



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Sieci komputerowe

Ethernet

dr inż. Andrzej Opaliński
andrzej.opalinski@agh.edu.pl

Plan wykładu

- Historia
- Warstwa łączy danych
- Ramka Ethernet
- Adresowanie
- Transmisja danych
- Budowa sieci
- Rodzaje kodowania
- Standardy
- Podsumowanie



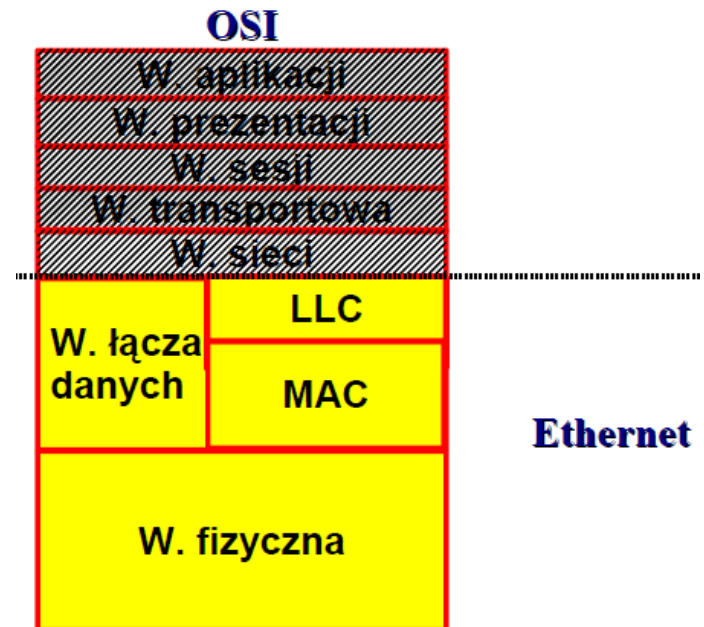
Warstwy łącza danych

- Warstwa łącza danych
 - Protokoły tej warstwy służą do przemieszczania datagramu pojedynczym łączem
 - Definiuje:
 - Format ramek
 - Sposoby nadawania i odbierania ramek
 - Protokoły (Ethernet, WiFi, Token Ring, PPP)

- Podwarstwy łącza danych
 - LLC – Logical Link Control (802.2)
 - MAC – Media Access Control

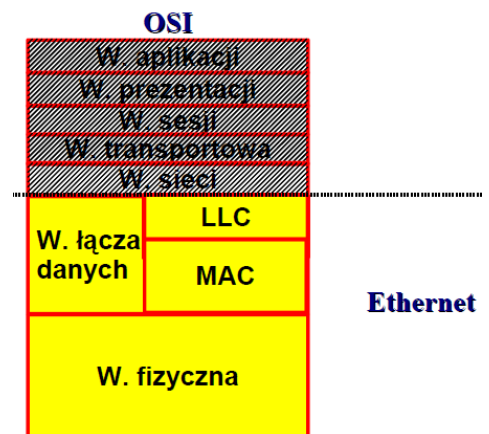
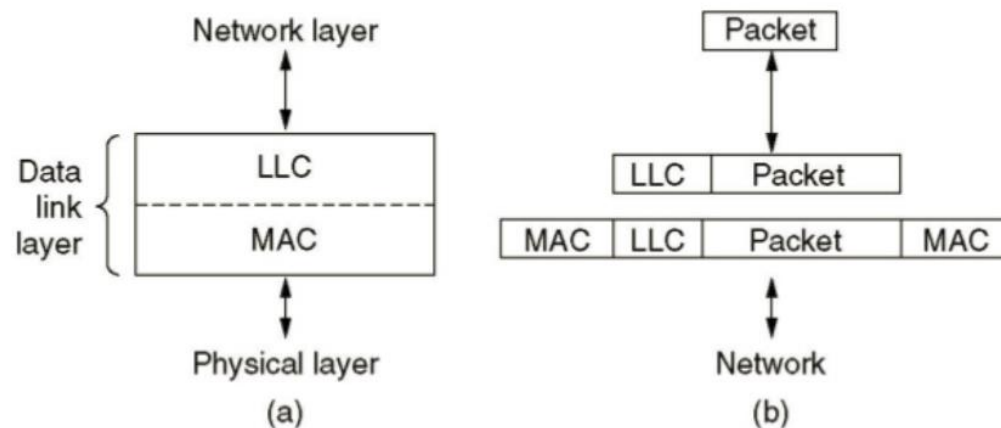
- LLC - Sterowanie łączem danych
 - Współpraca z warstwą sieciową (obsługa usług połączeniowych i bezpołączeniowych)
 - Kontrola **poprawności transmisji**

- MAC – sterowanie dostępem do nośnika
 - Współpraca z warstwą fizyczną
 - Zapewnienie **dostępu do nośnika** sieci lokalnej



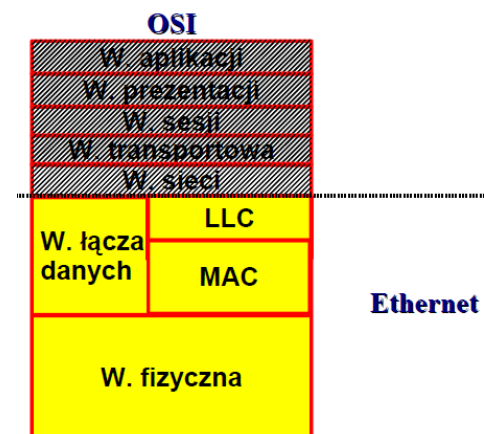
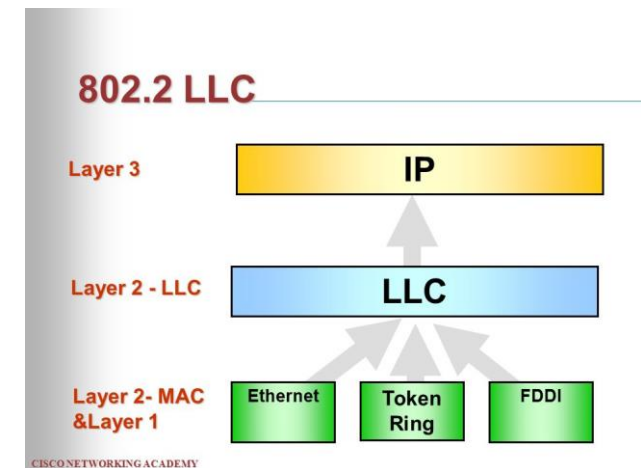
Warstwa MAC

- Stanowi interfejs pomiędzy warstwą fizyczną a warstwą LLC
- **Zależna** od typu protokołu (ethernet, token ring, wi-fi)
- Jest odpowiedzialna za:
 - **Dzielenie pakietów na ramki** i kontrolę poprawności transmisji (rozmiar i format ramki)
 - **Adresację komputerów** w segmencie i przekazywanie informacji adresowych (różne rodzaje adresów dla różnych technologii)
 - **Kontrolę dostępu do medium** transmisji (sygnały sterujące)
 - Symulację kanału działającego w trybie **full-duplex w sieci multi-point** (w przeciwieństwie do point-to-point).



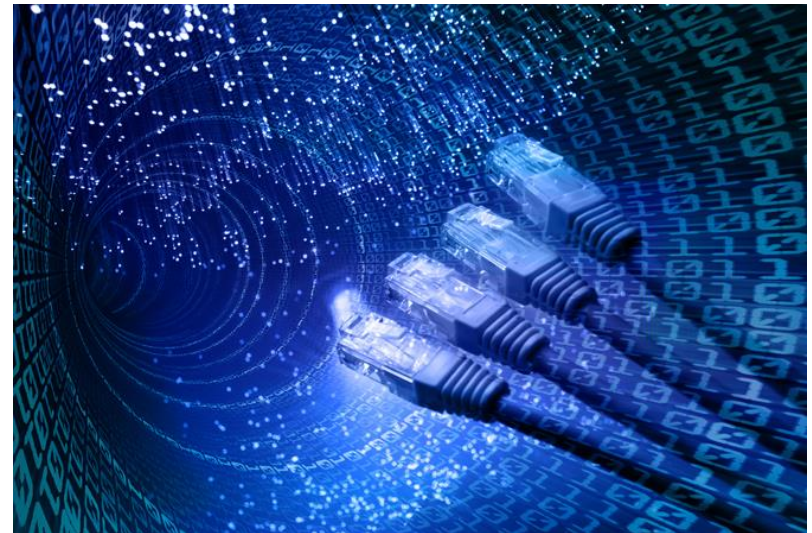
Warstwa LLC

- **Identyczna dla różnych mediów** fizycznych (ethernet, token ring, wi-fi)
- Jest odpowiedzialna za:
 - **Rozdzielanie** (nadawanie) / **łączenie** (odbieranie) **danych** transmitowanych przez podwarstwę MAC
 - **Retransmisje pakietów**
 - Sterowanie przepływem (**przekierowanie do odpowiedniego stosu pakietów warstwy 3**, np. IP/IPX)
 - Detekcję błędów
- Opisuje trzy typy komunikacji
 - unacknowledged connectionless-mode
 - brak potwierżeń dostarczenia ramki,
 - brak kontroli przepływu,
 - dostarcza funkcje służące do inicjacji trasy pomiędzy źródłem a celem.
 - connection-mode
 - logiczne połączenie wykorzystywane do wymiany ramek,
 - Sekwencyjna transmisja,
 - kontrola przepływu oraz korekcji błędów.
 - acknowledged connectionless-mode
 - wymiana danych bez ustanawiania połączenia,
 - potwierdzanie ramek występuje w celu korekcji ewentualnych błędów.



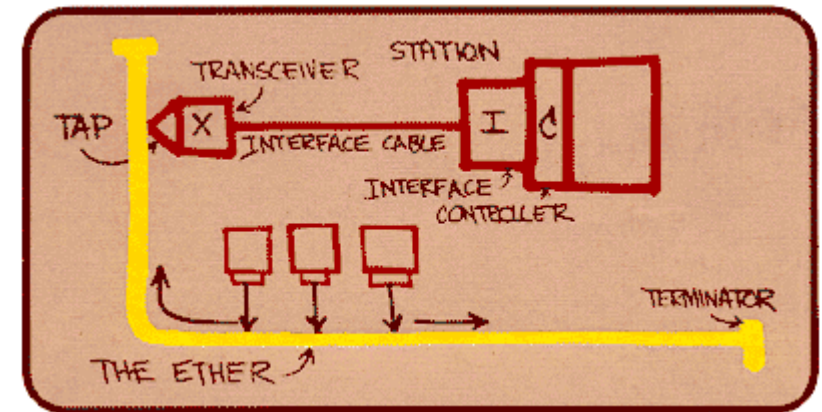
Ethernet - definicja

- Grupa standardów opisujących budowę sieci komputerowych
 - Specyfikacja przewodów
 - Specyfikacja sygnałów
 - Format ramek
 - Protokoły 2 najniższych warstw modelu ISO-OSI
 - Warstwy łącza danych
 - Warstwy fizycznej
- Specyfikacja w standardzie IEEE 802.3



Ethernet - historia

- 1968-1972 – sieć „Aloha”
 - Uniwersytet Hawajski
 - Komunikacja radiowa, wyspy
 - Domniemanie kolizji
- 1972-1977 – prace w firmie Xerox PARC
 - 1976 – pierwszy schemat sieci Ethernet
 - 1976 – artykuł w Communication of the Association for Computing Machinery (CACM):
Bob Metcalfe, David Boggs – „Ethernet Distributed Packet Switching for Local Computer Networks”
 - 1977 – patent nr 4063220 - „Multipoint Data Communication System With Collision Detection”
- 1979 – 1983 – prace konsorcjum DIX (Digital-Intel-Xerox)
 - 1980 – Ethernet v.1.0 (Ethernet Blue Book) (DIX Ethernet)
 - 1982 – specyfikacja Ethernet v.2.0 (DIX v.2.0)



- 1985
 - akceptacja przez stow. IEEE jako standard Ethernet 802.3
 - protokół CSMA/CD
(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)
- 1989
 - Przyjęcie Ethernetu jako standard ISO/IEC/IEEE 8802-3
- Kolejne główne standardy Ethernetu
 - 1985 – 802.3a - 10Base2 (10Mb/s, 200m, koncentryk)
 - 1990 – 802.3i - 10BaseT (10Mb/s, skrętka)
 - 1995 – 802.3u – 100BaseT - FastEthernet + autonegocjacja
 - 1998 – 802.3x - 1000Base-X – Ethernet gigabitowy
 - 1999 – 802.ab - 1000BaseT – 1Gb/s, skrętka kat. 5
 - 2002 – 802.3ae – 10GBase-X (10Gb/s, światłowód)
 - 2004 – 802.3ak – 10GBase-CX4 (skrętka)
 - 2006 – 802.3an – 10GBASE-T (10Gb/s, skrętka kat.6, 6a,7)
 - 2010 – 802.3ba – 40Gb/s, 100Gb/s Ethernet Task Force (klastry blade, obwody drukowane, dwużyłowe koncentryki, światłowody jednomodowe)

HAPPY 40TH ANNIVERSARY ETHERNET!

