وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات
پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

تغییرات فناوری ارتباطات نوری در سال‌های آتی

عنوان گزارش: تغییرات فناوری ارتباطات نوری در سالهای آتی
کلمات کلیدی: فناوری انتقال نوری، فناوری دسترسی نوری، تاثیر آینده فناوری‌ها
تهیه کننده: علی پوراسلامی
ناظر علمی: علی امامی
گروه پژوهشی: نوری
تاریخ انتشار: آذر ۱۴۰۲

حقوق معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات است و استفاده از آن با ذکر ماخذ بلامانع است.

چکیده

ارتباطات فیبر نوری نحوه دسترسی به اطلاعات را متحول کرده است. همانطور که تا به امروز فناوری‌های نیمه‌هادی دنیا را تغییر داده است، رشد فناوری ارتباطات فیبرنوری آینده را متحول خواهد نمود. ویژگی ها و مزایای بسیار گسترده فناوری ارتباطات فیبر نوری که از بسیاری جهات دنیای پیرامون ما را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد عبارتند از: اینترنت سریعتر، کیفیت اتصال بالاتر، ارتباطات بهبود یافته، کاهش شکاف دیجیتال (بدلیل امکان اتصال اینترنت فیبر نوری پرسرعت به مناطق محروم)، انرژی مصرفی پایین‌تر، تجارت آسان‌تر، انواع شبکه‌های مبتنی بر فیبر نوری FTTx[1]، خدمات پزشکی پیشرفته، صنعت، تحقیقات، کشاورزی مدرن و کارآمد، محتوای نمایشی با وضوح بسیار بالا و غیره.

همانطور که صنعت مخابرات به تکامل خود ادامه می‌دهد، این احتمال وجود دارد که راه‌های جدیدتری پیش رو قرار گیرد تا فناوری انتقال فیبر نوری جهان را تغییر دهد. دو راه‌کاری که در این گزارش با هدف افزایش ظرفیت در شبکه‌های انتقال مبتنی بر فیبر نوری به آن‌ها اشاره شده است عبارتند از تکنیک مالتی پلکس تسهیم فضایی[2] (SDM) و بکارگیری فیبرهای نوری چند مغزی[3] تک‌مد و چند مغزی چندمد. ذکر این نکته مهم است که فناوری‌های انتقال مبتنی بر فیبر نوری بدلیل تداخل سیگنال کمتر بسیار قابل اعتمادتر هستند. همچنین هزینه نگه‌داری کمتری در مقایسه با سایر فناوری‌های انتقال مسی، رادیویی و ماهواره‌ای دارند. با گسترش دستگاه‌ها و سرویس‌های مجهز به اینترنت و نیاز فزاینده به سرعت دسترسی سریع‌تر و مطمئن‌تر موجب شده فناوری انتقال و دسترسی فیبر نوری به یک جزء ضروری زیرساخت دیجیتال تبدیل شود.

[1] Fiber To The x

[2] Space Division Multiplexing: SDM

[3] Multi-core

فهرست مطالب

۱ مقدمه ۱
۲ پیش‌بینی آینده فناوری انتقال نوری و دسترسی نوری ۱
۳ تاثیر فناوری انتقال نوری و دسترسی نوری در آینده جهان ۴
۴ جمع بندی و پیشنهادات ۸
۵ مراجع ۹

۱ مقدمه

صنعت فیبر نوری از زمان آغاز به کار خود در دهه ۱۹۷۰ میلادی راه درازی را پیموده است، کابل‌های فیبر نوری امروزه به‌طور گسترده برای ارسال سیگنال‌های داده، صوت و تصویر در فواصل طولانی با سرعت بسیار بالا استفاده می‌شوند. رشد فناوری توانسته ارتباطات و دسترسی فیبر نوری را در سطح محلی و بین‌المللی بهبود بخشد. ارتباطات فیبر نوری می‌توانند داده‌ها را در فواصل طولانی با کمترین افت سیگنال انتقال دهند و ارتباط افراد و مشاغل در سراسر جهان را به صورت بلادرنگ ممکن سازند. این امر منجر به توسعه فناوری‌های ارتباطی مانند ویدئو کنفرانس و سایر ابزارهای ارتباطی نوین مبتنی بر ابر شده است.

