

Vplyv vlnovej konverzie na priepustnosť WDM sietí

Miroslav Bahleda, Karol Blunár, Ivana Brídová

Katedra telekomunikácií, EF, Žilinská univerzita v Žiline,
Veľký Diel, 010 26 Žilina, Slovenská republika
tel.: +421 41 513 2227, fax: +421 41 513 1520,
email: bahleda@fel.utc.sk, blunar@fel.utc.sk, bridova@fel.utc.sk

1 Úvod

Vďaka obrovským výhodám WDM technológie je táto technológia čoraz častejšie nasadzovaná do infraštruktúry nosných sietí. Očakáva sa, že plne optické WDM siete budú ďalšou generáciou optických nosných sietí a ich aplikácia bude veľmi rozsiahla.

Hoci v súčasnosti prebieha rozsiahly výskum v oblasti OTDM technológie paralelne s výskumom WDM sietí, stále nie je možné využiť OTDM pre budovanie reálnych sietí. Naopak, výrazné pokroky vo WDM technológiách a reálne zvládnutie výroby komponentov pre WDM siete, umožňujú ich široké uplatnenie a to nie len v nosných sieťach. Použitie WDM technológie umožňuje oveľa lepšie využiť šírku prenosového pásma, ktoré nám optické vlákno ponúka. Experimentálne výsledky OTDM technológie naznačujú, že siete s OTDM budú ešte efektívnejšie využívať šírku prenosového pásma. Dnes by sme mohli hovoriť o dvoch rozdielnych technológiách, ktoré si navzájom konkurujú. Avšak môžeme predpokladať, že s ich rozvojom sa budú tieto technológie vzájomne dopĺňať. To znamená, že WDM sa bude využívať na podporu prenosu na báze OTDM.

Pri nasadzovaní WDM sietí do infraštruktúry je potrebné, aby bola zachovaná požadovaná kvalita služby. Snaha prevádzkovateľov je, aby prenosové prostriedky sietí boli čo najlepšie využité a to pri zachovaní istej kvality služby, ktorú môžu ponúkať svojim zákazníkom. Kvalita služby sa hodnotí v zmysle pravdepodobnosti blokovania, ktorá vyjadruje pravdepodobnosť, že v istom čase požiadavka na spojenie nemôže byť realizovaná vďaka nedostatku prenosových prostriedkov. V tomto článku sa chcem venovať objasneniu rôznych mechanizmov vlnovej konverzie a predovšetkým vplyvu vlnovej konverzie na blokovanie v sieťach, resp. na priepustnosť siete.

2 Optické WDM siete

2.1 Podstata a princíp WDM sietí

Optické siete, ktoré využívajú princíp vlnovo deleného multiplexu (WDM wavelength division multiplex) sa nazývajú WDM siete. WDM siete umožňujú prenášať dáta prostredníctvom niekoľkých samostatných optických nosných vln jedným optickým vláknom, pričom každá optická nosná je na inej vlnovej dĺžke [Girard]. V podstate môžeme hovoriť aj o optickom frekvenčnom multiplexe, pretože každej vlnovej dĺžke odpovedá istá frekvencia.

Počet vlnových dĺžok, ktoré môžu byť súčasne vysielané do jedného optického vlákna, závisí od fyzikálnych charakteristík samotného vlákna a od aktuálne dosiahnutého stavu v oblasti WDM výskumu. Predovšetkým od optických prvkov, ktoré umožňujú vysielat' viacero optických vlnových dĺžok do jedného vlákna a naopak, ktoré umožňujú demultiplexovanie jednotlivých vlnových dĺžok.

K hlavným výhodám sietí s optickým deleným multiplexom patrí predovšetkým transparentnosť prenosu vzhľadom na prenos dát. To znamená, že každá vlnová dĺžka môže prenášať dáta rôznou rýchlosťou, s rôznym formátom dát a s rôznou moduláciou pre prenos. Taktiež je možný súčasný prenos analógového a digitálneho optického signálu. Zvýšenie

prenosovej kapacity je možné uskutočniť jednoducho pridaním ďalšej vlnovej dĺžky. Preto nie sú potrebné elektronické zariadenia s veľmi vysokými prenosovými rýchlosťami, ktoré sú cenovo náročné a nie sú schopné spracovávať takú šírku pásma ako je to pri optických zariadeniach.

