

Sieci Komputerowe

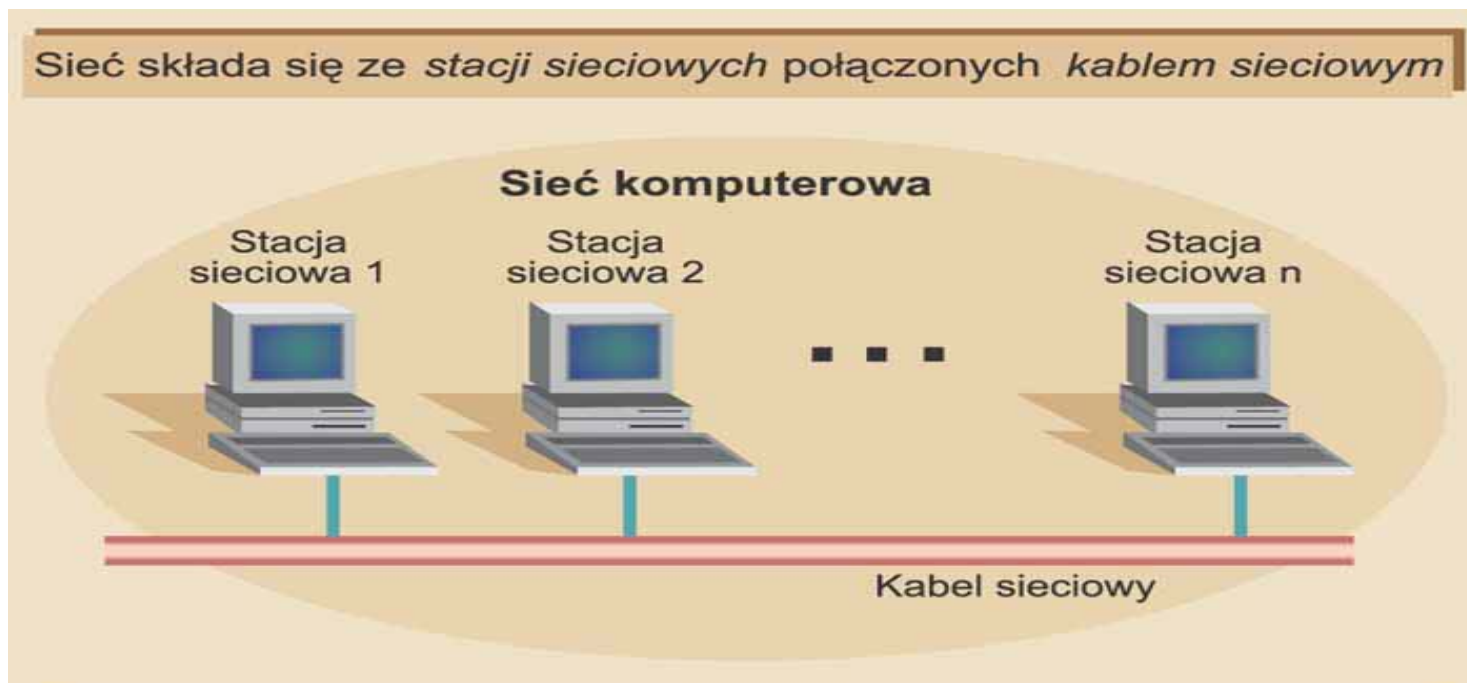
Wykład 1

Pojęcia podstawowe

Siecią komputerową nazywamy strukturę składającą się ze stacji (hosts) i łączącego je kabla sieciowego (network wire).

W najbardziej podstawowym znaczeniu sieć oznacza dwa lub więcej komputerów korzystających ze wspólnych informacji.

Klient – jest tożsamością żądającą usługi lub dane w sieci.



Rodzaje konfiguracji sieci

Możemy wyróżnić dwie podstawowe konfiguracje sieci:

- **Peer-to-peer (każdy z każdym) – jest to sieć równorzędna**
- **Klient – serwer**

Rodzaje konfiguracji sieci

Klasyfikacja sieci (ze względu na rozległość):

LAN (*Local Area Network*)

lokalna sieć komputerowa, zawiera do kilkuset stacji, rozmieszczonych na niewielkim obszarze, np. budynku .

MAN (*Metropolitan Area Network*)

miejska sieć komputerowa, obejmuje większy obszar np. osiedla, miasta (w Polsce: PozMan, LodMan, WarMan itp.)

WAN (*Wide Area Network*)

rozległa sieć komputerowa, obejmuje obszar kraju, kontynentu, cały świat (np. Internet, sieci korporacyjne)

Korzyści

Umożliwiają połączenie zasobów komputerowych w jeden system, wzajemną komunikację, dzielenie mocy obliczeniowej, centralizację danych i programów;

- zasoby komputerowe: dyski twarde, drukarki, plotery, czytniki CD-ROM, napędy taśm magnetycznych (streamery) mogą być wykorzystywane przez wszystkie komputery w sieci;
- komunikacja między komputerami np. za pomocą poczty elektronicznej (bardzo wygodne w pracy grupowej);
- dzielenie mocy obliczeniowej komputerów tzw. przetwarzanie rozproszone, możliwość stworzenia superkomputera z setek, tanich komputerów PC;
- przyk.: efekty specjalne do filmu *Titanic* wykonywano na połączonych w sieć komputerach PC z procesorem DEC Alpha, pracujących pod Linuxem

Topologia sieci

Wyróżniamy następujące topologie sieci:

- **Topologia magistrali**
- **Topologia gwiazdy**
- **Topologia pierścienia**
- **Topologia oczkowa**
- **Topologia drzewiasta**
- **Topologie hybrydowe**

Topologia magistrali (bus)

Wszystkie klienty przyłączone są do pojedynczego przewodu (kabla koncentrycznego 10 base 2 o przepustowości 4 Mb/s).

Zalety

- łatwość instalacji
- łatwość wykrycia usterki

Wady

- ograniczenie odległości (do 185 m) i przepustowości
- ograniczona liczba klientów

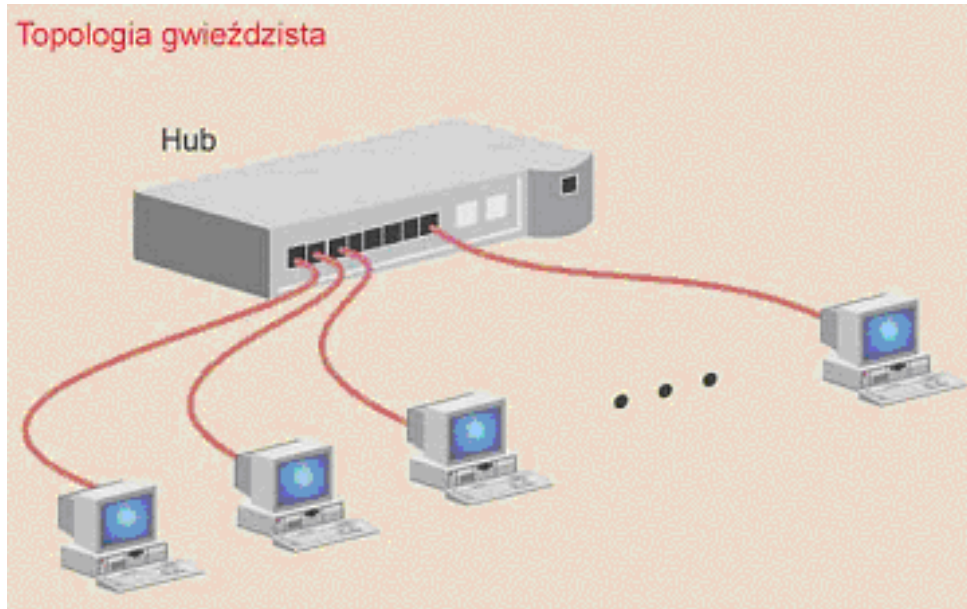


Topologia gwiazdy (star)

Wszystkie klienty połączone są z jednym centralnym urządzeniem (**koncentratorem – hub lub przełącznikiem switch**).

Koncentrator przejmuje transmisje od nadawcy i przekazuje dane odbiorcy.

