

PRIMJENA SVJETLOVODNIH VLAKANA U KABLIRANJU PODATKOVNIH CENTARA

IMPLEMENTATION OF OPTICAL FIBERS IN DATA CENTERS CABLING

Autor: mr.sc. Sead Dubravić

SAŽETAK

Kabelski sustavi velikih podatkovnih centara moraju moći podnijeti sve veću glad za brzinom prijenosa između jedinica unutar centra - brzine prijenosa od 40Gbs ili 100Gbs danas su imperativ i postoje pripadajuće međunarodne norme, a standardizaciona tijela već par godina rade i na normiranju prijenosa na brzini 400Gbs. Kako su distance unutar centra malene, ispod 100met, navedene brzine dozvoljavaju prijenos bakrenim i optičkim kabelima. Međutim, 10GBASE-T rješenja po bakrenim paricama, iako najjeftinija, konzumiraju 5 do 10 puta više električne energije od optičkih rješenja, pa su ulaganja u efikasnu klimatizaciju kapitalna. Optički prijenos nema taj problem, ali tu pak klasična svjetlovodna vlakna ne zadovoljavaju komunikacijske zahtjeve. Jednomodna vlakna su svakako dovoljno brza, ali skupoća aktivnih komponenata ne opravdava njihovu masovnu primjenu u data centrima, osim u magistrali. Klasična OM2 višemodna vlakna su pak prespora, pa su razvijena specijalna "Laser Optimized Fiber" vlakna : norme OM3, OM4 i dr. koja su dovoljna brza i doduše skupa, ali je razvoj jeftinih VCSEL lasera na 850nm iznjedrio najekonomičnije rješenje umrežavanja data centara za prijenose >10Gbs upravo po tim vlaknima.

U ovom radu razmatraju se principi kabliranja data centara uporabom OM3 i OM4 optičkih kabela. Posebno se ukazuje na neophodnost korištenja paralelnih optičkih linkova radi postizanja željene brzine 40Gbs ili veće, budući da disperzija i popratni efekti ograničavaju agregatnu brzinu prijenosa na 10Gbs po jednom vlaknu. Iznosi se i obrazlaže pregled postojećih, a i budućih međunarodnih normi.

ABSTRACT

Cable systems in large data centers must be able to handle the increasing hunger for transmission speed between units within the center. Transfer speeds of 40Gbs or 100Gbs today are imperative and there exist corresponding international standards, even standardization bodies have already working on the standardization of the transmission speed 400Gbs. As the distances within the centre are small, below 100m, the usage of copper and optical cables are in consideration. However, 10GBASE-T solutions for copper twisted pair, although the cheapest, consume 5 to 10 times more electricity than optical solutions, and request capital investment in air conditioning sytem. Optical transmission does not has this problem, but classical optical fibers do not meet communication or economic requirements. Single-mode fiber are certainly fast enough, but cost of active components does not justifies their mass usage in data centers. Legacy OM2 multimode fibers are in turn too slow, but developed are special "Laser Optimized Multimode Fibers", which are fast enough and admittedly expensive, but the development of low-cost VCSEL lasers at 850nm gives the most economical solution for data center cabling transmissions 10Gbs and beyond, precisely in these fibers.

This paper discusses the principles of cabling data center using OM3 and OM4 fiber optic cables. In particular, the necessity of the usage of paralell optical links in order to achieve the required speed 40Gbs or greater is shown, since the dispersion and other effects limits the aggregate transmissions > 10Gbs through one OM4 fiber. The author explains a review of the existing and the future international standards.

1. UVOD

Današnji data centri predstavljaju ogromne količine podataka koje je potrebno uskladištiti i njima efikasno upravljati. Dodavanjem novih servera i pripadajućih memorijskih elemenata može se postići željeni kapacitet centra, ali je cijena ekspanzije eksponencijalno rastući zahtjev na prijenosnim pojasom pripadajućeg komunikacijskog podsustava. Radna grupa IEEE802.3 je g.2012. objavila analizu da se brzina servera udvostručuje svaka dva mjeseca, a magistralne mrežne opreme čak svakih 18 mjeseci. Progresivno povećanje podatkovnih centara povećalo je stoga brzine prijenosa unutar centra na 40 ili 100Gbs, a razmatra se i 400Gbs. Čak i svjetlovodna tehnologija danas sa naporom odgovara ovom izazovu, dok bakrena kabela rješenja idu do 10 Gbs.

Slika 1: Izgled tipičnog data centra



Najbrži jednomodni kablanski sustavi s lakoćom bi odgovorili na prijenosne brzine unutar centra i na brzinama iznad 400Gbs, poglavito zbog malih distanci, najčešće unutar 100 metara ili nešto dulje. Na prvi pogled takva bi rješenja bila i najekonomičnija, obzirom da su jednomodna vlakna obzirom na jednostavnost konstrukcije i masovnost proizvodnje, i najjeftinija vlakna. Ali jednomodni komunikacijski sustav traži i aktivne komponente, poglavito visokousmjerene CW lasere „edge emitting“ tipa na 1310/1550nm, koji su i danas vrlo skupi. Obzirom na paralelnost brojnih optičkih linkova u data centru, njihova cijena premašuje cijenu pasivnog kablanskog sustava do te mjere da su pronađena dovoljno brza ekonomičnija rješenja.

