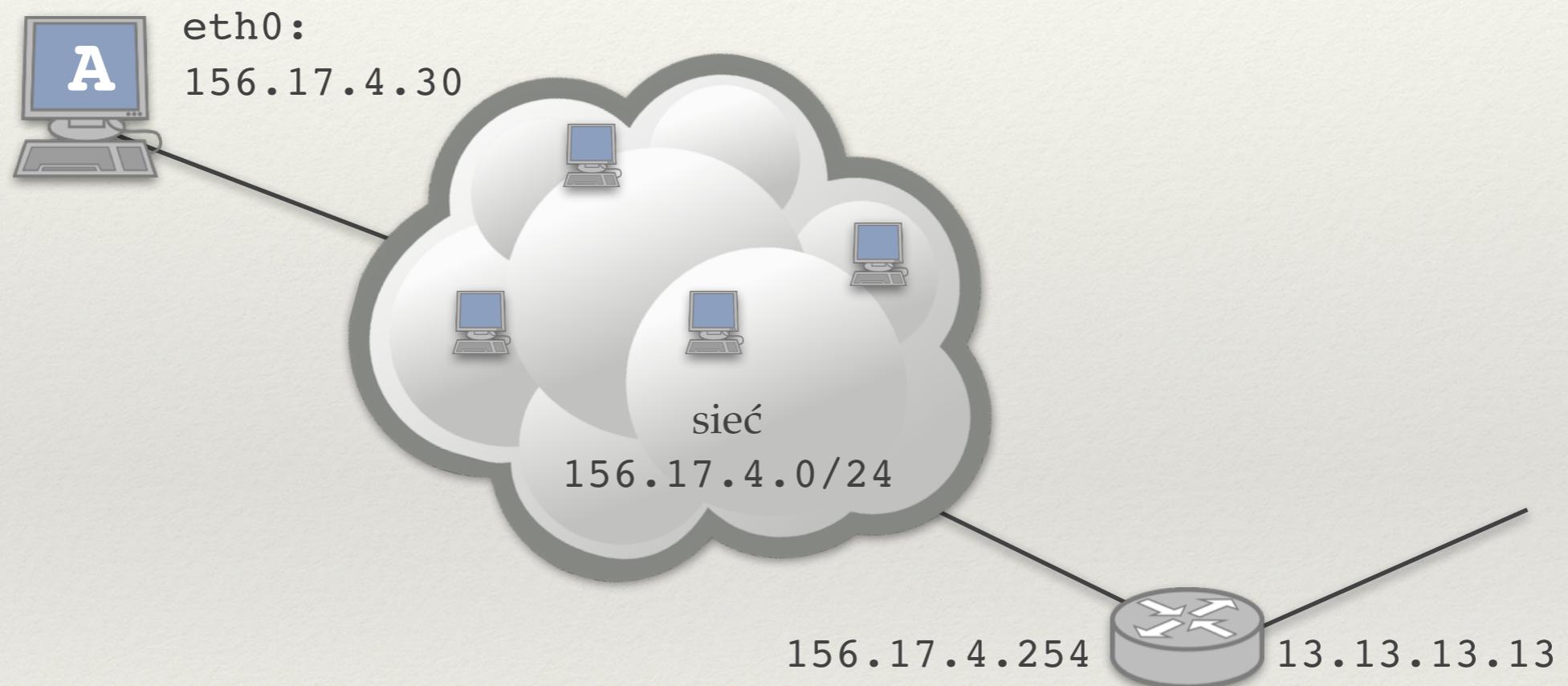


Niższe warstwy

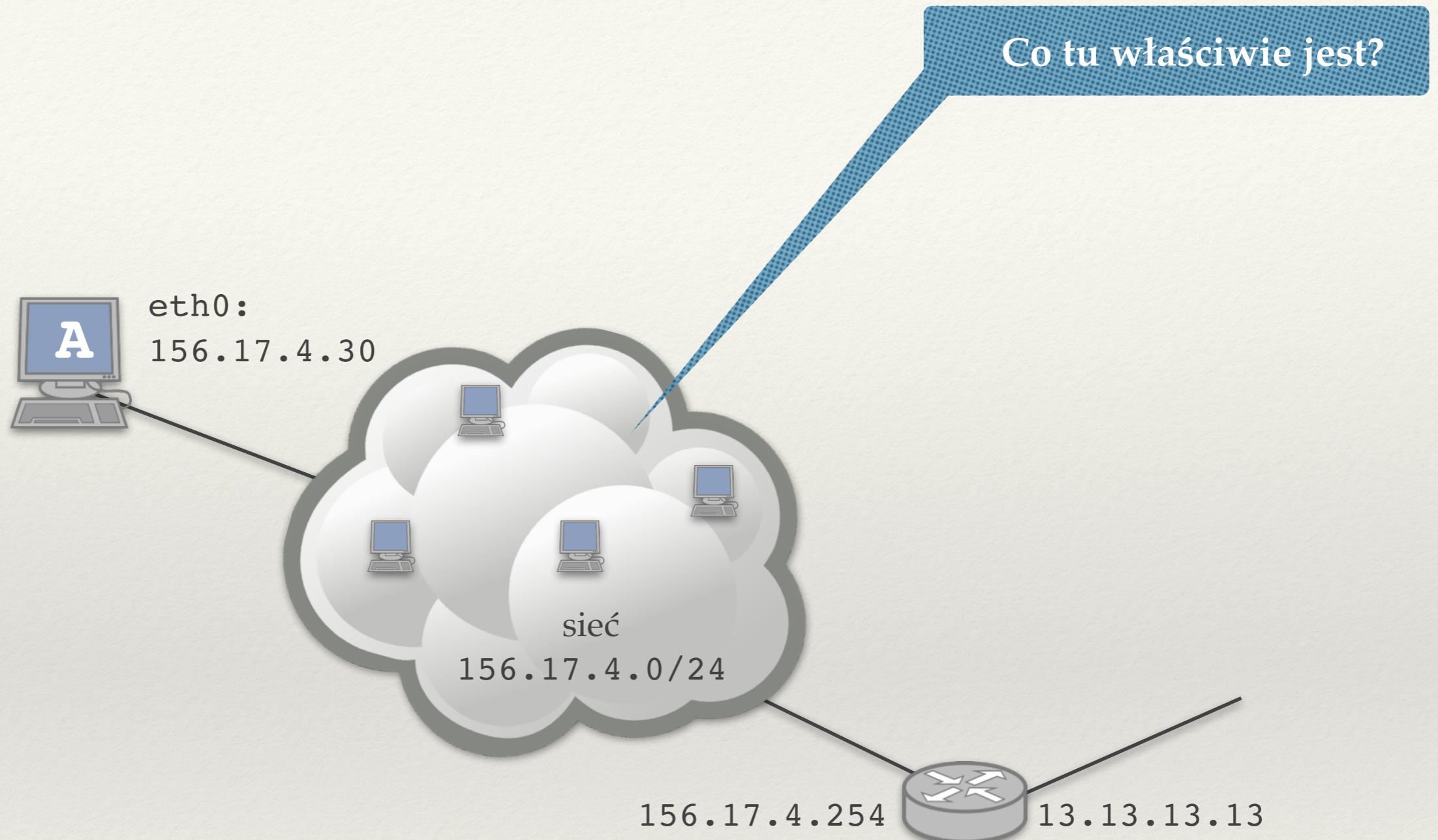
Marcin Bieńkowski

Sieci komputerowe
