برج‌های تلفن همراه در فضا با فناوری ماهواره‌ای Direct to Cell

چکیده

پارادایم‌های ارتباطات جهانی با معرفی منظومه‌های ماهواره‌ای مدار پایین زمین (LEO) تغییر چشم‌گیری را تجربه کرده‌اند و در حال حاضر، بسیاری از کشورهای جهان به تدریج در حال ساخت منظومه‌های ماهواره‌ای LEO به دلیل ویژگی‌های تاخیر کم و پوشش زیاد هستند. در نسل جدید این منظومه‌ها با قابلیت Direct to Cell، ماهواره‌ها مانند برج‌های تلفن همراه در فضا عمل می‌کنند و این امکان را فراهم می‌آورند تا تلفن‌ها به طور مستقیم به ماهواره‌ها متصل شوند. مزیت اصلی این سرویس در پوشش گسترده‌ای است که ارائه می‌دهد، به خصوص در مناطقی که به شبکه‌های زمینی دسترسی محدود دارند. همچنین، این سرویس قادر به پشتیبانی از دستگاه‌های اینترنت اشیاء (IoT) و تلفن‌های همراه ۴ استاندارد است. در مراحل اولیه، تمرکز این سرویس بیشتر بر پیام‌رسانی و ارتباطات اضطراری است، اما با گسترش شبکه‌های ماهواره‌ای، انتظار می‌رود که خدمات اینترنت پرسرعت و امکان دسترسی به اطلاعات و ارتباطات را در هر نقطه‌ای از جهان ممکن سازد. این مقاله به معرفی سرویس Direct to Cell، تحلیل وضعیت و نقش آن در توسعه ارتباطات ماهواره‌ای در حوزه تلفن همراه می‌پردازد.

کلیدواژه: منظومه ماهواره‌ای، Direct to Cell (D2C)، برج‌های تلفن همراه، مدار LEO، استارلینک

مقدمه

در دنیای مدرن ارتباطات، امکان اتصال به شبکه‌های تلفن همراه از اهمیت به سزایی برخوردار است. توسعه و پیشرفت فناوری‌های مختلف طی دهه‌های اخیر به این واقعیت منجر شده که بسیاری از افراد به صورت روزانه از خدمات تلفن همراه برای ارتباط با دیگران و دستیابی به اطلاعات مورد نیاز خود استفاده کنند. تقریباً ۶۵ درصد از جمعیت جهان به اینترنت دسترسی دارند که عمدتاً توسط فیبر نوری، زیرساخت کابلی یا اتصالات پهن‌باند سیار ارائه می‌شود. با این وجود، بیش از سه میلیارد نفر در مناطق دورافتاده هنوز بدون اتصال یا فاقد اتصال مناسب هستند. توسعه فناوری ماهواره‌ای به عنوان یک راه‌حل امیدوارکننده برای پر کردن این شکاف دیجیتال ظاهر شده است.

اینترنت ماهواره‌ای که از طریق ماهواره‌های در حال چرخش در فضا ارائه می‌شود، یک رویکرد نوآورانه برای اتصال به اینترنت فراهم کرده است. این فناوری، نیاز به زیرساخت‌های سنتیِ روی زمین را از بین می‌برد و آن را در مناطق بدون دسترس یا دارای پوشش محدود شبکه‌های زمینی ارزشمند می‌کند. ماهواره‌های زمین‌آهنگ[۱] (ارتفاع حدود ۳۷ هزار کیلومتری از زمین) و ماهواره‌های LEO (ارتفاع کمتر از ۲ هزار کیلومتری زمین) نقش‌های محوری در شبکه‌های ارتباطی جهانی ایفاء می‌کنند؛ به خصوص ماهواره‌های LEO که مزایایی مانند تأخیر کمتر و انتقال سریع‌تر داده‌ها را دارند [۱].

با گام‌های سریع به سوی فناوری‌های جدید در حوزه فضایی و منظومه‌های ماهواره‌ای، امکان دسترسی به خدمات ارتباطی از منابع جدیدی مانند ماهواره‌ها به طور مستقیم ممکن می‌شود. از جمله توسعه‌ها در این زمینه، سرویس "Direct to Cell" استارلینک[۲] به عنوان یکی از نخستین پروژه‌ها در اولین گام موفق ظاهر شده است. هرچند استارلینک جزئیات زیادی از اتصال مستقیم ماهواره‌های خود به تلفن‌های ۴ را توضیح نداده است اما این پروژه اهمیت و ابعاد بسیار گسترده‌ای دارد زیرا صحبت از این است که تلفن‌های همراه ۴، بی‌واسطه و بدون بهره از فناوری فیزیکی خاصی به اینترنت ماهواره‌ای اتصال یابند. در ادامه، به معرفی مفهوم Direct to Cell (D۲C) و تأثیر آن بر فرصت‌ها و چالش‌های ارتباطی جهانی پرداخته و نقش این پروژه در بهبود ارتباطات تلفن همراه و دستیابی به خدمات مختلف در سطح جهانی و همچنین توجه به فرصت‌های احتمالی را بررسی خواهیم کرد.

منظومه‌های ماهواره‌ای

صنایع مختلف از زمان پرتاب اسپوتنیک ۱ در سال ۱۹۵۷ (که آغاز تاریخ فناوری ماهواره بود) تاکنون، از ماهواره‌ها برای غلبه بر چالش‌های مخابراتی و ارتباطات به ویژه در مناطق دورافتاده در سطح جهان استفاده کرده‌اند. در دهه ۱۹۹۰، منظومه‌های ماهواره‌ای در مدار LEO مانند Iridium و Globalstar با هدف ارائه خدمات تلفن ماهواره‌ای قابل حمل با پوشش جهانی ظهور کردند. با این حال، بسیاری از آن‌ها نتوانستند توسعه خود را در رقابت با شبکه سلولی زمینی ۳ که عملکرد بهتری با هزینه کمتر ارائه می‌کرد، حفظ کنند.

