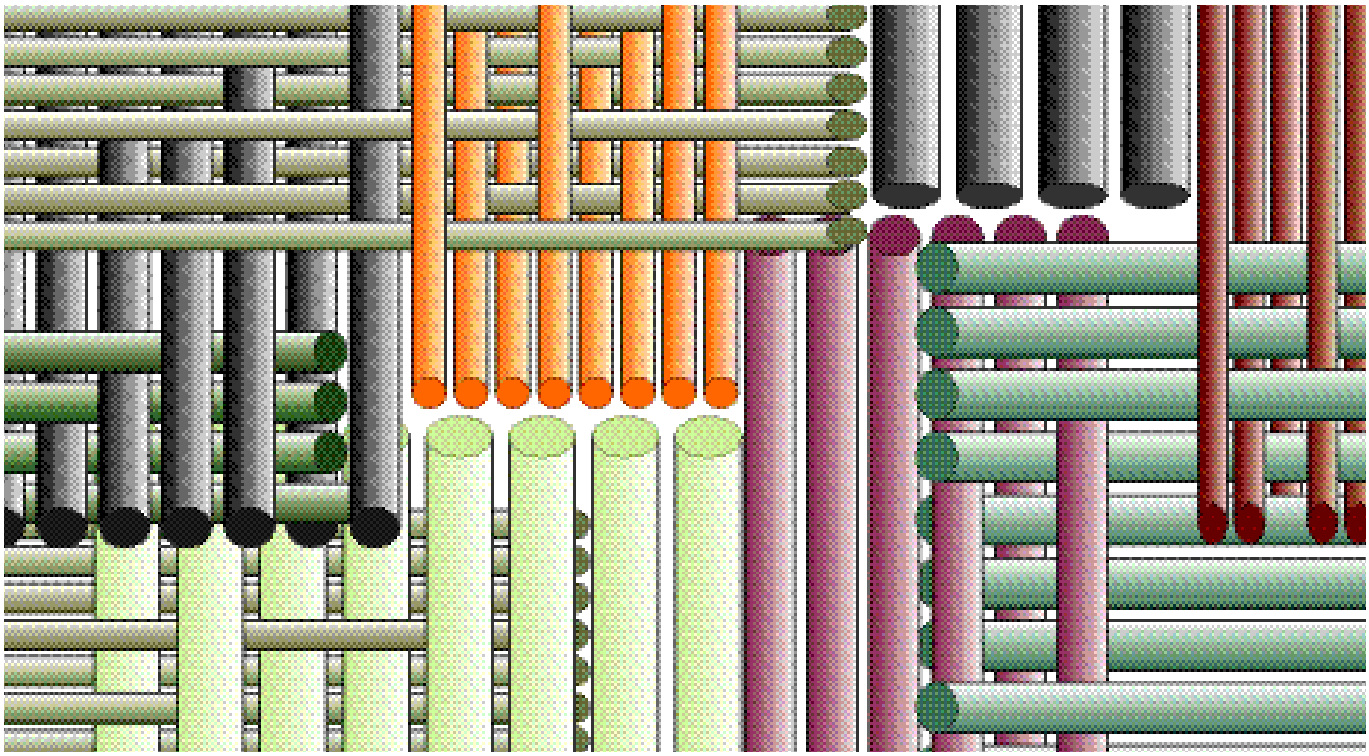


Technologie DWDM

Jak přivedenou optiku efektivně využít?

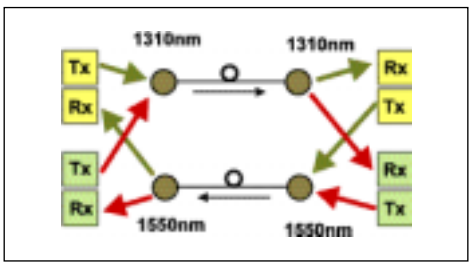
Neustále se zvyšující potřeba dostatečné kapacity pásma zejména na páteřních linkách podněcuje technologický vývoj k tomu, aby stávající infrastruktura byla využita v maximální míře. Jednou z možných cest při využívání kapacity optických vláken je v principu velmi jednoduchá, technologicky ale hodně komplikovaná technologie, která se označuje zkratkou DWDM.

