از کنار یک درخت عبور کند یا داخل ورودی مترو شود، ارتباط موج میلی‌متری به احتمال زیاد قادر نیست از این اجسام عبور کند. با وجود این‌که کیفیت سیگنال در چنین مواردی افت می‌کند، اما مشخص است که هنوز هم این فناوری بسیار جذاب و قابل توجه است.

در اوت 2011، ما (راپاپورت، یکی از نویسندگان این مقاله)، در دانشگاه تگزاس پروژه وسیعی را برای مطالعه روی رفتار موج میلی‌متری در محیط پارک‌های شهری همراه دانشجویان آغاز کردیم. ما سیستم سیگنالینگ پهن باندی را ایجاد کردیم که به آن «کانال صدایی» می‌گویند. با استفاده از این دستگاه می‌توان نحوه شکست و بازتابش موج میلی‌متری روی اشیای مختلف و میزان سرعت کاهش انرژی سیگنال را طی مسیر مورد تحلیل و بررسی قرار داد. سپس، چهار فرستنده را بر پشت بام دانشگاه مستقر کردیم و تعدادی گیرنده را در سراسر محوطه قرار دادیم. آنتنی که برای این آزمایش انتخاب کردیم از نوع شیپوری و مشابه نمونه‌ای بود که چاندرا بیش از 100 سال پیش ساخته بود. این آنتن مانند یک بلندگو انرژی الکترومغناطیسی را روی یک مسیر مستقیم متمرکز کرد و به این ترتیب، ارسال و دریافت بهره فرکانس ارسالی را بدون نیاز به افزایش در قدرت بالا برد. با نصب آنتن‌ها روی یک صفحه روباتیک دوار، توانستیم پرتو فرکانسی را در تمام جهات تنظیم کنیم.

چرخش جهت در هر دو سمت ارتباط یعنی ایستگاه مرکزی و گوشی، عامل کلیدی در سیستم‌های آینده موبایل موج میلی‌متری خواهد بود. در شرایط واقعی برخلاف تنظیمات انجام شده در آزمایش ما، گوشی‌های هوشمند و تبلت‌ها به آرایه‌ای از آنتن‌هایی نیاز دارند که به‌صورت الکتریکی قابل تغییر جهت هستند و طبیعتاً ساختار به‌مراتب پیچیده‌تری هم نسبت به نمونه‌ای دارند که ما در آزمایش خود از آن استفاده کردیم.

در مجموع، بیش از 700 ترکیب مختلف از موقعیت‌های فرستنده - گیرنده با استفاده از فرکانس کاری 38 گیگاهرتز جمع‌آوری شد. این باند طیف نمونه خوبی برای سیستم‌های سلولی است؛ زیرا طراحی آن برای کاربردهای تجاری است که در بسیاری از نقاط دنیا به آن نیاز است، با این تفاوت که این نمونه سبک‌تر و کوچک‌تر است. فعالان صنعت موبایل که در این آزمایش ما را همراهی می‌کردند، در کمال تعجب دریافتند این طیف موج میلی‌متری پوشش بسیار قابل توجه و خوبی دارد. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌داد که برای مثال یک گوشی برای برقراری ارتباط با آنتن مرکزی به دید خطی مستقیم نیاز ندارد. ویژگی به‌شدت انعکاس‌پذیر این امواج به‌جای نقطه ضعف خود را به‌صورت یک نقطه قوت نشان داد و این یک مزیت بزرگ به حساب می‌آید. زمانی که این امواج به اجسام جامد مانند ساختمان‌ها، تابلوها و رهگذران برخورد می‌کنند، موج در همه جهات در محیط پخش می‌شود و شانس رسیدن سیگنال به گیرنده افزایش می‌یابد. البته همانند هر سیستم وایرلس دیگر، تمایل به از دست دادن ارتباط با ازدیاد فاصله گیرنده از فرستنده افزایش می‌یابد. مشاهده‌های ما حاکی از این بود که برای مخابره سیگنال‌های موج میلی‌متری با قدرت پایین، انقطاع سیگنال از حوالی فاصله 200 متری شروع به رخ دادن کرد. این محدودیت فاصله یکی از مشکلات رایج در نسل‌های اولیه شبکه‌های سلولی بود که در آن شعاع پوششی هر آنتن از چند کیلومتر آغاز می‌شد. اما در طی یک دهه گذشته اپراتورها برای افزایش حجم کاری شبکه شروع به کاهش بارز اندازه سلول‌ها کردند. به‌ویژه در مناطق پر ازدحام شهری، مانند مرکز شهر سنئول در کره جنوبی، ساخت سلول‌های کوچک و آنتن‌های ایستگاهی متراکم که قابل نصب در دکل‌های روشنایی معابر یا دکه‌های ایستگاه اتوبوس باشند، با محدوده عملیاتی حدود صد متر در دستور کار قرار گرفت.

