

# Mapa wykładu

- ❑ 5.1 Wprowadzenie i usługi warstwy łącza
- ❑ 5.2 Rozpoznawanie i naprawa błędów
- ❑ 5.3 Protokoły wielodostępowe
- ❑ 5.4 Adresy w sieciach LAN oraz protokół ARP
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Koncentratory, mosty, i switche
- ❑ 5.7 Bezprzewodowe łącza i sieci lokalne
- ❑ 5.8 PPP
- ❑ 5.9 ATM
- ❑ 5.10 Frame Relay

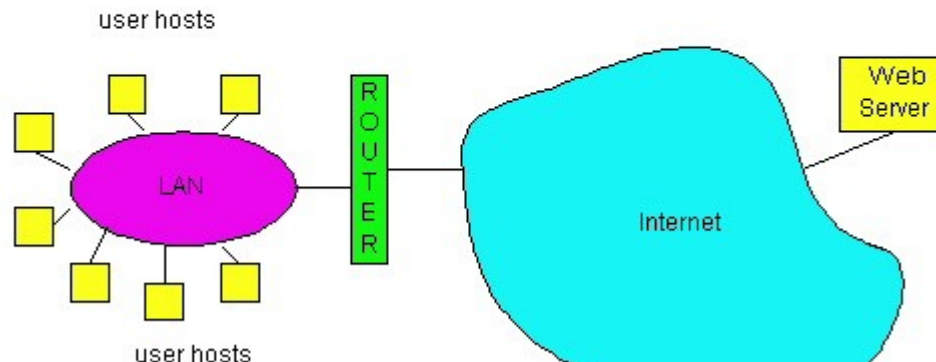
# Technologie LAN

Co wiemy już o warstwie łącza:

- usługi, wykrywanie/korekcja błędów, protokoły wielodostępowe

Dalej: technologie LAN

- adresowanie
- Ethernet
- koncentratory (*hub*), mosty (*bridge*), switche
- 802.11
- PPP
- ATM



# Adresy LAN oraz ARP

## 32-bitowy adres IP:

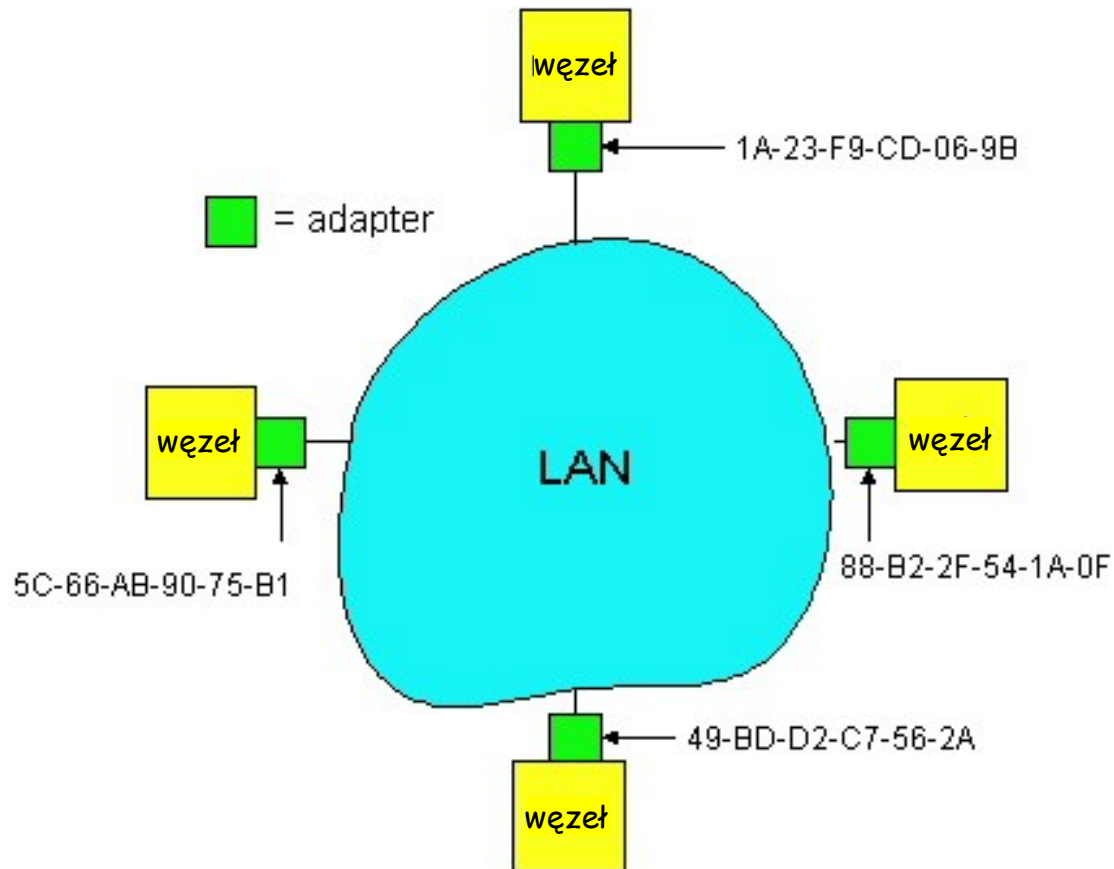
- ❑ adres *warstwy sieci*
- ❑ stosowany do przekazania pakietu do sieci IP odbiorcy (przypomnij definicję sieci IP)

## adres LAN (albo MAC albo fizyczny albo Ethernet):

- ❑ stosowany do przekazania ramki pomiędzy interfejsami połączonymi w warstwie łącza (w tej samej sieci)
- ❑ 48-bitowy adres MAC (dla większości sieci LAN) wypalony w pamięci ROM adaptera

# Adresy LAN oraz ARP

Każdy adapter w sieci LAN ma niepowtarzalny adres LAN



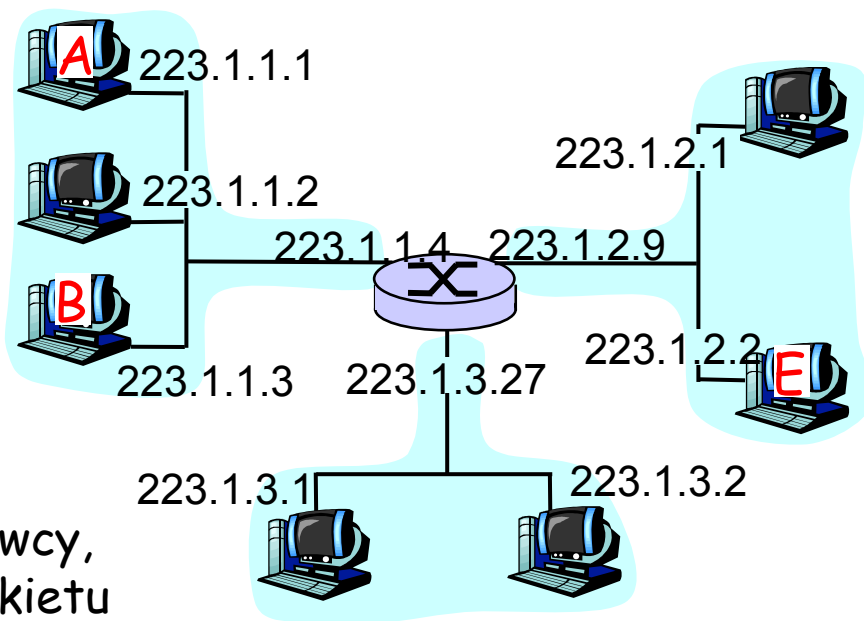
# Adresy LAN (więcej)

- ❑ przydzielanie adresów MAC zarządzane przez IEEE
- ❑ producent kupuje przedział adresów MAC (co zapewnia jednoznaczność)
- ❑ Analogia:
  - (a) adres MAC: jak numer NIP
  - (b) adres IP: jak adres pocztowy
- ❑ płaskie adresy MAC => przenośność
  - można przenieść kartę LAN z jednej sieci LAN do drugiej
- ❑ hierarchiczne adresy IP NIE SĄ przenośne
  - zależą od sieci IP, do której podłączony jest węzeł