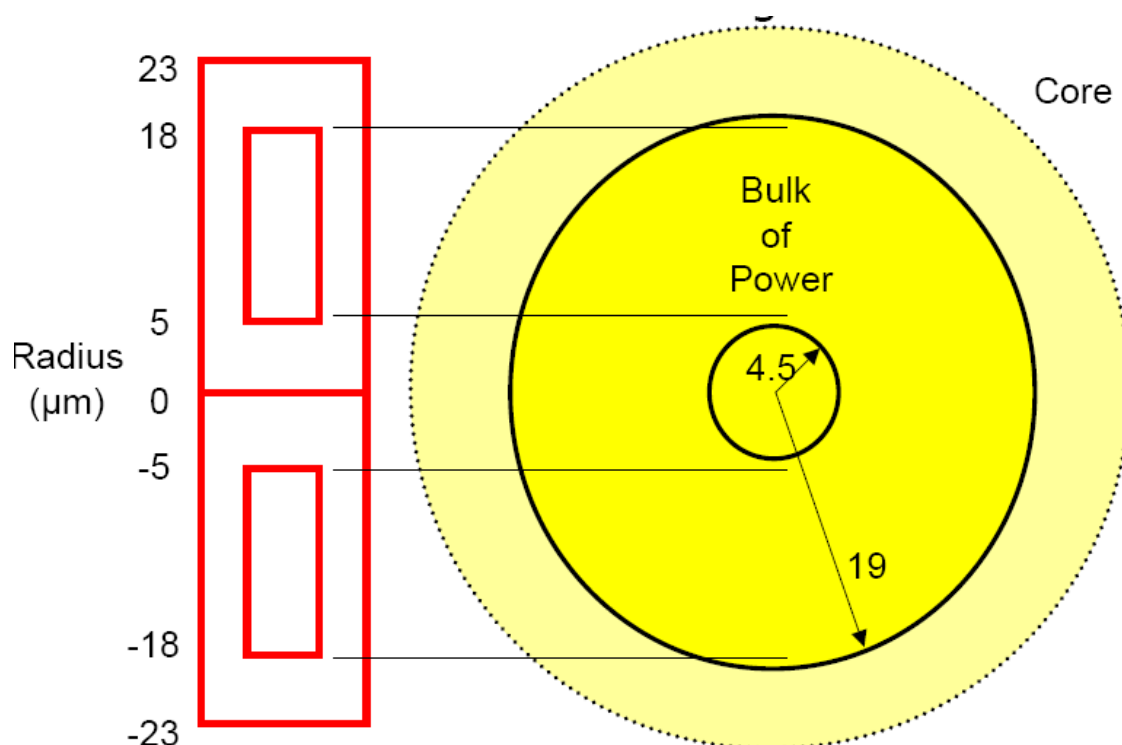
2. TEHNOLOŠKE PREMISE

Kroz proteklo desetljeće zapravo su postavljene tehnološke osnove za višemodne komunikacijske sustave velikih brzina, doduše još uvijek za red veličine sporijih od jednomodnih sustava. Prije svega tu mislimo na:

- **LOMF - Laser Optimized Multimode Fiber:** nova višemodna vlakna optimizirana za rad s laserskim diodama (danas standardizirana kao OM3, OM4) vlakna. Vještím dopiranjem pojedinih slojeva 50 μ m jezgre postignuti su pojasevi i gotovo 5GHz*km, koja su omogućila prihvatljive domete na 10Gbs.
- **VCSEL – Virtual Cavity Surface Emitting Laser:** nova vrsta lasera koji emitiraju iz provrta u glavnoj plohi supstrata na valnoj duljini 850nm i tehnološki se lako i jeftino izvode
- **MPO/MTP – Multi Fiber Connector:** tehnologija koja je omogućila direktno konektiranje i prespajanje višenitnih trakastih (ribbon) ili okruglih optičkih kabela, za i do 24 niti istovremeno, što se pokazalo od izuzetne važnosti u kabliranju data centara, standardizirano po ANSI/TIA-942.

Na Slici 2 je prikazano OM3 višemodno vlakno. Iako je fizički promjer jezgre 50 μ m, sofisticiranim dopiranjem slojeva u jezgri postignut je efektivni radius unutar kojeg VCSEL puni vlakno od svega 19 μ m, a većina svjetlosnog toka se drži unutar kruga radiusa 4,5 μ m. Time je „de facto“ simulirano jednomodno vlakno, pa je i disperzija u vlaknu, a time brzina poboljšana i za 10 puta u odnosu na klasično OM2 vlakno. Iz istih razloga vlakno je nemoguće napojiti klasičnom neusmjerenom LED diodom (uostalom kao i jednomodna vlakna). Sofisticirani način dopiranja OM3 vlakna kojem je postignut nelinearni indeks loma uvjetuje visoku cijenu OM3 vlakna, i za 60% u odnosu na OM2, ali distance u podatkovnom centru su male, pa time i potrebne duljine kabela.