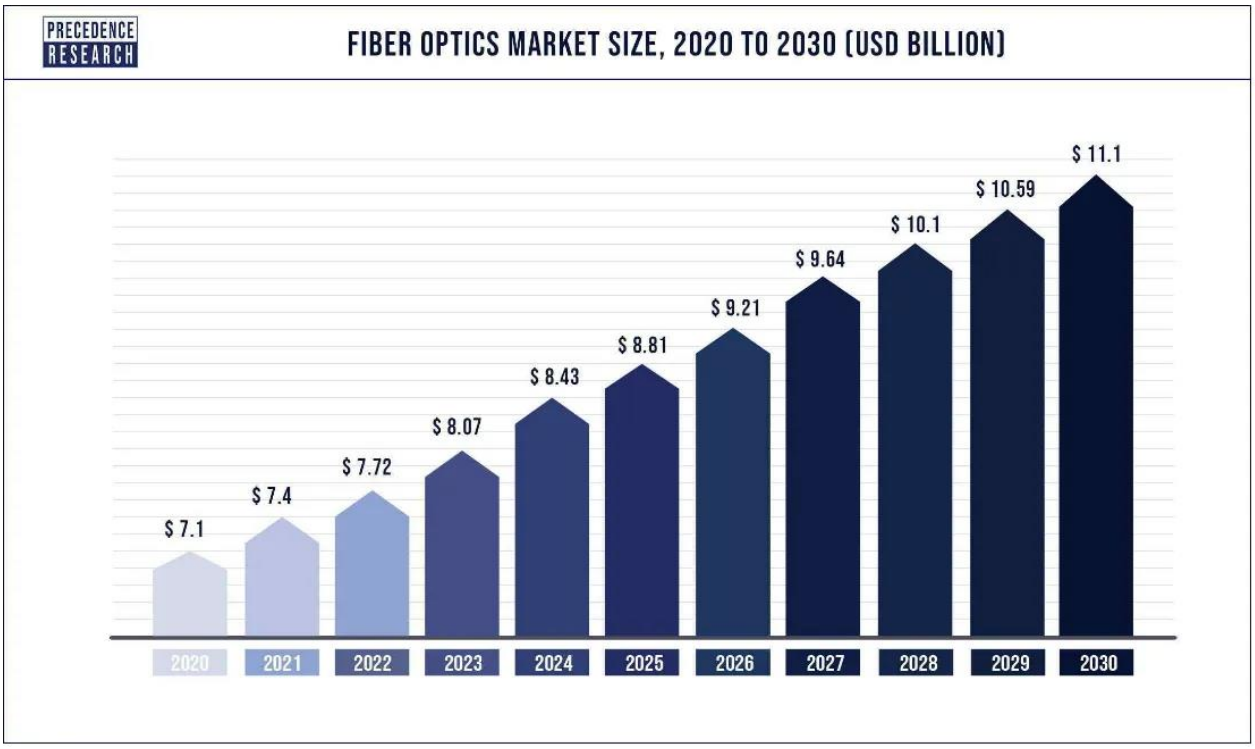
ارتباطات فیبر نوری از امنیت بالایی برخوردار است و انتخابی مطلوب برای انتقال داده‌های حساس می‌باشد. برخلاف کابل‌های مسی و ارتباطات رادیویی، ارتباطات فیبر نوری در معرض تداخل الکترومغناطیسی نیستند، به این معنی که داده‌های ارسال شده از طریق شبکه‌های فیبر نوری به راحتی رهگیری نمی‌شوند. همچنین فناوری ارتباطی مناسب برای ارائه کاربردهایی نظیر سرگرمی‌ها، بازی‌های آنلاین و تماشای محتوای ویدیویی با وضوح بسیار بالا، انتقال مبتنی بر زیرساخت فیبر نوری خواهد بود. امروزه ظرفیت انتقال هر کانال نوری با پیشرفت بسیار سریعی از مرز 100Gbps به سرعت گذشته و نرخ بیت‌های 200/400/800 Gbps تجاری شده است و محصولات جدید با ارائه پهنای باند بالاتر از Tbps (مانند 1.6Tbps) در حال معرفی است. بنابراین پیش‌بینی می‌شود، شبکه‌های انتقال و دسترسی نوری از عهده افزایش رشد نمایی ترافیک مصرفی حال و آینده برخواهند آمد.

