

## **Rozdział 8**

### **8. Techniki zwielokrotnienia i sieci światłowodowe**

#### **8.1. Sposoby zwiększenia przepustowości łączy światłowodowych**

#### **8.2. Techniki zwielokrotnienia WDM , DWDM, TDM**

#### **8.3. Sieci światłowodowe**

##### **8.3.1. Światłowody w sieciach komputerowych i telekomunikacyjnych**

##### **8.3.2. Systemy transmisji**

###### **8.3.2.1. Systemy transmisji cyfrowej**

**PDH**

**SDH**

**FITL i pochodne**

**FDDI**

**Fiber Channel**

**HIPPI**

###### **8.3.2.2. Systemy transmisji analogowej**

**HFC (CATV)**

#### **8.4. Topologie sieci**

#### **8.5. Ethernet światłowodowy**

#### **8.6. Token Ring (Pierścień kontrolowany przez znacznik)**

#### **8.7. ATM (Tryb przesyłania asynchronicznego )**

### **8.1. Sposoby zwiększenia przepustowości łączy światłowodowych**

Współczesne wymagania telekomunikacyjne i sieciowe wymuszają rozwój mający na celu zwiększenie pojemności i przepustowości złączy. Do najefektywniejszych sposobów zwiększenia pojemności i przepustowości łączy należą

- Zmiana tradycyjnego nośnika sygnału na światłowód
- zwiększenie przepustowości przy zmianie światłowodu z pracującego w zakresie 1300 nm na pracujący przy 1550 nm (wzrost do 10 Gb/s)
- instalacja dodatkowych włókien (nowych kabli)
- zastosowanie szybszej elektroniki
- zastosowanie technik multipleksacji (zwielokrotnienia)

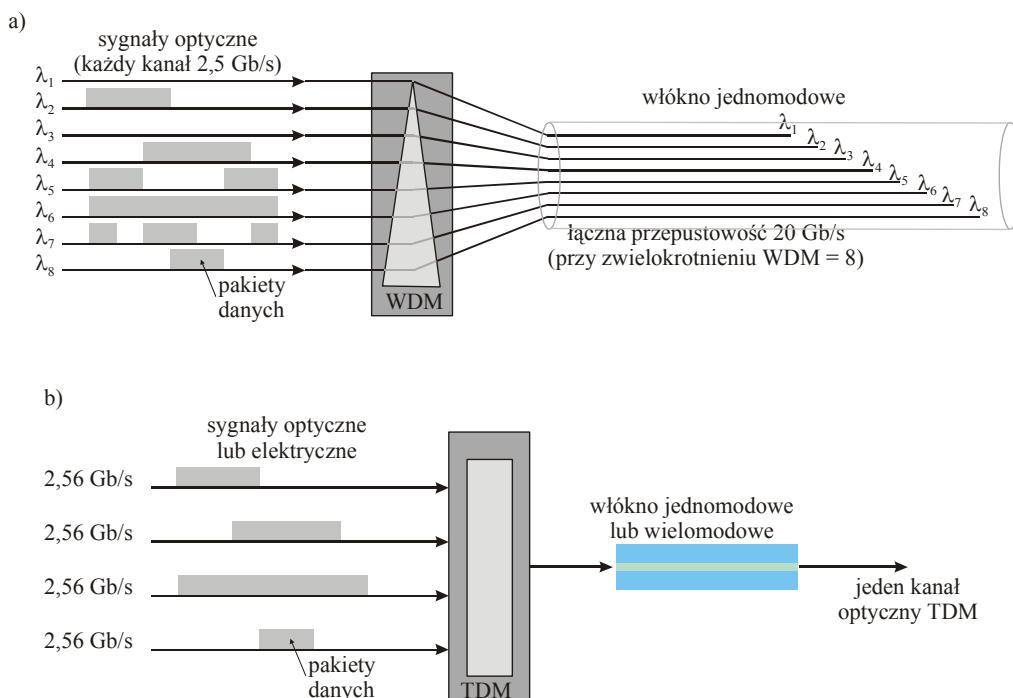
Rozróżniamy następujące sposoby multipleksacji XDM, gdzie  $x = \{W, DW, UDW, F, S, T, OT, C\}$ :

- multipleksacja ze zwielokrotnieniem długości WDM- ang. wavelength division multiplexing
- multipleksacja z gęstym zwielokrotnieniem długości DWDM- ang. dense wavelength division multiplexing
- multipleksacja z ultragęstym zwielokrotnieniem długości UDWDM- ang. ultradense wavelength division multiplexing
- multipleksacja ze zwielokrotnieniem częstości FWD- ang. frequency division multiplexing
- multipleksacja ze zwielokrotnieniem podnośnej SCM- ang. subcarrier multiplexing
- multipleksacja ze zwielokrotnieniem czasowym TDM – ang. time division multiplexing
- multipleksacja z optycznym zwielokrotnieniem czasowym OTDM- ang. optical time division multiplexing TDM
- multipleksacja ze zwielokrotnieniem kodowania CDM– ang. code division multiplexing

## 8.2. Techniki multipleksacji WDM , DWDM, TDM

W rozdziale tym zajmiemy się dwoma głównymi typami multipleksacji: WDM oraz TDM .

Rys.8.1 ilustruje różnicę między multipleksacją długości fali i multipleksacją czasową.



[http://www.chip.pl/archiwum/sub/article\\_9783.html](http://www.chip.pl/archiwum/sub/article_9783.html)

Rys.8.1 Porównanie dwóch różnych schematów transmisji, WDM (a) , TDM (b)

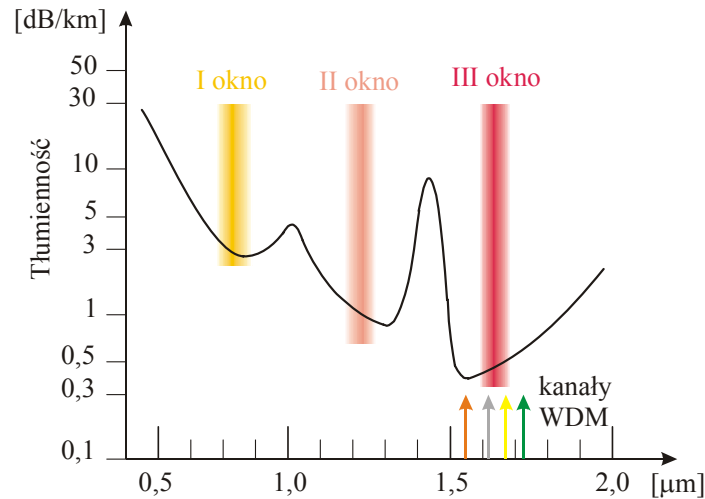
**Zwielokrotnianie z podziałem długości fali WDM** (Wavelength Division Multiplexing) polega na jednoczesnym nadawaniu wielu sygnałów na różnych, acz zbliżonych do siebie częstotliwościach fali światła w pewnego zakresu użytecznego pasma transmisji. Wszystkie pakiety danych są transmitowane niezależnie od siebie i mogą być wysyłane w tym samym czasie. Zasada ta jest zupełnie różna od zwielokrotniania z podziałem czasu TDM (Time Division Multiplexing), gdzie istotne jest zachowanie stałych odstępów pomiędzy kolejnymi paczkami informacji.

**Zwielokrotnienie z podziałem czasowym TDM** polega na tym, że każdemu z  $N$  multipleksowanych strumieni danych przyporządkowanych jest wiele szczelin czasowych w zmultipleksowanym kanale. Multiplekser tworzy więc jeden strumień o dużej szybkości z wielu strumieni danych o małej szybkości. Te dane o dużej szybkości są następnie transmitowane światłowodem do odbiornika, gdzie demultiplekser dokonuje operacji odwrotnej, tzn. rekonstruuje  $N$  pierwotnych strumieni o małej szybkości ze strumienia danych o dużej szybkości.

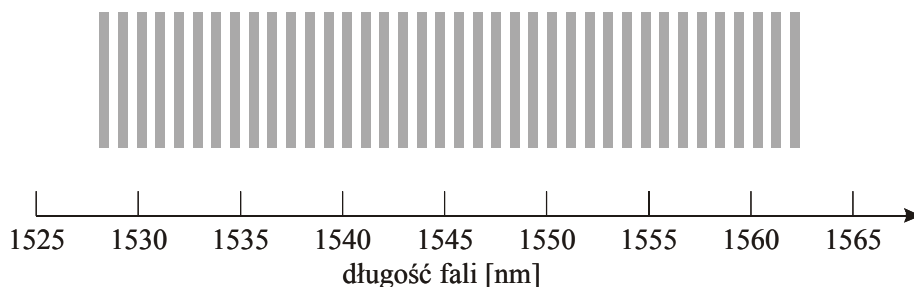
Technika TDM jest starszą metodą multipleksacji. Zwielokrotnienie czasowe na jednej długości fali była w zupełności wystarczające, gdy przepływności węzłów rzędu Mb/s sumowały się w magistrali głównej dając strumień rzędu Gb/s. Jednak oczekiwania wobec przemysłu telekomunikacyjnego rosły bez przerwy. Różnorodne aplikacje internetowe, na przykład handel elektroniczny, przekazy audio, przekazy video wymagają ogromnego ruchu w sieci publicznej. Gdy oczekiwania związane z przepływnością węzłów wzrosły do Gb/s, magistrala wymagała przepływności rzędu Tb/s. Stosując technikę TDM nie można osiągać takich przepływności. Powstał więc pomysł, aby jednocześnie wysyłać sygnały o różnej długości fali tym samym światłowodem stanowiącym magistralę główną. Taka technika nosi nazwę multipleksacji lub zwielokrotnienia z podziałem długości fali WDM. Zalety tej metody już na pierwszych rzut oka wydają się oczywiste. Po pierwsze, aby zwiększyć pojemność systemu, nie musimy dokładać do kabla dodatkowych włókien, ani instalować nowych kabli do istniejącej infrastruktury. Tym samym kablem będą propagowały sygnały niesione przez różne długości fali. To tak, jak gdyby zbudować wirtualny kabel, fizycznie ten sam, a jednak doskonalszy, bo mający większą pojemność. Taki wirtualny kabel może pomieścić bardzo wiele różnych długości fali. Rzeczywiście, patrząc na szerokość III okna optycznego (Rys.8.2) z łatwością zauważamy, że można w nim zmieścić wiele kanałów pracujących na różnych, choć zbliżonych długościach (częstotliwościach). Każdy kanał odpowiada innej długości (częstotliwości) fali. Zwielokrotnienie w domenie długości fali (WDM) i częstotliwości fali (FDM) związane jest zależnością

$$\lambda \nu = \frac{c}{n} \quad (8.1)$$

gdzie  $\lambda$  jest długością fali,  $\nu$  jest częstotliwością fali,  $c$  – prędkość światła w próżni,  $n$  – współczynnik załamania światłowodu.



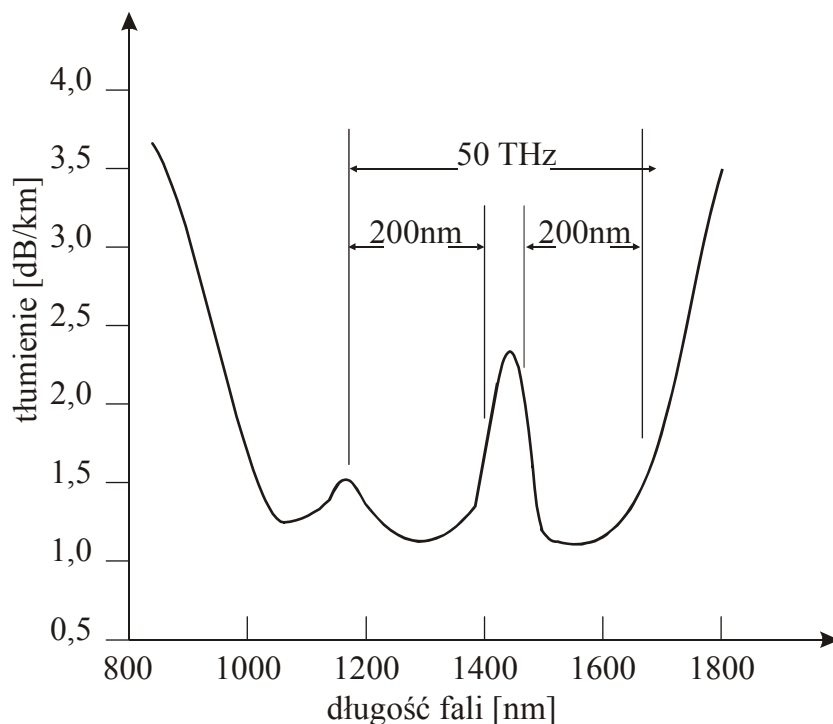
Rys 8.2 Ilustracja wykorzystania różnych długości fali z zakresu III okna optycznego do transmisji pewnej liczby podobnych sygnałów jednym kanałem transmisyjnym w technice multipleksacji WDM.



Rys.8.3 Długości fal wykorzystywane w systemie DWDM

Rys.8.3 przedstawia długości fal wykorzystywane w systemie DWDM

Zakres przedstawiony na rysunku 8.2 można rozszerzyć do II i III okna optycznego i całkowita szerokość widmowa użyteczna w multipleksacji WDM wynosi około 50 THz, 200 nm w II oknie i 200nm w III oknie (Rys.8.4). Nowa generacja światłowodów, o której mówiliśmy w rozdziale 1 pozwala bez przeszkód pracować także na pikie „wodnym” w okolicach 1400 nm.



Rys.8.4 Ilustracja wykorzystania różnych długości fali z zakresu II i III okna optycznego do transmisji pewnej liczby podobnych sygnałów jednym kanałem transmisyjnym w technice multipleksacji WDM.

W zakresie przedstawionym na Rys.8.4 można pomieścić ogromną liczbę kanałów, nawet 160-320, jak to ma miejsce w DWDM obecnie. Ale zanim stało się to możliwe, musiał nastąpić rozwój w zakresie elementów traktu światłowodowego, głównie laserów z bardzo wąską szerokością widmową, siatek Bragga, wzmacniaczy optycznych, filtrów interferencyjnych, przełączników, (de)multiplekserów, sprzęgaczy optycznych itd. Aby stosować filtry interferencyjne właściwe dla wymagań WDM musiał nastąpić rozwój w dziedzinie nanotechnologii i stosowania cienkich warstw. Kolejno nakładane warstwy dielektryczne pozwalają zbudować filtry interferencyjne, które przepuszczają pewne długości fali a inne odbijają. Można więc je wykorzystać w multiplekserach typu add/drop. Pierwszy system WDM powstał w 1994 roku, kiedy to za pomocą stopionego sprzęgacza wprowadzono do światłowodu dwie długości fali (2 kanały) o długościach 1310 nm i 1550 nm. Spowodowało to dwukrotne zwiększenie pojemności do 5 Gb/s, a kabel pozostał ten sam. Wadą takiego systemu były odległe długości fali, ale aby można było stosować małe odstępki między kanałami, trzeba było udoskonalić metody zwiększenia zdolności dyspersyjnej filtrów, siatek Bragga oraz metody kontrolowania stabilności pracy laserów. Dlatego pierwsze systemy WDM transmitowały niewielką liczbę kanałów:

- WDM-** 8 kanałów co 1,6 nm (200 GHz) (filtry używane do (de)multipleksacji)
- DWDM-** 16 kanałów co 0,8 nm (100 GHz)
- UWDM-** 32 kanały co 0,4 nm (50 GHz)

Przeliczenia na częstotliwości oparto na długości fali 1552,52 nm.

Współczesne systemy mogą przenosić 160-320 kanałów jednocześnie. Wymaga to oczywiście bardzo małego odstępów między kanałami. W celu uzyskania niewielkich odstępów stosuje się zazwyczaj techniki multipleksacji **FDM** z odstępem między kanałami rzędu kilku- kilkanastu GHz, technika multipleksacji wykorzystuje często koherentne źródła światła. Tabela 8.1 ilustruje postęp w technikach multipleksacji typu WDM i FDM.

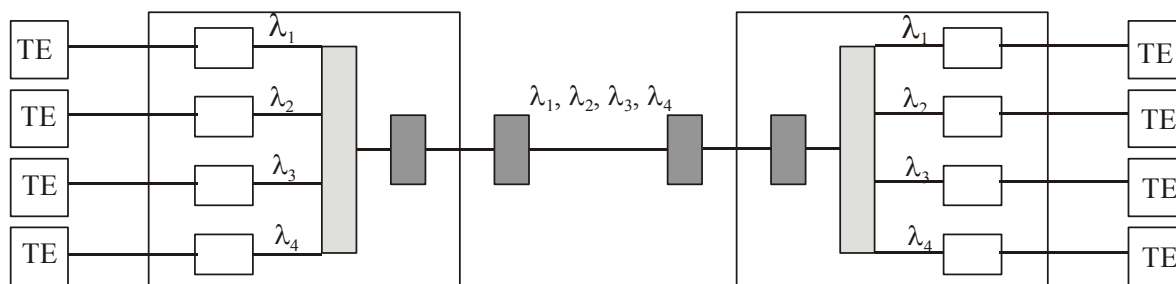
**Tabela 8.1 Rozwój technik multipleksacji typu WDM i FDM.**

RAMY CZASOWE	TYP WDM	KANAŁY	DŁUGOŚĆ FALI	ODSTĘP MIĘDZY KANAŁAMI
Lata osiemdziesiąte XX-gowieku	Szerokopasmowe	2	1310nm, 1550nm	-
Wczesne lata dziewięćdziesiąte XX-gowieku	Wąskopasmowe	2-8	Pasmo C	200-400 GHz
Środek lat dziewięćdziesiątych XX-go wieku	D WDM	16-40	Pasmo C	100-200 GHz
Późne lata dziewięćdziesiąte XX-go wieku	D WDM	64-160	Pasmo C	25-50 GHz
Początek XXI-go wieku	D WDM	160-320	Pasmo C	12,5-25 GHz

**Tabela 8.2. Wyciąg z projektu ETSI - długości fal dla WDM (8 kanałów)**

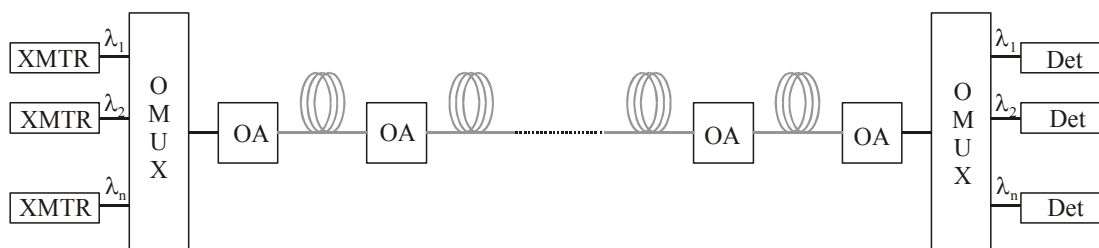
Częstotliwość (THz)	Długość fali (nm)	Częstotliwość (THz)	Długość fali (nm)
193,7	1547,72	192,9	1554,13
193,5	1549,32	192,7	1555,75
193,3	1550,92	192,5	1557,36
193,1	1552,52	192,3	1558,98

Rysunek 8.5 przedstawia schemat najprostszego systemu światłowodowego typu WDM



Rys.8.5 Schemat najprostszego systemu światłowodowego typu WDM

W rzeczywistości w systemie światłowodowym typu WDM trzeba stosować wzmacniacze optyczne. To ich rozwój spowodował w znaczącym stopniu rozwój technologii WDM. Rys.8.6 przedstawia schemat systemu światłowodowego typu WDM z zastosowaniem wzmacniaczy optycznych. Współczesne wzmacniacze optyczne osiągają na wyjściu moce rzędu +20dBm.