Slika 2: Struktura OM3 višemodnog vlakna po TIA-492AAAD i po IEC 60793-2-10



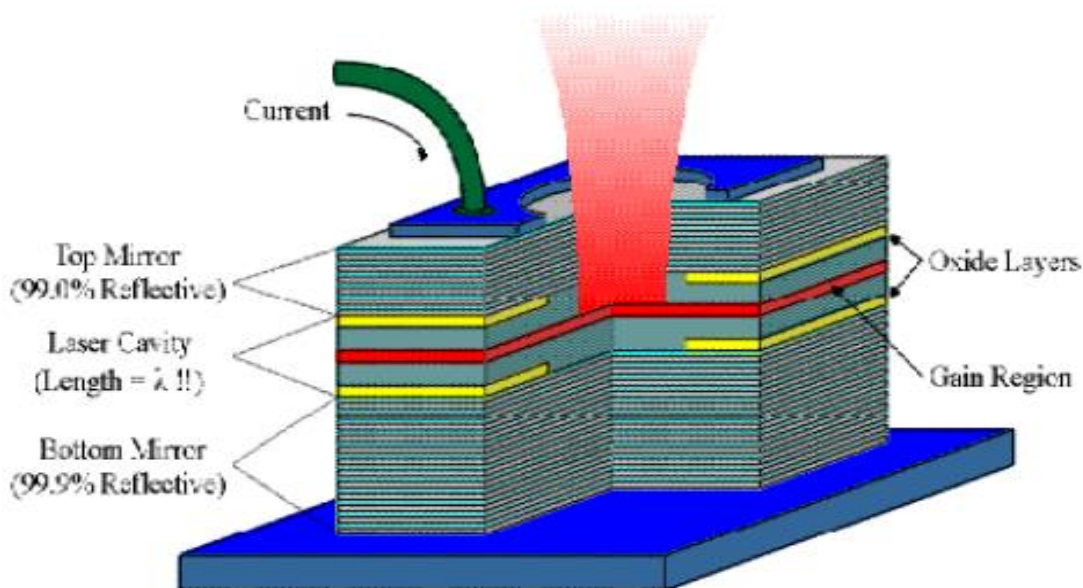
U Tabeli 1 je prikazan prijenosni pojas za OM2, OM3 i OM4 vlakna. OM1 se više ne koristi. Vidljivo je da na 850nm OM4 vlakno ima uz VCSEL pobudu modalnu disperziju od 4,7GHz*km, odnosno na 40Gbs domet je glede disperzije zadovoljavajućih 125 metara (ali ISI efekti dodatnog gušenja smanjuju tu brzinu na 10Gbs). Komparacije radi, prikazano je i G.652 jednomodno vlakno, koje ima domet i preko 40km na istoj brzini (dakle 320x više), ali pobudom skupog „edge“ lasera na 1550nm! Vrijedi napomenuti da je OM3 vlakno normirano i po TIA-492AAAD i po IEC 60793-2-10 Fiber Type A1a.3.

Tabela 1: Usporedba prijenosnih širina i dometa za razne vrste MM vlakana kod brzina >1Gbs

Test Requirement	OM1 – 62.5 μm	OM2 – 50 μm	OM3 – 50 μm	OM4 – 50 μm	Single Mode
OFL Bandwidth @ 850/1300 nm	200/500 MHz·km	500/500 MHz·km	1500/500 MHz·km	3500/500 MHz·km	No Requirement
EMB @ 850 nm	No requirement	No requirement	2000 MHz·km	4700 MHz·km	No Requirement
Minimum reach @ 1 Gb/s	275/550m* (850/1300nm)	550/550m* (850/1300nm)	800/550m* (850/1300nm)	1100/550m* (850/1300nm)	5000m* (1300nm)
Minimum reach @ 10 Gb/s	33m*	82m*	300m* (850nm)	550m* (850nm)	10000m* (1300nm)
Minimum reach @ 40 & 100 Gb/s	No requirement	No requirement	100m* (850nm)	125m* (850nm)	10km/40km* (1310/1550nm)

Na slici 3 je prikazan VCSEL laser. U odnosu na „edge“ lasere ovaj je deblji i ne emitira bočno, već preko rupe izbušene u supstratu. Stoga se manje zagrijava jer svjetlost ne prolazi kroz aktivni sloj, već izlazi okomito na njega van. Ovakve lasere znatno je lakše tehnološki napraviti, iako su manje izlazne snage od „edge“ lasera (slabiji lavinski efekt), ali su i višestruko jeftiniji. To je presudno u planiranju masivnih optičkih linkova u podatkovnim centrima.