# Przypomnienie dyskusji o routingu

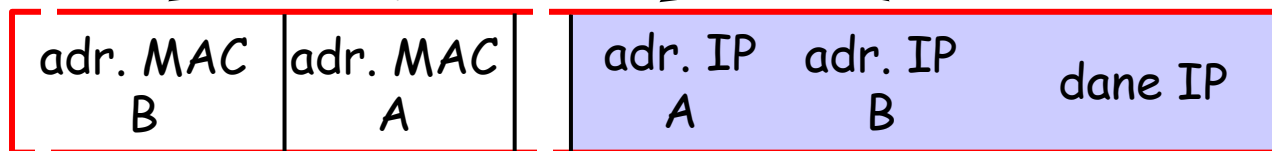
Zaczynając w A,  
przekazywanie pakietu IP  
do B:

- znajdź adres IP B: jest w tej samej sieci co A
- warstwa łącza wysyła pakiet do B w ramce w-stwy łącza



adres nadawcy,  
odbiorcy ramki

adres nadawcy,  
odbiorcy pakietu

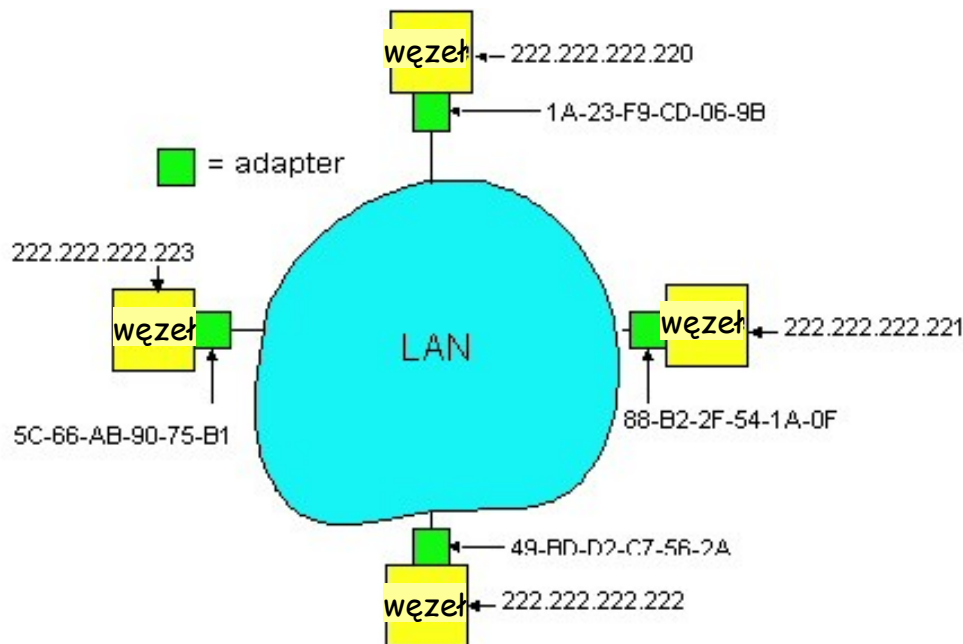


←————— pakiet —————→

←————— ramka —————→

# ARP: Address Resolution Protocol

Pytanie: jak poznać adres MAC B znając adres IP B?



- Każdy węzeł IP (host, ruter) w sieci LAN ma tablicę **ARP**
- Tablica ARP: odwzorowanie adresów IP/MAC dla niektórych węzłów w sieci LAN  
<adres IP; adres MAC; TTL>
  - TTL (Time To Live): czas, po którym odwzorowanie zostanie zapomniane (zwykle 20 minut)

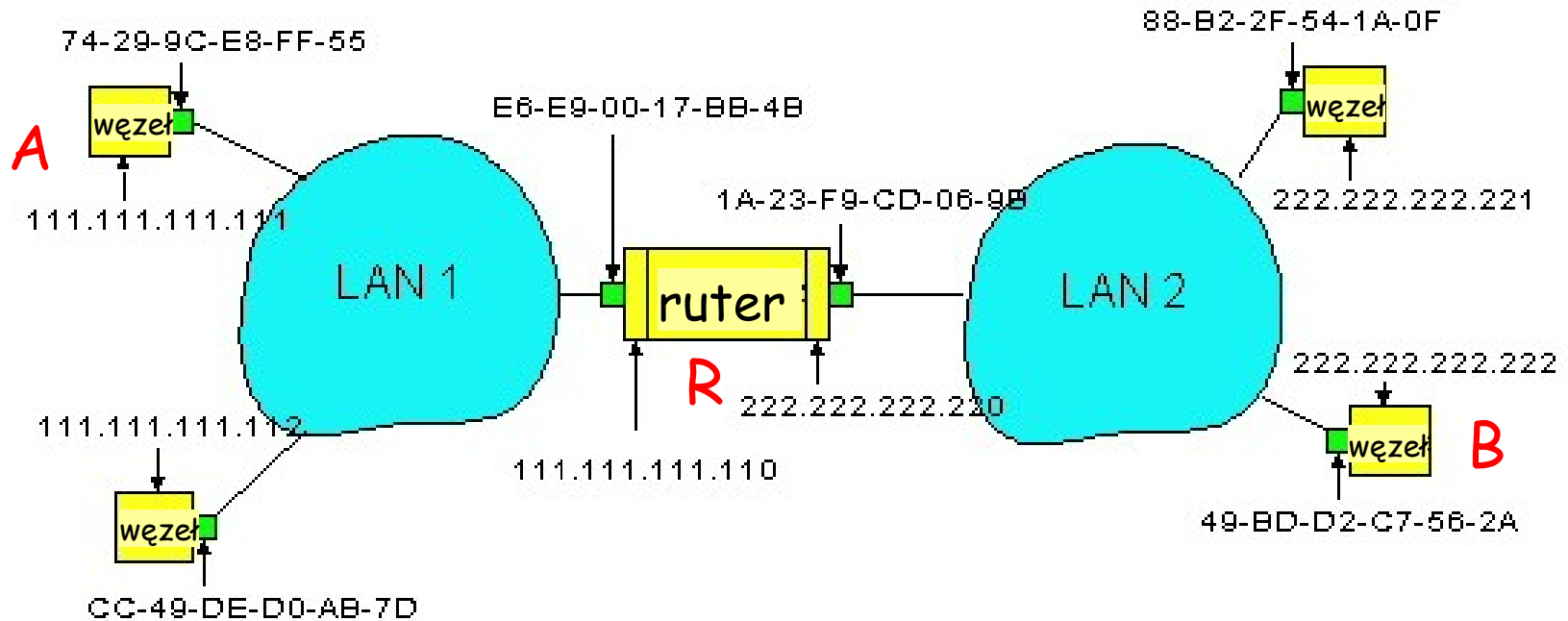
# Protokół ARP

- ❑ A chce posłać pakiet do B, A zna adres IP B.
- ❑ Załóżmy, że adres MAC B nie jest w tablicy ARP A.
- ❑ A **rozgłasza** pakiet z pytaniem ARP, zawierający adres IP B
  - wszystkie węzły w sieci LAN otrzymują pytanie ARP
- ❑ B otrzymuje pakiet ARP, odpowiada A podając swój adres MAC
  - A wysyła ramkę na adres MAC B
- ❑ A zachowuje odwzorowanie adresów IP-na-MAC w swojej tablicy ARP, dopóki informacja się nie zestarzeje
  - miękki stan (*soft state*): informacja jest zapominana (znika), jeśli nie zostanie odświeżona
- ❑ ARP jest "plug-and-play":
  - węzły tworzą tablice ARP bez interwencji administratora sieci