Metody přenosu přes optické sítě

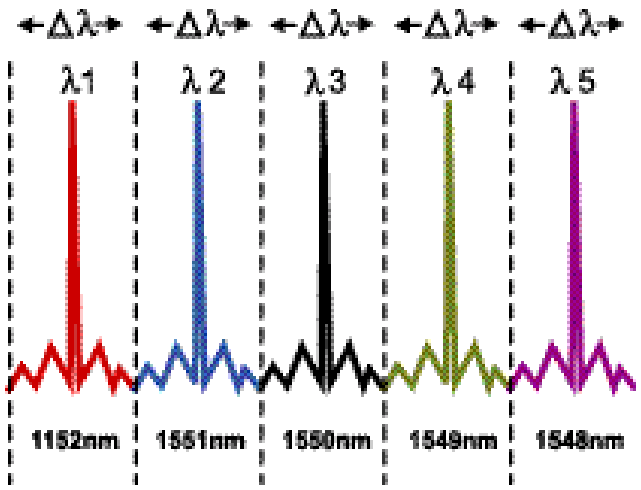
Dříve než si vysvětlíme, co vlastně zkratka DWDM znamená, pojďme se ve stručnosti podívat na to, jakým způsobem je realizován přenos dat optickým vedením. Vstupní signál je modulován na vlnovou délku, kterou je optický vodič schopen optimálně přenést. Vzhledem k nestejné velikosti útlumu pro různé vlnové délky jsou používány takové vlnové délky, při nichž je útlum minimální. Jsou to zejména hodnoty okolo 850nm, 1310nm (tzv. S band) a 1550nm (C band). Oblast okolo 850 nm je hodně úzká a má stále poměrně velký útlum. Je tedy využívána pro přenos na krátké vzdálenosti. Na druhou stranu lze v tomto pásmu zajistit poměrně laciné zdroje světla

Nyní se pojďme podívat na to, jakými směry můžeme postupovat, pokud se rozhodneme optickou infrastrukturu využívat pro přenos dat z několika nezávislých zdrojů.

Vynecháme-li možnost využít pro každý zdroj samostatný vodič, pak první cestou je Time-division multiplexing (TDM). Metoda založená na tom, že každý zdroj má přidělen stejně velký časový úsek na výstupu, v rámci kterého může vysílat a tento úsek se v pravidelných intervalech opakuje. Z popisu vyplývá, že přenosová rychlost na sdílené lince musí být dána minimálně součtem přenosových rychlostí jednotlivých vstupů. Typickým příkladem takového řešení jsou dnes běžně používané SONET/SDH sítě. U této technologie je přitom pevně definována hierarchie použitelných rychlostí. Základní rychlostí u SDH sítě je 155Mbit/s. Každá vyšší rychlost je čtyřnásobná oproti nejbližší nižší rychlosti. Čili, po 155Mbit/s následuje 622Mbit/s, 2,4 Gbit/s atd. TDM přístup zvyšování rychlosti je ale na optických vedení limitován schopnostmi laserového zdroje. Zjednodušeně řečeno tím, jak rychle dokáže „blikat“. Dalším omezením může být to, že rychlost nelze zvyšovat plynule, ale jak jsme již řekli, skokově. Pokud nám přestává stačit 622Mbit/s, musíme provést upgrade na 2,4 Gbit/s, i když by nám zatím postačoval třeba jen 1Gbit/s .



Obr. 2 Rozestup vlnových délek



Druhým přístupem je Frequency-division multiplexing (FDM), který se v souvislosti s optickými přenosy označuje častěji jako Wave-division multiplexing (WDM). Tato technologie využívá kapacitu optického média jiným způsobem. WDM přiřadí každému vstupnímu optickému signálu určitou specifickou frekvenci (nebo také vlnovou délku, lambdu, barvu). Po jednom vlákně pak probíhá současný přenos dat různých zdrojů, které se vzájemně nikterak neovlivňují. Je to obdobný přístup jaký využívá třeba kabelová televize na koaxiálním rozvodu. Kdybychom si představili optický vodič jako dálnici, tak WDM umožňuje na této dálnici využívat několik pruhů, zatímco TDM řešení umí využít jen jeden pruh a většího objemu přenosu dosahuje jen zvýšením maximální povolené rychlosti.

