

FRONTE EID Research Bulletin

خبرنامه برنامه دکتری صنعتی FRONTE

Persian Edition

تاریخ انتشار: اکتبر ۲۰۲۰ | <https://fonte.astonphotonics.uk/>

مقدمه

سیستم های ارتباطی فیبرنوری بدنه اصلی زیرساخت های مخابراتی جهان را تشکیل می دهند، به طوری که بیش از ۹۹٪ از حجم ترافیک داده جهانی، از این سیستم ها عبور می کنند. با این وجود، رشد مداوم ترافیک شبکه، فناوری کنونی را که نرخ داده آن طی چندین دهه اخیر افزایش یافته است، به سمت مواجهه با محدودیت های جدی سوق می دهد. اتفاق نظر وجود دارد که اثرات انتقال غیرخطی در ارتباطات فیبرنوری، اکنون یکی از عوامل محدودکننده اصلی در سیستم های ارتباطی فیبر نوری نوین است. بدین سبب که ویژگی های غیر خطی متأثر از ساختار فیزیکی فیبرنوری، تکنیک های مرسوم برای افزایش ظرفیت با افزایش قدرت سیگنال را محدود می کند، با توجه به این که بیشتر فناوری های جاری انتقال داده، در اصل برای کانال های خطی (سیمی یا بی سیم) توسعه یافته اند. هر چند که در طول چند دهه گذشته، پیشرفت های قابل توجهی در بالا بردن نرخ انتقال داده با ایجاد اصلاحات و بهبود در الگوی کلی انتقال خطی به دست آمده، اما شواهد زیادی مبنی بر این که ادامه این روند، به دلیل غیرخطی بودن فیبر، در دهه آینده به پایان خواهد رسید، وجود دارد. از این رو، نیاز روشنی برای دستیابی به رویکردهایی کاملاً متفاوت در کدگذاری، انتقال و پردازش اطلاعات وجود دارد که ویژگی های غیرخطی فیبرنوری را در نظر می گیرند. این امر همچنین نیازمند آموزش نسل جدیدی از مهندسين ارتباطات نوری و متخصصانی در حوزه روش های انتقال غیر خطی است.

تحقیقات در دکترای صنعتی اروپایی FRONTE، بر توسعه تکنیک های غیر خطی در ارتباطات فیبرنوری، در راستای دستیابی به رویکردهایی فراتر از محدودیت های فناوری کنونی، متمرکز است. کنسرسیوم، که مرکز مخابرات پیشرو نوکیا بل آلمان (Nokia Bell Labs Germany) یکی از اعضای آن است، در حال حاضر گام های نوآورانه مهمی در توسعه تکنیک تبدیل فوریه غیرخطی (NFT) و پیاده سازی آن در سیستم های مخابراتی دارد.

این خبرنامه بر جدیدترین دستاوردها و نتایج علمی دانشجویان دکتری ما متمرکز دارد.

بروندا

مقالات ژورنال

دانشجویان ما

۳

مقالات کنفرانسی

دانشجویان ما

۲

دستاوردهای صنعتی

ارائه شده

۱۲

کنفرانس های ارائه

شده توسط

دانشجویان ما

۳



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 766115

دانشجوی دکتری

ESR1: V. Neskorniuk



درباره بسته کاری شماره ۱ (WP1)

دانشگاه Aston انگلستان، تحت هدایت Prof. S. Turitsyn، بسته کاری (work package) شماره ۱ را عهده‌دار است. در WP1، تمرکز بر روی طراحی الگوهای مدولاسیون و دیمدولاسیون برای ارتباطات مخابراتی غیرخطی و پیاده‌سازی آن در سطح صنعتی، با همکاری Nokia Bell Labs، معطوف شده است.