IEEE 802.3™ ETHERNET STANDARDS MILESTONES

28th December 2012	2012 Revision of Ethernet Std
30th September 2010	Energy-efficient Ethernet
17th June 2010	40Gb/s and 100Gb/s Ethernet
22nd March 2007	Backplane Ethernet
6th April 2005	Ethernet in First Mile
12th June 2003	Power over Ethernet
13th June 2002	10Gb/s Ethernet
30th March 2000	Link Aggregation
25th June 1998	1000Mb/s Ethernet
20th March 1997	Full Duplex Ethernet
14th June 1995	100Mb/s Ethernet
28th September 1990	10BASE-T
10th December 1987	10Mb/s Fiber (FOIRL)
12th December 1985	10Mb/s Repeater
23rd June 1983	10Mb/s Ethernet
1973	Ethernet Invented

For information on the IEEE Ethernet standards that help transform the way people live, work and communicate visit: standards.ieee.org

Typy ramek Ethernet

- IEEE 802.3
- Ethernet
- VLAN – 802.3ac

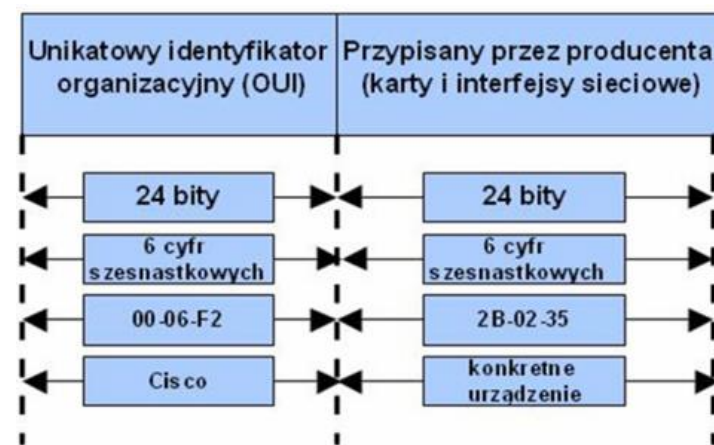
IEEE 802.3						
7	1	6	6	2	48 do 1500	4
Preambula	Początek znacznika ramki	Adres odbiorcy	Adres nadawcy	Długość / Typ	Dane i nagłówek 802.2	Kod kontrolny ramki

Ethernet						
8	6	6	2	48 do 1500	4	
Preambula	Adres odbiorcy	Adres nadawcy	Typ	Dane	Kod kontrolny ramki	

Format ramki Ethernet

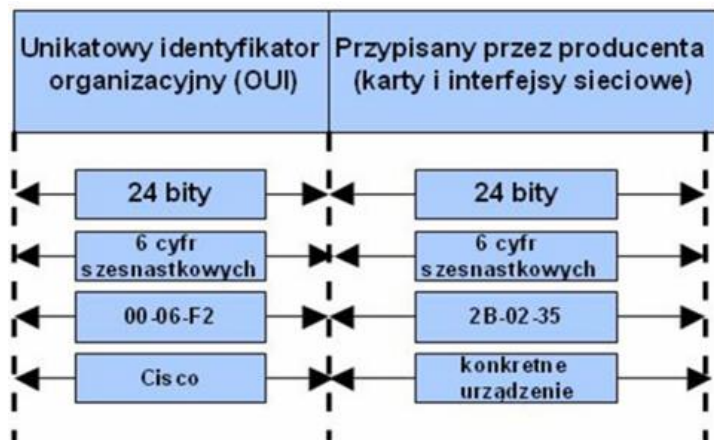
Bajty					
8	6	6	2	46 - 1500	4
Preambuła	Adres odbiorcy	Adres nadawcy	Typ ramki	Dane	Frame Check Sequence

- Preambuła (8 bajtów)
 - 7 pierwszych bajtów - naprzemienne 0 i 1 (synchronizacja)
 - Ostatni bajt - SDF (start frame delimiter) - 10101011
- Adres MAC odbiorcy
- Adres MAC nadawcy
- Długość ramki (<1536) lub typ protokołu (>1536)
 - 0800 IPv4
 - 0806 ARP
 - 8100 IEEE 802.1Q/p VLAN-tagged frames
 - 814C SNMP
 - 880B PPP
- Dane (uzupełniane zerami, jeśli mniej niż 46 bajtów)
- Suma kontrolna (CRC)



Identyfikatory producentów sprzętu

- Pierwsze 3 bajty adresu MAC
- Specyfikacja na stronie <http://standards-oui.ieee.org/oui.txt>

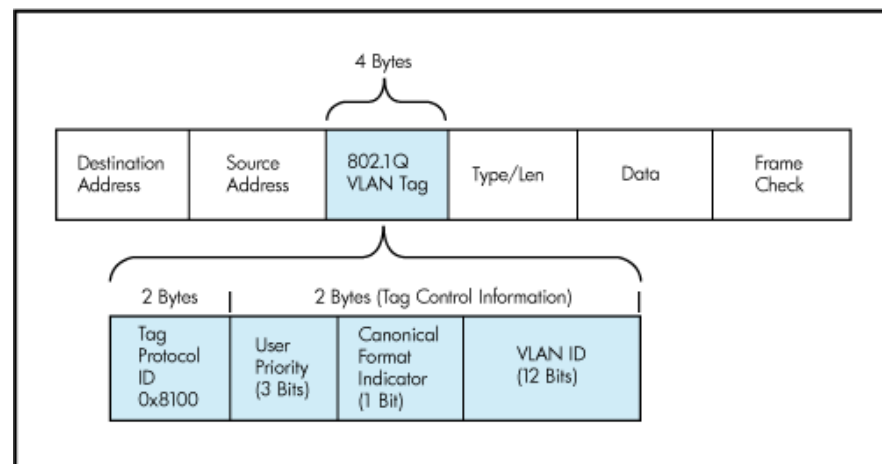


OUI/MA-L company_id	Organization Organization Address
E0-43-DB E043DB (hex) (base 16)	Shenzhen ViewAt Technology Co.,Ltd. Shenzhen ViewAt Technology Co.,Ltd. 9A, Microprofit, 6th Gaoxin South Road, High-Tech Industrial Park, Nanshan, Shenzhen, CHINA. shenzhen guangdong 518057 CN
24-05-F5 2405F5 (hex) (base 16)	Integrated Device Technology (Malaysia) Sdn. Bhd. Integrated Device Technology (Malaysia) Sdn. Bhd. Phase 3, Bayan Lepas FIZ Bayan Lepas Penang 11900 MY
2C-30-33 2C3033 (hex) (base 16)	NETGEAR NETGEAR 350 East Plumeria Drive San Jose null 95134 US
3C-D9-2B 3CD92B (hex) (base 16)	Hewlett Packard Hewlett Packard 11445 Compaq Center Drive Houston 77070 US
9C-8E-99 9C8E99 (hex) (base 16)	Hewlett Packard Hewlett Packard 11445 Compaq Center Drive Houston 77070 US
B4-99-BA B499BA (hex) (base 16)	Hewlett Packard Hewlett Packard 11445 Compaq Center Drive Houston 77070 US
1C-C1-DE 1CC1DE (hex) (base 16)	Hewlett Packard Hewlett Packard 11445 Compaq Center Drive Houston 77070 US

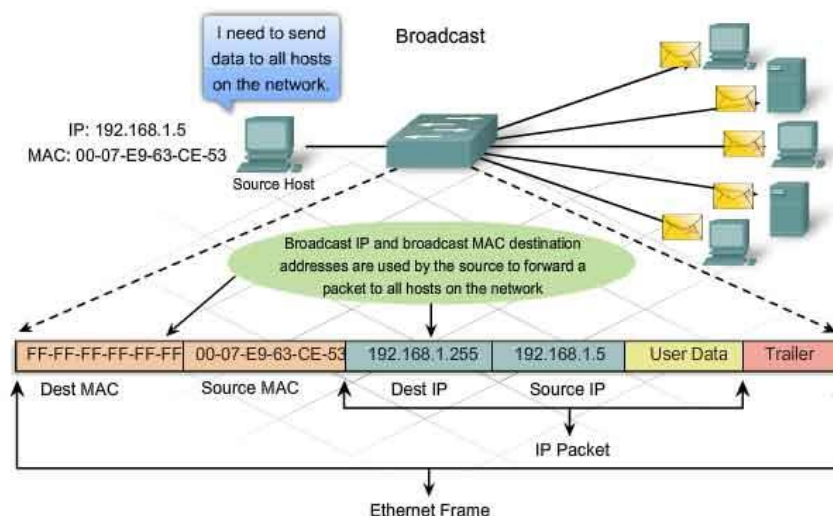
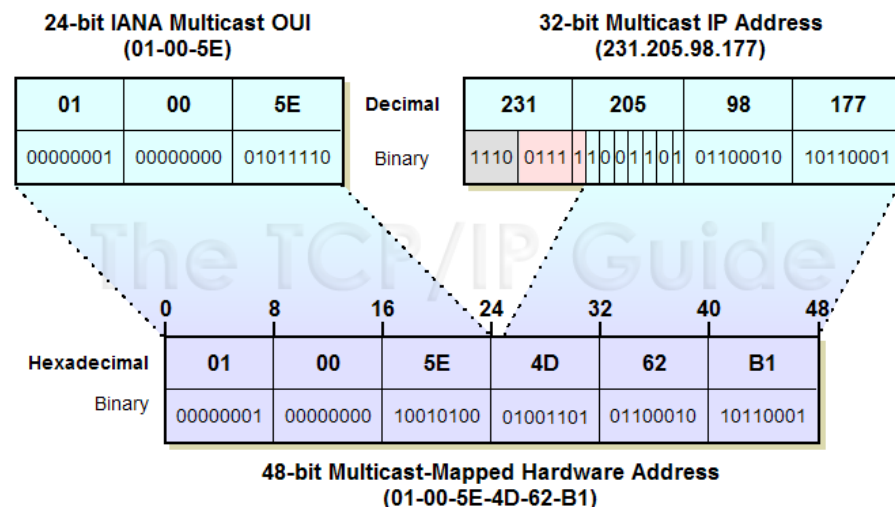
- API oraz narzędzia webowe
 - <https://regauth.standards.ieee.org/standards-ra-web/pub/view.html#registries>
 - <http://www.askapache.com/online-tools/mac-lookup/>
 - <http://www.macvendorlookup.com/>