با پیشرفت فناوری‌های تولید و پرتاب در یک دهه گذشته و ظهور ماهواره‌های کوچک‌تر و ارزان‌تر و هزینه‌های پرتاب خیلی کمتر، موج جدیدی از پیشنهادها برای منظومه‌های بزرگ ماهواره‌ای در مدار LEO جهت ارائه دسترسی

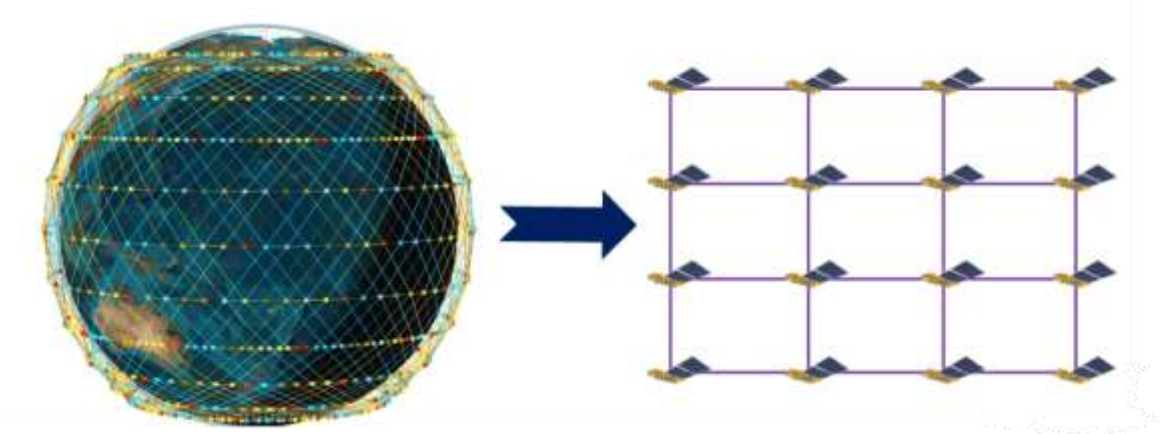
---

[۱] Geostationary

[۲] Starlink

پهن‌باند جهانی بین سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ پدیدار شد. در مقایسه با منظومه‌های LEO قدیمی، منظومه‌های LEO جدید عملکرد بسیار بهتری دارند و تفاوت‌های اصلی این سیستم‌ها در مقایسه با نسخه‌های قبلی خود عبارتند از: افزایش عملکرد حاصل از بکارگیری مخابرات دیجیتالی، طرح‌های مدولاسیون پیشرفته، آنتن‌های multi-beam، طرح‌های پیچیده‌ی استفاده مجدد از فرکانس[۱] و کاهش هزینه‌های فرآیندهای تولید (مانند خط مونتاژ، اتوماسیون بالا و آزمایش‌های مداوم) و پرتاب ماهواره [۲]. در میان این موارد، مهم‌ترین عامل فناوری پرتاب است و استفاده مجدد از موشک پرتاب‌کننده و پرتاب چندین ماهواره با یک موشک، هزینه‌های پرتاب را به میزان قابل توجهی کاهش داده است. علاوه بر کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت‌های فنی، افزایش تقاضا برای داده‌های پهن‌باند و همچنین پیش‌بینی رشد بازار وسایل نقلیه‌ی متحرک (هوایی و دریایی) انگیزه‌های زیادی برای فعال شدن مدل‌های تجاری این سیستم‌ها ایجاد نموده است. این مدل‌های تجاری بر تعداد زیادی از ماهواره‌های ارزان‌تر در مدار LEO که عمر و دوام چندانی ندارند، اما بهتر می‌توانند سیگنال‌های ضعیف تلفن‌های همراه را روی سطح زمین تشخیص دهند و ترافیک رو به رشد آن‌ها را مدیریت کنند، متکی هستند [۳].

یک منظومه‌ی ماهواره‌ای LEO شامل ده‌ها یا هزاران ماهواره کوچک است که در مدارهای ثابت با ارتفاع‌های مختلف کار می‌کنند. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، هر ماهواره با ماهواره‌های قبل و بعد در صفحه مداری خود و همچنین ماهواره‌های همسایه در صفحات مداری مجاور در هر طرف، ارتباط برقرار می‌کند.

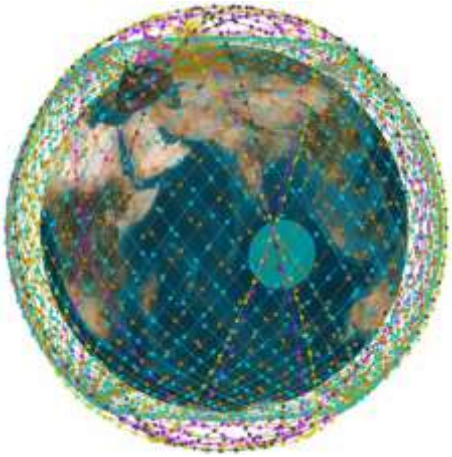


منظومه ماهواره‌ای بزرگ　　توپولوژی شبکه ماهواره‌ای

شکل ۱: توپولوژی شبکه ماهواره‌ای [۴]

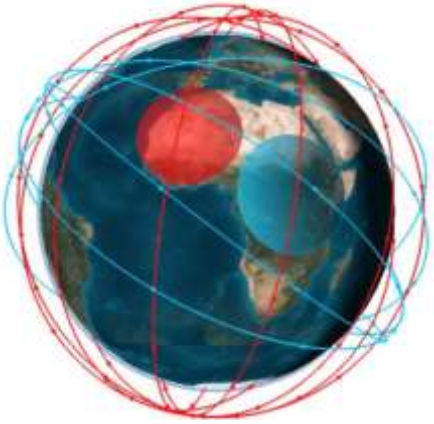
شرکت‌های مختلفی، مجموعه‌های بزرگی از ماهواره‌ها از قبیل استارلینک، OneWeb، Amazon's Kuiper و Telesat را برای ارائه اینترنت پهن‌باند به فضا پرتاب کرده یا برنامه‌ریزی می‌کنند. در کشورهای چین و روسیه نیز چندین سیستم ارتباطی ماهواره‌ای LEO در حال ساخت وجود دارد که اکثر آن‌ها قصد دارند خدمات IoT ماهواره‌ای را ارائه دهند. استارلینک و OneWeb به عنوان نمونه‌های پیشروی منظومه‌های LEO جدید، اولین ماهواره‌های آزمایشی خود را به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ پرتاب کردند.