طیف جدید پیش قراول

شبکه‌های موبایل 5G در آینده می‌توانند بخش عظیمی از طیف فرکانسی را با استفاده از ابزارهای موج میلی‌متری ذخیره کنند. در ادامه خواهیم دید که این فناوری چگونه با سیستم‌های سلولی فعلی مقایسه خواهد شد.

رنج فرکانسی

- فناوری سلولی فعلی: ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳ گیگاهرتز
- فناوری موج میلی‌متری آینده: ۱۰ گیگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز

مجموع طیف در دسترس

فناوری سلولی فعلی: ۷۰۰ مگاهرتز

فناوری موج میلی‌متری آینده: ۱۰۰ گیگاهرتز

حداکثر پهنای باند کانال داده

فناوری سلولی فعلی: ۱۰۰ مگاهرتز

فناوری موج میلی‌متری آینده: ۱ گیگاهرتز

متوسط نرخ مصرف داده

فناوری سلولی فعلی: ۳۰ مگابیت بر ثانیه

فناوری موج میلی‌متری آینده: ۱ گیگابیت بر ثانیه

	فناوری سلولی فعلی	فناوری موج میلی‌متری آینده
طول آنتن واحد در فضای آزاد	در ۷۰۰ مگاهرتز، ۲۱/۳ سانتی‌متر	در ۲۸ گیگاهرتز، ۰/۵ سانتی‌متر
حداکثر برد ارسال در محدوده شهری	در ۷۰۰ مگاهرتز، ۳ کیلومتر	در ۲۸ گیگاهرتز، ۳۰۰ متر
میزان افت سیگنال	در ۷۰۰ مگاهرتز، هوا، ۰/۰۵ دسی‌بل بر کیلومتر باران سنگین، ۰/۰۲ دسی‌بل بر کیلومتر	در ۲۸ گیگاهرتز، هوا، ۰/۱ دسی‌بل بر کیلومتر باران سنگین، ۱۰ دسی‌بل بر کیلومتر

دلیل دیگری نیز برای کوچکتر ساختن سلول‌های ارتباطی موج میلی‌متری وجود دارد. مشخص شده است که باران و هوا می‌توانند موجب تضعیف امواج میلی‌متری در مسافت‌های طولانی شده و باعث شوند تا قدرت سیگنال نسبت به فرکانس‌هایی با طول موج بالاتر (که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند) با سرعت بیشتری کاهش یابد. تحقیقات نشان می‌دهند که در مسافت‌های نسبتاً کوتاه چند صد متری، عوامل طبیعی مانند باران و هوا تأثیرات اندکی روی بیشتر فرکانس‌های موج میلی‌متری دارند. هرچند استثناهایی نیز مشاهده شده است.

