

DWDM w dzisiejszych i jutrzejszych sieciach korporacyjnych.

To, że potrzebujemy przesyłać coraz więcej danych i potrzeby te rosą bardzo szybko (wykładniczo) jest oczywiste. Pomińmy więc roztrząsanie przyczyn dlaczego tych danych przybywa i jak bardzo będzie ich przybywać w przyszłości, które usługi i potrzeby generują ich najwięcej, dlaczego jesteśmy od nich uzależnieni itp. a zajmijmy się sposobami zwiększania przepustowości sieci, których używamy. To jest idea leżąca u podstaw DWDM – wielokrotnie zwiększamy możliwości transmisyjne sieci bez jej fizycznej rozbudowy.

W DWDM korzystamy z tych samych światłowodów, które mamy (bo kładzenie nowych jest bardzo kosztowne i często niemożliwe) ale „upychamy” w nie wielokrotnie więcej danych niż dotąd. W dodatku, z nadzieją, że proces ten będzie można, w miarę rozwoju technologii w kolejnych latach – kontynuować. Tak więc zostają światłowody, zmieniamy urządzenia, które je obsługują i zmieniamy sposób przesyłania danych, aby zmieścić ich coraz więcej. Osiągamy przepływności rzędu setek Gb/s. I robimy to metodą, której ideę znamy od lat: przesyłamy w jednym łączy wiele sygnałów jednocześnie, równoległe, na różnych częstotliwościach.

Podzielmy pasmo

Koncepcja podziału dostępnego pasma na węższe kanały częstotliwościowe nie jest oczywiście niczym nowym. Od dziesiątek lat działają tak stacje radiowe i systemy radiokomunikacyjne. Nowością było zastosowanie jej

w dziedzinie światła, czyli fal o wielokrotnie większej częstotliwości. A wielokrotnie większa częstotliwość to dwie wiadomości: dobra i zła. Dobra jest taka, że im wyższa częstotliwość przesyłania sygnału tym więcej informacji możemy w tym sygnale zapakować. Zła jest taka, że z takimi bardzo wysokimi częstotliwościami nie bardzo umieliśmy się wcześniej obchodzić. O ile dla częstotliwości megahercowych czy potem gigahercowych budowaliśmy już układy scalone i całe urządzenia transmisyjne, to światło przez długi czas pozostawało tylko medium do ewentualnego wpuszczenia sygnału zmodulowanego właśnie tymi częstotliwościami, z którymi dobrze sobie radziliśmy. Ale wszystkie operacje związane z tworzeniem sygnału, jego zwielokrotnianiem, kodowaniem i operacjami odwrotnymi odbywały się w tradycyjnych układach elektronicznych z ich typowymi ograniczeniami w dziedzinie częstotliwości. Wszystkie więc operacje, mimo że sygnał przesyłaliśmy w postaci światła odbywały się po jego zamianie na sygnał elektryczny. A potem sygnał elektryczny trzeba było zamienić znów na sygnał świetlny.

Bez konwersji światła na prąd

Dopiero postęp technologiczny w dziedzinie układów scalonych i urządzeń pracujących „na świetle” umożliwił operowanie sygnałami o częstotliwościach „światlnych” tak jak dotąd operowaliśmy na częstotliwościach „elektrycznych”. Wzmacniacze, multipleksery, kodery pracujące bezpośrednio na sygnałach świetlnych umożliwiły rozwój systemów ze zwielokrotnieniem w dziedzinie długości fali (czyli WDM = Wavelength Division Multiplexing) w kierunku coraz większego upakowania i powstania systemów DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) czyli „gęstego” upakowania kanałów użytecznych. Bo znowu, sama koncepcja WDM, także dla światła, nie jest nowa. Pierwsze takie systemy powstawały już w latach 80. XXw. Wtedy jednak w jednym światłowodzie mogliśmy przesyłać dwie fale o różnych długościach (czyli światło o różnych kolorach) jednak znacznie od siebie oddalonych. Były to długości fal: 1350nm i 1550nm więc odległość pomiędzy nimi wynosiła 200nm. Dziś w systemach DWDM typowa siatka częstotliwości/długości fali ma odstęp 100GHz (czyli 0.8nm) a w nowszych wydaniach: 50, 37.5 lub 25 GHz. Tu widać najlepiej jaki postęp poczyniła technologia produkcji elementów optycznych i optoelektronicznych oraz budowanych z nich urządzeń.