Vývoj DWDM

S WDM se začalo jednoduchým způsobem experimentovat v 80tých letech. Byly přitom použity pouze dvě a to ještě značně vzdálené frekvence, např. v pásmech 1310nm a 1550nm. Obr. 1 ukazuje příklad použití jednoduchého WDM řešení, kde jeden vodič je použit pro příjem a druhý pro vysílání mezi dvěma zařízeními v každé lokalitě. Jiným příkladem může být obousměrné využití jednoho vodiče. V takovém případě se po tomto vodiči odehrává přenos v jednom směru na 1310nm a v opačném směru na 1550nm.

Počátkem devadesátých let se objevuje úzkopásmové WDM, umožňující přenos až osmi kanálů. Pracuje v pásmu C a jednotlivé kanály mají rozestup okolo 400GHz. S příchodem systémů podporujících přenos 16 a více kanálů začínáme hovořit o Dense WDM (DWDM). Takováto zařízení se objevila zhruba okolo roku 1995 a používala rozestup 200 – 100 GHz mezi jednotlivými kanály. Dnes se můžeme setkat s řešeními, kde jsou jednotlivé lambdy v intervalu 50 – 25GHz a která umožňují přenos více než 64 kanálů.

ITU-T grid

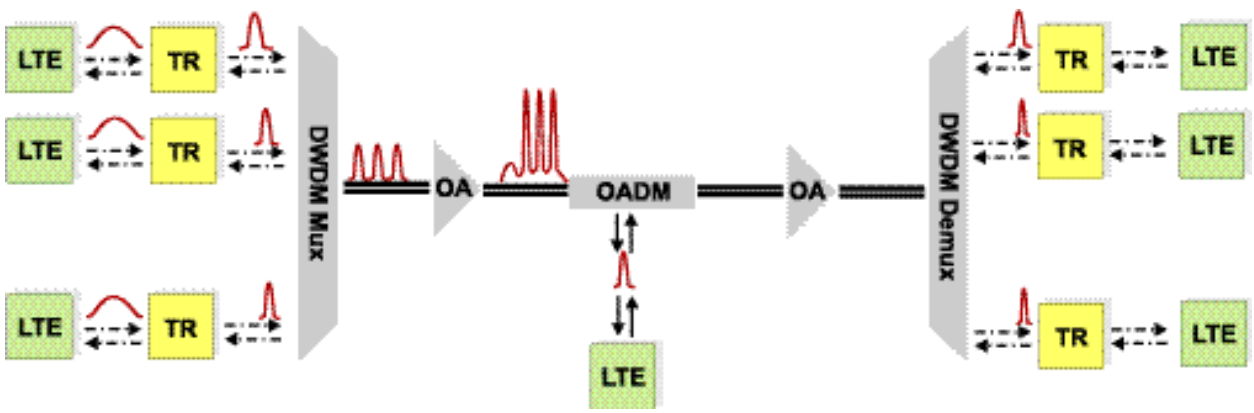
Pokud má být dosaženo interoperability mezi zařízeními různých výrobců, je třeba definovat a dodržovat určité standardy. Do námi probírané oblasti zasahují standardy ITU-T a asi nejdůležitější z nich je standard G.692, který mimo jiné definuje interval (rozestup, grid) mezi jednotlivými vlnovými délkami. Tento rozestup byl původně definován hodnotou 100GHz, v roce 1998 byl pak v souvislosti s pokrokem ve filtračních technologiích zkrácen na 50GHz. Tím vzniklo v pásmu C 81 standardních kanálů v rozsahu 1528.77-1560.61 nm. Výrobce přitom nemusí používat všech 81 kanálů, ani nemusí používat rozestup 50GHz. Může používat rozestup 100 nebo 200GHz, musí ale využívat vlnové délky definované standardem G.692.