Slika 3: Struktura VCSEL lasera na 850nm



Brzina OM3/OM4 vlakna međutim nije dovoljna za ultrabrze prijenose 40Gbs i više, pa je neophodno povući više istovremenih paralelnih linkova između servera u centru. U praksi se koristi agregatna brzina od 10Gbs po pojedinom linku, a potrebna ukupna brzina se postiže agregacijom više paralelnih linkova. To međutim povlači veći broj paralelnih vlakana (kabela), ali i pripadajućih konektiranja. Rješenje je u MPO/MTP – Multi Fiber Connector: tehnologiji koja je omogućila direktno konektiranje i prespajanje višenitnih trakastih (ribbon) ili okruglih optičkih kabela, i za do 24 niti istovremeno. Uporaba gotovih predkonektiranih formi: glava kabela, multispreznika s konektorima (tkzv. fan-out) itd. polučila je efikasno i ekonomično, ali i nadasve pouzdano kabliranje data centra.

Na Slici 4 je prikazan MPO multinitni konektor za trakasti „ribon“ kabel i pripadajući adapter za spoj na klasični optopanel. Na željenu duljinu konfekcionirani kabel s posebnim kabelskim glavama se provlači unutar centra, a nakon polaganja spaja se na optopanele pomoću „fan out“ adaptera. Time je kabliranje izvedeno modularno i lako za održavanje.

Slika 4: Izvedba MPO multinitnog trakastog optičkog konektora i kableske „fan-out“ glave



3. KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI PODATKOVNOG SLOJA

Paralelno s razvojem pasivnih i aktivnih komponenata za prijenose ultravelikih brzina, razvijali su se i adekvatni protokoli podatkovnog sloja. Tu prije svega mislimo na dvije grupe standarda: Ethernet IEEE 802.3 i Fibre Channel u svojim unaprijedenim varijantama.

ETHERNET u svojim unaprijedenim verzijama 10GbE, 40GbE, 100GbE, pa čak i 400GbE je tu ili pred vratima. Mnogi proizvođači mrežne opreme imaju priključak na brzini 40/100GbE. Radna grupa IEEE 802.3 je još g.2002. postavila Ethernet normu 802.3ae koja je podigla visinu ljestvice na 10Gbs, a g.2010. ju je ratificirala kao osnovu za izgradnju novih standarda na 40 i 100Gbs. IEEE nije razvila kompletno novi prijenos za te povećane brzine, već je predvidjela uporabu paralelnih linkova po standardu 10GbE.

Za višemodna vlakna OM3/OM4 tipa, tako 40GbE zahtjeva 4 dupleksne linije 10GbE, a za 100GbE čak 10 dupleksnih linija 10GbE (linija je par višemodnih vlakana za Tx/Rx) – norma IEEE 802.3ba.

Cilj radne skupine je nadalje bio postići domet 10GbE od barem 100met u višemodnom vlaknu, a time automatski i 40GbE i 100GbE (zbog paralelnosti), što se uspjelo uporabom višemodnih OM3 vlakana i VCSEL ekonomičnih lasera. Pojava OM4 vlakna pomaknula je tu granicu na 150 metara.

Za jednomodna vlakna, cilj je bio postići domet od 10km na 40GbE po jednom paru vlakana. Brzine od 100GbE postižu se uporabom WDM multipleksa na 4 valne duljine u oba smjera (4 x 25Gbs) – norma 100GBASE-LR4. Za one kojima je to premalo postavljena je i poboljšana norma 100GBASE-ER4 sa laserom koji dohvaća 40km!

U Tabeli 2 dan je prikaz Ethernet normi za data centre na brzinama 40 i 100Gbs.

Physical Layer Reach	1 m Backplane	7 m Copper Cable	100 m OM3, 125 m OM4 MMF	10 km SMF	40 km SMF
40 Gigabit Ethernet Target Applications: Servers, Data Center, Campus, Metro, Backbone					
Name	40GBASE-KR4	40GBASE-CR4	40GBASE-SR4	40GBASE-LR4	
Signaling	4 x 10 Gbps	4 x 10 Gbps	4 x 10 Gbps	4 x 10 Gbps	
Media	Copper backplane	Twinax cable	MPO MMF	Duplex SMF	
Module/Connector	Copper backplane	QSFP module, CX4 interface	QSFP module	QSFP module, CFP interface	
Availability	No known development	2010	2010	QSFP: 2011–2012 CFP: 2010	
100 Gigabit Ethernet Target Applications: Data Center, Campus, Metro, Backbone, WAN					
Name		100GBASE-CR10	100GBASE-SR10	100GBASE-LR4	100GBASE-ER4
Signaling		10 x 10 Gbps	10 x 10 Gbps	4 x 25 Gbps	4 x 25 Gbps
Media		Twinax cable	MPO MMF	Duplex SMF	Duplex SMF
Module/Connector		QSFP module, CX4 interface	CXP module, CFP module	CFP module	CFP module
Availability		2010	2010	2010	2011–2012

FIBRE CHANNEL – tehnologija prvenstveno razvijena za povezivanje memorijskih jedinica visokog kapaciteta (tkz. SAN – Storage Area Networks) pokazala se u naprednim varijantama kao rješenje za optičko povezivanje unutar data centra, gdje su udaljenosti male, a brzine velike.