۲ پیش‌بینی آینده فناوری انتقال نوری و دسترسی نوری

امروزه فناوری‌های انتقال فیبر نوری فرصت های تجاری و بازارهای جدیدی را برای مشاغل ایجاد کرده است. افزایش تقاضای سرعت و ظرفیت اینترنت و نیز امنیت بالاتر و قابلیت اطمینان مسیرهای فیبر نوری منجر به توسعه فناوری‌ها و خدمات جدید و رشد صنایعی همچون مراکز داده، خدمات محاسبات ابری و اینترنت اشیا (IoT[۱]) به عنوان فرصت‌های تجاری جدید شده است.

[۱] Internet of Things

شکل ۱ میزان رشد صعودی اندازه بازار پر حجم صنعت ارتباطات فیبر نوری طی یک دهه را بر حسب میلیارد دلار نشان می‌دهد. مطابق این شکل نرخ رشد بازار فناوری در سالهای آتی روندی افزایشی را طی خواهد کرد.

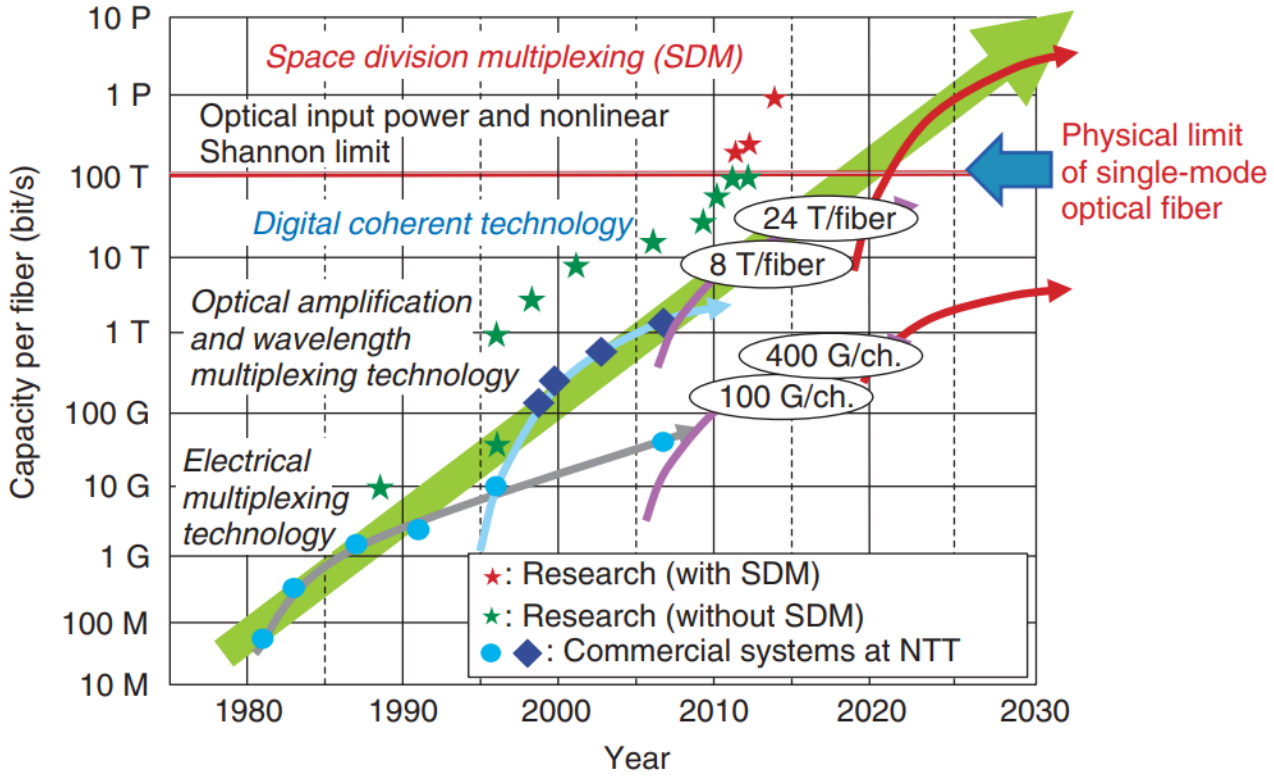


شکل ۱- رشد متوازن و پیش‌بینی صنعت ارتباطات فیبر نوری تا سال ۲۰۳۰ [۱].