[۱] Frequency reuse

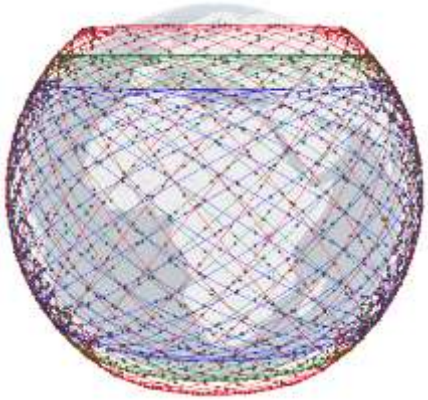


الف: منظومه استارلینک

ب: منظومه **OneWeb**



ج: منظومه **Telesat**



د: منظومه **Amazon's Kuiper**

شکل ۲: معماری و مدارهای چرخشی برخی منظومه‌های ماهواره‌ای تجاری [۲]

منظومه	تعداد ماهواره اولیه	ارتفاع (Km)	تاخیر (ms)	پوشش	نوع سرویس
استارلینک	۴۴۲۵ (هدف ۴۲۰۰۰ ماهواره)	۵۴۰ ۵۵۰ ۵۷۰	۵۰	جهانی	مستقیم به خانه‌ها و کاربران
OneWeb	۶۴۸	۱۱۰۰ ۱۲۰۰	۲۰-۴۰	جهانی	بکهال و وسایل متحرک
Amazon's Kuiper	هدف ۳۲۳۶ ماهواره	۵۹۰ ۶۱۰ ۶۳۰	۳۰	محدوده ۵۶-۵۷	مستقیم به خانه‌ها و کاربران
Telesat	۲۹۸	۱۰۱۵ ۱۳۲۵	۵۰	جهانی	بکهال و وسایل متحرک

جدول ۱: برخی منظومه‌های ماهواره‌ای تجاری [۲] [۵]

جهت دریافت سرویس از این منظومه‌ها نیاز به یک ترمینال (شبیه به دیش ماهواره‌ای DirecTV) سمت کاربر زمینی برای ارسال و دریافت سیگنال به مدار LEO است.

توسعه یک شبکه ماهواره‌ای که مستقیم به تلفن‌های همراه متصل شود، چندین چالش فنی بزرگ دارد. تلفن‌های همراه سلولی استاندارد بهره دریافت[۱] کافی ندارند و توان ارسال و بهره آنتن ماهواره‌های LEO نیز به دلیل اندازه و وزن محدود شده‌اند، در نتیجه بودجه لینک[۲] برای ارتباط مستقیم پهن‌باند بین ماهواره‌های LEO و UE ناکافی است. چند شرکت پیشرو مانند Lynk Global، AST SpaceMobile و SpaceX در حال بررسی و آزمایش راه مستقیمی برای اتصال تلفن‌های همراه با ماهواره‌های LEO هستند. بنابراین، چگونگی ایجاد یک شبکه ماهواره‌ای LEO برای دسترسی مستقیم تلفن‌همراه به یک موضوع داغ تبدیل شده است [۲].

عوامل کلیدی اتصال تلفن‌های همراه به ماهواره

شرکت‌های پیشرو به جای طراحی مجدد تلفن‌های همراه به نحوی که شبیه تلفن‌های ماهواره‌ای موجود باشند، در حال بازطراحی شبکه ماهواره‌ای برای ارتباط با تلفن‌های همراه معمولی هستند. آن‌ها در تلاش خود برای تبدیل ماهواره‌ها به برج‌های تلفن همراه، آنتن‌های ماهواره‌ها را بسیار بزرگتر می‌کنند. به عنوان مثال، اولین ماهواره‌های AST SpaceMobile دارای آنتن‌هایی با مساحت ۶۴ متر مربع بودند و پس از آن ماهواره‌های نسل دوم آنتن‌های ۱۲۸ مترمربعی با برنامه‌هایی برای ارتقاء تا ۴۰۰ مترمربع دارند. سطح آنتن‌های ماهواره‌ای V۲mini جدید استارلینک ۶,۲۱ متر مربع است و استارلینک ماهواره‌های سازگار با شبکه سلولی بزرگ‌تری را نیز در نظر گرفته است که وقتی موشک بزرگ‌تر Starship آماده شد، پرتاب خواهند کرد.

در چند دهه اول عصر فضا، ماهواره‌های ارتباطی در مدارهای زمین‌آهنگ (GEO) بسیار بالاتر از زمین قرار می‌گرفتند، جایی که می‌توانستند تنها با چند ماهواره بخش بزرگی از سطح زمین را برای مدت زمان نسبتاً طولانی پوشش دهند. با این حال، به دلیل تاخیر زیاد و سرعت کم نسبت به ماهواره‌های امروزی دستگاه‌های بسیار کمتری را سرویس‌دهی و مدیریت می‌کردند. امروزه، شرکت‌ها ماهواره‌های خود را با پرواز در مدارهای پایین‌تر از قبل، بیشتر شبیه برج‌های تلفن همراه می‌کنند. این جابه‌جایی مدار از GEO به LEO مزایایی از قبیل تاخیر کم، سرعت زیاد، هزینه پرتاب کم و سازگاری بیشتر با فناوری‌های جدید را به همراه دارد، اما این منظومه‌ها به تعداد بیشتری ماهواره برای پوشش جهانی نیاز دارند [۶].

یکی دیگر از عوامل، بهبودِ شکل‌دهی پرتو[۳] است، یعنی چگونه یک دستگاه فرستنده بهترین مسیر را برای ارسال سیگنال خود به یک گیرنده خاص، بدون تداخل با سایر گیرندگان محاسبه می‌کند. شکل‌دهی پرتو می‌تواند از طریق هدف‌گیری دقیق یک سیگنال باریک و سریع از ماهواره انجام شود که با سرعت ده‌ها هزار کیلومتر در ساعت در حرکت است. در [۳] و [۷] تاکید شده که در آینده، ممکن است گسترش شکل‌دهی پرتو با تعداد ماهواره‌های بیشتر نسبت به الان ارزشمندتر باشد. سناریویی که مطرح شده، استفاده از بیش از دو گروه ده‌تایی از ماهواره‌های کوچک است که در یک آرایش نزدیک به هم حرکت می‌کنند تا کارهای امروزی انجام شده توسط یک ماهواره سازگار با شبکه سلولی را تکرار کنند. جنبه اصلی این الگوریتم، همگام‌سازی است که باید فرکانس، فاز و زمان رسیدن سیگنال ها را به صورت منسجم تنظیم کند.