انگیزه

اگرچه روش‌های مخابراتی مختلفی بر اساس NFT در مقالات پیشنهاد شده است، اما استفاده عملی از این روش‌ها در سیستم‌های مخابراتی نوری نیازمند تحقیقات بیشتر است. تا به امروز، به دلیل وجود چالش‌های مهندسی متعدد، محصولی با کاربرد تجاری بر پایه NFT وجود ندارد. WP1 با مد نظر قرار دادن مزایای منحصر به فرد NFT و محدودیت‌های فیزیکی در دنیای واقعی، به طراحی الگوهای جدید مدولاسیون و تکنیک‌های پردازش سیگنال می‌پردازد.

خلاصه پیشرفت

روش‌های مدولاسیون طیفی NFT موجود مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس استنتاجات صورت گرفته، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که دو روش b-modulation و NFT متناوب، ظرفیت ارائه بالاترین نرخ بهره‌وری را دارند. b-modulation اجازه کنترل بر طول مدت سیگنال را فراهم می‌کند و NFT متناوب می‌تواند در پردازش سیگنال و کاهش تداخلات بین سمبلی (ISI)، باعث ایجاد مزیت شود.

در WP1 ما یک روش مبتنی بر شبکه‌های عصبی برای کاهش اثرات غیرخطی کانال در مخابرات فیبرنوری ارائه دادیم. این روش به طور خاص، بر روی فواصل در رژیم غیرخطی بالا ارائه شده است. ما نشان دادیم که شبکه عصبی نه تنها قادر به بازیابی اختلالات غیرخطی ناشی از انتشار موج در فیبرنوری است بلکه باعث جبران بخش قابل توجهی از عیوب اجزای کم‌هزینه فرستنده-گیرنده مانند مبدل دیجیتال به آنالوگ و مدولاتور Mach-Zehnder می‌شود.

دانشجوی دکتری
ESR2: V. Bajaj



درباره بسته کاری شماره ۲ (WP2)

دانشگاه TU Delft هلند، تحت هدایت Prof. S. Wahls، بسته کاری شماره ۲ را عهده‌دار است. در WP2، تمرکز بر روی طراحی الگوهای مدولاسیون و دیمدولاسیون برای ارتباطات مخابراتی غیرخطی و پیاده‌سازی آن در سطح صنعتی، با همکاری Nokia Bell Labs، معطوف شده است. WP2 به تجزیه و تحلیل اختلالات NFT در سطح صنعتی می‌پردازد و هدف آن استفاده از این دانش برای کمک به توسعه الگوریتم‌های عددی قوی NFT، مدولاسیون و روش‌های همسان‌سازی است.

انگیزه

فرستنده-گیرنده‌های فیبرنوری از بسیاری از اختلالات مانند انواع نویز، تقویت غیر ایده‌آل، اثرات کوانتیزاسیون، aliasing و cross-talk رنج می‌برند. تأثیر چنین اختلالاتی در NFT در حال حاضر به خوبی درک نشده است. تجزیه و تحلیل کلاسیک این اثرات فقط در رژیم ضعیف غیرخطی بررسی شده است. لذا برای رژیم بسیار غیرخطی که FONTE آن را هدف قرار داده است، دانش کمی در دسترس است. هدف این بسته کاری، تجزیه و تحلیل اختلالات NFT در سطح صنعتی و بهره‌برداری از این دانش برای توسعه الگوریتم‌های عددی قوی NFT، مدولاسیون و همچنین تکنیک‌های همسان‌سازی است که تا حد ممکن در برابر چنین آسیب‌هایی مقاوم هستند.