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تکنیک‌های مختلف نظیر مالتی‌پلکسینگ الکتریکی، مالتی‌پلکسینگ طول موجی و بهره‌گیری از تقویت‌کننده‌های نوری، همچنین فناوری همدوسی و بکارگیری DSP[۱]، ظرفیت انتقال داده بر روی بستر فیبر نوری افزایش یافته است. بنابراین امروزه ظرفیت هر کانال انتقال به 400Gbps و ظرفیت انتقال داده روی یک رشته فیبر به 24Tbps رسیده است و پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آتی ظرفیت انتقال دیتا بر روی هر رشته فیبر نوری به محدوده 100Tbps (محدودیت‌های فیزیکی فیبرهای نوری تک مد به دلیل حد توان ورودی ارسالی به داخل فیبر و غیرخطیت ایجاد شده با حد شانون) افزایش یابد. براساس تحقیقات صورت گرفته در سال‌های اخیر راه‌کار مواجهه با محدودیت فیزیکی و افزایش ظرفیت شبکه‌های انتقال نوری استفاده از

[۱] Digital Signal Processor: DSP

ایده مالتی پلکس تسهیم فضایی[۱] است. ایده بکارگیری SDM در صنعت ارتباطات نوری هنوز در مرحله تحقیقات است و برای تجاری‌سازی تکمیل نشده است. این فناوری در سوال Q5/15 گروه مطالعاتی ۱۵ قرار دارد تا از نظر وضعیت فعلی بلوغ فنی، روشن شدن جنبه‌های فنی (خواص هندسی، مکانیکی و نوری) و تجاری (نحوه قرار گرفتن در فناوری‌های فعلی سیستم نوری)، و مشخص شدن ویژگی‌های آن با فناوری‌های مرتبط و پیکربندی/نصب/عملیات شبکه به منظور توسعه هزینه‌های آینده مورد بررسی و تحلیل قرارگیرد [۶].



شکل ۲- تکامل سیستم‌های ارتباطات نوری و تحولات آینده [۲].

براساس شکل ۳ بکارگیری فیبرهای تک مد تک مغزی مطابق آنچه در صنعت فعلی مخابرات متداول است، برای فواصل مختلف تا ظرفیت 100T امکان پذیر است و انواع مختلف فیبرهای چند مغزی[۲]، تک مد[۳] و چند مد[۴] برای فواصل