Tagowanie VLAN

- VLAN (Virtual LAN) – wirtualna sieć lokalna
 - Dodatkowy znacznik w ramce Ethernet identyfikujący wirtualny LAN
 - Tworzenie dodatkowych logicznych grup
 - Przydzielanie ramek
 - Ułatwienie zarządzania siecią
 - Zwiększenie bezpieczeństwa sieciowego
 - Ograniczenie domen broadcastowych
- 802.1Q – standard definiujący protokół VLAN
- 802.3ac – szczegóły implementacji protokołu VLAN dla sieci Ethernet
- 4 bajtowy tag VLAN
 - TPID (Tag Protocol Identifier) – 2 bajty (0x8100)
 - Przydzielenie priorytetu dla ramki Ethernet (standard 802.1p) – 3 bity
 - Obecność pola RIF - 1 bit (routing information field)
 - VLAN ID - identyfikatora VLANu – 12 bitów

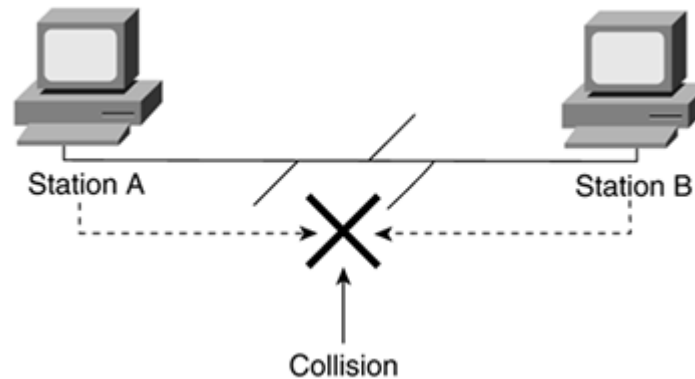


- Adres multicast
 - odbieranie ramki przez grupę stacji
 - Nasłuchiwanie ramek zapewnia oprogramowanie strony odbierającej
 - 01:00:5E:XX:XX:XX
- Adres broadcast
 - Odbierany przez wszystkie stacje
 - FF:FF:FF:FF:FF:FF
- Tryb „promiscuous” karty sieciowej
 - Odbieranie wszystkich ramek przez stacje
 - Także tych nieprzeznaczonych dla danej stacji
 - Używany w „snifferach”

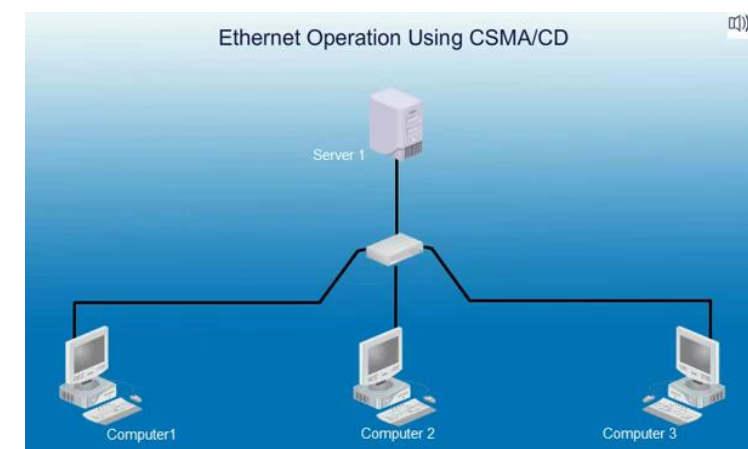
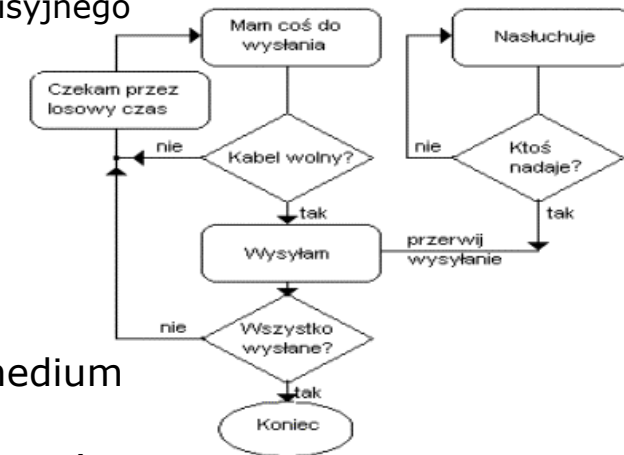


Transmisja danych w sieciach Ethernet

- Węzły w sieci współdzielą medium transmisyjne
- Sygnał jest przesyłany szeregowo i trafia do wszystkich kart sieciowych
- Jednakowe prawo rozpoczęcia transmisji (rywalizacja o dostęp)
- Możliwość nadawania jednego węzła w tym samym czasie (kolizje)

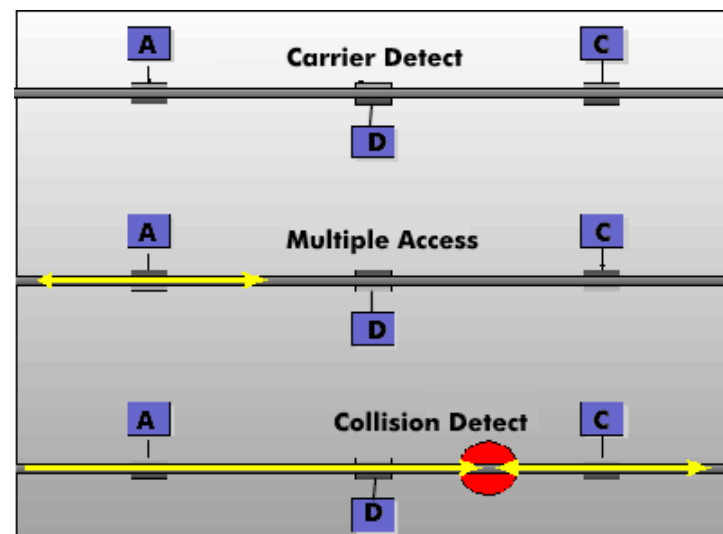


- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / with Collision Detection)
 - Carrier Sense - nasłuchiwanie przed wysłaniem (czy inny węzeł nie nadaje)
 - Multiple Access - wszystkie węzły mają dostęp do medium transmisyjnego
 - Collision Detection - istnieje mechanizm wykrywania kolizji
- CSMA/CD realizuje transmisje w trybie half-duplex
- Zasada działania
 - Nasłuchiwanie transmisji (sygnału/nośnej) w medium
 - jeśli istnieje - odroczenie transmisji, monitorowanie medium
 - Jeśli nie istnieje - odczekanie czasu IPG
 - Rozpoczęcie wysłania ramki z równoczesnym monitorowaniem medium (wykrywaniem kolizji)
 - Jeśli wystąpi kolizja (wzrost amplitudy sygnału, nałożenie się sygnałów)
 - Zaprzestanie wysyłania ramki
 - Transmisja 32-bitowej sekwencji zagłuszającej (jam) - wymuszenie kolizji !!!
 - Odczekanie losowego przedziału czasu przed ponownym rozpoczęciem procesu dostępu do medium ($0 < r < 2^k$)
 - W wypadku ponownego wystąpienia kolizji - wydłużanie czasu wyczekiwania
 - Maksymalnie 16 prób
 - Transmisja udana - reset licznika kolizji
 - Transmisja nieudana - raportowanie błędu sprzętowego



Transmisja danych w sieciach Ethernet, c.d.

- Stacje muszą dowiedzieć się o kolizji zanim zakończą wysyłanie ramki
- Minimalny rozmiar ramki (powrót fragmentów kolizyjnych)
- Zależne od standardu (przepustowość, maksymalny rozmiar segmentu sieci)
- IPG (InterPacketGap) – czas bezczynności po każdej wysłanej ramce (przerwa między pakietami)
 - Czas przesłania 96 bitów
 - 10 Mb/s – 9600 mikrosekund
 - 100 Mb/s – 960 nanosekund
 - 1 Gb/s – 96 nanosekund
- Czas propagacji kolizji – czas jaki urządzenie nadaje aby poinformować o wystąpieniu kolizji
 - 2 x czas potrzebny na przesłanie sygnału pomiędzy maksymalnie oddalonymi węzłami w sieci
 - 10 Mb/s – 51,2 mikrosekund (512b)
 - 100 Mb/s – 5,12 mikrosekund (512b)
 - 1 Gb/s – 4,095 mikrosekund (4096b)



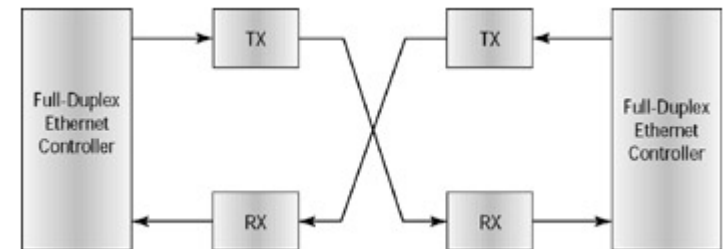
Błędy transmisji

- Kolizja lub runt
(jednoczesna transmisja więcej niż jednego urządzenia przed upływem szczeliny czasowej)
- Późna kolizja
(jednoczesna transmisja więcej niż jednego urządzenia po upływie szczeliny czasowej)
- Jabber, długa ramka, błędy zakresu
(niedopuszczalnie długa transmisja)
- Krótka ramka, fragment kolizji
(niedopuszczalnie krótka transmisja)
- Błąd FCS
(uszkodzona ramka)
- Błąd wyrównania
(zbyt duża/mała liczba wysłanych bitów)
- Błąd zakresu
(liczba wysłanych bitów różna od liczby zadeklarowanej)
- Ghost lub jabber
(niedopuszczalnie długa preambuła lub zakłócenie)



Transmisja w trybie Full-duplex

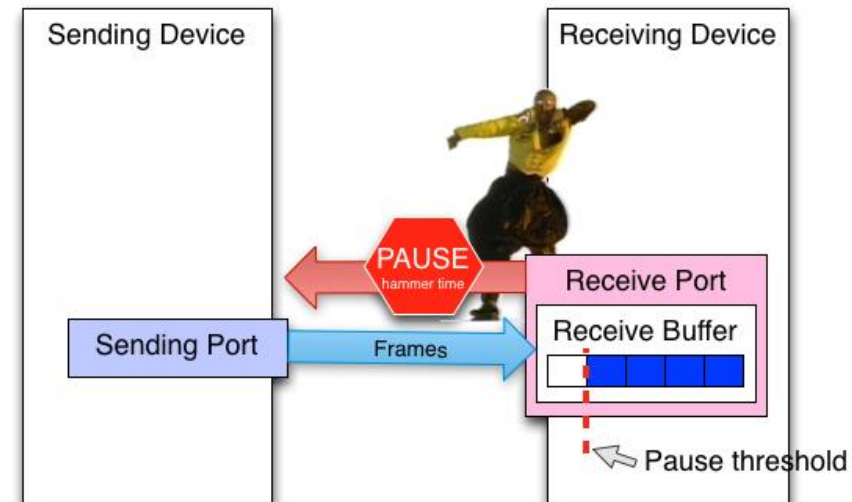
- Równoczesna transmisja dwukierunkowa
- Omija problem kolizji
- Podwaja przepustowość
- Media fizyczne:
10Base-T, 10Base-FL, 100Base-TX, 100Base-FX, 100Base-T2,
1000Base-SX, 1000Base-LS, 1000Base-T
- Nie dotyczy:
10Base5, 10Base2, 10Base-FP, 10Base-FB, 100Base-T4
- Wymaga połączenia punkt-punkt dwóch stacji
 - switch – stacja
 - stacja – stacja
 - switch - switch
- Obydwa interfejsy muszą obsługiwać ten tryb
- Brak ograniczenia wielkości sieci (brak konieczności propagacji kolizji)
- Długość pojedynczego odcinka bez zmian
 - 100 m UTP/STP
 - 2km 100Base-FX