Rys.8.6 Schemat systemu światłowodowego typu WDM z zastosowaniem wzmacniaczy optycznych **BEZ NAPISOW!!!!**

Systemy typu WDM mają wiele zalet. Najważniejszą zaletą jest zwiększenie pojemności złącza. Ponadto, system WDM jest przezroczysty dla różnych przepływności oraz rodzajów modulacji, wykazuje więc ogromną elastyczność. System WDM znacznie redukuje liczbę wzmacniaczy optycznych, bowiem jeden wzmacniacz wzmacnia sygnał wielu kanałów jednocześnie. Odległość między regeneratorami jest duża, rzędu 80-144 km. Niestety, systemy WDM mają również wady. Rośnie w nich rola dyspersji oraz zjawisk nieliniowych, które omawialiśmy w rozdziałach 3 i 4. Zjawiska nieliniowe, w szczególności mieszanie czterofalowe powodują **przesłuchy** między kanałami. Jeżeli symbolem  $P_m$  oznaczymy moc optyczną  $m$ -tego kanału, to całkowita moc optyczna w kanale wynosi

$$P = P_m + \sum_{n \neq m}^N T_{mn} P_n + \sum_{n, j \neq m}^N K_{mnj} P_n P_j \quad (8.2)$$

gdzie drugi i trzeci człon opisują przesłuchy, człon drugi opisuje przesłuchy liniowe, czyli wpływ mocy optycznej z kanału  $n$ -tego na kanał  $m$ -ty, zaś człon trzeci – przesłuchy nieliniowe.

Przyczyną przesłuchów liniowych są następujące czynniki:

- mały odstęp między kanałami
- niewystarczająca stabilizacja długości fali źródła światła
- szerokość widmowa filtrów
- widmo zmodulowanego sygnału

Aby zlikwidować przesłuch należy zwiększyć moc o wartość

$$\Delta P = 10 \log_{10} \left( 1 + \sum_{n \neq m}^N T_{mn} \right) [dB] \quad (8.3)$$

Jednak zwiększenie mocy wpływa na zwiększenie niekorzystnej roli zjawisk nieliniowych:

- wymuszone rozpraszanie Ramana (ang. stimulated Raman Scattering, SRS)
- wymuszone rozpraszanie Brillouina (ang. stimulated Brillouin Scattering, SBS)
- skośna modulacja fazy, zależna od nieliniowej zależności współczynnika załamania (ang. cross phase modulation, XPM)
- mieszanie czterofalowe (ang. four wave mixing, FWM)

Zjawiska te omawialiśmy w rozdziale 4.

Rozróżniamy selektywne i szerokopasmowe systemy WDM. W systemie selektywnym WDM multipleksacja i demultipleksacja jest prowadzona z użyciem elementów selektywnych takich jak:

- siatki dyfrakcyjne (rozdzielczość 1-2 nm), czyli pasma kanałów nie mogą być węższe niż 1-2 nm
- filtry interferencyjne (>1-2 nm)
- sprzęgacze selektywne.

**W systemie selektywnym** całkowita moc sygnału optycznego mieszana w sprzęgaczu – multiplekserze i przenoszona do światłowodu transmisyjnego równa jest sumie mocy wszystkich nadajników. W odbiorniku moc dzielona jest przez selektywny demultiplekser pomiędzy poszczególne kanały z niewielkimi stratami spowodowanymi niedoskonałością demultipleksera.

$$P_c = P_{\lambda_1} + P_{\lambda_2} + \dots P_{\lambda_3} \quad (8.4)$$

Do każdego odbiornika (abonenta) dociera sygnał niesiony tylko przez jedną długość fali. Odbiornik jest nie przestrajalny na inną długość fali.



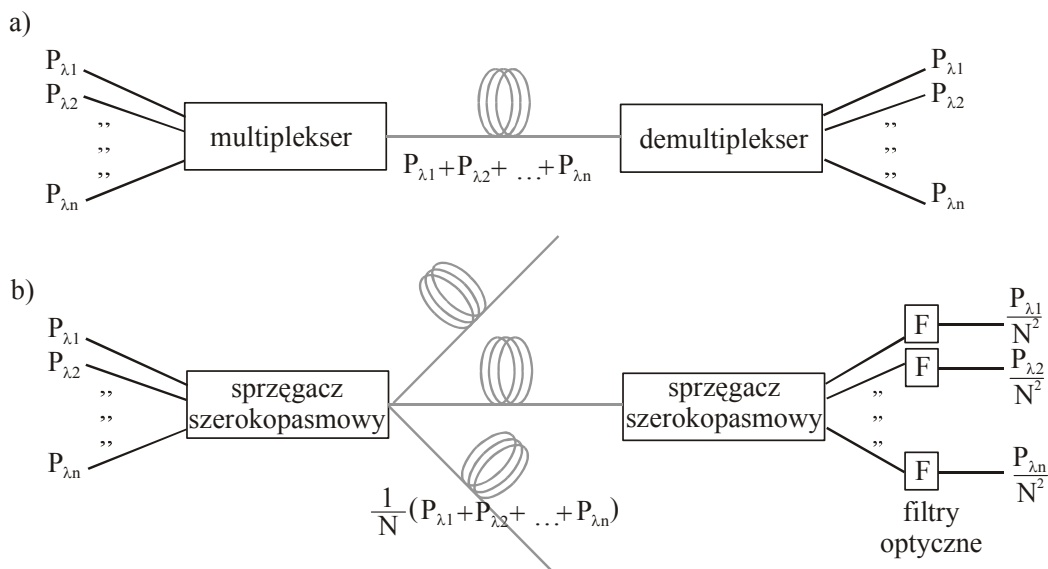
**W multipleksacji szerokopasmowej** multipleksjer miesza różne długości fali i dodaje moce wszystkich sygnałów w szerokopasmowym sprzęgaczu gwiazdowym. Jeżeli jako multipleksjera użyjemy sprzęgacza o N wejściach i N wyjściach, to moc na każdym z wyjść wynosi

$$P_c = \frac{P_{\lambda_1}}{N} + \frac{P_{\lambda_2}}{N} + \dots + \frac{P_{\lambda_n}}{N} \quad (8.5)$$

Sygnał składający się z wielu długości fali wędruje każdym ze światłowodów transmisyjnych. Na końcu każdego z nich znajduje się demultipleksjer, który nie jest selektywny na długość fali. Jeżeli jako demultipleksjera użyjemy sprzęgacza o N wyjściach to do każdego odbiornika dociera sygnał o mocy optycznej

$$P_c = \frac{P_{\lambda_1}}{N^2} + \frac{P_{\lambda_2}}{N^2} + \dots + \frac{P_{\lambda_n}}{N^2} \quad (8.6)$$

Do każdego odbiornika docierają więc wszystkie kanały. Wybór kanału w odbiorniku następuje przez dostrojenie filtra optycznego do długości faliżądanego kanału. Dzięki takiemu rozwiązaniu klient końcowy może w pełni korzystać z usług szerokopasmowych jakietradycyjnym kablem miedzianym nie mogłyby być dostarczane (telewizja cyfrowa, szybki dostęp do internetu, wideokonferencje itp.). Rys.8.7 ilustruje różnicę między systemem selektywnym i szerokopasmowym WDM.



Rys.8.7 Schematy blokowe systemów WDM: a) wąskopasmowy (selektywny) , b) szerokopasmowy

Zalety zwielokrotnienia szerokopasmowego WDM są oczywiste:

1. większa elastyczność w porównaniu z systemami selektywnymi
2. szerokopasmowe rozdzielanie sygnału w odbiorniku pozwala na wybór długości fali niezależnie przez każdy z odbiorników.

System szerokopasmowy ma jednak pewne wady. Wadą zwielokrotnienia szerokopasmowego są straty związane ze sposobem multipleksacji/demultipleksacji. Zależą one od liczby kanałów  $N$  wynoszą  $20 \log N$  [dB] i są znacznie większe niż w systemach selektywnych. Aby pokryć te straty wymagane jest stosowanie wzmacniaczy optycznych.

W systemach WDM ważną rolę odgrywają :

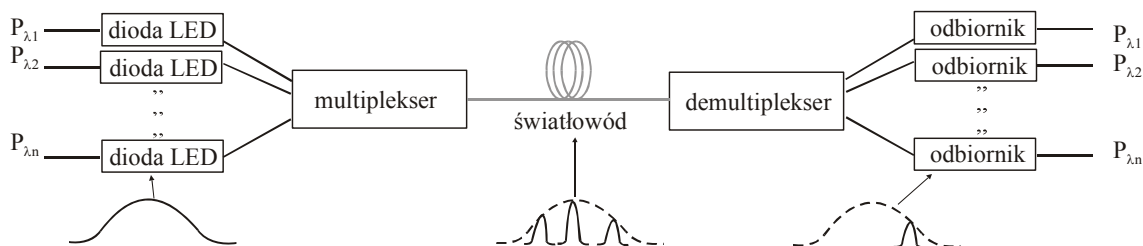
- stabilność częstotliwości źródła światła
- zdolność rozdzielcza elementu dyspersyjnego (siatki dyfrakcyjnej, filtru, sprzęgacza, interferometru)
- zdolność rozdzielcza odbiornika

Wszystkie czynniki są wzajemnie związane. Determinują one również minimalny odstęp między kanałami oraz dopuszczalną wielkość przesłuchu. Przykładowo, siatki dyfrakcyjne oraz filtry interferencyjne mają rozdzielczość rzędu 1-2 nm, czyli pasma kanałów nie mogą być węższe niż 1-2 nm, interferometry Fabry-Perot'a mogą być wykorzystywane do aplikacji wymagających dużych rozdzielczości (0.1-10 nm). Odbiorniki heterodynowe i wzmacniacze półprzewodnikowe mogą odróżnić sygnały oddalone o pojedyncze GHz. Dla małego oddalenia kanałów konieczna jest więc odpowiednia stabilność częstotliwości nadajnika (lasera nadawczego). Źródła światła w systemach WDM odejmują:

- diody elektroluminescencyjne (LED)
- lasery półprzewodnikowe

Jednak użycie diód LED jest ograniczone tylko do systemów zwielokrotnienia długości fali WDM

wykorzystujących zaledwie kilka kanałów. W takim systemie dioda elektroluminescencyjna jest modulowana amplitudowo, a jej wyjściowy sygnał optyczny poddawany jest filtracji widmowej. Ogranicza to szerokość widma zajmowanego przez sygnał, który może być dalej transmitowany przez światłowód wraz z innymi podobnie otrzymanymi sygnałami na innych długościach fal (Rys.8.8).



Rys.8.8 Ilustracja wykorzystania diody LED jako źródła światła w systemie WDM

Za pomocą diody LED można osiągnąć transmisję kilkunastu kanałów na odległość kilku kilometrów przy przepływnościach Mbit/s.

**Zalety:**

duża szerokość widmowa ( 50 nm i więcej). Ten sam typ LED może być użyty dla dużej liczby kanałów, a selektywne falowo multipleksery mogą być stosowane do wyselekcjonowania odpowiedniego sygnału.

**Wady:**

duża szerokość widmowa ( 50 nm i więcej) jest jednocześnie wadą. Duża szerokość widmowa wyklucza ich bezpośrednie zastosowanie, sygnał musi być filtrowany widmowo na wejściu. Filtracja widmowa redukuje moc optyczną wprowadzoną do światłowodu, co ogranicza liczbę kanałów.

Z powodów wyżej wymienionych w systemach zwielokrotnienia długości fali WDM stosuje się zazwyczaj lasery. Lasery oraz ich szerokości widmowe szczegółowo omówiliśmy w rozdziale 5.

Tutaj tylko przypomnijmy, że

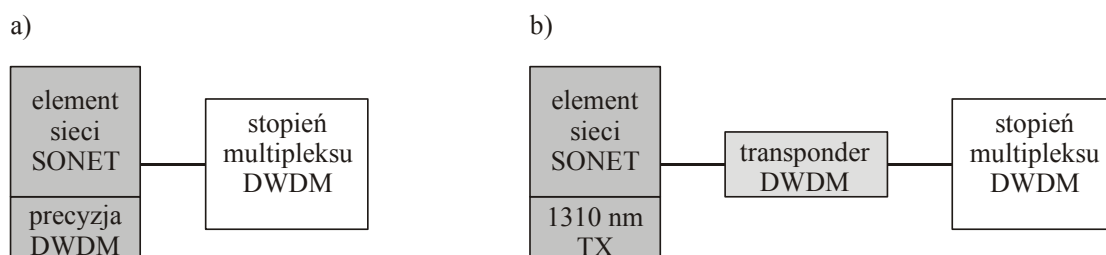
1. lasery wielomodowe z rezonatorem Fabry-Perot'a FP mają zazwyczaj 4-8 istotnych modów, a całkowita szerokość widmowa wynosi 3-6 nm. Ta szerokość widmowa połączona z multipleksarami i filtrami znacznie redukuje liczbę kanałów, które mogą być multipleksowane. Odległość tę należy jeszcze zwiększyć aby uniknąć przesłuchu między kanałami.
2. lasery DFB i DBR mają znacznie mniejsze niż lasery FP szerokości widmowe rzędu 10-100MHz).
3. w przypadku modulacji bezpośredniej źródła światła, tolerancja systemu WDM musi być zwiększona (rzędu 0.2 nm) jako konsekwencja zjawiska chirpu, czyli poszerzenia linii widmowej źródła przy modulacji jego prądu

Poszerzenia i niedokładności stabilizacji linii widmowej lasera, rozdzielczość filtrów, przesłuchy powodują, że minimalna odległość między kanałami powinna wynosić kilka dziesiątych nanometra, co daje kilkadziesiąt kanałów w każdym oknie transmisyjnym

Dalszym krokiem w stronę pełniejszego wykorzystania możliwości transmisyjnych światłowodów i zwiększenia ich pojemności w systemach WDM jest użycie laserów o stabilizowanych częstotliwościach. Wtedy odległość między kanałami będzie ograniczona jedynie przez pasmo częstotliwościowe sygnału modulującego. Jak powiedzieliśmy, w systemach DWDM linia emisyjna lasera musi być bardzo wąska (ułamki nm), ale nie zawsze

to znaczy, że musimy użyć laserów najwyższej klasy w całej sieci, aby osiągnąć pożądany efekt końcowy. Rozróżniamy następujące systemy DWDM (Rys.8.9)

- embedded systems
- systemy otwarte



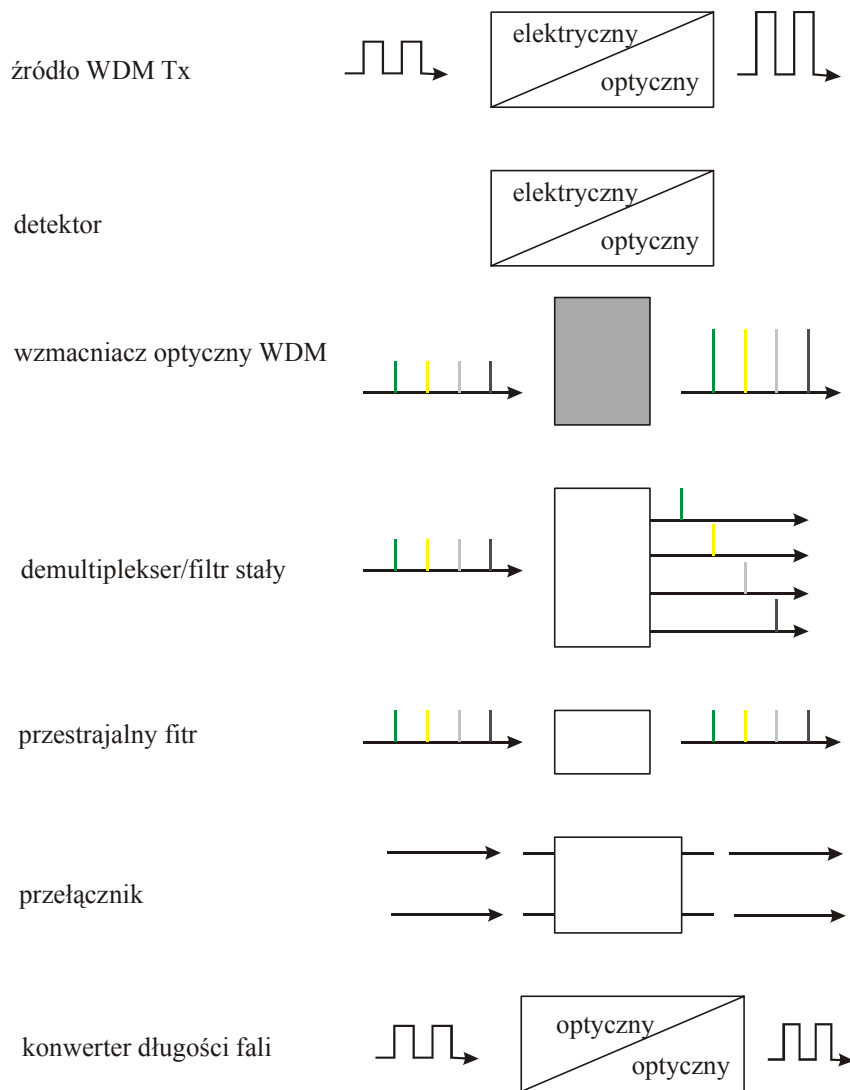
Rys.8.9 Dwa typy systemów DWDM, embedded (a), systemy otwarte (b)

W systemach typu embedded moduł laserowy wysokiej klasy jest włączony zaraz na początku i bezpośrednio w system transmisji cyfrowej SDH (Sonet). W systemach otwartych można zastosować tani laser o niekoniecznie najlepszych parametrach widmowych dla transmisji w sieci typu SDH, a dopiero po wyjściu z sieci SDH, a przed wejściem do systemu WDM zastosować laser wysokiej klasy w module zwanym transponderem.