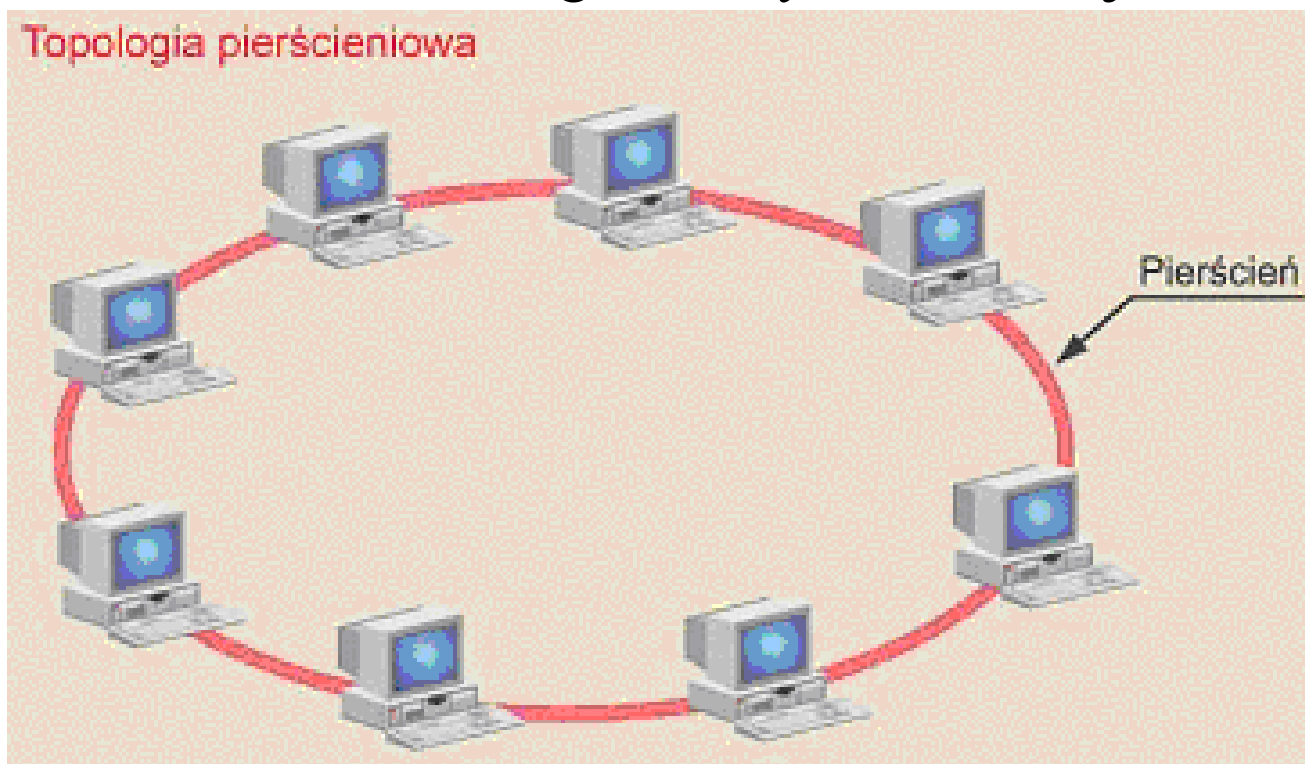
Topologia gwiazdy pozwala na przesyłanie danych z prędkością 1 Gb/s. Maksymalna odległość jest ograniczona do 100m lecz można ją zwiększyć stosując regenerator.



Topologia pierścienia (ring)

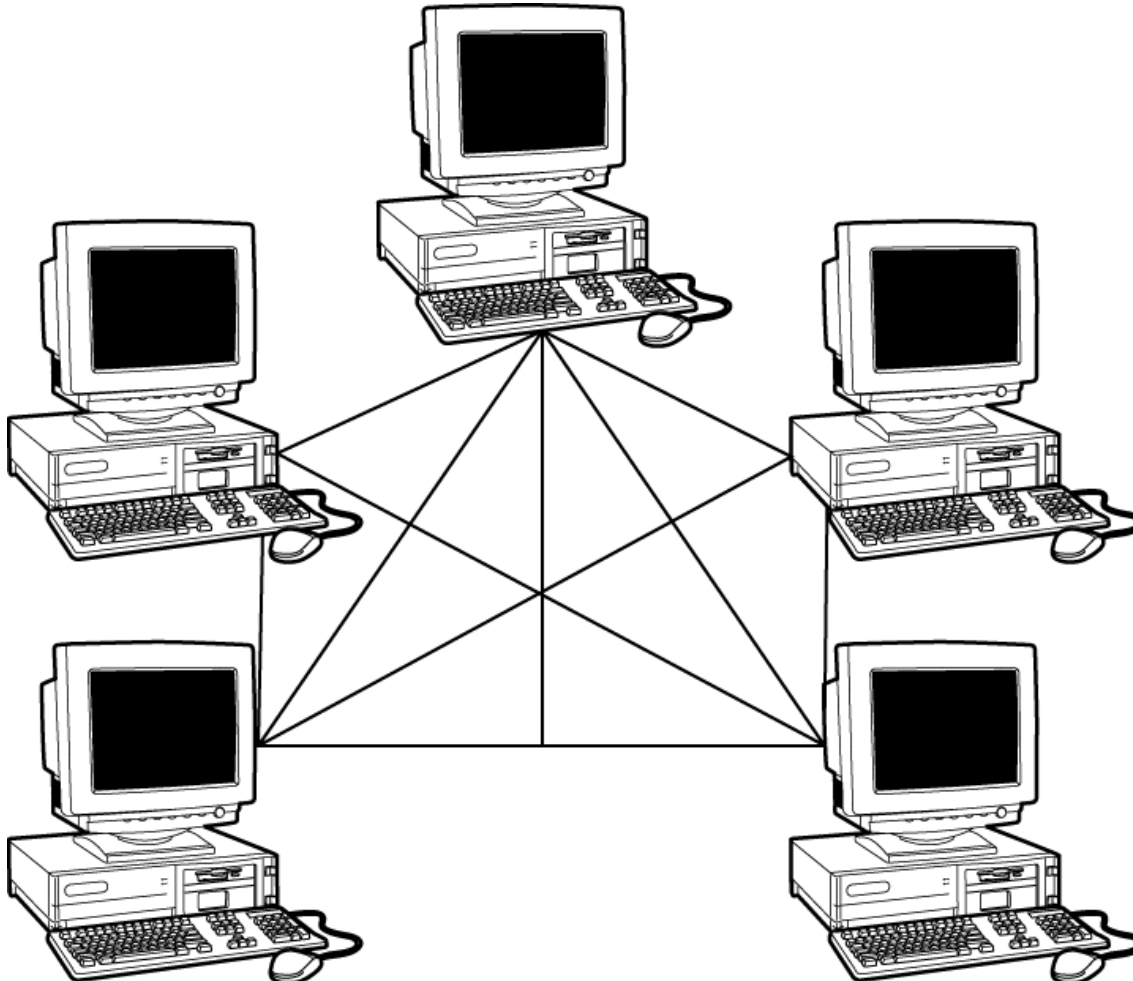
Przykładem sieci pierścieniowej jest sieć Token Ring.

Aby umieścić dane w sieci, klient musi posiadać żeton (token) dostępu do sieci. Żeton jest przekazywany kolejnym klientom w logicznym pierścieniu. W sieci jest dostępny tylko jeden żeton i tylko jeden klient może z niego skorzystać w danej chwili.



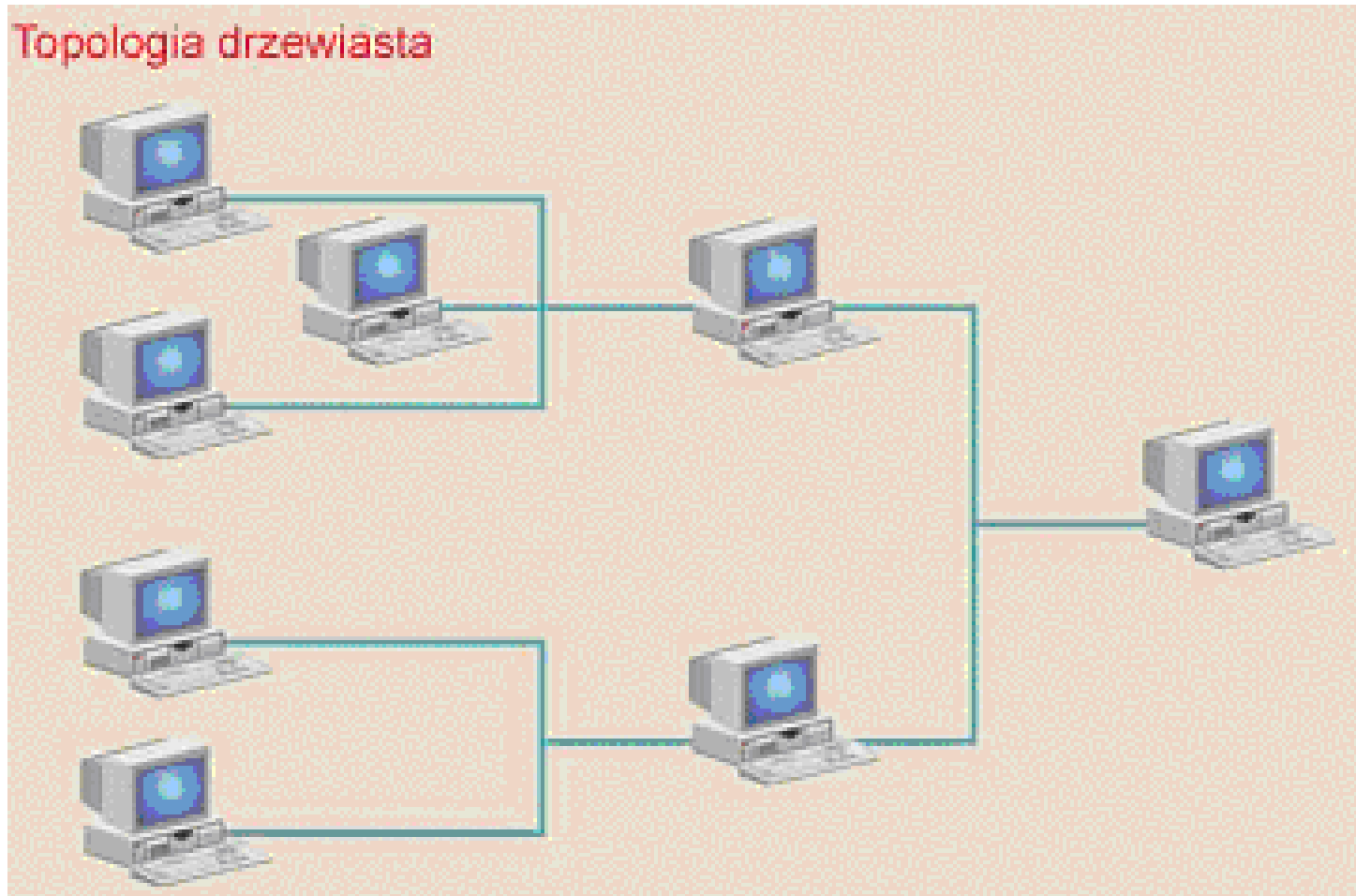
Topologia oczkowa (mesh)

Jest to sieć najbardziej odporna na uszkodzenia. Stosowana jest w bardzo małych sieciach ze względu na wymagania sprzętowe.



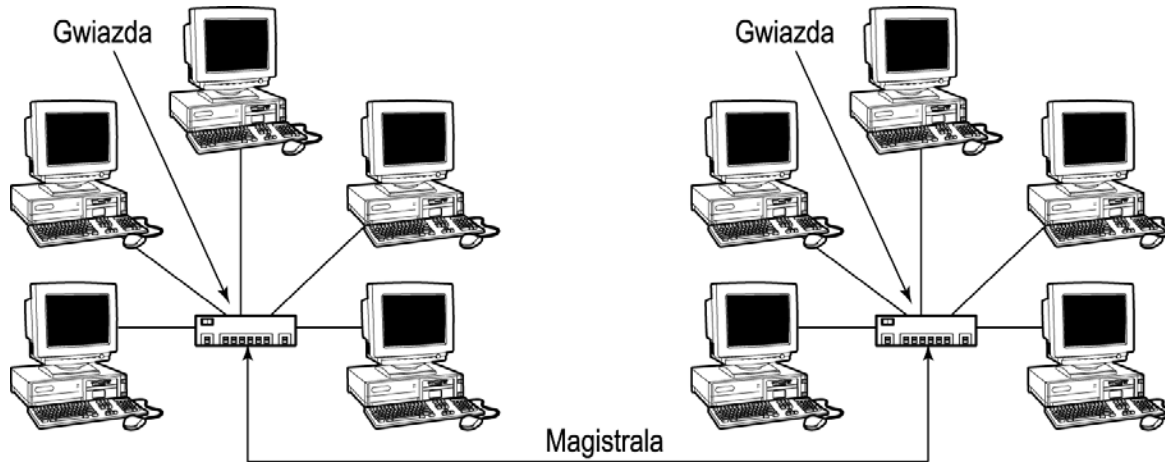
Topologia drzewiasta (tree)

Jest podobna do topologii magistralnej, z tą różnicą, że są tu możliwe gałęzie z wieloma węzłami.

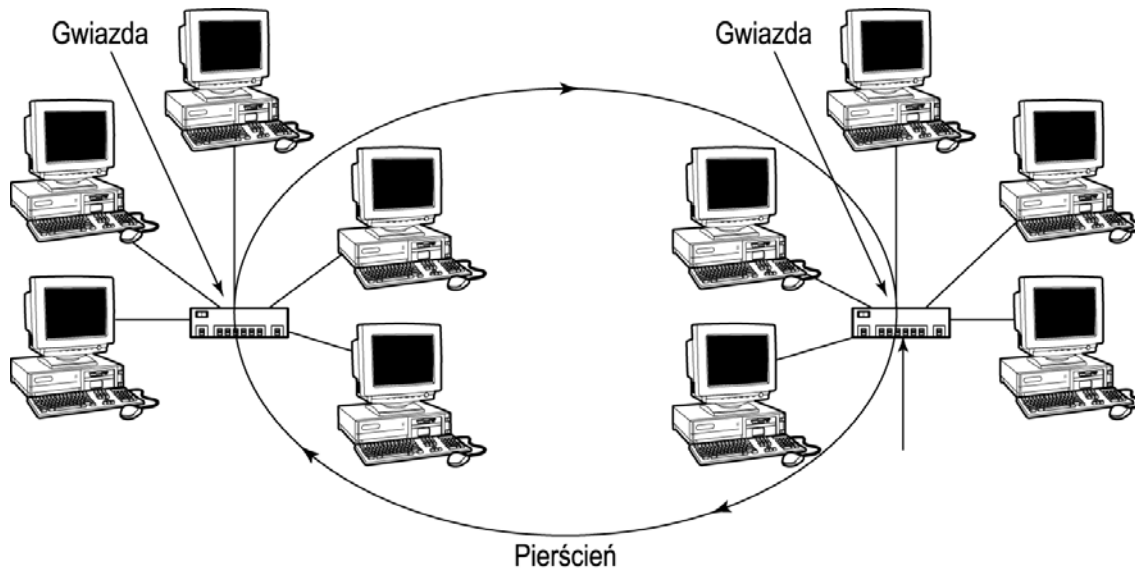


Topologie hybrydowe

Gwiazda - magistrala



Gwiazda - pierścień



Model OSI

Model OSI (*Open Systems Interconnection*) opisuje sposób przepływu informacji między aplikacjami software'owymi w jednej stacji sieciowej a software'owymi aplikacjami w innej stacji sieciowej przy użyciu medium transmisyjnego.

Model OSI jest ogólnym modelem koncepcyjnym nie określa szczegółowych metod komunikacji.

Model dzieli zadanie przesyłania informacji między stacjami sieciowymi na siedem mniejszych zadań składających się na poszczególne warstwy. Zadanie przypisane każdej warstwie ma charakter autonomiczny i może być interpretowane niezależnie.

Mechanizmy rzeczywistej komunikacji są określone w formie protokołów komunikacyjnych.

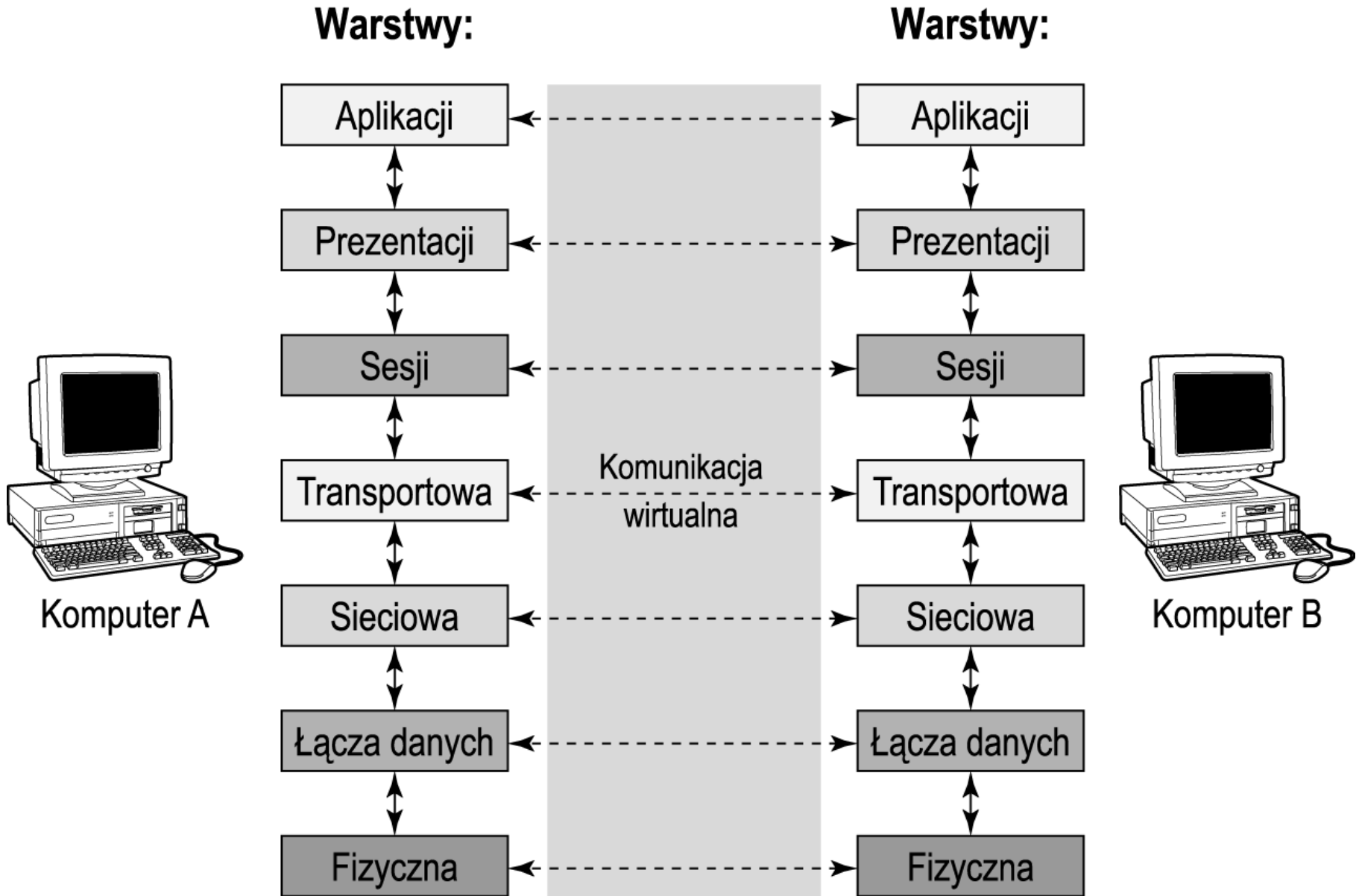
Model OSI

Model OSI zbudowany jest z 7 warstw.

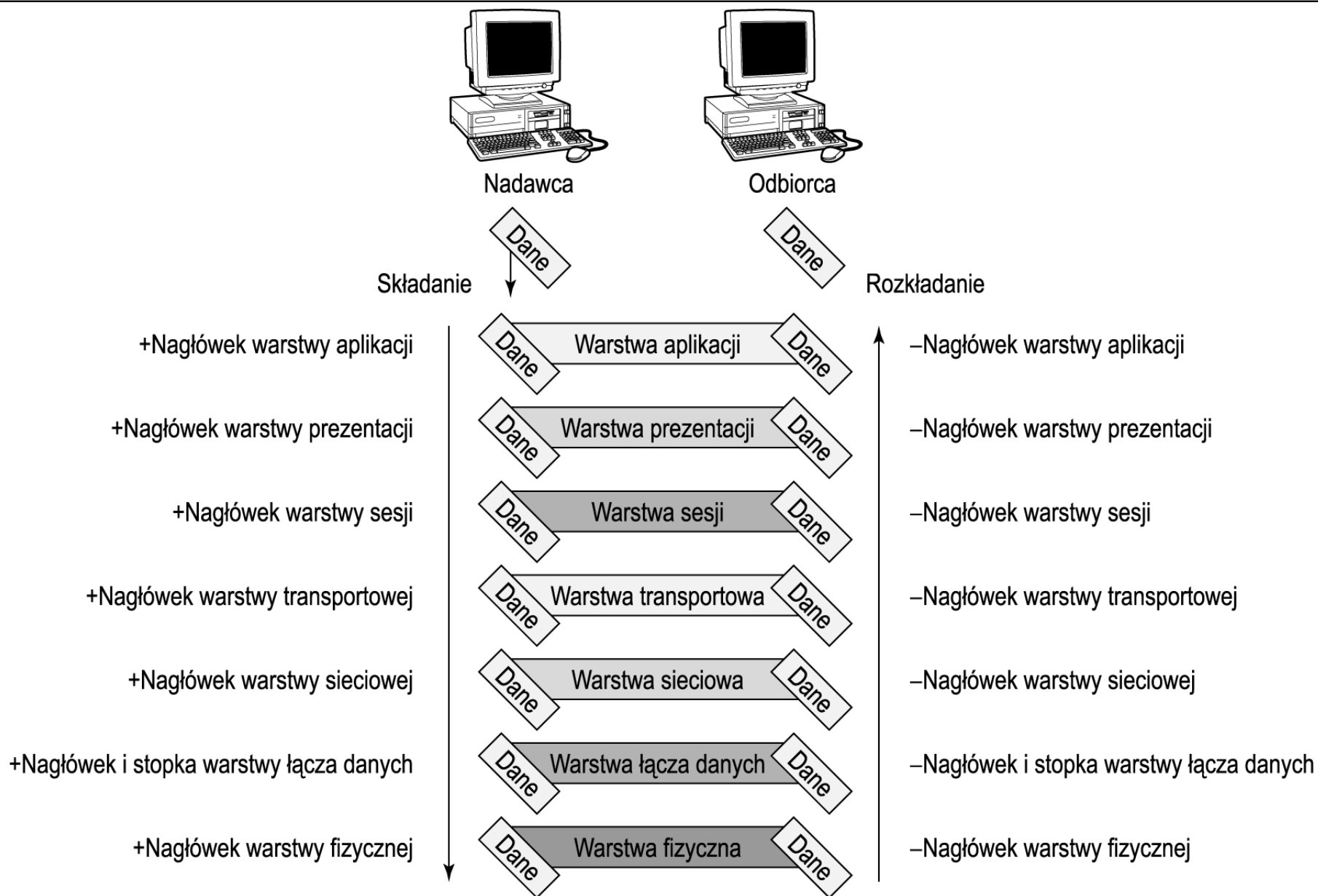
Każda z 7 warstw modelu OSI dodaje do pakietu danych informacje, niezmieniając samego pakietu. Dane dodane do pakietu noszą nazwę **nagłówek**.

W nagłówku umieszczone są informacje opisujące formatowanie danych.

Model OSI



Model OSI – przepływ danych



Model OSI – warstwa aplikacji (7)

Warstwa aplikacji jest odpowiedzialna za interakcję z aplikacją użytkownika. Przyjmuje ona dane od programu i świadczy usługę aplikacji sieciowej.

Jest bramą, przez którą procesy aplikacji dostają się do usług sieciowych. Ta warstwa prezentuje usługi, które są realizowane przez aplikacje.

Tylko warstwa aplikacji komunikuje się bezpośrednio z oprogramowaniem użytkownika.

Przykład

Wysyłanie e-mail, warstwa aplikacji daje dostęp do usługi SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)

Przesyłanie pliku np. za pomocą FTP (File Transfer Protocol)

Model OSI – warstwa prezentacji (6)

Warstwa prezentacji przyjmuje dane od warstwy aplikacji. Jej podstawowym zadaniem jest konwersja danych.

Odpowiada za format używany do wymiany danych pomiędzy komputerami w sieci. Na przykład kodowanie i dekodowanie danych odbywa się w tej warstwie. Większość protokołów sieciowych nie zawiera tej warstwy.

Udostępnia konwersje zestawu znaków, zarządza szyfrowaniem danych i kompresją danych.

Model OSI – warstwa sesji (5)

Warstwa sesji pozwala na łączność pomiędzy identycznymi aplikacjami działającymi w dwóch różnych klientach. Osiąga się ją przez ustanowienie wirtualnego połączenia opartego na nazwie użytkownika, nazwie komputera lub poświadczeniach sieciowych klienta. Warstwa sesji zarządza tym połączeniem ustawiając punkty kontrolne (checkpoint) w odbieranych danych. Punkt kontrolny informuje aplikacje, które dane zostały odebrane. W przypadku zerwania połączenia warstwa sesji analizuje punkty kontrolne i rozpoczyna transfer od ostatniego punktu kontrolnego.

Pozwala aplikacjom z różnych komputerów nawiązywać, wykorzystywać i kończyć połączenie (zwane sesją). Warstwa ta tłumaczy nazwy systemów na właściwe adresy (na przykład na adresy IP w sieci TCP/IP).

Model OSI – warstwa transportowa (4)

Warstwa transportowa jest odpowiedzialna za sprawdzanie poprawności i kontrolę przepływu danych.

Na poziomie tej warstwy wykorzystywane są dwa protokoły:

➤ **TCP (Transmission Control Protocol)**

➤ **UDP (User Datagram Protocol)**

Jeśli wykorzystywany jest protokół TCP dostępny jest dodatkowy poziom połączenia, który wynika z trójkierunkowego potwierdzenia i zapewnia dostarczenie pakietu wykorzystując pakiety potwierdzające.

Model OSI – warstwa transportowa (4)

Kontrola przepływu realizowana jest w oparciu o rozmiar okna TCP/IP.

Rozmiar okna określa ile danych nadawca wyśle do odbiorcy bez odbierania pakietu potwierdzającego.

Typowy rozmiar okna wynosi 4096 bajtów.

Po otrzymaniu danych przez odbiorcę wysłane zostaje potwierdzenie do nadawcy. Gdy potwierdzenie nie zostanie wysłane możliwa jest retransmisja danych.

Model OSI – warstwa sieciowa (3)

Warstwa sieciowa jest odpowiedzialna za adresowanie i trasowanie w sieci.

Kojarzy logiczne adresy sieciowe i ma możliwość zamiany adresów logicznych na fizyczne. U nadawcy warstwa sieciowa zamienia duże pakiety logiczne w małe fizyczne ramki danych, zaś u odbiorcy składa ramki danych w pierwotną logiczną strukturę danych.

Model OSI – warstwa łączy danych (2)

Warstwa łączy danych podzielona jest na dwie podwarstwy:

- **kontroli łączy logicznego (Logical Link Control)**
- **kontroli dostępu do nośnika (MAC – Media Access Control)**

Zajmuje się pakietami logicznymi (lub ramkami) danych. Pakuje nieprzetworzone bity danych z warstwy fizycznej w ramki, których format zależy od typu sieci: Ethernet lub Token Ring. Ramki używane przez tę warstwę zawierają fizyczne adresy nadawcy i odbiorcy danych.

Model OSI – warstwa łączy danych (2)

Podwarstwa łączy logicznego jest odpowiedzialna za dołączanie nagłówka i stopki.

Warstwa ta dodaje jako jedyną stopkę, w której umieszczane są dane **cyklicznej kontroli nadmiarowej** (CRC – cyclical redundancy check).

CRC oblicza parzystość danych.

Po otrzymaniu danych wykonywana jest operacja CRC a jej wynik porównywany jest z CRC nadawcy.

Model OSI – warstwa łączy danych (2)

Podwarstwa kontroli dostępu do nośnika (MAC) umieszcza adres fizyczny karty interfejsu sieciowego w nagłówku, który zostaje dodany do pakietu danych.

Adres MAC jest unikatową, 12-pozycyjną liczbą szesnastkową. Jest on zapisany w każdej karcie interfejsu sieciowego.

Adres MAC ma długość 48 bitów. Składa się z dwóch podstawowych części: w pierwszej z nich zapisany jest kod producenta karty sieciowej, przydzielany przez IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), a w drugiej - unikatowy adres karty sieciowej tego producenta.

Przykład

00-80-C7-4D-B8-26

Model OSI – warstwa fizyczna (1)

Warstwa fizyczna nazywana jest również **warstwą sprzętową**.

Przesyła nieprzetworzone bity danych przez fizyczny nośnik (kabel sieciowy lub fale elektromagnetyczne w przypadku sieci radiowych). Ta warstwa przenosi dane generowane przez wszystkie wyższe poziomy, przy czym warstwy 1 do 4 są to tzw. warstwy niższe (transport danych) zaś warstwy 5 do 7 to warstwy wyższe (aplikacje).

Infrastruktura sieciowa

Regeneratory

Wszystkie topologie sieciowe mają ograniczenia odległości. Niektóre z nich używają technologii 10bT o ograniczeniu do 100 metrów, inne 10bF (światłowodów) o teoretycznym ograniczeniu do 2000 metrów.

Ograniczenie odległości często utrudnia działanie sieci. Sposobem na rozwiązanie problemu może być zastosowanie *regeneratora* (ang. *repeater*), funkcjonującego w **warstwie fizycznej modelu OSI**. Regenerator służy do wzmocnienia sygnału, gdyż jego osłabienie na skutek tłumienia przewodu może spowodować uszkodzenie danych i utratę pakietów. Regenerator wzmacnia jedynie elektrycznie sygnał w przewodzie. Niepisana reguła mówi, by umieszczać regeneratory 15 metrów przed punktem oddalonym na maksymalną odległość dla danej topologii. Jeśli sieć zbudowana jest na podstawie 10b2, regenerator powinien zostać umieszczony w okolicy 170 metra przewodu.

Infrastruktura sieciowa

Karta interfejsu sieciowego

Karta interfejsu sieciowego (NIC — *Network Interface Card*) funkcjonuje zarówno w warstwie fizycznej, jak i w warstwie łącza danych modelu OSI. NIC używa adresu sprzętowego MAC z warstwy łącza danych oraz topologii warstwy fizycznej.

Infrastruktura sieciowa

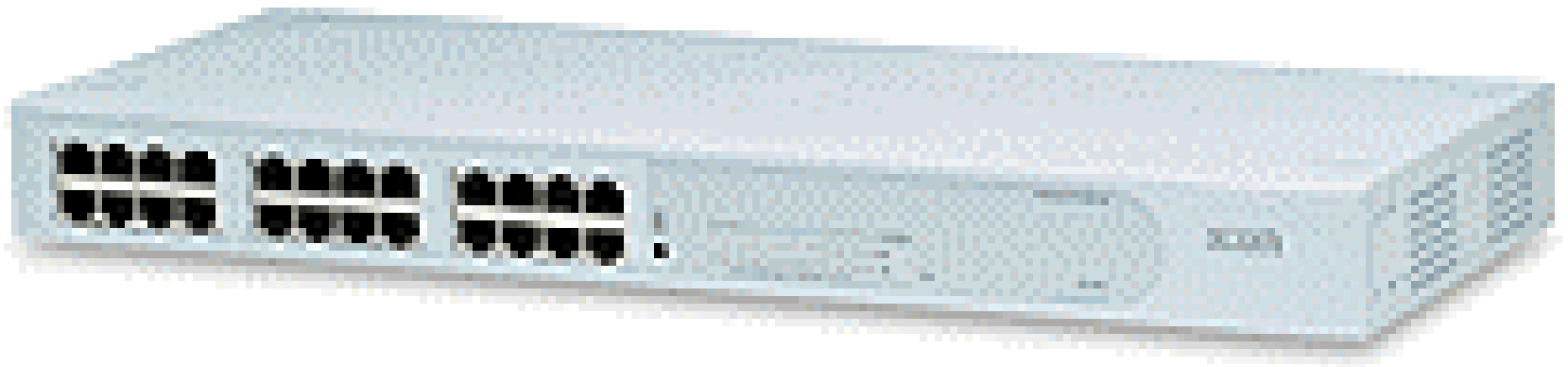
Koncentrator (hub)

W sieci gwiazdzystej koncentrator jest centralnym miejscem podłączenia wszystkich klientów. Koncentrator działa w warstwie łącza danych modelu OSI i „interesują” go jedynie adresy MAC. Koncentrator nie służy do tworzenia dodatkowych segmentów sieci; służy jedynie jako miejsce podłączenia.

Sieć możemy rozbudować, łącząc koncentratory kablem skrzyżowanym. Przy łączeniu koncentratorów często stosowane są regeneratory, aby zwiększyć odległość pomiędzy koncentratorami. Przepustowość koncentratora liczona jest w sposób zbiorowy. Jeśli przepustowość znamionowa koncentratora wynosi 100 Mb/s, oznacza to sumę wszystkich równoczesnych przesyłów danych przez koncentrator.

Infrastruktura sieciowa

Koncentrator (hub)



3com Baseline Dual Speed Hub 24-port

Infrastruktura sieciowa

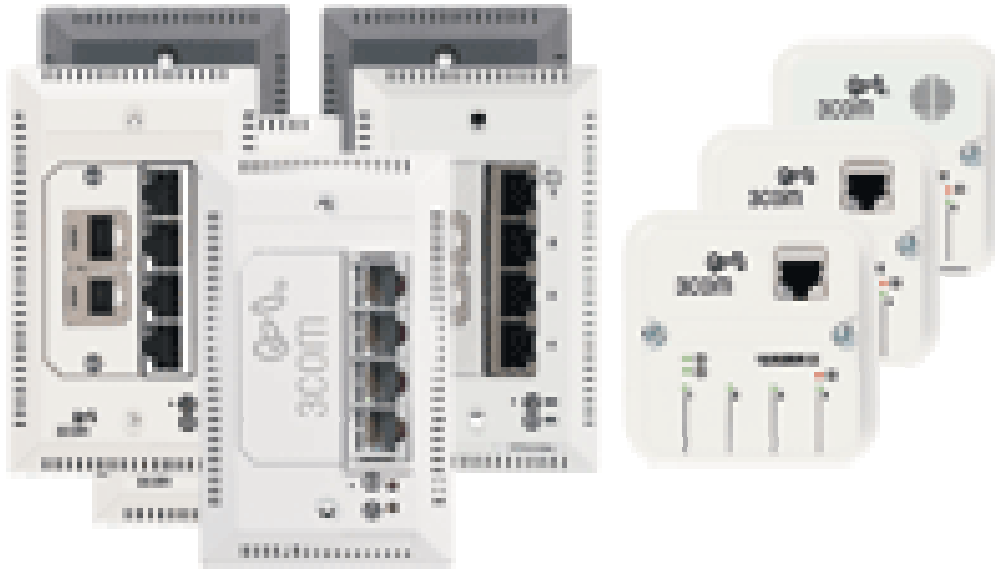
Przełącznik (switch)

Przełącznik również jest obecny w warstwie łącza danych i przypomina koncentrator, gdyż łączy ze sobą klienty w punkcie centralnym. Funkcjonowanie przełącznika opiera się na adresach MAC, jednakże przełącznik używa tych adresów do segmentacji sieci. Utworzone za pomocą przełącznika segmenty noszą nazwę *wirtualnych sieci lokalnych* (ang. *Virtual LAN*). Oprócz zdolności do wirtualnej segmentacji sieci, przełącznik udostępnia maksymalną przepustowość na każdym porcie.

Jeśli przepustowość znamionowa przełącznika wynosi 100 Mb/s, każdy klient może potencjalnie komunikować się z szybkością 100 Mb/s. Koncentrator i dobry przełącznik różnią się przede wszystkim ceną.

Infrastruktura sieciowa

Przełącznik (switch)



3Com® Network Jack and IntelliJack™ Switch Family

Infrastruktura sieciowa

Most (bridge)

Most sieciowy (ang. *bridge*) funkcjonuje podobnie do mostu łączącego dwa odrębne obszary lądowe. Most sieciowy po prostu łączy różne typy sieci i funkcjonuje w warstwie łącza danych modelu OSI, służąc do translacji topologii.

Mostu można też użyć do ograniczenia propagacji *ruchu sieciowego rozgłoszeń*. Są to transmisje sieciowe wysyłane do wszystkich klientów w sieci, które są wrogim numer jeden każdego administratora sieciowego.

Most nie analizuje adresów sieciowych i nie zajmuje się nimi. Uznaje się, iż odczytanie adresu sieciowego przekracza możliwości mostu. Most „przeszkolony” w zakresie adresów sieciowych zostaje routerem.

Infrastruktura sieciowa

Router

Router (ang. *router*), który funkcjonuje w warstwie sieciowej, kieruje ruchem sieciowym wszystkich klientów. Ponieważ router zna położenie innych sieci, może skierować ruch sieciowy do odpowiedniej lokalizacji.

Każdy segment sieci musi być w stanie komunikować się z innymi segmentami, co jest możliwe dzięki użyciu routera. Router kieruje ruchem, lecz nie dokonuje translacji. Jego zakres działania ograniczony jest do warstwy 3. Routery nie zajmują się adresami sprzętowymi MAC klientów — to należy do urządzeń z warstwy 2.

Infrastruktura sieciowa

Router



3Com® Router 5000 Family

Infrastruktura sieciowa

Brama

Brama sieciowa (ang. *network gateway*) nie spełnia tej samej funkcji, co brama domyślna (ang. *default gateway*). Adres bramy domyślnej oznacza adres routera. Brama sieciowa służy do tłumaczenia protokołów i może też posłużyć do tłumaczenia adresów pomiędzy różnymi protokołami.

Bramy mogą pracować we wszystkich siedmiu warstwach, lecz najczęściej spotyka się bramy funkcjonujące w warstwie 4. i wyższych. W tych warstwach brama sieciowa może przyjmować dane od klientów używających TCP/IP oraz IPX/SPX (używany przez Novell protokół *Internet Packet Exchange/Sequence Packet Exchange*) i tłumaczyć te protokoły tak, by klienci mogły się ze sobą komunikować.

Składniki okablowania

W transmisji danych stosowane są dwa rodzaje mediów:

a) media przewodowe:

- przewody metalowe (najczęściej miedziane);
- światłowodowe;

b) media bezprzewodowe (termin ten odnosi się do metod przesyłania sygnałów w powietrzu lub przestrzeni kosmicznej):

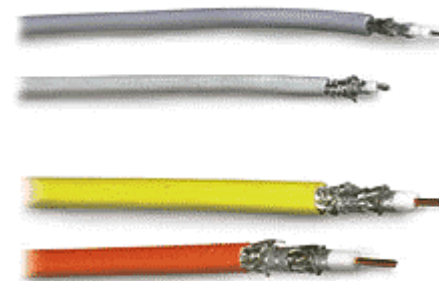
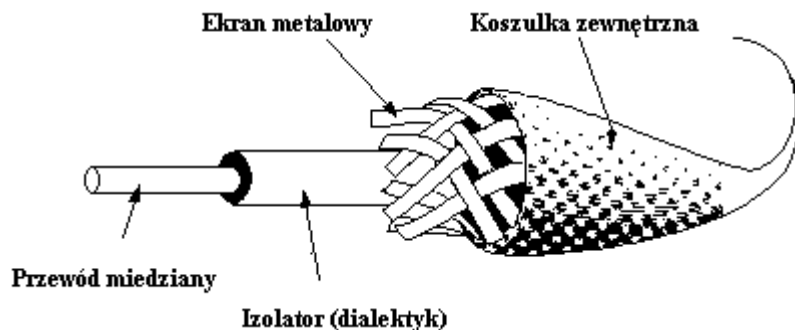
- transmisja w podczerwieni;
- mikrofale;
- fale o częstotliwościach radiowych;

W większości instalacji sieciowych stosuje się kable miedziane.

Kable koncentryczne

Wyróżniamy trzy typy sieciowych kabli koncentrycznych:

- Ethernet cienki o impedancji falowej 50 omów i grubości 1/4", powszechnie stosowany w małych sieciach lokalnych (max. odległość między końcami sieci 185m).
- Ethernet gruby o impedancji falowej 50 omów i grubości 1/2", praktycznie wyszedł z użycia, czasem stosowany jako rdzeń sieci (max. odległość między końcami sieci do 500m).
- Arcnet o impedancji falowej 93 omy i grubości 1/3" (max. odległość między końcami sieci do 300m).



Kable koncentryczne

Topologie sieci w warstwie fizycznej

- **10 Base 2** przewód koncentryczny (RG58 A/U) o maksymalnej długości segmentu 185m. Szybkość transmisji 10 Mb/s. Metoda CSMA/CD.
- **10 Base 5** przewód koncentryczny o maksymalnej długości segmentu 500m, Szybkość transmisji 10 Mb/s. Metoda CSMA/CD.
- **10 Broad 36** przewód koncentryczny (RG59/A/U/CATV) o maksymalnej długości segmentu 3600 m. Wykorzystywany do transmisji szerokopasmowej. Szybkość transmisji 10 Mb/s. Metoda CSMA/CD.

Kable koncentryczne

Zalety kabla koncentrycznego:

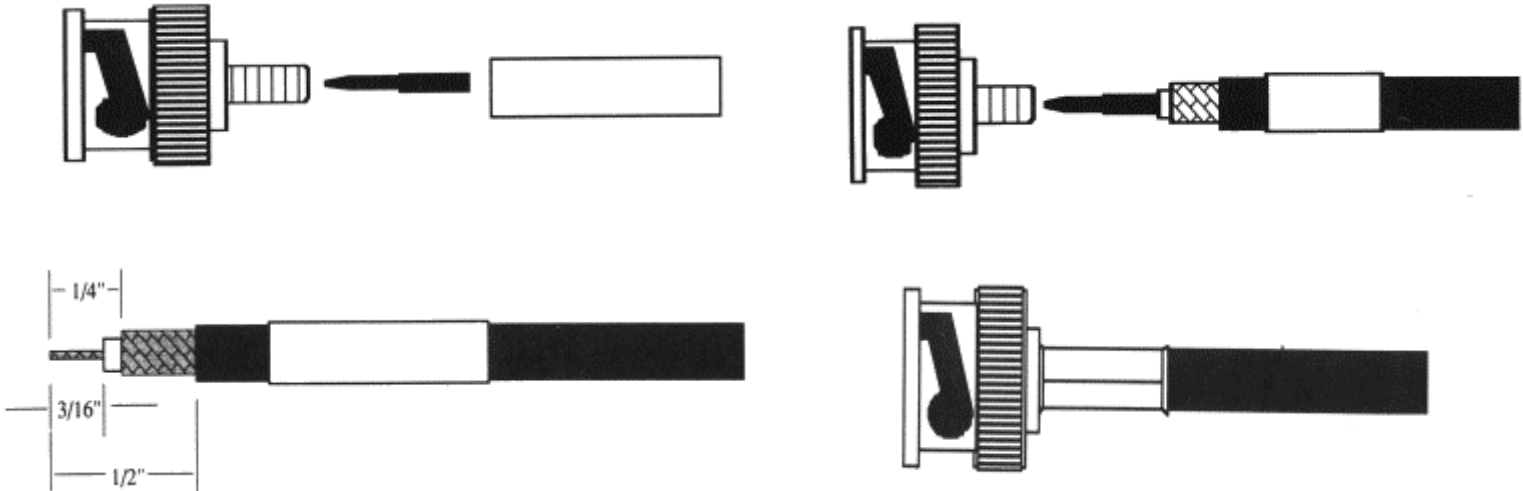
- jest mało wrażliwy na zakłócenia i szumy
- nadaje się do sieci z przesyłaniem modulowanym (szerokopasmowym)
- zapewnia większe prędkości niż nie ekranowany kabel skręcany
- jest tańszy niż ekranowany kabel skręcany

Wady kabla koncentrycznego:

- łatwo ulega uszkodzeniom
- możliwość zastosowania danego typu kabla ogranicza impedancja falowa
- różne typy kabla koncentrycznego wymagane przez różne sieci lokalne
- trudny w wykorzystaniu
- trudności przy lokalizowaniu usterki

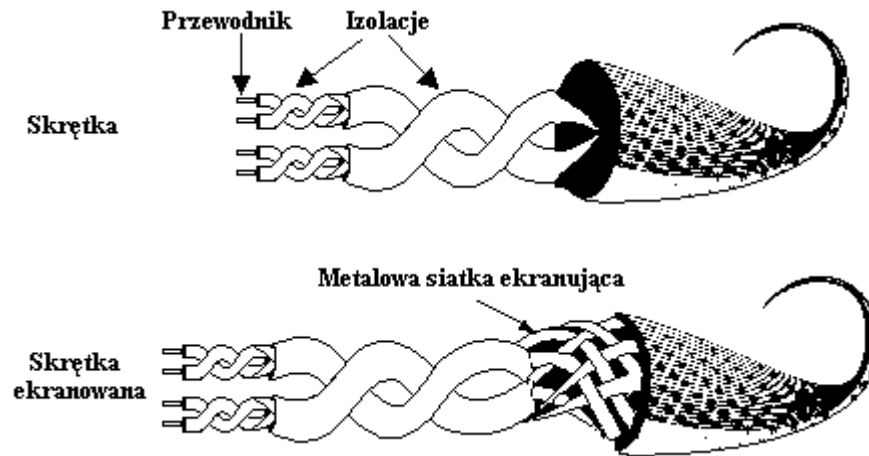
Kable koncentryczne

Instalacja złącznika BNC na kablu



Skrętka

Najpopularniejszym i najtańszym środkiem transmisji jest nie ekranowany kabel skręcany (UTP). Składa się z jednej lub więcej par przewodów miedzianego otoczonych wspólną osłoną izolacyjną.



Skrętka

Obecnie najpowszechniej stosowana jest skrętka nieekranowa (UTP). Specyfikacja kabla tego typu zawarta jest w standardzie EIA/TIA 568. Wyróżniamy 5 kategorii:

- kategoria 1 – tradycyjna, nie ekranowa skrętka telefoniczna, odpowiednia do przesyłania głosu, ale nieprzystosowana do transmisji danych
- kategoria 2 – nie ekranowa skrętka, odpowiednia do przesyłania danych z prędkościami nie przekraczającymi 4Mbit/s. Kabel ten jest zbudowany z 2 par skręconych przewodów
- kategoria 3 – kable te pozwalają na transmisje rzędu 10Mbit/s. Zbudowane są z 4 par skręconych przewodów
- kategoria 4 – maksymalna szybkość transmisji do 16 Mbit/s. Kabel zbudowany jest z 4 par przewodów.
- kategoria 5 – w ramach tej kategorii zdefiniowano miedzianą skrętkę o rezystancji 100 omów, pozwalającą – pod warunkiem poprawnego zainstalowania – na przesyłania danych z szybkością 100Mbit/s. Charakteryzuje się małą pojemnością i niskim poziomem przesłuchów.

Skrętka

Skrętka nie ekranowa (UTP- Unshielded Twisted Pair). Powszechnie stosowana w sieci telefonicznej. Skrętka ta wykonana jest ze skręconych, nie ekranowych przewodów. Przy przesyłaniu sygnałów cyfrowych za pomocą skrętki UTP uzyskuje się przepływności do 100Mb/s (kategoria 5) lub 1000Mb/s (technologia Giga Ethernet).

Skrętka ekranowa (STP- Shielded Twisted Pair) zabezpieczona jest przed przesłuchami z zewnątrz – posiada ekran wykonany w postaci opłotu i zewnętrznej koszulki ochronnej.

Skrętka foliowana (FTP- Foiled Twisted Pair) – jest skrętką ekranową za pomocą folii, z przewodem uziemiającym i przeznaczonym głównie do budowy sieci np. Ethernet lub Token Ring.

Skręcenie kabli zapobiega problemom związanym z interferencją. Przewody muszą być zawsze skręcone aż do samych punktów końcowych.

Skrętka

Topologie sieci w warstwie fizycznej

10 Base T	skrętka o długości segmentu 100m. Wyróżniamy skrętki UTP, STP, ScTP. Szybkość transmisji 10 Mb/s. Metoda CSMA/CD.
100Base X	skrętka o maksymalnej długości segmentu 100m. Szybkość transmisji 100 Mb/s. Metoda CSMA/CD.
100VG-AnyLAN	skrętka o maksymalnej długości 50m. Szybkość transmisji 100 Mb/s. Metoda dostępu z priorytetem na żądanie. Standard 802.12.

Skrętka

Zalety:

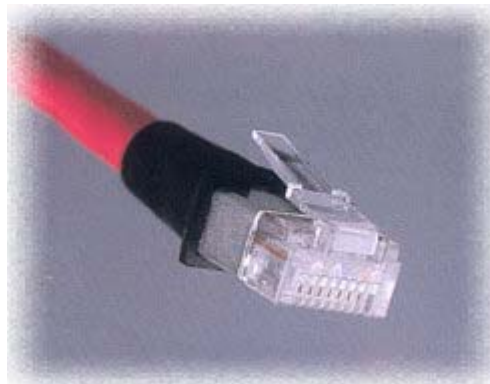
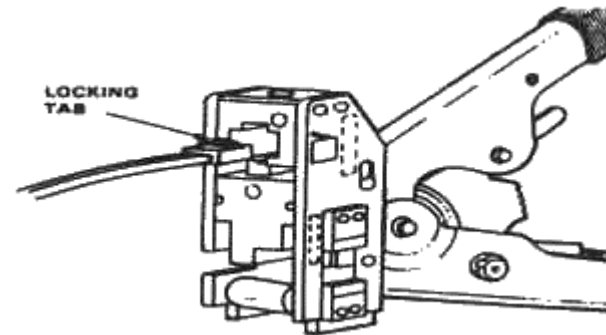
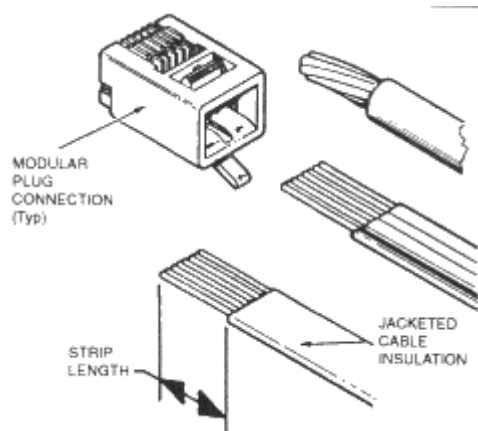
- jest najtańszym medium transmisji;
- jest akceptowany przez wiele rodzajów sieci;
- łatwa instalacja (standardowo instalowany w nowych budynkach).

Wady:

- niska prędkość transmisji;
- ograniczona długość odcinków kabla z uwagi na małą odporność na zakłócenia.

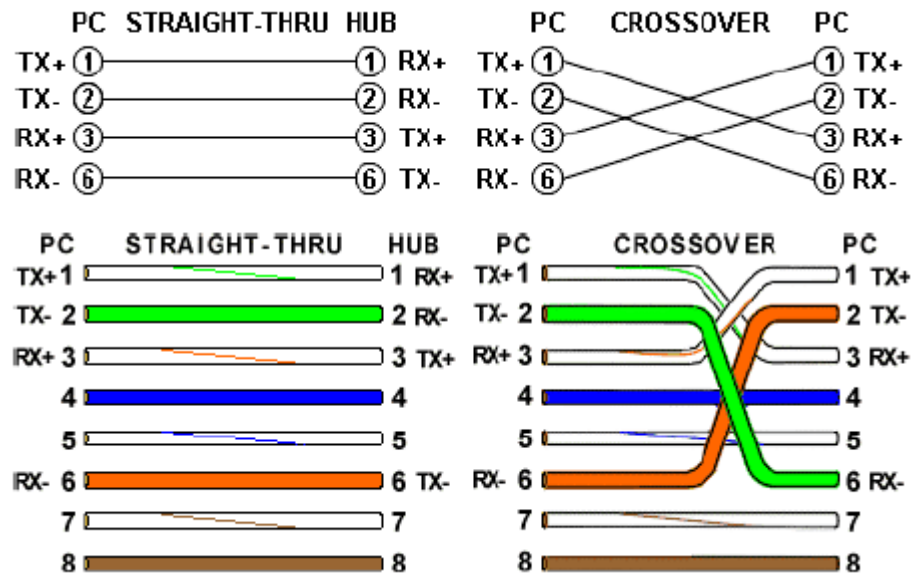
Skrętka

Instalacja złączników modularnych - RJ-45



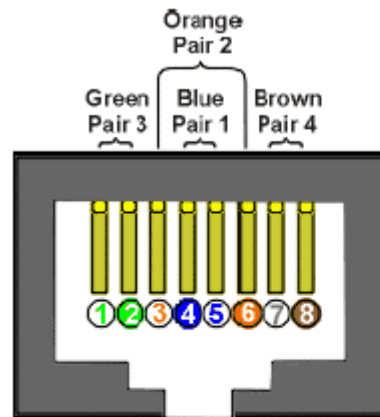
Skrętka

Instalacja złączników modularnych - RJ-45

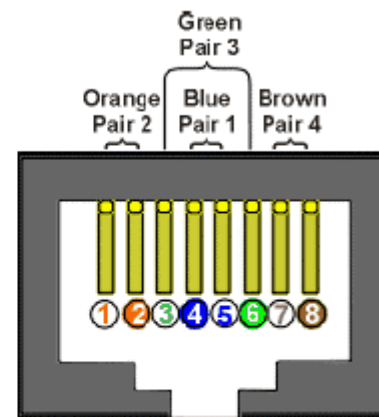


Skrętka

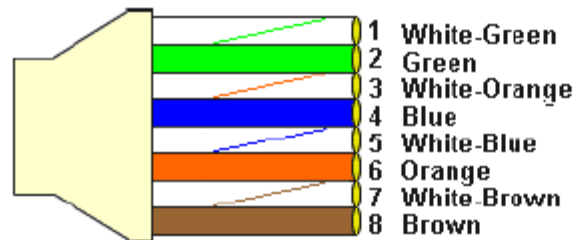
Instalacja złączników modularnych - RJ-45



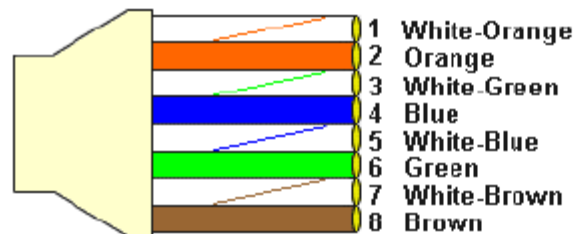
RJ-45 JACK
EIA/TIA 568A STANDARD



RJ-45 JACK
EIA/TIA 568B STANDARD



568A CABLE END

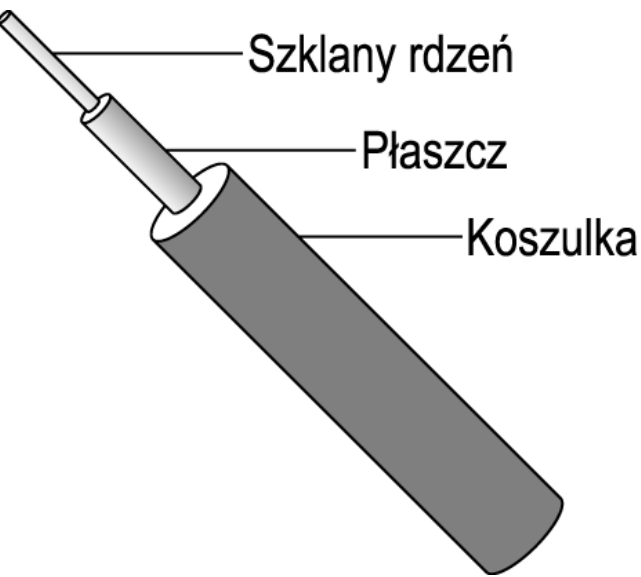


568B CABLE END



Światłowód

.Źródłem światła może być *dioda świecąca LED (Light Emitting Diode)* lub *dioda laserowa*. Impuls świetlny reprezentuje bit „1”, a jego brak — „0”. Detektor na drugim końcu światłowodu (*fotodioda*) odbiera sygnały świetlne i przekształca je z powrotem na sygnały elektryczne.



Kabel światłowodowy posiada rdzeń, z bardzo czystego szkła lub stopionego kwarcu, który może przepuszczać sygnały świetlne. Szkłany płaszcz otaczający rdzeń ma niższą gęstość od centralnego włókna, przez co sygnały świetlne pozostają w włóknie centralnym dzięki zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia. Płaszcz szklany otaczają wzmacniające druty i koszulka zewnętrzna z tworzywa sztucznego. Kable światłowodowe są droższe od elektrycznych, lecz pozwalają na większe przepustowości łączy i połączenia na dłuższe odległości.

Światłowód

Trzy cechy decydują o przewadze kabli światłowodowych nad kablami elektrycznymi:

Przepustowość — kable światłowodowe mają wyjątkowo wysoką przepustowość. Ponieważ jest w nich używane światło zamiast sygnałów elektrycznych (a światło przemieszcza się prężej od prądu elektrycznego), objętość danych wysyłanych w jednostce czasu jest o wiele większa niż w przypadku kabli elektrycznych. Obecnie dostępne technologie pozwalają na prędkości transmisji od 100 Mb/s do 2 Gb/s.

Tłumienie — kable światłowodowe mają niższe tłumienie od miedzianych. Segmenty kabla światłowodowego mogą przenosić sygnały na odległości mierzone w kilometrach.

Zakłócenia elektromagnetyczne (EMI) — kable światłowodowe są na EMI całkowicie niewrażliwe. Ponieważ kable te nie emitują sygnałów na zewnątrz, nie występuje zjawisko przesłuchu. Ponadto światłowodami trudno manipulować, więc są bardzo bezpieczne.

Dziękuję za uwagę!!!