Ramki PAUSE

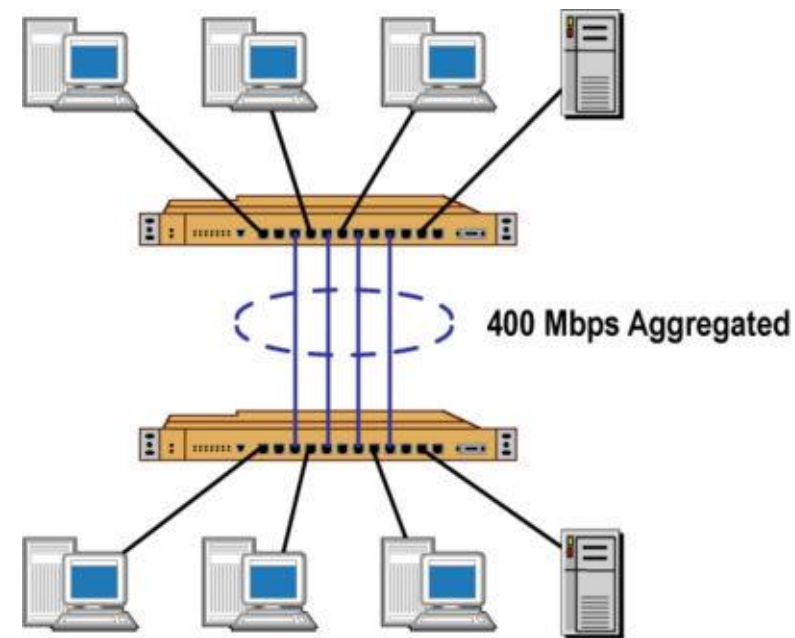
- Element kontroli przepływu w trybie Full-Duplex
- Pozwalają na czasowe przerywanie transmisji
- Schemat:
 - Stacja A nadaje
 - Zapelnienie bufora stacji B
 - Stacja B wysyła ramkę PAUSE do stacji A określając czas wstrzymania transmisji
 - Stacja A wstrzymuje transmisje na określony czas
- Technika wykrywana na etapie autonegocjacji
- Implementacja Ramki PAUSE
 - Może być wysyłana w trybie unicast lub multicast
 - Typ ramki - 0x8808
 - Parametr kontrolny 0000-FFFF - czas
 - Dopełnienie zerami

1	01:80:C2:00:00:01		
7	Source Station MAC		
13	0x8808	0x0001	Pause Time
19	Padding (42 bytes)		
25			
31			
37			
43			
49			
55	CRC		
61			

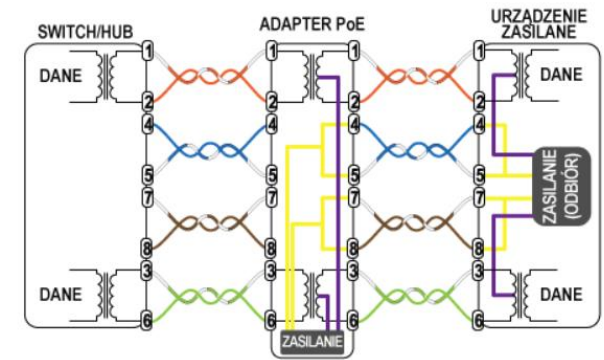


Agregacja łączy

- Łączenie kanałów transmisji, trunking (standard 802.3ad)
 - Użycie wielu połączeń fizycznych jako jednego połączenia logicznego
 - Tylko full-duplex
 - Tylko punkt-punkt
 - Taka sama szybkość transmisji
 - Wprowadza dodatkową warstwę między MAC i warstwami wyższymi
- Agregacja adresów MAC do jednego wspólnego
- Transparentność dla warstw wyższych
- Konieczność zapewnienia odpowiedniej kolejności dostarczania ramek (sesja „conversation”)
- Wykorzystywane do:
 - Równoważenia obciążenia
 - Redundancji połączeń



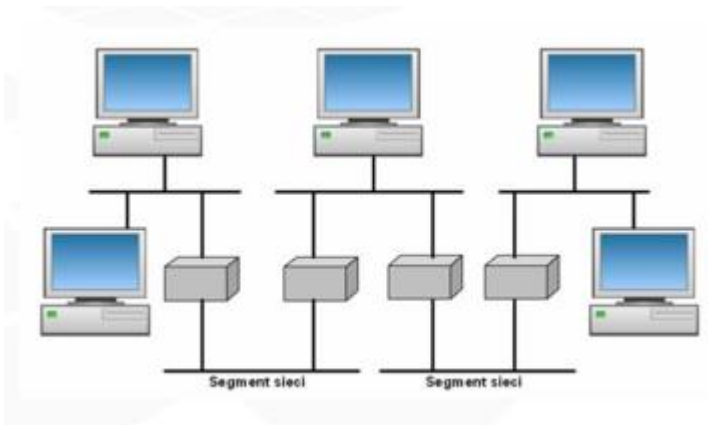
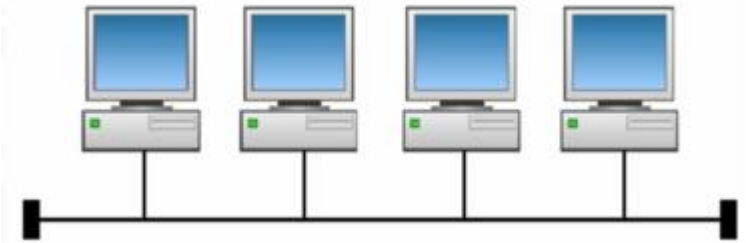
- Power Over Ethernet – technologia zasilania urządzeń elektrycznych przy pomocy skrętki
- Stosowane do urządzeń o stosunkowo niskim poborze mocy (kamer IP, punktów dostępowych AP, adapterów sieci)
- Zdefiniowane w standardach IEEE
 - Standardowe 802.3af (2003r), 802.3at (2009r)
 - 802.3bu (2016r) – jednożyłowe std. z branży automotive
 - 802.3bt (2018r) – większa moc (do100W) i natęż. (do960mA)
- Różnice
 - Moc - 15W vs 30W
 - Prąd – 250mA vs 600mA
 - Typ kabla – cat3 vs cat5
- Opcje transmisji
 - A – łącznie z danymi na parach 1,2+3,6
 - B – na wolnych parach – 4,5+7,8
- Źródła zasilania
 - EndSpan – z urządzenia dostarczającego dane
 - MidSpan – poprzez dodatkowe urządzenie (adapter PoE)



Cecha/standard	802.3af (802.3at typ 1)	802.3 at typ 2 (POE+)
Moc wyjściowa zasilacza (W)	15.4	30*
Minimalna moc dostępna dla urządzenia końcowego (W)	12.95	25.5*
Napięcie wyjściowe zasilacza (V)	44-57	50-57
Napięcie dostępne dla urządzenia końcowego (V)	37-57	42.5-57
Maksymalny prąd (mA)	350	600
Kompatybilne standardy sieci	10BASE-T, 100BASE-TX oraz 1000BASE-T	10BASE-T, 100BASE-TX oraz 1000BASE-T
Zasięg (m)	100	100
Okablowanie	Skrętka min. kat. 3	Skrętka min. kat. 5

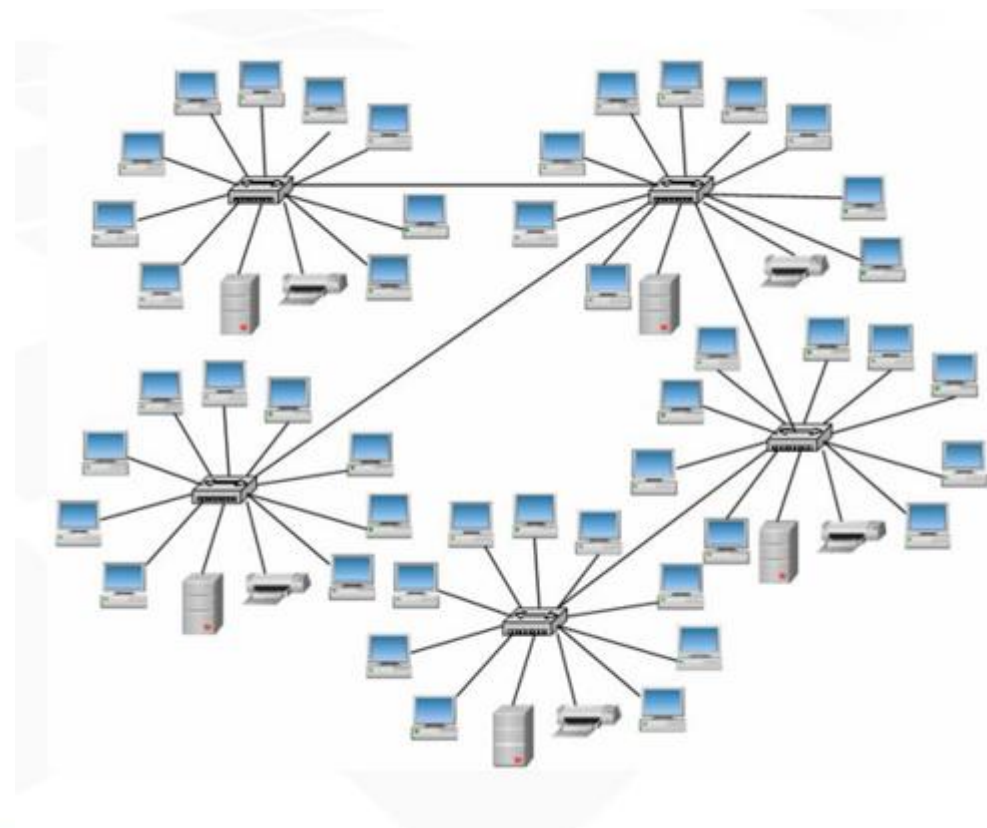
Budowa sieci Ethernet - magistrala

- Wykorzystująca kabel koncentryczny (50 Ohm)
- Zakończona terminatorami
- Minimalna odległość między punktami przyłączeń – 0,5 m
- Podłączenie stacji za pomocą trójnika BNC
- Maksymalna długość segmentu – 185 m
- Łączenie segmentów przy pomocy repeaterów (maks.4)
- Obecnie przestarzałe