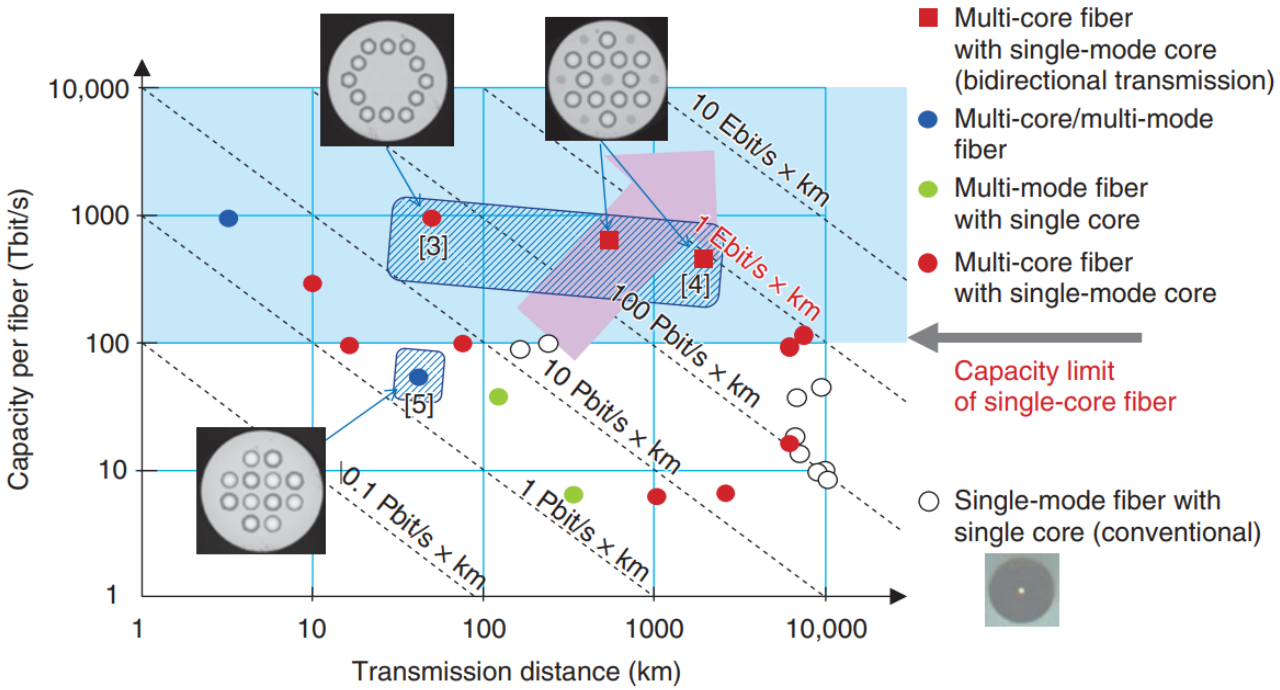
[۱] Space Division Multiplexing: SDM

[۲] Multi-core

[۳] Single-mode

[۴] Multi-mode

و ظرفیت‌های مختلف به صورت یک طرفه[۱] و دو طرفه[۲] توصیه شده‌اند. مطابق شکل با استفاده از این نوع فیبرها می‌توان بر محدودیت‌های فیزیکی فیبرهای نوری تک مد غلبه کرد.



شکل ۳- وضعیت تحقیق و توسعه فیبرهای چند مغزی [۲].

۳ تاثیر فناوری انتقال نوری و دسترسی نوری در آینده جهان

پیش‌بینی می‌شود استفاده از ارتباطات نوری و فناوری دسترسی نوری در سال‌های آینده تاثیر قابل توجهی بر جوامع جهانی داشته باشد. در ادامه برخی از تأثیرات و روندهای کلیدی مرتبط پیش‌بینی شده با این فناوری‌ها آورده شده است:

- **اینترنت سریعتر و قابل اطمینان‌تر:** ارتباطات نوری که بر انتقال داده‌ها با استفاده از سیگنال‌های نوری متکی است، نرخ انتقال داده بسیار بالاتری را نسبت به سیستم‌های مبتنی بر سیم، رادیو و ماهواره امکان‌پذیر می‌کند. این منجر به اتصالات اینترنتی سریعتر و مطمئن‌تر می‌شود. در نتیجه، انتظار می‌رود مردم در سراسر جهان به

[۱] Unidirectional

[۲] Bidirectional

اینترنت پرسرعت دسترسی داشته باشند، که برای فعالیت‌های مختلف برخط، از جمله پخش زنده تلویزیونی، بازی‌های برخط، و کار از راه دور ضروری است.

