

# Sieci optoelektroniczne

## Wykład 8: „Optyczne sieci telekomunikacyjne SDH/SONET”

dr inż. Walery Susłow



# Wstęp do systemów SDH

- Synchronous Digital Hierarchy (**SDH**) jest to system synchronicznej hierarchii cyfrowej.
- SDH jest opracowanym przez **ITU** (International Telecommunication Union) standardem sieci optycznych, które działają w oparciu o kable światłowodowe.
- System SDH to standard synchronicznej sieci transportowej umożliwiający wzrost przepływności sieci telekomunikacyjnych zbudowanych w oparciu o światłowody nawet do 10 Gbit/s.
- Działające poza Ameryką Północną koncerny telekomunikacyjne implementują SDH w światłowodowych magistralach długodystansowych i regionalnych. W USA stosuje się system **SONET**, który jest w zasadzie podzbiorem SDH.



# Wstęþ do systemów SDH, cd.

- ✓ Specyfikację sieci SONET (Synchronous Optical Network) zaproponowała w połowie lat 80-tych firma BellCore (USA).
  - **Sonet** 14-wierszowy, rymowany, liryczny utwór poetycki, pochodzenia wł. (Dante, Petrarka), złożony z 2 strof czterowierszowych (zazw. opisowych) i 2 strof trzywierszowych (zazw. refleksyjnych). Etym. - wł. sonetto 'jw.' ze st. prowans. sonet 'piosenka' od son 'pieśń; dźwięk' z łac. sonus 'dźwięk'; por. supersoniczny; unisono (Słownik wyrazów obcych Władysława Kopalińskiego).
- ✓ System SDH jest obecnie europejskim odpowiednikiem systemu SONET.



# Wstęþ do systemów SDH, cd.

- ✓ System SDH powstał jako rozwinięcie standardu **PDH** (Pleziocronous Digital Hierarchy) opartego na pierwotnym sposobie cyfrowego transportu głosu w sieciach telekomunikacyjnych, znanym jako modulacja kodowa-impulsowa **PCM** (Pulse Code Modulation).
- ✓ 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.
- ✓ Systemy SDH stopniowo wypierają systemy PDH z rynku telekomunikacyjnego, gdyż gwarantują wyższe przepływności (powyżej 1Gb/s) z zastosowaniem światłowodów.



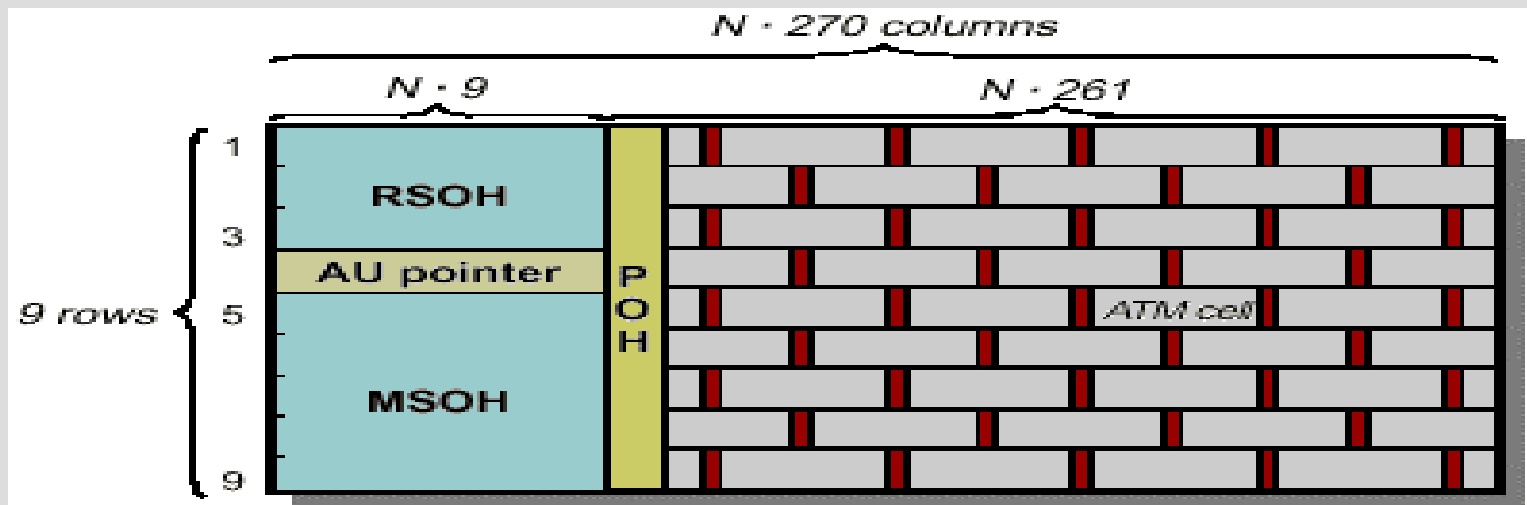
# Wstęp do systemów SDH, cd.

- 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.
- Czas trwania ramki w sieci SDH jest stały (125mks). Wynika on z czasu trwania podstawowego pulsu 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. Przy podanej długości trwania ramki, odpowiada to właśnie szybkości przepływu równej 155 Mbit/s. Wyższe przepływności, odpowiadające wyższym poziomom zwielokrotnienia, oznaczane są symbolami STM-n.



# Wstęþ do systemów SDH, cd.

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

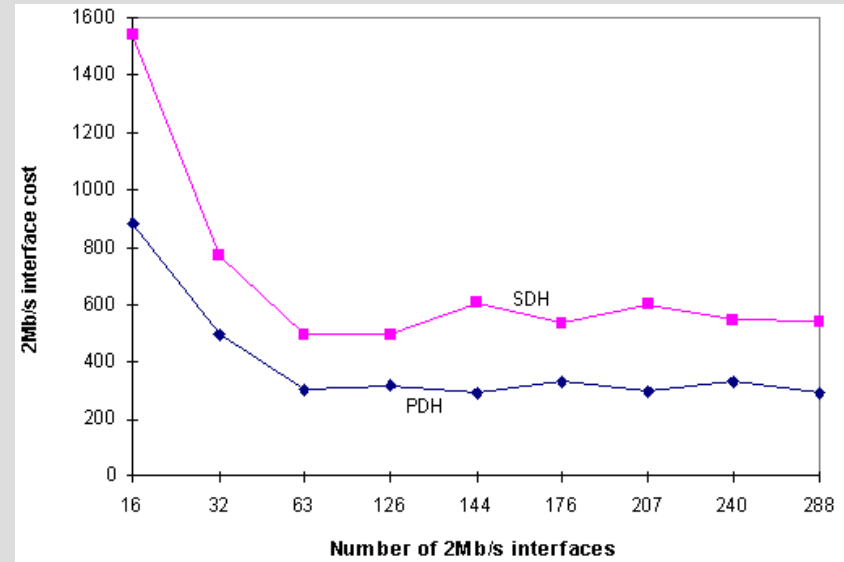
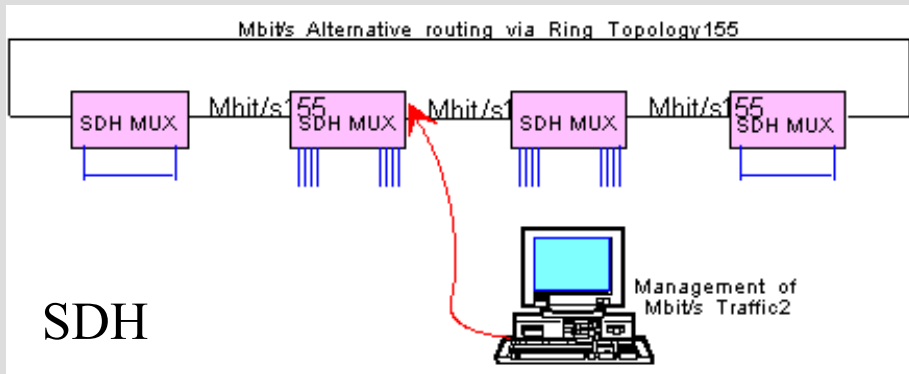
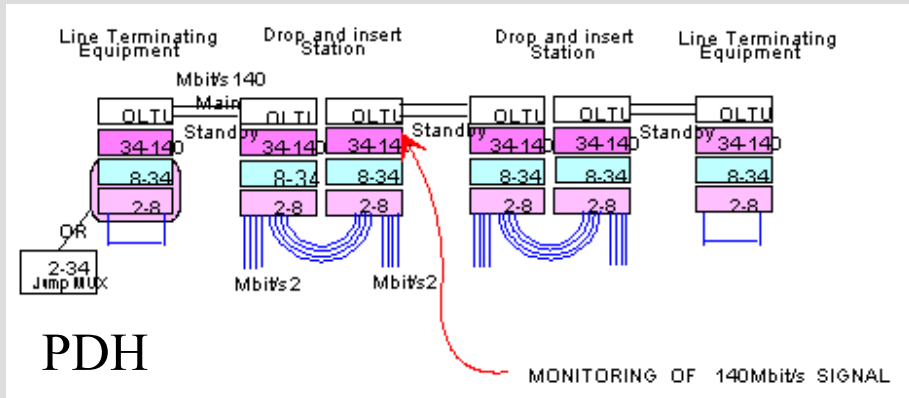