Podsumowując, trakt typu WDM musi zawierać elementy (Rys.8.10), które omówiliśmy szczegółowo w rozdziałach 5,6 i 7 :

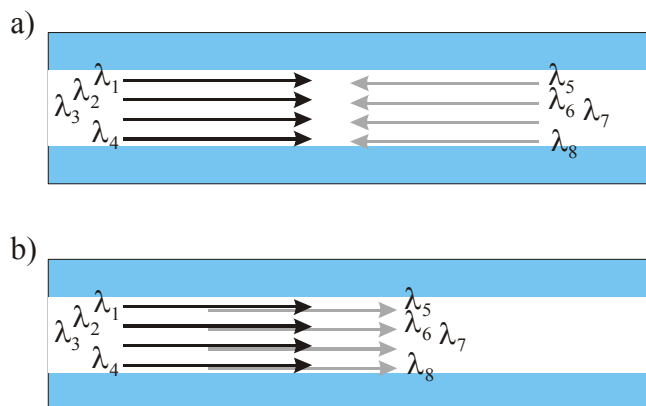
- źródło światła (rozdział 5)
- detektor (rozdział 6)
- wzmacniacz (rozdział 7)
- (de)multiplekder włączając multiplekser typu add/drop (rozdział 7)
- przestarajalne filtry (rozdział 7)
- przełączniki (rozdział 7)
- konwertor długości fali (rozdział 7)

Rozwój technologii WDM jest zdeterminowany przez postęp w dziedzinie elementów wyżej wymienionych.



Rys.8.10 Podstawowe elementy traktu optycznego w systemach WDM

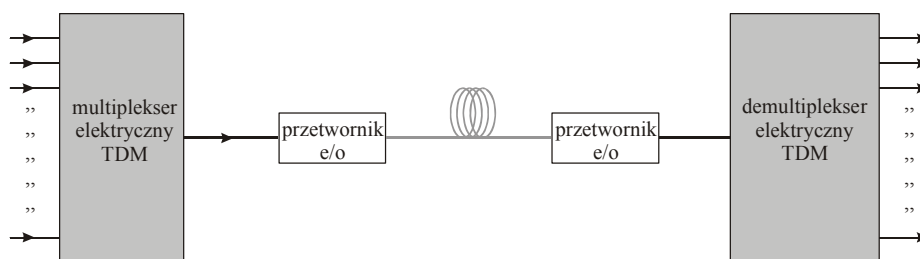
Rozróżniamy *dwukierunkowe* (ang. bi-directional) i *jednokierunkowe* (ang. uni-directional) systemy DWDM (Rys.8.11)



Rys.8.11 Ilustracja dwukierunkowego (a) i jednokierunkowego (b) systemu DWDM

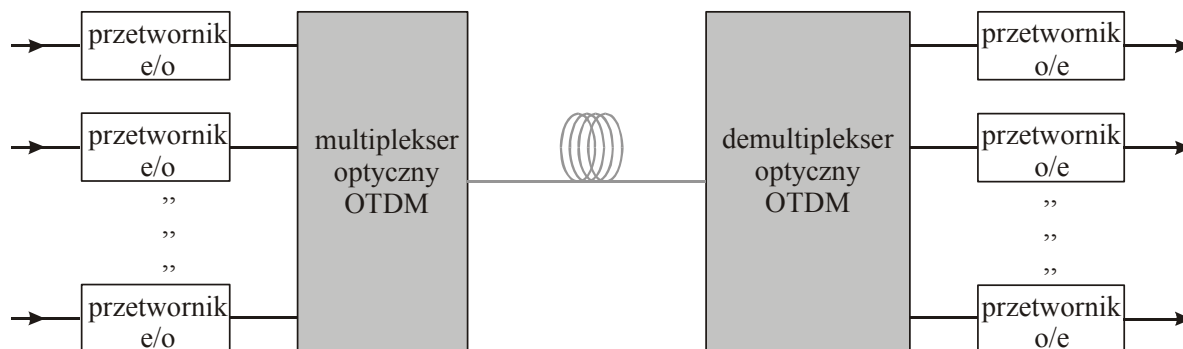
W systemach jednokierunkowych wszystkie fale o różnych długościach propagują w tym samym kierunku. W systemach dwukierunkowych sygnały są rozszczepiane na dwa niezależne „pasma” wędrujące w przeciwnych kierunkach.

Zajmijmy się teraz zwielokrotnianiem z podziałem czasowym TDM i OTDM. Jak już powiedzieliśmy, zwielokrotnienie z podziałem czasowym TDM polega na tym, że każdemu z  $N$  multipleksowanych strumieni danych przyporządkowana jest szczelina czasowa w zmultipleksowanym kanale. Multiplekser tworzy więc z wielu strumieni danych o małej szybkości jeden strumień o dużej szybkości. Te dane o dużej szybkości są następnie transmitowane światłowodem do odbiornika, gdzie demultiplekser dokonuje operacji odwrotnej, tzn. rekonstruuje ze strumienia danych o dużej szybkości  $N$  pierwotnych strumieni o małej szybkości. Rys.8.12 przedstawia schemat blokowy TDM dokonujący multipleksacji elektrycznej.



Rys. 8.12 Schemat blokowy TDM

Technika zwielokrotnienia czasowego TDM z multipleksacją elektroniczną jest dobrze znana i szeroko stosowana. Technika ta jest wykorzystana w wielu systemach transmisyjnych, np. zgodnych z hierarchią PDH lub SDH. Jednym z podstawowych problemów przy zwielokrotnieniu szybkich strumieni danych są ograniczenia związane z szybkością pracy układów elektronicznych. Wskutek tych ograniczeń przepływności osiągane obecnie wynoszą co najwyżej około 50 Gbit/s. Drugi problem przy zwielokrotnieniu czasowym wiąże się z samym światłowodem, a w szczególności z jego dyspersją. Konieczne są techniki kompensacji dyspersji. Zjawiska dyspersji oraz jej kompensacji omówiono w rozdziale 3. Bariery związane ze zwielokrotnianiem czasowym za pomocą multiplekserów/demultiplekserów elektronicznych zostały pokonane w metodzie OTDM, czyli zwielokrotnienia czasowego w dziedzinie optycznej. Technika ta znalazła zastosowanie stosunkowo niedawno. W technice tej zarówno multipleksacja czasowa wielu strumieni danych o małej szybkości, jak również demultipleksacja w terminalu odbiorczym, dokonywana jest w sposób optyczny. (De)multipleksacja optyczna za pomocą sprzęgaczy kierunkowych oraz interferometrów została omówiona w rozdziale 7. Rys.8.13 przedstawia schemat blokowy OTDM.



Rys. 8.13 Schemat blokowy OTDM

Tabela 8.3 przedstawia schemat ilustrujący przydzielanie kanałów transmisji dla 3 stacji i dwóch kanałów. Czas dzielimy na 3 sloty (przedziały)  $t$ ,  $t+1$ ,  $t+2$  powtarzające się cyklicznie. W czasie  $t$  kanałem nr 0 nadawany jest sygnał ze stacji 1 i 2, w czasie  $t+1$  – ze stacji 1 i 3 i.t.d.

Przydzielanie kanałów / transmisji  
(z wielokrotnianiem czasowe i optyczne)

- 3 stacje
- 2 kanały

Czas dzielimy na sloty (przedziały) powtarzające się cyklicznie

Nr. kanału	T	t+1	t+2
0	(1, 2)	(1, 3)	(2, 1)
1	(2, 3)	(3, 1)	(3, 2)

### 8.3. Sieci światłowodowe

Można dokonać różnego rodzaju klasyfikacji sieci światłowodowych, np. wg

- zastosowania (sieci komputerowe i sieci telekomunikacyjne, diagnostyka i terapia medyczna)
- rozległość sieci (LAN, WAN, MAN)
- systemy transmisji cyfrowej (FDDI, HIPPI, PDH, SDH)
- topologii sieci (gwiazda, pierścień, drzewo)
- użytego w sieci typu wielokrotnienia (WDMA, TDMA, SCMA, CDMA)

### 8.3.1. Światłowody w telekomunikacyjnych i sieciach komputerowych

Tabela 8.4 przedstawia najbardziej powszechne systemy transmisji w sieciach komputerowych i telekomunikacyjnych

**Tabela 8.4 Systemy transmisji w sieciach komputerowych i telekomunikacyjnych**

Sieci komputerowe		Sieci telekomunikacyjne
LAN	WAN	SYSTEMY
Ethernet	FDDI	PDH
Token Ring	ATM	SDH
FDDI		ATM
		FITL itp.
		HFC (CATV)

Niżej przedstawiono wyjaśnienie użytych skrótów.

PDH - Plesiochronous Digital Hierarchy

SDH –Synchronous Digital Hierarchy

FDDI - Fiber Data Distributed Interface (wykorzystuje mechanizmy z technologii Token Ring w sieciach WAN)

ATM - Asynchronous Transfer Mode

FITL - Fiber In The Loop

HFC - Hybrid Fiber Coax (sieci dostępne w systemach TV kablowej CATV)

Największym beneficjentem rozwoju technologii światłowodowych stały się telekomunikacja i sieci komputerowe. Wraz z zapotrzebowaniem na nowe usługi stało się oczywiste, że tymczasowe systemy oparte na standardzie SONET/SDH nie mają wystarczającej wydajności oraz elastyczności do obsługi ruchu internetowego, który już teraz jest około 30 razy większy niż tradycyjny przekaz głosu. Wprowadzony w połowie lat 80-tych w USA telekomunikacyjny system sieciowy **SONET** (ang. Synchronous Optical Network), który jest amerykańskim odpowiednikiem systemu europejskiego **SDH** (ang. Synchronous Digital Hierarchy), był w zupełności wystarczający do przenoszenia strumieni głosu. Nowe usługi takie jak handel elektroniczny, obsługa strumieni video, internetowe rozpowszechnianie oprogramowania wymusiły rozwój sieci optycznych, które mają większe pojemności i przepływności. Rozwój sieci optycznych wymusił podjęcie działań mających na celu włączenie do systemu optycznego



dotychczas istniejących systemów transmisji. Sieci optyczne, podobnie jak SONET/SDH mają zdefiniowane elementy sieci oraz architekturę. Jednak, w przeciwieństwie do sieci SONET/SDH nie mają one ściśle zdefiniowanej struktury ramki i szybkości przepływu i dlatego są idealnie przezroczyste dla istniejących sieci telekomunikacyjnych SONET/SDH. Zanim przejdziemy do sieci optycznych, powiemy krótko o wcześniej wprowadzonych systemach transmisji cyfrowej w telekomunikacji, czyli systemach PDH oraz wyżej wspomniany system SONET/SDH.

Sieci optyczne znalazły również zastosowanie w sieciach komputerowych i wprowadziły zupełnie nowy wymiar przesyłania informacji. Rozległość sieci komputerowej określają terminy LAN, MAN, WAN:

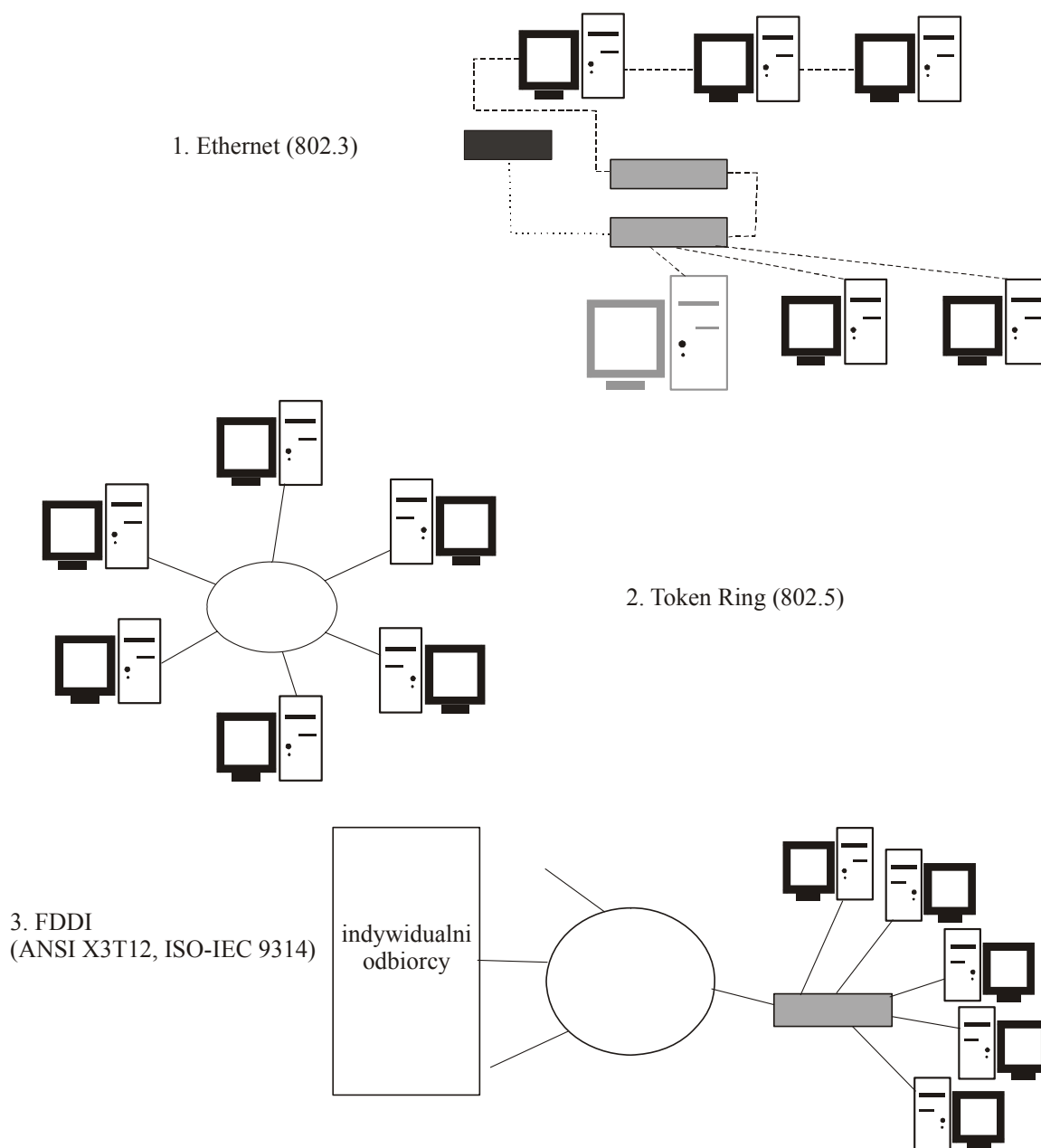
- LAN – Local Area Network, lokalna sieć komputerowa zawierająca od kilku do kilkudziesięciu stacji rozmieszczonych na niewielkim obszarze
- MAN – Metropolitan Area Network, miejska sieć komputerowa, która łączy sieci LAN na większym obszarze
- WAN – Wide Area Network, rozległa sieć obejmująca kraje lub kontynenty.

Przykładem sieci MAN jest sieć miejska Poznańskiego Centrum Superkomputerowo-Sieciowego POZMAN. POZMAN jest siecią optyczną, zbudowaną w całości na bazie połączeń światłowodowych. Zastosowano topologię pierścienia z kilkoma cięciwami, co zwiększa jej niezawodność w przypadku awarii. Niezawodność zwiększa fakt, że każdy węzeł szkieletowy jest połączony z co najmniej dwoma innymi węzłami. Do węzłów sieci szkieletowej dołączono gwiazdzące połączenia światłowodowe z węzłów dostępowych. Dodatkowo podjęto prace mające na celu utworzenie pierścienia dla najbardziej odległych węzłów dostępowych. Początkowo zastosowano system transmisji FDDI, która obecnie została zastąpiona nowoczesnym systemem transmisji ATM. Technologia transmisji FDDI została przesunięta do sieci kampusowych. Dostęp użytkowników do miejskiej sieci szkieletowej POZMAN odbywa się w systemach Ethernet, Fast Ethernet i FDDI. Sieć POZMAN jest podłączona do sieci krajowej WAN – szerokopasmowej sieci POL-34. Sieć POZMAN ma połączenie z najważniejszymi polskimi operatorami telekomunikacyjnymi: TP S.A. PKP, NASK, Internet Partners, TelBank, Tel-Energo. Ponadto, ma połączenie z europejską siecią naukową TEN-155 poprzez węzeł we Frankfurcie nad Menem.

Najnowocześniejszym medium stosowanym do transmisji danych w sieciach komputerowych LAN jest światłowód. Pierwsza norma 802.3j specyfikująca zastosowanie światłowodów w sieciach Ethernet (10Base-FL) została wprowadzona w 1993. Największą zaletą stosowania światłowodów w sieciach LAN jest duża przepustowość rzędu 1Gb/s, największą wadą jest cena, nadal wyższa niż cena tradycyjnych nośników opartych na kablu miedzianym. Niżej

przedstawiono najważniejsze technologie sieci komputerowych oparte na zastosowaniu światłowodów (Rys. 8.14).

1. Ethernet (norma IEEE 802.3)
  - Ethernet (10 Base-FL)
  - Fast Ethernet (100Base-FX)
  - Gigabit Ethernet (1000Base-LX, 1000Base-SX)
2. Token Ring (norma 802.5)
3. FDDI
4. Fibre Channel



Rys.8.14 Najważniejsze technologie sieci komputerowych oparte na zastosowaniu światłowodów.

Tabele 8.5 i 8.6 podsumowują zalecenia konfiguracji dla różnego typu sieci światłowodowych

**Tabela 8.5 Sieci światłowodowe-zalecenia konfiguracji**

**Elementów optoelektroniki (1)**

Zastosowanie	Baud Rate Mbaud	Poziome ≤ 100 m		Budynek ≤ 300 m		Campus ≤ 2,000m	
		Media	TX	Media	TX	Media	TX
10BaseF	20	MM	S	MM	S	MM	S
Token Ring	32	MM	S	MM	S	MM	S
100VG AnyLAN	120	MM	S	MM	S	MM	LE
100BaseF	125	MM	S	MM	S	MM	LE
1000Base-SX	1250	MM	SL	MM	SL		
1000Base-LX	1250	MM	LL	MM	LL	SM	LL
FDDI	125	MM	S	MM	S	MM	LE

**Tabela 8.6 Sieci światłowodowe- zalecenia konfiguracji**

**Elementów optoelektroniki (2)**

Zastosowanie	Baud Rate Mbaud	Poziome ≤ 100 m		Budynek ≤ 300 m		Campus ≤ 2000 m	
		Media	TX	Media	TX	Media	TX
Fibre Channel	133	MM	S	MM	S	MM	LE
	266	MM	SL/LE	MM	SL/LE	SM	LL
	532	MM	SL/LE	MM	SL/LE	SM	LL
	1062	MM	SL	MM	SL	SM	LL
SDH/Sonet/A TM	52	MM	S	MM	S	MM	LE
	155	MM	SL/LE	MM	SL/LE	MM	
	622	MM	SL/LE	MM	SL/LE	SL/LE	
	1244	MM	SL	MM	SL	SM	LL
	2499	MM	SL	MM	SL	SM	LL
						SM	LL

Podstawowymi pojęciami , które opisują komunikację w sieciach i między sieciami są:

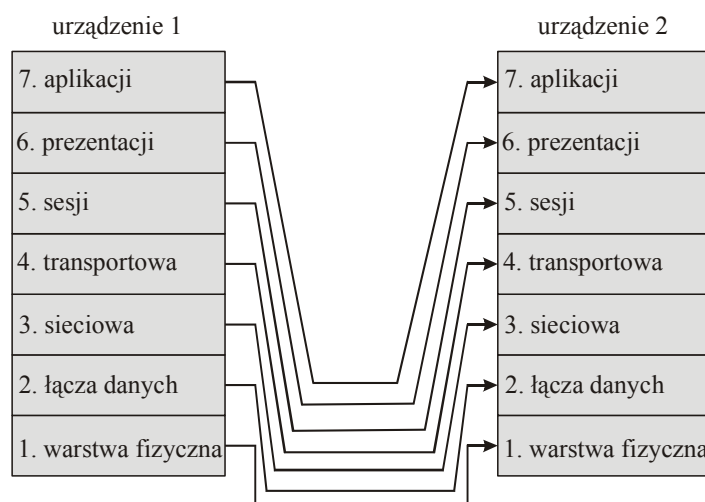
- protokół
- warstwa (ang.layer)

- metoda dostępu
- kodowanie.