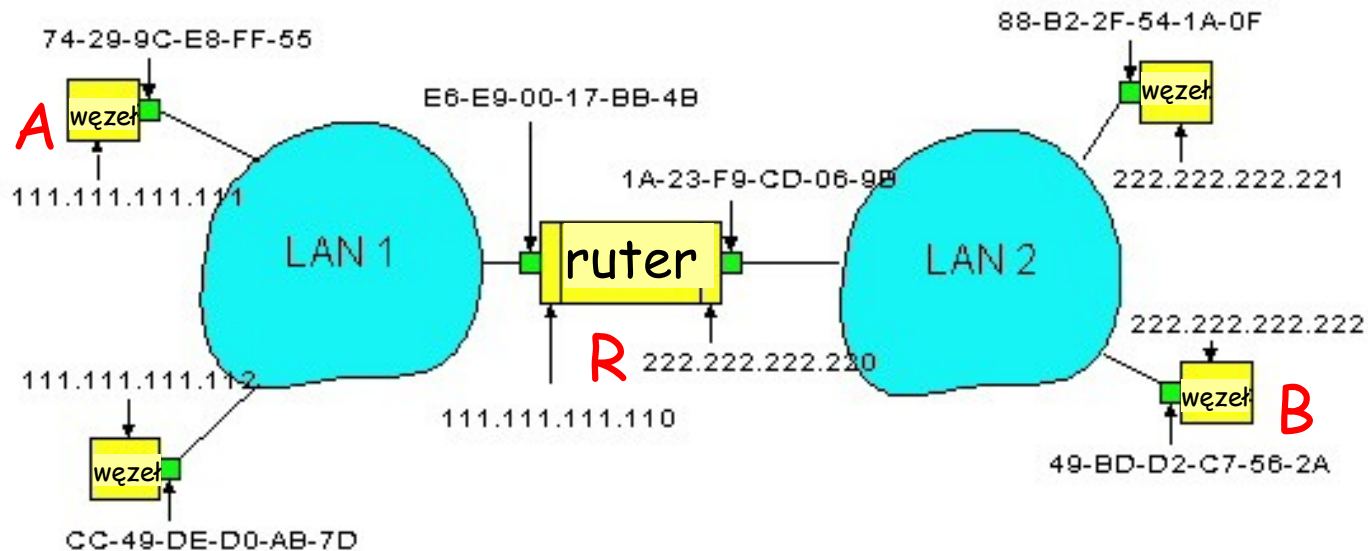
# Ruting do innej sieci LAN

krok po kroku: **wyślij pakiet od A do B przez R**  
zakładamy, że A zna adres IP B



- Dwie tablice ARP w routerze R, po jednej dla każdej sieci
- W tablicy routingu u nadawcy znajduje się adres routera, 111.111.111.110
- W tablicy ARP u nadawcy znajduje się adres MAC routera, E6-E9-00-17-BB-4B

- A tworzy pakiet z adr. nadawcy A, adr. odbiorcy B
- A używa ARP by poznać adres MAC interfejsu rutera 111.111.111.110
- A tworzy ramkę w-stwy łącza z adresem MAC rutera R jako odbiorcą, ramka zawiera pakiet A-B
- W-stwa łącza A wysyła ramkę
- W-stwa łącza R odbiera ramkę
- R usuwa pakiet IP z ramki Ethernet, widzi, że odbiorcą jest B
- R używa ARP by poznać fizyczny adres B
- R tworzy ramkę zawierającą pakiet A-B, którą wysyła do B



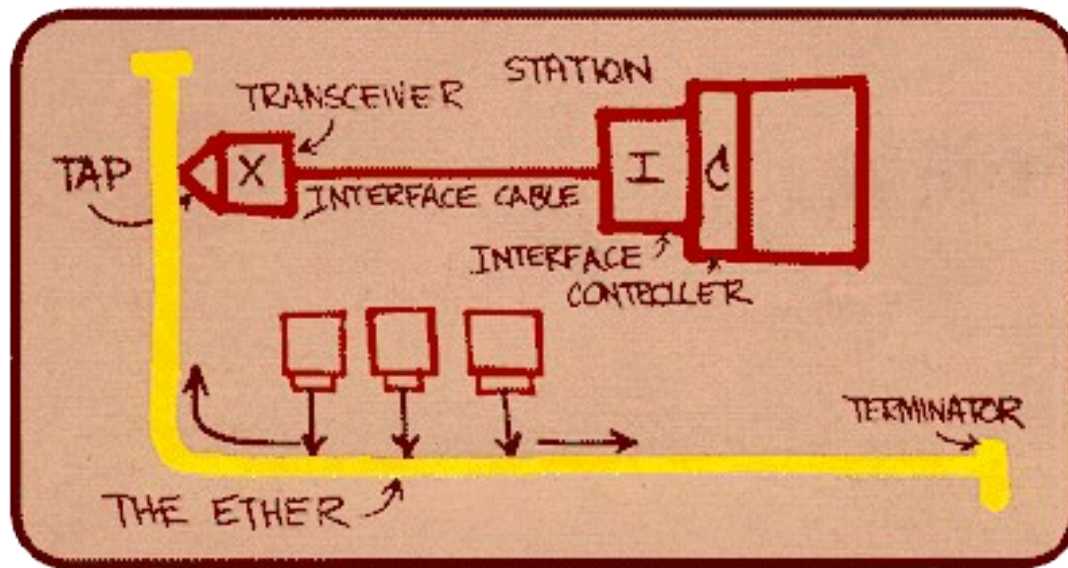
# Mapa wykładu

- 5.1 Wprowadzenie i usługi warstwy łącza
- 5.2 Rozpoznawanie i naprawa błędów
- 5.3 Protokoły wielodostępowe
- 5.4 Adresy w sieciach LAN oraz protokół ARP
- 5.5 Ethernet
- 5.6 Koncentratory, mosty, i switche
- 5.7 Bezprzewodowe łącza i sieci lokalne
- 5.8 PPP
- 5.9 ATM
- 5.10 Frame Relay

# Ethernet

“dominująca” technologia LAN:

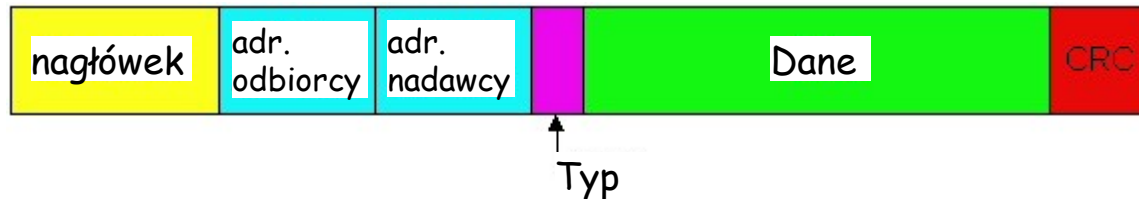
- ❑ pierwsza powszechnie używana technologia LAN
- ❑ Prostsza, tańsza niż sieci LAN z lub ATM
- ❑ Nadażała za wyścigiem prędkości: 10, 100, 1000 Mb/s



oryginalny rysunek  
Metcalfe'a  
przedstawiający  
Ethernet

# Struktura ramki Ethernet

Nadający adapter enkapsuluje pakiet IP (lub pakiet innej warstwy sieci) w **ramce Ethernet**

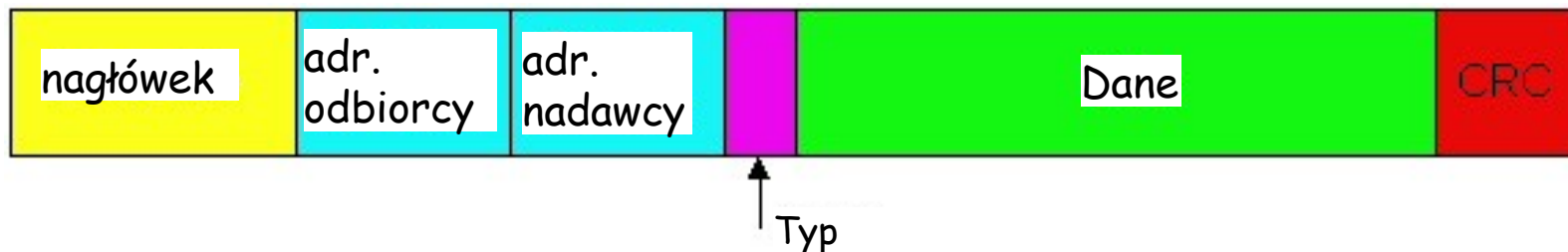


## Nagłówek:

- ❑ 7 bajtów z wzorem 10101010, a potem 1 bajt z wzorem 10101011
- ❑ używane do synchronizacji zegarów nadawcy i odbiorcy

# Struktura ramki Ethernet (c.d.)

- ❑ **Adresy:** 6 bajtów
  - jeśli adapter otrzymuje ramkę z adresem MAC adaptera, lub z adresem rozgłaszania (*broadcast*, n.p. pakiet ARP), przekazuje dane z ramki do protokołu warstwy sieci
  - w przeciwnym wypadku, adapter wyrzuca ramkę
- ❑ **Typ:** wskazuje na protokół warstwy wyższej, zwykle IP ale obsługiwane mogą być również n.p. Novell IPX, AppleTalk)
- ❑ **CRC:** sprawdzane u odbiorcy, jeśli jest błąd, to ramka jest wyrzucana



# Zawodna, bezpołączeniowa usługa

- **Bezpołączeniowa:** Nie ma sygnalizacji pomiędzy nadającym i odbierającym adapterem.
- **Zawodna:** odbierający adapter nie wysyła ACK ani NAK do nadającego adaptera
  - ciąg pakietów przekazywanych do warstwy sieci może mieć luki
  - luki będą wypełniane, jeśli aplikacja używa TCP
  - w przeciwnym wypadku, aplikacja będzie musiała sobie radzić sama