---

[۱] Reception gain

[۲] Budget Link

[۳] Beamforming

تبدیل ماهواره‌ها به برج‌های تلفن‌همراه در فضا

شرکت SpaceX مالک منظومه استارلینک، در حال حاضر یک شبکه با بیش از ۵۰۰۰ ماهواره داشته و به حداقل ۲,۳ میلیون مشتری در سراسر جهان سرویس اینترنت ارائه می‌دهد. این شرکت به عنوان رهبر جهانی در پرتاب و ساخت موشک و ماهواره، اولین‌بار در آگوست ۲۰۲۲ اعلام کرد که با همکاری T-Mobile علاقمند به راه‌اندازی سرویس ارتباط ماهواره‌ای برای تلفن‌های همراه است و در پایان سال ۲۰۲۲ از FCC[۱] برای استقرار ۷۵۰۰ ماهواره Gen۲ Starlink مجوز گرفت. سپس درخواستی مبنی بر قرار دادن محموله بر روی حدود ۲ هزار از این ماهواره‌ها برای پشتیبانی از سیستم Direct To Cell (D۲C) "تا اواسط سال ۲۰۲۴" ارائه کرد. SpaceX در ۲ ژانویه ۲۰۲۴، اولین بسته شش‌تایی ماهواره استارلینک خود با قابلیت D۲C را به مدار پرتاب کرد و ۶ روز پس از پرتاب، با استفاده از طیف شبکه ۴ اپراتور T-Mobile، ارسال و دریافت اولین پیام‌های متنی از تلفن‌های همراه معمولی روی زمین به ماهواره‌های جدید خود در فضا را با موفقیت آزمایش نمود و اکنون بیش از ۱۰۰ ماهواره D۲C در مدار دارد [۸].

شکل ۳: پشته‌ی آماده‌ی پرتاب از ۶ ماهواره V۲mini استارلینک با قابلیت D۲C [۸]

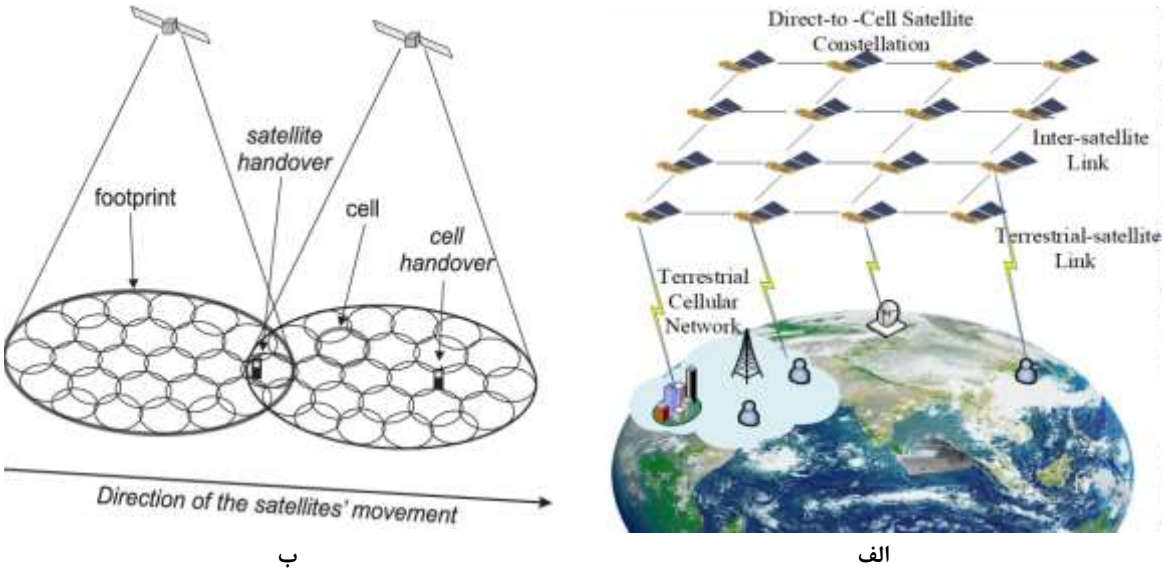
هدف اصلی شرکت SpaceX از ارائه سرویس Direct to Cell به معنای "مستقیم به سلول"، فراهم کردن اتصال سلولی به تلفن‌های ۴/ موجود از طریق ماهواره است. این سرویس به طور خاص برای این ایجاد شده که تلفن‌های همراه ۴ معمولی بدون نیاز به نصب اپلیکیشن خاص یا تغییر در سخت‌افزار و نرم‌افزار، در هر نقطه‌ای که دید مستقیم به آسمان داشته باشد، به راحتی از طریق ماهواره‌ها به شبکه اینترنت و خدمات ارتباطی متصل شوند. این سرویس هنوز در مراحل اولیه توسعه قرار دارد و در ابتدای سال ۲۰۲۴ با ارائه خدمات پیامکی شروع به کار کرد و تا پایان سال ۲۰۲۵ قابلیت ارائه سرویس‌های صدا و داده به همراه پشتیبانی از دستگاه‌های اینترنت اشیاء (IoT) را خواهد داشت [۸].

ماهواره‌های استارلینک با قابلیت D۲C یک مودم پیشرفته eNodeB در خود دارند که هر کدام مانند یک برج تلفن‌همراه در فضا عمل می‌کند و امکان ادغام شبکه ماهواره‌ای مشابه یک شریک رومینگ استاندارد برای اپراتورها را فراهم می‌آورند. این ماهواره‌ها، چشم‌انداز استارلینک برای ارائه اتصال همه جا و دسترسی یکپارچه به متن، صدا و داده برای تلفن‌های همراه معمولی و دستگاه‌های IoT با استانداردهای LTE رایج در سراسر جهان را گسترش می‌دهد. سرعت ارتباطی این سرویس ممکن است حداقل در ابتدای راه‌اندازی در مقایسه با شبکه‌های زمینی کمتر باشد، اما

[۱] Federal Communications Commission

مزیت اصلی این سرویس در پوشش گسترده‌ای است که ارائه می‌دهد و می‌تواند در مناطقی که به شبکه‌های زمینی دسترسی وجود ندارند، مفید باشد.