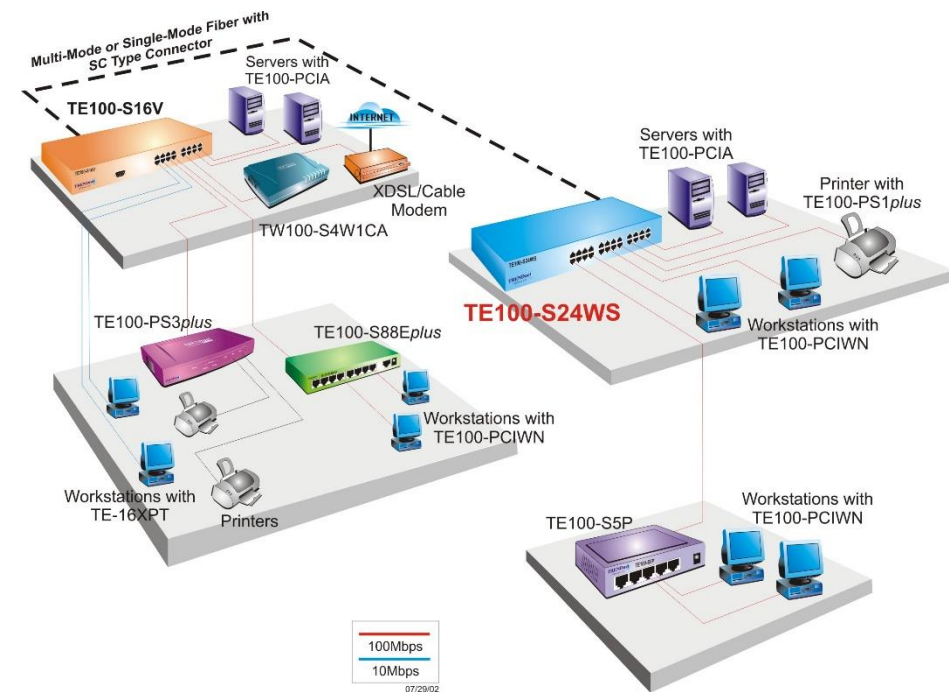
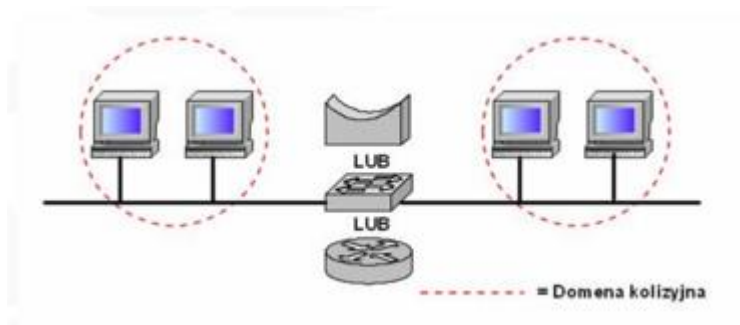
Budowa sieci Ethernet – gwiazda (hub)

- Skrętka czteroparowa
- Repeater wieloportowy – koncentrator – hub
- Maksymalnie 4 huby pomiędzy dwoma urządzeniami
- Maksymalna długość kabla między urządzeniem a hubem – 100m
- W standardzie FastEthernet – maks 2 huby i maks. 205m pomiędzy stacjami
- Duża liczba kolizji
(wraz ze wzrostem liczby urządzeń)



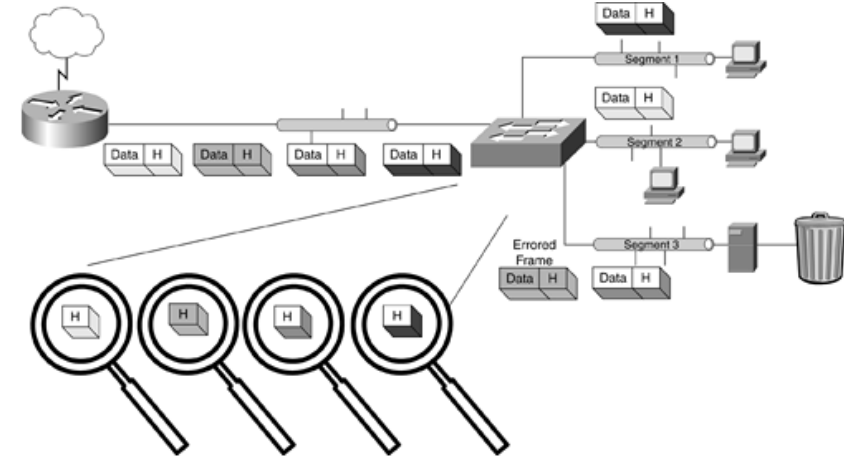
Separacja domen kolizyjnych

- Domena kolizyjna – fragment sieci połączony za pomocą urządzeń biernych
- Separacja domen kolizyjnych – urządzenia aktywne 2 warstwy OSI
 - Most (bridge)
 - Przełącznik / Most wieloportowy (switch)
 - Tablica skojarzeniowa (MAC/port)
- VLANy
- Zalecana separacja w warstwie wyższej (routery/IP)



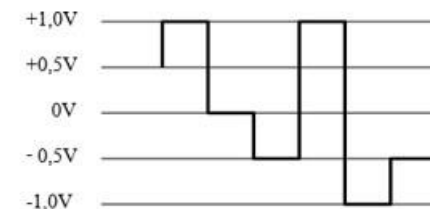
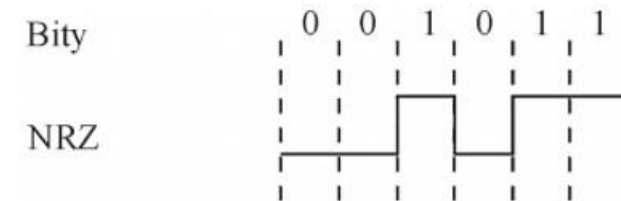
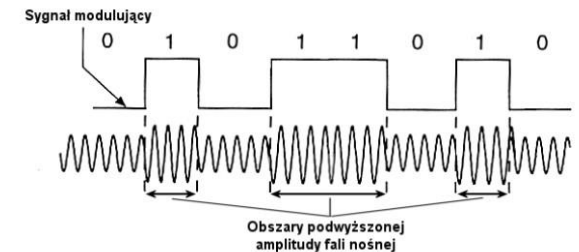
Zwiększenie przepustowości sieci Ethernet

- Transmisja w trybie full-duplex
- Podział sieci na segmenty (zmniejszenie domen kolizyjnych)
 - Mosty (bridge) i przełączniki (switch)
 - Podział w warstwie łącza danych (analiza ramek)
 - w oparciu o adres MAC (tablica adresów (w pamięci))
 - Routery
 - W oparciu o adresy IP
- Szybsze metody przełączania pakietów
 - Routery (store&forward)
 - Kopiowanie ramki do pamięci
 - Obliczanie wartości CRC
 - Odrzucanie ramki w wypadku błędu
 - Przełączniki
 - cut-through – metoda szybsza
 - Kopiowanie do pamięci jedynie adresu docelowego MAC
 - Sprawdzenie adresu w tabeli przełączania
 - Przesłanie ramki do węzła docelowego
 - Odmiany:
 - » Fast-forward – przekazanie pakietu zaraz po odczytaniu adresu docelowego
 - » Fragment-free – filtrowanie pakietów powodujących kolizje
 - Store and forward – metoda wolniejsza (zasada jak w routerach)



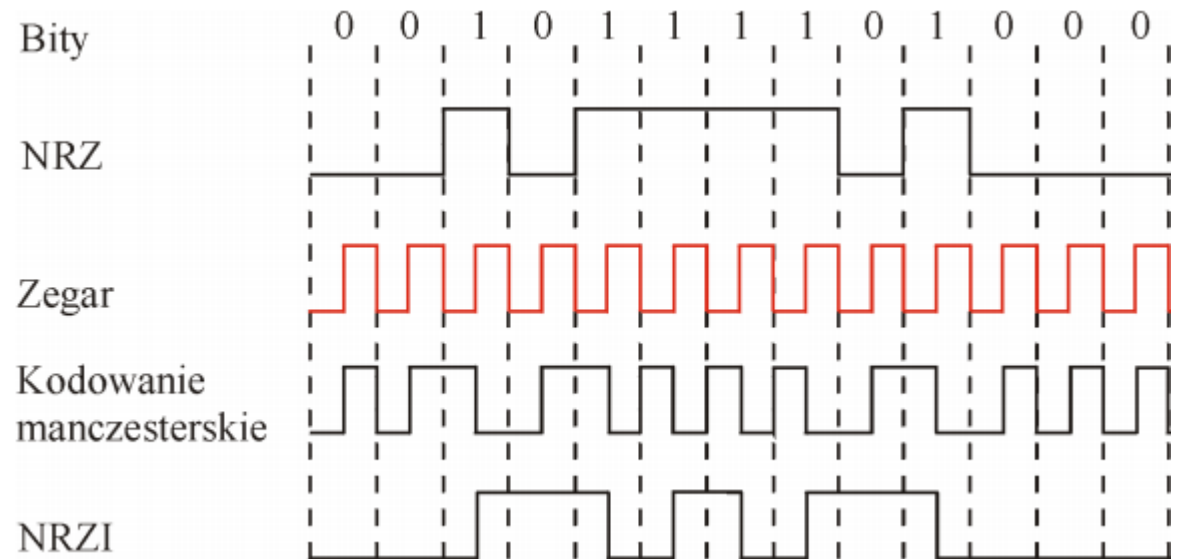
Transmisja sygnałów

- Modulacja
 - celowy proces zmiany parametrów fali umożliwiający przesyłanie informacji;
- Kodowanie
 - ciąg składników sygnału oraz reguła ich przyporządkowania składnikom wiadomości
 - Przyporządkowanie znakom jakiegoś alfabetu ciągu znaków innego alfabetu (np. wartości binarnych)
- Cele kodowania (ogólne)
 - Kompresja – zmniejszenie objętości danych
 - Kody korekcyjne - zapewnienie odporności na błędy
 - Kryptografia – zapewnienie poufności danych
- Cele modulacji i kodowania w sieciach komputerowych
 - Wybór „lepszego” zestawu transmitowanych wartości (kody korekcyjne; korzystniejsza charakterystyka sygnału)
 - Dostosowanie do medium (różne poziomy napięć; 2,3,5-wartościowe)



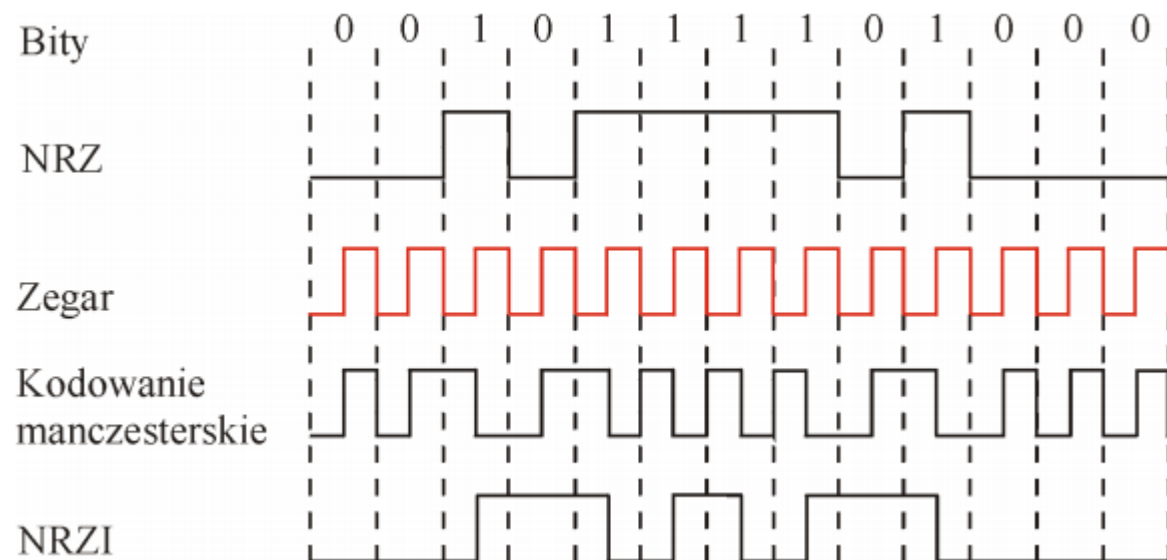
Kodowanie sygnałów - NRZ

- Non Return to Zero
- Odwzorowanie 1 na sygnał wysoki, 0 na sygnał niski
- Problemy:
 - Odbiornik nie rozróżnia długiego ciągu zer od braku napięcia
 - Długi ciąg jedynek zmienia średnią wartość sygnału
 - Brak zmian sygnału nie pozwala synchronizować zegara



