

## DWDM w dzisiejszych i jutrzejszych sieciach korporacyjnych.

**To, że potrzebujemy przesyłać coraz więcej danych i potrzeby te rosną 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 łączu wiele sygnałów jednocześnie, równolegle, 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 „świetlnych” 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 multiplexer 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 multiplexer OADM jest urządzeniem optycznym, nie ma modułów zmieniających postać sygnału z optycznej na elektryczną i ta część sygnału, która nie jest w multiplexerze odgałęziana podróżuje dalej. Dołącza do niej natomiast nowy sygnał generowany w danym węźle sieci.

Szczególnym rodzajem multiplexera ad-drop jest multiplexer 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 lambda

Poszczególnym usługom lub klientom w sieci przydziela się długości fali, których używają (popularnie zwane lambda) (od greckiej litery lambda –  $\lambda$ , 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 najwęższych 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 określanie 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) Zwiększanie szybkości transmisji w kanale: 10 – 25 – 100 – 400 Gb/s to kolejne kroki i kolejne dostępne przepływności.
- 2) Zwiększanie liczby kanałów użytecznych poprzez zmniejszanie szerokości kanału tak aby w paśmie C zmieścić więcej kanałów niż kiedyś (40 – 80 – 100 - ...).
- 3) Zastosowanie bardziej zaawansowanych metod modulacji (4QPSK – 8QAM – 16QAM – 64QAM).
- 4) Wykorzystanie transmisji sygnałów o różnej polaryzacji.
- 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 przysłać 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.

#### SKONTAKTUJ SIĘ Z NAMI



biuro@innergo.pl



22 87 37 700

#### BĄDŹ NA BIEŻĄCO