Naopak, použitie WDM technológie zvyšuje tlmenie v sieti zapríčinené vložením multiplexorov a demultiplexorov do prenosového reťazca. Navyše, pretože jedným vláknom sa prenáša súčasne niekoľko optických vlnových dĺžok s istou energiou, zvýši sa celková energia vo vlákne a začnú sa uplatňovať nelineárne javy v optickom vlákne. Vplyvom nelinearít vo vlákne je obmedzený rozstup kanálov (štvorvlnové zmiešavanie) a ich počet (krížová fázová modulácia). Preto sú stále kladené veľké nároky na zdroje žiarenia, vlnové konvertory ako aj na multiplexory a demultiplexory.

2.2 Prepojovanie vo WDM sieťach

V súčasnosti je snaha budovať plne optické siete bez elektro-optickej konverzie v jednotlivých uzloch. To znamená, že signál zo zdrojovej stanice prechádza všetkými uzlami WDM siete stále v optickej podobe. V plne optických WDM sieťach rozoznávame dva typy uzlov: prístupové uzly a cross-connectory. Prístupové uzly do WDM siete umožňujú prepojenie medzi elektrickými a optickými sieťami (umožňujú elektro-optickú konverziu). Cross-connectory prepájajú optické vlákna vo WDM sieti.

Výber spojovacej cesty medzi dvoma koncovými uzlami je jednou z hlavných úloh pri prepojení vo WDM sieťach. Na rozdiel od prepojovania v elektrických sieťach, vo WDM sieťach spojovanie pozostáva z dvoch čiastočne samostatných úloh a to smerovania a pridelovania vlnových dĺžok na danej prenosovej ceste. Môžeme hovoriť aj o výbere v horizontálnom smere (smerovanie) a o výbere vo vertikálnom smere (pridelovanie vlnových dĺžok). V prípade smerovania ide v podstate o výber fyzickej prenosovej cesty, pozdĺž ktorej sa potom pridelujú vlnové dĺžky pre dané spojenie.

Prepojovanie vo WDM sieti sa uskutočňuje v optických cross-connectoroch OXC. Optické cross-connectory OXC vo všeobecnosti umožňujú prepojovanie v priestore a vo frekvenciách. V prípade WDM sietí sa spínanie uskutočňuje pomocou WSW všeobecnej štruktúry, kde rozoznávame dva typy stupňov. Priestorový stupeň S, ktorý vykonáva priestorové spínanie a frekvenčný stupeň W, ktorý slúži buď na multiplexovanie alebo demultiplexovanie. Frekvenčný stupeň môže obsahovať vlnový konvertor, ktorý vykonáva vlnovú konverziu.

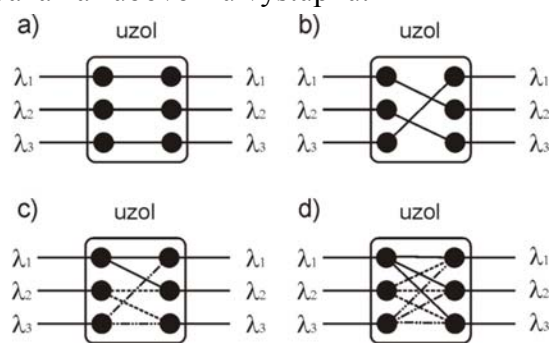
3 Vlnová konverzia

Vo WDM sieťach môžeme prenášať dáta bez alebo s vlnovou konverziou. V prípade, že sieť neumožňuje vlnovú konverziu, musíme prenášať dáta na tej istej vlnovej dĺžke na všetkých linkách pozdĺž fyzickej prenosovej cesty. Hovoríme aj o obmedzení vlnovej kontinuity, resp. o prenose bez vlnovej konverzie. Siete, ktoré neumožňujú vlnovú konverziu nazývame siete bez vlnovej konverzie. Ak je možné v jednotlivých uzloch konvertovať vlnovú dĺžku na inú, hovoríme o sieťach s vlnovou konverziou. V tomto prípade, môžeme na jednotlivých úsekoch prenosovej cesty využívať rôzne vlnové dĺžky [Bahleda].