U Tabeli 3 je prikazana normizacija Fibre Channel standarda. Za trenutne standarde 1, 2, 4 do 16GFC koristi je jedan link najveće linijske brzine cca 14Gbs (za 16GFC), dok se daljnje ubrzanje postiže kao i kod Etherneta izgradnjom paralelnih linkova, npr. 128GFCp = 4 x 32GFC. Iznimno u magistralnim vezama između podatkovnih centara može se koristiti Fibre channel ISL opcija u koracima 10, 20, 40 i 100GFC, gdje se npr. 100GFC realizira kao paralela 10 x 10GFC.

Tabela 3: Fibre Channel norme

Product Naming	Throughput (MBps)	Line Rate (GBaud)	T11 Spec Technically Completed (Years)‡	Market Availability (Years)‡
1GFC	200	1.0625	1996	1997
2GFC	400	2.125	2000	2001
4GFC	800	4.25	2003	2005
8GFC	1600	8.5	2006	2008
16GFC	3200	14.025	2009	2011
32GFC	6400	28.05	2013	2015
128GFCp	25600	4x28.05	2014	2015
64GFC	12800	TBD	2016	Market Demand
128GFC	25600	TBD	2019	Market Demand
256GFC	51200	TBD	2022	Market Demand
512GFC	102400	TBD	2025	Market Demand
1TFC	204800	TBD	2028	Market Demand

Ukoliko se Fibre Channel želi protegnuti preko već postojećeg Ethernet kanala, na raspolaganju su FCoE (Fibre Channel over Ethernet) standardi 10, 40, 100 i 400GFCoE, gdje je paralelnost obavezna već kod brzina 40Gbs i većih (Tabela 4).

Tabela 4: Norme Fibre Channel over Ethernet (FCoE)

Fibre Channel Speed Roadmap – FCoE 				
Product Naming	Throughput (MBps)	Equivalent Line Rate (GBAUD)	Spec Technically Completed (Year)	Market Availability (Year)
10GFCoE	2400	10.3125	2008	2009
40GFCoE	9600	4x10.3125	2010	2013
100GFCoE	24000	10x10.3125	2010	Market Demand
100GFCoE	24000	4x25.78125	2015	Market Demand
400GFCoE	96000	TBD	TBD	Market Demand

Pomoću niže prikazanih dijagrama - „kuharica“ može se odabrati željeni domet, ovisno o tome da li se odlučite za Fibre Channel ili za Ethernet standard kao komunikacijsku osnovu

podatkovnog centra. Pri tome treba ponoviti da se brzine > 10Gbs u OM3/OM4 vlaknu postižu isključivo paralelnim linkovima, dakle umnožavanjem istovjetnih optokabelskih dionica, što bitno utječe na proračun potrebnih kapaciteta kabelskih kanala i vodilica. Za budući 400GbE link potrebna su čak 32 vlakna - po 16 u svakom smjeru, bez obzira što je agregatna brzina po svakom vlaknu 25Gbs!

Dijagram 1: ETHERNET- ovisnost udaljenosti o brzini za različita vlakna u data centru

	Data Center	Lg. Data Center	Very Lg. Data Center	Backbone			
Link Speed							
1 Gb/s	OM3/OM4						
10 Gb/s	OM3/OM4					OM4	
40 Gb/s			OM4		OS1/OS2		
100 Gb/s			OM4		OS1/OS2		
Link Distance	100m	150m	300m	550m	1000m	>1000m	

Dijagram 2: FIBRE CHANNEL- ovisnost udaljenosti o brzini za različita vlakna u data centru

Link Speed	Media Type								
4G FC	OM3/OM4						OM4		
8G FC 800-M5-SA-I	OM3/OM4								
8G FC 800-M5-SN-I					OM4		OS1/OS2		
16G FC			OM4		OS1/OS2				
Link Distance	100m	125m	150m	190m	300m	380m	400m	>400m	