## Wstęþ do systemów SDH, cd.

- Stałe lub zmienne poślizgi fazy w punkcie odbiorczym sygnału wynikające ze zmieniających się warunków światłowodów transmisyjnych poprawia się za pomocą znaczników **AU** przyporządkowanych do kontenera wirtualnego **VC**.
- Znacznik AU w kontenerze wirtualnym wskazuje początek przestrzeni adresowej kontenera lub przesunięcie go względem znacznika. Przesunięcie może być dodatnie i zerowe (jak w PDH) lub ujemne (tylko w SDH). Stosowanie tej samej metody tworzenia nagłóweków i znaczników w kontenerach wszystkich rzędów pozwala wydzielać z kontenera dowolny strumień, np. interfejs 2Mb/s lub pojedynczą rozmowę telefoniczną 64kb/s.



# Wstęo do systemów SDH, cd.



<b>PDH CEPT</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>34</b>	<b>140</b>	<b>565</b>	<b>2260</b>	(Mb/s)
	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>			
				↑			
<b>SDH</b>				<b>STM-0</b>	<b>STM-1</b>	<b>STM-4</b>	<b>STM-16</b>
<b>SONET</b>				<b>OC-1</b>	<b>OC-3</b>	<b>OC-12</b>	<b>OC-48</b>
				52	155	622	2488 (Mb/s)
				↑			
<b>PDH US</b>	<b>1.5</b>	<b>6</b>	<b>45</b>				(Mb/s)
	<b>DS1</b>	<b>DS2</b>	<b>DS3</b>				





# Zalety systemów SDH

- ✓ Zgodność standardów w Europie, Japonii i USA.
- ✓ Dane przesyłane są synchroniczne. Dla wielu systemów zwielokrotnienia mamy ten sam nagłówek uzupełniany tylko o potrzebne informacje.
- ✓ Przepływności STM są kolejnymi całkowitymi mnożnikami wartości 155Mb/s (1, 4, 6, 8 ...). Zwielokrotnienie następuje bajtowo, a nie bitowo. Możliwość transportowania danych plezjochronicznych.
- ✓ Zwielokrotnienie oparte na wskaźnikach. Możliwość dopełniania bitowego dodatniego, ujemnego lub zerowego.
- ✓ Wskaźniki umożliwiają swobodne oddzielenie danych od nagłówka, co umożliwia odseparowanie dowolnego zwielokrotnienia.



# Poziomy zwielokrotnienia w systemach SDH

- Zwielokrotnienie rozpoczyna się od STM-1. Jest to najniższa jednostka zwielokrotnienia o przepływności 155Mb/s (155 520kb/s). Może ona bezpośrednio być nośnikiem strumienia PDH o przepływności 140Mb/s.
- Tylko trzy pierwsze zwielokrotnienia STM posiadają certyfikat CCiTT (ITU-T).
- Proces zwielokrotnienia przebiega dwuetapowo:
  - multipleksacja kontenerów VC niższego do wyższego rzędu,
  - włączanie informacji o kontenerach do nagłówka SOH (Section Overhead).
- Przetwarzanie zawartości nagłówka **SOH** daje możliwość wglądu w zawartość modułu STM na trasie i wyodrębnienia z niego pojedynczej przepływności lub włączenie innej.
- Sumaryczna przepływność może być mniejsza od maksymalnej możliwej do osiągnięcia w danym STM'ie.



# Poziomy zwielokrotnienia w systemach SDH, cd.

Nośnik optyczny	Interfejs elektryczny	Moduły transportowe - STM	System (Mb/s) synchroniczny SDH/SONET	Zwielokrotnienie	Liczba kanałów telefonicznych
OC-1	STS-1	-	51,84	1	672
OC-2	-	-	103,68	2	1344
OC-3	STS-3	STM-1	155,52	3	2016
OC-4	-	STM-3	207,36	4	2688
OC-9	STS-9	STM-3	466,56	9	6048
OC-12	STS-12	STM-4	622,08	12	8064
OC-18	STS-18	STM-6	933,12	18	12 096
OC-24	STS-24	STM-8	1244,16	24	16 128
OC-36	STS-36	STM-12	1866,24	36	24 192
OC-48	STS-48	STM-16	2488,32	48	32 256
OC-96	STS-96	STM-32	4976,64	96	64 512
OC-192	STS-192	STM-64	9953,28	192	129 024

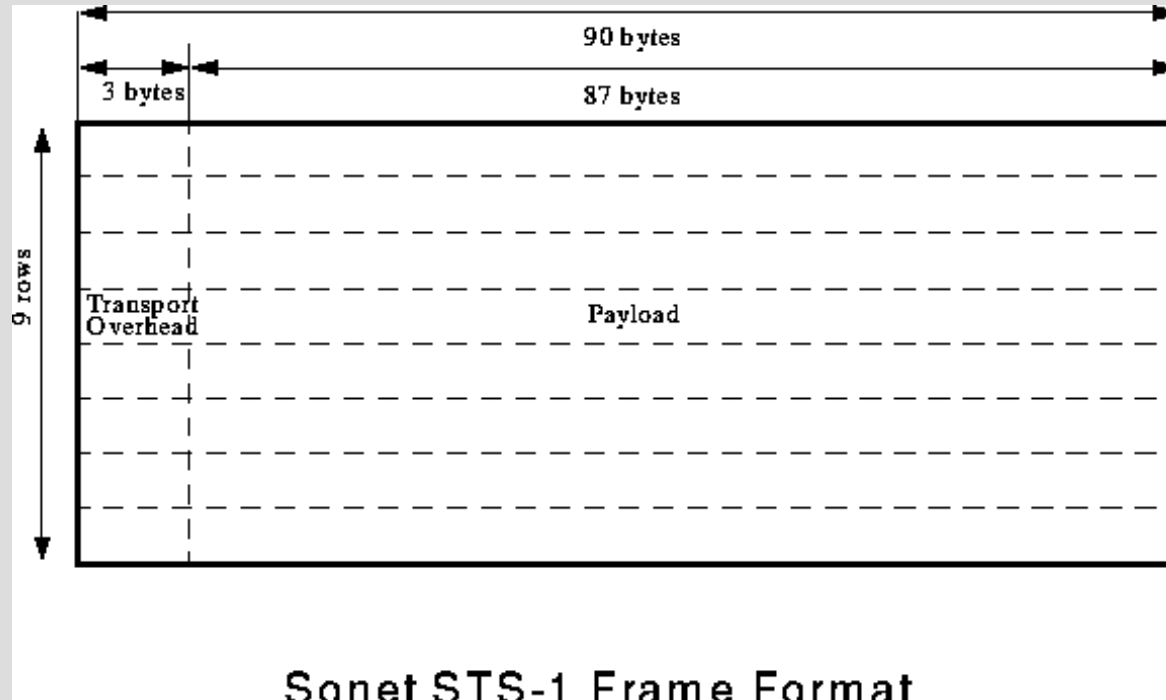


# Budowa modułu transportowego STM-1

- ✓ Moduł STM-1 składa się z 9 linii po 270 bajtów. W tym zawiera się nagłówek SOH 9x9bajtów. Czas trwania pojedynczej ramki 125ms, częstość powtarzania się ramki 8kHz. Przepustowość pojedynczego bajta ramki **64kb/s**.
- ✓ Ramka STM-1 składa się z pola danych Payload, nagłówka SOH (utrzymaniowy) i bloku wskaźników PTR.
- ✓ Pole Payload zawiera 9x261 bajtów (2349 bajtów). Służy ono do przenoszenia właściwych danych użytecznych. Według zalecenia CCiTT zgodnie ze standardem G.703 w polu Payload można uzyskiwać przepustowość od 1,5Mb/s (poziom 1 w USA) do 140Mb/s (poziom 4 w Europie).



# Budowa modułu transportowego STM-1, cd.



- Nagłówek SOH przenosi dane utrzymaniowe, w postaci wzoru fazowania ramki, bajtów nadzoru, administracji siecią.
- Nagłówek SOH dzieli się na: RSOH, która stanowi zbiór danych sterujących i informacyjnych dla sekcji regeneratora i część MSOH, która stanowi nagłówek dla multiplexerów.

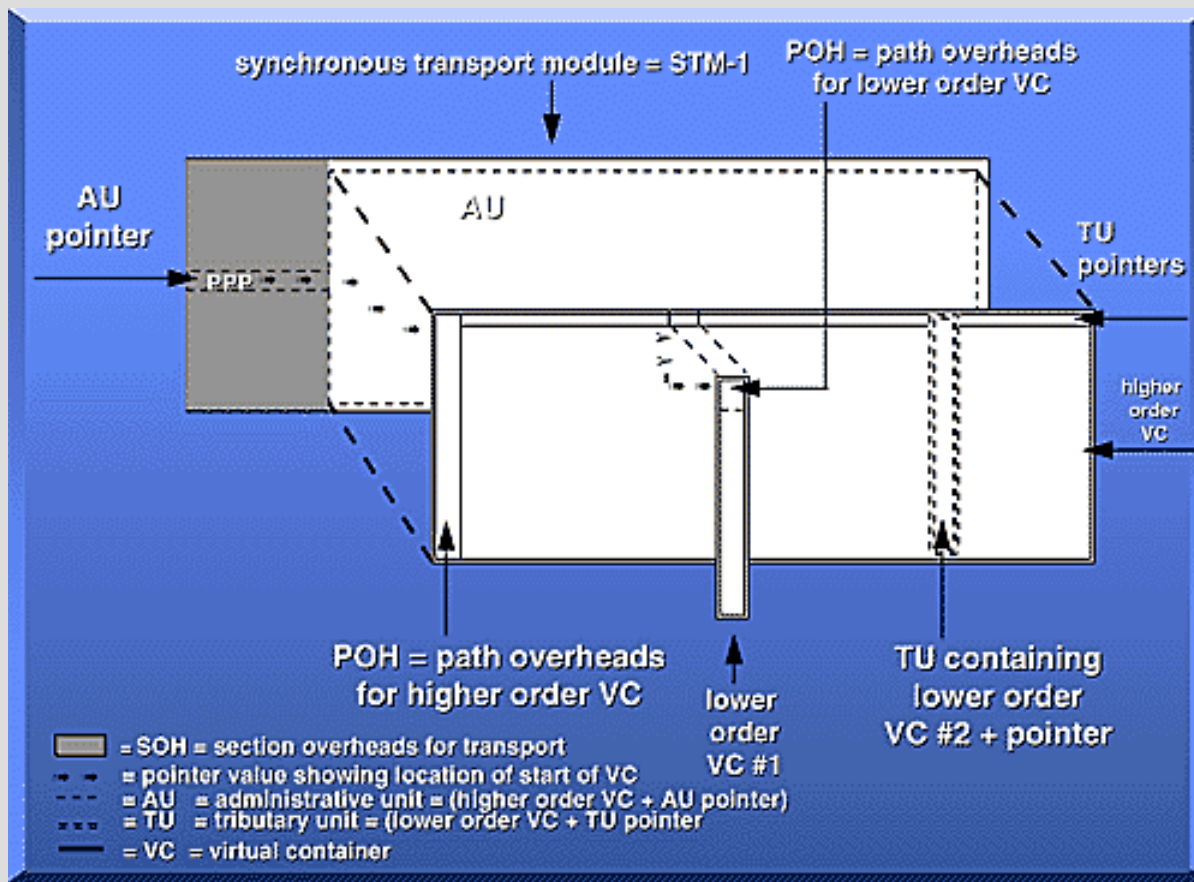


# Budowa modułu transportowego STM-1, cd.

- Blok wskaźników (PTR) służy do określenia położenia kontenera wirtualnego względem ramki STM. Umożliwia to:
  - dotarcie do strumieni składowych kontenera wirtualnego, bez demultipleksacji całego sygnału,
  - określenie przesunięcia fazowego kontenera w przypadku współpracy z systemem plezjochronicznym, tj. dopełnienia dodatniego/zerowego/ujemnego.
- Wskaźnik PTR składa się z trzech wskaźników po 3 bajty każdy. Są one umieszczone w linii 4. Określają one rodzaj dopełnienia i jego wartość.



# Budowa modułu transportowego STM-1, cd.



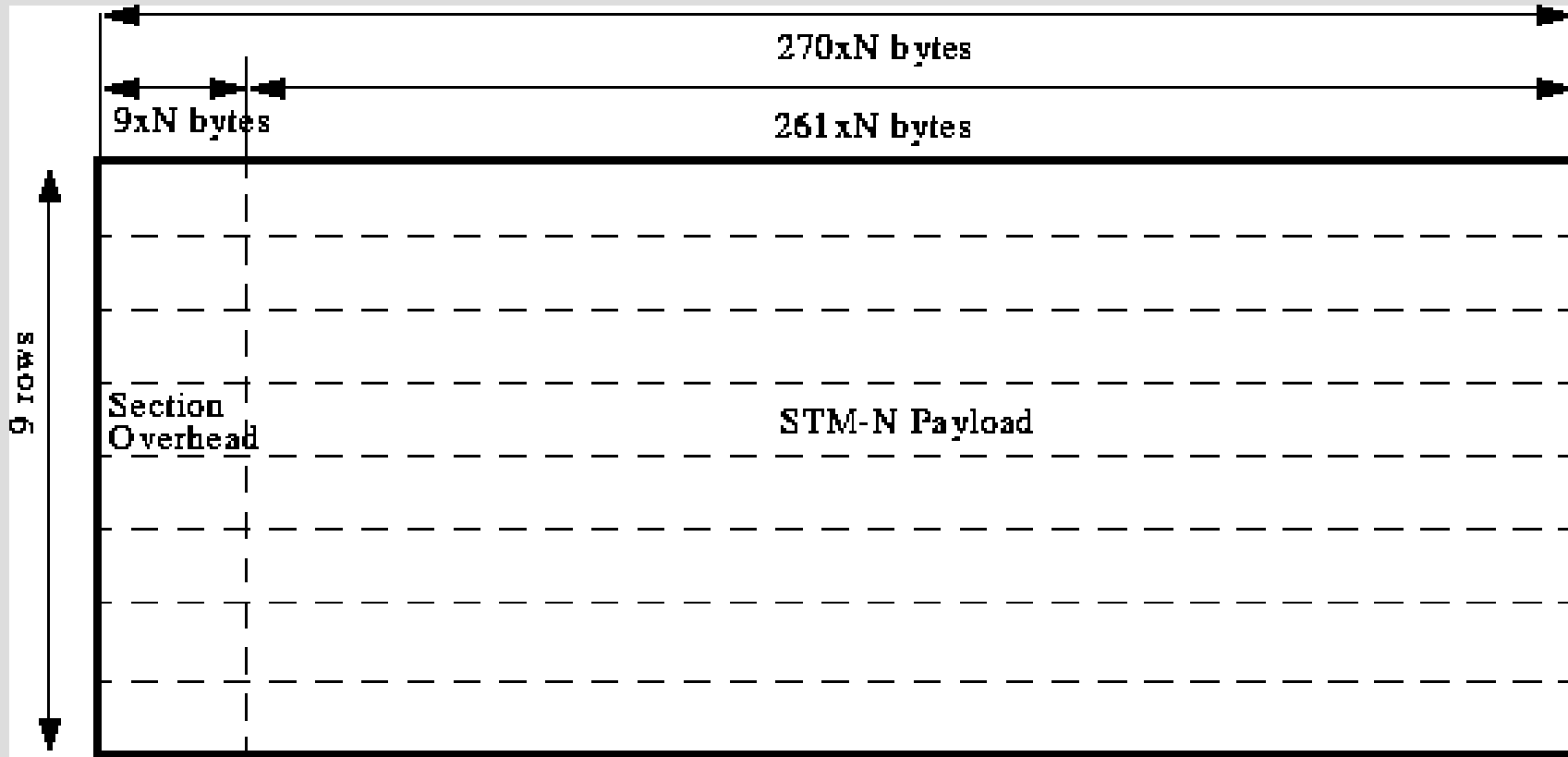
# Budowa modułu transportowego STM-N

- Ramka STM-N jest podobna w budowie do ramki STM-1. Różnica polega głównie na przepływności, STM-N ma przepływność N razy większą niż STM-1 (w ciągu  $125\mu\text{s}$  jest transportowane  $N \cdot 9 \cdot 270$  bajtów danych).
- Przy zwielokrotnieniu ulega zmianie położenie poszczególnych sygnałów użytecznych w ramce STM-N. W związku z tym nagłówki STM-N muszą być modyfikowane po wprowadzeniu każdego sygnału.
- Polityka zwielokrotniania sygnału STM-N1 w STM-N2 polega na tym, że ramka STM-N2 jest zaopatrywana w odpowiednie nagłówki wynikające z wprowadzania do jej wnętrza  $N2$  strumieni i wstawianiu kolejno po  $N2$  bajty każdego ze strumieni wg narzuconej kolejności.





# Budowa modułu transportowego STM-N



SDH STM-N Frame Format



# Budowa modułu transportowego STM-N

- Systemy PDH w celu zabezpieczenia danych przed błędami w czasie transmisji stosowały kody liniowe. Sprawa ma się identycznie dla systemów SDH wykorzystujących styki elektryczne zgodne z zaleceniem CCiTT G.703.
- Systemy SDH dla transmisji z udziałem włókna optycznego stosują Scrambling. Skrąblowanie polega na przemnażaniu porcji danych przez sekwencję pseudolosową, w celu uprzyśkawkowania danych i lepszego rozłożenia się mocy sygnału w paśmie transmisyjnym.
  - Skrąbler działa po stronie nadawczej urządzenia i ma postać rejestru przesuwnego połączonego logicznie z wejściem.
  - Deskrąbler działa po stronie odbiorczej i ma podobną budowę do Skrąblera, zaś jego zadaniem jest odtwarzanie danych przychodzących poddanych skrąblowaniu.



# Budowa kontenera

Kontener C to zdefiniowana przepływność binarna, którą umieszcza się w ramce STM-1. Oznacza to, że co  $125\mu\text{s}$  jest przesyłana paczka informacji o pojemności C. W skład kontenera wchodzi:

- ✓ Informacja użyteczna (np. system PDH).
- ✓ Stałe bity informujące o dopełnieniu i służące do zgrubnej synchronizacji.
- ✓ Bity służące do dokładnej synchronizacji.
- ✓ Bity kontrolne dopełnienia.



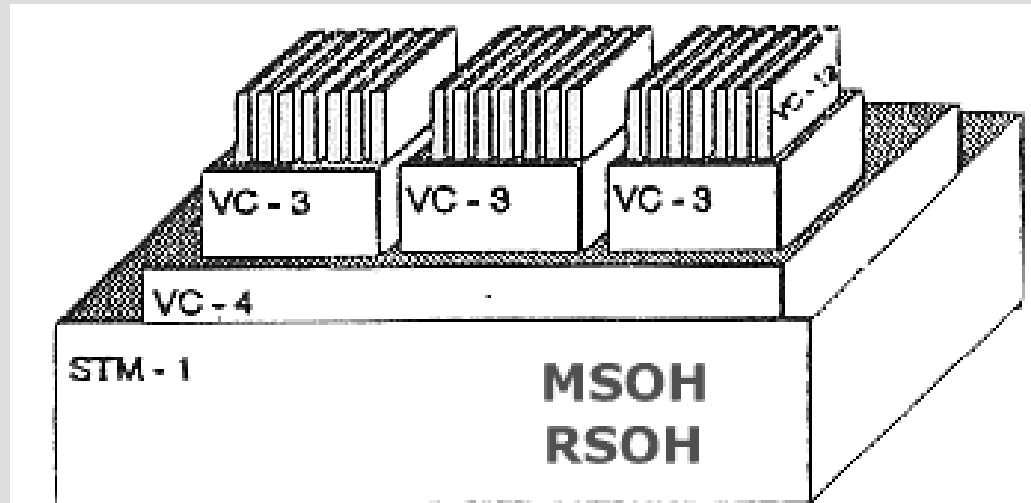
## Budowa kontenera, cd.

- Zawsze następuje dodanie nagłówka **POH** do kontenera C i utworzenie z niego kontenera wirtualnego **VC**. Kontener VC jest traktowany zawsze jako integralna część, którą dostarcza się w nie naruszonym stanie od nadawcy do odbiorcy.
- Kontener (np. C4) może zostać dopasowany do kontenera wirtualnego (VC-4), ponieważ jego przepływność jest taka sama.
- Tak spreparowana informacja jest uzupełniana o przesunięcie. Nosi ona nazwę jednostki podrzędnej **TU**. Kilka jednostek podrzędnych zwielokrotnionych bajtowo stanowi jednostkę nadrzędną **TUG**.
- Połączenie kilku jednostek TUG i np. kontenera C3 oraz nagłówka POH daje kontener wirtualny np. VC-4.



# Budowa kontenera VC

- VC jest to kontener powstały z dodania nagłówka POH do kontenera C.
- Kontenery dzieli się na wyższego i niższego rzędu. Kontenery niższego rzędu, to te, które są wewnątrz innych kontenerów (na rys. VC-3). Kontenery wyższego rzędu to te, które są bezpośrednio transportowane w ramce STM-1 (na rys. VC-4).



# Zegary synchronizujące sieć SDH

- Stosuje się dwa źródła sygnałów zegarowych: PRC i SSU.
- Pierwotny zegar odniesienia PRC (Primary Reference Clock) jest to zegar, który wytwarza przebiegi wzorcowe dla całej sieci SDH. Wymaga się, aby zegar taki miał dużą stabilność częstotliwości, był pozbawiony znacznych fluktuacji fazy i był niezawodny.
- Norma CCiTT G.811 definiuje maksymalny błąd przedziału czasu takiego generatora.

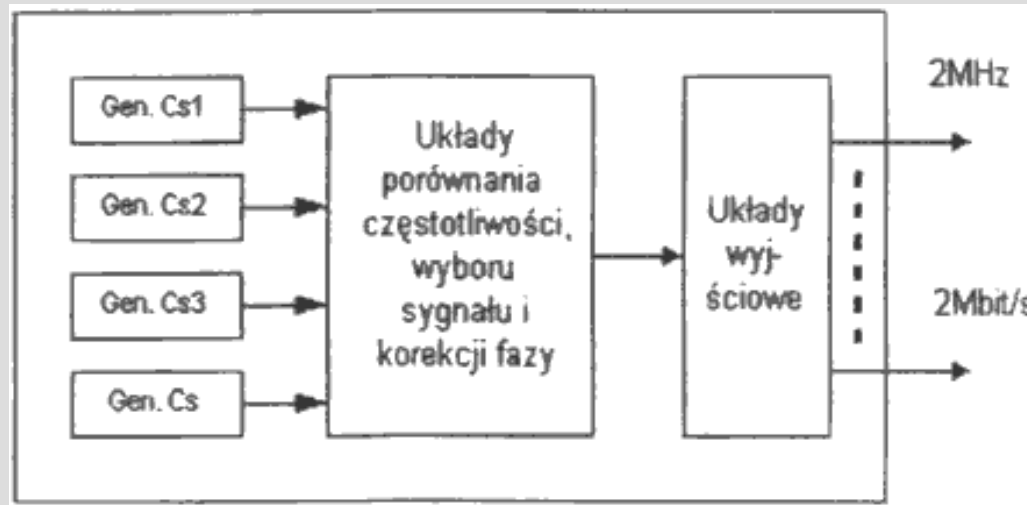


## Zegary synchronizujące sieć SDH, cd.

- ✓ Zegar jest zbudowany z kilku generatorów cezowych, których żywotność waha się w granicach pięciu lat. Struktura taka nosi nazwę nadmiarowej.
- ✓ W układzie wytwarzania przebiegu oprócz 4 generatorów cezowych jest jeszcze układ porównywania częstotliwości, wyboru sygnału i korekcji fazy.
- ✓ Układ wyjściowy zegara generuje strumień synchronizujący 2Mb/s lub 2MHz.



# Zegary synchronizujące sieć SDH, cd.



- ✓ Układ porównywania pracuje z gorącą rezerwą: jeden generator pracuje w warunkach zbliżonych do tego generatora, który jest aktualnie wykorzystywany.
- ✓ Układ komparacji zajmuje się przełączaniem na tę właśnie rezerwę, w przypadku awarii lub wymiany generatorów.



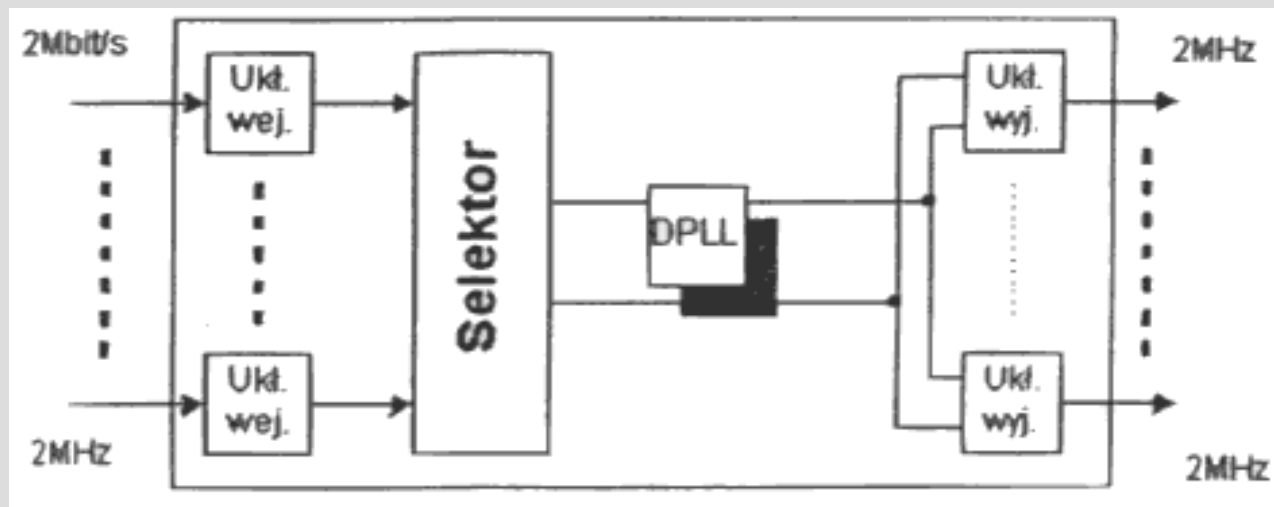


# Zegary synchronizujące sieć SDH, cd.

- Zegar sieciowy SSU (Synchronization Supply Unit) jest to urządzenie, które podejmuje decyzję z którego źródła należy synchronizować urządzenia całego systemu SDH w danym węzle telekomunikacyjnym.
- SSU może wybierać z pośród sygnałów wejściowych 2Mb/s, 2MHz, 5MHz lub innych dostępnych. Urządzenie DPLL to mała pętla fazowa, która odsumia przychodzący sygnał zegarowy - czyli stabilizuje go. SSU na wyjściu oferuje zegar o częstotliwości 2MHz.
- Urządzenie może być połączone kaskadowo i synchronizować do 20 krotnic na raz (zalecenie G.803).
- Od SSU wymaga się, aby miały one wysoką dokładność odtwarzania zegara z sygnału wejściowego (niskie fluktuacje fazy - CCiTT G81s ), co najmniej taką jak centrale tranzytowe.



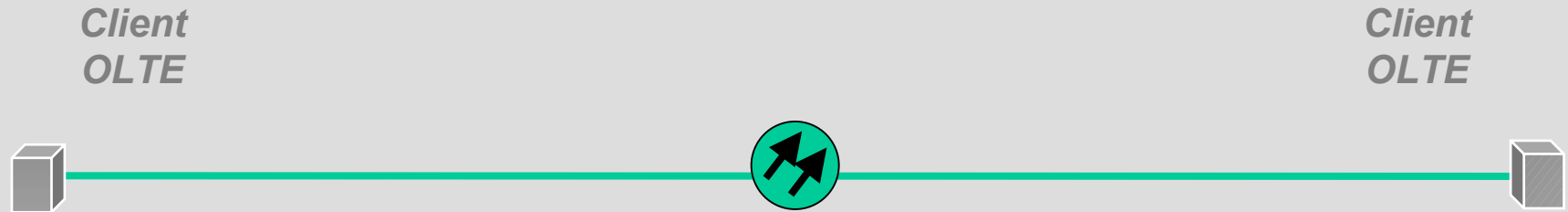
# Zegary synchronizujące sieć SDH



- ✓ Układy zegarowe krotnicy SDH są ostatnią deską ratunku w przypadku zaniku synchronizacji centralnej systemu.
- ✓ Synchronizacja sygnałem przychodzącym jest ostatnią możliwością synchronizacji. Jest ona wysoce niedokładna i podatna na zakłócenia.