برای اطمینان یافتن از نتایج محاسبات، ما سیستم «کانال صدایی» خود را به نیویورک بردیم که یکی از پرچالش‌ترین محیط‌های رادیویی جهان را دارد. در سال‌های 2012 و 2013، باندهای سیگنالی 28 و 73 یعنی دو باند تجاری رایج را مورد مطالعه قرار دادیم. نتایج با مشاهده‌های ما در تگزاس یکسان بود. فرستنده‌های ما حتی در خیابان‌های پر رفت و آمد و شلوغ منهتن، در شعاع 200 متری خود ارتباطات را در 85 درصد زمان آزمایش حفظ کردند. با ترکیب انرژی از مسیرهای سیگنال چندگانه، آنتن‌های پیشرفته موفق شدند قابلیت اتصال را تا شعاع 300 متری با همان کیفیت حفظ کنند. همچنین، ما با آزمایش میزان نفوذ فرکانس‌ها در اجسام و ساختمان‌ها دریافتیم این امواج می‌توانند بدون از دست دادن انرژی قابل ملاحظه از دیوارهای کاذب و شیشه‌های شفاف نیز عبور کنند. این امواج در مقابل آجر، سیمان و شیشه‌های رنگی تقریباً به‌طور کامل متوقف می‌شوند. به این ترتیب، از آنجا که کاربران احتمالاً به میزان اندکی در اتاق‌ها و پشت شیشه‌های شفاف به آنتن متصل خواهند بود، اپراتورها باید به نصب تکرارکننده و نقاط دسترسی بی‌سیم برای انتقال سیگنال به داخل ساختمان‌ها اقدام کنند. با توجه به ملاحظات اخیر درباره رفتار موج‌های میلی‌متری، دو نفر دیگر از اعضای گروه یعنی روه و چان همراه همکاران ما از سامسونگ الکترونیکس در سووان کره جنوبی شروع به ساخت نمونه‌ای از سیستم ارتباطی برای شبکه‌های تجاری کرده‌اند. به جای آنتن‌های شیپوری از آرایه‌ای از صفحات فلزی مستطیل شکل استفاده شد که به آن‌ها Patch antenna می‌گوییم. فایده بزرگ این آنتن‌ها اندازه آن‌ها است که با انجام محاسبات باید حداقل نصف طول فرکانس سیگنال باشد. از آنجا که نمونه خود را برای کار در فرکانس 28 گیگاهرتز (حدود یک سانتی‌متر) طراحی کردیم، هر Patch antenna اندازه کوچکی حدود 5 میلی‌متر روی قطر و اندازه‌ای کوچکتر از یک قرص آسپیرین خواهد داشت. تنها یک Patch antenna که برای فرکانس 28 گیگاهرتز ساخته شده است، به کار ارسال سلولی نخواهد آمد؛ زیرا با کاهش اندازه آنتن قدرت سیگنال نیز کاهش خواهد یافت. با وجود این، با کنار هم چیدن ده‌ها عدد از این پنل‌های کوچک در یک الگوی شبکه‌ای، می‌توان انرژی جمعیتی آنان را بدون نیاز به افزایش در توان ورودی بالا برد. چنین آرایه‌ای از آنتن‌ها قبلاً در ساخت رادارها و ارتباطات فضایی به کار گرفته شده و بسیاری از سازندگان چیپ شامل اینتل، کوالکام و سامسونگ اینک از آن‌ها در ساخت چیپ‌های WiGig استفاده می‌کنند. استفاده از این آرایه و چینش مانند آنتن شیپوری یا بشقاب ماهواره‌ای، با تمرکز امواج رادیویی در راستای مورد نظر باعث افزایش بهره سیگنال خواهد شد. از آنجا که آرایه مسیر سیگنال را به‌صورت الکترونیکی تنظیم می‌کند، با چرخاندن سریع بیم قادر به یافتن و تأمین اتصال موبایل خواهد بود.



۱۸۹۵ میلادی در ۲۳ شهریورماه در تهران متولد شد. تحصیلاتش را در رشته مهندسی برق در دانشگاه تهران و در مقطع دکتری در دانشگاه صنعتی امیرکبیر گذراند. در سال ۱۳۲۰ به آمریکا مهاجرت کرد و در آنجا در زمینه مهندسی برق و سیستم‌های ارتباطی فعالیت کرد. در سال ۱۳۳۰ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۳۳ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۳۷ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۴۰ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۴۳ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۴۶ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۴۹ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۵۲ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۵۵ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۵۸ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۶۱ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۶۴ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۶۷ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۷۰ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۷۳ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۷۶ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۷۹ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۸۲ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۸۵ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۸۸ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۹۱ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۳۹۴ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد. در سال ۱۳۹۷ به ایران بازگشت و در وزارت مخابرات فعالیت کرد. در سال ۱۴۰۰ به آمریکا بازگشت و در دانشگاه کالیفرنیا در رشته مهندسی برق تدریس کرد.