Na vlnovú konverziu sa môžeme pozrieť jednak s pohľadu konverzie v samotnom uzle, alebo z pohľadu celej siete. V prvom prípade sa jedná o vlnovú konverziu v samotnom uzle a rozoznávame niekoľko možností, ktoré bližšie spomenieme v ďalšom odseku. Z pohľadu celej siete nás zaujíma homogenita vzhľadom na použité vlnové konvertory. Použitím konvertorov s rôznou vlnovou konverziou totiž dostávame rôzne možnosti architektúry optickej WDM siete, ktoré si popíšeme v ďalších odsekoch.

Pod pojmom vlnová konverzia rozumieme zmenu prichádzajúcej vlnovej dĺžky na inú odchádzajúcu vlnovú dĺžku. Vlnová konverzia sa uskutočňuje vo vlnovom konvertore, ktorý je umiestnený v optických cross-connectoroch WDM siete. Vo všeobecnosti ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť prepojená na ktorúkoľvek z vlnových dĺžok k , pričom počet všetkých vlnových dĺžok na výstupe je W . V závislosti od toho aká je hodnota k , môžeme klasifikovať nasledovné prípady vlnovej konverzie (obr.1) [Sridharan] :

- **žiadna vlnová konverzia** ak $k=1$, kedy daná prichádzajúca vlnová dĺžka je prepojená na takú istú vlnovú dĺžku na výstupe,
- **pevná vlnová konverzia** ak $k=1$, kde daná prichádzajúca vlnová dĺžka bude konvertovaná na inú vlnovú dĺžku, ktorá je už vopred známa a je vždy tá istá,
- **obmedzená vlnová konverzia** ak $1 < k < W$, kde prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná len na obmedzený počet výstupných vlnových dĺžok,
- **plná vlnová konverzia** ak $k=W$, čo je prípad kedy ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na ľubovoľnú výstupnú.



