**پژوهشگران تکنولوژی فیبر نوری به رکورد جدیدی از نرخ انتقال داده دست یافتند**



پژوهشگران تکنولوژی فیبر نوری به تازگی توانسته اند رکورد جدیدی در نرخ انتقال داده‌ها ثبت کنند و موفق به دستیابی به نرخ انتقال داده‌ای برابر با 402 ترابیت بر ثانیه شده‌اند. این نرخ بسیار بالا بیانگر انتقال حجم عظیمی از داده‌ها در هر ثانیه است.

این تیم بین‌المللی از پژوهشگران نه تنها رکورد جهانی پیشین را شکسته‌اند، بلکه نرخ انتقال داده‌ای که به دست آورده‌اند چهار برابر سریع‌تر از سیستم‌های تجاری موجود است. این بدان معناست که فناوری جدید ۴۰۰٪ کارایی بیشتری نسبت به فناوری‌های کنونی دارد.این دستاورد ۳۳ درصد بهتر از رکورد جهانی پیشین بوده است که این افزایش نشان‌دهنده پیشرفت چشمگیر در زمینه تکنولوژی فیبر نوری است.

یکی از عوامل اصلی این موفقیت، استفاده از تقویت‌کننده‌های نوری بوده است. این تقویت‌کننده‌ها برای افزایش سیگنال‌ها در طول باندهای ارتباطی استفاده شده‌اند. در حالی که فناوری فیبر نوری سنتی کمتر از این تکنیک بهره می‌برد.

پاتنام، محقق ارشد در موسسه ملی فناوری اطلاعات و ارتباطات (NICT) در ژاپن، اظهار داشته است که افزایش نرخ انتقال داده‌ها عمدتاً به دلیل استفاده از طیف بیشتری از باندهای ارتباطی بوده است. این پژوهشگران از تجهیزات پیشرفته‌ای که توسط Nokia Bell Labs و شرکت Amonics توسعه یافته‌اند، استفاده کرده‌اند.

ساختار سخت‌افزار ارتباطی این تیم پژوهشی شامل شش تقویت‌کننده نوری جداگانه است که سیگنال‌های نوری را از طریق طول موج‌های مختلف باند C (استاندارد ارتباطی قوی) فشرده می‌کنند. علاوه بر این، از باندهای کمتر محبوب U، L، S، E و O نیز بهره گرفته‌اند. این باندها طیف گسترده‌ای از مادون قرمز نزدیک تا مادون قرمز موج‌های کوتاه را پوشش می‌دهند.

ترکیب این باندهای مختلف O) ، E، S، C، L و ( U به فناوری جدید این امکان را می‌دهد تا داده‌ها را با سرعت 402 ترابیت بر ثانیه از طریق انواع کابل‌های فیبر نوری که از قبل موجود هستند، انتقال دهد. این ترکیب باندها نه تنها امکان انتقال داده با سرعت بالا را فراهم کرده، بلکه از زیرساخت‌های موجود نیز بهره برده است.

پاتنام توضیح می‌دهد که سیستم‌های تجاری برتر جهان در حال حاضر با سرعت 100 ترابیت بر ثانیه عمل می‌کنند. این بدان معناست که موفقیت تیم پژوهشی در دستیابی به نرخ 402 ترابیت بر ثانیه تقریباً چهار برابر بهتر از بهترین سیستم‌های موجود است.

**پیشرفت‌های دیگر و رکوردهای پیشین**

اوایل امسال، تیمی از پژوهشگران دانشگاه آستون در بیرمنگام، انگلستان، توانستند با استفاده از تکنولوژی مشابه و تقسیم کار بین دو گروه، به سرعت 301 ترابیت بر ثانیه دست یابند که در آن زمان رکورد جهانی بود.

**پهنای باند و ظرفیت کابل‌های فیبر نوری**

پاتنام اشاره می‌کند که با فشرده‌سازی کامل و استفاده بهینه از تمامی کانال‌ها، حداکثر پهنای باندی که می‌توان از کابل‌های فیبر نوری موجود به دست آورد، احتمالاً حدود 600 ترابیت بر ثانیه است. این نشان می‌دهد که هنوز ظرفیت‌های بیشتری برای بهبود وجود دارد.