خلاصه پیشرفت

اعوجاج (distortion) غیرخطی ظرفیت انتقال در سیستم‌های مخابراتی فیبرنوری فعلی را محدود می‌کند. یکی از راه‌کارهای جالب پرداختن به این مسئله، استفاده از تکنیک‌های انتقال غیرمتعارف مبتنی بر NFT است. اما این تکنیک‌ها بر پایه پیش‌فرض عدم وجود اتلاف در کانال ارائه شده‌اند، در حالی که در دنیای واقعی، کانال‌ها دارای اتلاف هستند. در این بسته کاری، تاکنون تأثیر اتلاف در سیستم‌های انتقال فیبرنوری مبتنی بر NFT بررسی شده است و بر اساس آن، رویکردی جدید برای دخیل کردن اتلاف در سیستم‌های مبتنی بر NFT در نظر گرفته شده است. در این رویکرد، اپراتور NFT اصلاح شده و در محیط Dispersion Decreasing Fibers (DDFs) عمل می‌نماید. استفاده ترکیبی از DDF همراه با NFT اصلاح شده، اثرات تخریب‌کننده ناشی از اتلاف فیبر را به طور کامل در یک سناریوی ایده‌آل ریاضی از بین می‌برد. ارزیابی‌های عددی، دستاوردهای قابل توجهی را که با استفاده از راه‌حل پیشنهادی به‌دست آمده است، نشان می‌دهد.

دانشجوی دکتری

ESR3: S. M. Ranzini



درباره بسته کاری شماره ۳ (WP3)

دانشگاه DTU دانمارک، تحت هدایت Prof. D. Zibar، بسته کاری شماره ۳ را عهده دار است. در WP3، تمرکز بر روی توسعه الگوهای نظارت بر عملکرد نوری و الگوریتم های تخمین کانال برای سیستم های استفاده کننده از NFT، گذاشته شده است. در این بسته کاری، ابزارهای یادگیری ماشین و مدل های داده محور در جهت بهینه سازی سیستم در نظر گرفته می شوند.

انگیزه

نظارت بر عملکرد نوری برای اطمینان از عملکرد قوی و قابل اعتماد سیستم های مخابراتی نوری بسیار حیاتی است. این مسئله باعث دستیابی به معیارهای اندازه گیری کیفیت انتقال، مانند Q-factor، می شود و کمک به تخمین پارامترهای کانال می کند.

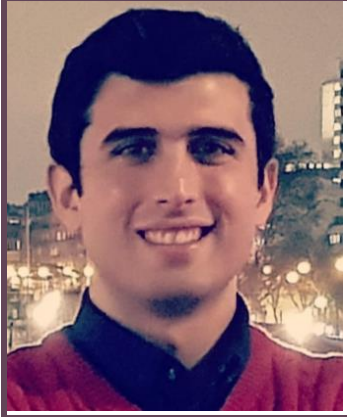
Q-factor مربوط به نسبت قدرت سیگنال به نویز است و می توان آن را با مشاهده نمودارهای چشمی در نقاط مانیتور شده در امتداد پیوند انتقال محاسبه کرد. این موارد در سیستم هایی که از شکل موج های سنتی استفاده می کنند به خوبی بررسی شده است. با این حال، اگر شبکه های نوری آینده قصد استفاده از طرح های انتقال NFT با شکل موج غیرمتعارف را دارند، ایجاد الگوریتم هایی برای اندازه گیری مقادیری مانند Q-factor یا OSNR ضروری است. در حال حاضر، هیچ روش شناخته شده ای برای تخمین Q-factor از نمودار چشمی در سیگنال های NFT وجود ندارد. علاوه بر این، پارامترهای فیبر برای محاسبه NFT رو به جلو و معکوس مورد نیاز است. این امر، الگوریتم های تخمین دقیق در حضور نویز غیر گاوسی وابسته به سیگنال را می طلبد. یادگیری ماشینی می تواند به این کار کمک کند.

خلاصه پیشرفت

آقای استنیو رنزی، در حال توسعه گیرنده جدیدی مبتنی بر یادگیری ماشینی الکترواپتیک برای سیستم های تشخیص مستقیم و مدوله شده، است. مرحله پیش پردازش نوری طیف سیگنال دریافتی را در زیرباندهای کوچک با فیلترهای نوری غیرفعال برش می دهد و سپس هر یک از آنها توسط یک دستگاه آشکارساز نوری شناسایی می شود. پسا پردازش دیجیتال در این روش مبتنی بر یک تکنیک نوین در یادگیری ماشین به نام رایانش مخزنی (Reservoir computing) است. ما پتانسیل گیرنده را برای انتقال سیگنال کلیدزنی خاموش-روشن (OOK) ۳۲Gbd نشان دادیم و در مقایسه با تکنیک های فقط دیجیتال، افزایش دسترسی از ۱۰ کیلومتر به ۴۰ کیلومتر را نمایش دادیم.