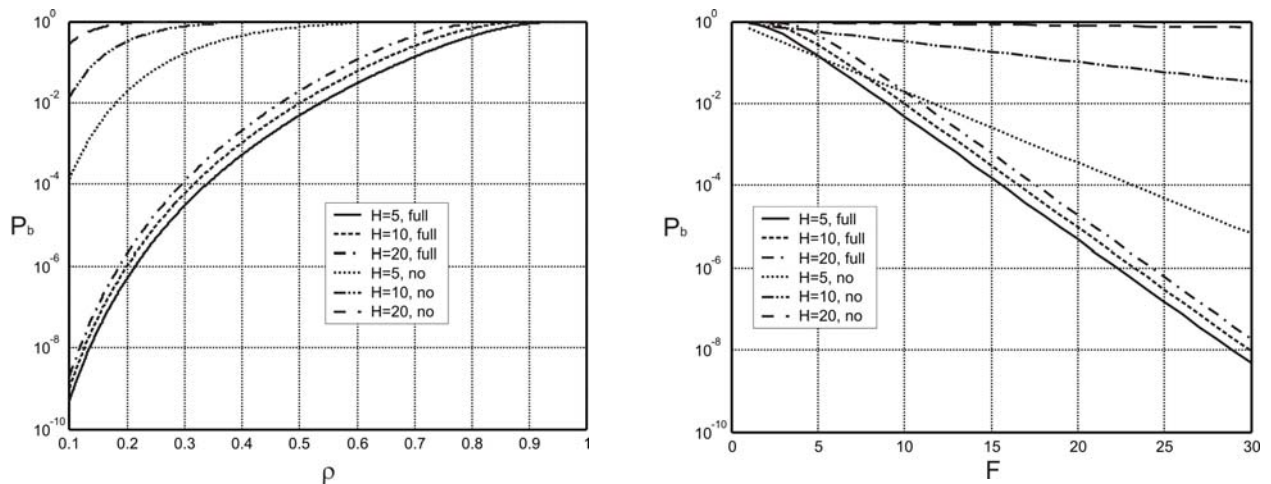
Obr. 1 Druhy vlnovej konverzie v uzle

3.1 Siete bez vlnovej konverzie

V sieťach bez vlnovej konverzie nie je možná vlnová konverzia. Preto optický signál musí prechádzať od zdroja až k cieľu na tej istej vlnovej dĺžke. Pri budovaní spojenia sa najskôr hľadajú vlnové dĺžky, ktoré sú voľné na všetkých úsekoch prenosovej cesty. Pomocou algoritmu pridelovania vlnových dĺžok sa potom s pomedzi možných vlnových dĺžok vyberie vhodná vlnová dĺžka, ktorá je na všetkých úsekoch prenosovej cesty rovnaká. Ak na hociktovej linke prenosovej cesty nie je takáto vlnová dĺžka, potom prichádzajúca požiadavka musí byť odmietnutá. To znamená, že požiadavka na prenosovú cestu môže byť zamietnutá aj v prípade, že na linkách prenosovej cesty sú voľné vlnové dĺžky, ale nie sú rovnaké [Bahleda].

Bez akýchkoľvek dôkazov môžeme intuitívne predpokladať, že siete bez vlnovej konverzie budú dosahovať najväčšiu pravdepodobnosť blokovania. Rozsiahly výskum v tejto oblasti potvrdil daný predpoklad, ale zároveň priniesol aj isté zaujímavé výsledky. Zníženie blokovania v sieti bez vlnovej konverzie sa dá dosiahnuť voľbou vhodnejších algoritmov smerovania a pridelovania. V súčasnosti sa pre smerovanie najčastejšie využíva FR (*fixed routing*) algoritmus, poprípade FAR (*fixed alternative routing*) a pre výber vlnovej dĺžky FF (*first fit*) alebo RF (*random fit*). Výber vhodného algoritmu závisí od topológie siete. Avšak použitím zložitejších algoritmov pre smerovanie, ako sú napr. RSVP (*Resource Reservation Protocol*), SRLG (*Shared Risk Link Group*), C-BAR (*Capacity- Balance Alternate Routing*), alebo pre výber vlnových dĺžok, napr. FPLC (*Fixed Paths Least Congested*), LU (*Least Used*), MU (*Most Used*), WR (*Wavelength Reservation*) sa zvyšujú nároky na výpočtové prostriedky v jednotlivých uzloch. Okrem toho ich použitie ďalej vedie k zvýšeným nárokom na prenos informácií o stave siete medzi jednotlivými uzlami ako aj k rozšíreniu informačnej časti prenášaných dát.

V tomto prípade pravdepodobnosť blokovania výrazne závisí od počtu úsekov prenosovej cesty. S počtom úsekov pravdepodobnosť blokovania prudko stúpa pri konštantnej miere využitia vlnovej dĺžky. Preto je vhodné, aby diameter siete (počet úsekov) bez vlnovej konverzie bol malý. Využitie vlnovej dĺžky je pravdepodobnosť, že vlnová dĺžka je použitá na nejakom úseku prenosovej cesty. V prípade, ak chceme zachovať nízku pravdepodobnosť blokovania, musí byť využitie vlnovej dĺžky veľmi malé, čo je veľmi nepriaznivým javom. Na nasledovných obrázkoch môžeme vidieť výsledky Barry-Humbletovho modelu (obr. 2), ktorý však neberie do úvahy koreláciu medzi zaťažením liniek [Barry].



Obr. 2 Pravdepodobnosť blokovanie sietí bez vlnovej konverzie („no“) a s plnou vlnovou konverziou („full“) pre počet úsekov prenosovej cesty $H=5, 10, 20$

a) v závislosti od využitia vlnovej dĺžky ρ pre rovnaký počet vlnových dĺžok na každom úseku $F=10$

b) v závislosti od počtu vlnových dĺžok pre $\rho=0,2$ pre siete bez a $\rho=0,5$ pre siete s plnou vlnovou konverziou

3.2 Siete s plnou vlnovou konverziou

Siete s plnou vlnovou konverziou sú protikladom sietí bez vlnovej konverzie. V tomto prípade je možná plná vlnová konverzia v každom uzle. V prípade potreby prenášané dáta môžu využívať na každom úseku prenosovej cesty inú vlnovú dĺžku. Požiadavka na prenosovú cestu môže byť zamietnutá len v prípade ak na hociktorom prenosovom úseku nie je žiadna voľná vlnová dĺžka. V prípade siete bez vlnovej konverzie došlo k zablokovaniu požiadavky ak na všetkých úsekoch prenosovej cesty nebola rovnaká voľná vlnová dĺžka [Bahleda].