Protokół – to zbiór reguł określających jak należy przygotować dane do przesłania, nawiązać i kontrolować komunikację. Protokoły podlegają standaryzacji.

Komunikacja w sieci i między sieciami odbywa się w kilku warstwach opisanych poprzez model odniesienia OSI (Open System Interconnection)

Rys. 8.15 przedstawia warstwy modelu odniesienia OSI, zaś Rys 8.16 opisuje zadania poszczególnych warstw.

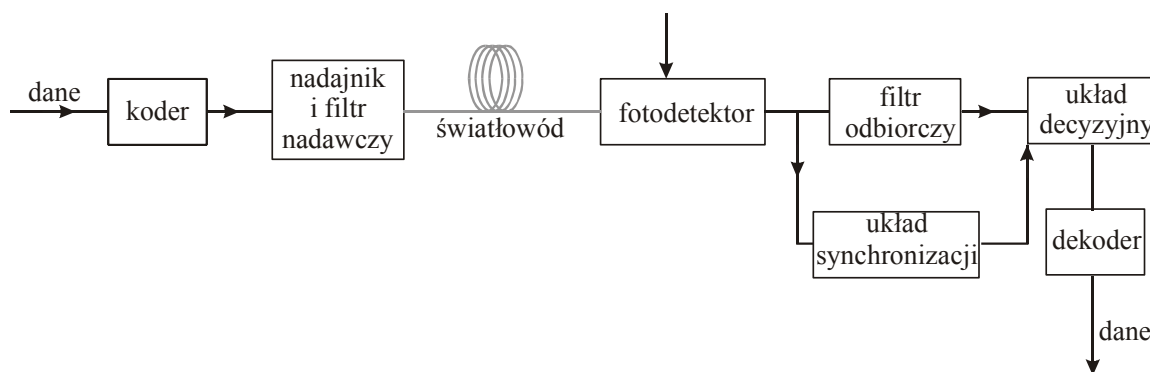


Rys 8.15 Warstwy modelu odniesienia OSI

<b>Warstwa 7-</b> aplikacji (zastosowań) – logowanie, poczta elektroniczna, bazy danych
<b>Warstwa 6</b> – prezentacji – interpretacja danych, (de)kompresja, emulacja terminalu
<b>Warstwa 5</b> – sesji – połączenie logiczne pomiędzy komputerami (początek, koniec, synchronizacja). Aplikacje sieciowe korzystają z usług tej warstwy. Np. TCP/IP
<b>Warstwa 4</b> – transportowa – przekazywanie danych pomiędzy połączonymi systemami. Np. TCP/IP
<b>Warstwa 3</b> – sieciowa – przekazywanie danych przez sieć (lub sieci) od nadawcy do adresata. Dane warstw 1 – 3 przetwarzane są w porcjach zwanych pakietami
<b>Warstwa 2</b> – łącza danych – dane z warstwy 3 przygotowane są do przesłania w formie ramki. Kontrola, niezawodność przesyłanych danych pomiędzy węzłami sieci, (np. protokoły Ethernet, Token Ring)
<b>Warstwa 1</b> – fizyczna – transmisja danych, okablowanie, napięcia, poziomy sygnał, kodowanie,

Rys.8.16 Zadania poszczególnych warstw w modelu OSI.

W tej książce zajmujemy się przede wszystkim warstwą 1. Warstwa ta zajmuje się fizyczną częścią transmisji, która dotyczy okablowania, elementów traktu takich jak rozgałęziacze, modulatory, multiplexery, demultiplexery, wzmacniacze, nadajniki, odbiorniki, napięcia, poziomy sygnału oraz kodowanie. Fizyczną warstwę 1 omawialiśmy w poprzednich wykładach. Warstwa 2 zajmuje się przygotowaniem do przesłania danych. Dane przygotowane są do wysłania w formie ramki. Dane cyfrowe są w sieci grupowane w ramki o różnej wielkości bajtowej zależnej od szybkości kanału. Stały w sieci jest natomiast czas trwania ramki. Warstwa 2 kontroluje niezawodność przesyłania danych w ramach określonych protokołów (Ethernet, Token Ring). O warstwie 2 powiemy tylko w bardzo ograniczonym zakresie niezbędnym do wytłumaczenia pewnych zasad transmisji w systemach komputerowych i telekomunikacyjnych. Schematyczną transmisję danych przedstawiono na rysunku 8.17.



Rys.8.17 Schemat blokowy światłowodowego systemu transmisji cyfrowej

Dane przychodzące do nadajnika są kodowane, przechodzą przez opcjonalny filtr nadawczy i modułują prąd nadajnika optycznego (dioda elektroluminescencyjna, laser półprzewodnikowy – omawiane w rozdziale 5). Powstałe impulsy świetlne są wprowadzane do światłowodu i po jego przejściu są powtórnie zamieniane na sygnał elektryczny w detektorze (zazwyczaj dioda PIN – omawiana w rozdziale 6) . W odbiorniku sygnał jest filtrowany, próbkowany i w układzie decyzyjnym powtórnie zamieniany na sygnał binarny.

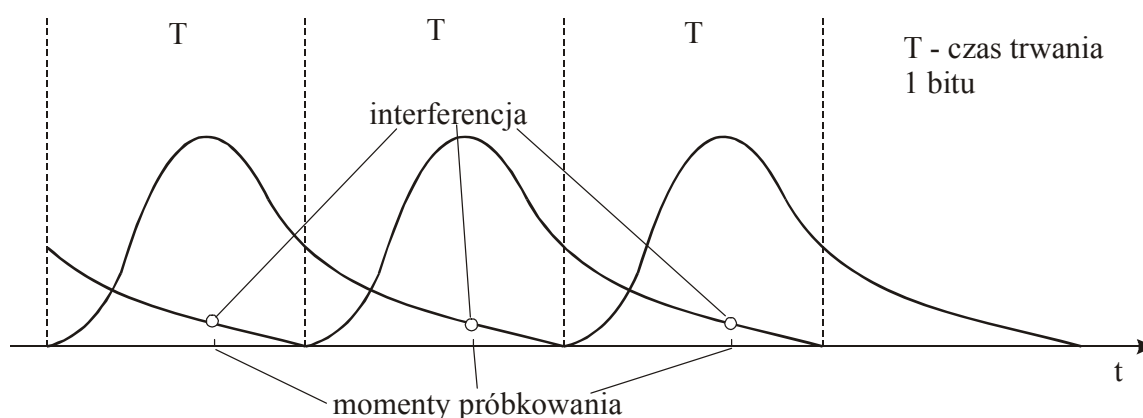
Rozróżniamy dwa typy podejmowania decyzji:

- decyzja podejmowana jest na podstawie jednokrotnej decyzji (ang. **hard decoding**), alfabet symboli transmisyjnych jest dwuelementowy: symbol „0”-zerowa lub bardzo mała moc sygnału optycznego, symbol „1”- możliwie dużą moc sygnału optycznego. Prowadzi to dużej liczby błędów popełnianych przez układ decyzyjny ze względu na szумы i czułość detektora)
- decyzja podejmowana jest nie na podstawie pojedynczego bitu, ale ciągu odebranych bitów (ang. **soft decoding** )

Miarą jakości transmisji jest elementowa stopa błędów, BER (bit error rate) zdefiniowany jako  $p_e = \text{liczba bitów błędnie odebranych} / \text{całkowita liczba nadanych bitów}$

Zjawiska dyspersji powodują przesłuchy między kanałami w systemach zwielokrotnienia długości fali. Podobnie dzieje się w systemach ze zwielokrotnieniem czasowym TDM.

Całkowite pasmo częstotliwościowe nadawanego impulsu transmisyjnego wpływa na poszerzenie w czasie. W wyniku tych procesów w szczelinie czasowej przeznaczony dla konkretnego impulsu pojawiają się resztki impulsów z sąsiednich szczelin czasowych. Zjawisko to nosi nazwę interferencji międzysymbolowej (ISI- intersymbol interference) (Rys. 8.18).

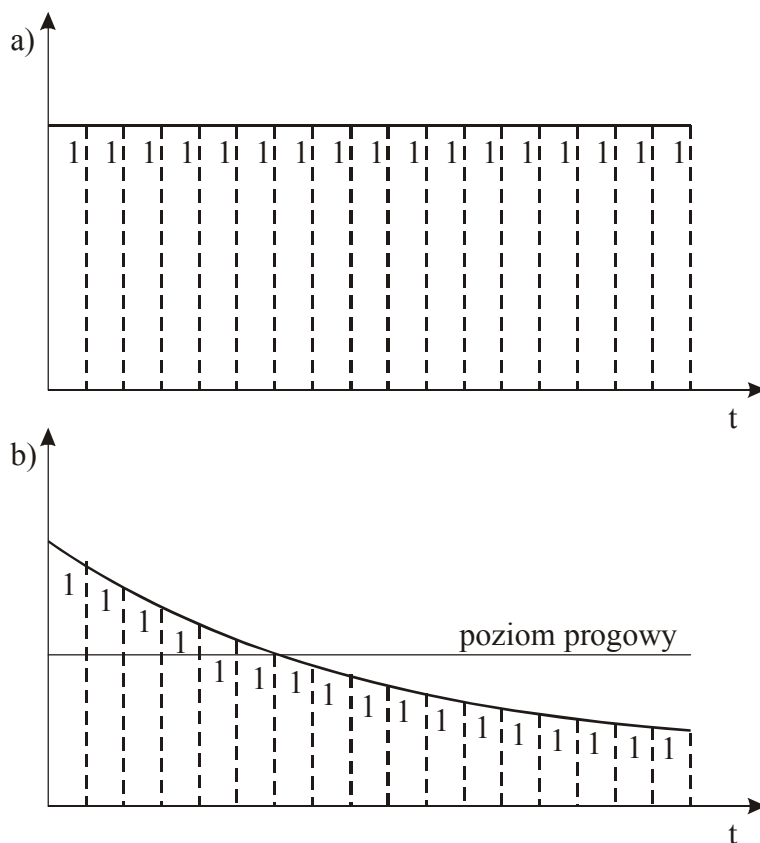


Rys. 8.18 Ilustracja zjawiska interferencji międzysymbolowej

Należy zapytać dlaczego sygnał optyczny w transmisji cyfrowej jest kodowany. Czy zwyczajna modulacja będąca najprostszym rodzajem kodowania transmisyjnego z sygnałem typu NRZ (ang. Non return zero) przypisująca symbolowi „1” maksymalna wartość napięcia, symbolowi „0” – poziom zbliżony do zerowego, nie wystarczy? Otóż zasadniczą przyczyną stosowania bardziej skomplikowanego kodowania transmisyjnego jest potrzeba kontroli widma transmitowanego sygnału. Wyjaśnimy to poniżej.

Najpierw powiedzmy kilka słów o typowych kodach transmisyjnych. Najprostszym rodzajem kodu transmisyjnego jest sygnał NRZ (ang. Non return zero) przypisujący symbolowi „1” maksymalna wartość napięcia, symbolowi „0” – poziom zbliżony do zerowego. Taki sygnał nie zapewnia jednak dobrych właściwości synchronizacyjnych zakodowanego sygnału. Rzeczywiście, odbiornik musi zapewnić regenerację sygnału taktującego i musi on być zdolny do wydzielenia tego sygnału z odbieranych danych. Niezbędne są więc odpowiednie częste zmiany poziomu w odebranych sygnale. Sygnał NRZ o długich sekwencjach zer i jedynek tego nie zapewnia i wobec tego musi być kodowany. Długa

sekwencja jedynek lub zer oznacza warunki stałoprądowe, czyli częstotliwości bliskie zera. Ale światłowody przenoszą światło o częstotliwości powyżej tzw. częstotliwości odcięcia. Tak więc sygnały stałoprądowe nie są przenoszone przez światłowód. Jeżeli zatem nadawana jest długa sekwencja jednakowych symboli, to wówczas pojawiają się tzw. zwisy, które powodują błędy transmisji danych i zwiększenie elementowej stopy błędów (Rys. 8.19).



Rys.8.19 Ilustracja zniekształcania sygnału transmisyjnego długiego ciągu jedynek binarnych, tzw. „zwisów”.

Aby zapewnić odpowiednie częste zmiany poziomu w odebranych sygnałach stosuje się bardziej efektywne kody transmisyjne. W Tabeli 8 przedstawiono najczęściej stosowane kody transmisyjne.

**Tabela 8 Kody transmisyjne**

Kod	Zasada		Przykład							
Zegar										
Sygnal	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
NRZ										
RZ										
(Manchester) Bifazowy										
AMI 1										
AMI 2										

gdzie

**ZINR** – (non return to zero invert on ones). Przejście od jednego poziomu do drugiego następuje tylko wtedy, gdy transmitowany jest symbol „1”, zaś przy transmisji „0” poziom sygnału pozostaje stały.

**Kod Manchester** – symbol ‘0’ jest kodowany jako 01, a symbol ‘1’ – jako 10.

**AMI** – (alternate mark inversion). Symbol „1” jest kodowany naprzemiennie jako 00 i 11, symbol „0” jest kodowany zawsze jako 10.

**AMI3** – symbol „0” jest kodowany jako 10 po 11 i 01, a jako 01 po 00 i 10, symbol „1” jest kodowany naprzemiennie jako 00 i 11.

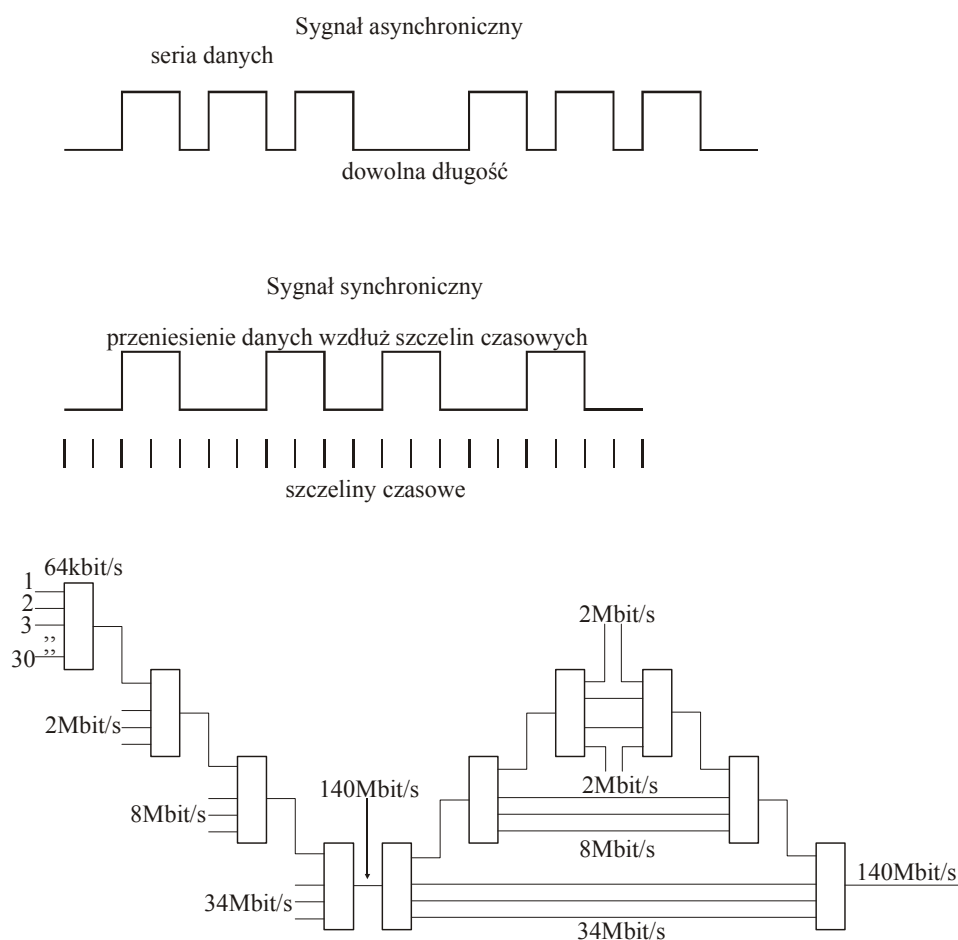
### 8.3.2.1. Systemy transmisji cyfrowej

- PDH
- SDH
- FITL i pochodne
- FDDI
- Fiber Channel
- HIPPI



W książce tej zajmujemy się głównie warstwą fizyczną transmisji światłowodowej w systemach telekomunikacyjnych i sieciach komputerowych. Jednak warstwa ta nierozłącznie jest związana z warstwą łącza, która opisuje sposób współużytkowania fizycznego nośnika informacji. Sposób współużytkowania jest rodzajem schematu operacyjnego, który podlega standaryzacji i nosi nazwę protokołu MAC (ang. media-access control), który steruje dostępem do nośnika. Tak więc, każdy standard transmisji, zarówno w sieciach komputerowych jak i telekomunikacyjnych, wykorzystuje różne metody, łączy topologię fizyczną, logiczną, sygnalizację i techniki kontroli dostępu do nośników i wszystkie te elementy są nierozzerwalnie związane. Dlatego niżej krótko omówimy podstawowe systemy transmisji cyfrowej w szczególności systemy z wykorzystaniem światłowodów.

### PDH (ang. plesiochronous digital hierarchy)



Rys.8.20 System **PDH** (ang. plesiochronous digital hierarchy)

System **PDH** (ang. plesiochronous digital hierarchy) jest jednym z najstarszych telekomunikacyjnych systemów cyfrowych z lat siedemdziesiątych opartym na modulacji impulsowo-kodowej PCM (pulse code modulation) zaproponowanej jeszcze w 1937 roku. PCM dokonuje zamiany sygnału analogowego (np. głosu ludzkiego na sygnał binarny). Używając tej metody można przedstawić standardowy sygnał telefoniczny o paśmie 4 kHz za pomocą

cyfrowego ciągu znaków o przepływności 64 kbit/s. Przepływność można zwiększyć poprzez zwielokrotnienie z podziałem czasowym TDM (ang. time division multiplexing). Polega on na wprowadzaniu do kanału wychodzącego o dużej przepływności pojedynczych bajtów z kolejnych przychodzących kanałów PCM. Proces ten nazywamy często mianem **sekwencyjnego przeplatania bajtowego**.