Kodowanie sygnałów - NRZI

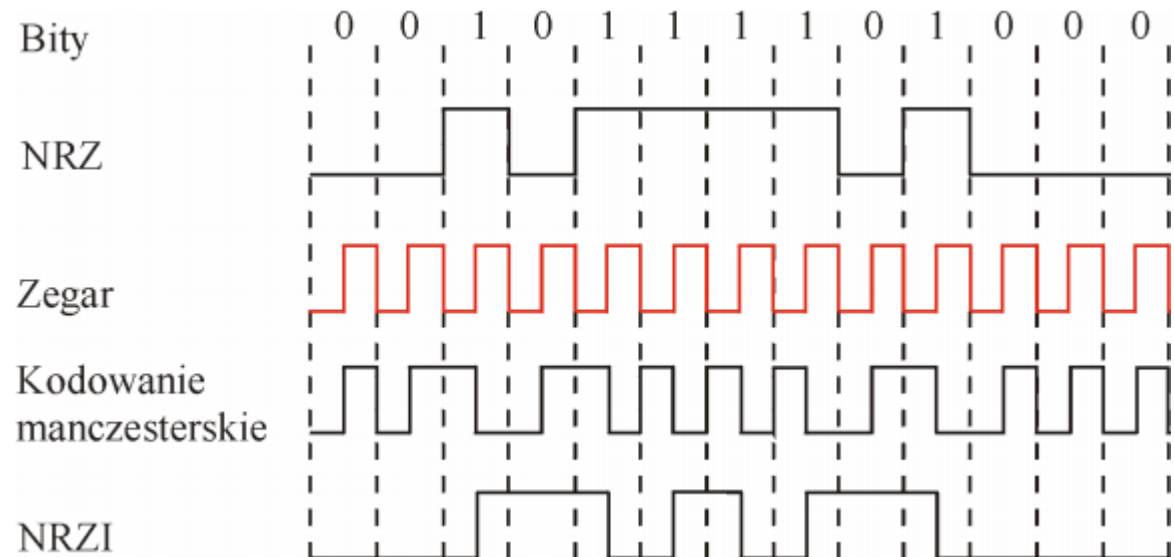
- Kodowanie NRZI
- Rozwiązuje problem dryfowania zegara, spowodowanego przez długi okres bez zmiany sygnału
- Dla wartości 1 – zmiana sygnału
- Dla wartości 0 – brak zmiany sygnału (problem w synchronizacji)
- Rozwiązuje problem kolejnych jedynek, ale nie kolejnych zer
- Eliminacja składowej stałej – możliwość przesyłu przez elementy nie przenoszące – np. transformatory liniowe



Kodowanie sygnałów - Manchester

- Rozwiązuje problem kolejnych 0 oraz kolejnych 1
- Zmiana napięcia w przewodzie w połowie przesyłanego bitu
- Scalanie zegara z sygnałem
- Różnica symetryczna XOR
(prawda w.i.t.w gdy dokładnie jedno ze zdań jest prawdziwe)
- Problem:
 - Szybkość transmisji = $1/2$ x szybkości modulacji (zmiany sygnału)
 - Sprawność kodowania 50%
- 10BaseT

p	q	$p \vee q$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



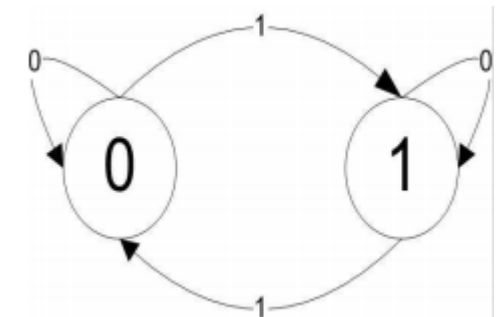
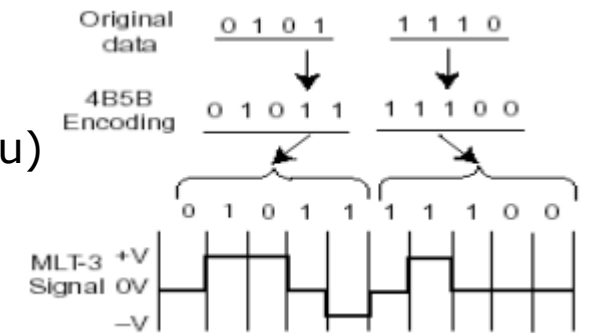
Kodowanie danych – 4B/5B

- Kodowanie 4 bitów na 5 bitach
- W wyjściowym ciągu 1 występuje przynajmniej 1 raz
- Ciąg 0 nie dłuższy niż 3
- Występuje w systemach gdzie:
 - 1 zmienia wartość sygnału
 - Zmiana sygnału czasem następnej zmian np: NRZI
- Występowanie 1 zapewnia synchronizację zegara
- 80% wykorzystanie przepustowości łącza
- Wykorzystywane w standardach
 - 100BaseTx – z kodowaniem MLT-3
 - 100BaseFx – z kodowaniem NRZI

Nazwa	4b	5b	Wartość Opis
0	0000	11110	0
1	0001	01001	1
2	0010	10100	2
3	0011	10101	3
4	0100	01010	4
5	0101	01011	5
6	0110	01110	6
7	0111	01111	7
8	1000	10010	8
9	1001	10011	9
A	1010	10110	A
B	1011	10111	B
C	1100	11010	C
D	1101	11011	D
E	1110	11100	E
F	1111	11101	F
Q	-NONE-	00000	Quiet (signal lost)
I	-NONE-	11111	Idle
J	-NONE-	11000	Start #1
K	-NONE-	10001	Start #2
T	-NONE-	01101	End
R	-NONE-	00111	Reset
S	-NONE-	11001	Set
H	-NONE-	00100	Halt

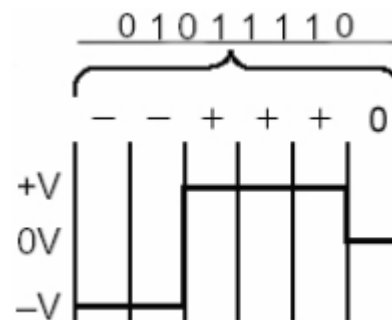
Kodowanie danych – MLT-3

- Multi Level Treshold
- Sygnał trójpoziomowy (zakodowanie więcej niż 1 bitu w pojedynczej zmianie poziomu)
- Transmisja z prędkością 100Mb/s i większa
- Stosowane razem z kodowaniem 4B/5B
- Użycie trzech poziomów napięć (-1,0,+1)
- Zasada działania:
 - Jeśli następny bit wejściowy jest równy 0, to następna wartość wyjściowa jest taka sama, jak poprzednio.
 - Jeśli następny bit wejściowy jest równy 1, to nastąpi zmiana poziomu wartości wyjściowej
 - Jeżeli wartość poprzednia była równa +1 lub -1, to następna wartość wyjściowa jest równa 0.
 - Jeżeli wartość poprzednia była równa 0, to następna wartość wyjściowa będzie niezerowa, o znaku przeciwnym do ostatniej niezerowej wartości
- Graf :
 - 0 brak zmiany wyjściowej
 - 1 zmiana zgodnie z zasadą



Kodowanie danych – 8B/6T

- Skrętka kat 3 z przepustowością 100Mb/s
- Kodowanie wielopoziomowe (>1bit na 1zmianie sygnału)
- Sekwencja 8 bitów strumienia odwzorowana na 6 symboli trzystanowych
 - Możliwe do zakodowania $3^6 = 729$ ciągów
 - Wykorzystywane $2^8=256$ ciągów
- Dobór ciągów kodowych pod kątem:
 - Detekcji błędów
 - Eliminacji składowej stałej
 - Zmniejszenia efektów wysokoczęstotliwościowych
- W każdym ciągu występują co najmniej 2 poziomy napięc (w celu synchronizacji)
- Specjalne ciągi jako znaczniki

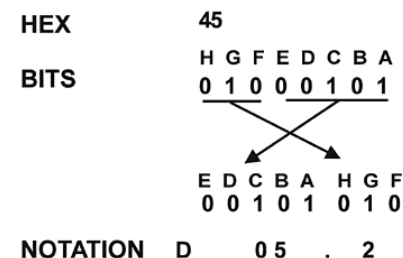


Data octet	6T code group
00	+ - 0 0 + -
01	0 + - + - 0
02	+ - 0 + - 0
03	- 0 + + - 0
04	- 0 + 0 + -
05	0 + - - 0 +
06	+ - 0 - 0 +
07	- 0 + - 0 +
08	- + 0 0 + -
09	0 - + + - 0
0A	- + 0 + - 0
0B	+ 0 - + - 0
0C	+ 0 - 0 + -
0D	0 - + - 0 +
0E	- + 0 - 0 +
0F	+ 0 - - 0 +
10	+ 0 + - - 0
11	+ + 0 - 0 -
12	+ 0 + - 0 -

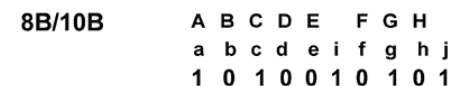
Kodowanie danych – 8B/10B

- Przepustowości 1Gb/s i wyższe
- Kodowanie 8b danych w 10b symbolu
- Odpowiednie kodowanie redukuje częstotliwość oraz pozwala na synchronizację zegara
- Wyrównuje ilość 0 i 1 (statystycznie)
- Dopuszczalne jest nie więcej niż 6 kolejnych 0 lub 1
 - 5 bitów kodowane jako 6 bitowy symbol
 - 3 bity jako 4 bitowy symbol
 - Łączone w grupę 10bitów
- Dodatkowo 12 symboli specjalnych
- Stosowane w standardach:
 - Z kodowaniem 4D-PAM5
 - 1000Base-T.
 - Z kodowaniem NRZ
 - 1000Base-SX,
 - 1000Base-LX,
 - 1000Base-CX

NOTATION



TRANSMISSION ORDER

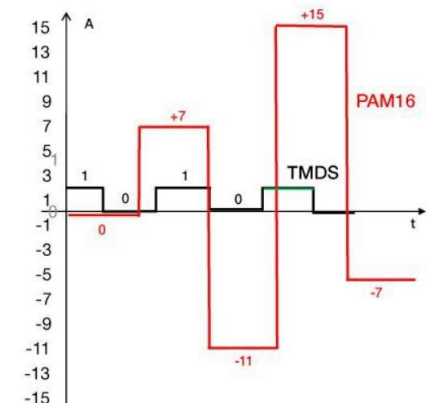
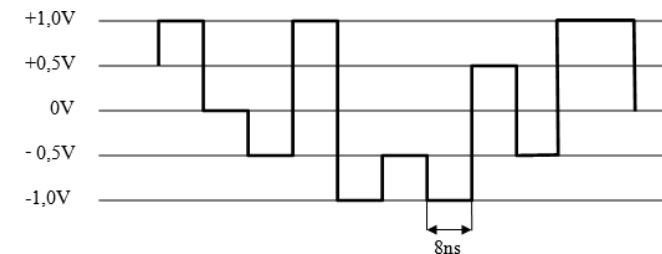
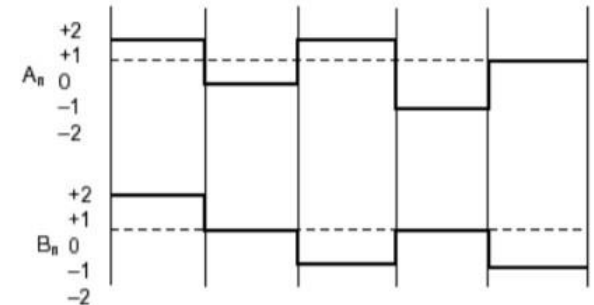