Opäť môžeme intuitívne predpokladať, že siete s plnou vlnovou konverziou budú dosahovať najnižšiu pravdepodobnosť blokovania. Tieto siete svojim správaním z hľadiska určenia pravdepodobnosti blokovania pripomínajú klasické metalické siete. Niekomu by sa mohlo na prvý pohľad zdať, že výskum v tejto oblasti nie je zaujímavý, či dokonca užitočný. Napriek tomu mnohí výskumníci sa venovali problematike plnej vlnovej konverzie a v súčasnosti je publikovaných veľa zaujímavých článkov v tejto oblasti [Barry, Murthy, Sridharan, Tripathi]. Snaha vedcov smeruje k určaniu vhodného prevádzkového modelu, na základe ktorého by sa dala predikovať pravdepodobnosť blokovania.

Siete s plnou vlnovou konverziou sú z pohľadu prevádzky najvýkonnejšie, dosahujú najnižšiu pravdepodobnosť blokovania, čo umožňuje operátorovi šetriť s prenosovými prostriedkami. V tomto prípade využitie vlnovej dĺžky na nejakom úseku prenosovej cesty je oveľa vyššie (obr. 2a) [Barry]. Pravdepodobnosť blokovania s rastúcim počtom úsekov prenosovej cesty nezávisí tak dramaticky ako v prípade siete bez vlnovej konverzie (obr. 2b).

Ďalšou výhodou je, že nie je potreba zložitých a časovo náročných algoritmov pre smerovanie a pridelovania vlnových dĺžok. Na druhej strane technológie, ktoré by umožňovali plnú vlnovú konverziu v optickej oblasti sú v reálnych sieťach stále nedostupné. To vedie k úsiliu vytvorenia istého kompromisu medzi sieťami s plnou vlnovou konverziou a sieťami bez vlnovej konverzie. Týmto kompromisom sú siete s obmedzenou vlnovou konverziou.

3.3 Siete s obmedzenou vlnovou konverziou

Siete s obmedzenou vlnovou konverziou neumožňujú vlnovú konverziu v plnom rozsahu, ale len s istými obmedzeniami. Toto obmedzenie môže byť uskutočnené v uzle, kde ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná len na obmedzený súbor odchádzajúcich vlnových dĺžok. Tento prípad konverzie nazývame obmedzená vlnová konverzia v uzle. Iným obmedzením v uzle je neúplná vlnová konverzia, kedy uzol obsahuje len obmedzený počet vlnových konvertorov (partial wavelegth covnersion).

Ďalším obmedzením je obmedzenie v celej sieti v zmysle zníženia počtu uzlov, ktoré umožňujú vlnovú konverziu. Tento prípad obmedzenej vlnovej konverzie nazývame riedka vlnová konverzia (sparse wavelength conversion).

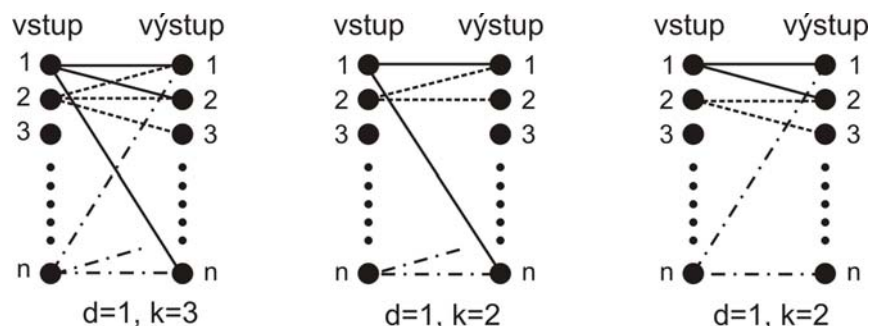
3.3.1 Obmedzená vlnová konverzia v uzle so stupňom vlnovej konverzie d

A. Symetrická

V tomto prípade ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na d susedných odchádzajúcich vlnových dĺžok z vlnového plánu, ako aj na rovnakú vlnovú dĺžku na akej daný optický signál vstupoval do konvertora (obr. 3) [Tripathi]. Pričom vlnový plán je usporiadanie vlnových dĺžok na výstupe.

Prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na jednu z $k=2d+1$ možných odchádzajúcich vlnových dĺžok. Predpokladajme, že optický signál na vstupe vlnového konvertora má vlnovú dĺžku λ_i . Potom táto vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na jednu z $\lambda_{i-d}, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_{i+d}$ výstupných vlnových dĺžok, pre $i=1, 2, 3, \dots, n$.

Všimnime si, že v prípade ak $d=0$ potom $k=1$, čo je prípad bez vlnovej konverzie. Naopak, ak d je veľké, $d \geq (f-1)/2$ potom ide o prípad plnej vlnovej konverzie.



Obr. 3 Obmedzená vlnová konverzia v uzle so stupňom vlnovej konverzie d
a) symetricky b) „na ľavo“ c) „na pravo“

B. Nesymetrická

V prípade, že vstupná vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na tú istú vlnovú dĺžku alebo na jednu z d susedných na ľavo (na pravo) z vlnového plánu potom hovoríme o nesymetrickej obmedzenej vlnovej konverzii „na ľavo“ (obr. 3b) („na pravo“ (obr. 3c)). V tomto prípade počet výstupných vlnových dĺžok, na ktoré môže byť ľubovoľná vstupná vlnová dĺžka konvertovaná je $k=d+1$.

Ak optický signál vstupuje na vlnovej dĺžke λ_i , potom táto vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na $\lambda_{i-d}, \dots, \lambda_i$ v prípade konverzie „na ľavo“ alebo na $\lambda_i, \dots, \lambda_{i+d}$ v prípade konverzie „na pravo“.

Dôvodom rozsiahleho výskumu v oblasti obmedzenej vlnovej konverzie v uzle, či už symetrickej alebo nesymetrickej, je snaha využívať jednoduchší a tým aj samozrejme lacnejší spínač. Architektúra spínača síce obsahuje toľko konvertorov koľko je prichádzajúcich vlnových dĺžok, ale tieto konvertory sú jednoduchšie, pretože nie je potrebné aby umožňovali konverziu v celom rozsahu vlnových dĺžok, ktorý sa využívajú na prenos vo vlákne. Taktiež preladiteľnosť z jednej vlnovej dĺžky na inú je jednoduchšie vďaka tomu, že na výstupe je menší rozsah možných dostupných vlnových dĺžok.

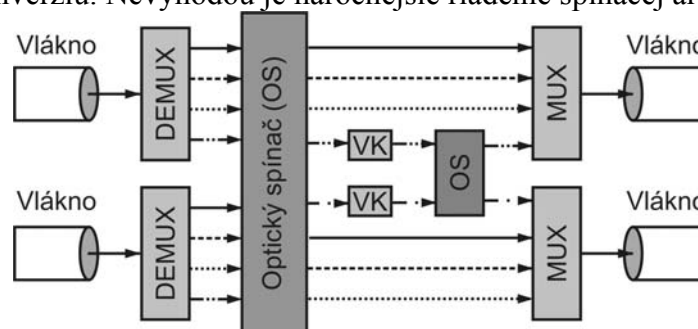
Z hľadiska blokovania tieto siete dosahujú oveľa nižšiu pravdepodobnosť blokovania ako v prípade sietí bez vlnovej konverzie a to už pri relatívne malom stupni vlnovej konverzie ($d=1$ až 2). Vzhľadom na to, že už malý stupeň vlnovej konverzie výrazne znižuje pravdepodobnosť blokovania, nepoužívajú sa veľmi náročné algoritmy pre smerovanie a pridelovanie vlnových dĺžok ako v prípade sietí bez vlnovej konverzie.