Podstawowym elementem systemu PDH jest tzw. krotnica multipleksująca 30 standardowych kanałów cyfrowych PCM 64 kb/s w Europie (dla USA - 24 kanały) + 2 kanały sterujące po 64 kb/s. Proces ten daje podstawowy kanał o przepustowości ok. 2Mb/s (tzw. E1 w Europie). Kolejne krotnice (x4) zwiększają przepustowość do max. ok. 140 Mb/s. Praktyczna zasada zwielokrotniania jest dosyć skomplikowana. Zwielokrotniane są kanały, generowane przez różne urządzenia. Ich podstawy czasowe (zegary) są nominalnie jednakowe, ale praktycznie różnią się nieznacznie między sobą. Stąd pochodzi termin *plezjochroniczny* (z greckiego; prawie synchroniczny). Zatem dla zapewnienia stałej przepływności sygnału, przeplot bitowy musi być uzupełniany przez dodanie pustych bitów, zwanych *bitami dopełnienia*. Bity te są usuwane z sygnału zbiorczego podczas procesu demultipleksacji.

Rys.8.21 Zwielokrotnianie plezjochroniczne

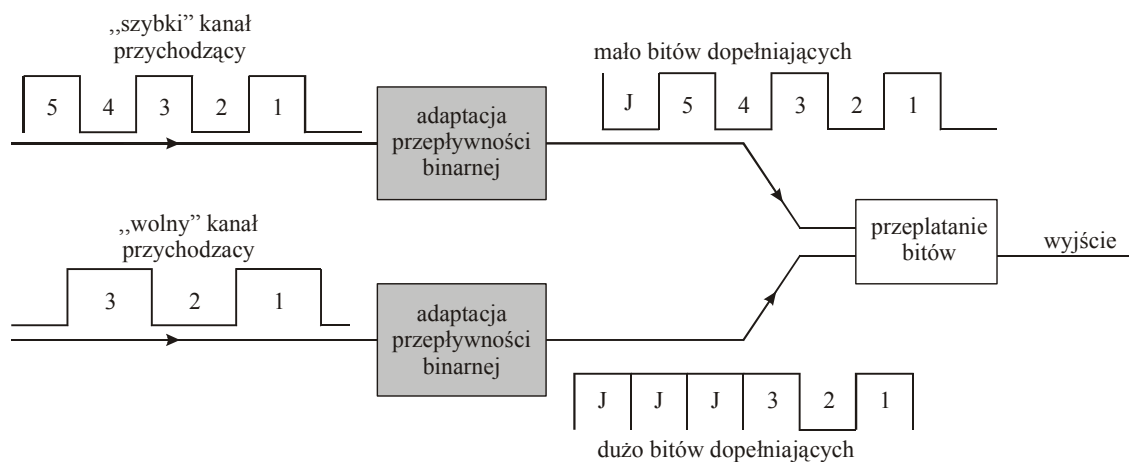


Tabela 8.8

Przepływność [kbit/s]	Nominalna długość fali [kbit/s]	Typ źródła	Maksymalna tłumienność linii [dB]	Minimalna szerokość pasma optycznego [MHz]
2048	850	Laser	51	10
		Del		10
	1310	Laser	46	10
		Del	30	10

8448	850	Laser	47	20
		Del		
	1310	Laser		
		Del		
34368	850	Laser	41	50
		Del		
	1310	Laser	35	50
		Del	22	50
139264	850	Laser	35	100
		Del		
	1310	Laser	27	100
		Del	18	100

Wady systemu:

- Przy zwielokrotnieniu w systemie PDH występują problemy, jeżeli chcemy wydzielić pojedynczy kanał 64kb/s, gdyż wymaga to od nas demultipleksacji całego strumienia do poziomu E1
- Przeplot ramek podczas zwielokrotniania jest bitowy, a nie bajtowy jak to jest w przypadku SDH
- Brak sprawnego mechanizmu zarządzania i nadzorowania przepływu danych w sieci
- Kolejną wadą systemu jest brak standaryzacji styku optycznego, co uniemożliwia stosowanie urządzeń różnych producentów po dwóch stronach światłowodu bez zastosowania dodatkowych urządzeń (konwerterów sygnału optycznego w elektryczny i z powrotem w optyczny o innym standardzie).
- System PDH ma ograniczoną przepustowość szczebli administracyjnych, co mocno redukuje jego możliwości w automatycznym rekonfigurowaniu dróg połączeń i sprowadza się często do ręcznego przepinania kabli na przełącznicach przez obsługę central telekomunikacyjnych.

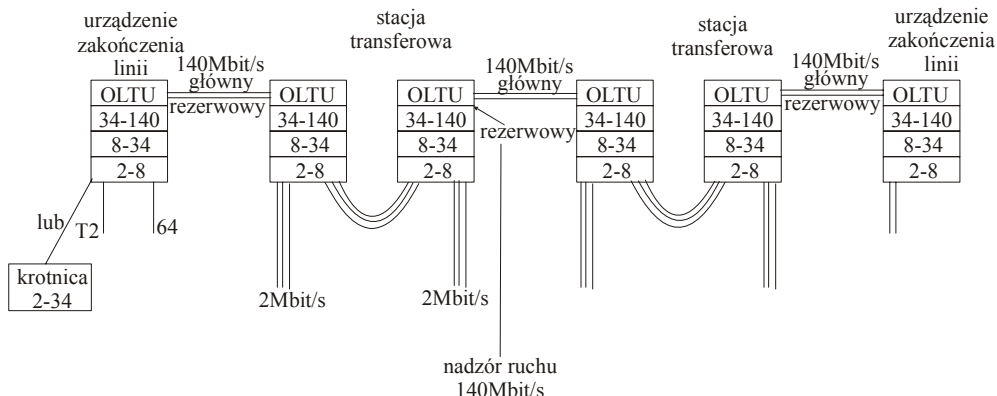
Występują trzy różne, niekompatybilne sposoby przesyłania danych w systemie PDH. Rozróżnia się system amerykański, europejski i japoński.

- **SDH (ang. (Synchronous Digital Hierarchy)**

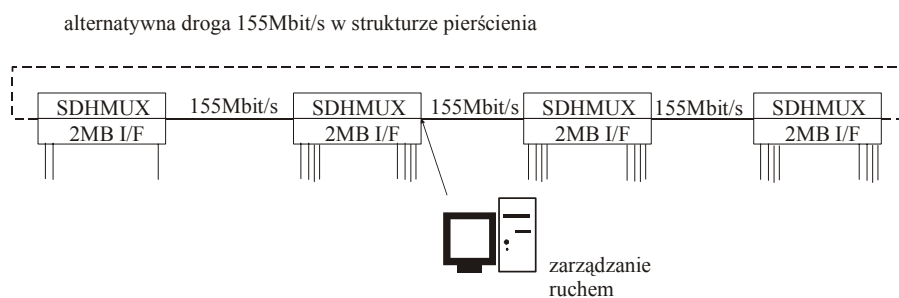
System SDH powstał jako rozwinięcie standardu PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) opartego na pierwotnym sposobie cyfrowego transportu głosu w sieciach telekomunikacyjnych znanym jako PCM (Pulse Code Modulation - Modulacja kodowa-impulsowa). Standard PDH, stosowany do dziś, pozwolił telekomunikacji na szerokie zastosowanie światłowodów. Miał jednak poważne ograniczenia np. wysoki koszt wydzielenia pojedynczego kanału 64 kbit/s z

traktu o wysokiej przepustowości. W połowie lat 80-tych w USA, firma BellCore zaproponowała specyfikację sieci SONET (Synchronous Optical Network). System SDH jest europejskim odpowiednikiem systemu SONET.

a)



b)



Rys.8.22 Ilustracja pracy sieci SDH [1]

Rozróżniamy następujące topologie sieci SDH :

- pierścień (ang. ring) – struktura z jednym lub więcej pierścieniami stanowiącymi kanały zabezpieczające
- punkt-punkt (ang. point-to-point) – dla transferów dalekosiężnych np. transoceanicznych
- punkt-węzeł (ang. point-to-multipoint) – architektura sieci międzymiastowej, rozpowszechniona w Polsce
- struktura oczkowa (ang. mesh) – obejmująca duże, rozrastające się aglomeracje miejskie

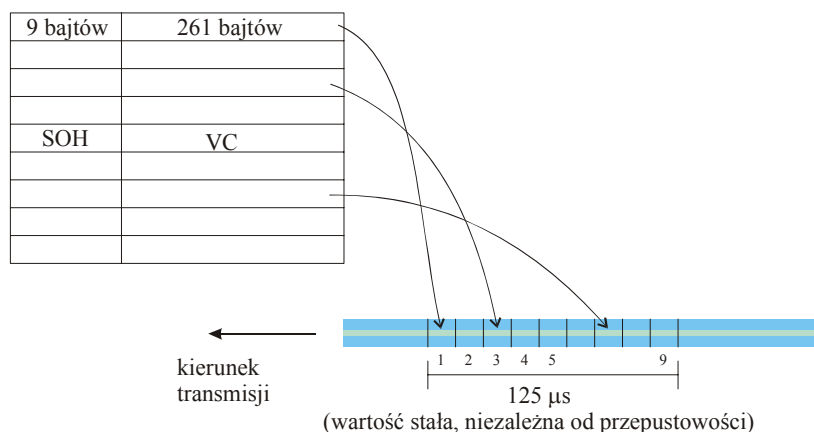
Technologia systemu SDH bazuje na pełnej synchroniczności przekazu w całej sieci. Dane cyfrowe są w sieci SDH grupowane w ramki o różnej wielkości bajtowej zależnej od szybkości kanału. Stały w sieci SDH jest natomiast czas trwania ramki, który wynosi 125  $\mu$ s (1/8000 sekundy). Wynika on z czasu trwania podstawowego impulsu modulacji PCM. Podstawową przepływność o wielkości 155 Mbit/s oferuje w technologii SDH moduł STM-1 (Synchronous Transport Module), w którym ramka ma wielkość 9x270 bajtów tj. 2430 bajty. Przy długości trwania ramki wynoszącej 125  $\mu$ s, odpowiada to właśnie szybkości przepływu równej 155 Mbit/s. Wyższe przepływności, odpowiadające coraz to wyższym poziomom zwielokrotnienia, oznaczane są symbolami STM-n i posiadają następujące przepływności:

STM-4 622 Mbit/s

STM-16 2,5 Gbit/s

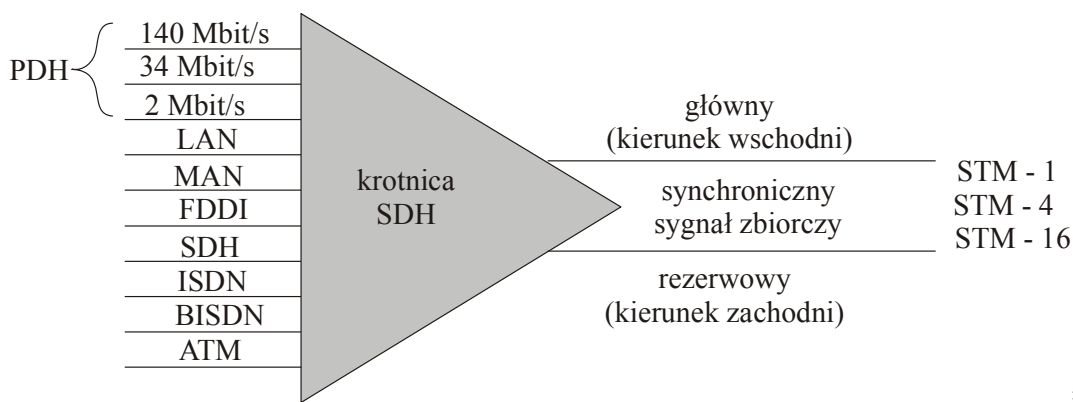
STM-64 10 Gbit/s

Ramka SDH dla modułu STM-1 składa się z 9 wierszy danych po 270 bajtów (kolumn) każdy. Wiersze te są transmitowane w światłowodach szeregowo, jeden za drugim. Architektura systemu SDH staje się bardziej zrozumiała podczas przedstawienia ramki SDH za pomocą dwuwymiarowego diagramu.



Rys.8.23 Ramka SDH

Początkowo wydawało się, iż szybkość transmisji rzędu 622 Mbit/s (STM-4) oraz 2,5 Gbit/s (STM-16) na długi czas zaspokoi potrzeby ruchowe w warstwie tranzytowej. Były to ogromne przepływności w stosunku do wcześniej stosowanych systemów PDH 34 Mbit/s oraz 140 Mbit/s. Jednak już pod koniec lat dziewięćdziesiątych okazało się, iż zapotrzebowanie na przepływności praktycznie w każdej warstwie sieci telekomunikacyjnej znacznie wzrasta. Możliwości techniczne spowodowały jednak, że dalsze rozwijanie systemów SDH do szybkości wyższych niż 2,5 Gbit/s (10 Gbit/s – STM-64 oraz 40 Gbit/s – STM-256) okazało się nieopłacalne.



Rys. 8.24 , oraz tabela 9 zamiast(8.4) i tabela 10 zamiast (8.5)

Tradycyjne sieci punkt-punkt nie są w stanie sprostać rosnącym wymaganiom związanym z rozwojem usług internetowych. Operatorzy sieciowi, którzy zamierzają konkurować na rynku

usług internetowych już dawno zrozumieli, że sieci muszą być konfigurowane w architekturze całkowicie optycznych sieci oczkowych (ang. all-optical mesh net). Oczko można zorganizować w wielu architekturach logicznych, wspomagających transmisję różnorodnych usług w rozległych sieciach. Eliminując z rozwiązań sieciowych elektronikę, tworząc sieci całkowicie optyczne zwiększamy elastyczność, efektywność i niezawodność. Sieci optyczne redukują liczbę regeneratorów, przełączniki typu add-drop i multipleksery optyczne, które omówiliśmy w rozdziale 7, pozwalają promieniom wyznaczać trasy w sieci, eliminując elektroniczne przełączniki. W całkowicie optycznych sieciach oczkowych nowe routery zostają prosto włączone poprzez zdalne oprogramowanie zarządzające siecią. Sieci całkowicie optyczne zapewniają dalekosiężną transmisję oraz dużą pojemność.

- **FITL i pochodne**

**System FITL** (ang. *fiber in the loop*) zawiera trzy podstawowe elementy:

OLT (ang. Optical Line Termination) - zakończenie linii optycznej, nazywane także HDT (ang. Host Digital Termination);

ONU (ang. Optical Network Unit) - jednostka sieci optycznej;

ODN (ang. Optical Distribution Network) - optyczna sieć dystrybucyjna.

- OLT- zadaniem zakończenia linii optycznej jest zapewnienie połączenia systemu FITL z publiczną siecią telekomunikacyjną, a także zarządzanie przyłączonymi do OLT jednostkami sieci optycznej ONU. Jednostka OLT przenosi, w sposób niewidoczny, usługi pomiędzy węzłem udostępniania usług a elementami ONU.
- ODN – zadaniem optycznej sieci dystrybucyjnej jest fizyczne połączenie jednostki centralowej OLT z jednostkami ONU. Dane można transmitować w trybie simpleks za pomocą dwóch włókien, każdego dla innego trybu transmisji, lub dupleks/dupleks, z wykorzystaniem jednego włókna.

Sieci ODN buduje się najczęściej w topologii punkt-punkt, pierścień, gwiazda, a także w konfiguracji mieszanej. Stosuje się również pierścienie SDH, które niejednokrotnie są wykorzystywane do realizacji odcinków sieci szkieletowych.

W zależności od umiejscowienia jednostki ONU wyróżniamy następujące rodzaje sieci FITL:

FTTH (ang. Fiber To The Home), gdy ONU jest ulokowane w domu abonenta,

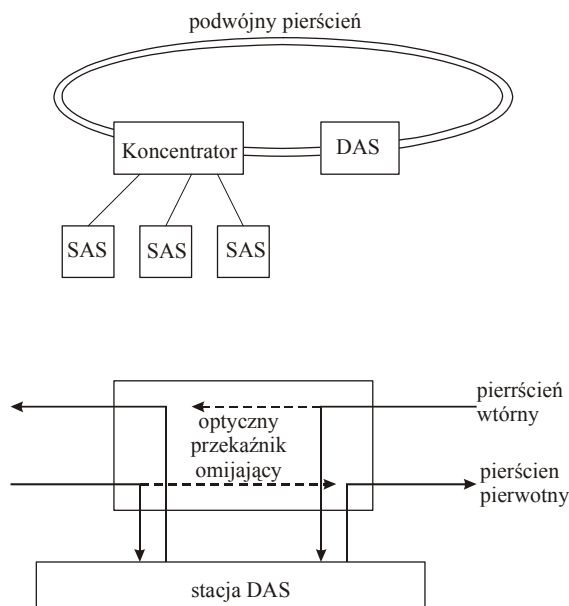
FTTB (ang. Fiber To The Building), gdy ONU jest instalowane w budynku,

FTTC (ang. Fiber To The Curb), gdy ONU znajduje się w szafie ulicznej.

Jednostka sieci optycznej ONU odbiera sygnał optyczny z sieci dystrybucyjnej. Konwertuje, w przypadku ruchu zwrotnego od abonenta, sygnały elektryczne na sygnały optyczne, które są następnie wprowadzane do światłowodu. Ma także możliwość konwersji sygnałów analogowych na sygnały cyfrowe. W przypadku usług wąskopasmowych wbudowane w ONU interfejsy zapewniają szybkość transmisji od 64 kb/s do 2 Mb/s. Natomiast dla usług szerokopasmowych, wykorzystujących techniki xDSL i ATM, szybkość transmisji dochodzi do kilkudziesięciu Mb/s. W najczęściej spotykanych rozwiązaniach konstrukcyjnych usługi abonenckie po stronie klienta są przenoszone do jednostki ONU za pomocą klasycznej sieci dostępowej, zbudowanej na bazie skrętki lub kabla koncentrycznego. Istnieje także możliwość przyłączenia abonentów do ONU przez radiowe systemy dostępu abonenckiego SRDA (Subscriber Radio Digital Network).

- **FDDI**

*Sieć FDDI (ang. Fiber Distributed Data Interface)* to cyfrowa sieć o topologii podwójnych przeciwbieżnych pierścieni światłowodowych. Podobnie jak w sieci Token Ring omówionej niżej wykorzystywany jest mechanizm z przesyłaniem znacznika. Standard jej został ustalony w połowie lat osiemdziesiątych jako ANSI X3T9.5 i dedykowany jest transmisji danych przesyłanych światłowodem. Jest to jedna z najstarszych technologii światłowodowych sieci LAN, jednak w dalszym ciągu należy do najsolidniejszych rozwiązań ze względu na zdolność do autonomii (logicznej, nie fizycznej), dużą przepustowość i wysoką niezawodność. Systemy FDDI ograniczają się do mniejszego obszaru (ok.100km). Jest to doskonała technologia dla sieci MAN. Światłowód, odporny na zakłócenia elektromagnetyczne i obojętny na środowisko, umożliwia ułożenie go we wszystkich miejscach środowiska miejskiego, np. wraz z rurami ciepłowniczymi, wzdłuż dróg, torów, itd. Jednak należy dodać, że Gigabajtowy Ethernet, w coraz większej liczbie instalacji wypiera FDDI. Wynika to z faktu, że wykorzystuje on pewne techniki pakowania danych stosowane w FDDI, to dodatkowo stosuje metody kontroli dostępu do nośnika CSMA znane z tradycyjnego Ethernetu. Topologia sieci FDDI została przedstawiona na Rys. 8.25. Sieć FDDI składa się z podwójnego pierścienia, w którym umieszczono koncentrator i jednostkę DAS (ang. double attachment station). Do koncentratora podłączone są jednostki SAS (ang. single attachment station). W sieciach FDDI jednostki takie jak koncentrator, SAS, DAS, będące węzłami sieci nazywane są stacjami.



Rys. 8.25 Topologia sieci FDDI

Najważniejszą stacją jest koncentrator, pozwalający na dołączenie wielu urządzeń do sieci FDDI. Koncentrator łączy się z bezpośrednio z obydwoma pierścieniami (pierwotnym i wtórnym). Jest urządzeniem aktywnym, który faktycznie kontroluje topologię sieci. Koncentrator umożliwia innym urządzeniom połączenie z siecią FDDI. Koncentrator pozwala na dołączenie i usuwanie urządzeń z minimalnym wpływem na efektywność pracy pierścienia. Innym rodzajem stacji są stacje DAS i SAS. Kontrolery DAS i SAS są instalowane w komputerach i stacjach roboczych, pozwalając na przyłączenie ich do sieci. Podstawowym medium transmisyjnym w sieci FDDI są światłowody, zarówno jednomodowe jak i wielomodowe. Wykorzystanie światłowodów jednomodowych umożliwia tworzenie sieci o długości magistrali do 200 km, z maksymalną liczbą stacji ok. 1000. Do łączenia urządzeń ze światłowodem stosuje się złącza MIC (media interface connector). Dopuszczalne jest używanie złączy pojedynczych, np. ST dla światłowodów wielomodowych i FC-PC dla jednomodowych.

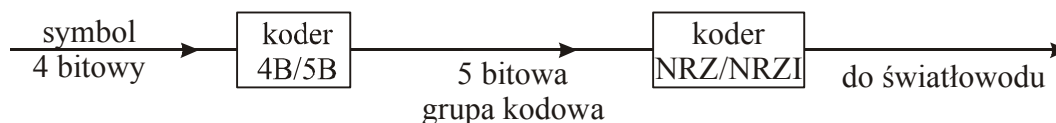
#### PARAMETRY FDDI

- Dla światłowodu wielomodowego (gradientowy, 62.5/125) maksymalna odległość między urządzeniami nie może przekroczyć 2km
- Dla światłowodu jednomodowego (gradientowy, 8-10/125) maksymalna odległość między urządzeniami wynosi 20 km.
- Maksymalna całkowita długość światłowodu w sieci - 200 km, czyli długość każdego z pierścieni może wynosić co najwyżej 100 km
- Nadajniki - II okno transmisyjne, 1.31  $\mu\text{m}$
- Przepływność - 100 Mbitów/s



- Do sieci FDDI można dołączyć co najwyżej 500 stacji
- Maksymalny rozmiar ramki - 4500 bajtów
- Standard specyfikujący sieć FDDI - ANSI X3T9.5 oraz ISO 9314

Informacje mogą być transmitowane w każdej pętli z szybkością 100 Mbitów/s (podczas normalnej pracy sieci pierścień podstawowy (ang. Primary Ring) służy do transmisji danych natomiast drugi zwany dodatkowym (ang. Secondary Ring) stanowi połączenie rezerwowe. Standard nie przewiduje wykorzystania drugiego pierścienia w celu zwiększenia przepustowości sieci podczas normalnej pracy. Podstawową jednostką informacji używaną w kodowaniu w sieci FDDI jest symbol składający się z 4 bitów. Symbole są używane do transmisji informacji oraz do przekazywania statusu ramki i stanu linii w łączności między sąsiednimi stacjami. Bitowy strumień danych jest następnie przekształcany na format typu 4B/5B bardziej odpowiedni dla transmisji, w którym cztery bity symbolu z warstwy MAC (ang. Media Access Control) zamieniane są na pięć bitów kodu transmisyjnego; grupa bitów dobierana jest tak, aby nie zawierała więcej jak dwa następujące po sobie zera. Pięciobitowe grupy kodowe poddawane są dodatkowemu kodowaniu w koderze NRZ/NRZI (ang. nonreturn to zero/ nonreturn to zero invert on ones) (Rys.8.26). Fizyczna przepływność binarna pierścienia wynosi 125 Mbodów, co wynika z zastosowania kodowania typu 4B/5B.



Rys.8.26 Pięciobitowe grupy kodowe poddawane są dodatkowemu kodowaniu w koderze NRZ/NRZI ( nonreturn to zero/ nonreturn to zero invert on ones)

Do transmisji symboli służy ramka w której przesyłane są:

- dane
- dane kontrolne
- dane do zarządzania siecią
- żądania dostępu przy inicjalizacji pierścienia

Dane przesyłane są szeregowo pierścieniem pierwotnym jako strumień symboli od jednej stacji do drugiej stacji. Prawo do nadawania własnych danych jest kontrolowane przez znacznik (ang. token).

Znacznik jest unikalną sekwencją symboli przekazywaną od jednej stacji do drugiej w pierścieniu. Stacja chcąc wysłać dane czeka, aż wykryje znacznik w strumieniu przychodzących danych, a następnie przechwytuje go, tzn. nie wysyła go do pierścienia. Brak znacznika w pierścieniu zapobiega wysłaniu danych przez inne stacje w tym samym czasie. Stacja, która przechwyciła znacznik, wysyła dane tak długo aż się wyczerpią, bądź tak długo

jak pozwalają na to reguły przechwytywania znacznika. Po zakończeniu sesji transmisji stacja wysyła znacznik do pierścienia.

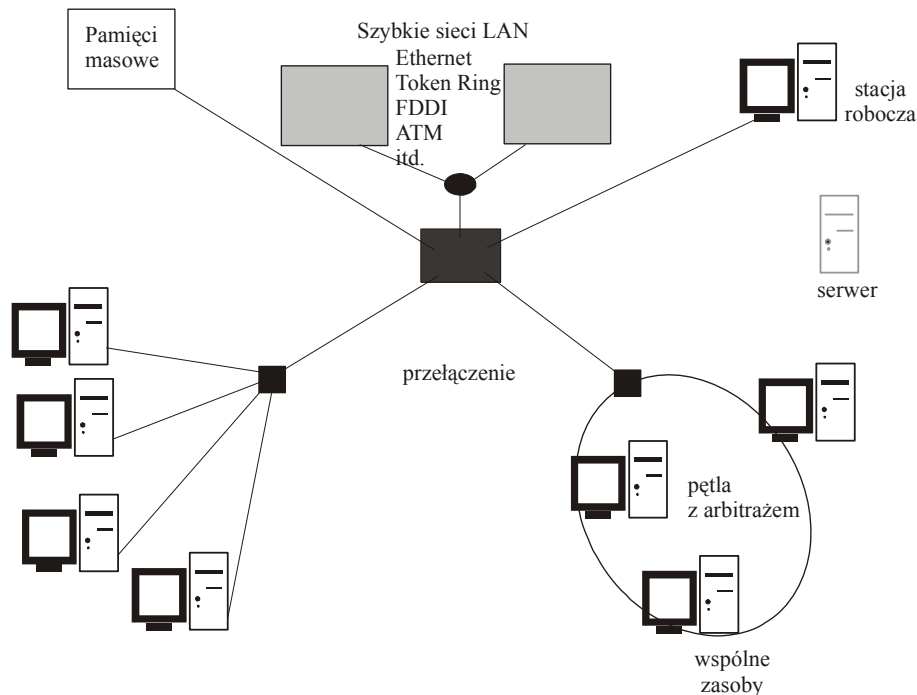
Sieć FDDI charakteryzuje się dużą niezawodnością pracy, w przypadku awarii stacji lub uszkodzenia światłowodu pierścień jest automatycznie rekonfigurowany.

Najnowszą wersję standardu FDDI określa się jako FDDI-2 - jest to hybrydowy system transmisji umożliwiający realizację pierścienia szczelinowego z ramkowaniem. FDDI-2 obsługuje ruch izochroniczny oraz ruch synchroniczny i asynchroniczny, czyli umożliwia przesyłanie obrazów video, sygnałów mowy i danych w jednej sieci, poprzez wydzielenie podkanałów cyfrowych dla połączeń wideofonicznych. FDDI-2 pozwala na utworzenie do szesnastu dynamicznie przydzielanych kanałów szerokopasmowych o przepustowościach 6,144 Mb/s oraz jednego o przepustowości 0,708 Mb/s, zarezerwowanego do celów sterowania oraz obsługi ruchu synchronicznego i asynchronicznego.

- **Fiber Channel**

*Fiber channel*, czyli kanał światłowodowy, jest standardem połączeń wysokiej jakości, który zapewnia bardzo szybką transmisję dużej ilości informacji między stacjami roboczymi, systemami pamięci masowej, peryferiami itp. w obszarze wielu budynków położonych blisko siebie na wydzielonym obszarze (ang. campus size area). Fiber Channel łączy cechy kanału z pewnymi cechami sieci LAN. Jednak, w przeciwieństwie do kanału, Fibre Channel zapewnia łączność dwukierunkową. Szybkość przepływu w każdym kierunku wynosi 100 Mbajłów/s, czyli 8 razy więcej niż w FDDI. Rys. 8.27 przedstawia typową topologię sieci typu Fiber Channel.

**System Fibre Channel charakteryzuje się unikalną własnością transportowania innych kanałów i protokołów sieciowych, takich jak ATM, FDDI, Ethernet, HIPPI. Ośrodkiem transmisyjnym może być światłowód jednomodowy, wielomodowy, a na krótkie odległości – kabel koncentryczny**



Rys.8.27 Struktura połączeniowa Fibre Channel

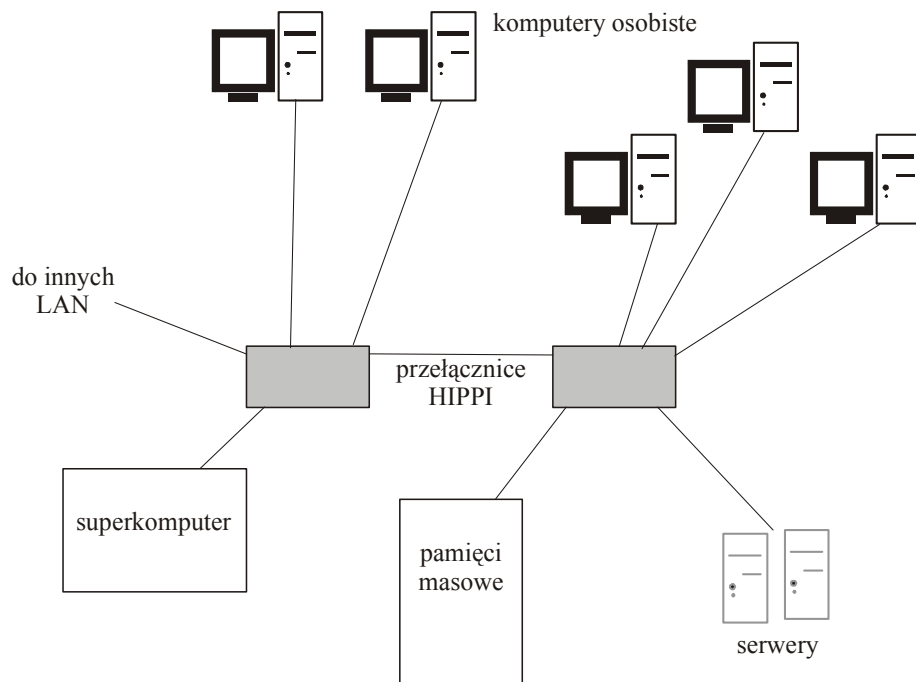
- **HIPPI**

*Systemy HIPPI* (ang. High performance parallel interface) zostały rozwinięte w późnych latach 80 jako standard połączeniowy superkomputerów. W chwili obecnej są to sieci LAN o bardzo dużej szybkości, zapewniające połączenie między komputerami centralnymi, stacjami roboczymi, a urządzeniami peryferyjnymi

Standard HIPPI obejmuje zarówno połączenia dokonywane za pomocą kabli miedzianych, jak i światłowodów (tzw. Serial HIPPI).

Dla światłowodów serial HIPPI ma następujące parametry:

- szybkość transmisji 1200 Mbodów,
- przepływność binarna 800 Mbitów/s
- lasery krótkofalowe - 976 do 870 nm) i światłowody wielomodowe (średnica rdzenia 62.5  $\mu\text{m}$  – zasięg 300 m ; średnica rdzenia 50  $\mu\text{m}$  – zasięg 500 m)
- lasery długofalowe (1310 nm), światłowody wielomodowe – zasięg 1 km, światłowody jednomodowe – 10 km

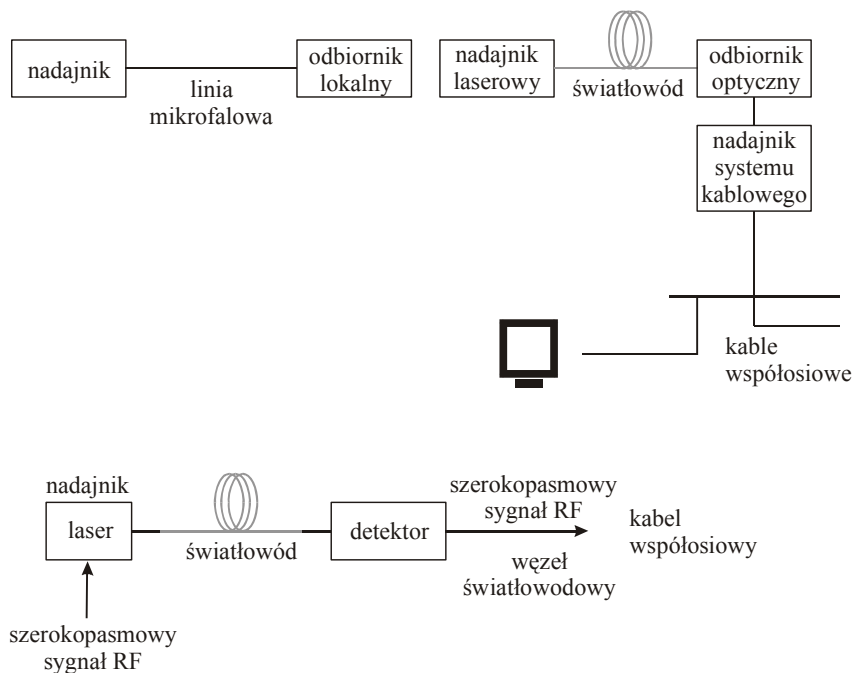


Rys 8.28 Przedstawia topologię sieci lokalnej z użyciem systemu HIPPI

### 3.2.2. Systemy transmisji analogowej

- HFC (CATV)

Systemy światłowodowe są coraz częściej używane, zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych, do transmisji sygnałów telewizyjnych, w sieciach telewizji kablowych CATV (ang. common antenna TV lub cable TV). Rysunek 8.29 przedstawia strukturę telewizji kablowej z zastosowaniem światłowodów.



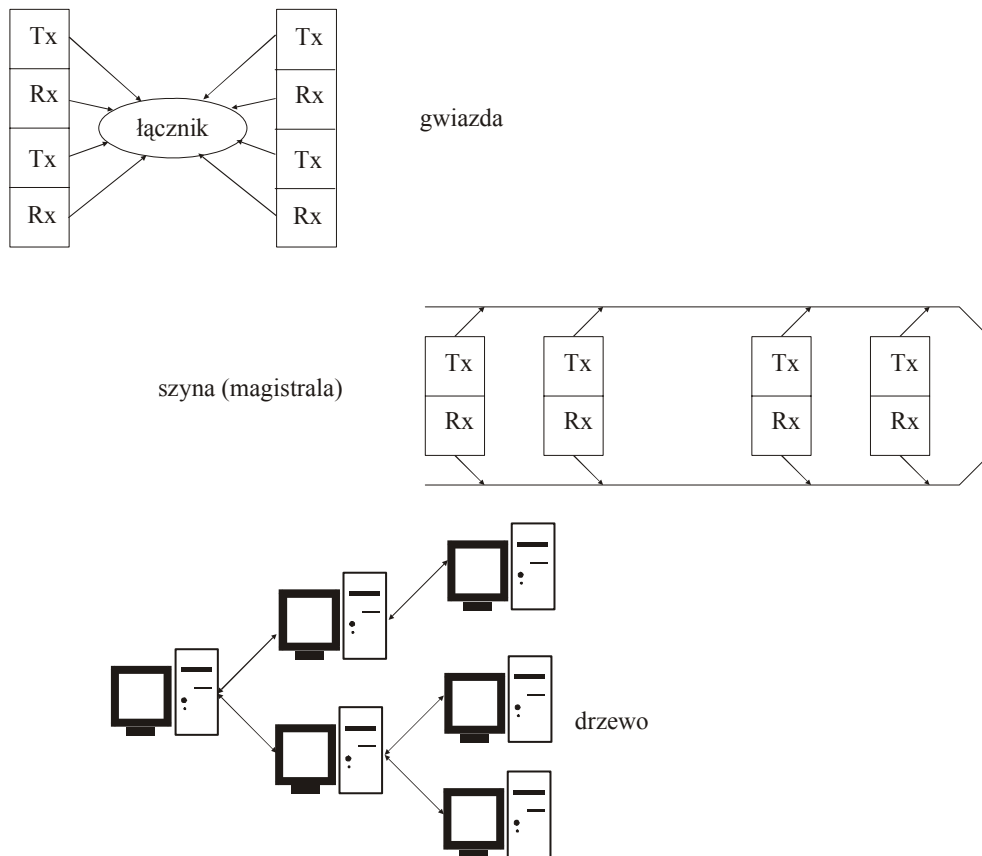
Rys.8.29 Ilustracja systemu telewizji kablowej z wykorzystaniem światłowodów.

Topologia takiej sieci przypomina strukturę drzewa, światłowody zaś stosuje się do transmisji sygnału na dalsze odległości w części szkieletowej, czyli w „pniu” i głównych gałęziach takiego drzewa. Odbiornik optyczny przekazuje sygnał do nadajnika systemu kablowego, który konwertuje sygnał na sygnał elektryczny i kablami współosiowymi doprowadza go do budynków.

## 8.4. Topologie sieci

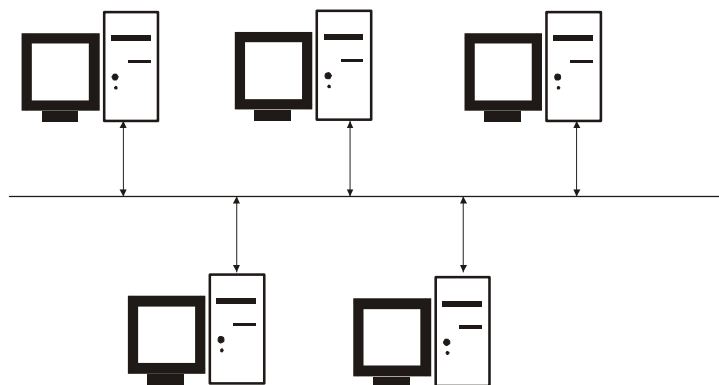
*Topologia sieci* to sposób w jaki komputery są połączone. Rozróżniamy fizyczne i logiczne topologie sieci, które nie muszą być identyczne. Rozróżniamy trzy podstawowe topologie sieci:

- Liniowa
- Pierścień
- Gwiazda



Rys.8.30 Topologie sieci

**Topologia szynowa (liniowa)** jest konfiguracją, w której do pojedynczego kabla głównego pełniącego rolę wspólnego nośnika transmisyjnego podłączone są poszczególne komputery. W danej chwili tylko jeden komputer może wysyłać dane w trybie rozgłaszania. Nadawany sygnał dociera do wszystkich stacji.