Elementy sieci DWDM

Charakterystyczne dla DWDM elementy to multipleksery add-drop (OADM) i wzmacniacze optyczne (EDFA). Oba rodzaje urządzeń to urządzenia optyczne pozwalające na operacje na sygnałach optycznych bez ich zamiany na postać elektryczną.

Wzmacniacze optyczne EDFA, a dokładniej: wzmacniacze optyczne wykorzystujące światłowody domieszkowane erbem (EDFA = Erbium Doped Fiber Amplifier) wykorzystują odcinki światłowodu z domieszką jonów erbu, które pobudzone światłem nadajnika emitują sygnał o większej mocy. Ich zastosowanie w torze światłowodowym pozwala zwiększać zasięg transmisji. W rozwiązaniach poprzednich generacji stosowaliśmy regeneratory, które były w zasadzie połączeniem odbiornika i nadajnika sygnału, przy czym sygnał świetlny był przetwarzany na sygnał elektryczny, który z kolei generował nowy (zregenerowany) sygnał przesyłany w dalszą część toru światłowodowego. Dawało to duże możliwości wzmocnienia (odnowienia) sygnału, ale wprowadzało opóźnienia i miało istotne ograniczenia w szybkości transmisji (układy elektroniczne mają limity w szybkości przetwarzanych sygnałów wynikające z użytych technologii). Wzmacniacze optyczne nie mają tego problemu. Jednak trzeba pamiętać, że regeneracja pozwalała na odtworzenie idealnego sygnału i dalsze jego przesłanie – na wyjściu regeneratora, a więc na początku nowego odcinka światłowodu mieliśmy więc sygnał pozbawiony szumów i zakłóceń. W przypadku wzmacniacza optycznego wzmocnieniu ulega cały sygnał, a więc razem z szumami i zakłóceniami, które „zgromadził” w dotychczasowej podróży światłowodem. Odtworzenie sygnału wejściowego staje się więc bardziej wymagającym zadaniem.

Multipleksery optyczne typu add-drop (OADM = Optical Add Drop Multiplexer) pozwalają, jak sama nazwa wskazuje na dodawanie (add) lub wydzielanie (drop) części przesyłanego sygnału. Dokładniej – operacje add-drop dotyczą fal o poszczególnych, obsługiwanych długościach. Można więc, włączając w danym punkcie łącza światłowodowego multiplekser OADM dodać nową transmisję lub wydzielić z całego sygnału ten, który przeznaczony jest do odgałęzienia w tym punkcie sieci. Co ważne, sygnały nadawane na poszczególnych długościach fal są od siebie całkowicie niezależne, mogą być różnej przepływności i reprezentować różne rodzaje ruchu (transmisji). To bardzo ważna cecha systemów WDM zwiększająca ich uniwersalność i wszechstronność. Ponieważ multiplekser OADM jest urządzeniem optycznym, nie ma modułów zmieniających postać sygnału

z optycznej na elektryczną i ta część sygnału, która nie jest w multiplekserze odgałęziana podróżuje dalej. Dołącza do niej natomiast nowy sygnał generowany w danym węźle sieci.

Szczególnym rodzajem multipleksera ad-drop jest multiplekser rekonfigurowalny (ROADM = Reconfigurable OADM), który może być dowolnie programowany w trakcie eksploatacji, tak aby dostosować szerokość kanału transmisyjnego, a zatem - przepływność na poszczególnych portach (wejściach i wyjściach) do aktualnych potrzeb. Pozwala to na rekonfigurację raz zbudowanej sieci bez konieczności wymiany urządzeń (w starszych typach OADM nie ma możliwości programowania szerokości kanału i jest on na stałe ustalony na przykład na 200, 100 lub 50GHz).