Wykład 5

Świat z punktu widzenia warstwy sieciowej

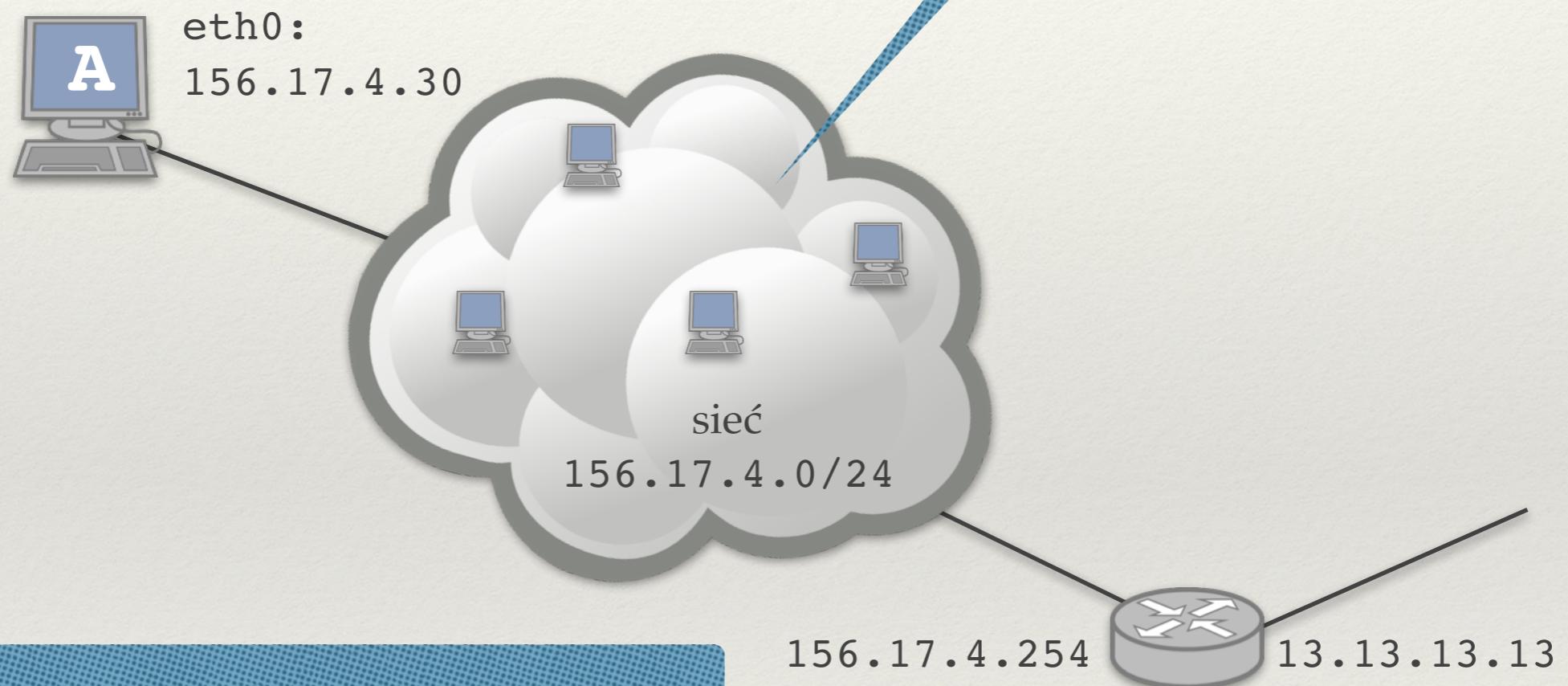


Świat z punktu widzenia