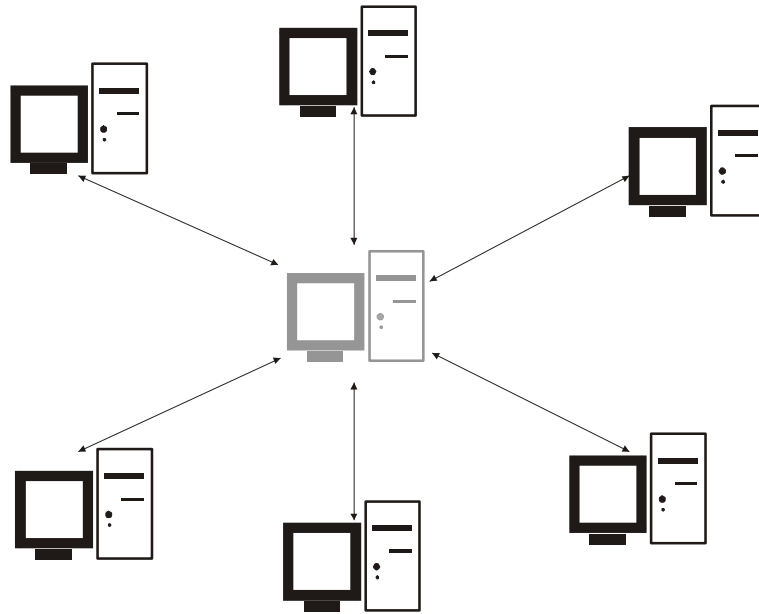
Rys. 8.31 Topologia szynowa

**Zalety** takiej konfiguracji:

- Prostota konfiguracji
- Oszczędność wynikająca z użycia niewielkiej ilości kabla
- Awaria jednego komputera nie powoduje zakłóceń w pracy pozostałej części sieci

**Wady:**

- Konkurencja o dostęp
- Utrudniona diagnostyka błędów z powodu centralnego systemu zarządzania siecią



Rys.8.32 Topologia gwiazdy

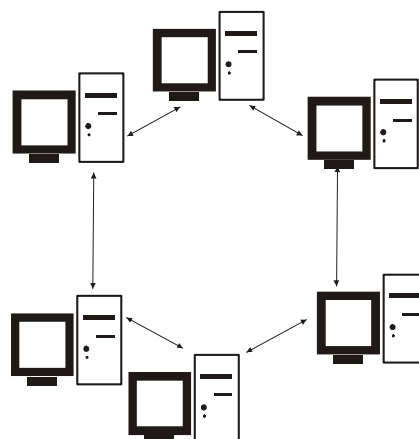
**Topologia gwiazdy** jest konfiguracją, w której do centralnego węzła (serwera) zostają podłączone poszczególne komputery za pomocą rozgałęziacza huba. **Zalety** takiej konfiguracji:

- Łatwość wykrywania uszkodzeń, konserwacji, monitorowania i zarządzania siecią
- Awaria jednego komputera nie powoduje zakłóceń w pracy pozostałej części sieci
- Łatwość dołączenia nowego komputera, choć koszty są dość wysokie (konieczność zastosowania nowego kabla)

**Wady:**

Awaria huba powoduje awarię całej sieci

- Wyższe koszty niż w topologii liniowej



Rys. 8.33 Topologia pierścienia

**Topologia pierścienia** jest konfiguracją, w której węzły zostają połączone za pomocą okablowania w układzie zamkniętym. Komputer wysyła komunikat sterujący (token) do następnego komputera. Po przejściu przez wszystkie stacje wraca do miejsca nadania. Dane poruszają się w pierścieniu w jednym kierunku.

**Zalety** takiej konfiguracji:

Oszczędność wynikająca z użycia niewielkiej ilości kabla

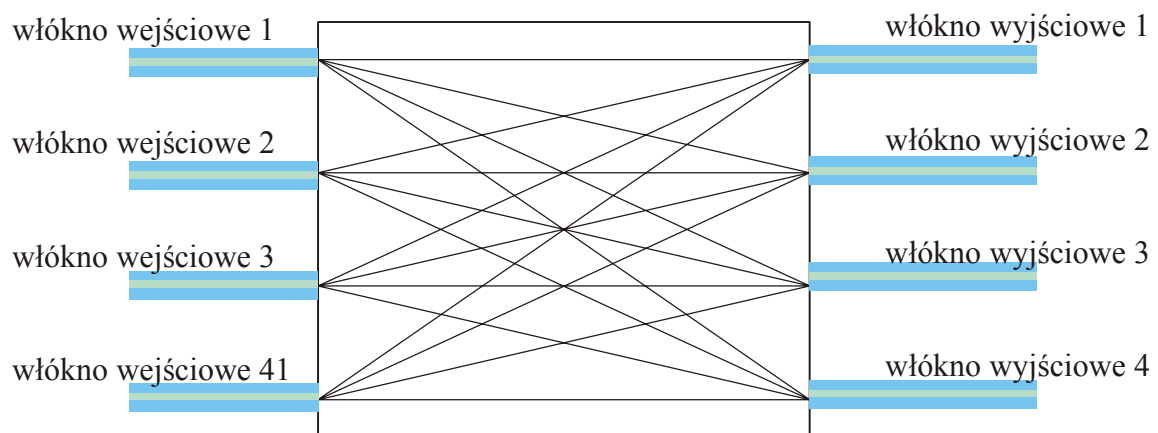
**Wady:**

- Awaria jednej stacji może spowodować awarię całej sieci
- Modyfikacja sieci wymaga wyłączenia wszystkich stacji
- Utrudniona diagnostyka

Podobnie jak sieci komputerowe, sieci optyczne łączone są w określone struktury. Rozróżniamy następujące podstawowe struktury sieci optycznych

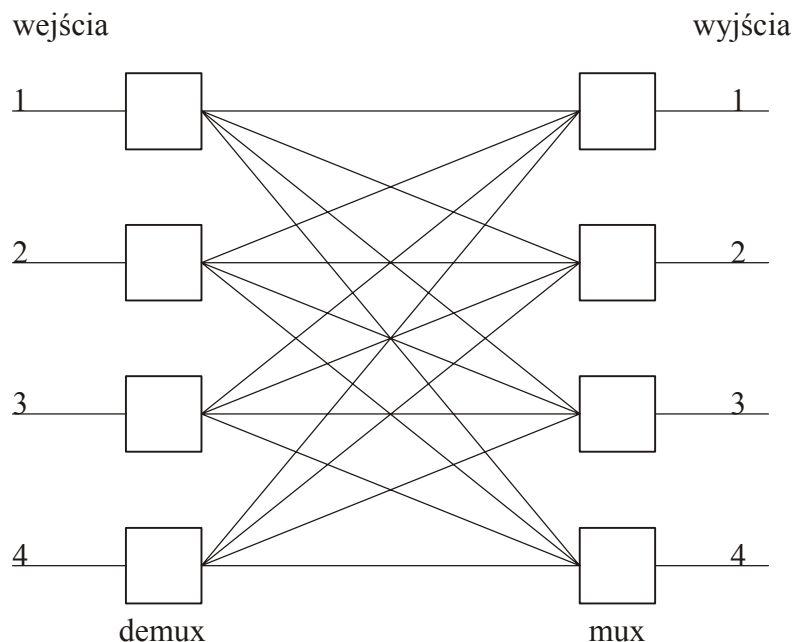
- pasywna gwiazda
- pasywny router
- aktywny przełącznik (switch)

które przedstawiono na Rys. 8.34 i 8.35



Rys.8.34 Sieć optyczna połączona w strukturę pasywnej gwiazdy





Rys.8.35 Sieć optyczna połączona w strukturze pasywnego routera

## 8.5. Ethernet światłowodowy [3-6]

Ethernet należy do najbardziej rozpowszechnionych sieci komputerowych LAN. Protokół Ethernet został ustanowiony w 1985 roku przez Institute of Electrical and Electronics Engineers i znany jest jako IEEE 802.3. Standard ten jest rozwinięciem wcześniejszych metod transmisji danych w sieci: Aloha, CSMA (Carrier Sense, Multiple Access), CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection). Wcześniejsze odmiany, znane obecnie jako Ethernet I, oparte były na prostej metodzie wielodostępu do łącza sieci z badaniem stanu kanału znanej jako metoda CSMA. Jej istota polega na prowadzeniu „nasłuchu” przez stację chcącą wysłać dane, aby sprawdzić, czy kanały są wolne. Metoda ta została udoskonalona poprzez wprowadzenie możliwości wykrywania kolizji (CSMA/CD). Metoda dostępu CSMA/CD polega na sprawdzeniu, przed przystąpieniem do transmisji, czy żadna inna stacja nie nadaje. Jeżeli nie nadaje, wtedy wysyła wiadomość i bez przerwy nasłuchuje, czy w sieci nie nastąpiła kolizja z wiadomością wysyланą przez inną stację. Jeżeli nastąpiła kolizja, wstrzymuje na krótki, laserowo wyznaczony przedział czasu, a następnie podejmuje ponownie próbę wysłania. Sieci Ethernet mogą pracować w paśmie podstawowym, lub mogą być szerokopasmowe, pełnodupleksowe lub półdupleksowe. Niżej przedstawiono krótkie podsumowanie historii rozwoju sieci Ethernet.

Lata sześćdziesiąte XX wieku	Na Hawajach powstała sieć radiowa ALOHANET
1970	Robert Metcalfe i David Boggs, Xerox Palo Alto Research Center opracowali technologię Ethernet z zastosowaniem kabla koncentrycznego
1980	Formalna specyfikacja Ethernetu (DIX albo Ethernet II) opracowana przez trzy konsorcja: Digital Equipment, Intel, Xerox
1985	Zaadoptowanie standardu Ethernet przez organizację zrzeszającą inżynierów z całego świata – IEEE ( <i>The Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> ). Standard nosi nazwę IEEE 802.3

W sieciach typu Ethernet stosuje się różne rodzaje mediów transmisyjnych, w zależności od wymaganych własności sieci. Najważniejsze parametry, które należy wziąć pod uwagę projektując sieć to:

- Odległości między komputerami
- wymagana przepustowość, czyli szybkość transmisji
- perspektywy rozwoju sieci
- warunki geograficzne (kabel podziemny, kabel napowietrzny, transmisja radiowa, satelitarna)
- warunki środowiskowe (rodzaj i moc zakłóceń generowanych przez otoczenie)
- cena

Sieci Ethernet mogą wykorzystywać jeden z pięciu nośników (kabel, skrętka, radio, mikrofała, światłowód) i pracować z przepływnościami w zakresie 10 Mbps do 1 Gbps. Norma IEEE 802.3 akceptuje wiele różnych standardów, z których najważniejsze to:

- 10Base-2 – kabel koncentryczny cienki – 5 mm (Thin Ethernet) – 10 Mb/s
- 10Base-5 – kabel koncentryczny grubszy – 10 mm (Thick Ethernet) – 10 Mb/s
- 100Base-T – skrętka UTP (ang. unshielded twisted-pair cable) – 100 Mb/s
- 1000Base-T – skrętka 1 Gb
- 100Base-FX – światłowód – 100 Mb/s
- 1000Base-FX – światłowód – 1000 Mb/s

Pełną tabelę norm IEEE przedstawiono w Tabeli 8.8 (poniżej) [2]

**Tabela 8.8 [2]**

-Standard	Norma i rok ogłoszenia	Szybkość	Topologia	Rodzaj medium transmisyjnego	Maks. długość segmentu w m	
					Half Duplex	Full Duplex
10Base5	DIX-1980 802.3-1983	10 Mb/s	Magistrala	Pojedynczy 50 $\Omega$ przew. koncentryczny (gruby Ethernet) o średnicy 10 mm	500	n/a
10Base2	802.3a-1985	10 Mb/s	Magistrala	Pojedynczy 50 $\Omega$ przew. koncentryczny (cienki Ethernet RG58) o średnicy 5mm	185	n/a
10Base36	802.3b-1985	10 Mb/s	Magistrala	Pojedynczy 75 $\Omega$ przewód szerokopasmowy	1800	n/a
FOIRL	802.3d-1987	10 Mb/s	Gwiazda	Dwa włókna optyczne	1000	>1000
1Base5	802.3e-1987	1 Mb/s	Gwiazda	Dwie skręcone pary przewodów telefonicznych	250	n/a
10Base-T	802.3i-1990	10 Mb/s	Gwiazda	Dwie pary kategorii Cat-3 UTP	100	100
10Base-FL	802.3j-1993	10 Mb/s	Gwiazda	Dwa włókna optyczne	2000	>2000
10Base-FB	802.3j-1993	10 Mb/s	Gwiazda	Dwa włókna optyczne	2000	n/a
10Base-FP	802.3j-1993	10 Mb/s	Gwiazda	Dwa włókna optyczne	1000	n/a
100Base-TX	802.3u-1995	100 Mb/s	Gwiazda	Dwie pary kategorii Cat-5 UTP	100	100
100Base-FX	802.3u-1995	100 Mb/s	Gwiazda	Dwa włókna optyczne	412	2000
100Base-T4	802.3u-1995	100Mb/s	Gwiazda	Cztery pary kategorii Cat-3 UTP	100	n/a
100Base-T2	802.3y-1997	100Mb/s	Gwiazda	Cztery pary kategorii Cat-3 UTP	100	100
1000Base-LX	802.3z-1998	1Gb/s	Gwiazda	Laser długofalowy (1300 nm) przez: 62.5 $\mu$ m wielomodowe włókno, 50 $\mu$ m wielomodowe włókno, 10 $\mu$ m jednomodowe włókno	316 316 316	550 550 5000
1000Base-SX	802.3z-1998	1Gb/s	Gwiazda	Laser krótkofalowy (850nm) przez: 62.5 $\mu$ m wielomodowe włókno, 50 $\mu$ m wielomodowe włókno.	275 316	275 550
1000Base-CX	802.3z-1998	1Gb/s	Gwiazda	Ekranowany kabel miedziany.	25	25
1000Base-T	802.3ab-1999	1Gb/s	Gwiazda	Cztery pary kategorii	100	100

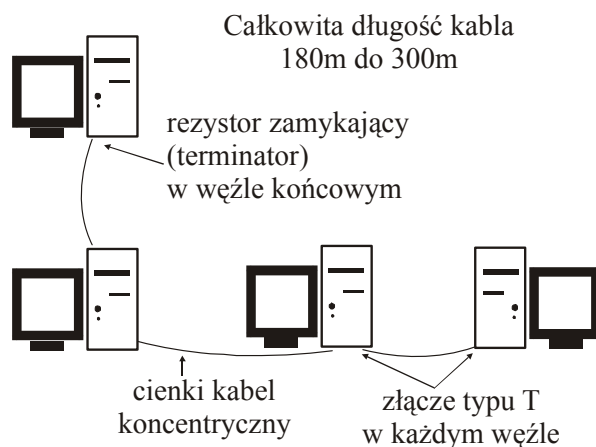
Sieci Komputerowe, Krysiak Karol, Helion, 2003 [2]

Wyjaśnienia symboli

- liczba przed Base określa szybkość transmisji w Mb/s,

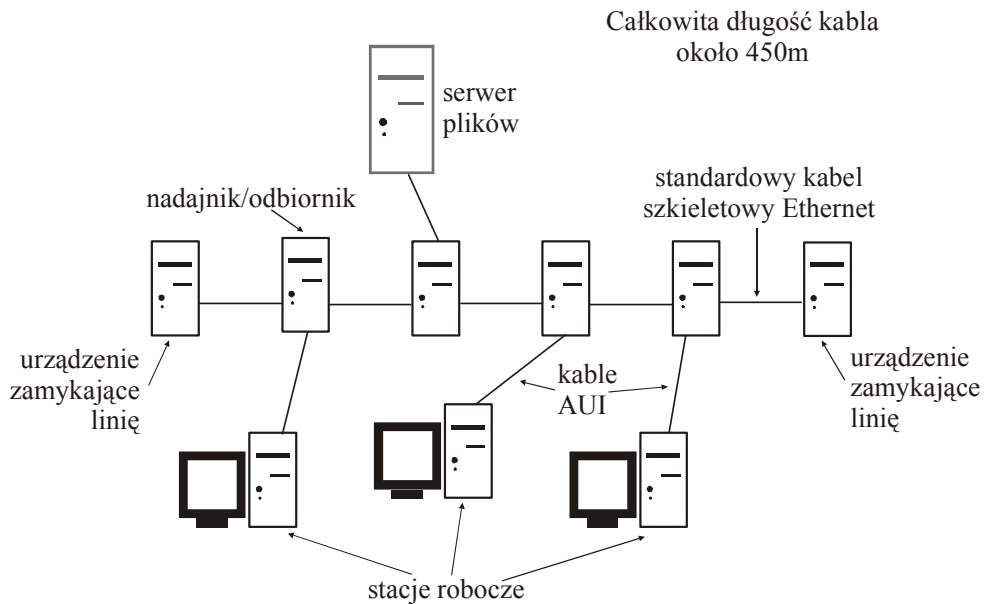
- Base – oznacza medium transmisyjne przeznaczone do obsługi jednej usługi sieciowej (baseband), np. Ethernetu,
- Liczba za Base- np. 2, 5 oznacza maksymalną długość segmentu sieci, 2- 185 m ( $\approx 200$  m), 5- 500 m,
- T – skrętka (*twisted*),
- F – światłowód (*fiber*),
- Broad – *broadband*, w jednym medium obsługiwanych jest kilka usług, najczęściej dzięki zastosowaniu podziału pasma na kilka odseparowanych częstotliwości (kanałów), z których każdy może obsługiwać odrębną usługę,
- FOIRL – *fiber optic inter-repeater link*, oznacza światłowodowe połączenie między koncentratorami.