برای ارائه سرویس D۲C، مطابق **Error! Reference source not found.** هر ماهواره منطقه پوشش خود را دارد و به طور مستقل کار می‌کند. هنگامی که UE[۱] از دید یک ماهواره در حال خارج شدن است، پوشش ماهواره فعلی توسط زاویه ارتفاع[۲] محدود می‌شود. بنابراین، ماهواره فعلی باید به آرامی UE را به ماهواره بعدی در حال ورود تحویل دهد. برای دستیابی به پوشش یکپارچه، ناگزیر مقداری هم‌پوشانی در لبه پرتو وجود خواهد داشت، اما تداخل در ناحیه هم‌پوشانی ناخواسته است [۳].



الف ب

شکل ۴: الف) توپولوژی ارتباطی سرویس D۲C [۴] ب) نحوه پوشش و Handover کاربر بین ماهواره‌ها [۳]

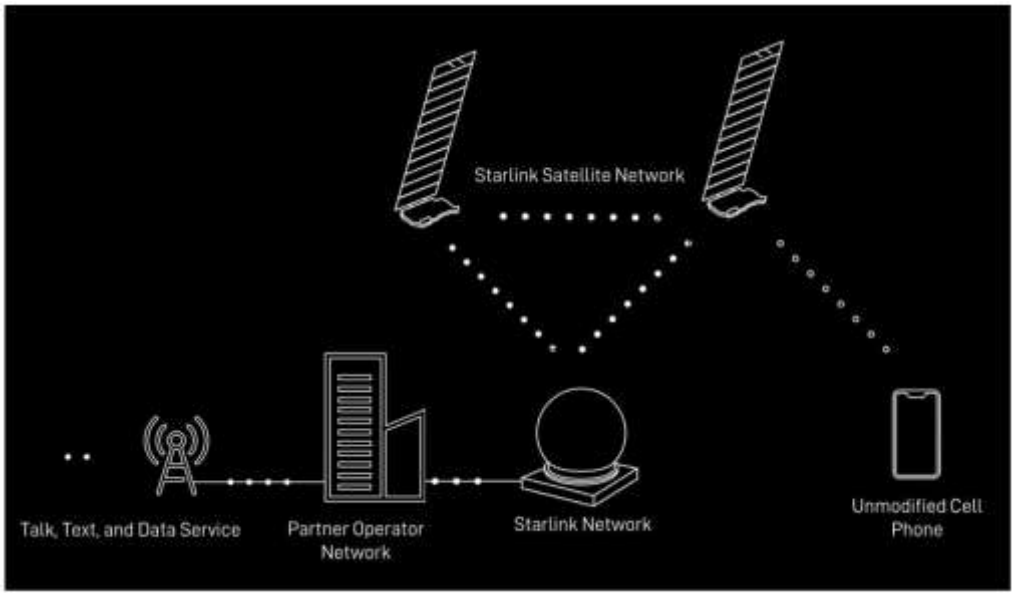
چالش‌های فنی و قانونی

سرویس D۲C با وجود پتانسیل‌های بالایی که دارد، با چالش‌های متعددی مواجه است. اولین چالش، انتقال سیگنال‌های رادیویی نسبتاً قوی به/از تلفن‌های همراه است که دارای آنتن‌هایی با بهره و توان انتقال خیلی کم (حداکثر ۰٫۲ وات) هستند و برای اتصال به ماهواره‌ها طراحی نشده‌اند. استارلینک، سیلیکونی سفارشی را روی ماهواره‌های خود توسعه داده است که برای این کاربرد بهینه شده و توان و هزینه ماهواره را کاهش می‌دهد. همچنین آرایه‌های فازی پیشرفته ۲٫۷ متر در ۲٫۳ متر را توسعه داده که از گیرنده‌های رادیویی بسیار حساس و فرستنده‌های پرقدرت برای برقراری ارتباط با تلفن‌های همراه از فضا استفاده می‌کنند و برای سوار شدن بر روی ماهواره‌های جدید Starlink V۲mini طراحی شده‌اند.

[۱] User Equipment

[۲] Elevation angle

چالش دیگر این است که در شبکه‌های ماهواره‌ای، ماهواره‌ها مانند برج‌های سلولی در شبکه‌های زمینی ثابت نیستند و با سرعت ده‌ها هزار کیلومتر در ساعت (در استارلینک با سرعت ۷٫۷ کیلومتر بر ثانیه) نسبت به کاربران روی زمین حرکت می‌کنند، بنابراین زمان کمی برای برقراری ارتباط با هر تلفن همراه روی سطح زمین دارند. این امر مستلزم انتقال بی‌وقفه[۱] کاربران بین ماهواره‌ها برای مقابله با عواملی مانند اثر داپلر[۲] و تاخیرهای زمان‌بندی[۳] است که ارتباطات تلفن‌های همراه به فضا را به چالش می‌کشد. برای اینکه ماهواره‌ها مانند یک برج سلولی واقعی در فضا عمل کنند، انتقال بین ماهواره‌ها و ایستگاه‌های روی زمین باید برای کاربر کاملاً یکپارچه و روان باشد. استارلینک برای غلبه بر این چالش، با قرار دادن یک مودم پیشرفته LTE بر روی هر ماهواره، سیستمی را مبتنی بر ارتفاعات ماهواره، اندازه و محل قرارگیری پرتوها، الگوریتم‌های نرم‌افزاری پیشرفته، زوایای ارتفاع و تعداد ماهواره‌ها طراحی کرده که دسترسی به LTE قابل دستیابی و اعتماد است. ماهواره‌های D۲C برای ارائه خدمات استاندارد LTE به تلفن‌های همراه روی زمین، مانند برج‌های سلولی در فضا عمل می‌کنند و با استفاده از سیستم‌های فضایی و زمینی استارلینک، ترافیک را به هسته‌های اپراتورهای موبایل شریک ارسال می‌کنند [۸].