Bits i and j based on running disparity

Wartość oktetu	Bity oktetu	RD -	RD +
	HGF EDCBA	abcdei fghj	abcdei fghj
00	000 00000	100111 0100	011000 1011
01	000 00001	011101 0100	100010 1011
02	000 00010	101101 0100	010010 1011
03	000 00011	110001 1011	110001 0100
04	000 00100	110101 0100	001010 1011
05	000 00101	101001 1011	101001 0100
06	000 00110	011001 1011	011001 0100
07	000 00111	111000 1011	000111 0100
08	000 01000	111001 0100	000110 1011
09	000 01001	100101 1011	100101 0100
0A	000 01010	010101 1011	010101 0100
0B	000 01011	110100 1011	110100 0100
0C	000 01100	001101 1011	001101 0100
0D	000 01101	101100 1011	101100 0100
0E	000 01110	011100 1011	011100 0100
0F	000 01111	010111 0100	101000 1011
10	000 10000	011011 0100	100100 1011
11	000 10001	100011 1011	100011 0100
12	000 10010	010011 1011	010011 0100

Wielopoziomowa modulacja i kodowanie sygnałów

- PAM-5 – 5 level Pulse Amplitude Modulation
- 5 wartości sygnału
 - 4 przeznaczone na zakodowanie 2 bitów informacji
 - 1 przeznaczony na korekcję błędów
- Odpowiadające im poziomy napięć:
 - $-1V, -0.5V, 0V, +0.5V, +1V$
- Stosowane w różnych standardach
 - 100 BaseT
 - Dwie pary przewodów (po 2 bity na parę)
 - Skrętka 3 kategorii 12,5 MHz na parę
 - $4 \text{ bity} * 25 \text{ mln/s} = 100\text{Mb/s}$ (na dwóch parach)
 - 1000 BaseT
 - Cztery pary przewodów – 4 pary x 2 bity = 8 bitów
 - Skrętka kat 5e - 125MHz na parę
 - $8 \text{ bitów} * 125\text{mln/s} = 1\text{Gb/s}$
- Kodowanie PAM16
 - Wykorzystanie 16 poziomów napięć
 - Standardy 10GBase (10 Gbit/s)
 - Wymagane wysokie standardy okablowania i złącz

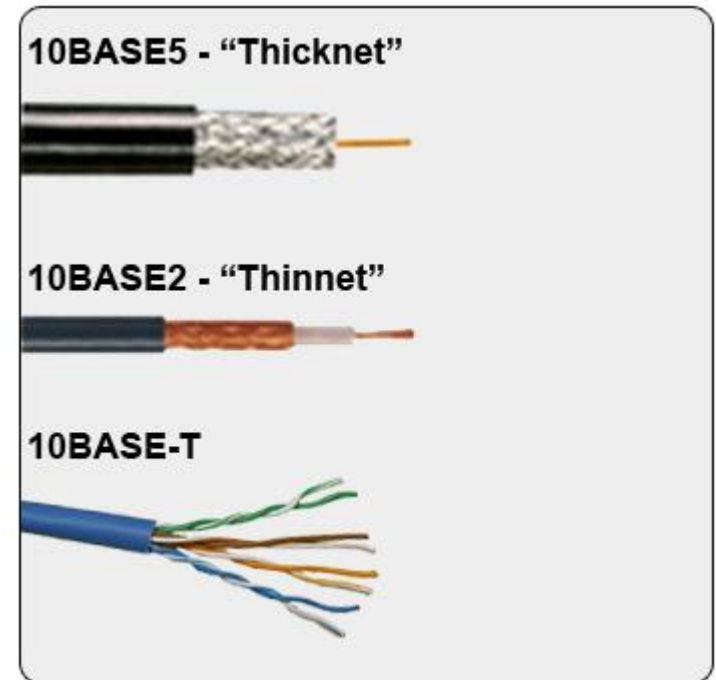


Standardy / przepustowości

przepustowość	standard	topologia	Max długość segmentu	medium
10 Mb/s	802.3, 10Base5	magistrala	500m	Koncentryk, śr 10mm
	802.3a, 10Base2	magistrala	185m	Koncentryk, sr. 5mm
	802.3i, 10Base-T	gwiazda	100m	UTP, 2 pary, kat 3 lub 5
	802.3j, 10Base-F	gwiazda	2000m	Światłowód w.m.
100 Mb/s	802.3u, 100Base-TX	gwiazda	100m	Skrętka, 2 pary, kat 5
1 Gb/s	802.3u, 100Base-FX	gwiazda	412m	Światłowód w.m.
	802.3z, 1000Base-LX	gwiazda	5km / 550m	Światłowód j.m./w.m.
	802.3z, 1000Base-SX	gwiazda	550m	Światłowód w.m.
	802.3z, 1000Base-T	gwiazda	100m	Skrętka, kat.5e,6
10 Gb/s	802.3ae, 10GBASE-SR	gwiazda	400m	Światłowód w.m.
	802.3ae, 10GBASE-LR	gwiazda	10km	Światłowód j.m.
	802.3ae, 10GBASE-ER	gwiazda	40km	Światłowód j.m.

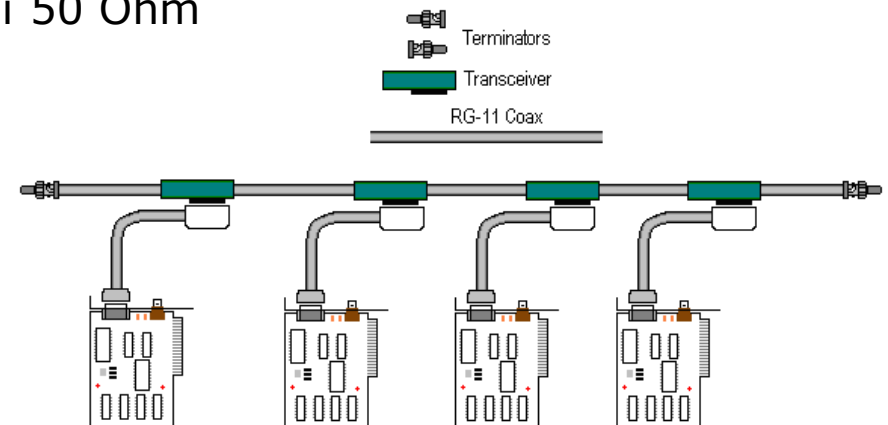
Standardy 10Base-...

- Elementy wspólne:
 - Przepustowość 10 Mb/s
 - Kodowanie Manchester
- Różnice
 - Media transmisyjne
 - 10Base-5 – „gruby koncentryk”
 - 10Base-2 – „cieńki koncentryk”
 - 10Base-T – skrętka
 - 10Base-F – światłowód



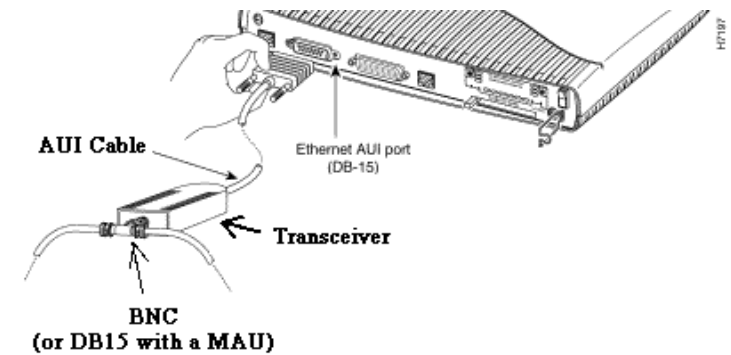
10Base5

- Pierwsze medium używane w sieciach Ethernet (lata 80te)
- Medium transmisyjne: koncentryk o śr. 10mm (50 Ohm), RG-8/U
- Do 5 segmentów kabli (4 wzmacniacze)
 - 3 segmenty – koncentryk do 500m
 - Pozostałe – połączenia punkt-punkt między wzmacniaczami do 1000m
- Maksymalny rozmiar sieci 2 500m
- Repeater (wzmacniacz) regeneruje sygnał
- Wszystkie segmenty połączone repeaterami tworzą jedną domenę kolizyjną
- Zakończenie segmentów terminatorami 50 Ohm



10Base2

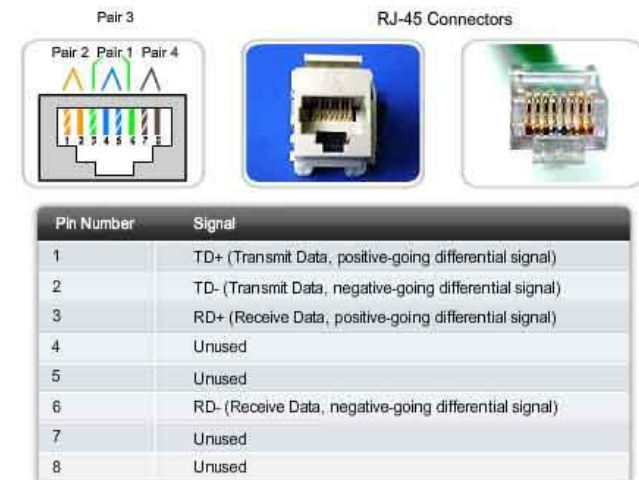
- Medium transmisyjne: koncentryk (śr. 5mm, 50 Ohm), RG-58/U
- Złącza: BNC lub AUI
- Topologia: magistrala, p-p
- Tryb transmisji: tylko half-duplex
- Jedna domena kolizyjna
- Maksymalna długość segmentu: 185 m
- Maksymalnie 4 regeneratory
- Maksymalna długość magistrali: 925m
- Maksymalnie 30 stacji



10Base-T

- Medium transmisyjne: skrętka UTP/STP kat 3 lub lepsza
- Karty sieciowe z wtykiem 8P8C (alias RJ45)
- Topologia: gwiazda, p-p
- Tryb transmisji: half-duplex, full-duplex (p-p, switch)
- Wykorzystanie jedynie 4 żył
- Segmenty połączone hubem tworzą domenę kolizyjną
- Maksymalnie 2 repeatery na segment
- Maksymalna długość kabla 100m (150m kat 5)

10Base-T Ethernet RJ-45 Pinouts



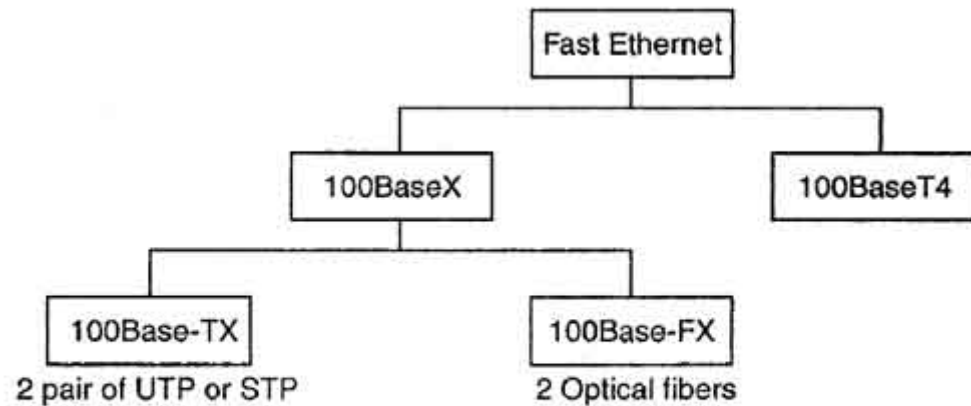
10Base-F (10Base-FL, 10Base-FB, 10Base-FP)

- 10-Base-F (10Mb/s)
 - Niekompatybilne ze sobą
 - Topologia: gwiazda, p-p
 - Tryby transmisji: half-duplex, full-duplex (p-p, switch)
 - Medium transmisyjne
 - Światłowód wielomodowy – 2km między transceiverami
 - 2 światłowody wielomodowe (TX, RX)
 - Transceiver podłączony przy pomocy AUI do komputera
- 10Base-FL (fiber link)
 - Długość segmentu – 2000m
 - transmisja half-duplex(10Mb/s) i full-duplex(20Mb/s)
 - Złącza SMA lub ST
 - Długość fali 850nm
- 10Base-FB (fiber backbone)
 - Długość segmentu – 2000m
 - synchronizacja repeaterów 2,5MHz
- 10Base-FP (fiber passive)
 - Długość segmentu – 500m
 - do 33 komputerów
 - nie został rozpowszechniony