- **افزایش پهنای باند:** ارتباطات نوری پهنای باند وسیع‌تری را برای انتقال داده‌ها فراهم می‌کند. این افزایش پهنای باند برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده برنامه‌های کاربردی با نرخ داده مورد نیاز بالا، مانند پخش ویدیوی کیفیت بالای 4K و 8K، واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و تعامل هولوگرامی بسیار مهم است. افزایش تقاضا برای پهنای باند بالاتر روندی است که در حال حاضر در حال انجام است. با افزایش تقاضا برای پخش ویدئو با کیفیت و انجام بازی‌های آنلاین با پینگ اتصال کم، تقاضا برای اتصالات اینترنتی سریعتر و مطمئن‌تر افزایش یافته است. کابل‌های فیبر نوری می‌توانند داده‌ها را بسیار سریع‌تر از کابل‌های مسی سنتی انتقال دهند، و آنها را به گزینه‌ای عالی برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد برای پهنای باند بالا تبدیل می‌کند.
- **اتصال پیشرفته:** فناوری‌های دسترسی نوری، مانند فیبر به خانه (FTTH[1]) یا فیبر به محل (FTTP[2])، می‌توانند اتصال را در مناطق شهری و روستایی تا حد زیادی بهبود بخشند. آنها اتصال اینترنت با سرعت گیگابیت را به خانه‌ها و مشاغل امکان پذیر می‌کنند، شکاف دیجیتال را کاهش می‌دهند و توسعه اقتصادی در مناطق محروم را ارتقا می‌دهند.
- **فیبرهای نوین:** پیش‌بینی دیگر توسعه مواد و فناوری‌های ساخت فیبرهای نوری جدید است که امکان انتقال سریع‌تر داده‌ها را فراهم می‌کند. محققان در حال بررسی استفاده از مواد جدیدی مانند گرافن و فوتونیک سیلیکون هستند که پتانسیل تغییر صنعت فیبر نوری را دارند، همچنین استفاده از فیبرهای نوری چند مغزی گزینه دیگری برای افزایش چند برابری ظرفیت هر رشته تار فیبر نوری پیش بینی شده است.
- **اینترنت اشیا (IoT):** گسترش دسترسی نوری و شبکه‌های ارتباطی نقش اساسی در حمایت از اکوسیستم اینترنت اشیا و سنسورهای فیبر نوری خواهد داشت. این امکان را به تعداد بیشتری از دستگاه‌ها و حسگرهای متصل می‌دهد تا داده‌ها را به صورت یکپارچه مبادله کنند و شهرهای هوشمندتر، اتوماسیون صنعتی و سایر برنامه‌های IoT را امکان‌پذیر می‌سازد.

[1] Fiber To The Home

[2] Fiber To The Premise

- **کشاورزی مدرن:** در کشاورزی مدرن، ایجاد شبکه فیبر نوری از حسگرها می‌تواند با نظارت بر آب، هوا، خاک و گیاه در حفظ آب موجود در خاک و فعال کردن سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، به فعالیت‌های کشاورزی پایدار کمک کنند. در این روش هدر رفت آب کاهش چشمگیری خواهد داشت و می‌توان از سطوح بهینه رطوبت برای محصولات اطمینان حاصل کرد. این شبکه‌ها می‌توانند با نظارت بر خاک و تشخیص تغییرات در ساختار ریشه، اطلاعات ارزشمندی در مورد رشد و توسعه محصولات کشاورزی به کشاورزان ارائه دهند. شبکه سنسورها می‌تواند داده‌های تقریباً لحظه‌ای در مورد اندازه و عمق قرارگیری ریشه گیاهان در خاک ارائه دهد و به کشاورزان این امکان را می‌دهد تا شیوه‌های کشاورزی سنتی خود را (مانند آبیاری و استفاده به اندازه از کود و سم برای ترویج محصولات سالم) تنظیم کنند یا بهبود بخشند.
- **5G و فراتر از آن:** زیرساخت‌های ارتباطی نوری جزء حیاتی 5G و شبکه‌های بی‌سیم آینده است. شبکه‌های فیبر نوری برای اتصالات بک‌هاب و فرانت‌هال در استقرار 5G استفاده می‌شوند. حتی پیش‌بینی می‌شود در بخش x از فناوری دسترسی فیبر نوری FTTx از 5G استفاده شود و فناوری FTT5G مطرح شود. زیرساخت‌های نوری اتصال کم‌تاخیر و پرظرفیت مورد نیاز برای کاربردهایی مانند واقعیت افزوده، پزشکی راه دور، وسایل نقلیه خودران و شهرهای هوشمند را فراهم می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود فناوری فیبر نوری به گسترش مداوم شبکه‌های فراتر از 5G در آینده کمک کند. فناوری تجهیزات انتقال و دسترسی فیبر نوری در این شبکه‌ها برای انتقال داده‌ها با سرعت بالا و با تاخیر کمتر استفاده خواهد شد. همانطور که فناوری‌های 5G و فراتر از آن به طور گسترده مورد استفاده قرار گیرند، می‌توان انتظار داشت که شاهد استقرار فیبر نوری بیشتری برای پشتیبانی از این شبکه‌ها باشیم.
- **خدمات ابری:** ارتباطات نوری برای مراکز داده و ارائه دهندگان خدمات ابری ضروری است. رشد رایانش ابری به اتصالات نوری پرسرعت و کم تأخیر برای پشتیبانی از ذخیره‌سازی از راه دور، پردازش و دسترسی به داده‌ها و برنامه‌های کاربردی نیاز خواهد داشت.
- **امنیت داده ها:** ارتباطات نوری در مقایسه با سیستم‌های سنتی مبتنی بر سیم، رادیو و ماهواره سطح بالاتری از امنیت داده را ارائه می دهد، زیرا کمتر در معرض تداخل و شنود هستند. این امر به ویژه برای کاربردهای حساس به اختلال و شنود، از جمله ارتباطات نظامی و امنیتی، تراکنش‌های مالی، مراقبت‌های پزشکی و ارتباطات دولتی مهم است.