Przydzielamy lambdy

Poszczególnym usługom lub klientom w sieci przydziela się długości fali, których używają (popularnie zwane lambdami (od greckiej litery lambda – λ , którą oznacza się długość fali)). To dokładnie taki sam mechanizm jak przydział częstotliwości w komunikacji radiowej – częstotliwość i długość fali są parametrami, które mogą być stosowane zamiennie. Przyjęło się po prostu, że w świecie radiowym posługujemy się megahercami i gigahercami a w świecie światłowodowym – nanometrami, bo długość fal świetlnych i mierzy się wygodnie w nanometrach. Nawiasem mówiąc, „światło”, którego używamy w światłowodach nie jest światłem widzialnym. Najczęściej używa się fal podczerwonych w tzw. paśmie C od 1530 do 1565nm. To wynika z dwóch przyczyn: po pierwsze tłumienność światłowodu jest najniższa dla tych długości fali, a po drugie jest już dobrze opanowana i stosunkowo tania technika budowania wzmacniaczy EDFA pracujących w tym paśmie.

W zależności od tego jak dokładnie możemy podzielić dostępne pasmo, aby nadawać sąsiednie sygnały na falach o różnych częstotliwościach możemy uzyskać większe lub mniejsze „upakowanie” kanałów transmisyjnych, które nazywamy siatką. Typowa siatka DWDM ma (a właściwie miała kiedyś) odstęp 100GHz co odpowiada różnicy w długości fali ok. 0.8nm. Przy takiej siatce można w paśmie C, które ma 1565-1530=35nm szerokości upakować 40 kanałów. W dziedzinie częstotliwości odpowiada to podziałowi dostępnego pasma pomiędzy ok. 192 a 196 THz (czyli ok. 4THz) na 40 kanałów po 100GHz każdy. W nowszych systemach DWDM stosuje się gęstszą siatkę: 50GHz 37.5GHz lub 25GHz, aby uzyskać odpowiednio większą liczbę kanałów transmisyjnych.

Szczególnym rodzajem podziału pasma jest tzw. flex-grid wprowadzony przez rekomendację ITU G.694.1 z podziałem co 12.5GHz i dalej modyfikowany przez niektórych dostawców do podziału co 6.25GHz. Takie kanały mogą być ze sobą dowolnie łączone w zależności od potrzeb. Dzięki temu uzyskujemy możliwość elastycznego – jak wynika z nazwy – przydziału pasma bez przywiązywania się do stałej szerokości kanału, która może być zbyt duża dla usług nie wymagających wielkich przepływności a obsługiwanych w tej samej sieci. Wtedy nie „marnujemy” na transmisję np. 10Gb/s całego kanału 50 czy 100GHz i dostępne pasmo możemy wykorzystać bardziej efektywnie.

Światło się psuje

Wydawać by się mogło, że mając takie osiągnięcia technologiczne możemy wielokrotnie zwiększyć możliwości transmisyjne obecnych sieci (już leżących światłowodów). W zasadzie tak, ale trzeba pamiętać, że transmisja światłowodowa o wielkich przepływnościach nie jest wolna od niekorzystnych zjawisk, które „psują” nam sygnał po drodze. Bo właśnie ze względu na tę wielką uzyskiwaną szybkość transmisji i przepływność zaczynają nam się dawać we znaki zjawiska mniej istotne w systemach starszego typu jak dyspersja chromatyczna i dyspersja polaryzacyjna oraz optyczne efekty nieliniowe. A niezależnie od tego sygnał jest także (jak każdy) degradowany przez tłumienność światłowodu.

Dyspersja chromatyczna to mówiąc w dużym skrócie „rozjeżdżanie się” ładnego impulsu wejściowego w miarę jego podróżowania w światłowodzie. Prędkość rozchodzenia się fali jest różna dla różnych jej

długości (w próżni byłaby taka sama, ale w ośrodku takim jak szkło już nie). Wprawdzie różnice nie są wielkie i kiedyś nie stanowiły problemu, bo przesyłaliśmy sygnały znacznie wolniej. Teraz, gdy zwiększamy do maksymalnych możliwości przepływność (a więc dążymy do przesyłania informacji za pomocą jak najwyższych impulsów i używamy bardzo wysokich częstotliwości) a odcinki światłowodu są długie takie zjawiska jak dyspersja dają się nam we znaki i trzeba je brać pod uwagę. Podobnie jest z dyspersją polaryzacyjną, która objawia się różną prędkością rozchodzenia się fali zależnie od jej polaryzacji. I znowu, różnice są bardzo subtelne, ale przy tak wygórowanych parametrach transmisyjnych jakich dziś używamy trzeba i to zjawisko brać pod uwagę i odpowiednio obsługiwać (kompensować).