شکل ۵: ماهواره‌های استارلینک با استفاده از مودم eNodeB پیشرفته، مشابه برج‌های تلفن همراه در فضا [۸]

ماهواره‌های D۲C پس از پرتاب از طریق بکهال لیزری به منظومه ماهواره‌ای موجود استارلینک متصل می‌شوند و از زیرساخت ایستگاه‌های زمینی و نقاط حضوری[۴] (PoP) که در چند سال گذشته برای استارلینک ساخته شده استفاده می‌کنند؛ به این معنی که حتی ماهواره‌های نسل اول استارلینک نیز می‌توانند در هر مکانی بدون نیاز به زیرساخت‌های زمینی اختصاصی خدمات ارائه دهند. اپراتورهای تلفن همراه می‌توانند با استارلینک برای گسترش پوشش بدون نیاز به ایجاد زیرساخت جدید شریک شوند. داده‌های D۲C از طریق هسته استارلینک مستقیماً به هسته اپراتور تلفن‌همراه منتقل می‌شوند و یکپارچگی روان و نامحسوسی را برای کاربران ارائه می‌کنند. اگر هر دو طرف (فرد تماس‌گیرنده و

[۱] Seamless Handoffs

[۲] Doppler

[۳] Timing

[۴] Point of Presence

فرد تماس‌دهنده) از D2C استفاده کنند، ارتباط مستقیم برقرار می‌شود و نیازی به وجود ایستگاه زمینی اپراتور برای مسیریابی تماس نیست [۸].

هماهنگی با اپراتورهای زمینی و شبکه‌های موجود برای دستیابی به پوشش جهانی و پایداری سرویس در همه کشورها نیاز به توافق‌های گسترده‌تر و بین‌المللی دارد. از طرفی، برخی کشورها ممکن است نگران حریم خصوصی یا استفاده غیرمجاز از داده‌ها از طریق این فناوری باشند و موانع قانونی برای ورود آن ایجاد کنند. همچنین، خطر افزایش زباله‌های فضایی[1] و احتمال برخورد ماهواره‌ها با سایر اجسام فضایی می‌تواند از سوی نهادهای فضایی بین‌المللی به عنوان تهدید جدی مطرح شود. در مجموع، Direct to Cell با چالش‌های فنی، تجاری و قانونی مواجه است اما با رشد فناوری و همکاری‌های بین‌المللی، این مشکلات قابل مدیریت خواهند بود.

روش‌های اتصال مستقیم به ماهواره

برای برقراری ارتباط شبکه‌های ماهواره‌ای با تلفن‌های ۴□□□□□ دو روش وجود دارد:

۱- استفاده از طیف فرکانسی مخصوص ماهواره‌ها: در این روش، باید تلفن‌های همراه از طیف فرکانسی مخصوص ماهواره‌ها از قبیل باندهای Ka و Ku برای برقراری ارتباط استفاده کنند. برای این کار، تولیدکنندگان تراشه مانند Qualcomm و MediaTek باید با همکاری تولیدکنندگان تلفن‌های همراه تراشه‌هایی تولید کنند که تلفن‌های همراه معمولی بتوانند از طیف فرکانسی مخصوص ماهواره‌ها پشتیبانی کنند.

۲- استفاده از طیف فرکانسی مخصوص تلفن‌های همراه: در این روش، ماهواره‌ها از طیف فرکانسی مخصوص تلفن‌های همراه از قبیل ۴□□□□□ برای برقراری ارتباط با تلفن‌های همراه استفاده می‌کنند. ماهواره‌ها برای استفاده از این طیف باید آنتن‌های حساس و قدرتمندی برای برقراری ارتباط با تلفن‌های همراه بکار بگیرند.

اپراتورهای موبایل، طیف حیاتی LTE را در محدوده ۱,۶ تا ۲,۷ گیگاهرتز ارائه می‌کنند که استارلینک از آن برای انتقال سیگنال‌های ماهواره‌ای خود استفاده می‌کند. این کار به استارلینک اجازه می‌دهد تا مانند یک شریک رومینگ استاندارد با اپراتورها یکپارچه شود و با هم خدمات را به طور مستقیم و یکپارچه به مشتریان خود ارائه دهند. اپراتورها نیز از طریق شبکه ماهواره‌ای استارلینک به پوشش جهانی دسترسی دارند که به کاربران‌شان اجازه می‌دهد وقتی به یکی از کشورهای تحت پوشش استارلینک سفر می‌کنند به این سرویس دسترسی داشته باشند. تقاضا و علاقه زیادی به این برنامه وجود دارد و ارائه‌دهندگان گوشی و اپراتورهای تلفن‌همراه مشتاق آزمایش و مشارکت در عرضه موفق آن هستند [۸].

ویژگی‌های اصلی سرویس D2C

۱. پوشش جهانی: این سرویس می‌تواند مناطق دورافتاده و کم‌جمعیت را که زیرساخت‌های مخابراتی در آن‌ها ضعیف یا غیرقابل دسترس است، تحت پوشش قرار دهد. این فناوری پتانسیل ارائه اتصال جهانی تلفن همراه را حتی در منزوی‌ترین مناطق روستایی، کوهستانی و دریاها دارد اما میزان دقیق ارائه خدمات و پوشش در هر منطقه به متغیرهایی مانند مقررات و رگولاتوری محلی و مشارکت اپراتورها بستگی دارد. به این ترتیب، شکاف دیجیتالی بین مناطق شهری و روستایی کاهش خواهد یافت و دسترسی به اطلاعات و خدمات اینترنتی برای همه امکان‌پذیر می‌شود.

[1] Space debris

۲. ارتباطات اضطراری: این سرویس می‌تواند در مواقع اضطراری که شبکه‌های مخابراتی زمینی از کار می‌افتند، ارتباطات را حفظ کند. چنین قابلیتی می‌تواند به نجات جان انسان‌ها در شرایط بحرانی کمک کند.
۳. بدون نیاز به سخت‌افزار خاص: کاربران برای استفاده از این سرویس نیاز به تجهیزات یا دستگاه‌های خاصی ندارند. گوشی‌های هوشمند معمولی با استفاده از فناوری‌های موجود قادر به اتصال به ماهواره‌ها خواهند بود.
۴. اینترنت و پیامک: در فازهای اولیه، سرویس با قابلیت‌های پایه‌ای مانند ارسال و دریافت پیامک و اینترنت محدود شروع شده و به‌مرور زمان ممکن است قابلیت‌هایی نظیر تماس صوتی و اینترنت با سرعت بالاتر نیز به آن اضافه گردد.

این سرویس همچنین عدم وجود هزینه‌های رومینگ در ارتباطات بین کشوری و مناطق مختلف، و ارتباطات امن و قابل اعتماد برای نیروهای نظامی، ادارات دولتی و سازمان‌های مستقر در مناطق دورافتاده را فراهم می‌کند. اما در کنار این مزایا، نیاز به داشتن دید مناسب به آسمان برای برقراری ارتباط با ماهواره‌ها می‌تواند مشکل‌ساز باشد [۸].