- **فناوری سبز:** ارتباطات نوری در مقایسه با سایر روش‌های انتقال داده از نظر انرژی کارآمد است و ردپای محیطی کمتری دارد. از آنجایی که حفظ محیط زیست به یک نگرانی مهم تبدیل شده، فناوری ارتباطات نوری در کاهش مصرف انرژی در بخش مخابرات نقش مهمی خواهد داشت.
- **اقتصاد جهانی:** گسترش ارتباطات نوری و شبکه‌های دسترسی نوری می‌تواند با تقویت نوآوری، ایجاد مدل‌های تجاری جدید و حمایت از صنایعی که به پایداری شبکه و انتقال داده‌های پرسرعت متکی هستند، تأثیر مثبتی بر اقتصاد جهانی داشته باشد.
- **پزشکی نوین:** کاربرد دیگر در زمینه سلامت خواهد بود که عواملی نظیر سرعت انتقال داده بسیار بالا، تاخیر ناچیز و ضریب اطمینان برقرای سرویس بینظیر از الزامات پزشکی راه دور است که در آینده توسط فناوری ارتباطات نوری محقق خواهد شد.
- **هوش مصنوعی بهینه:** پایه هوش مصنوعی بر داده‌های عظیم و پردازش داده و یادگیری ماشینی است. در بخش ایجاد مراکز داده و ارتباطات آنها انتقال مبتنی بر فیبر نوری نقش اساسی دارد.
- **تحول آموزش:** دوره پاندمی کوید به دنیا نشان داد که آموزش مجازی نه یک قابلیت تجملی بلکه در چنین شرایطی یک نیاز اساسی می‌تواند باشد. ارتباطات فیبر نوری این پتانسیل را ایجاد خواهد کرد که امکانات قابل ارایه در آموزش مجازی برتر از ظرفیتی باشد که امروز متصور هستیم.
- **ارتباطات تعاملی هولوگرامی:** ظرفیت ارتباطات نوری می‌تواند الزامات ایجاد ارتباطات هولوگرامی را فراهم کند که در آینده جایگزین با کیفیت‌تری نسبت به جلسات خشک و بی روح مجازی در دنیا خواهد بود.
- **انقلاب کوانتومی:** در حالی که اصول اولیه فیبر نوری به صد سال پیش برمی‌گردد، این فناوری در خط مقدم آخرین پیشرفت‌ها در رمزگذاری کوانتومی قرار دارد. همانطور که کامپیوترهای کوانتومی به بازار می‌آیند، می‌توانند الگوریتم‌های رمزگذاری امروزی را شکست دهند و فناوری جدید به فوریت مورد نیاز است. رمزگذاری کوانتومی، با استفاده از خواص فوتون ناشی می‌شود. این بدان معناست که وضعیت یک فوتون را نمی‌توان تشخیص داد، بدون اینکه وضعیت آن تغییر کند و این امکان را فراهم می‌کند تا به عنوان کلیدهای رمزنگاری مورد استفاده قرار گیرند. فناوری انتقال نوری برای توزیع کلیدها از فرستنده به گیرنده استفاده

می‌شوند و این توزیع کلید کوانتومی (QKD[1]) تضمین می‌کند که داده‌های مالی، دولتی و شخصی می‌توانند در سراسر جهان با اطمینان از عدم رهگیری ارسال شوند.