**باند C و مزایای آن**

باند C به عنوان باند "معمولی" ارتباطات در فیبر نوری شناخته می‌شود. سیگنال‌ها در این باند از کمترین افت سیگنال (گسیل سیگنال) رنج می‌برند. به عبارتی دیگر، سیگنال‌ها در باند C نسبت به سایر باندها شفافیت بیشتری دارند و کمتر تحت تأثیر پراکنش یا جذب قرار می‌گیرند. این باعث می‌شود که باند C برای ارتباطات فیبر نوری مناسب‌تر باشد.

**چالش‌های دیگر باندها**

در باندهای E و O، پراکنش ریلی (پدیده‌ای که باعث آبی بودن آسمان و قرمز بودن غروب‌ها می‌شود) باعث کاهش شفافیت فیبر نوری می‌شود. این امر نشان می‌دهد که انتقال داده در این باندها به تقویت قدرت سیگنال بیشتری نیاز دارد. در مقایسه با باند C که شفافیت بالاتری دارد، استفاده از باندهای دیگر ممکن است چالش‌برانگیزتر باشد.

تلاش‌های قبلی برای افزایش پهنای باند فیبر نوری اغلب به استفاده از تقویت‌کننده‌های فیبری دوپ‌شده Doped Fiber Amplifiers یا DFA وابسته بوده‌اند. در ادامه به توضیح این تکنولوژی و عملکرد آن می‌پردازیم:

**تقویت‌کننده‌های فیبری دوپ‌شده (DFA)**

1. **ساختار و عملکرد**:
   * **سیگنال نوری**: در این سیستم‌ها، یک سیگنال نوری وارد یک قطعه فیبر نوری می‌شود که با یون‌های عناصر نادر مانند اربیم (Erbium) دوپ شده است.
   * **لیزر پمپ**: همزمان با ورود سیگنال نوری، یک لیزر پمپ نیز به فیبر تابیده می‌شود. این لیزر پمپ باعث تحریک یون‌های دوپ شده در فیبر می‌شود.
   * **تحریک و تقویت**: یون‌های دوپ شده به وضعیت‌های انرژی بالاتری می‌رسند و وقتی سیگنال نوری از این ناحیه عبور می‌کند، فوتون‌های سیگنال نوری از انرژی یون‌های تحریک شده بهره‌مند می‌شوند و انبساط تحریکی رخ می‌دهد.
   * **خروجی سیگنال تقویت‌شده**: نتیجه این فرایند، خروج یک سیگنال نوری قوی‌تر (تقویت شده) از فیبر DFA نسبت به سیگنالی است که وارد آن شده بود.

**مزایا و چالش‌های DFA**

* **مزایا**:
  + **تقویت سیگنال**: DFAها امکان تقویت سیگنال نوری بدون نیاز به تبدیل آن به سیگنال الکتریکی و سپس بازگشت به سیگنال نوری را فراهم می‌کنند.
  + **پایداری**: این روش به دلیل استفاده از یون‌های نادر، پایداری بالایی در تقویت سیگنال‌ها دارد.
  + **کارایی**: تقویت‌کننده‌های دوپ‌شده می‌توانند سیگنال‌های نوری را در باندهای مختلف طیف نوری به خوبی تقویت کنند.
* **چالش‌ها**:
  + **محدودیت باند**: یکی از محدودیت‌های DFA این است که معمولاً در باندهای محدودی مانند باند C کارایی بالایی دارند.
  + **هزینه**: استفاده از عناصر نادر مانند اربیم هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد.
  + **پیچیدگی تکنولوژیک**: نیاز به هماهنگی دقیق بین لیزر پمپ و سیگنال نوری و همچنین کیفیت دوپینگ فیبر، این تکنولوژی را پیچیده‌تر می‌کند.

در تلاش‌های اخیر، تیم‌های پژوهشی با استفاده از ترکیب باندهای مختلف و به‌کارگیری تقویت‌کننده‌های نوری پیشرفته‌تر، توانسته‌اند به نرخ‌های انتقال داده بسیار بالاتری دست یابند. این پیشرفت‌ها شامل استفاده از باندهای کمتر محبوب و تکنیک‌های فشرده‌سازی پیشرفته است که ظرفیت و سرعت انتقال داده را به طور قابل توجهی افزایش داده‌اند.