دانشجوی دکتری

ESR4: A. Shahkarami



درباره بسته کاری شماره ۴ (WP4)

دانشگاه پلی‌تکنیک پاریس، تحت هدایت Prof. M. Yousefi، بسته کاری شماره ۴ را عهده‌دار است. WP4 متمرکز بر توسعه سیستم‌های تقسیم غیرخطی فرکانس (NFDN) مبتنی بر NFT، برای شبکه‌های فیبرنوری است.

انگیزه

NFDN (Nonlinear Frequency-Division Multiplexing) را می‌توان در کانال‌های تک‌کاربره و چندکاربره استفاده کرد. شبیه‌سازی‌های کنونی و آزمایشات تجربی عمدتاً به انتقال نقطه به نقطه محدود می‌شوند. در حالی که، مزیت بزرگ NFDN در شبکه‌ها، جایی که چندین فرستنده و گیرنده وجود دارد، خود را نمایان می‌سازد. WP4 به کاربردهای NFT در سطح شبکه اختصاص یافته است. این مهمترین مورد برای شریک صنعتی طرح، Nokia Bell Labs، و سیستم‌های تجاری است.

خلاصه پیشرفت

همسان‌سازی (Equalization) در سیستم‌های مخابراتی فیبرنوری در مسافت‌های طولانی، با استفاده از الگوریتم Digital back-propagation (DBP)، مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP)، مدل شبکه عصبی کانولوشن (CNN) با توابع فعال‌سازی اصلاح‌یافته مختص ارتباطات فیبرنوری و یک معماری شبکه عصبی پیشنهادی در نظر گرفته شد. نشان داده شد که معماری پیشنهاد شده، با استفاده از تعداد پارامترهای کمتر و نیاز حافظه و پردازش پایین‌تر، نرخ خطای یکسانی در مقایسه با مدل‌های MLP و CNN و نرخ خطای پایین‌تری نسبت به DBP ارائه می‌دهد. این مدل همچنین عملکرد بهتری از خود در رژیم‌های غیرخطی نمایش می‌دهد که این امر نشان‌دهنده این است که این معماری برای کاهش تداخل بین سمبلی (ISI) در ارتباطات فیبرنوری و خنثی‌سازی اثرات غیرخطی کانال بسیار کارآمد است. هم‌اکنون این طرح در سطح آزمایشگاهی برای سیستم‌های تک‌کاربره پیاده‌سازی شده است. در ادامه، این سیستم با کمک Nokia Bell Labs در سطح صنعتی پیاده‌سازی و به سطح چندکاربره و دو قطبی ارتقا خواهد یافت.

همچنین آقای آبتین شاه‌کرمی، دانشجوی دکتری پژوهشگر در این حوزه، با همراهی اساتید خود، تحقیقاتی را پیرامون رویکردی در سمت فرستنده، مبتنی بر یادگیری نمایش (representation learning) و انتقال ویژگی (feature transfer) انجام داده‌اند که از توالی سمبل‌ها در برابر اعوجاج (distortion) کانال محافظت می‌کند.

تمامی دانشجویان
دکتری ما

NOKIA
Bell Labs

درباره بسته کاری شماره ۵ (WP5)

بسته کاری شماره 5 (WP5) را عهده‌دار است. WP5 بر روی نمایش تجربی الگوریتم‌های توسعه‌یافته در WP1-WP4 متمرکز است. همچنین طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های نوین در مقیاس صنعتی بر پایه این الگوریتم‌ها و تجاری‌سازی نتایج آن در دستور کار این بسته کاری قرار دارد.