۴ جمع بندی و پیشنهادات

رشد بالای ترافیک جهانی اینترنت در سالهای جاری و سالهای آینده نیاز به بستر انتقال و دسترسی سرعت بالا را گریز ناپذیر کرده است. از اینرو ارتباطات نوری و فناوری‌های دسترسی نوری در سال‌های آتی تأثیری دگرگون‌کننده بر نحوه اتصال، سرعت انتقال داده، کیفیت رضایتمندی مشتریان و تنوع برقراری ارتباطات خواهند داشت. بعبارتی، پیشرفت‌ها در بخش‌های مختلف باعث بهبود کیفیت زندگی مردم در سراسر جهان خواهد شد و کاهش و/یا حذف شکاف دیجیتال در جهان سبب می‌شود. از سوی دیگر، فیبر نوری فناوری زیرساختی اصلی برای برقراری اتصال دائمی پرسرعت در هر مکان و هر زمان خواهد بود. دیگر مزیت کلیدی و مهم رشد و گسترش استفاده از فناوری‌های انتقال نوری و دسترسی نوری، کاهش انرژی مصرفی در انتقال داده و حفظ محیط زیست خواهد بود. حملات سایبری از جمله پیچیده‌ترین نبردها ذیل عملیات نظامی به شمار می‌آیند. کشور ما در سال‌های اخیر شاهد تهاجمات سایبری متعددی همچون تهاجم سایبری به تأسیسات هسته‌ای نطنز (با استفاده از ویروس استکس‌نت) بوده است. از طرفی غافلگیری یکی از خطرناک‌ترین پدیده‌ها در جنگ‌ها و رقابت‌های بین‌المللی بشمار می‌آید و برای در امان ماندن از آن باید هوشمندانه تحولات علمی و فناوری در جهان را رصد کرد و برای عقب نماندن از پیشرفت‌های علمی، راهبردهای مدبرانه‌ای ارائه داد. فضای سایبری با فناوری‌های کوانتومی نظیر رمزنگاری کوانتومی از نظر زیرساختی، محتوا و کاربرد متحول خواهد شد. ارائه فناوری رمزنگاری کوانتومی با داشتن دو رشته فیبر نوری نقطه به نقطه[2] بین دو نودی که قرار است کلید امن توزیع شود امکان‌پذیر خواهد بود. با این حال، استقرار گسترده فناوری‌های انتقال و دسترسی فیبر نوری ممکن است زمان‌بر باشد و نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجهی در زیرساخت‌ها و شبکه‌ها داشته باشد.

[1] Quantum Key Distribution

[2] point –to –point

۵ مراجع

[1] 10 Ways Optical Fibre Has Changed the World (stl.tech), https://stl.tech/blog/10-ways-optical-fibre-has-changed-the-world/

[2] Yutaka Miyamoto and Hirokazu Takenouchi, “Dense Space-division-multiplexing Optical Communications Technology for Petabit-per-second Class Transmission”, NTT Technical Review

[3] Andrew Lord, Catherine White, Asif Iqbal, “Future Optical Networks in a 10 Year Time Frame”, OFC 2021

[4] The Future of Fiber Optic Technology: Trends and Predictions, https://tinifiber.com/the-future-of-fiber-optic-technology-trends-and-predictions/

[5] Five ways optical fiber has changed the world, https://blog.bulgin.com/blog/fiveways-fiber-changed-world

[6] Optical fibre and cable for space division multiplexing transmission, ITU-T work programme, SG15-TD370-R1/WP2 (2021-12)

نشانی: تهران، انتهای کارگر شمالی، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، معاونت پژوهش و توسعه ارتباطات علمی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۶