# Ethernet używa CSMA/CD

- ❑ Nie ma szczelin
- ❑ adapter nie transmituje, jeśli słyszy transmisję innego adaptera, czyli nasłuchiwanie (**carrier sense**)
- ❑ transmitujący adapter przerywa gdy zauważy, że inny adapter transmituje, czyli wykrywanie kolizji (**collision detection**)
- ❑ Zanim adapter rozpocznie retransmisję, czeka przez losowy okres czasu



# Algorytm CSMA/CD w Ethernetie

1. Adapter otrzymuje pakiet i tworzy ramkę
2. Jeśli adapter nie słyszy transmisji w kanale, zaczyna transmitować ramkę. Jeśli słyszy transmisję, czeka aż kanał jest wolny i potem transmituje
3. Jeśli adapter wyśle całą ramkę bez wykrycia innej transmisji, to koniec
4. Jeśli podczas transmisji adapter wykryje inną transmisję, przerywa i wysyła sygnał zakłócający
5. Po przerwaniu, adapter rozpoczyna **wykładnicze cofanie**: po  $m$ -tej kolizji, adapter wybiera losowo  $K$  z zbioru  $\{0, 1, 2, \dots, 2^m - 1\}$ . Adapter czeka  $K * 512$  (czas na wysłanie bitu) i wraca do kroku 2

# Ethernet's CSMA/CD (more)

**Sygnal zakłócający:** zapewnia, że wszyscy nadający dowiedzą się o kolizji; 48 bitów

**Czas wystania bitu:** 0.1 mikrosekundy dla Ethernetu 10 Mb/s; dla  $K=1023$ , czas oczekiwania to około 50 ms

**Wykładnicze cofanie:**

- **Cel:** dostosuj próby retransmisji do estymowanego obciążenia
  - duże obciążenie: losowy czas oczekiwania będzie dłuższy
- pierwsza kolizja: wybierz  $K$  z  $\{0,1\}$ ; opóźnienie  $K \times 512 \times$  czas wystania bitu
- po drugiej kolizji: wybierz  $K$  z  $\{0,1,2,3\}$ ...
- po dziesięciu kolizjach, wybierz  $K$  z  $\{0,1,2,3,4, \dots, 1023\}$

# Wydajność CSMA/CD

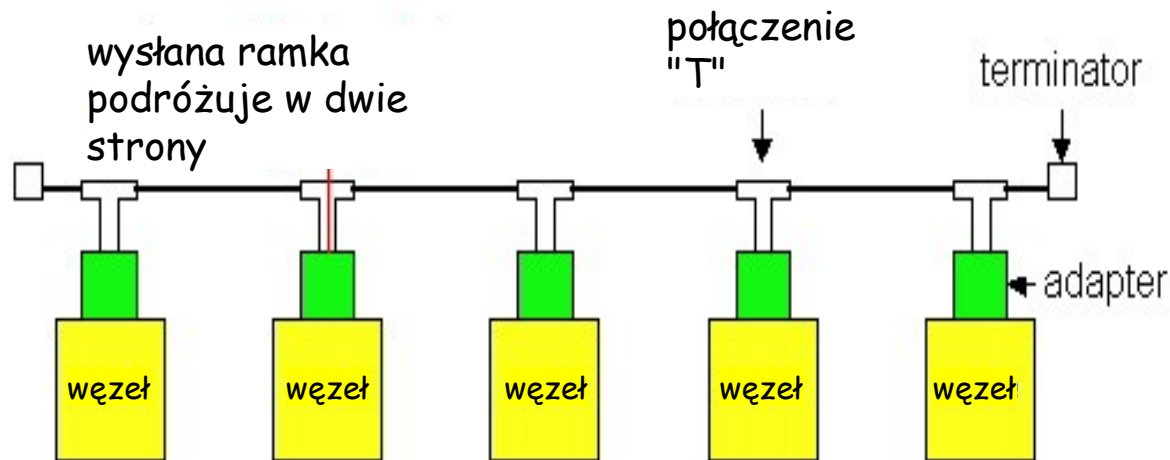
- $T_{prop}$  = najdłuższy czas propagacji pomiędzy 2 węzłami w sieci LAN
- $t_{trans}$  = czas na wystanie najdłuższej ramki

$$\text{wydajność} = \frac{1}{1 + 5t_{prop} / t_{trans}}$$

- Wydajność rośnie do 1 gdy  $t_{prop}$  maleje do 0
- Rośnie do 1 gdy  $t_{trans}$  rośnie do nieskończoności
- Dużo lepszy niż ALOHA, a nadal zdecentralizowany, prosty, i tani

# Technologie Ethernet: 10Base2

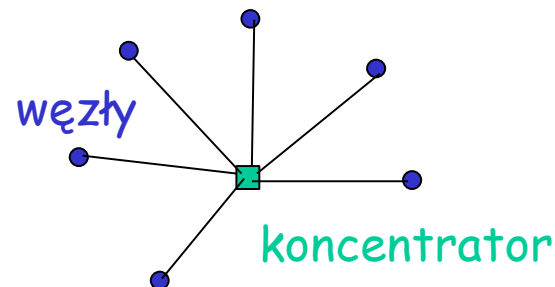
- ❑ 10: 10Mb/s; 2: maksymalna długość kabli do 200
- ❑ cienki kabel koncentryczny, "topologia szyny"



- ❑ wzmacniacze (ang. *repeater*) używane do połączenia wielu interfejsów
- ❑ wzmacniacz powtarza bity, które słyszy na jednym interfejsie, na pozostałych interfejsach: urządzenie wyłącznie w warstwie fizycznej!
- ❑ jest to już technologia odziedziczona

# 10BaseT oraz 100BaseT

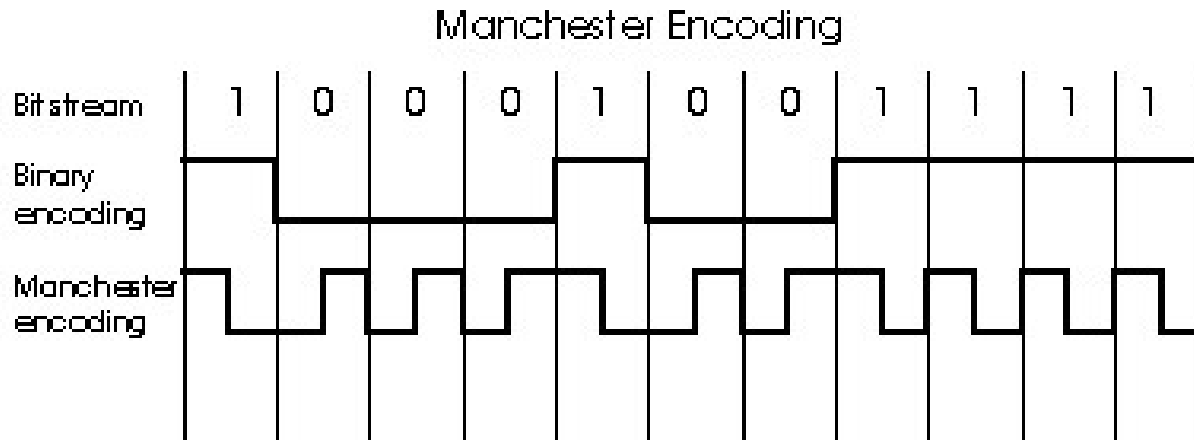
- ❑ Przepustowość 10/100 Mb/s; ta ostatnia nazywana jest "fast ethernet"
- ❑ T oznacza "Twisted Pair"
- ❑ Węzły połączone są z koncentratorom: "topologia gwiazdy"; maksymalna odległość 100 m pomiędzy węzłami i koncentratorom



# 10BaseT oraz 100BaseT (c.d.)

- Koncentratory to w zasadzie wzmacniacze:
  - bity wchodzące jednym łączem wychodzą na wszystkich łączach
  - nie ma buforowania ramek
  - koncentrator nie używa CSMA/CD: adaptory wykrywają kolizje
  - udostępnia funkcjonalność zarządzania siecią

# Kodowanie Manchester



- ❑ Używane w 10BaseT, 10Base2
- ❑ Każdy bit ma zmianę sygnału
- ❑ Pozwala synchronizować zegary nadających i odbierających węzłów
  - nie potrzeba centralnego, globalnego zegara dla tych węzłów!
- ❑ Ale to są zagadnienia warstwy fizycznej!