انگیزه

شرکای دانشگاهی FONTE متخصصان برجسته جهانی در NFT هستند. این مجموعه فوق‌العاده از متخصصان، Nokia Bell Labs را به خوبی در جایگاهی برای شناسایی فناوری‌های امیدوارکننده در مراحل ابتدایی رشد، توسعه مجوز IP برای آن‌ها و تصمیم‌گیری در مورد تجاری‌سازی و توسعه این محصول‌ها قرار می‌دهند.

خلاصه پیشرفت

اختلالات ناشی از ساختار فیزیکی، عملکرد فرستنده-گیرنده‌های نوری منسجم با سرعت بالا را با محدودیت مواجه می‌کند. لذا در راستای بهره‌وری حداکثری، باید اعوجاج نامطلوب این دستگاه‌ها را کاهش داد. یک روش مقرون به صرفه برای غلبه بر این چالش استفاده از تکنیک‌های دیجیتال پیش‌تحریف (DPD) است. دانشجوی دکتری پژوهشگر بر روی بسته کاری شماره ۲، یک تکنیک DPD شبکه عصبی را بررسی کرده و در سطح آزمایشگاهی بهبود 3dB را در مقایسه با روش‌های سنتی نشان داده است. دانشجوی دکتری پژوهشگر بر روی بسته کاری شماره ۳، در حال بررسی یک فرستنده-گیرنده جدید است که با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین نسبت به اشتراک‌گذاری پیچیدگی بین حوزه نوری و دیجیتال اقدام می‌کند. تجزیه و تحلیل‌های تجربی انجام شده در این خصوص، در Nokia Bell Labs، نشان از دستیابی به قابلیت افزایش ۸۰۰ درصدی نرخ انتقال با استفاده از این روش در مقایسه با تکنیک‌های فقط دیجیتال دارد.

انتشارات FONTE

WP1:

- [D1.1 Review and optimization results for the NIS NFT-based systems](#)
- [D1.2 New modulation techniques for NFT systems](#)
- [D1.3 Numerical verification advanced modulation techniques](#)

WP2:

- [D2.1 Report on major impairments in NFT-based transmission](#)
- [D2.2 Software implementations of the developed robust NFT algorithms](#)
- [D2.3 Numerical and experimental validation of the robust modulation format](#)
- V. Bajaj, S. Chimmalgi, V. Aref and S. Wahls, "Exact NFDM Transmission in the Presence of Fiber-Loss," in Journal of Lightwave Technology, vol. 38, no. 11, pp. 3051-3058, 1 June 1, 2020, [doi: 10.1109/JLT.2020.2984041](https://doi.org/10.1109/JLT.2020.2984041)

WP3:

- [D3.1 Survey of machine learning algorithms for optical performance monitoring](#)
- [D3.2 System identification and parameter estimation](#)
- [D3.3 Performance analysis of monitoring techniques based on machine learning](#)
- Francesco Da Ros, Stenio M. Ranzini, Henning Bülow, & Darko Zibar. (2020). "Reservoir-computing based equalization with optical pre-processing for short-reach optical transmission." <http://doi.org/10.1109/JSTQE.2020.2975607>
- Ranzini, S.M.; Da Ros, F.; Bülow, H.; Zibar, D. "[Tunable Optoelectronic Chromatic Dispersion Compensation Based on Machine Learning for Short-Reach Transmission.](#)" Appl. Sci. 2019, 9, 4332

WP4:

- [D4.1 Principles of linear and nonlinear frequency-division multiplexing](#)
- [D4.2 Multi-user communication and information theory](#)

WP5

- [D5.1 Transmission regime definition and plan of experiments](#)
- [D5.2 Experimental transmissions of NFT-based systems, including \(1\) the NFDM systems and \(2\) the nonlinear inverse synthesis systems](#)