



FORTE EID Research Bulletin Boletim de pesquisa Portuguese Edition

Data da publicação: 1 Oct 2020 | <https://fonte.astonphotonics.uk/>

FOCO em PESQUISA

Sistemas de comunicação de fibra óptica formam a espinha dorsal da infraestrutura de comunicação mundial, pois é grande fração (mais de 99%) do tráfego global de dados. O crescimento exponencial contínuo do tráfego de rede, no entanto, está empurrando a tecnologia atual para seus limites. É amplamente aceito que os efeitos de transmissão não-lineares em fibra óptica são agora um fator limitante importante em sistemas modernos de comunicação de fibra óptica. Propriedades não lineares da fibra óptica limitam as técnicas convencionais a aumentar a capacidade simplesmente aumentando a potência do sinal. A maioria das tecnologias de transmissão utilizadas hoje foram originalmente desenvolvidas para canais de comunicação lineares (com fio ou sem fio). Ao longo das últimas décadas, melhorias significativas nas taxas de dados foram obtidas por melhorias e modificações dentro do paradigma geral de transmissão linear. No entanto, há muitas evidências de que essa tendência vai acabar na próxima década devido à não linearidade da fibra. Há uma clara necessidade de abordagens radicalmente diferentes para a codificação, transmissão e processamento de informações que levem em conta as propriedades não lineares da fibra óptica. Isso também requer educação e treinamento de uma nova geração de engenheiros de comunicação óptica e especialistas com conhecimento sobre métodos e técnicas não lineares..

A **pesquisa no EID FORTE** se concentra no desenvolvimento de técnicas disruptivas não lineares e abordagens para comunicações de fibra óptica além dos limites da tecnologia atual. O consórcio, que inclui o centro de telecomunicações líder mundial Nokia Bell Labs da Alemanha, ***já está dando importantes passos inovadores*** no desenvolvimento da técnica da transformada de Fourier não linear (NFT) e sua implementação nos sistemas práticos de comunicação.

Este **Boletim** foca nos resultados científicos mais recentes produzidos por nossos alunos.

RESULTADO

Artigos de
periódicos
por alunos
3

Atas da
Conferência
por alunos
2

Resultados
de pesquisa
12

Palestras de
conferência
por alunos
3



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

Desenvolvimento WP1: de novos métodos de transmissão NFT

Aluno principal
ESR1: V. Neskorniuk



Sobre o que é WP1?

O pacote de trabalho 1 (Work Package 1 - WP1), liderada pela Universidade de Aston (Prof. S. Turitsyn), está focada no projeto de novos esquemas de modulação e demodulação baseados em NFT e (com a ajuda do parceiro do setor, NOKIA BELL LABS) a integração desses esquemas em sistemas práticos de comunicação de fibra óptica

Motivação

Embora vários métodos de comunicação baseados em NFT já tenham sido propostos na literatura, o uso prático do NFT em sistemas de comunicação óptica requer mais pesquisas. A partir de hoje, nenhum produto comercialmente viável baseado em NFT existe devido a vários desafios de engenharia. O FONTE será pioneiro no projeto de novas técnicas de modulação, demodulação e processamento de sinais que levem em conta as vantagens únicas da NFT e das restrições do mundo real. O WP1 busca melhorar e otimizar as abordagens NFT existentes que já são estabelecidas pelos membros do consórcio.

Resumo do Progresso em WP1

As técnicas de modulação de espectro NFT existentes foram revisadas. Inferimos que os dois métodos a seguir têm o potencial de prover a maior eficiência: a modulação-b permitindo-nos obter o controle sobre a duração do sinal, e a NFT periódica, que pode trazer benefícios no processamento de sinais e interferência de sinal.

Dentro do WP1 desenvolvemos uma nova abordagem baseada em dados (baseada em redes neurais, NN) para mitigação de não linearidade em links de fibra óptica, abordando, especificamente, o regime de alta não linearidade. Mostramos que a NN é capaz não apenas de recuperar os prejuízos não lineares causados pela propagação de fibras ópticas, mas também as imperfeições resultantes do uso de componentes transceptores legados de baixo custo, como conversor digital-analógico e modulador Mach-Zehnder.

WP2: Impacto de prejuízos práticos na NFT

Aluno principal
ESR2: V. Bajaj



Sobre o que é WP2?

O WP2 liderado pela TUD (Dr. S. Wahls), trata da análise de prejuízos realistas na NFT e tem como objetivo usar esse conhecimento para auxiliar o desenvolvimento de algoritmos NFT numéricos robustos, formatos de modulação e métodos de equalização.

Motivação

Qualquer transceptor de fibra óptica real sofre de uma infinidade de penalidades, como, por exemplo, várias formas de ruído, amplificação não ideal, efeitos de quantização, aliasing ou também cross-talk. O impacto desses prejuízos na NFT não é atualmente bem compreendido. As análises clássicas desses efeitos aplicam-se apenas no regime fracamente não linear. Para o regime altamente não linear que o FONTE visa, pouco se sabe. O objetivo deste pacote de trabalho é analisar o impacto das deficiências do mundo real na NFT e explorar esse conhecimento para o desenvolvimento de algoritmos NFT numéricos robustos, formatos de modulação e técnicas de equalização que sejam tão insensíveis quanto possível contra tais prejuízos.

Resumo do Progresso em WP2

Distorções não lineares limitam as capacidades de transmissão dos sistemas atuais de comunicação de fibra óptica. Técnicas de transmissão não convencionais baseadas em transformadas de Fourier não lineares (NFTs) são uma abordagem interessante para abordar essas questões. Essas técnicas de transmissão, no entanto, dependem de um modelo ideal de fibra sem perdas, enquanto na prática as perdas existem. O impacto da queda da potência do sinal de fibra nos sistemas de transmissão de fibra óptica baseados em NFT foi investigado. Uma nova abordagem para incorporar perdas em sistemas baseados em NFT que utiliza uma NFT modificada e opera em fibras de diminuição de dispersão especializada (DDFs). O uso combinado de DDF juntamente com o NFT modificado elimina os efeitos degradantes devido à perda de fibras completamente em um cenário ideal matemático. As avaliações numéricas mostraram ganhos significativos obtidos com a solução proposta.