Tłumienność jest dość oczywistą własnością każdego ośrodka rozchodzenia się światła, który nie jest próżnią.

W idealnej próżni fala świetlna rozchodzi się bez strat, a więc ma cały czas taką samą amplitudę. W ośrodkach stratnych (a takim jest szkło światłowodu dla światła) w miarę odległości od nadajnika zmniejsza się amplituda sygnału – staje się on coraz słabszy, a w pewnym momencie przestaje być odróżnialny od szumu. Z tłumiennością można sobie radzić na trzy zasadnicze sposoby: (1) zwiększać doskonałość materiału, (2) zwiększać moc nadajnika, (3) zwiększać czułość odbiornika. We współczesnych systemach światłowodowych właściwa kombinacja tych zmiennych (duża czystość materiału, duża moc nadajnika i wysoka czułość odbiornika) pozwalają na uzyskiwanie transmisji na odległości setek lub tysięcy kilometrów.

Podstawową operacją pozwalającą na zaplanowanie właściwego doboru tych parametrów jest określenie tzw. budżetu łącza (budżetu mierzonego w decybelach), który oprócz wymienionych składników (moc nadajnika, tłumienność światłowodu, czułość odbiornika) uwzględnia także inne, związane z całym torem optycznym (na przykład straty na złączach i patch-panelach, spawach światłowodu i we wszystkich pasywnych urządzeniach włączonych w drogę sygnału).

Są także liczne czynniki zewnętrzne, które wpływają na zmiany fizycznych własności światłowodu i pośrednio mogą degradująco wpływać na parametry transmisyjne. Zmiany temperatury otoczenia zmieniają własności światłowodu, obciążenia mechaniczne (przenoszące się z podłoża w przypadku światłowodów podziemnych lub wywołane wiatrami w przypadku światłowodów podwieszanych) to kolejne niekorzystne zjawisko. Drgania wywołane poruszaniem się pojazdów (w przypadku linii światłowodowych układanych wzdłuż dróg) a zwłaszcza pojazdów szynowych (a wiele światłowodów przebiega wzdłuż torów) to kolejne tego typu problemy.

To wszystko są ważne rozważania, kiedy planujemy modernizację sieci w kierunku DWDM lub powiększamy możliwości sieci DWDM, którą już mamy. Kiedyś nie trzeba było zwracać na to uwagi, ale dziś jest to niezbędne, żeby sieć dobrze zaprojektować i bezpiecznie oraz niezawodnie jej używać.

Co dalej?

Można zapytać jakie są dalsze kierunki rozbudowy czy unowocześniania systemów DWDM. Bo fakt, że dziś możemy zbudować sieć, która z nadmiarem zaspokaja nasze potrzeby wiąże się jednak z drugim – że jutro ta sieć nie będzie nam już wystarczać. Jakie są więc możliwości zwiększania przepustowości sieci DWDM? Można je zaliczyć do jednej z następujących grup:

1. 1) Zwiększanie szybkości transmisji w kanale: 10 – 25 – 100 – 400 Gb/s to kolejne kroki i kolejne dostępne przepływności.
2. 2) Zwiększanie liczby kanałów użytecznych poprzez zmniejszanie szerokości kanału tak aby w paśmie C zmieścić więcej kanałów niż kiedyś (40 – 80 – 100 - ...).
3. 3) Zastosowanie bardziej zaawansowanych metod modulacji (4QPSK – 8QAM – 16QAM – 64QAM).
4. 4) Wykorzystanie transmisji sygnałów o różnej polaryzacji.