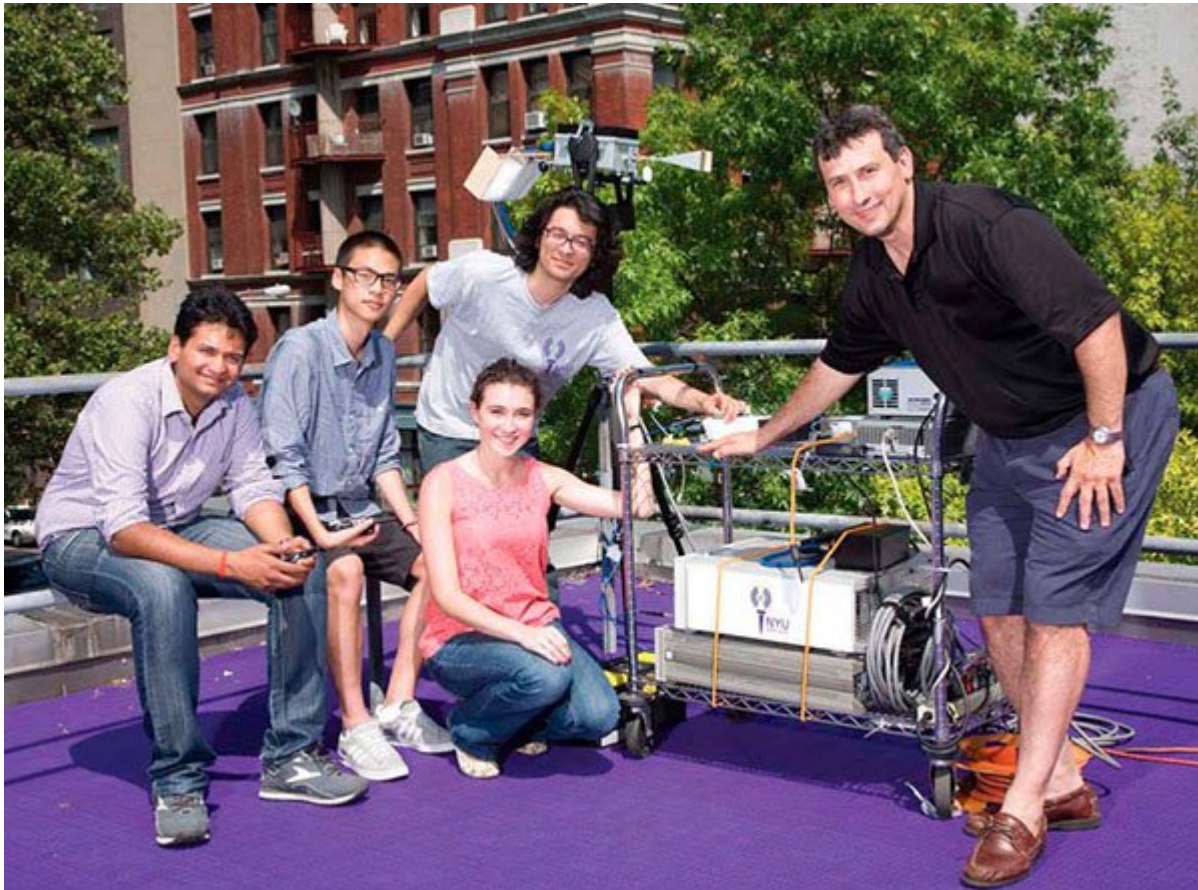
هر آرایه که مسیر خود را روی هدف متحرک قفل کند، آنتن قابل تطبیق یا هوشمند نامیده می‌شود. روش کار به این صورت است؛ با ارسال (یا دریافت) سیگنال توسط هر Patch antenna در آرایه، امواج به‌طور مؤثر در افزایش بهره در هر یک از جهات مداخله می‌کنند، به طوری که با افزایش تعداد آنتن‌ها در آرایه، بیم پتاب باریک‌تری به دست خواهد آمد. برای چرخاندن این بیم، آرایه اقدام به تغییر دامنه یا فاز (یا هر دو آن‌ها) سیگنال در هر Patch antenna می‌کند. در یک شبکه موبایل، فرستنده و گیرنده از طریق جابه‌جایی سریع بیم‌های خود با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. مانند یک فانوس دریایی، این کار تا یافتن قوی‌ترین سیگنال ادامه خواهد یافت. سپس با افزایش مشخصه‌های سیگنال، همچون جهت دریافت و تصحیح مسیر بیم‌های آن‌ها لینک را تقویت می‌کنند. این آرایش بیم‌ها و چرخش آنان از طرق مختلف انجام‌پذیر است. این کار می‌تواند در مرحله آنالوگ با استفاده از شیفت‌کننده فاز الکترونیکی یا تقویت‌کننده و پیش از ارسال سیگنال (یا بلافاصله پس از دریافت آن) و همچنین، به‌صورت دیجیتال پیش از تبدیل سیگنال به آنالوگ (یا پس از دیجیتالیزه شدن آن) انجام