# Transmisja optyczna SDH/SONET



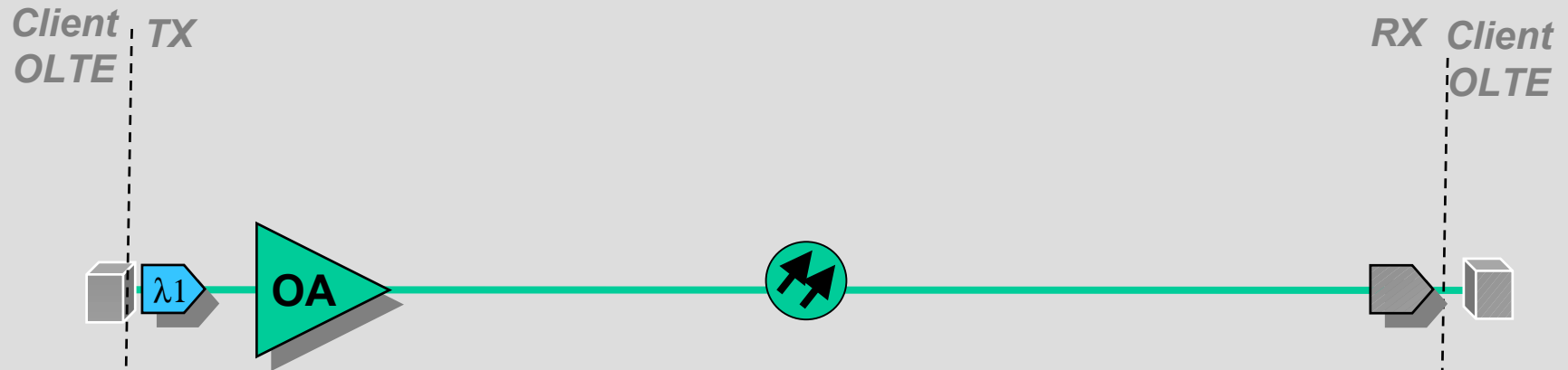
SDH STM-16 / SONET OC-48

2.5 Gb/s przez jedno włókno na odległość do 70 km

(Cisco Systems, INC.)



# Transmisja optyczna SDH/SONET, cd.



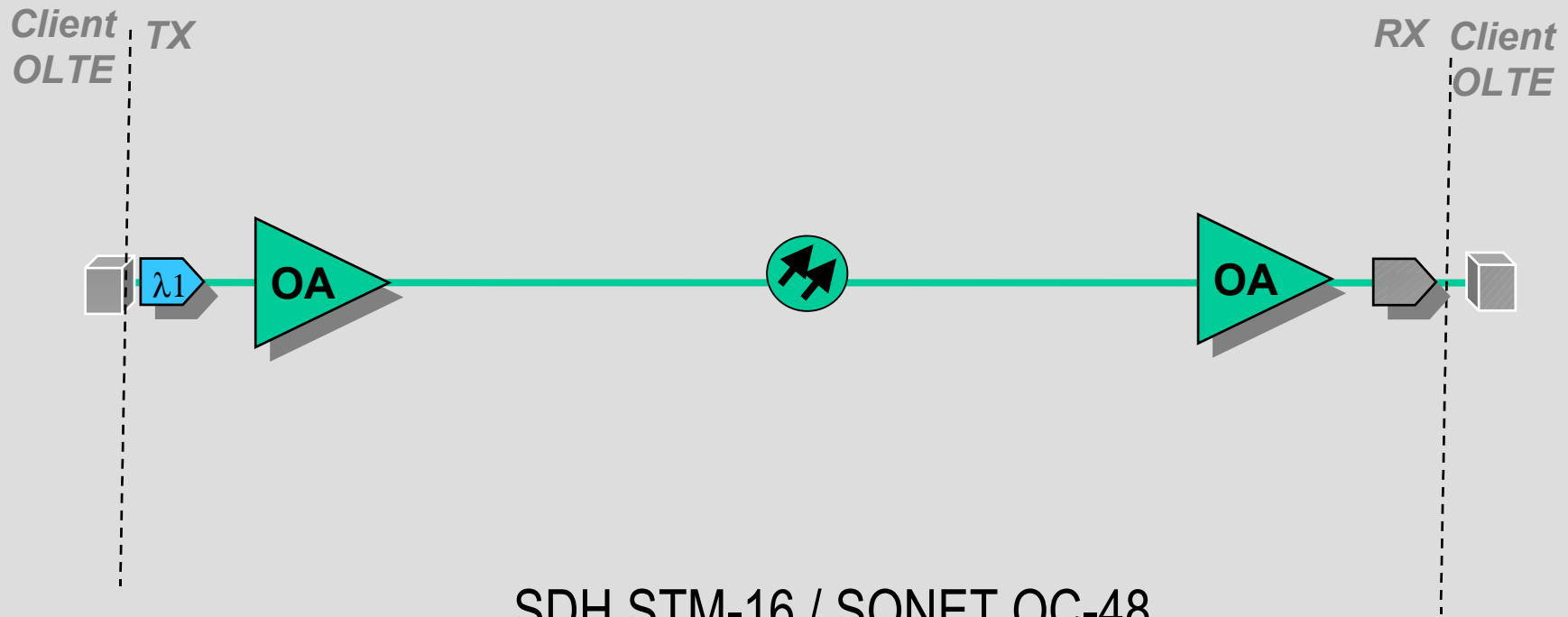
SDH STM-16 / SONET OC-48

- Linia światłowodowa z jednym wzmacniaczem optycznym po stronie nadajnika (OA - Optical Amplifier )
- Połączenie typu „Point to Point”
- 2.5 Gb/s przez jedno włókno na odległość do 100 km

(Cisco Systems, INC.)