4. FAKTORI VAŽNI KOD PROJEKTIRANJA OPTIČKIH LINKOVA U DATA CENTRU

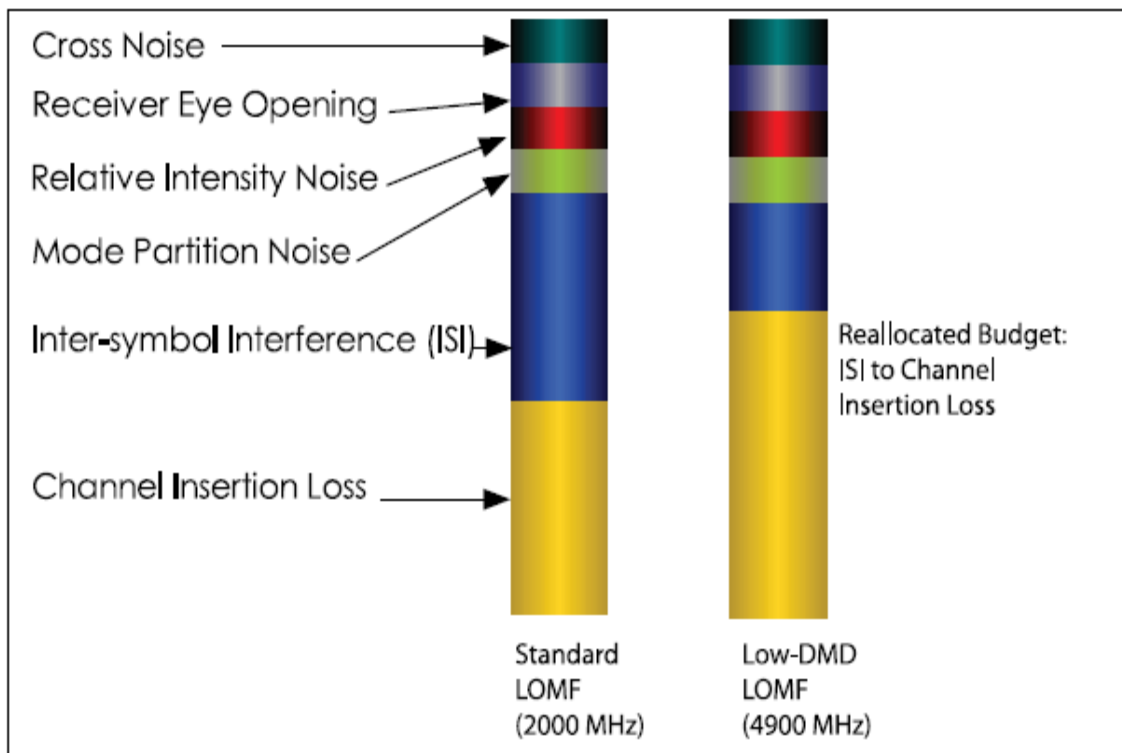
Za sve optičke linkove, a posebice one koje se koriste u kabliranju data centara, prijenosni kapacitet je određen proračunom gušenja i proračunom disperzije – kod OM4 višemodnog vlakna modalna disperzija je minimizirana, ali je DMD-Diferencijalna Modalna Disperzija dominantna, a koja nastaje zato što se „debelo“ višemodno vlakno pobuđuje usmjerenim VCSEL laserom, tipičnim za jednomodne sustave.

Glede ukupne disperzije, ona je za OM4 vlakno normirana u funkciji prijenosnog pojasa: $4.700\text{MHz} \times \text{km}$. Jednostavnim dijeljenjem te vrijednosti sa željenom maksimalnom brzinom od 40GbE, dobije se da je domet cca 120met, u ovu računicu nije uključen utjecaj fizičkog kodiranja optičkog signala. Za brzine 10GbE i manje, DMD ne utječe direktno za domete do ispod 1000m, tada je dominantno gušenje.

Glede proračuna gušenja, kod prijenosa velikim brzinama reda 10Gbs i većih u OM3/4 vlaknu, ukupno uneseno gušenje komponenata (konektora, vlakna, optopanela, prespojnih optokabela itd..) dodaje se na gušenje uzrokovano tkzv. ISI-efektom (Intersymbol Interference) koje je znatno i oštro ograničava domet. Stoga je bitno koristiti pasivne komponente sa minimalnim gušenjima, specijalno izvedenim baš za kabliranje podatkovnih centara, a kabliranje izvesti vrlo kvalitetno i bez oštih savijanja. Razvijene su specijalne vrste vlakana koje su bitno otpornije na „macrobending“.

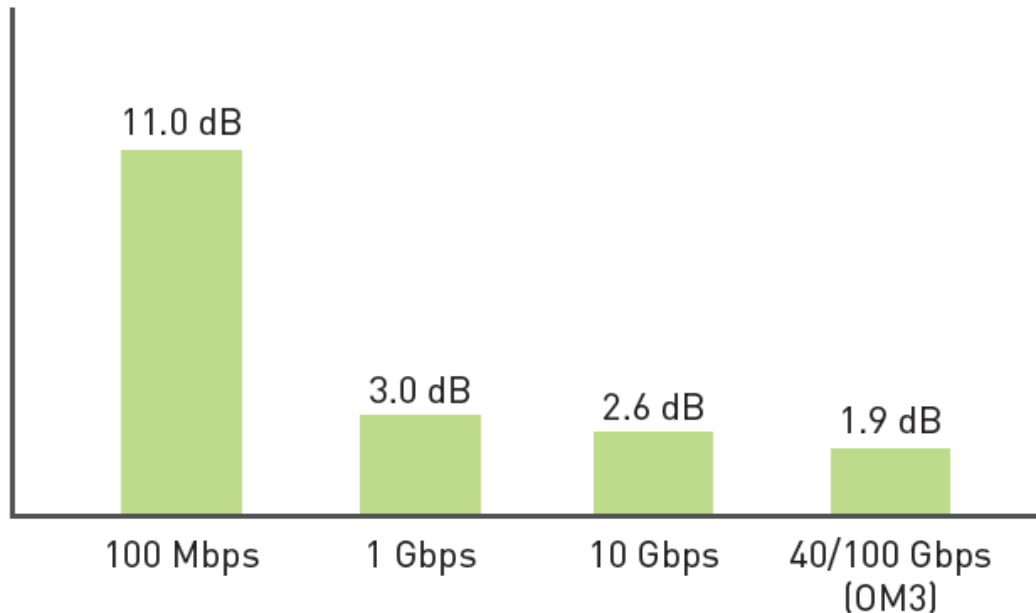
Na Slici 5 su vizualno prikazane komponente ukupnog gušenja za OM3 i OM4 vlakno. Bolje vlakno (OM4) ima manji ISI i veću korisnu rezervu.

