



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu **APVV-0025-12**

Predchádzanie vplyvu stochastických mechanizmov vo vysokorýchlostných plne optických sieťach

Zodpovedný riešiteľ **prof. RNDr. Jarmila Müllerová, PhD.**

Príjemca **Žilinská univerzita v Žiline**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, Inštitút Aurela Stodolu
2. Elektrotechnická fakulta Žilinskej univerzity v Žiline, Katedra telekomunikácií a multimédií
3. Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií
- 4.
- 5.

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. National Research Council, Kanada
2. University of Strathclyde, Veľká Británia
3. John Carroll University, USA

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

- 1.
- 2.
- 3.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

1. D. BENEDIKOVIČ, P. CHEBEN, J.H. SCHMID, DAN-XIA XU, J. LAPOINTE, S. WANG, R. HALIR, A. ORTEGA-MOÑUX, S. JANZ, M. DADO: High-efficiency single etch step apodized surface grating coupler using subwavelength structure, Laser Photonics Rev. 8, No. 6, 2014, ISSN 1863-8899, p. L93–L97
2. D. BENEDIKOVIČ, et al.: Subwavelength index engineered surface grating coupler with sub-decibel efficiency for 220-nm silicon-on-insulator waveguides. Optics Express vol. 23, no.17, 2015, 22628-22635, ISSN 1094-4087
3. M. SOLANSKÁ, M. MARKOVIČ, M. DADO, Comparison of Reservation Protocols for SOA

and MEMS Technology, Advances in Electrical and Electronic Engineering, Vol.16, No.2, 2016, ISSN 1336-1376, s. 205-211

4. SCHOLTZ, L., MÜLLEROVÁ, J.: Numerical studies on wavelength-selective all-optical switching using optical bistability in nonlinear chalcogenide FBGs. Invited paper. ICTON 2015 IEEE Xplore. Paper No. We.B5.3, ISBN 978-1-4673-7879-6/15

5. LITVÍK, J., KUBA, M., D. BENEDIKOVIČ, D., DUBOVAN, J., DADO, M.: Numerical estimation of spectral properties of laser based on rate equations, Math. Probl. Eng., ISSN 1024-123X, prijatý na publikovanie

Uplatnenie výsledkov projektu

Výsledky projektu sú uplatniteľné pri vývoji optických vysokorýchlostných sietí budúcej generácie s vysokým podielom plne optických prvkov vo fyzickej vrstve. Pri prenosových rýchlostiach ~ 100 Gb/s a úzkopásmových zdrojoch optického žiarenia dochádza k degradácii signálov vo fyzickej vrstve v dôsledku rôznych deterministických a stochastických lineárnych a nelineárnych javov. Projekt analyzoval dopady tejto degradácie na optický signál a navrhol viaceré mitigačné opatrenia na ich elimináciu. Zásadné navrhnuté mitigačné opatrenia, ktoré sú použiteľné v telekomunikačnej praxi, sú využitie odolnejších modulačných formátov, viac-kanálových mitigačných techník typu RWA v sieťach xWDM, využitie funkčných rezervačných schém a im zodpovedajúcich protokolov a použitie rýchlych optických prepínacích techník do nepoškodených kanálov xWDM siete. Predpokladáme, že budúce technológie budú priat' aj solitónovému prenosu, ktorý je výsledkom "automitigácie" nežiadúcich javov samotným prenosovým systémom pri vhodnom vyvážení degradačných efektov.

CHARAKTERISTIKA VÝSLEDKOV

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Pomocou numerických modelov sme detailne identifikovali prenosové vlastnosti vysokorýchlostných jedno a viackanálových optických sietí s vysokým stupňom transparentnosti a prítomnosťou degradačných mechanizmov. V tejto súvislosti projekt podrobne študoval vplyv disperzných a nelineárnych javov včítane PMD a FWM. Bolo navrhnuté originálne riešenie predchádzaniu FWM pomocou WDM s nerovnomerným rozložením kanálov. Ďalšie navrhnuté mitigačné opatrenia sú využitie modulačných formátov vyšších rádov odolnejších voči poškodeniu. V numerickom modeli viackanálového systému bola dokázaná vyššia odolnosť formátov M-PSK, M-QAM a Grayovho kódovania v porovnaní s formátmi OOK. Využitie viackanálových mitigačných techník bolo spojené s vývojom dvoch funkčných jednocestných rezervačných schém, tomu zodpovedajúcich rezervačných protokolov a numerického modelu fungovania výstupných portov OBS uzlov. Ukázali sme, že v prípade chrpticových sietí hrá dôležitú úlohu spektrálna šírka žiarenia lasera a jej závislosť na fázovom šume. V časopisoch s vysokým IF boli publikované viaceré originálne koncepty optických zlučovčov umožňujúcich integráciu čipu na optické vlákno. Vytvorili sme numerický model generátora časových solitónov pomocou kompenzácie disperzných a nelineárnych efektov vo vlákne. Projekt ďalej navrhol numerický model prepínania do nepoškodených kanálov pomocou nelineárnych vláknových Braggových mriežok na chalcogenidových sklách. Detailne boli rozpracované metódy prepínania pomocou SPM a XPM a vplyv modulačnej nestability. Numerické modely boli sekvenčnou distribúciou údajov integrované do virtuálnej optickej siete umožňujúcej skúmať súčasne pôsobiace degradačné javy, ako aj vykonávať ich mitigáciu.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

Using numerical models we identified in details transport properties of high-speed one- and multichannel optical networks with a high degree of transparency and presence of degradation mechanisms. In this context, the project studied in detail the impact of dispersion and nonlinear effects including PMD and FWM. Original solutions to prevent FWM in WDM networks by unequal spaced channel allocations were suggested. Additional proposed

mitigation measures were modulation formats of higher orders better resistant towards signal damage. The numerical model of multichannel system showed greater resistance of M-PSK, M-QAM formats and Gray code in comparison to OOK. Multichannel mitigation techniques have been associated with the development of two functional one-way reservation schemes, corresponding reservation protocols and of the numerical model of performance of output ports of OBS nodes. We showed that in case of backbone networks the spectral width of the laser radiation depending on the laser phase noise plays an important role. Several original concepts of couplers enabling the fiber-to-chip coupling were published in high IF journals. We created a numerical model of the temporal solitons generation using the mutual compensation of dispersions and nonlinear effects. Furthermore, the project proposed a model of switching to undamaged channels using nonlinear fiber Bragg gratings based on chalcogenide glasses. Detailed methods were developed for switching via SPM and XPM effect and for the modulation instability. Via sequential data distributions the numerical models were integrated into a virtual optical network allowing the investigation of simultaneously occurring degradation effects as well as their mitigation.

Svojím podpisom potvrdzujem, že údaje uvedené v záverečnej karte sú pravdivé a úplné a súhlasím s ich zverejnením.

Zodpovedný riešiteľ

prof. RNDr. Jarmila Müllerová, PhD.

V Žiline 27. 10. 2016

Štatutárny zástupca príjemcu

Dr.h.c. prof.Ing. Tatiana Čorejová, PhD.

V Žiline

.....
podpis zodpovedného riešiteľa

.....
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu