

TECHNOLOGIE MULTIPLEKSACJI W SIECIACH TRANSMISJI DANYCH

dr inż. Zbigniew Handzel, prof. WSEI

dr inż. Andrzej Dulbiński

Summary

Multiplexing, also known as channel multiplication, is a technique widely used in data transmission networks. Even though many administrators don't typically encounter it, it's worth having knowledge about it. The issue of multiplexing dates back to 'ancient' times when analogical technology was still prevalent. Naturally, with the current dominance of digital technology, multiplexing solutions have also evolved.

What is multiplexing? The answer is relatively simple. It is a technological solution that allows the creation of many (hundreds or even thousands) of transmission channels within a single communication medium. By medium, I mean both copper-based media like symmetrical cables (twisted pairs) or asymmetrical ones (coaxial cables), as well as fiber optic media, which are widely used today. Thanks to multiplexing solutions, such as xWDM (Wave Division Multiplexing), incredibly high bandwidths reaching the order of Gbps have been achieved.

Wprowadzenie

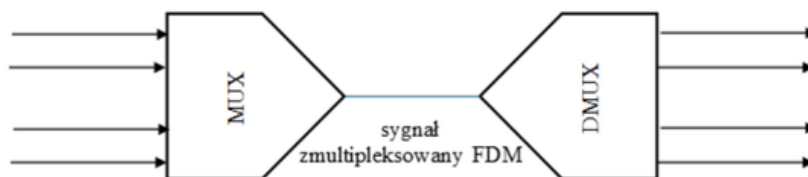
Multipleksacja, inaczej określana jako zwielokrotnienie kanałów transmisyjnych, to technika szeroko stosowana w sieciach transmisji danych, mimo iż nie jest to element, z którym wielu administratorów tak naprawdę nie ma styczności, warto posiadać wiedzę na ten temat. Problematyka zwielokrotnienia sięga praktycznie zamierzonych czasów, kiedy była wszechobecna jeszcze technologia analogowa. Oczywiście fakt, że aktualnie dominuje praktycznie technologia cyfrowa, rozwiązania multipleksacji również podlegały ewaluacji. Czym jest multipleksacja? Odpowiedź jest stosunkowo prosta. Jest rozwiązaniem technologicznym, pozwalającym na utworzenie wielu (setek a nawet tysięcy) kanałów transmisyjnych w jednym medium komunikacyjnym. Media (nośnik), mam tu na myśli zarówno nośniki miedziane jak kable symetryczne (skrętki), czy też asymetryczne (kable współosiowe, czyli koncentryczne), jak też media światłowodowe, dzisiaj szeroko stosowane, w których dzięki zastosowanym rozwiązaniom multipleksacji, między innymi xWDM (ang. Wave Division Multiplexing) osiągnięto rzeczywiście wysokie przepustowości sięgające rzędu Gbs.

Idea multipleksacji

W procesie multipleksacji biorą udział trzy elementy: multiplexer (krotnica), do którego zostają doprowadzone sygnały poddane multipleksacji, następnie medium (światłowodowe, miedziane), przez który jest przesyłany sygnał zmultiplesowany oraz demultiplexer, którego zadaniem jest odzyskanie sygnałów pierwotnych (Rys. 1).

Biorąc za czynnik podziału dziedzinę w jakiej multipleksacja jest realizowana, wyróżnia się przede wszystkim zwielokrotnienie w dziedzinie:

- częstotliwości FDM (ang. Frequency Division Multiplexing),
- czasu TDM (ang. Time Division Multiplexing),
- długości fali xWDM (ang. Wave Division Multiplexing).

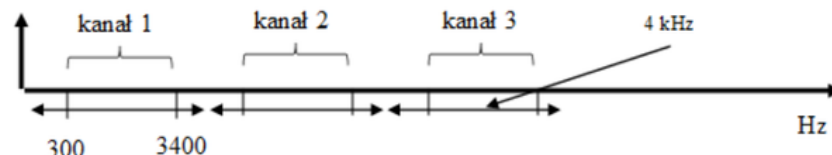


RYS.1. IDEA ZWIELOKROTNIENIA W DZIEDZINIE CZĘSTOTLIWOŚCI.

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE

Zwielokrotnienie FDM

Zwielokrotnianie FDM, tzw. częstotliwościowe, przeznaczone było w początkowej fazie przede wszystkim dla sygnałów w postaci analogowej. Technologia ta silnie wpłynęła na rozwój ówczesnej telekomunikacji. Przyczyniła się do diametralnego zwiększenia kanałów komunikacyjnych między urządzeniami stacyjnymi, obiektami telekomunikacyjnymi w procesie świadczenia usług telefonicznych. Technologia FDM oparta jest na podziale częstotliwości dla poszczególnych kanałów. W usługach telefonicznych, gdzie pasmo kanału zawiera się w granicach 300Hz do 3,4 kHz, kolejne kanały tworzone były w wyższych zakresach częstotliwości (Rys. 2).



RYS.2. IDEA ZWIELOKROTNIENIA W DZIEDZINIE CZASU.

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE.