3.3.2 Neúplná obmedzená vlnová konverzia (*Partial limited wavelength conversion*)

V štandardnej architektúre optického spínača je najskôr každá vlnová dĺžka komutovaná v priestore. Potom ak spínač obsahuje vlnový konvertor, ktorý umožňuje vlnovú konverziu, je táto vlnová dĺžka v prípade potreby konvertovaná na tú istú alebo inú vlnovú dĺžku. V bežnom ponímaní, architektúra spínača obsahuje toľko vlnových konvertorov s istým druhom vlnovej konverzie, koľko je výstupných vlnových dĺžok.

Princípom neúplnej (*partial*) obmedzenej vlnovej konverzie je výrazné ušetrenie počtu vlnových konvertorov. Iba vlnové dĺžky, ktoré si vyžadujú vlnovú konverziu prechádzajú cez banku konvertorov. Ostatné vlnové dĺžky prechádzajú spínačom bez vlnovej konverzie. V tomto prípade len obmedzený počet vlnových dĺžok môže využiť vlnový konvertor v tom istom čase. V architektúre spínača sa nachádza súbor vlnových konvertorov, ktoré nazývame banka konvertorov. Táto banka konvertorov je potom zdieľaná viacerým výstupným portom.

Výskumom sa potvrdilo, že v bežných sieťach naozaj nie je potrebné, aby každá vlnová dĺžka bola konvertovaná v každom spínači. Ďalšou výhodou je, že pokiaľ nie je potrebná vlnová konverzia, optický signál neprechádza cez vlnový konvertor na rozdiel od prípadu úplnej vlnovej konverzie. Vlnový konvertor v banke môže umožňovať plnú alebo obmedzenú vlnovú konverziu. Nevýhodou je náročnejšie riadenie spínacej architektúry.



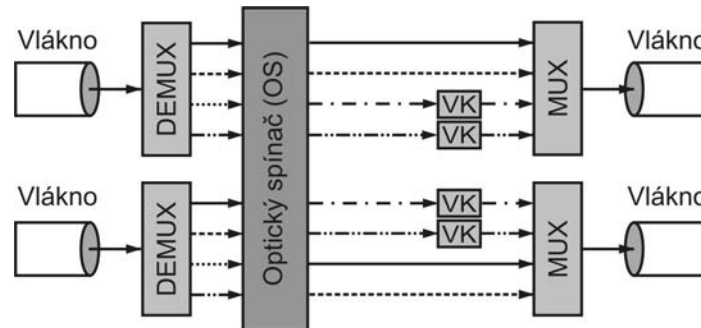
Obr. 4 Architektúra share-per-node

V súčasnosti poznáme dva typy architektúry partial obmedzenej vlnovej konverzie:

- **architektúra share-per-node:** Konvertorová banka, ktorá obsahuje niekoľko vlnových konvertorov VK, je zdieľaná pre všetky výstupné porty ľubovoľného vlákna na výstupe (obr. 4). Pretože konvertorová banka je zdieľaná pre každé vlákno je potrebný opäť

priestorový spínač za konvertorovou bankou. Avšak tento druhý optický spínač je podstatne menší.

- **architektúra share-per-link:** Konvertorová banka je zdieľaná len pre všetky výstupné vlnové dĺžky jedného vlákna (obr. 5). V tomto prípade pre každé výstupné vlákno je samostatná konvertorová banka.



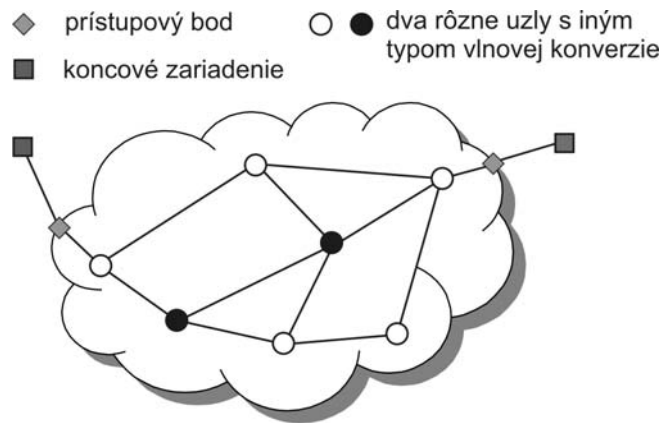
Obr. 5 Architektúra share-per-link

Výhodu architektúry share-per-node je potreba len jednej konvertorovej banky na rozdiel od architektúry share-per-link. Avšak architektúra share-per-link si nevyžaduje potrebu ďalšieho optického spínača.