DWDM zařízení

Schéma DWDM zařízení je znázorněno na obr. 3. Zkratkou LTE (Line terminal equipment) je označeno koncové zařízení, jehož optický signál chceme přes DWDM přenášet. Toto zařízení je připojeno na transpondér. Ten převádí vstupní širokopásmový signál na zvolenou vlnovou délku. Hovoříme v této souvislosti o tom, že vstupní signál dostal svoji lambdu nebo také barvu.

Úkolem multiplexeru je poskládat jednotlivé lambdy ze všech transpondérů a zajistit jejich společný přenos optickým vodičem. Demultiplexer provádí činnost opačnou. Separuje jednotlivé vlnové délky a přiřazuje je na jednotlivá vlákna. Tyto členy mohou být realizovány pasivně nebo aktivně. Pasivní metody pracují na principu optických hranolů, difrakčních mřížek a filtrů. Aktivní řešení navíc využívají laditelných filtrů.

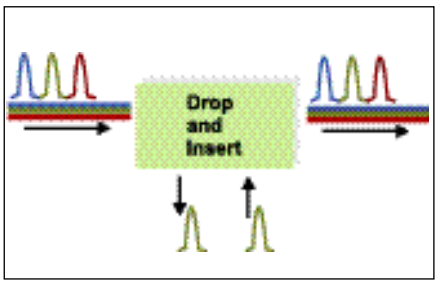
Obr. 3 Schéma DWDM zařízení



Zastavme se ještě na chvíli u transpondéru. Ten obvykle funguje jako O-E-O převodník, tedy zařízení, které vstupní optický signál převede na elektrický a tím je poté řízen DWDM laser. Vstupní rozhraní do transpondéru může být transparentní pro protokol i přenosovou rychlost nebo konstruované pro konkrétní technologii. V prvním případě, který je typický pro metropolitní DWDM zařízení, můžeme na transpondér připojit klientská zařízení s rozhraním Gigabit ethernet, SONET/SDH, Fibre Channel, FICON nebo např. ESCON. V druhém případě jsme vázáni na jeden konkrétní protokol, typicky SONET/SDH.

Optický zesilovač

Průchodem optického signálu vedením dochází k jeho útlumu. Po určité vzdálenosti je nutné signál zesílit tak, aby dorazil v přijatelné podobě do cílové lokality. Zároveň si ale musíme uvědomit, že nebudeme zesilovat pouze jeden signál, ale všechny lambdy, které vedením procházejí. Kdyby se celá operace měla provádět převodem všech přenášených vlnových délek na příslušné elektrické signály, které by se následně zesílily a opět převedly na optický signál, představoval by takový zesilovač značně nákladné řešení. Klíčovou technologií pro rozvoj DWDM sítí se tedy ukázaly optické zesilovače (OA), které dokáží opticky zesílit všechny lambdy, které vedením procházejí. Nejčastěji používaným je zesilovač používající několik metrů dlouhé optické vlákno obohacené erbiem (Erbium-doped fiber amplifier, EDFA). Do tohoto vlákna je přiveden DWDM signál a zároveň je k němu připojen laserový zdroj pracující v pásmu 850nm. Energie dodávaná laserem způsobí přechod elektronů erbia do excitovaného stavu, tedy na vyšší energetickou hladinu. Pokud v této době přijde do EDFA signál s vlnovou délkou okolo 1550nm způsobí pád elektronů zpět do základní energetické hladiny, ale zároveň je emitován foton o přesně stejné vlnové délce jakou měl vstupní signál. Vstupní signál je tedy takto zesílen. Jelikož excitovaný stav je velmi nestabilní a trvá jen velmi krátkou dobu, může se stát, že během této doby se neobjeví žádný zesilovaný signál. Elektron pak spontánně přejde do základního stavu za současného uvolnění fotonu, což je nežádoucí efekt zavádějící do přenosu šum. Dodejme ještě, že optické zesilovače se také často používají po multiplexingu a před demultiplexingem, neboť tyto mají také poměrně velký vliv na útlum signálu. Zároveň ale mysleme na to, že optický zesilovač pouze zesiluje, ale neprovádí úpravu tvaru signálu (reshape) ani úpravu časové informace (retime).