شود. هر کدام از این روش‌ها موافقان و مخالفان خود را دارند. با وجود این‌که شکل‌گیری دیجیتالی بیم از دقت بالاتری برخوردار است، اما ساختار پیچیده‌تری دارد. از طرف دیگر هزینه آن نیز بیشتر خواهد بود؛ زیرا به ماژول‌های محاسباتی مجزا احتیاج دارد و تبدیل دیجیتال به آنالوگ (یا آنالوگ به دیجیتال) مصرف انرژی بیشتری نیز نیاز خواهد داشت. شکل‌گیری آنالوگ بیم از سوی دیگر آسان‌تر است و هزینه کم‌تری نیز همراه دارد. به دلیل استفاده از سخت‌افزار ثابت انعطاف‌پذیری آن کم‌تر است. برای بهره‌گیری از فواید هر دو این‌ها از یک معماری ترکیبی استفاده کردیم. ما از تغییردهنده‌های فاز در سمت آنالوگ بهره گرفتیم و بیم‌های جهت‌دار تیز و دقیقی را ایجاد کردیم. در نتیجه، دامنه ارتباطی آنتن خود را افزایش دادیم. همچنین، از پردازنده‌های دیجیتال در سمت انتهایی و برای کنترل مجزای زیربخش‌ها در آرایه استفاده کردیم. ورودی دیجیتال به ما اجازه تنظیمات پیش‌رفته‌ای را داد؛ تنظیماتی مانند هدف‌گیری مجزای بیم‌ها روی چند گوشی به‌طور هم‌زمان یا ارسال چند جریان داده هم‌زمان به یک دستگاه واحد. چنین روش‌های تسهیم چندگانه در فضایی با نام MIMO (سرنام Multiple-Input, Multiple-Output) شناخته می‌شود.