3.3.3 Riedka (sparse) vlnová konverzia

Ak optická sieť obsahuje vlnové konvertory, ale nie sú v každom uzle danej siete, potom takúto sieť nazývame sieť s riedkou obmedzenou vlnovou konverziou. V takejto sieti sa nachádzajú v podstate uzly s dvoma typmi vlnovej konverzie [Murthy]. Prvotnou myšlienkou bola snaha vytvoriť sieť, v ktorej iba niekoľko uzlov obsahuje vlnový konvertor s plnou vlnovou konverziou a ostatné neumožňujú vlnovú konverziu. V takejto sieti musíme na prenos pozdĺž fyzickej prenosovej cesty použiť rovnakú vlnovú dĺžku medzi dvoma uzlami, ktoré umožňujú vlnovú konverziu. Úsek prenosovej cesty, na ktorom musíme použiť rovnakú vlnovú dĺžku pre všetky linky tohto úseku nazývame segment. Ďalšími možnosťami je kombinácia plná -obmedzená a obmedzená -žiadna vlnová konverzia (obr. 6).

Blokovanie v sieťach s riedkou vlnovou konverziou výrazne závisí nie len od toho aká vlnová konverzia sa použije, ale aj od umiestnenia samotných vlnových konvertorov. Výskum naznačuje, že určenie optimálnej polohy vlnových konvertorov v týchto sieťach je nesmierne dôležité. Pretože pokiaľ sa nevhodne umiestnia vlnové konvertory ich opodstatnenosť výrazne klesá (pridaním vlnového konvertora sa pravdepodobnosť blokovania dostatočne nezníži). Tieto siete majú najväčšie uplatnenie s pohľadom samotných možností ich realizácie v praxi a tým aj s pohľadom priepustnosti. Pretože pri optimálnom umiestnení vhodných typov vlnových konvertorov môžeme efektívne znižovať pravdepodobnosť blokovania.



Obr. 6 Princíp riedkej vlnovej konverzie

4 Záver

Vďaka vlnovým konvertorom s rôznym typom vlnovej konverzie, môžeme v súčasnosti vytvárať rôzne architektúry optických WDM sietí. Vo všeobecnosti môžeme povedať, že použitím vlnových konvertorov sa zvyšuje výkonnosť siete. Avšak toto zvýšenie nie je jednoznačné. Výskumom sa ukázalo, že v dnešných sieťach nie je potrebné, aby každý uzol obsahoval vlnový konvertor. Rovnako nie je potrebné aby každý vlnový konvertor umožňoval plnú vlnovú konverziu. Ďalším výrazným faktorom na výkonnosť siete je poloha umiestnenia vlnových konvertorov. Z tohto dôvodu sa venujeme problematike optimálneho výberu typu vlnového konvertora a optimalizáciou ich polohy v konkrétnych sieťach.

Literatúra

- [1] Girard, A.: „Guide To WDM Technology & Testing”, EXFO Electro-Optical Engineering Inc., Quebec City, Canada, 2000
- [2] Bahleda, M., Blunár, K.: „Vlnová konverzia vo WDM optických sieťach“, Journal of AEEE, No. 1, Vol. 3/2004, str. 41-44
- [3] Sridharan, A., Sivarajan, K. N.: „Blocking in All-Optical Networks“, IEEE INFOCOM 2000, str. 990-999
- [4] Barry, R. A., Humblet, P. A.: „Models of Blocking Probability in All-Optical Networks with and Without Wavelength Changers“, IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 14, No. 5, jún 1996, str. 858-867
- [5] Tripathi, T., Sivarajan, K. N.: „Computing Approximate Blocking Probabilities in Wavelength Routed All-Optical Networks with Limited-Range Wavelength Conversion“, Proceedings, IEEE INFOCOM '99, str. 329-336
- [6] Murthy, C. S. R., Gurusamy, M.: „WDM Optical Networks: Concepts, Design, and Algorithms“, Prentice Hall PTR, New Jersey, Inc., 2002