# Gbit Ethernet

- ❑ używa standardowego formatu ramki Ethernet
- ❑ pozwala na łącza punkt-punkt oraz wielodostępowe
- ❑ w trybie wielodostępowym, używa CSMA/CD; wymaga małych odległości między węzłami w celu zwiększenia wydajności
- ❑ używa koncentratorów, zwanych "Buffered Distributors"
- ❑ Full-Duplex z przepustowością 1 Gb/s dla łącz punkt-punkt
- ❑ 10 Gb/s jest już dostępne!



# Mapa wykładu

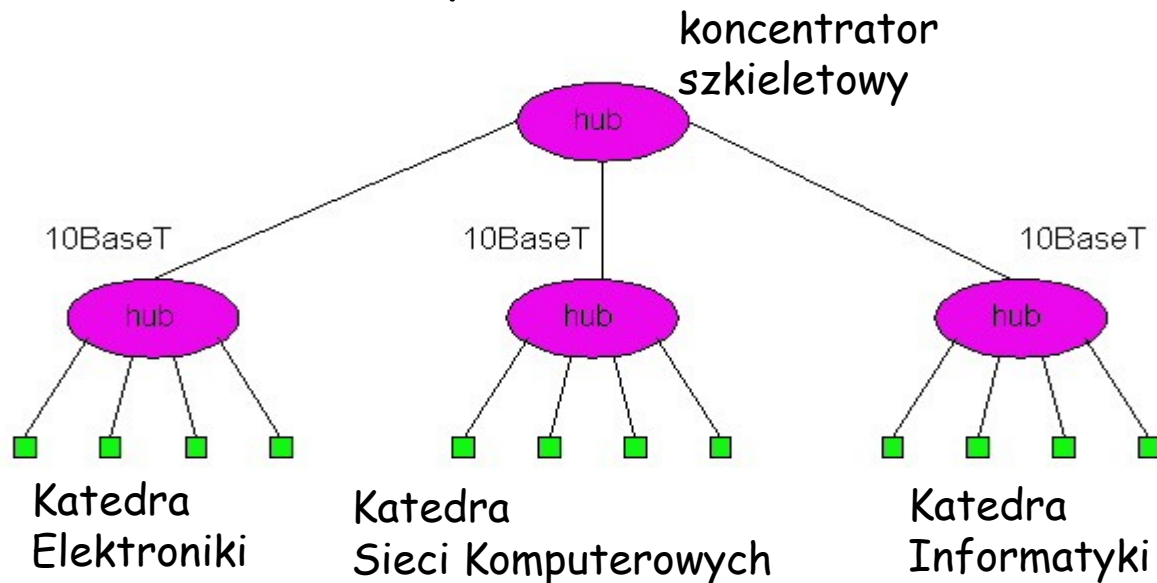
- ❑ 5.1 Wprowadzenie i usługi warstwy łącza
- ❑ 5.2 Rozpoznawanie i naprawa błędów
- ❑ 5.3 Protokoły wielodostępowe
- ❑ 5.4 Adresy w sieciach LAN oraz protokół ARP
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Koncentratory, mosty, i switche
- ❑ 5.7 Bezprzewodowe łącza i sieci lokalne
- ❑ 5.8 PPP
- ❑ 5.9 ATM
- ❑ 5.10 Frame Relay

# Łączenie segmentów sieci LAN

- ❑ Koncentratory
- ❑ Mosty
- ❑ Switche (przełączniki)
  - Uwaga: switche to w zasadzie mosty o wielu interfejsach.
  - To co mówimy o mostach, jest również prawdziwe dla switchy!

# Łączenie za pomocą koncentratorów

- ❑ Szkieletowy koncentrator łączy segmenty LAN
- ❑ Zwiększa maksymalną odległość między węzłami
- ❑ **Ale domeny kolizyjne** pojedynczych segmentów łączą się w jedną, dużą domenę kolizyjną
  - jeśli węzeł w katedrze sieci i węzeł w bazach danych będą transmitowały jednocześnie, nastąpi kolizja
- ❑ Nie można tak łączyć 10BaseT ani 100BaseT

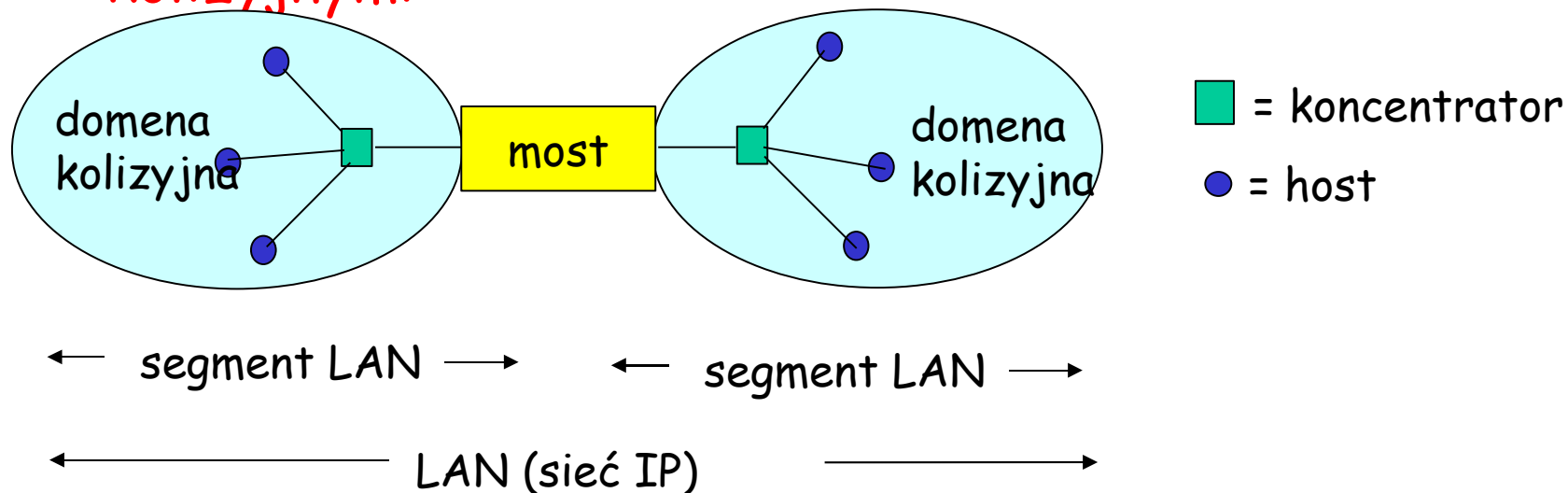


# Mosty

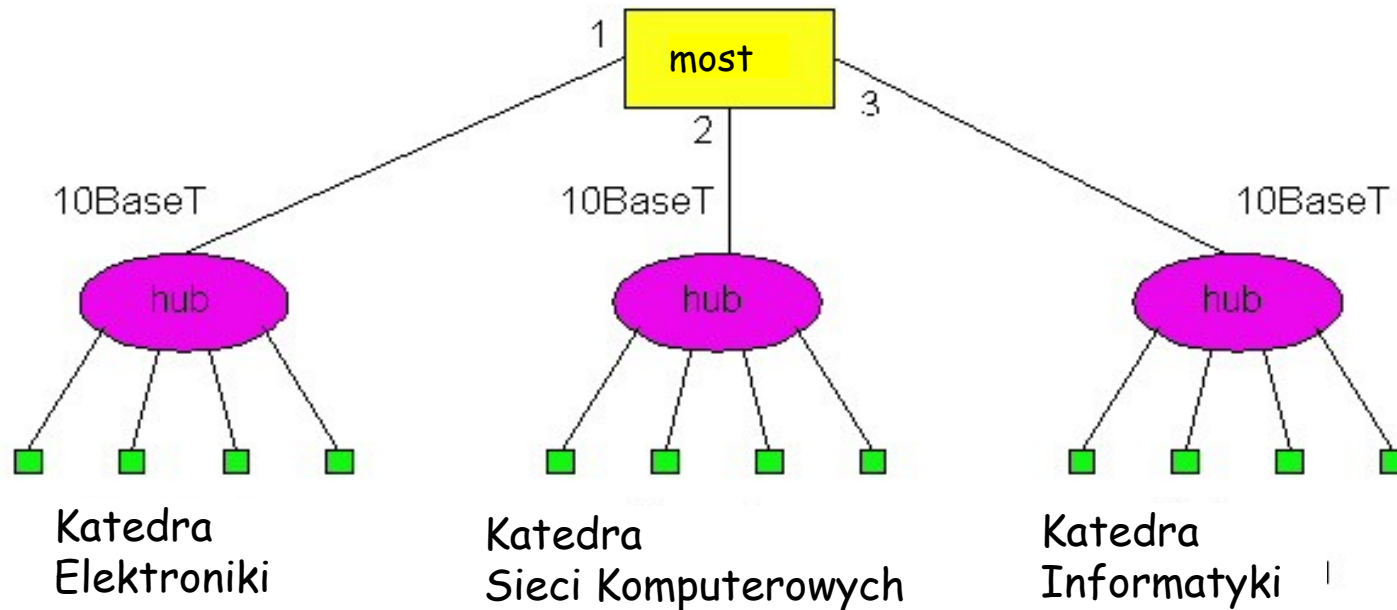
- **Urządzenia warstwy łącza**
  - zachowuje i przekazuje ramki Ethernet
  - bada nagłówki ramki i **selektywnie** przekazuje ramki w oparciu o adres MAC odbiorcy
  - kiedy ramka ma zostać przekazana na pewien segment, używa CSMA/CD w celu dostępu do segmentu
- przezroczyste
  - hosty nie zauważają obecności mostów
- plug-and-play, samouczące się
  - mosty nie muszą być konfigurowane