سرعت انتقال داده

فناوری ماهواره‌ای D۲C برای رقابت با شبکه‌های تلفن همراه زمینی موجود طراحی نشده و هرچند راه‌حل ارزشمندی برای اتصال در مناطق دورافتاده ارائه می‌دهد، اما باید اذعان داشت که سرعت انتقال داده آن حداقل در ابتدا پایین‌تر از کارایی شبکه‌های زمینی تثبیت شده است. در فازهای ابتدایی انتظار می‌رود به دلیل تمرکز بر خدمات اولیه‌ای مانند ارسال پیامک و تماس‌های اضطراری، سرعت این سرویس برای پیام‌رسانی و داده‌های سبک مناسب باشد، اما برای استفاده از اینترنت پرسرعت، مثل استریم ویدئو یا دانلود فایل‌های بزرگ، مناسب نخواهد بود.

طبق اعلام‌های اولیه از سوی استارلینک و T-Mobile، این سرویس برای ارتباطات پایه طراحی شده است و به مرور زمان با بهبود فناوری و ارتقاء ماهواره‌های استارلینک، ممکن است قابلیت ارائه اینترنت با سرعت بالا را نیز فراهم کند. ولی در حال حاضر، این سرویس سرعتی نسبتاً پایین‌تر از سرویس‌های زمینی یا حتی سرویس اصلی استارلینک (با آنتن‌های ماهواره‌ای مخصوص) دارد. SpaceX اعلام کرده است که سرویس استارلینک با T-Mobile قادر به پشتیبانی از پیام‌رسانی و وب‌گردی با سرعت تئوری حداکثر ۳,۰ مگابیت بر ثانیه یا ۷,۲ مگابیت بر ثانیه پیک آپلود (زمین به فضا) و تا ۴,۴ مگابیت بر ثانیه یا پیک ۱۸,۳ مگابیت بر ثانیه در لینک پایین (فضا به زمین) خواهد بود [۹] [۱۰]. در تست‌های انجام‌شده توسط رقبا مانند AST SpaceMobile که فناوری مشابهی دارند، سرعت اینترنت حدود ۱۴ تا ۱۷ مگابیت بر ثانیه اعلام شده است [۱۱].

رقابت در توسعه سرویس D۲C

بسیاری از رهبران فناوری جهان در حال رقابت هستند تا اولین کسانی باشند که فناوری ماهواره‌ای مستقیم به سلول را پیاده‌سازی می‌کنند. SpaceX، به‌دلیل توانایی منحصربه‌فرد و بی‌سابقه در تولید، پرتاب و کنترل ماهواره، در موقعیت بی‌نظیری برای گسترش اولین منظومه جهانی Direct to cell قرار دارد و در آینده، ماهواره‌های D۲C را با Starship پرتاب خواهد کرد که باعث افزایش سرعت پرتاب و بهبود سرویس خواهد شد. استارلینک حالا افزون‌بر T-Mobile، با اپراتور Rogers در کانادا، Optus در استرالیا، One NZ در نیوزیلند، Entel در شیلی و پرو، Salt در سوئیس و KDDI در ژاپن قرارداد رومینگ امضا کرده است تا این اپراتورها «دسترسی متقابل جهانی در همه‌ی کشورهای همکار» ارائه دهند.

چند شرکت دیگر نیز در زمینه ارتباطات ماهواره‌ای و سرویس‌های مشابه با Direct to Cell استارلینک فعالیت می‌کنند. برخی از مهم‌ترین این شرکت‌ها عبارت‌اند از:

۱) AST SpaceMobile: یکی از مهم‌ترین رقبای استارلینک است و با ماهواره‌هایی با پنل‌های خورشیدی بزرگ‌تر، هدف ارائه مستقیم سرویس‌های ۵G به گوشی‌های موبایل را دنبال می‌کند. در سپتامبر ۲۰۲۳، AST توانست اولین اتصال ۵G به ماهواره‌های LEO را با سرعت دانلود حدود ۱۴ مگابیت بر ثانیه با موفقیت آزمایش کند [۱۱]. این شرکت همچنین با اپراتورهایی مانند Vodafone و AT&T همکاری دارد و به دنبال گسترش خدمات خود است.

۲) OneWeb: این شرکت به عنوان یکی از بازیگران کلیدی در ارتباطات ماهواره‌ای تمرکز خود را روی خدمات backhaul گذاشته است، یعنی ارائه زیرساخت برای اپراتورهای تلفن همراه برای اتصال اینترنت به مناطق دورافتاده از طریق ماهواره‌ها. این شرکت برنامه دارد که تا پایان سال ۲۰۲۴ شبکه‌ای گسترده از ماهواره‌ها را در مدار LEO مستقر کند و احتمالاً در آینده وارد رقابت برای خدمات مستقیم به موبایل نیز خواهد شد.

۳) Lynk Global: بر روی توسعه شبکه‌ای از ماهواره‌های کوچک در مدار LEO برای برقراری ارتباط مستقیم با گوشی‌های همراه متمرکز است و ادعا می‌کند که اولین شرکتی است که توانسته است ارتباط پیامکی مستقیم از ماهواره به گوشی‌های معمولی را آزمایش کند.

۴) Globalstar: با تمرکز بر ارائه خدمات اضطراری از طریق ماهواره‌ها، به ویژه از طریق همکاری با شرکت Apple شناخته می‌شود. اپل برای ارائه خدمات اضطراری ماهواره‌ای به آیفون‌های جدید خود از شبکه ماهواره‌ای Globalstar استفاده می‌کند. این شرکت با پشتیبانی از ۸۵ درصد ظرفیت شبکه خود برای خدمات اضطراری اپل، می‌تواند به عنوان یک بازیگر مهم در حوزه ارتباطات ماهواره‌ای به موبایل‌ها شناخته شود.

۵) Iridium: یکی دیگر از شرکت‌های بزرگ ارتباطات ماهواره‌ای است که تا پیش از پایان همکاری خود با Qualcomm، قصد داشت خدمات ماهواره‌ای به گوشی‌های هوشمند ارائه کند. هرچند که این همکاری متوقف شد، اما Iridium هنوز در بازار خدمات ماهواره‌ای فعال است و ممکن است در آینده دوباره به این رقابت بازگردد.