5. 5) Wyjście z transmisją poza pasmo C i powielenie tych samych mechanizmów i tej samej idei budowania sieci i zwielokrotniania jej możliwości co obecnie w paśmie C. Najbardziej obiecujące jest tu pasmo L- band w zakresie 1565-1625nm.

Oczywiście, żadna z tych metod nie jest metodą bezkosztową. Każdy z tych sposobów wiąże się z pewnymi ograniczeniami wśród których najbardziej widocznym i oczywistym jest zmniejszanie zasięgu. A więc możemy zwiększać ilość przesyłanych informacji, ale uzyskujemy mniejsze odległości transmisji i znowu musimy wyposażać sieć w kolejne urządzenia zwiększające ten zasięg.

Niemniej, możliwości jakie przyniosły techniki DWDM okazały się ogromne i są rozwojowe. Zatem budując sieci korporacyjne (nie mówiąc już o operatorskich) trzeba patrzeć na DWDM jako dość oczywisty wybór dla sieci szkieletowej. Zwłaszcza, jeśli mamy już infrastrukturę w postaci światłowodów. Obietnica jaką daje DWDM – znacznego zwiększenia możliwości sieci bez fizycznej wymiany czy dodawania światłowodów jest najbardziej oczywistym argumentem przemawiającym za budowaniem takich sieci w obliczu coraz większych oczekiwań wobec transmisji danych i coraz większych ilości danych jakie mamy do przesłania i przetworzenia.

Dlaczego to jest ważne?

Dlaczego to jest biznesowo ważne i ekonomicznie uzasadnione? Bo mając istniejącą, zbudowaną nawet dawno (np. kilkanaście lat temu) sieć światłowodową możemy ją wykorzystać znacznie lepiej niż dotąd bez konieczności budowania nowych linii światłowodowych. A to zazwyczaj jest najdroższy element budowania sieci. Mając więc cały czas te same światłowody możemy dziś przesyłać wielokrotnie więcej informacji. Co ma dwa istotne aspekty biznesowe:

Po pierwsze sami potrzebujemy przesyłania coraz większej ilości danych (niezależnie od tego w jakiej branży funkcjonujemy). W branży operatorskiej jest to oczywiste: na tym polegają usługi, z których żyjemy. W branży finansowej – ilość danych i szybkość ich przesyłania mają kluczowe znaczenie. Wszelkie branże oparte na przetwarzaniu informacji, rozrywka, multimedia – podobnie.

Natomiast dla branż takich jak ogólnie rozumiany przemysł, czy energetyka przesyłanie coraz większych ilości danych jest potrzebne aby efektywnie sterować procesami produkcyjnymi i przesyłowymi i konsekwentnie zmierzać w kierunku realizacji koncepcji takich jak Przemysł 4.0 (w największym skrócie – zakładających połączenie wszystkiego ze wszystkim, współdziałanie wielu autonomicznych urządzeń i komunikację między nimi oraz sterowanie wszystkimi procesami na bazie otrzymywanych i analizowanych na bieżąco danych).

Po drugie – wzrost możliwości przesyłowych jaki uzyskujemy jest tak wielki, że możemy się tymi nowymi możliwościami podzielić – oferując na zasadach komercyjnych - możliwości przesyłania danych innym podmiotom i branżom. Nie bez powodu od wielu lat mówi się na przykład o współpracy pomiędzy operatorami telekomunikacyjnymi (potrzebującymi wielkich przepływności) a firmami energetycznymi (mającymi przecież niezwykle rozległe sieci elektroenergetyczne a wraz z nimi także sieci światłowodowe służące do sterowania i obsługi urządzeń). A dziś ta sieć może mieć znacznie szersze wykorzystanie (skoro dzięki DWDM uzyskujemy w niej wielkie przepływności, z których wykorzystujemy tylko część).

DWDM jest nie tylko kwintesencją postępu technicznego i inżynierskiego wykorzystania najnowszych technologii. Otwiera także nowe możliwości biznesowe i związane z nimi perspektywy rozwoju firm, które łączą wykorzystanie najnowszych rozwiązań technicznych z otwartością na nowe kierunki rozwoju swojego biznesu.