# Mosty: izolacja ruchu

- Instalacja mostu dzieli LAN na segmenty LAN
- mosty **filtrują** pakiety:
  - ramki adresowane do węzła w tym samym segmencie LAN zwykle nie są przekazywane do innych segmentów LAN
  - segmenty stają się oddzielnymi **domenami kolizyjnymi**



# Przekazywanie



Jak stwierdzić, do którego segmentu LAN należy przekazać ramkę?

- To wygląda jak problem routingu...

# Samouczenie się mostu

- ❑ Most ma **tablicę mostu**
- ❑ wpis w tablicy mostu:
  - (Adres LAN węzła, Interfejs Mostu, Znacznik Czasu)
  - stare wpisy w tabeli są wyrzucane (TTL może wynosić 60 minut)
- ❑ mosty **uczą się** które hosty są osiągalne przez które interfejsy
  - kiedy most otrzymuje ramkę, "uczy się" położenia nadawcy: segment LAN z którego przyszła ramka
  - zapisuje w tablicy mostu parę nadawca/lokalizacja

# Filtrowanie/Przekazywanie

Kiedy most otrzymuje ramkę:

przeszukuje tablicę mostu używając adresu MAC

**if** znalazł wpis dla odbiorcy ramki

**then**{

**if** adresat jest w segmencie, z którego nadeszła ramka

**then** wyrzuca ramkę

**else** przekazuje ramkę na wskazanym interfejsie

}

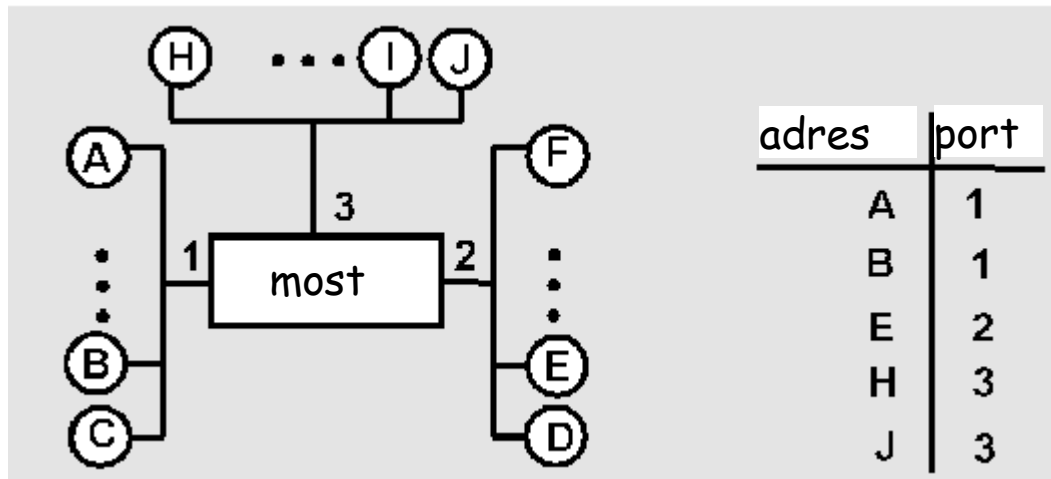
**else** zalewa

*wysyła na wszystkich interfejsach oprócz tego, którym przyszła ramka*



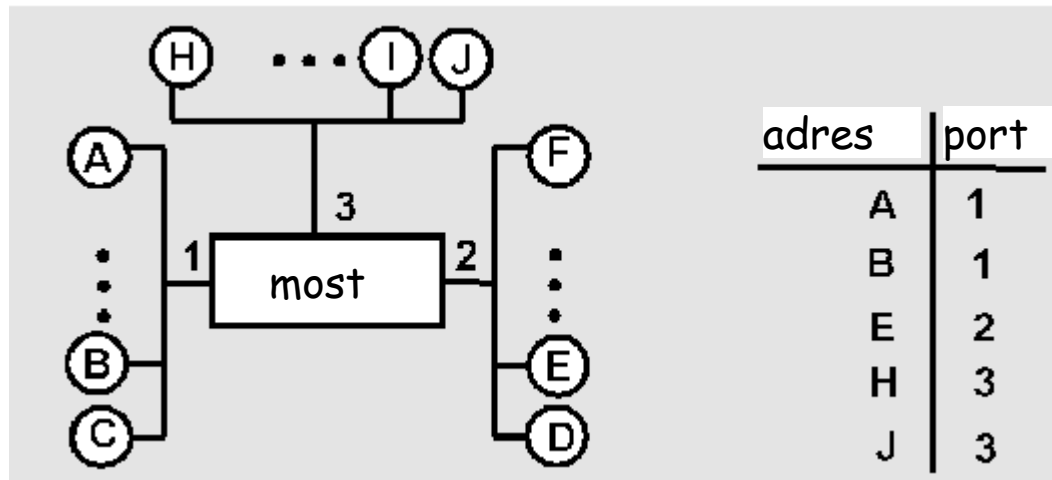
# Przykład działania mostu

Założmy, że C wysyła ramkę do D, a D odpowiada ramką wysłaną do C.



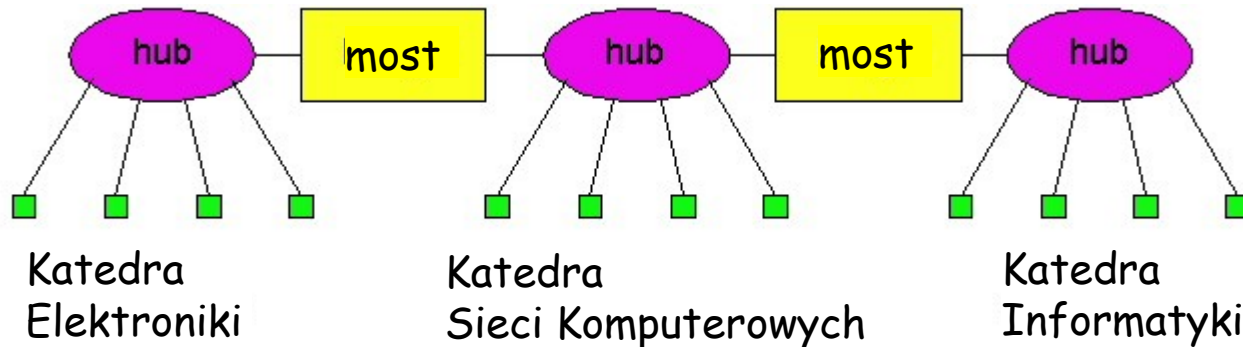
- ❑ Most otrzymuje ramkę od C
  - Zapisuje w tablicy mostu, że C jest na interfejsie 1
  - ponieważ D nie jest w tabeli, most wysyła ramkę przez interfejsy 2 i 3
- ❑ ramka otrzymana przez D