# Transmisja optyczna SDH/SONET, cd.



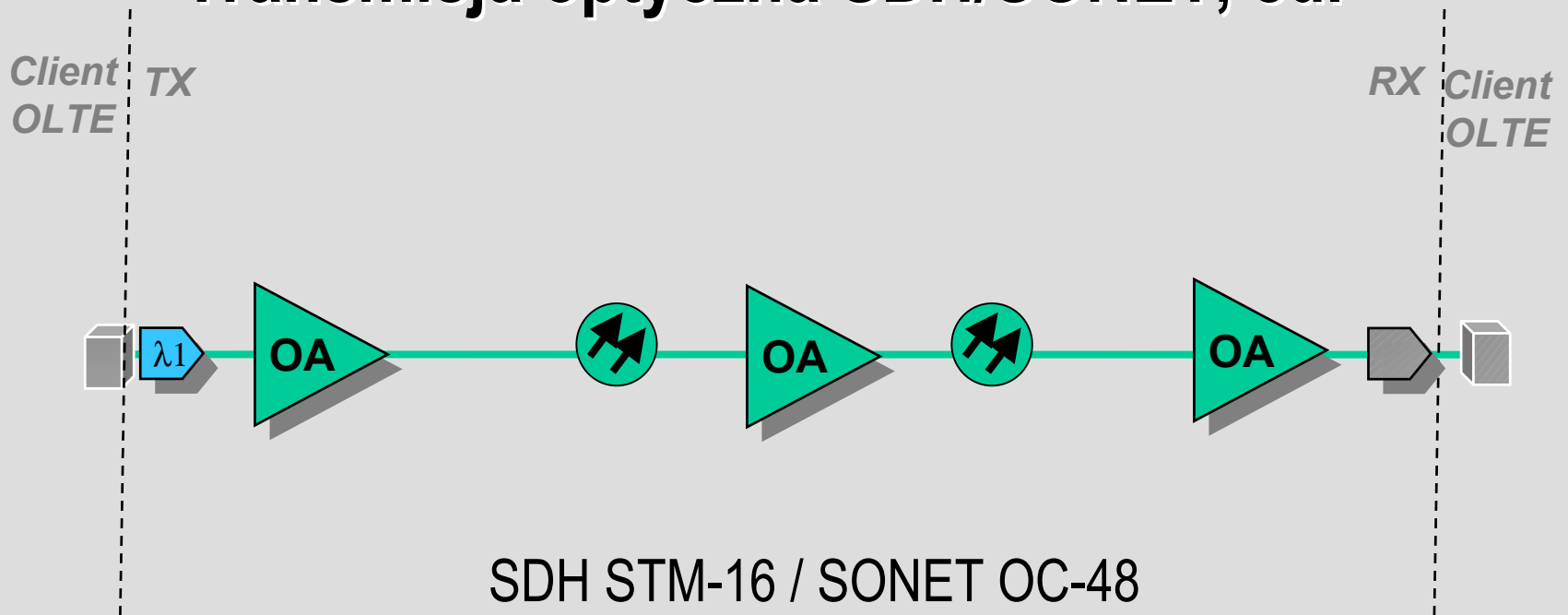
SDH STM-16 / SONET OC-48

- Linia światłowodowa z jednym wzmacniaczem optycznym po stronie nadajnika i drugim po stronie odbiornika.
- Połączenie typu „Point to Point”
- 2.5 Gb/s przez jedno włókno na odległość do 250km

(Cisco Systems, INC.)



# Transmisja optyczna SDH/SONET, cd.



- Linia światłowodowa z jednym wzmacniaczem optycznym po stronie nadajnika, drugim po stronie odbiornika, oraz do czterech wzmacniaczy w linii.
- Połączenie typu „Point to Point”
- 2.5 Gb/s przez jedno włókno na odległość do 500- 600 km

(Cisco Systems, INC.)



# Podsumowanie systemu SDH

- ✓ Systemy synchroniczne umoŹliwiają osiągnięcie ogromnych przepływności rzędu kilku 10Gb/s (STM - 64) z zastosowaniem światłowodów (np. na 80 nośnych we włóknie).
- ✓ Uniwersalność systemu SDH umoŹliwia kompatybilność z technikami PDH i ATM.
- ✓ Łatwość wydzielania ze strumienia o wysokiej przepływności pojedynczego strumienia.
- ✓ Uniwersalna konstrukcja umoŹliwiająca szerokie wykorzystanie kanału administracyjnego np. do zarządzania siecią.



## Podsumowanie systemu SDH, cd.

- ✓ Technika przeplotowa umożliwia zminimalizowanie opóźnień wytwarzanych przez urządzenia pośredniczące w systemie SDH (multipleksery itd.).
- ✓ Metoda wytwarzania uprzypadkowania została pomyślana tak, aby jak najmniej obciążać układ nadawczy, a zarazem nie wprowadzać nadmiernych opóźnień.
- ✓ Kompatybilność SDH z różnymi standardami transmisji w różnych krajach.
- ✓ Możliwość działania według struktury punkt-punkt (2; 4 włókna), ring (samonaprawialność) i gwiazdy. Struktura punkt-punkt może działać na 2 włóknach - ta sama informacja idzie różnymi drogami lub na jednym włóknie tj. przełączana na inne o ruchu na niższym priorytecie w czasie awarii.





# Przyszłość SDH/SONET

- ✓ Raport firmy konsultingowej Frost & Sullivan (2001) ujawnia, że tradycyjne sieci synchroniczne SONET/SDH (Synchronous Digital Hierarchy) - od lat stanowiące podstawowy nerw telekomunikacyjny współczesnego świata - ulegają stopniowemu zanikowi.
- ✓ Sieci SONET/SDH, od początku projektowane do przenoszenia i komutowania sygnałów optycznych o jednej częstotliwości pracy sygnału nośnego, znajdują coraz większego konkurenta w postaci systemów zwielokrotnienia falowego DWDM o wielu częstotliwościach pracy, doposażonych w interfejsy SONET/SDH.



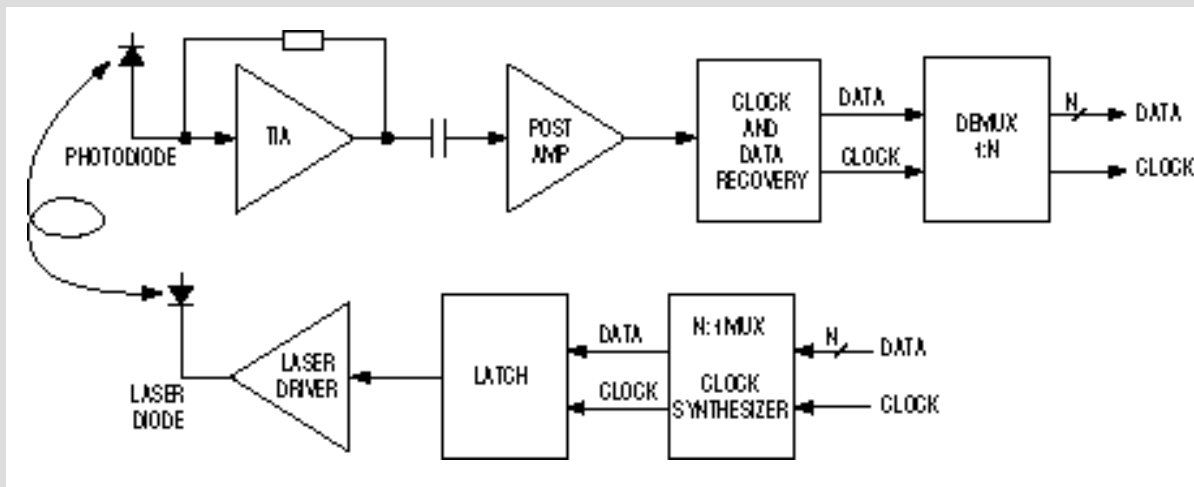
# Czytaj

## Systemy teletransmisyjne.

- ✓ Sławomir Kula, *Systemy teletransmisyjne*, WKŁ 2005.
- ✓ Brad Dunsmore, Toby Skandier *Cisco. Technologie telekomunikacyjne*, MIKOM 2003
- ✓ <http://mops.uci.agh.edu.pl/~sskrzyni/SDH/wstep.html>
- ✓ <http://www.iec.org/online/tutorials/sdh/index.html>



# Dodatek: typowy moduł nadajnika/odbiornika SONET/SDH



- ✓ Odbiornik (PIN lub APD) przyjmuje sygnał optyczny z włókna i konwertuje go na sygnał elektryczny, który musi przejść wzmacnienie przed tym jak zostanie odtworzony kształt fali danych i zegar. Dalej może być potrzebna konwersja danych szeregowych na równoległe w zależności od specyfiki systemu.
- ✓ Nadajnik (dioda laserowa) sterowany jest sygnałem zawierającym transmitowane dane i zegar.