تقویت‌کننده‌های فیبری دوپ‌شده (DFA) یکی از تکنولوژی‌های کلیدی در افزایش پهنای باند و سرعت انتقال داده در فیبر نوری هستند. با این حال، پیشرفت‌های اخیر نشان می‌دهد که با ترکیب باندهای مختلف و استفاده از تقویت‌کننده‌های نوری پیشرفته‌تر، می‌توان به نرخ‌های انتقال داده بسیار بالاتری دست یافت. این تکنولوژی‌ها می‌توانند نقش مهمی در توسعه ارتباطات فیبر نوری و بهبود زیرساخت‌های ارتباطی ایفا کنند.

پژوهشگران برای بهبود تقویت سیگنال‌ها در باند E از تکنیک‌های نوآورانه‌ای استفاده کرده‌اند. در اینجا به بررسی جزئیات این روش‌ها و چالش‌های مرتبط با آن‌ها می‌پردازیم:

**انتخاب بیسموت برای باند E**

1. **بیسموت**: بیسموت به عنوان یک انتخاب مناسب برای تقویت سیگنال‌ها در باند E شناخته می‌شود. این عنصر به دلیل ویژگی‌های خاص خود، می‌تواند سیگنال‌های نوری را در این باند تقویت کند.
2. **چالش‌ها**: با این حال، تقویت‌کننده‌های فیبری دوپ شده با بیسموت ممکن است ناکارآمد باشند و نرخ‌های نویز بالا و پهنای باند محدودتری داشته باشند.

**ترکیب بیسموت و ژرمانیوم**

1. **توسعه جدید**: تیم پژوهشی برای بهبود عملکرد تقویت‌کننده‌ها، یک تقویت‌کننده فیبری دوپ شده با ترکیبی از بیسموت و ژرمانیوم توسعه داده‌اند.
2. **افزودن فیلتر**: علاوه بر این، از یک نوع فیلتر توسعه داده شده توسط نوکیا استفاده کرده‌اند که عملکرد تقویت‌کننده را بهینه کرده و کیفیت سیگنال را بهبود می‌بخشد. این فیلتر امکان کنترل طیف را فراهم می‌کند تا تغییرات تقویت‌کننده جبران شود.

**بهبود کیفیت سیگنال**

پاتنام توضیح می‌دهد که با این تنظیمات، تقویت‌کننده می‌تواند وظیفه خود را انجام دهد بدون اینکه سیگنال اصلی را غیرقابل کنترل کند. این موضوع بسیار مهم است زیرا کنترل دقیق بر روی سیگنال‌ها و جلوگیری از انحراف آن‌ها در طول انتقال اهمیت زیادی دارد.

**اهمیت توسعه تقویت‌کننده‌های نوری**

چیگو اوکونکو، استاد همکار مهندسی برق در دانشگاه تکنیکی اندهون در هلند، تاکید می‌کند که توسعه تقویت‌کننده‌های نوری جدید برای باندهای دیگر جز باند استاندارد C نیز بسیار مهم است. با این حال، او هشدار می‌دهد که تقویت بیش از حد یا تقویت در مکان‌های نامناسب می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند. اگر فوتون‌های بیشتری وارد فیبر شوند، شرایط در فیبر تغییر می‌کند و می‌تواند بر سیگنال‌های بعدی تأثیر منفی بگذارد و آن‌ها را منحرف کند.

استفاده از ترکیب بیسموت و ژرمانیوم و اضافه کردن فیلترهای نوآورانه به تقویت‌کننده‌های فیبری، به پژوهشگران امکان داده است که بهبود قابل توجهی در تقویت سیگنال‌ها در باند E ایجاد کنند. این روش‌ها می‌توانند نقش مهمی در توسعه فناوری‌های جدید انتقال داده ایفا کنند، اما همچنان چالش‌هایی مانند کنترل دقیق سیگنال‌ها و جلوگیری از انحراف آن‌ها در طول فیبر نوری باید مورد توجه قرار گیرد. توسعه تقویت‌کننده‌های نوری جدید برای باندهای مختلف می‌تواند بهبودهای بیشتری را در عملکرد سیستم‌های ارتباطی به همراه داشته باشد.