..... 2 28

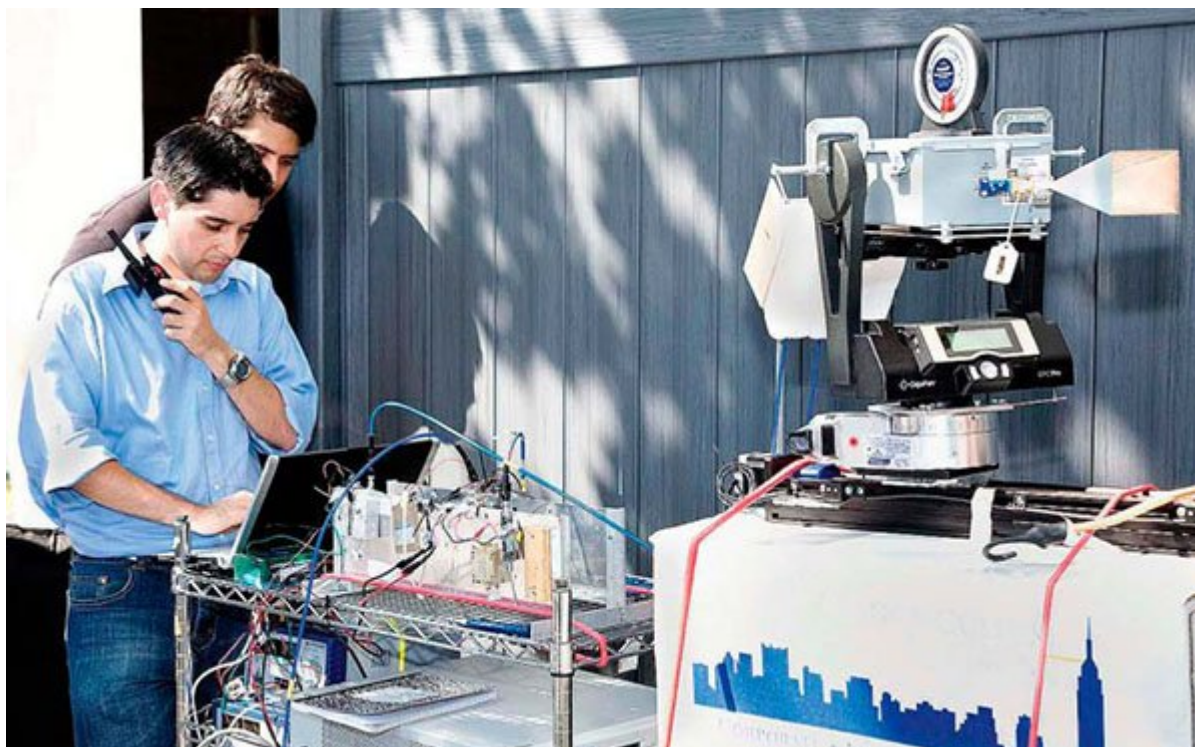
برای مثال، در سیستم نمونه 28 گیگاهرتزی که سامسونگ در ماه می 2013 معرفی کرد، هر فرستنده و گیرنده را با آرایه 64 آنتنی و با اندازه‌ای حدود یک برگه یادداشت مجهز کردیم. هرچند این آرایه را به‌صورت دیجیتال به دو آنتن MIMO با 32 کانال تقسیم کردیم. هر کانال از یک طیف 500 مگاهرتزی بهره می‌برد و قادر خواهد بود تا یک بیم با شعاع 10 درجه ایجاد کند. در یک آزمون آزمایشگاهی از این بیم‌های مستقل و مجزا برای ارسال بدون خطای اطلاعات با سرعتی بیش از 500 مگابیت بر ثانیه به دو ایستگاه موبایل و به‌طور هم‌زمان استفاده شد. در یک آزمون دیگر، هر دو کانال را برای اتصال تنها یک ایستگاه به کار گرفتیم و به این ترتیب، به سرعتی بیش از 1 گیگابیت بر

ثانیه دست یافتیم. برای مقایسه کافی است بدانیم در شهر نیویورک سرعت داده روی یک اتصال نسل چهارم 4G LTE در عمل حدود 10 مگابیت بر ثانیه و در تئوری معادل 50 مگابیت بر ثانیه است. وقتی آزمایش‌های محیطی را در بیرون شهر سئول در کره جنوبی انجام دادیم، نشان دادیم که حتی در صورت جابه‌جایی ایستگاه‌های موبایل در جهات تصادفی و با حداکثر سرعت 8 کیلومتر بر ساعت، نتایج مشابهی به دست خواهند آمد. همچنین، آزمون برد سیستم با استفاده از فرستنده‌هایی با قدرتی حدود شبکه‌های 4G LTE صورت گرفت. در موقعیتی که دید مستقیم وجود ندارد نیز دریافتیم که گیرنده موبایل تا فاصله 300 متری از فرستنده قادر به برقراری ارتباط است. این نتایج آزمون‌های انجام شده در تگزاس و نیویورک را تأیید می‌کنند.



