

SIMULTANEOUS TRANSMISSION OF 200 GBIT/S, 10 GBIT/S AND ACCURATE TIME TRANSMISSION OVER 100 KM USING ONLY ONE STEP AMPLIFICATION

Michal Látal

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xlatal08@vutbr.cz

Supervised by: Petr Münster

E-mail: munster@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper focuses on simultaneous transmission of selected photonic services by one singlemode fiber. Except common data transmission with a bitrate of 10 Gbit/s, 200 Gbit/s high-speed data transmission and accurate time transmission are considered. The total measurement length was 100 km and the signals were amplified only at the beginning of the route using Erbium doped fiber amplifier (EDFA). Channel spacing was 100 GHz according to ITU-T G.694.1 standard.

Keywords: fiber, simultaneous transmission, accurate time, data, edfa, dwdm, interference

1 ÚVOD

Optická vlákna jsou v současnosti nejčastěji používaným médiem pro telekomunikační sítě. Optické sítě umožňují nejen přenos informačních dat, ale je možné na ně nasadit i speciální pokročilejší služby, jako jsou přenos přesného času nebo stabilní frekvence. Kvalitní přenos těchto služeb má význam především pro výzkumné, metrologické a vzdělávací instituce, kde je nutné dosáhnout extrémně přesného a dlouhodobě stabilního přenosu. Další významnou službu tvoří distribuované senzorické snímání, kdy pomocí optických vláken je možné snímat různé fyzikální veličiny a umožnit tak například ochranu infrastruktury optické sítě. Přenos těchto vybraných fotonických služeb, které umožňují čistě optický přenos bez konverze na elektrický signál, pomocí jediného optického vlákna se jeví jako ekonomicky výhodný, například s využitím hustého vlnového multiplexu, ale je třeba vyhodnotit možnou interakci mezi jednotlivými službami, tak aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování jednotlivých optických signálů. [1]

Kapitola II popisuje současný stav v oblasti souběhu více fotonických signálů jedním vláknem. V kapitole III je představeno experimentální zapojení a kapitola IV obsahuje disputaci výsledků. Poslední kapitola V shrnuje výsledky článku.

2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY SPOLEČNÉHO PŘENOSU

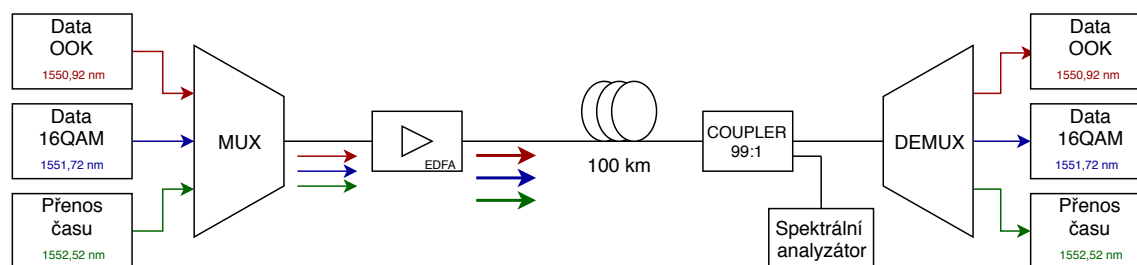
Vědečtí výzkumníci intenzivně zkoumají problematiku fotonických přenosů pro zlepšení systémových a přenosových parametrů, jako je celkový dosah, přesnost a stabilita. V České republice se problematice fotonických služeb a sítí nejvíce věnuje sdružení CESNET (Czech Educational and Scientific NETwork), které rozvíjí národní e-infrastrukturu určenou pro výzkum a vzdělávání. Sdružení CESNET dosáhlo světového prvenství při využití společného páru optických vláken pro přenos 100 Gbit/s datového signálu a současného poskytování fotonických služeb při kterém nedošlo k vzájemnému ovlivňování fotonického a datového optického signálu. [2]

Jednotlivé fotonické služby mají individuální požadavky na přenosový systém a jsou náchylné k jinému typu rušení. Systémy pro přenos dat založené na DP-xQAM (Dual Polarization Quadrature