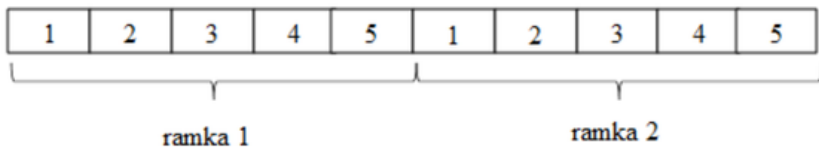
Wykorzystując technologię FDM osiągnięto w nośniku współosiowym 10400 kanałów analogowych. Wraz z rozwojem cyfryzacji na szeroką skalę nastąpił automatycznie rozwój nowych metod i narzędzi realizujących multiplexing.

Zwielokrotnienie TDM

Powszechnie stosowaną techniką multipleksacji sygnałów cyfrowych jest zwielokrotnienie w dziedzinie czasu TDM (ang. Time Division Multiplexing). Technika opiera się na budowie sygnału zmultiplesowanego z następujących po sobie określonej ilości przedziałów czasu (time slot) zawierających wartości chwilowe sygnałów przesyłanych w postaci cyfrowej (binarnej np. 8 bitów), tzw. ramki powtarzającej się z góry co określony interwał czasowy (Rys.3).

MULTIPEKSACJA TO TECHNIKA POZWALAJĄCA NA UTWORZENIE WIELU KANAŁÓW TRANSMISYJNYCH W JEDNYM MEDIUM KOMUNIKACYJNYM, CO UMOŻLIWIA EFEKTYWNY PRZESYŁ DANYCH W RÓŻNYCH DZIEDZINACH, TAKICH JAK CZĘSTOTLIWOŚĆ, CZAS I DŁUGOŚĆ FALI.





RYS.3. SYGNAŁ ZMULTYPLEKSOWANY SKŁADAJĄCY SIĘ Z PIĘCIU SYGNAŁÓW WEJŚCIOWYCH.
 ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE

Idealnym przykładem powyższej technologii jest zastosowanie jej w sieciach transmisyjnych PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), czyli plezjochroniczna hierarchia cyfrowa. Wyróżnia się kilka systemów zwielokrotnienia PDH, między innymi europejski, amerykański (odmianą jest japoński z małą różnicą) (Tab.1).go rozwoju oraz łatwego utrzymania i monitorowania.

TAB.1. POZIOMY ZWIELOKROTNIENIA W PDH

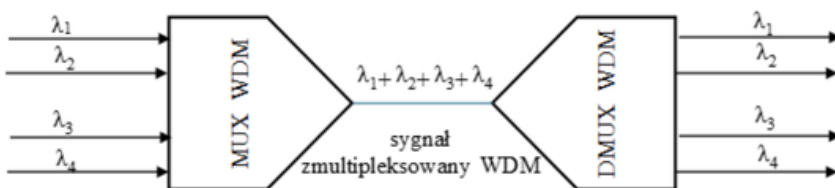
Poziom multipleksacji	Europa	Ameryka	Japonia
1	E1 - 2048 kb/s	T1 - 1544 kb/s	J1 - 1544 kb/s
2	E2 - 8448 kb/s	T2 - 6312 kb/s	J2 - 6312 kb/s
3	E3 - 34368 kb/s	T3 - 44736 kb/s	J3 - 32064 kb/s
4	E4 - 139264 kb/s	T4 - 274176 kb/s	J4 - 97728 kb/s
5	E5 - 564992 kb/s		J5 - 397200 kb/s

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE

W wersji europejskiej sieci PDH ma miejsce pięć poziomów multipleksacji kanałów. Z wyjścia poziomu pierwszego uzyskuje się podstawowy (bardzo popularny) sygnał transmisyjny E1 o przepływności 2048 kb/s (~ 2Mb/s), który powstaje w wyniku multipleksacji doprowadzonych 32 kanałów 64 kb/s, (dwa to kanały systemowe), podane na wejście pierwszego multipleksera. Każdy wyższy poziom uzyskuje się w wyniku czterech zmultipleksowanych sygnałów wyjściowych z poprzedniego mux-a. I tak sygnał E2 powstaje z czterech wejściowych sygnałów E1, sygnał E3 z czterech sygnałów E2 itd. Inaczej jest to w przypadku hierarchii amerykańskiej. Tu sygnał pierwszego rzędu określany jest mianem T1, powstaje w wyniku multipleksacji wejściowych 24 kanałów 64 kb/s, T2 z czterech sygnałów T1, T3 z siedmiu sygnałów T2, a ostatni poziom T4 z sześciu sygnałów T3. Dostrzec można, że w systemie amerykańskim są znaczące różnice względem europejskiego. Powracając do sygnału wyjściowego E1 - pierwszego poziomu. Każda ramka sygnału E1 zawiera 32 szczeliny czasowe (będące kanałami 64 kb/s), są ponumerowane od 0 do 31. Szczelina 0 i 15 to szczeliny systemowe, przeznaczone do zarządzania systemem, sygnalizacji, itp. Natomiast w pozostałych przesyłane są dane użytkownika. Czyli wykorzystanie przez użytkownika 30 kanałów daje sumaryczny kanał transmisyjny 1920 kb/s. Sygnał E1 jest sygnałem bardzo często wykorzystywanym w systemach transmisyjnych, modemach szerokopasmowych HDSL, jako technologie dostępne do sieci WAN dla klientów, użytkowników sieci ISDN PRA, itp. Reasumując w przedstawionym przykładzie sieci PDH poprzez zastosowanie wielokrotnej multipleksacji TDM pozyskano z wejściowych sygnałów 64 kb/s sumaryczny sygnał zmultipleksowany E5 o wartości 564,992 Mb/s.