# Przykład działania mostu, c.d.



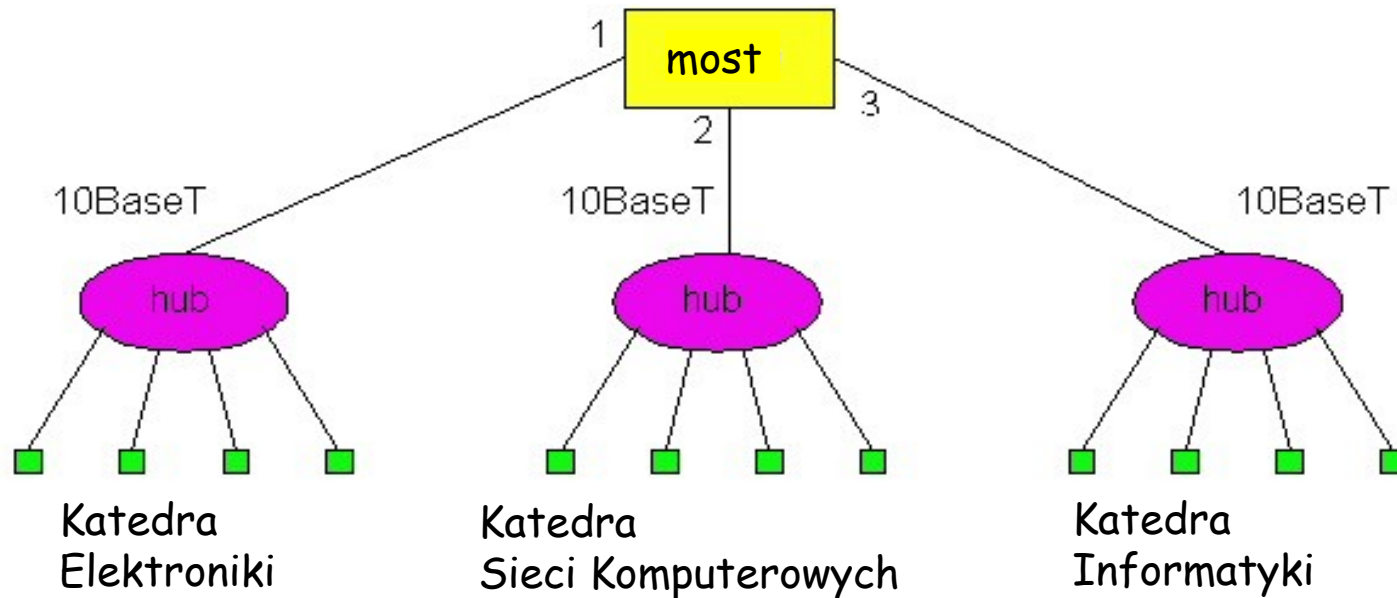
- D tworzy i wysyła ramkę dla C
- most otrzymuje ramkę
  - zapisuje w tablicy mostu, że D jest na interfejsie 2
  - most wie, że C jest na interfejsie 1, dlatego *selektywnie* przekazuje ramkę na interfejs 1

# Sekwencyjne połączenie segmentów



- ❑ Nie jest zalecane z dwóch przyczyn:
  - koncentrator w katedrze SK staje się centralnym punktem awarii
  - cały ruch pomiędzy katedrą E oraz I musi przechodzić przez segment SK

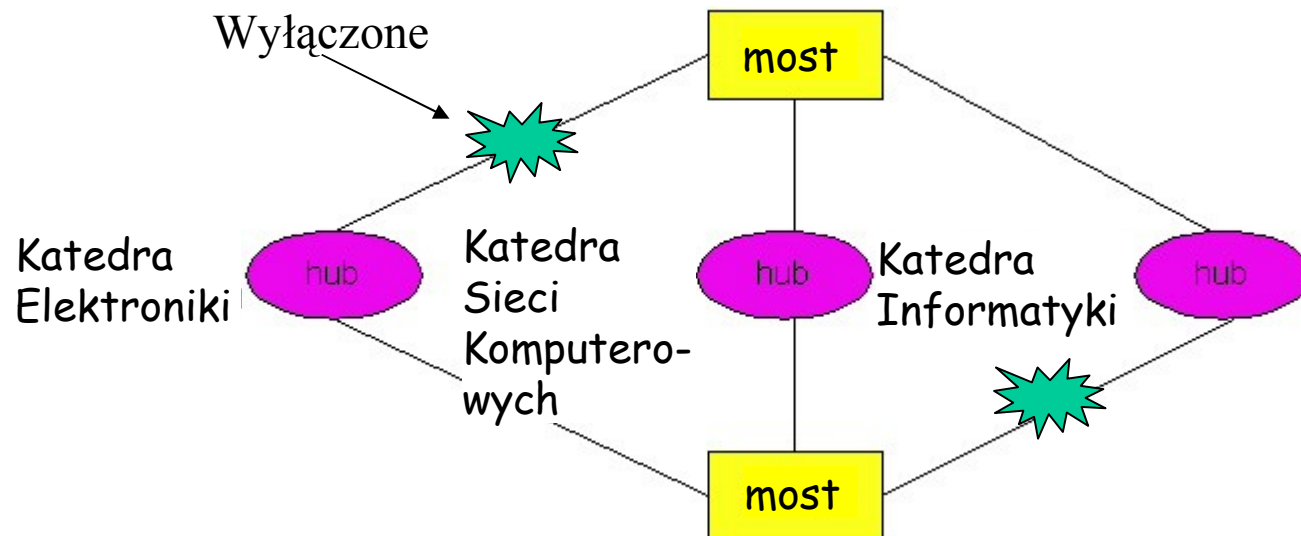
# Łączenie w topologii drzewa



Zalecane !

# Drzewa mostów

- dla zwiększenia niezawodności, zalecane są dodatkowe, alternatywne ścieżki od nadawcy do odbiorcy
- przy wielu ścieżkach, tworzą się cykle - mosty mogły by bez końca przekazywać ramki w kółko
- rozwiązanie: zorganizować mosty w drzewo przez wyłączenie części interfejsów

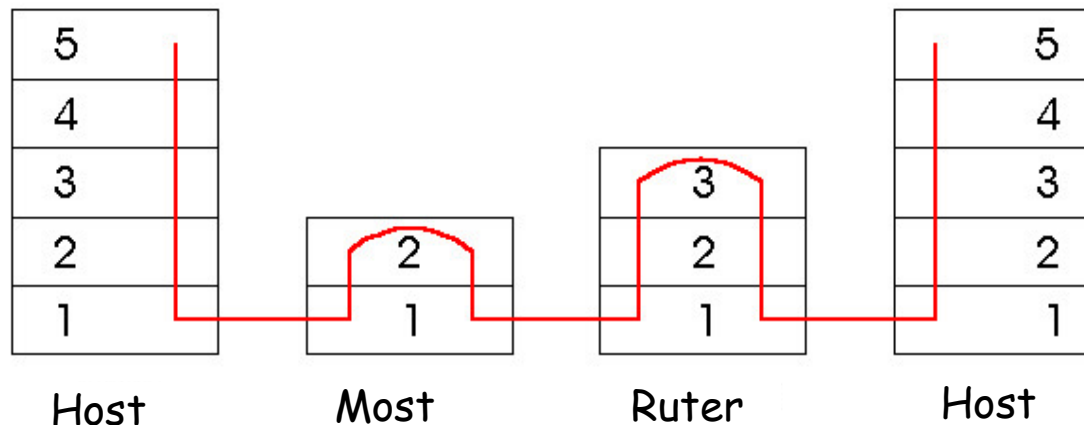


# Niektóre cechy mostów

- ❑ Izolują domeny kolizyjne, co zwiększa maksymalną całkowitą przepustowość sieci
- ❑ nieograniczona ilość węzłów i obszaru sieci
- ❑ Mogą łączyć różne rodzaje Ethernetu
- ❑ Przezroczyste ("plug-and-play"): nie jest potrzebna ich konfiguracja

# Mosty a Rutery

- są to urządzenia typu zachowaj i przekaz
  - rutery: urządzenie warstwy sieci (czytają nagłówki warstwy sieci)
  - mosty są urządzeniami warstwy łącza
- rutery utrzymują tablice routingu, implementują algorytmy routingu
- mosty utrzymują tablice mostów, implementują filtrowanie, uczenie się i algorytmy drzew rozpinających



# Mosty a Rutowe

## + i - mostu

- + Działanie mostu jest prostsze i wymaga mniej przetwarzania niż w ruterze
- + Tablice mostów są samouczące się
- Cały ruch jest ograniczony do drzewa rozpinającego, nawet gdy istnieje alternatywna przepustowość
- Mosty nie chronią przed zalewem przy rozgłaszaniu