Slika 5: Utjecaj pojedinih izvora gušenja u OM3/OM4 vlaknu na rezervu sustava



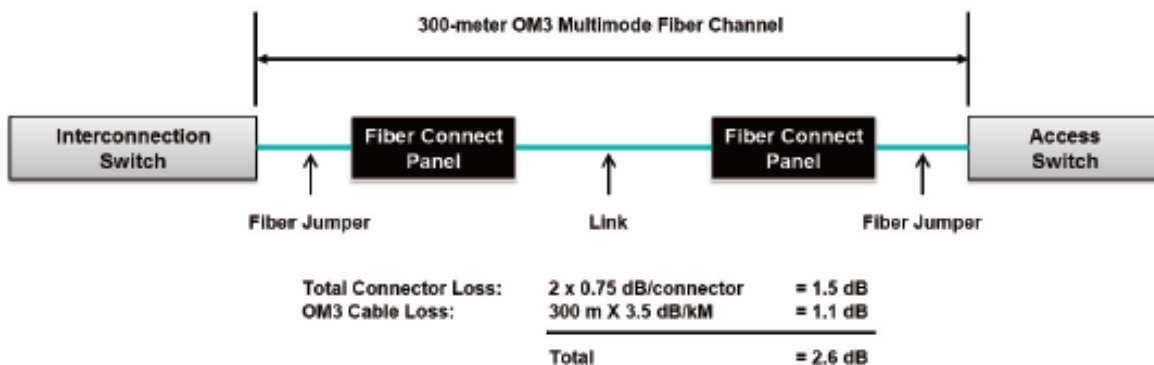
U Dijagramu 3 je prikazano maksimalno dozvoljeno gušenje OM3 linka u data centru za prijenose ultravelikih brzina. Uočite da je dozvoljeno premostivo gušenje za još „umjerenu“ brzinu od 10Gbs vrlo maleno, svega 2.6dB pa treba vrlo pažljivo izgraditi optičke konekcije (što je i definirano normom IEEE 802.3ae-2002). Za veće brzine situacija se pogoršava. Problem se rješava uparivanjem komponenata što minimizira ukupno gušenje.

Dijagram 3: Normirano maksimalno gušenje OM3 kablenskog sustava po IEEE 802.3ae



Na Slici 6 razloženi su elementi kablenskog sustava data centra gdje se stvara gušenje. OM3/OM4 vlakno guši normiranih 3.5 dB/km na 850nm. Uporabom već dva prespojna panela (na oba kraja po 0.75dB) koji su neizbježni radi komfora rukovanja centrom, već postizemo maksimalno dozvoljeno gušenje. Uporabom najkvalitetnije kablenske opreme i uparivanjem konektora postižu se prihvatljiva gušenja. Standardi na 40Gbs (10GBASE-SR4) i 100Gbs (100GBASE-SR10) još su pooštrili ovaj zahtjev (1,9dB/100m odnosno 1,5dB/150m respektivno!).

Slika 6: Tipični konekcijski scenario u optičkom linku data centra



U Tabeli 5. prikazano je dozvoljeno gušenje optičkog linka u ovisnosti o brzini prijenosa za OM3/OM4 vlakno i pripadajuće premostive distance koje se postižu.

Tabela 5: Maksimalna dopuštena gušenja za brzine 1,10,40 i 100Gbs za OM3/OM4 vlakno

Fiber Type	1000BASE-SX (1 Gb/s)		10GBASE-SR (10 Gb/s)		40GBASE-SR4 (40 Gb/s) 100GBASE-SR10 (100 Gb/s)	
	Distance (m)	Channel Loss (dB)	Distance (m)	Channel Loss (dB)	Distance (m)	Channel Loss (dB)
OM3	1000	4.5	300	2.6	100	1.9
OM4	1100	4.8	400	2.9	150	1.5

Iz razloga paralelnosti radi postizanja ukupne željene brzine, koriste se MPO/MTP višenitni konektori čija se gušenja kreću u rasponu 0,3 – 0,5 dB po vlaknu. Očigledno je da i uz najbolje uparivanje nije moguće koristiti više od 2 ili najviše 3 prespojna mjesta, prema Slici 6!

Poseban problem čini i tkzv. "skew": kašnjenje signala međusobno između paralelnih optolinkova (max 79ns). Radi minimizacije kašnjenja paralelna vlakna trebaju ići istim fizičkim stazama, odnosno ona trebaju biti što približnije duljine (što je pak suprotno zahtjevu za alternativnim redundantnim vezama).

