

100G a optická i elektrická měření v laboratoři CESNETu



Jan Radil, jan.radil@cesnet.cz
Seminář CESNET-PROFiber Networking

28.8.2014

Představení optické laboratoře CESNET

1



100G a optická i elektrická měření v laboratoři CESNETu

- ◆ CESNET z.s.p.o. - Czech Educational and Scientific NETwork, zájmové sdružení právnických osob
- ◆ Sdružení založeno 1996 jako nezisková organizace
- ◆ z.s.p.o. – veřejné univerzity a Akademie věd ČR
- ◆ Provozuje národní síť pro vědu a vzdělávání – CESNET2
- ◆ www.cesnet.cz

28.8.2014

Představení optické laboratoře CESNET

2

- ◆ S využitím autorových předešlých prezentací.
- ◆ Jak mi někteří posluchači řekli – víš, bylo to zajímavé, ale rádi bychom si to někdy poslechli ještě jednou...

Koherentní systémy – dnes to nejmodernější

- ◆ Koherentní optické technologie – 40/100/400 Gb/s
 - slovo ‚koherentní‘ lze použít různě (soudržný, ucelený, v souladu,...)
 - dobře známý pojem z mikrovlnné techniky
 - středoškolské učebnice z 60.let popisují koherentní principy a systémy velmi hezky
 - v přijímači je lokální oscilátor (LO) pro zvýšení citlivosti – výhodné pro mikrovlny protože cestou (ve vzduchu) nemáme (před)zesilovače
 - optika používá zesilovače (EDFA) a jejich objev a nasazení výzkum a vývoj optických koherentních systémů utlumil o mnoho let
 - LO ale nestačí – ‚kouzlo‘ dělá elektrické zpracování signálu
 - ‚koherentní‘ systémy zvládají linearitu (CD), náhodnost (PMD) ale ne nelinearity (SPM, XPM, FWM), nelin. stejně jako u 1G/2.5G/10G [Kar]

Koherentní systémy – dnes to nejmodernější ?**◆ Koh. 100G dnes poměrně běžné - od 2009 (2010)**

- 2009 nebo 2010 – záleží na tom, kterému výrobcu uvěříme že byl první
- první pravá „koherentní“ karta na ECOC 2008, Nortel a jeho 40G karta s QPSK (Kim Roberts)
- 90nm CMOS, 20 milionů hradel, DSP zvládalo bilion (10^{12}) operací za sekundu (problém v názvech velkých čísel milion-miliarda-bilion... nebo milion-bilion-trilion...)
- rok 2008 by měl používat 45nm technologii – výroba ASIC zjevně není výroba procesoru/paměti (2014 – 14nm CMOS technologie?)
- Nortel měl již dříve k dispozici i 10G kartu s kompenzací CD (zkušenosti z mikrovln a také návrhu modemů)
- přes tyto výhody měl Nortel problémy a dnes je to Ciena...

Koherentní systémy – dnes to nejmodernější ?**◆ 100G a různé přenosové parametry**

- parametry různých výrobců dnes (2012-3) se dost různí, např. tolerance k CD je 30 000 až 80 000 ps/nm (tj. dosvit přes 3000km)
- samozřejmě signál musíme zesilovat! - jen nemusíme kompenzovat CD
- (pro srovnání 10G systém toleruje 1200ps, pak nutná kompenzace CD)
- PMD až 30ps (někdy DGD, někdy PMD – nepřesnosti)
- (pro 10GE – DGD 19ps což je PMD 5ps)
- to vše jen díky číslicovému zpracování signálu (že je systém koherentní ještě neznamená zvýšenou toleranci k CD a PMD)
- doporučení výrobců se různí, umí systém max. CD a PMD?
- nejasnosti zejména v kompenzaci CD a vlivu pomalých signálů na 100G signály

100G a chromatická disperze

◆ Nové myšlenky při návrhu sítí – DCM-free

- 10G sítě kompenzovány nejčastěji DCF – kompenzační vlákno
- DCF zvyšuje útlum, zpoždění, snižuje dosvit pro 100G (nonlinearity)
- nové metody kompenzace FBG – braggovské mřížky
- FBG odstraňují problémy DCF, výrobci nemívají FBG v portfoliu

◆ Výrobci doporučují CD nekompensovat, zbavit se DCF

- ‚koherentní systémy zvládnou vše‘ (CD 80000ps/nm), neměřit nic
- ale bez kompenzace CD nelze nasadit 10G systémy (CD 1200ps/nm)
- cena 100G vs 10G: \$\$\$ vs \$ - kdo to zaplatí? máme na ‚100G všude‘?