OADM

Mezi body, na kterých je prováděn multiplexing a demultiplexing, je tedy oblast, kde se po jednom vláknu přenáší několik vlnových délek najednou. Bylo by jistě velmi užitečné, kdybychom někde na této trase byli schopni jednu nebo více vlnových délek vyjmout a odvést ji jiným směrem nebo ukončit na LTE. Zároveň bychom měli být schopni jinou nebo stejnou (ale z jiného zdroje) vlnovou délku vložit. O tyto činnosti se stará optický add/drop multiplexer (OADM). Jeho funkci lze připodobnit k tramvajové zastávce, kde někdo vystoupí, někdo nastoupí a sedne si na právě uvolněné sedadlo, ale většina lidí, kteří v tramvaji do zastávky přijeli, pokračuje dál. V tramvaji se musí sedět na předem určených místech, a pokud nejsou žádná volná, pasažér není do tramvaje vpuštěn.

S add/drop multiplexerem se můžeme také setkat v SONET/SDH sítích. DWDM OADM ale na rozdíl od SONET/SDH ADM pracuje pouze s vlnovými délkami a neprovádí konverzi optického signálu na elektrický.

Optický přepínač

Dalším vývojovým stupněm v optických technologiích je optický přepínač. Obecně lze říci, že toto zařízení má množství vstupních a výstupních rozhraní a je schopno přepínat optický tok z kteréhokoliv portu na port jiný v závislosti na aktuální konfiguraci. Optické přepínače můžeme rozdělit na zařízení typu fiber cross-connect a wavelength cross-connect. Prvně jmenované je schopné přepínat pouze na úrovni vláken. Máme-li na jednom vstupním rozhraní např. 16 vlnových délek, jsme pouze schopni přepnout všech 16 vlnových délek najednou na jiné rozhraní. Wavelength cross-connect už je schopný vybírat ze vstupního rozhraní jednotlivé vlnové délky a ty separátně přepínat na různá výstupní rozhraní. U takovéhoto zařízení je velice důležitá i možnost provést při přepínání vlnové délky její konverzi na jinou vlnovou délku.

Integrace optických a IP sítí

Typickou současnou DWDM síť je třeba konfigurovat staticky. Na každém zařízení, které síť tvoří, se nadefinuje odkud kam se má jaká lambda přepnout. Tak docílíme správného propojení dvou koncových zařízení. Máme-li rozsáhlou optickou síť s velkým počtem koncových zařízení, klade konfigurace značné nároky na správce této sítě. Bylo by tedy velmi užitečné dát optickým zařízením IP inteligenci, aby na jejím základě byla schopna přiřazovat koncovým zařízením optické zdroje dynamicky podle jejich potřeb komunikace na úrovni IP protokolu.

Podobný problém se v oblasti páteřních sítí již jednou řešil. Šlo o integraci ATM infrastruktury s IP sítěmi. Výsledkem této činnosti byla specifikace MPLS (jakkoliv se tato technologie dnes používá i k jiným účelům než je popsaný důvod jejího vzniku). Vzhledem k tomu, že u optických sítí je situace analogická (místo virtuálního okruhu tu máme optickou trasu a místo hodnot VPI/VCI máme lambdy), není důvod jednou vymyšlené již nepoužít v trochu upravené podobě. V IETF nyní vzniká specifikace Generalized multiprotocol label switching (GMPLS), která vychází z dřívějších návrhů označovaných jako MPlS a Optical-UNI. Nezbytným předpokladem fungování nové specifikace bude rozšíření atributů směrovacích (OSPF, IS-IS) a signalizačních (RSVP, CR-LDP) protokolů tak, aby umožňovaly specifikovat dostupné zdroje v optické síti.

Petr Hrubý
Pracuje jako technický ředitel školící a konzultační firmy Albit Technologies