WP3: Técnicas de aprendizado de máquina para canais de fibra óptica

Aluno principal
ESR3: S. M. Ranzini



Sobre o que é WP3?

O WP3 liderado pela DTU (Prof. D. Zibar), concentra-se no desenvolvimento dos esquemas de monitoramento de desempenho óptico e algoritmos de estimativa de canais para o sistema que usa NFT. Ferramentas de aprendizado de máquina e modelos baseados em dados serão consideradas para otimização do sistema.

Motivação

O monitoramento óptico de desempenho é vital para garantir uma operação robusta e confiável de sistemas de comunicação óptica. Fornece métricas de qualidade de transmissão, como fator-Q, e ajuda a aproximar parâmetros de canal. O fator-Q está relacionado com a relação sinal-ruído óptico e pode ser computado olhando para os diagramas de olho nos pontos de monitoramento ao longo do link de transmissão. Essas questões são bem estudadas em sistemas que utilizam formas de onda tradicionais. No entanto, se as futuras redes ópticas vão empregar esquemas de transmissão NFT com formas de onda não convencionais, é necessário desenvolver algoritmos para medir quantidades como o fator-Q ou OSNR. Atualmente, não há um método conhecido para estimar o fator-Q a partir dos diagramas de olho em sinais NFT. Além disso, parâmetros de fibra são necessários para calcular a NFT direta e a transformada inversa. Isso exige algoritmos de estimativa precisos na presença do ruído não gaussiano dependente do sinal. Aprendizado de máquina pode ajudar nessa tarefa.

Resumo do Progresso em WP1

O ESR3 está desenvolvendo um novo receptor baseado no aprendizado de máquina optoeletrônico para sistemas de detecção direta. O estágio óptico de pré-processamento corta o espectro de sinal recebido em pequenas bandas com filtros ópticos passivos e cada um é detectado por um fotodetector. O pós-processamento digital é baseado em uma técnica recente em aprendizado de máquina chamada “reservoir computing”. Demonstramos o potencial do receptor para transmissão de sinal 32-GBd OOK, e mostramos um aumento no alcance de 10 km para 40 km, correspondendo a 400%, em comparação com técnicas apenas digitais.

WP4: Impacto de prejuízos práticos na NFT

Aluno principal
ESR4: A. Shahkarmi



Sobre o que é WP4?

A WP4, liderada pela Telecom ParisTech (Prof. M. I. Yousefi), foca no desenvolvimento dos sistemas multiplexais de divisão de frequência não linear baseados em NFT para redes de fibra óptica.

Motivação

A multiplexação da divisão de frequência não linear (NFDM) pode ser aplicado em canais de um único e vários usuários. As simulações atuais e demonstrações experimentais são limitadas principalmente à transmissão ponto a ponto. No entanto, a grande vantagem da NFDM ocorre em redes, onde há vários transmissores e receptores. O WP4 é dedicado à aplicação de rede da NFT. Este é o caso mais relevante para o parceiro do setor NOKIA BELL LABS e sistemas comerciais.

Resumo do Progresso em WP4

O aprendizado profundo do canal de fibra óptica foi recentemente proposto para abordar a limitação que o efeito não linear Kerr estabelece nas taxas de transmissão dos sistemas de comunicação de fibra óptica. É importante entender como essa abordagem se compara aos métodos convencionais. Ao projetar uma rede neural que se aproxima do canal, estudamos essa comparação para um sistema de pequena escala, em que estamos atualmente estendendo para sistemas de grande porte. Além disso, o ESR4, juntamente com seus supervisores, realizou algumas pesquisas sobre uma abordagem baseada no aprendizado de representação e transferência de recursos para ajudar a proteger a sequência de símbolos no transmissor contra erros introduzidos pelo canal.

WP5: Implementação e teste experimental de sistemas NFT

Todos os alunos envolvidos

NOKIA
Bell Labs

Sobre o que é WP5?

O WP5, liderado pelo parceiro industrial da FONTE NOKIA BELL LABS (Dr. H. Buelow), foca na demonstração experimental dos algoritmos desenvolvidos no WP1-WP4, novos projetos e técnicas do sistema, implementação e comercialização de resultados.

Motivação

Os parceiros acadêmicos do FONTE são especialistas líderes mundiais em NFT. Este extraordinário grupo de especialistas posiciona o NOKIA BELL LABS muito bem para identificar tecnologias promissoras no estágio inicial, para desenvolver licenciamento IP e para decidir sobre comercialização e desenvolvimento de produtos

Resumo do Progresso em WP5

O desempenho de transceptores ópticos de alta velocidade coerentes é limitado por suas limitações físicas e deficiências. Para operar com sua capacidade máxima, devemos mitigar distorções indesejadas desses dispositivos. Uma maneira econômica de superar esse desafio é usar técnicas digitais de pré-distorção (DPD). O ESR2 investigou uma técnica de DPD de rede neural e mostrou em experimentos de laboratório uma melhoria de 3 dB em comparação com os métodos tradicionais. O ESR3 está investigando um novo transceptor baseado no compartilhamento da complexidade entre o domínio óptico e digital com o aprendizado de técnicas de máquina. As análises experimentais foram realizadas na NBL e mostraram um ganho de alcance de transmissão de 800%, em comparação com as técnicas somente digitais.

Publicações 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](#)