100G a chromatická disperze

◆ Zvýšení dosvitu s pomocí FBGs

- CD pro FBG není tak snadné změřit, ale PROFiber/EXFO nabízí jako službu



100G a chromatická disperze

- ◆ Pokud máme DCM-free síť, nemůžeme nasadit 100x levnější 10G DWDM technologii pro vzdálenost nad 80km
 - existují zařízení na 200km (XFP) ale nemusí fungovat všude
- ◆ A což teprve CD a 400G/1T systémy
- ◆ Očekávaný dosvit jen 500-700km. Dle pana Kima Robertse (přes 100 patentů). [Rob], [Aug]
- ◆ Infinera (paneurospká R&E síť GÉANT): 400G karty mají dosvit 600km. Infinera má 400G klientské rozhraní a multiplexuje 4x100G. [Ben]

100G a chromatická disperze

- ◆ AT&T Research: pro rychlosti nad 100Gb/s není možné dosáhnout současně vysoké kapacity a dlouhého dosahu [Zho]
- ◆ Takže musíme budovat datacentra nebo třeba urychlovače/teleskopy tak, aby byla v dosvitu těchto vysokorychlostních karet?
- ◆ Nebo se vrátíme k OEO regeneraci?
- ◆ To někdo bude muset zaplatit...

100G všude? – kdo to zaplatí? Štůfi nebo Valdík?



19.6. 2014

Novinky v meraní disperzie CD a PMD

11

100G všude? – kdo to zaplatí?



19.6. 2014

Novinky v meraní disperzie CD a PMD

12

100G všude? – kdo to zaplatí?

A pojištěnec,
ten to zaplatí...



Nemocenská
pojišťovna
ta to unese!

100G a pomalé signály

◆ 100G (QPSK) a 10/1G (OOK)

- Problém vlivu ASK/OOK na (Q)PSK znám (amplitudová modulace ovlivňuje fázovou, XPM): 10G „ruší“ 100G = snížení dosvitu, chybovost
- Vyjádření výrobců nejednoznačné (od koexistence 10/40/100G zcela bez problémů až po doporučení zcela eliminovat 10G OOK), jasné doporučení/pravidla autor nezískal i když se snažil
- Fotonická služba „přesný čas“ Praha-Vídeň je nejhorší případ, pod 1Gb/s, doporučení výrobce: použít velký odstup od 100G signálu
- Experimenty kdy jsme snižovali tento odstup až na 50GHz s výsledkem – chybovost 100G produkčního kanálu zůstala STEJNÁ (velmi malé rozdíly zapříčiněny výkonovou nevyrovnaností protože ROADM není bezbarvé), poděkování J.Verichovi a K.Slavíčkovi protože toto bylo prováděno na produkční síti CESNET2

100G a pomalé signály

- ◆ Proč pomalé signály – nové druhy aplikací
- ◆ Real-time, přesný čas, stabilní frekvence, ...
 - Minimální/konstantní zpoždění,
 - Důležitá odezva – časové omezení, nesmí dojít k překročení limitů
- ◆ Proč to všechno? Není to zbytečnost?
 - Protože to jde.
- ◆ Fyzika, navigační systémy, geodézie, astronomie, další obory (armáda)
- ◆ Redefinice jednotek SI

- ◆ Závěry I
 - 100G nebo dokonce 400G koherentní systémy nemusí vyřešit všechny problémy, nové druhy aplikací (real-time, high-speed trading, ...)
 - Samozřejmě také otázka ceny (\$\$\$ vs \$)
 - 10G mají pořád dobré uplatnění – měření JE důležité protože 10G systémy „neumí vše“
 - Nové směry (tzv. DCM-free) nemusí být vhodné pro všechny uživatele/operátory
 - Vyřeší koherentní systém/DCM-free návrh vše? Spojení typu Moskva-Peking asi ano, ale jinde zbývají zajímavé možnosti...
 - Autorovy poznámky ke 100G systémům jsou založeny na osobní zkušenosti v evropském tendru
 - Neměřiš – zaplatíš!

◆ Závěry II

- Je dobré vědět co síť (a zařízení) **doopravdy** umožňuje – měření a **vyhodnocení**
- Co všechno je třeba měřit? Linearity, nonlinearity...
- Měření OTDR, CD/PMD je základ (PMD podél železničních tratí apod.)
- Potřebná i další měření jako je in-band šum, velmi přesná spektrální měření, analýza modulačních formátů, konstelace
- Protokolová analýza 100G (OTN, Ethernet), 40G, 10G
- Analýza signálů osciloskopem (až 4x30G elektricky, nejen optika...)
- Nepodlehout jednostranné argumentaci a nepodcenit parametry
- CESNET nabízí: měření a vyhodnocení (v labu a mimo něj)
- Neměříš – zaplatíš!

STŘEDNÍ HODNOTA VÍKONU (CCITT) \bar{P}

$$\bar{P} = e^{-2(\bar{X} - \sigma_x^2)} \left[\frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{[x - (\bar{X} + 2\sigma_x^2)]^2}{2\sigma_x^2}} dx \right]$$

$$\bar{P} = e^{-2(\bar{X} + \sigma_x^2)}$$

◆ Novinky z OFC 2014. Post-deadline papers!