در این تصویر، تیم تحقیقاتی ما در حال آزمایش سیستم موبایل در یک محیط شهری است. ما در حال بررسی عملکرد سیستم در شرایط واقعی هستیم. در این تصویر، ما می‌توانیم ببینیم که چگونه ما می‌توانیم از تجهیزات موبایل برای آزمایش استفاده کنیم. در این تصویر، ما می‌توانیم ببینیم که چگونه ما می‌توانیم از تجهیزات موبایل برای آزمایش استفاده کنیم. در این تصویر، ما می‌توانیم ببینیم که چگونه ما می‌توانیم از تجهیزات موبایل برای آزمایش استفاده کنیم.

وقتی ایستگاه‌ها در دیدرس یکدیگر باشند، برد مؤثر آنان تا حدود 2 کیلومتر افزایش خواهد یافت. ما اعتقاد داریم که مسافت‌های بیش‌تری نیز قابل دسترسی هستند، اما مجوزها اجازه آزمایش چنین وضعیتی را به ما نمی‌دادند. به یاد داشته باشید که این نمونه آزمایشی تنها اثباتی برای اصول طراحی شده این سیستم هستند. با استفاده از پهنای باند بیش‌تر، بیم‌های باریک‌تر یا کانال‌های MIMO بیش‌تر شبکه‌های کاربردی حقیقی می‌توانند به سرعت‌های بالاتری در انتقال داده و مسافت‌های بیش‌تری در پوشش دست پیدا کنند. برای مثال، شبیه‌سازی‌های کامپیوتری برای یک شبکه با سلول کوچک و با به‌کارگیری مدل سه‌بعدی از شهر نشان می‌دهد که اپراتورها می‌توانند نرخ داده بیش‌تری را تا محدوده چند گیگابیت بر ثانیه فراهم کنند. یکی از محدودیت‌های مهم، فضای موجود در ابزارهای دستی و ایستگاه‌ها برای نصب آرایه‌های پیچیده از آنتن‌ها است. در آزمون سامسونگ توانستیم یک Patch antenna طراحی شده برای کار در 28 گیگاهرتز را در یک گوشی گلکسی نوت 2 جای دهیم. به همین طریق، توانستیم بفهمیم این امکان وجود دارد تا 32 عدد از این بازتاب‌دهنده‌های کوچک را برای پوشش 360 درجه‌ای در بالا و اطراف لبه‌های یک گوشی هوشمند جای دهیم. توقع می‌رود که ایستگاه‌های مرکزی موج میلی‌متری در آینده بتوانند 100 عدد از این آنتن‌ها را در خود جای دهند. این آزمایش سخت‌افزاری و تلاش‌های صورت گرفته در تگزاس و نیویورک ما را متقاعد ساخت که سلول‌های ارتباطی موج میلی‌متری نه تنها دست یافتنی، بلکه طرحی انقلابی است. تلاش هر دو گروه ما تنها یک آغاز در این راه خواهد بود.



در این مقاله، به بررسی چالش‌های طراحی شبکه‌های مهندسی شده بر پایه موج میلی‌متری نیازمند مدل‌های آماری عظیم از کانال‌های موج میلی‌متری، الگوریتم‌های خطی شکل‌دهی بیم و استانداردهای جدید سازگار با محیط هستند. رگولاتوری‌های دولتی باید در ایجاد طیف موج میلی‌متری و در دسترس قرار دادن آن برای سرویس‌های سلولی پیش‌قدم شوند. در این بین، هم‌زمان با آغاز تلاش‌ها از سوی گروه‌های صنعتی در سراسر جهان برای جایگزینی فناوری نسل 5G شامل برنامه‌هایی برای مدیریت بهتر تداخلات و کوچک‌تر کردن معماری سلول‌های مخابراتی، درمی‌یابیم که سیستم‌های موج میلی‌متری نکته کلیدی در میان تمام این موارد محسوب می‌شوند. تا سال 2020 و زمانی که نخستین شبکه‌های تجاری 5G از راه می‌رسند، به باندهای موج میلی‌متری دیگر به‌عنوان یک حیاط خلوت رها شده در امواج رادیویی دولت‌ها نگریده نخواهد شد. در آن هنگام آن‌ها جذاب‌ترین موضوع برای همه ما خواهند بود.

منبع:

اسپكتروم
تاریخ انتشار:
09 تیر 1394

نشانی منبع: <https://www.shabakeh-mag.com/cover-story/936>