5. IZGRADNJA PARALELNIH OPTIČKIH LINKOVA

Za postizanje željenih prijenosnih brzina, u podatkovnim centrima koriste se linkovi N x 10Gbs po višemodnom OM3/OM4 vlaknu. Tako su za brzinu 40GbE potrebna 4 linka, a za 100GbE čak 10 linkova na 10Gbs. To bi značilo da je za 100 GbE standard potrebno povući $2 \times 10 = 20$ svjetlovodnih niti (zbog dvosmjernog prijenosa). Pri tome poseban problem kod kabliranja postaje pitanje polariteta, jer se prijenos odvija u oba smjera, pa npr. kod „cross“ kabela treba redirekciju izvršiti nad kompletnom grupom vlakana. To pak u realizaciji zahtjeva i višeportne integrirane aktivne komponente (npr. VCSEL Array).

Kod jednomodnih konekcija, koristi se pak brzina od 40GbE, odnosno 100GbE, putem 4 dupleksna linka brzine od 10GbE, odnosno 4 dupleksna linka od 25GbE, respektivno, ali uvijek samo na paru vlakana (Tx/Rx dupleksno). Jednomodna vlakna ne „pate“ od popratnih efekata kao što je ISI kod OM3/4 vlakana, pa je domet velik, i preko 40km. Obzirom na velike distance i duljine kabela, za paralelne linkove se ne koriste dodatna vlakna, već se CWDM-om multipleksiraju po valnim duljinama (ITU-T G.694.2 rešetka, sa razmakom kanala od 20nm u vrlo širokom pojasu 1271 – 1611nm). Time da je broj fizički potrebnih jednomodnih vlakana uvijek 2 (Tx i Rx). Danas se CWDM izvodi i kao ekonomičan pasivni uređaj.

Ali kao što je već rečeno na početku, jednomodna rješenja su u konačnica vrlo skupa zbog neizbježnih CW „edge“ lasera za pobudu visokim svjetlosnim energijama, pa se ona koriste gotovo isključivo za međusobno povezivanje udaljenih data centara, ili kada je brzina jedina opcija kod planiranja data centra. Tada međutim treba voditi računa o znatnom zagrijavanju unutar centra, obzirom na veliku snagu CW lasera, pogotovo ako ih je veći broj.

ZAKLJUČAK – ŠTO DOLAZI?!

IEEE je u ožujku 2013. formirao studijsku grupu za definiranje standarda na 400GbE po Ethernet protokolu sa željenim dometom 100m po OM4 višemodnim vlaknima, odnosno 0.5–10km po jednomodnim vlaknima. Fibre Channel nudi također nove ultrabrze tehnologije – pripremaju se rješenja za 256/512GFC kao i ISL međuveze 400GFC/FCoE.

Čini se da je danas OM4 višemodno vlakno predodređeno za kabliranje unutar podatkovnih centara, prvenstveno radi ukupne cijene konekcije, dok jednomodnim vlaknima preostaje povezivanje udaljenih data centara, prvenstveno zbog cijene. Bakrena rješenja (parična Cat6/Cat6a), na prvi pogled najjeftinija, imaju problema sa zagrijavanjem aktivnih komponenata i vrlo skupe klimatizacije (npr. 10GBASE-T standard), ili su pak ograničena na domete do 15 metara (twinaksijalna ili sabirnička rješenja).

Obzirom na eksponencijalni porast zahtjeva za brzinom unutar podatkovnog centra, biti će interesantno pratiti ovu utrku tehnologija u nastupajućim godinama.

Literatura:

- /1/ Rudi Montgelas, Lisa Huff „Fiber in the Data Center”, *Ortronics White Paper*, 2008.
- /2/ Cindy Montstream „40/100Gibait Ethernet and Beyond” *Ortronics - Legrand White Paper*
- /3/ John Kamino " Optical Fiber and Cabling Standards for Tomorrow's Data Center" *BICSI*
- /4/ ADC „TIA-942 Data Center Standards Overview" *ADC White Paper*
- /5/ Sead Dubravić, "Praktična primjena zakonske regulative na planiranje i izgradnju EKM mreža u suvremenoj stanogradnji" *KOM'2010: Zbornik radova sa Savjetovanja, 2010*
- /6/ Sead Dubravić, "Ubrzanje GPON širokopojsnih mreža primjenom CWDM spreznika" *KOM'2007: Zbornik radova sa Savjetovanja, 2007*
- /7/ Sead Dubravić "Tehnološke izvedbe FTTx kablskih sustava", *KOM'2006: Zbornik radova sa Savjetovanja, 2006*
- /8/ Sead Dubravić "Primjena optičkih kabela u lokalnim računalnim mrežama po standardima ISO", *KOM'95: Zbornik radova sa Savjetovanja, 1995*
- /9/ Sead Dubravić "Projektiranje i izgradnja monolitnih optičkih kablskih sustava", *KOM'97: Zbornik radova sa Savjetovanja, 1997*
- /10/ Paul Whittlesey "Fiber to the Curb and Beyond", *WaveOptics, 2002*

Podaci o autoru:

mr. sci. Sead Dubravić

NETIKS d.o.o. za telekomunikacije i informatiku , E-mail: podrska@netiks.hr , www.netiks.hr,

Sarajevska cesta 60, 10.000 ZAGREB, tel (01)6652940, 6652920, fax (01)6652902