Transmisja w paśmie podstawowym zachodzi z zastosowaniem kodu Manchester, który opisaliśmy w rozdziale 8.3.1. Rys. 8.36 przedstawia konfigurację opartą na cienkim ethernetowym kablu koncentrycznym



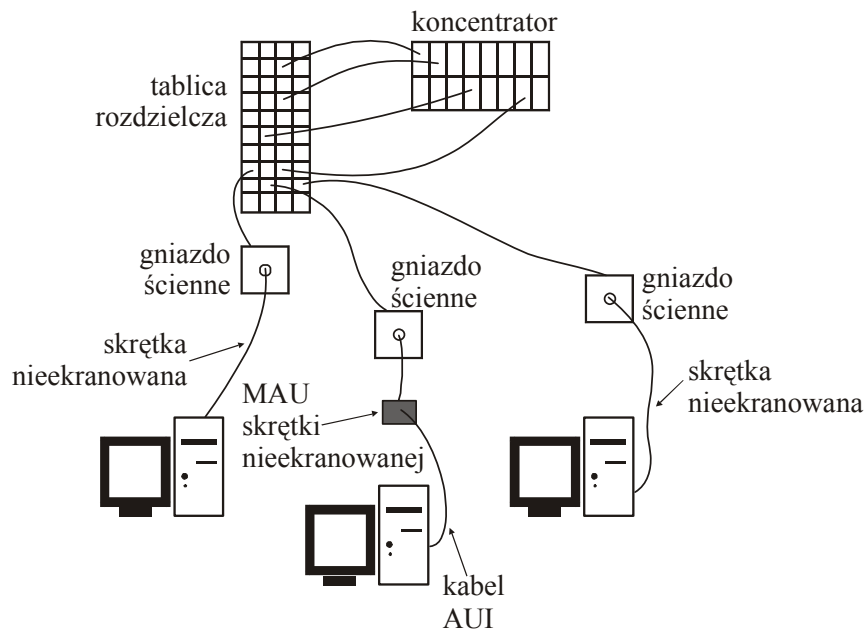
Rys.8.36 Konfiguracja oparta na cienkim ethernetowym kablu koncentrycznym [7]

Rys.8.37 przedstawia konfigurację opartą na grubym koncentrycznym kablu ethernetowym. Jak widać, nadajnik-odbiornik łączy się bezpośrednio z kablem, połączenie do każdego węzła jest wykonane za pomocą kabla AUI.



Rys.8.37 Konfiguracja oparta na grubym koncentrycznym kablu ethernetowym [7]

Rys. 8.38 przedstawia konfigurację 10 BaseT opartą na nieekranowanej skrętce, (UPT) prowadzącej bezpośrednio do karty sieciowej lub jednostki podłączenia medium (MAU) połączonej z węzłem za pomocą kabla AUI



Rys.8.38 Konfiguracja 10 BaseT oparta na nieekranowanej skrętce (UPT) prowadzącej bezpośrednio do karty sieciowej lub jednostki podłączenia medium (MAU) połączonej z węzłem za pomocą kabla AUI [7]

Niektóre standardy Ethernetu są przeznaczone dla medium światłowodowego:

- 10 Base-FL (wielomodowe),
- 100 Base-FX (jednomodowe), 100 Base-SX (wielomodowe), 100 Base-LX (wielo- lub jednomodowe),
- 1000 Base-SX (wielomodowe), 1000Base-LX (wielo- lub jednomodowe), 10GBase-L, 10GBase-E (jednomodowe), 10GBase-LX4 (wielo- lub jednomodowe).

Standardy 10Base-FL i 100Base-FX wykorzystują niekompatybilne długości fal optycznych, 850 nm i 1300 nm. Ponieważ standardy 10Base-FL i 100Base-FX są niekompatybilne, to dla systemów optycznych nie opracowano procedury autonegocjacji. Dla światłowodu problem kompatybilności długości fal i zapewnienie techniki autonegocjacji rozwiązuje standard 100Base-SX. Proponowany standard 100Base-SX wymaga urządzeń optycznych pracujących z falą o długości 850 nm, charakteryzujących się kompatybilnością ze standardem 10Base-FL i przystępną ceną. Standard 100Base-SX przewiduje:

- możliwość pracy w trybie pełnego duplexu z interfejsem FDDI na światłowodzie wielomodowym 62,5/125 mm o długości co najmniej 300m,
- współdziałanie z instalacją opartą na standardzie 10Base-FL,
- niezależność od złączek.

Konwerter 100Base-FX/100Base-TX umożliwia bezpośrednie połączenie okablowania Twisted Pair (skrętka) z okablowaniem światłowodowym w segmencie sieci Fast Ethernet.

Standard Ethernet IEEE 802.3 przyjmuje następujące założenia:

- Szczelina czasowa S (slot time) określa czas transmisji 512 bitów dla sieci Ethernet 10 i 100 Mb/s oraz 4096 bitów dla sieci 1 Gb/s. W tym czasie zachodzą następujące zdarzenia: sygnał dociera z jednego końca sieci na drugi koniec i z powrotem, rozwiązany jest problem wynikający z wystąpienia kolizji,
- Szczelina czasowa wyznacza najmniejszy rozmiar ramki ethernetowej jako 64 bajty. Ramki mniejsze są uznawane za fragment kolizji lub tzw. słabą ramkę (ang. runt frame) i są automatycznie odrzucane przez stacje odbiorcze,
- Norma wprowadza pojęcie odstępu międzyramkowego IFG (interframe gap), który jest odcinkiem czasu po ustaniu czasu zajętości łącza i wynosi 9,6  $\mu$ s (czas transmisji 96 bitów) dla prędkości 10 Mb/s,
- Mechanizm komunikacji jest następujący: wszystkie stacje prowadzą ciągły nasłuch stanu łącza i sprawdzają, czy łącze jest wolne, czy zajęte, czy też trwa odstęp IFG. Stacje mogą nadawać tylko wtedy, gdy łącze jest wolne. Jeżeli podczas nadawania stacja wykryje kolizję, nadaje jeszcze przez czas zwany czasem wymuszenia kolizji (dla 10Mb/s równy

3,2  $\mu$ s). Jeżeli kolizja nastąpi podczas nadawania preambuły, to stacja kontynuuje nadawanie przez okres potrzebny do przesłania 32 bitów. Po wykryciu kolizji stacja dobiera długość odcinka czasu  $T_i$  przez który nie podejmuje prób nadawania. Czas  $T_i$  wyznaczany jest ze wzoru:  $T_i = S \cdot R_i$ , gdzie  $S$ - szczelina czasowa,  $R_i$  – losowa liczba z przedziału  $\langle 0, 2^n - 1 \rangle$ ,  $n = \min(i, 10)$ ,  $i$ - numer podejmowanej próby. Jak widać ze wzoru czas  $T_i$  wzrasta wraz z liczbą podjętych prób i jest liczbą losową (wyznaczaną według pewnego algorytmu z adresu karty sieciowej). Proces ten nazywany jest w literaturze angielskiej jako backoff i musi być procesem losowym, w przeciwnym wypadku wszystkie stacje ponawiałyby próby nadawania w tych samych momentach blokując się wzajemnie.

W 1994 roku została zatwierdzona norma IEEE 802.3u definiująca przepływności 100 Mb/s. Standard ten zwany jest 100Base-T, zwany również *szybkim ethernetem* (ang. Fast Ethernetem).

- **Budowa ramki Ethernetu**

Pakiet IEEE 802.3 składa się z preambuły, znacznika początku ramki (SFD) oraz ramki. Minimalna długość ramki wynosi 64 bajty (512 bitów). Ramka DIX we wcześniejszej wersji (Ethernet II) wygląda trochę inaczej, Preambuła i SFD są połączone, długość została zastąpiona typem, który jest liczbą określającą numer protokołu warstwy wyższej, która odbiera dane po zakończeniu obróbki przez standard Ethernet. Dla protokołu IP liczba ta wynosi szesnastkowo 0x800. Aby uwzględnić format ramki DIX stworzono normę IEEE 802.2, w której został zdefiniowany protokół LLC (*Logical Link Control*). W 1997 roku format ramek DIX został zatwierdzony w standardzie IEEE 802.3, co oznacza, że nowszy standard jest kompatybilny ze starszymi wersjami.

Tabela. 8.10

8B	1B	6B	6B	2B	46-1500B	4B
Preambuła	SFD	Adres docelowy	Adres źródłowy	Długość	Nagłówek IEEE 802.2 +Dane	FCS

**Preambuła** – zawiera 56 bitów i stanowi ciąg bitów 1 i 0, i informuje o nadchodzącej ramce.

**SFD** - (*Start of Frame Delimiter*) – bajt kończący preambułę w formie 10101011, zawsze zakończony dwoma jedynkowymi bitami.

**Adresy** – są to liczby 6-bajtowe definiujące numery sprzętu docelowego i źródłowego. Każda karta sieciowa zaopatrzona jest w jeden, niepowtarzalny numer przyznawany przez IEEE dla każdego producenta sprzętu sieciowego, którzy otrzymują specyficzny kod oraz zakres liczbowy jaki mogą nadawać sprzętowi. Numery te noszą nazwę **MAC** (*Media Access Control*).

**Długość** – określa długość pola danych, która dla ramek IEEE 802.3 nie może być większa niż 1500 bajtów.

**Dane** – jeżeli ilość danych jest mniejsza niż 46 bajtów, wprowadzane są bajty uzupełniające, tzw. PAD (*padding*), które jedynekami uzupełniają dane tak, aby ramka nie była mniejsza niż 512 bitów, odpowiadającym szczelinie czasowej S. Dodatkowo, znajduje się tutaj nagłówek IEEE 802.2 opisujący protokół, który ma przejąć dalszą obróbkę danych. Nagłówek ten rekompensuje brak pola *Typ* obecny w starszych ramkach DIX i pozwala transmitować starsze wersje Ethernetu. Nagłówek ten informuje czy ramka przesyłana jest protokołem internetowym IP, czy może IPX.

**FCS** – (*Frame Check Sequence*) zawiera 4 bajty kontrolne –CRC (*Cyclic Redundancy Check*) wygenerowane przez stację wysyłającą i sprawdzone przez odbierającą.

Najważniejszy sprzęt, używany do obsługi Ethernetu:

- karty sieciowe
- kable
- złączki
- koncentratory wzmacniające
- koncentratory nie wzmacniające
- mosty
- routery
- modemy optyczne, modulatory i inne elementy optyczne stosowane w technikach światłowodowych

Sprzęt ten w normie IEEE 802.3 został zdefiniowany za pomocą pojęć takich jak:

- DTE (ang. *Data Terminal Equipment*),
- Urządzenie nadawczo-odbiorcze, zwany przekaźnikiem (ang. *transceiver*),
- MAU (ang. *Medium Attachment Unit*),
- AUI (ang. *Attachment Unit Interface*),
- Segment, regenerator (ang. *repeater*),
- koncentrator (ang. *hub, concentrator*).



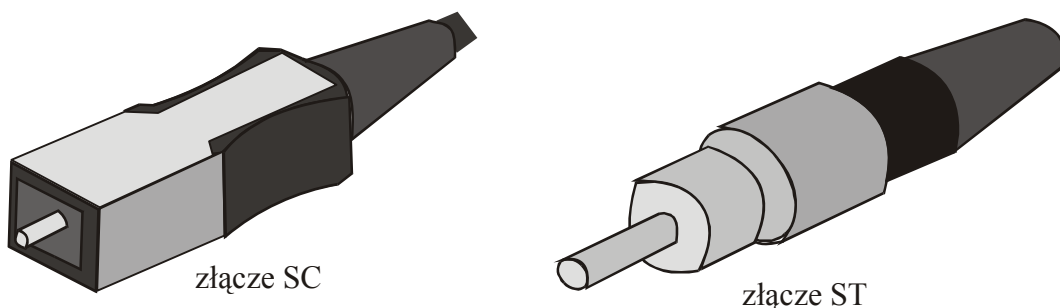
DTE jest terminalem lub inaczej stacją o unikalnym adresie sieciowym. DTE określa kartę sieciową. MAU jest modulem przyłączenia medium i jest z jednym określeń IEEE na transceiver. Przekazniki (MAU) jest połączony z kartą kontrolera sieciowego. Jego zadaniem jest transmisja i odbieranie bitów, wykrywanie ramek, śledzenie kolizji. Współczesne transceivery są zintegrowane z kartą sieciową i nie są osobnym urządzeniem. W przeszłości transceiver był osobną jednostką połączoną z kartą sieciową poprzez AUI. AUI- to po prostu rodzaj kabla i gniazdek przeznaczonych do komunikowania się karty i transceivera.



*Transceiver AUI-światłowód*

Rys.8.39 Wygląd jednostki AUI do połączeń światłowodowych

Na rysunku 8.39 przedstawiono transceiver i AUI do połączeń ze światłowodem. Transceiver z jednej strony ma gniazdko do połączenia z kartą sieciową, z drugiej gniazdko do połączenia światłowodowego. Do budowy sieci światłowodowych używamy segmentów, czyli części okablowania zewnętrznego i wewnętrznego. Oba końce kabla światłowodowego zakończone są specjalnymi końcówkami, np. - starszymi złączami znanymi jako ST oraz nowszymi SC, które zapewniają poprawioną polaryzację oraz stabilność mechaniczną łącza. Typowe złączki światłowodowe przedstawione są na rysunku 8.40



*Złącza światłowodowe*

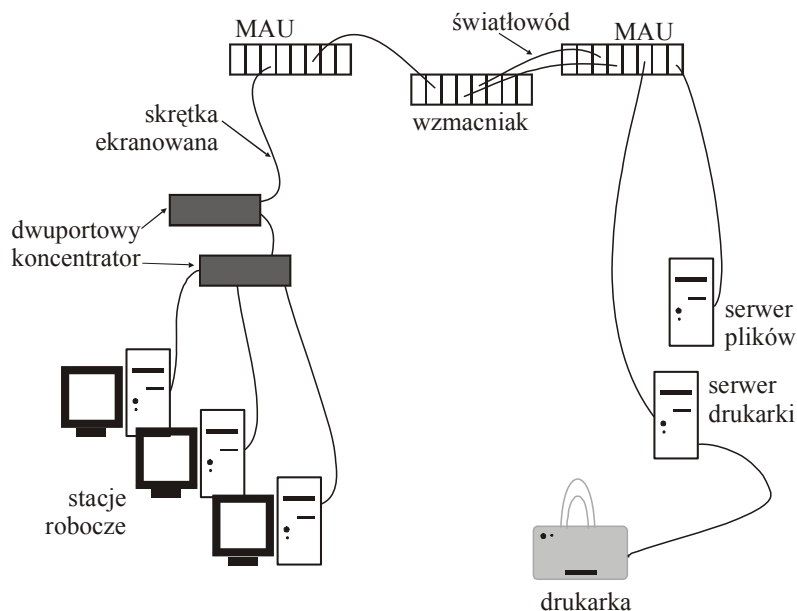
Rys.8.40 Typowe złączki światłowodowe

Kable światłowodowe przyłącza się bezpośrednio do karty sieciowej (jeśli posiada ona stosowne złącza) lub używając konwerterów nośników AUI. Z jednej strony konwertera podłącza się kabel światłowodowy a z drugiej np. skrętkę, łącząc w ten sposób obie technologie sieciowe. W starszych rozwiązaniach w złączu AUI lub koncentratorach montowany jest transceiver. Istnieją także koncentratory dedykowane specjalnie dla łącz światłowodowych.

## 8.6. Token Ring (Pierścień kontrolowany przez znacznik)

Kolejną architekturą sieci LAN znormalizowaną przez IEEE jest sieć typu znacznika sterującego (ang. Token Ring). Specyfikacja sieci **Token Ring** zawarta jest w standardzie IEEE 802.5 i definiuje następujące szybkości transmisji: 4 Mb/s i 16 Mb/s, Fast Token Ring (IEEE 802.5t) - 100 Mb/s, Gigabit Token Ring (IEEE 802.5v) - 1 Gb/s.

Jest to sieć komputerowa wykonana w topologii pierścienia, oparta na zasadzie krążącego znacznika (zwanego znacznikiem sterującym). W odróżnieniu od metody wielodostępu w Ethernetie, Token Ring pozwala nadawać w danym czasie tylko jednemu urządzeniu. Dzięki temu rozwiązaniu nie występują żadne kolizje. **Znacznik sterujący** odczytywany jest przez węzeł i przekazywany do następnego węzła. Znacznik krąży w pierścieniu, nawet wtedy, gdy nie są transmitowane żadne dane. Węzeł, który zamierza transmitować dane, musi poczekać na znacznik sterujący, następnie wypełnia ramkę danymi, dodaje adresy źródła i przeznaczenia i przesyła je do następnego węzła. Tak przygotowana ramka krąży wokół pierścienia dopóki nie osiągnie węzła docelowego. Docelowy węzeł zapisuje dane i zaznacza potwierdzenie odbioru danych w ramce, która wraca do węzła źródłowego informując o poprawnie przeprowadzonej transmisji. Stacje robocze w sieci Token Ring przyłączane są do pierścienia poprzez jednostki sterujące MAU (Multi Access Unit) - jednostki te są konfigurowane szeregowo w strukturę pierścienia, z możliwością transmisji dwukierunkowej. Większość jednostek sterujących MAU wyposażona jest w 2, 4 lub 8 portów wejściowych i automatycznie wykrywa szybkość transmisji węzłów. Typowe złącza jednostek MAU to RJ-45 i złącze IBM typu A. Medium tworzącym pierścień może być światłowód. Maksymalne długości kabli światłowodowych dla szybkości transmisji 16 Mb/s wynoszą 1000 m.



Rys.8.41 Konfiguracja Token ring [7]

Rys.8.41 przedstawia konfigurację Token ring. Token ring oparty jest na ekranowanych kablach w połączeniach węzłów z centralną jednostką MAU. Stosowane są również koncentratory dwuportowe używane w celu obniżenia kosztów okablowania. Okablowane koncentratory można łączyć opcjonalnie łączami światłowodowymi.

## 8.7. ATM (Tryb przesyłania asynchronicznego)

Najnowszą techniką łączenia sieci LAN jest technologia ATM (ang. Synchronous Transfer Mode), czyli tryb przesyłania asynchronicznego. Zaletą ATM jest możliwość przekazywania zsynchronizowanego obrazu i dźwięku, a oprócz tego ogromne ilości danych komputerowych. Tryb ATM zapewnia dużą szybkość, co związane jest z prostym i elastycznym protokołem, pracującym w szerokim zakresie szybkości transmisyjnych. Pozwala to na korzystanie z szerokopasmowych łączy światłowodowych i zarządzania całymi sieciami, jak i pojedynczymi łączami pomiędzy dowolną parą oddalonych od siebie komputerów [7]. Ponadto, tryb ATM ułatwia pracę sieci wielopunktowych (ang. meshed networks) czyli sieci oczkowych. Sieci oczkowe oznaczają sieci, w których ruch transmisyjny odbywa się poprzez wszystkie poziomy.

Na podstawie

1. J. Siuzdak, Wstęp do współczesnej telekomunikacji światłowodowej
2. Karol Krysiak, Sieci Komputerowe, Helion, 2003
3. Metcalfe, Robert M. and Boggs, David R. (July 1976). "Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks". *Communications of the ACM* 19 (5): 395-405
4. Digital Equipment Corporation, Intel Corporation, Xerox Corporation (September, 1980). "*The Ethernet: A Local Area Network*". - Version 1.0 of the DIX specification
5. Boggs, David R. and Mogul, Jeffrey C. and Kent, Christopher A. (1988). "Measured capacity of an Ethernet: myths and reality". *SIGCOMM88 - Symposium proceedings on Communications architectures and protocols*, 222-234IEEE 802.3 2002 standard
6. Don Provan (1993-09-17). "*Ethernet Framing*". comp.sys.novell. (Google Groups).
7. F.J. Defender, Poznaj sieci, Mikon, 1999