- ◆ Th5A.5.pdf, **Serial 103.125-Gb/s** Transmission over 1 km SSMF for Low Cost, Short-Reach Optical Interconnects, OOK, 40G komponenty.
- ◆ Th5A.7.pdf, **557-km Unrepeatered 100G** Transmission with Commercial Raman DWDM System, Enhanced ROPA, and Cabled Large Aeff Ultra-Low Loss Fiber in OSP Environment, na jeden hop
- ◆ Th5A.9.pdf, **1.4Tb Real-Time Alien Superchannel** Transport Demonstration over **410km** Installed Fiber Link Using Software Reconfigurable DP-16QAM/QPSK
- ◆ Th5B.1.pdf, **23 Tbit/s** Transmission over **17-km** Conventional **50- μ m Graded-Index Multimode** Fiber
- ◆ Th5B.3.pdf, Transmission of **20 \times 440-Gb/s** Super-Nyquist-Filtered Signals over **3600 km** based on **Single-Carrier 110-Gbaud** PDM QPSK with 100-GHz Grid

◆ Novinky z OFC 2014. Post-deadline papers!

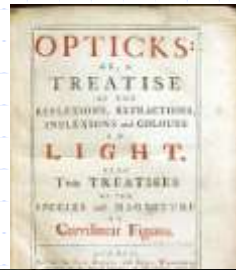
- ◆ Th5B.4.pdf, Transmission over **9,100 km** with a Capacity of **49.3 Tb/s** Using Variable Spectral Efficiency 16 QAM Based Coded Modulation
- ◆ Th5C.1.pdf, Single-Chip **Silicon Photonics** 100-Gb/s Coherent Transceiver
- ◆ Th5C.3.pdf, Ultra-Compact Monolithic Integrated **InP Transmitter** at **224 Gb/s** with **PDM-2ASK-2PSK** modulation
- ◆ Th5C.5.pdf, Programmable Gain Equalizer for **Multi-Core Fiber Amplifiers**
- ◆ Th5C.6.pdf, **100-Gb/s Single-band** Real-time Coherent Optical DP-**16QAM-OFDM** Transmission and Reception
- ◆ Th5C.7.pdf, **160-Gb/s Stokes Vector** Direct Detection for Short Reach Optical Communication
- ◆ Th5C.8.pdf, All-Electronic Flexibly Programmable **864-Gb/s Single-Carrier** PDM-64-QAM

- [Tip] E. Tipsuwannakul et al, Mitigation of Fiber Bragg Grating-Induced Group-Delay Ripple in 112 Gbit/s DP-QPSK Coherent Systems, OFC 2012.
- [Ter] Benoit Maheux-Lacroix, TeraXion, High Level Dispersion Compensator for Ultra Long-Haul Coherent Detection Links, 2012.
http://www.teraxion.com/images/stories/pdf/White_paper_HLDC_v5.pdf
- [Aug] J.L. Augé, Can we use Flexible Transponders to Reduce Margins?, OFC 2013.
- [Rob] K.Roberts, <http://www.gazettabyte.com/home/2012/5/30/2020-vision.html>
- [Ben] <http://blog.infinera.com/2014/01/06/coherent-technology-you-cant-have-too-much-of-a-good-thing/#more-1073>
- [PS] GN3 report, Photonic Services: Challenge for Users and for Networkers, 2013.
- [Kik] K. Kikuchi: Coherent Optical Communications: Historical Perspectives and Future Directions, Springer, 2010.
- [Gro] archiv.ces.net/events/2012/cef/p/Design%20Considerations%20for%20mixed%2010Gand100G%20flexible%20long-haul%20WDM%20Networks.pdf
- [Kar] M.Karásek et al: Optimalizace přenosu NRZ dat rychlostí 10Gb/s po G.652, OK2003. (vliv nelinearit, kompenzace CD).
<http://excom.vsb.cz/index.php/articles/final-reports/46-tes8-ostrava>
- [Mak] S. Makovejs: High-speed optical fibre transmission using advanced modulation formats, PhD thesis, UCL, 2011.
- [Zho] X.Zhou et al: For the Long Haul: Maximizing Transmission Distances for 400-Gb/s Signals over the Existing Grid www.research.att.com/techdocs/TD_101176.pdf

Poděkování:

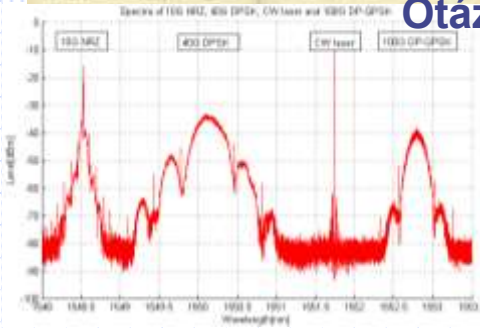
CESNET: Lada Altmanová, Jan Gruntorád, Miloslav Hůla, Martin Míchal, Jan Nejman, Václav Novák, Karel Slavíček, Vladimír Smotlacha, Stanislav Šíma, Pavel Škoda, Josef Verich, Josef Vojtěch

PROFiber Networking: Jan Brouček, Josef Beran



Děkuji za pozornost.

Otázky?



28.8.2014

Představení optické laboratoře CESNET

23