۶) Kuiper: پروژه اینترنت ماهواره‌ای شرکت آمازون است که قصد دارد تا با پرتاب هزاران ماهواره به مدار LEO، در رقابت با استارلینک، اینترنت پرسرعت را به مناطق دورافتاده و کم‌دسترسی ارائه دهد. این پروژه هنوز به مرحله عملیاتی نرسیده، اما به عنوان یکی از رقبا در نظر گرفته می‌شود. اپراتور Verizon در حال همکاری با آمازون در این پروژه است.

علاوه بر شرکت‌های فوق، چند شرکت دیگر از قبیل Telesat، Hughes، Viasat و ... نیز در زمینه ارتباطات ماهواره‌ای و سرویس‌های مستقیم به سلول فعالیت می‌کنند و سازندگان گوشی‌های هوشمند مانند اپل نیز به دنبال ادغام قابلیت‌های ماهواره در دستگاه‌های خود هستند. هر یک از این شرکت‌ها تلاش می‌کنند تا در زمینه اینترنت ماهواره‌ای و خدمات ارتباطات جهانی نوآوری کنند و با ارائه سرویس‌های بهتر، بخشی از این بازار در حال رشد را به خود اختصاص دهند. استارلینک به دلیل تعداد زیاد ماهواره‌ها و هزینه‌های پایین‌تر پرتاب (به‌دلیل استفاده از راکت‌های SpaceX) می‌تواند پوشش وسیع‌تری نسبت به سایر رقبا ارائه دهد. همچنین، همکاری آن با اپراتورهایی مانند T-Mobile باعث شده که سرویس D۲C برای بسیاری از کاربران گوشی‌های هوشمند به راحتی در دسترس باشد. از سوی دیگر، شرکت‌هایی مانند AST SpaceMobile با ماهواره‌های قدرتمندتر و فناوری‌های ۵G ممکن است بتوانند سرعت‌های بالاتری را به کاربران ارائه دهند. در حال حاضر، آنچه استارلینک و رقبای آن ارائه می‌دهند بسیار کم

است، اما یک گام ضروری است و در نهایت به نفع کاربران خواهد بود، زیرا با توسعه سریع‌تر فناوری‌های ماهواره‌ای، امکان دسترسی به اینترنت و خدمات ارتباطی در مناطقی که هیچ‌گونه پوشش زمینی وجود ندارد، افزایش خواهد یافت [۱۱].

نتیجه‌گیری

سرویس Direct to Cell نمایانگر آینده‌ای نوین در ارتباطات جهانی است و می‌تواند با افزایش پوشش، کاهش هزینه‌ها و بهبود سرعت و کیفیت، انقلابی در دسترسی به اینترنت و خدمات ارتباطی ایجاد کند. این سرویس، به‌ویژه برای مناطق محروم و دورافتاده، یک گام بزرگ به سمت جهانی متصل‌تر و بدون مرز خواهد بود. همچنین در مواقع اضطراری مانند بلایای طبیعی، که شبکه‌های زمینی از کار می‌افتند، ارتباط مستقیم از طریق ماهواره می‌تواند خدمات اضطراری را در دسترس همه قرار داده و جان انسان‌ها را نجات دهد.

رقابت شدید شرکت‌هایی مانند استارلینک، AST SpaceMobile، Lynk Global و OneWeb با رویکردهای خاص خود منجر به توسعه سریع‌تر این فناوری و کاهش هزینه‌ها برای کاربران خواهد شد و در آینده این سرویس با پیشرفت فناوری و افزایش تعداد ماهواره‌ها می‌تواند سرعت و کیفیت اینترنت و ارتباطات را بهبود بخشد.

در نهایت، سرویس Direct to Cell می‌تواند تحولی عظیم در دسترسی به اینترنت و خدمات ارتباطی ایجاد کند. این فناوری نه‌تنها به کاهش شکاف دیجیتالی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان بخشی از زیرساخت‌های کلیدی ارتباطات جهانی به کار رود و دنیایی متصل‌تر و در دسترس‌تر برای همگان ایجاد کند، بدون اینکه محدودیت‌های جغرافیایی و زیرساختی مانعی برای دسترسی به اینترنت و ارتباطات باشد.

منابع

[1] Telecom Review, “Pioneering global connectivity: direct to cell satellite technology”, ۲۰۲۴.

[2] I. del Portillo, B. G. Cameron and E. F. Crawley, "A technical comparison of three low earth orbit satellite constellation systems to provide global broadband", Acta Astronaut., vol. 159, pp. 123-135, Jun. 2019.

[3] Z. Xu, Y. Gao, G. Chen, R. Fernandez, V. Basavarajappa and R. Tafazolli, "Enhancement of Satellite-To-Phone Link Budget: An Approach Using Distributed Beamforming," in *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 18, no. 4, pp. 85-93, Dec. 2023.

[٤] Wentao He, Huayi Li, Shi Qiu, Ming Liu, Xinyu Wang, " A digital twin assisted direct-to-cell satellite network intelligent routing algorithm", Advances in Space Research, 2024.

[5] J. Brodkin, “UK worries Starlink and OneWeb may interfere with each other, plans new rules”, ArsTechnica, 2021.

[6] IEEE Spectrum, “Satellites Are Becoming the New Cellphone Towers”, 2024. Avalaible: https://spectrum.ieee.org/satellite-cellphone-starlink

[7] D. Tuzi, E. F. Aguilar, T. Delamotte, G. Karabulut-Kurt and A. Knopp, "Distributed Approach to Satellite Direct-to-Cell Connectivity in 6G Non-Terrestrial Networks," in IEEE Wireless Communications, vol. 30, no. 6, pp. 28-34, December 2023.

[8] Starlink, “SpaceX sends first text messages via its newly launched direct to cell satellites”, 2024. Available: https://www.starlink.com/business/direct-to-cell.

[9] ISP Review, “Starlink test space direct to cell mobile data service to 17 Mbps”, 2024.

[10] Prysmian Magazine, “Telecoms insight: starlink 4G mobile service”, 2024. Available: https://www.prysmian.com/en/insight/telecoms/nexst/starlink-4g-mobile-service
[11] Starlink Insider, “Starlink direct to cell service: Here’s what we know so far”, 2024.