Zwielokrotnienie WDM

Wraz z rozwojem sieci światłowodowej w obszarze transmisji danych w sieciach LAN jak też w sieciach WAN znalazła zastosowanie multipleksacja xWDM celem dodatkowego zwiększenia ilości kanałów, a co za tym idzie, prędkości transmisji, mimo już transmitowanych w kablach światłowodowych sygnałów już wcześniej zwielokrotnionych poprzez systemy PDH, czy też SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Technologia WDM polega na przypisaniu doprowadzonym sygnałom optycznym różnych długości fal w sygnale zmultipleksowanym (Rys. 4). Efektem czego było opracowanie specjalnych multiplekserów i wzmacniaczy optycznych.



RYS. 4. IDEA ZWIELOKROTNIENIA W DZIEDZINIE DŁUGOŚCI FALI.

ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE

Ze względu na długości fal między poszczególnymi kanałami wyróżnia się [1]:

1. **NWDM** (ang. Narrow WDM) to wąskopasmowe systemy WDM z odległością między kanałami wynoszącymi od 100 nm (13 THz) do 1 nm (130 GHz).

2. **CWDM** (ang. Coarse WDM) to tzw. grube systemy WDM z odległością między kanałami na poziomie kilkunastu do kilkudziesięciu nm.

3. **DWDM** (ang. Dense WDM) to tzw. gęste systemy WDM z odległością między kanałami wynoszącą od 1nm (130 GHz) do 0,1 nm (13 GHz).

4. **OFDM** (ang. Optical Frequency Division Multiplexing) to systemy ze zwielokrotnieniem w dziedzinie częstotliwości optycznych z odległością między kanałami wynoszącą od 0,1 nm (13 GHz) do 0,01 nm (1,3 GHz).

5. **DOFDM** (ang. Dense OFDM) to gęste systemy OFDM z odległością między kanałami mniejszą od 0,01 nm (1,3GHz).

Często systemy z odległością między kanałami mniejszą niż 0,1 nm oznaczane są skrótem **UDWDM** (Ultra DWDM i CWDM) lub **HDWDM** (High DWDM).

Na przykład dla sygnałów składowych w przypadku DWDM o przepływności 10 Gb/s i 40 fal o różnych długościach uzyskamy sygnał zmultipleksowany o wartości 400 Gb/s.

Rezultatem zastosowania zwielokrotnienia xWDM w sieciach światłowodowych było utworzenie w pełni optycznych sieci transportowych OTN (ang. Optical Transport Network). Z kolei dzięki opracowaniu jednolitych zasad przesyłu sygnałów zewnętrznym, zarządzania siecią oraz budową dedykowanych urządzeń realizujących przełączanie sygnałów – strumieni światła powstanie kolejnej generacji sieci teletransmisyjnych OTH (Optical Transport Hierarchy).

Należy zaznaczyć, że wdrożenie kolejnego zwielokrotnienia WDM w sygnale światłowodowym jest tak naprawdę dla systemów dosyłających sygnał przezroczysty. Światłowody zmultipleksowane systemem WDM są postrzegane przez sygnały doprowadzone sieci PDH, SDH i inne jak wolne zasoby (kanały) transmisyjne.

Zwielokrotnienie w dziedzinie długości fali wykorzystywane jest nie tylko w zaawansowanych systemach transmisyjnych WAN, ale również w elementach sieci lokalnych LAN, np. w modułach SFP montowanych np. w routerach pozwalających na podłączenie kabli światłowodowych.

Podsumowanie

Rozwój sieci transmisji bez przedstawionych technologii byłby z pewnością bardzo ograniczony jak wręcz niemożliwy. Zwiększenie ilości kanałów w medium transmisyjnym to czynnik bezpośrednio wpływający na przepustowość, szybkość przekazu danych i informacji. Przedstawione w artykule trzy główne metody zwielokrotnienia oczywiście nie wyczerpują w pełni zakresu omawianej tematyki, lecz mają na celu przybliżyć czytelnikowi ciekawe rozwiązania jakże często stosowane, ale niedostrzegane przez potencjalnego użytkownika.

Literatura

1. Kula S.: Systemy i sieci dostępne. Wyd. WKŁ Warszawa 2009.
2. Kula S.: Systemy teletransmisyjne. Wyd. WKŁ, Warszawa 2006.
3. Perlicki K.: Systemy transmisji optycznej. Wyd. WKŁ Warszawa 2007.
4. Zagrobelny T.: Urządzenia teletransmisyjne, Wyd. WSiP, Warszawa 2000.