**فواید فناوری برای فیبر نوری موجود**

پاتنام تأکید می‌کند که مهمترین نکته، قابلیت اعمال این فناوری به فیبر نوری موجود بدون نیاز به تعویض کامل فیبرها است:

* **افزودن باندهای طول موجی**: این فناوری امکان اضافه کردن باندهای طول موجی بیشتر را فراهم می‌کند، که می‌توان بدون نیاز به کندن فیبرهای نوری فعلی انجام داد.
* **تغییر فرستنده و گیرنده**: بهینه‌سازی عملکرد سیستم با تغییر فرستنده و گیرنده (ترانسیور) و یا در برخی موارد، تقویت‌کننده‌ها، می‌تواند بدون نیاز به تعویض کامل زیرساخت انجام شود.

**هوشمندی و انعطاف‌پذیری شبکه‌های فیبر نوری**

پولینا بایول، استاد ارتباطات و شبکه‌های نوری در دانشگاه لندن، به اهمیت هوشمندی و انعطاف‌پذیری شبکه‌های فیبر نوری با ذکر دو نکته اینطور اشاره می کند اشاره می‌کند:

1. **ترانسیورهای هوشمند**: ترانسیورها باید هوشمند باشند و مانند خودروهای خودران، قادر به احساس و سازگاری با محیط خود باشند. این ترانسیورها باید توانایی ارائه ظرفیت لازم در زمان و مکان مورد نیاز را داشته باشند.
2. **ایمنی و انعطاف‌پذیری**: شبکه‌های فیبر نوری باید ایمن و انعطاف‌پذیر باشند تا بتوانند با تغییرات و نیازهای مختلف سازگار شوند.

پولینا بایول به اهمیت استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای بهبود و بهینه‌سازی شبکه‌های فیبر نوری اشاره می‌کند. این روش‌ها می‌توانند نقش کلیدی در نسل بعدی فناوری‌های ارتباطی ایفا کنند و به افزایش ظرفیت و کارایی سیستم‌های فیبر نوری کمک کنند.

**نقش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در بهبود شبکه‌های فیبر نوری**

1. **تشخیص و بازگرداندن انحرافات**:
   * **تشخیص انحرافات**: الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌توانند به سرعت و با دقت انحرافات سیگنال‌ها را در شبکه‌های فیبر نوری تشخیص دهند.
   * **بازگرداندن انحرافات**: این الگوریتم‌ها می‌توانند به بهبود و بازگرداندن کیفیت سیگنال‌ها کمک کنند، تا داده‌ها با کمترین افت و اختلال منتقل شوند.
2. **افزایش ظرفیت و کارایی**:
   * **فشرده‌سازی بیت‌ها**: با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی، می‌توان بیت‌های بیشتری را از طریق خطوط فیبر نوری فشرده‌تر و با کارایی بالاتر انتقال داد.
   * **مدیریت ترافیک**: الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به طور هوشمند ترافیک داده‌ها را مدیریت کنند و ظرفیت شبکه را بهینه‌سازی کنند.

**اهمیت هوشمندی، ایمنی و انعطاف‌پذیری**

بایول تأکید می‌کند که شبکه‌های فیبر نوری باید هوشمند، ایمن و انعطاف‌پذیر باشند:

* **هوشمندی**: شبکه‌ها باید قادر به سازگاری با تغییرات محیطی و نیازهای مختلف باشند.
* **ایمنی**: حفظ امنیت داده‌ها و جلوگیری از دسترسی غیرمجاز به اطلاعات اهمیت زیادی دارد.
* **انعطاف‌پذیری**: شبکه‌ها باید توانایی تغییر و سازگاری با شرایط مختلف را داشته باشند تا بتوانند به بهترین شکل ممکن عمل کنند.

**ارائه تحقیقات در کنفرانس ارتباطات فیبر نوری 2024**

این تیم پژوهشی نتایج تحقیقات خود را در کنفرانس ارتباطات فیبر نوری 2024 که در سان دیگو برگزار شد، ارائه کردند. این کنفرانس یکی از بزرگترین و معتبرترین رویدادهای علمی در زمینه ارتباطات فیبر نوری است و فرصتی برای تبادل دانش و ارائه دستاوردهای جدید به جامعه علمی فراهم می‌کند.

<https://spectrum.ieee.org/fiber-optic-cable-record>