Amplitude Modulation) používají digitální zpracování signálu pro obnovu signálu, ale nedokáží plně kompenzovat degradaci signálu způsobenou ztrátami závislými na polarizaci a nelineárních jevech. Signály přesného času jsou pomalé a často modulovány OOK (On-Off Keying) modulací, takovéto signály jsou náchylné především na chromatickou disperzi. Stabilní kmitočtové signály nejsou modulovány vůbec, přenášena informace je frekvence fotonů. Tyto signály tvoří spojité vlny, které trpí především fázovým posunem způsobeným například vibracemi a vnějšími vlivy prostředí. Pro senzorické systémy je nutné použít vysokovýkonné impulsy, které mohou způsobit rušení ostatních signálů v sousedních přenosových kanálech. Z těchto důvodů je společný přenos fotonických služeb pomocí DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) přenosových kanálů stále novou a neprozkoumanou oblastí výzkumu. [3]

3 NÁVRH MĚŘENÍ PŘENOSU ČASU A DAT

Schéma měření znázorňuje přenos tří služeb, přenos přesného času, přenos datového signálu s rychlostí 10 Gbit/s a koherentního signálu s rychlostí 200 Gbit/s. Na obrázku 1 je vidět podrobné schéma měření zobrazující přenášené služby a nastavení nosné vlnové délky pro každou službu. Přenosové kanály pro jednotlivé služby byly rozděleny dle doporučení ITU-T G.694.1 s odstupem kanálů 100 GHz. [4] Pro společný přenos vybraných tří fotonických služeb byly zvoleny sousední DWDM kanály 31, 32 a 33 s odstupem vlnové délky 0,8 nm. Jednotlivé fotonické služby byly společně multiplexovány ve standardním telekomunikačním multiplexeru. Společný optický signál byl dále zesílen optickým výkonovým zesilovačem EDFA a navázán do simulované trasy o délce 100 km. Část společného optického signálu byla na konci trasy vyvázána pomocí děliče výkonu s dělicím poměrem 99:1. Vyvázaná část přenášeného společného optického multiplexu sloužila pro monitorování jednotlivých signálů na optickém spektrálním analyzátoru, zda nedochází k nelineárním jevům, jako je například čtyřvlnné směšování FWM (Four Wave Mixing). Přenesený optický signál byl demultiplexován a jednotlivé optické signály fotonických služeb byly přivedeny zpět do svých zdrojových zařízení, kde byly vyhodnoceny přenosové parametry přijatých optických signálů.