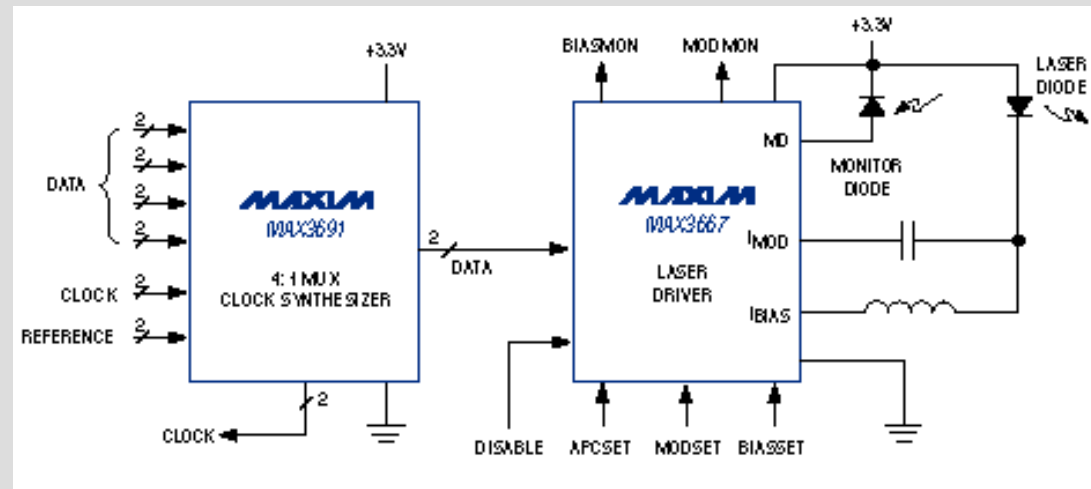
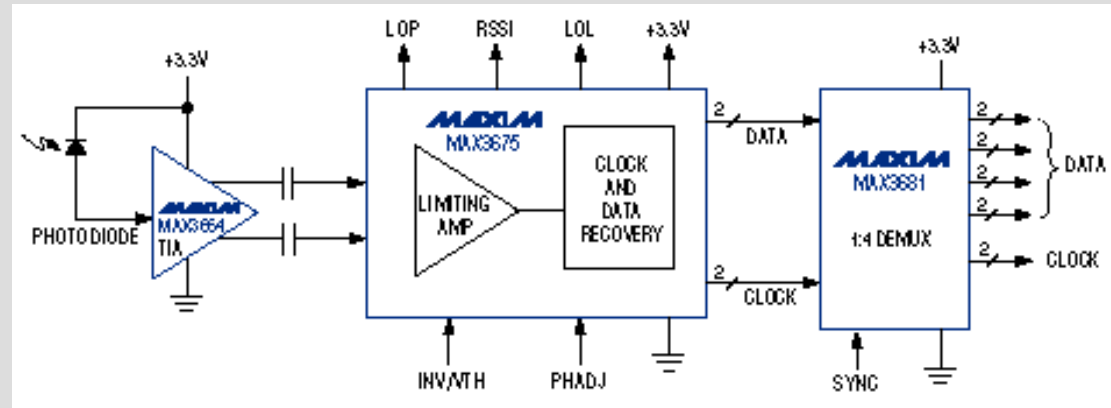


# Dodatek: przykład realizacji nadajnika/odbiornika SONET/SDH

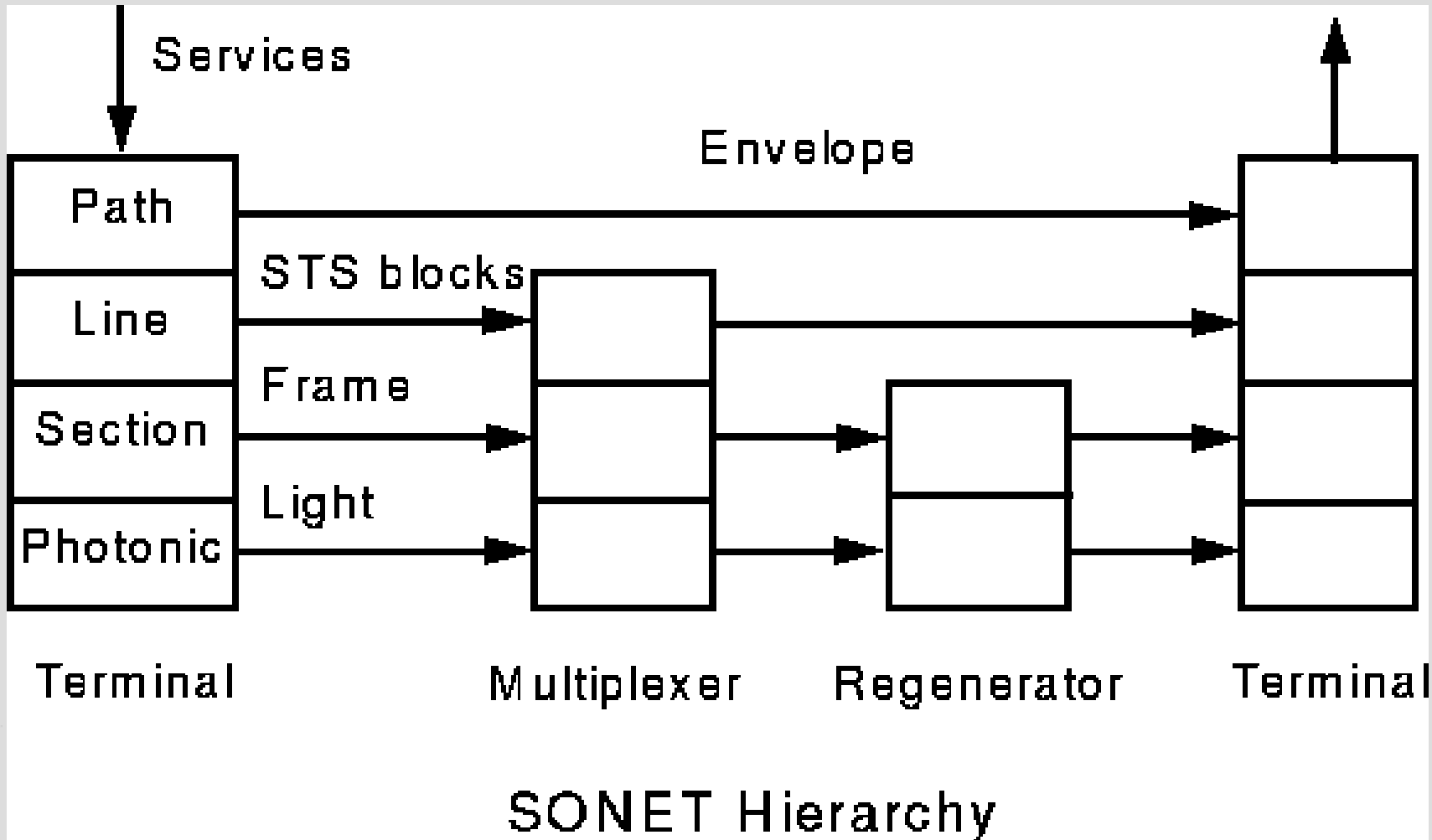
Trzy moduły tworzące odbiornik i dwa moduły tworzące nadajnika STM4.

Chipset wykorzystuje:

- szybkie bipolarnie komplementarne układy, które mają graniczne częstotliwości 6.4GHz dla tranzystorów pnp oraz 8.7GHz dla tranzystorów,
- układy GST-2 na npn tranzystorach z częstotliwością graniczną 27GHz.



# Dodatek: czterowarstwowy model hierarchiczny SONET



# Dodatek: działanie sieci testowej ATM/SONET (USA)