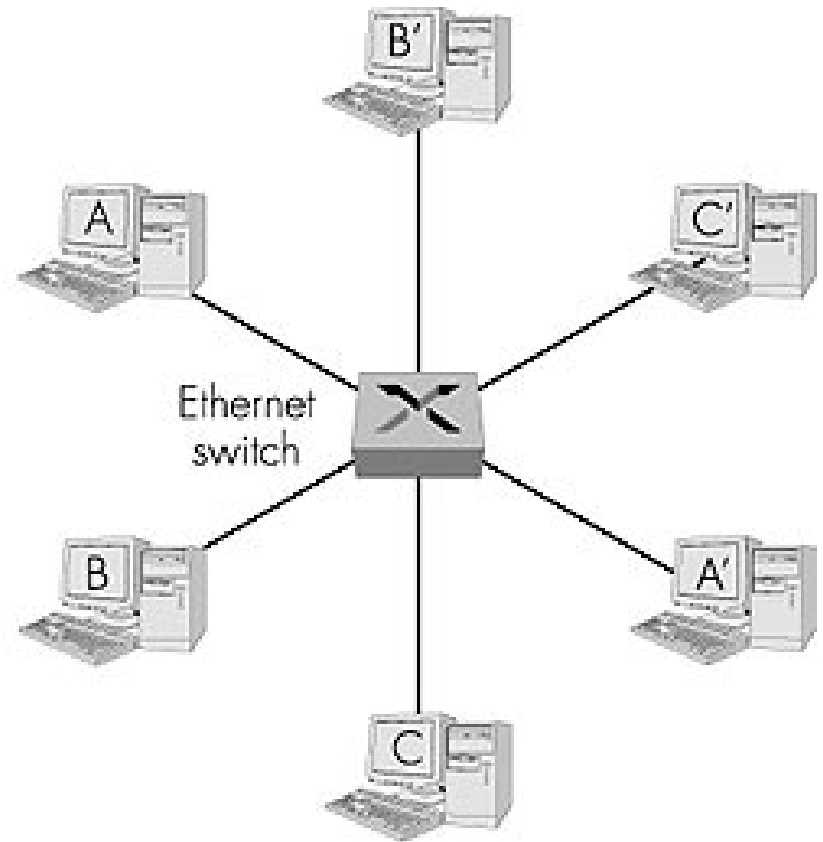
# Rutery a Mosty

## + i - rutera

- + pozwalają na dowolne topologie, cykle są kontrolowane przez liczniki TTL (i dobre protokoły rutingu)
  - + chronią przed zalewem przy rozgłaszaniu
  - wymagają konfiguracji IP (nie są plug and play)
  - wymagają więcej przetwarzania (w wyższej warstwie)
- mosty radzą sobie dobrze w małych sieciach (zwykle do kilkuset węzłów) podczas gdy rutery są używane w dużych sieciach (tysiące węzłów)

# Switche (przełączniki) Ethernet

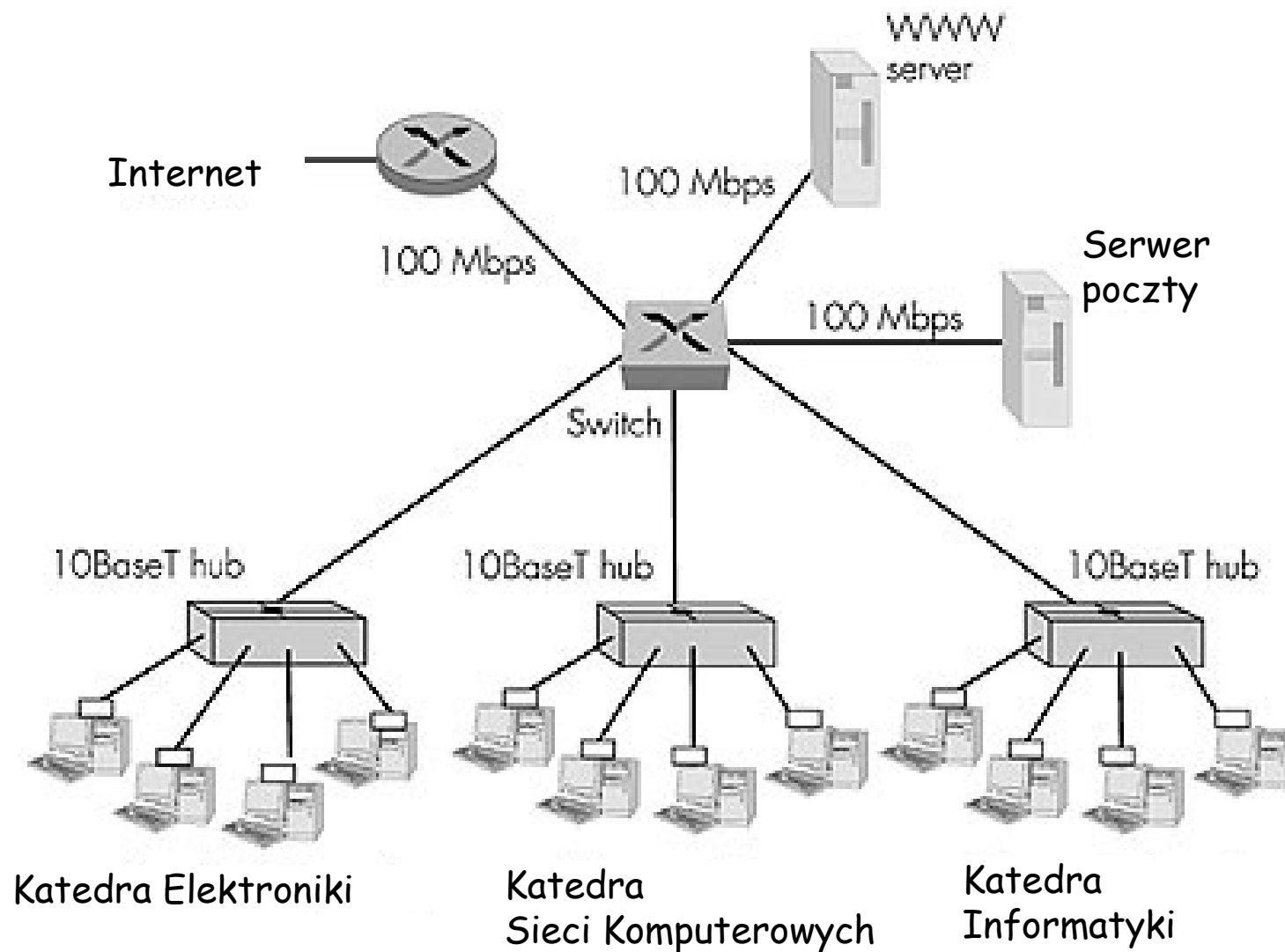
- ❑ W zasadzie, jest to most z wieloma interfejsami
- ❑ przekazuje (ramki) w warstwie drugiej, filtruje za pomocą adresów LAN
- ❑ **Switching:** A-do-A' i B-do-B' jednocześnie, bez kolizji
- ❑ duża ilość interfejsów
- ❑ często: pojedyncze hosty są połączone w topologii gwiazdy do switcha
  - Ethernet, ale bez kolizji (i podsłuchiwania)!



# Switche (przełączniki) Ethernet

- bezpośrednio przekazywanie (ang. *cut-through switching*): ramka przekazywana z portu wejściowego na port wyjściowy bez oczekiwania na otrzymanie całej ramki
  - lekkie zmniejszenie opóźnień
- połączenie współdzielonych/dedykowanych interfejsów 10/100/1000 Mb/s

# Nie jest to nietypowa sieć LAN (IP)



# Podsumowujące porównanie

	<u>koncen- trator</u>	<u>most</u>	<u>ruter</u>	<u>switch</u>
izolacja ruchu	nie	tak	tak	tak
plug & play	tak	tak	nie	tak
optymalny ruting	nie	nie	tak	nie
bezpośrednie przekaz.	tak	nie	nie	tak

# Mapa wykładu

- ❑ 5.1 Wprowadzenie i usługi warstwy łącza
- ❑ 5.2 Rozpoznawanie i naprawa błędów
- ❑ 5.3 Protokoły wielodostępowe
- ❑ 5.4 Adresy w sieciach LAN oraz protokół ARP
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Koncentratory, mosty, i switche
- ❑ 5.7 Bezprzewodowe łącza i sieci lokalne
- ❑ 5.8 PPP
- ❑ 5.9 ATM
- ❑ 5.10 Frame Relay