FastEthernet

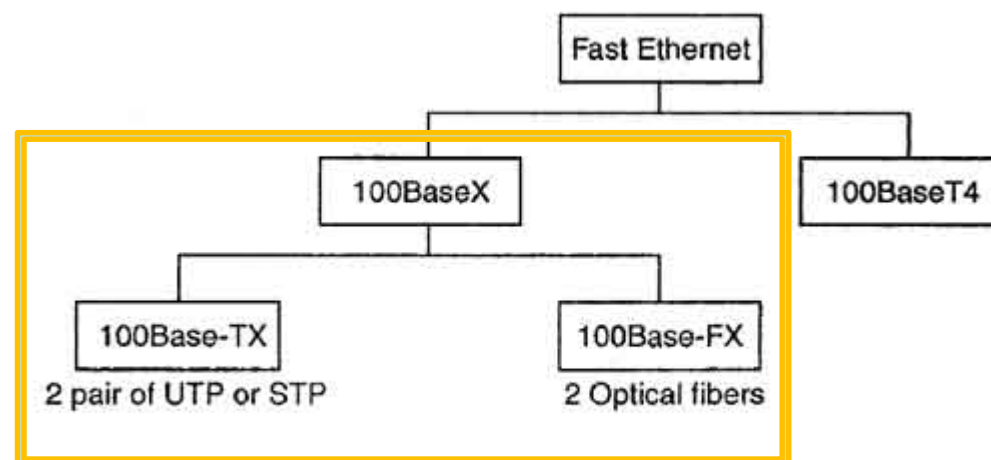
- 100 Mb/s half-duplex, 200 Mb/s full-duplex
- Topologia p-p, gwiazda
- Wspólna warstwa MAC
- Różne warstwy fizyczne



Categories of Fast Ethernet

100Base-_X

- 100 Mb/s
- Kodowanie 4B/5B
- 100 Mb/s half-duplex, 200 Mb/s full-duplex
- Wspólna warstwa MAC
- 100Base-TX (802.3u)
 - Medium fizyczne: **skrętka kat 5**,
 - UTP 100ohm,
 - STP 150ohm
 - Maksymalna długość: 100m
 - Wykorzystane **2 pary żył** (std. 1,2,3,6 żyły)
- 100Base-FX
 - **2 światłowody wielomodowe**
 - Długość fali – 1300 nm
 - Długość segmentu
 - 412m – half-duplex
 - 2000m – full-duplex
 - Złącza SC-duplex lub ST



Categories of Fast Ethernet

100Base-T_

- 100 Mb/s
- Nie zostały szerzej rozpowszechniona

- 100Base-T4
 - 100Mb/s half-duplex
 - Medium fizyczne
 - **skrętka kat 3**, UTP 100 Ohm
 - Maksymalnie 100m
 - Wykorzystuje **4 pary**
 - Złącze RJ45 (8P8C)
 - Kodowanie 8B/6T

- 100Base-T2
 - 100Mb/s half-duplex, 200Mb/s full duplex
 - Medium fizyczne
 - **Skrętka kat 3**, UTP 100 Ohm
 - Maksymalnie 100m
 - Wykorzystuje **2 pary**
 - Kodowanie **PAM5x5** – pięcio-poziomowa modulacja amplitudy

Figure: The 100Base-T4 Wire-Pair Usage During Frame Transmission

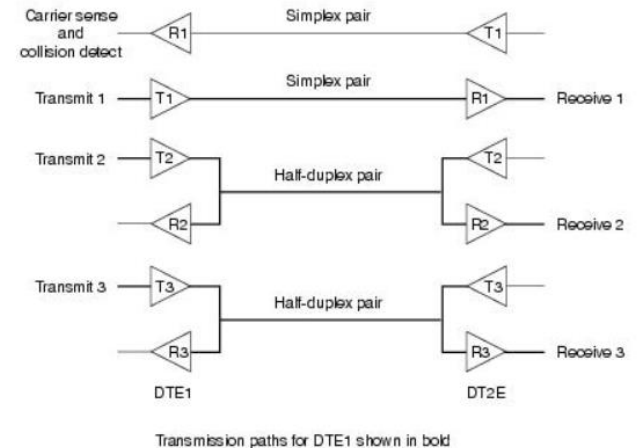
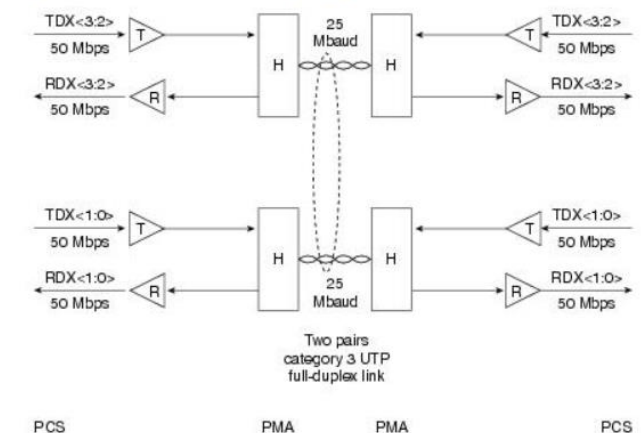


Figure: The 100Base-T2 Link Topology



H = Hybrid canceller transceiver
 T = Transmit encoder
 R = Receive decoder
 Two PAM5 code symbols = One nibble

1000Base-X – Gigabit Ethernet

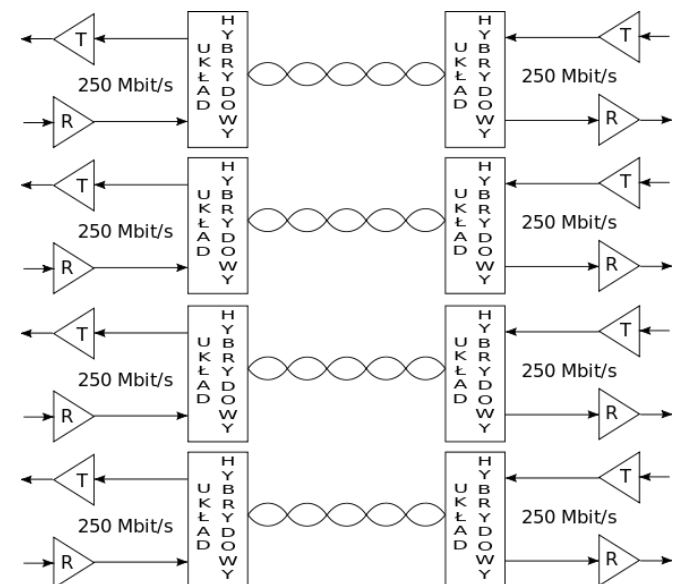
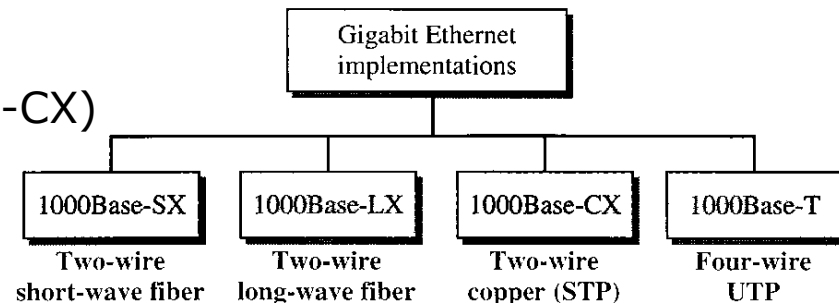
- 1000 Mb/s half-duplex, 2000 Mb/s full-duplex

- 802.3z (1000Base-LX, 1000Base-SX, 1000Base-CX)

- 2 przewody
- Kodowanie 8B10B
- 1000Base-LX
 - Medium fizyczne - **światłowód** jedno lub wielomodowy
 - Transmisja laserem
 - Długość segmentu (Full-duplex SMF) : do 5000m
- 1000Base-SX
 - Medium fizyczne – **światłowód wielomodowy**
 - Max. długość segmentu: 550m
- 1000Base-CX
 - Długość segmentu – 25m
 - **Kabel miedziany twinax**

- 1000Base-T (802.3ab)

- **Skrętka kat 5,5e,6**
- 4 pary (na każdej parze Tx i Rx)
- Maks 100m
- Kodowanie 8B10B PAM5x5

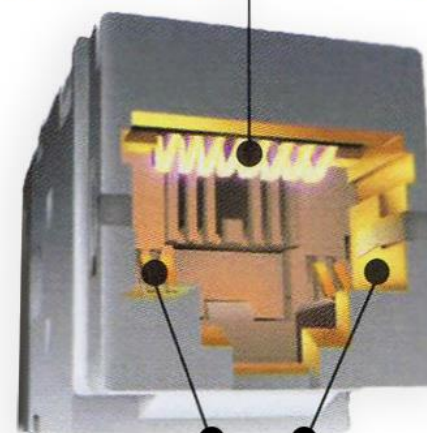


10GBase – 10Gigabit Ethernet

- Połączenia full-duplex (p-p), switche, bez CSMA/CD
- 10GBase-X (802.3ae)
 - **światłowód**
 - Kodowanie 8B10B (10GBase-X), 64/66B (10GBase-R)
 - 10GBase-SR (short reach)
 - włókna wielomodowe (mak 400m)
 - 10GBase-LR (long reach)
 - włókna jednomodowe (mak 10km)
 - WDM - Wave division multiplexing
 - 10GBase-ER (extended reach)
 - włókna jednomodowe (odl. do 40km)
 - Długość fali 1550 nm (laser)
- 10GBase-T (802.3an 2006r)
 - **Skretka** kat 6 (55m), 6a i 7 (100m)
 - Kodowanie 64B/66B
 - Modulacja PAM16
 - Wtyczki GG45 (zgodne z RJ45) i TERRA
- 10GBase-CX-4 i KX4/KR
 - **Kable miedziane**
 - Odległość - 1m



8 pinów
100% kompatybilny z RJ 45



4 nowe piny
do 600MHz lub 1000 MHz

Podsumowanie

- Zalety
 - Prostota i przejrzystość
 - Łatwość w implementacji, utrzymaniu i rozbudowie
 - Niskie koszty sieci
 - Rozpowszechnienie standardu
- Wady
 - Ograniczenie ilości urządzeń w segmencie sieci
 - Ograniczenie wydajności sieci przy dużych obciążeniach
 - Brak możliwości rezerwacji łącza lub pasma (QoS) – ograniczone zastosowanie w sieciach rozległych i transmisji multimedialnej



- Mark Sportack, Sieci komputerowe, Księga Eksperta, Helion, Warszawa 1999
- L.L.Peterson, B.S.Davie – Sieci komputerowe – podejście systemowe”, Nakom, Poznań 2000
- W.Graniszewski, E.Grochocki, G.Świątek, Ethernet – Studia Informatyczne, Sieci Komputerowe, <http://wazniak.mimuw.edu.pl/>
- D.E.Comer, „Sieci i intersieci”, WNT, Warszawa 2001
- V.Amato, W.Lewis „Akademia sieci CISCO”, Mikom, Warszawa 2001
- J.Durak – Ethernet – ZIP 2008.
- M.Kostka, M.Piechota :Kody Transmisyjne, Politechnika Opolska, Wydział elektrotechniki, automatyki i informatyki.
- G.Tomasho, A.Poland - Animation of CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) in Ethernet
Prescot Computer Guy – VLAN Concepts
- K.Ratajczak, S.Rosenkiewicz, Ł.Wąsowski, P.Wojnarowicz – Symulator warstwy fizycznej Ethernet, PG.
- Cisco DocuWiki – Ethernet Technologies - http://docwiki.cisco.com/wiki/Ethernet_Technologies