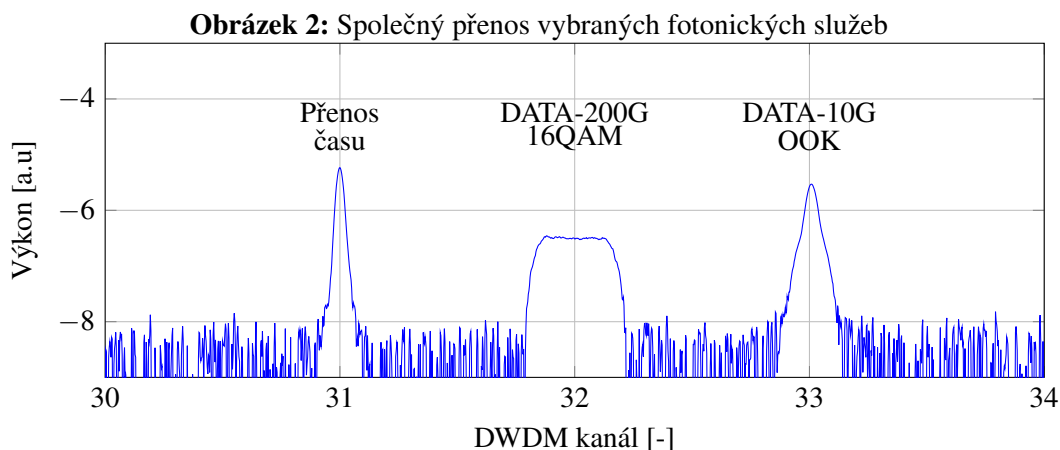


Obrázek 1: Schéma měření

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Hlavním sledovaným přenosovým parametrem pro datové signály byla bitová chybovost BER (Bit Error Rate), pro přenos času byla vyhodnocována doba zpoždění šíření signálu a kolísání této doby. Bitová chybovost v případě datového signálu 10 Gbit/s dosahovala v průběhu měření průměrné hodnoty $1,36 \cdot 10^{-9}$, pro datový signál 200 Gbit/s byla naměřena průměrná hodnota bitové chybovosti $8,83 \cdot 10^{-3}$. Přestože jde o poměrně nízkou hodnotu pro datový signál před využitím opravných algoritmů FEC (Forward Error Correction), je tato hodnota stále v limitu dle ITU-T G.975.1. Doporučení ITU-T G.975.1 stanovuje limit chybovosti BER v řádu 10^{-3} pro který lze opravné algoritmy FEC využít. Aplikací opravných algoritmů FEC je systém schopen opravit chybná data a dosáhnout nižší chybovosti v řádech 10^{-9} – 10^{-15} , ovšem za cenu vyšší latence a redundance dat až 25 %, způsobené především kódováním, dekodováním a prokládáním, v závislosti na použitých metodách. [5]

Při přenosu časového signálu byly sledovány přesné časové hodnoty zpoždění a odchylky po sobě jdoucích hodnot zpoždění tohoto signálu. Průměrná hodnota zpoždění signálu pro přenos času byla 495 986,118 ns, což přibližně odpovídá teoretickému předpokladu pro dobu šíření optického signálu danou trasou. Kolísání zpoždění časového signálu nepřekročilo dobu 11,5 ps. Na obrázku 2 je zobrazeno spektrum společného přenosu časového a datových optických signálů s vyznačením odpovídajících DWDM kanálů s odstupem 100 GHz.



5 ZÁVĚR

V tomto příspěvku bylo stručně popsáno a provedeno měření přenosových parametrů pro společný přenos vybraných fotonických služeb jedním jednovodovým vláknem. Z naměřených přenosových parametrů a především z grafu optického spektrálního analyzátoru lze odvodit, že při společném přenosu časového a datových signálů nedošlo k vzájemnému ovlivnění, přenosových kanálů, které by nějak výrazně ovlivnilo stabilitu některé z přenášených fotonických služeb. Předmětem dalších měření, která v současné době probíhají, je přenos sensorického signálu a vliv zesílení optického zesilovače na vedlejší přenosové kanály. Hlavním cílem budoucích měření je prokázání možnosti společného přenosu více fotonických služeb jedním vláknem s kanálovým rozstupem.

REFERENCE

- [1] HORVÁTH, T., MÜNSTER, P., VOJTĚCH, J., VELC, R., OUJEZSKY, V.: Simultaneous transmission of accurate time, stable frequency, data, and sensor system over one fiber with ITU 100 GHz grid, *Optical Fiber Technology*, 2018, Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1068520017303851>
- [2] CESNET E-infrastruktura: 100 Gb/s a fotonické služby po společném vlákně, Praha: CESNET, 2013, Dostupné také z: <https://bit.ly/2znBcKM>
- [3] MÜNSTER, P., RADIL J., VOJTĚCH, J., HAVLIŠ, O., HORVÁTH, T., SMOTLACHA, V., SKALJO, E.: Simultaneous transmission of the high-power phase sensitive OTDR, 100Gbps dual polarisation QPSK, accurate time/frequency, and their mutual interferences, *Fiber Optic Sensors and Applications XIV*, 2017, Dostupné z: <https://doi.org/10.1117/12.2267259>
- [4] G.694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid, 2012. Version 2. Geneva, Switzerland: ITU-T, 16s. Dostupné také z: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/en>
- [5] G.975.1: Forward error correction for high bit-rate DWDM submarine systems, 2005. Version 1 Geneva, Switzerland: ITU-T, 58 s. Dostupné také z: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.975.1/en>