warstwy sieciowej



Świat z punktu widzenia warstwy sieciowej

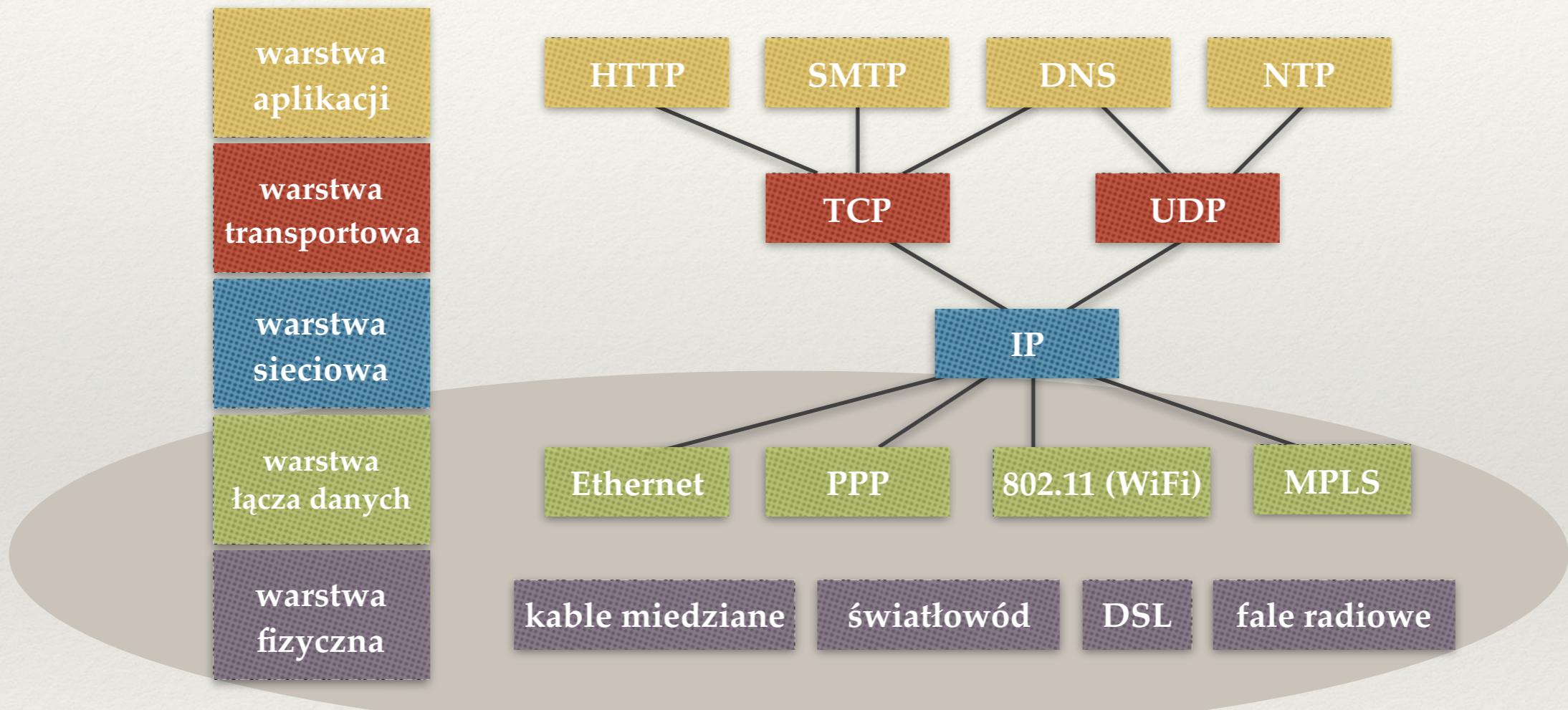
Co tu właściwie jest?



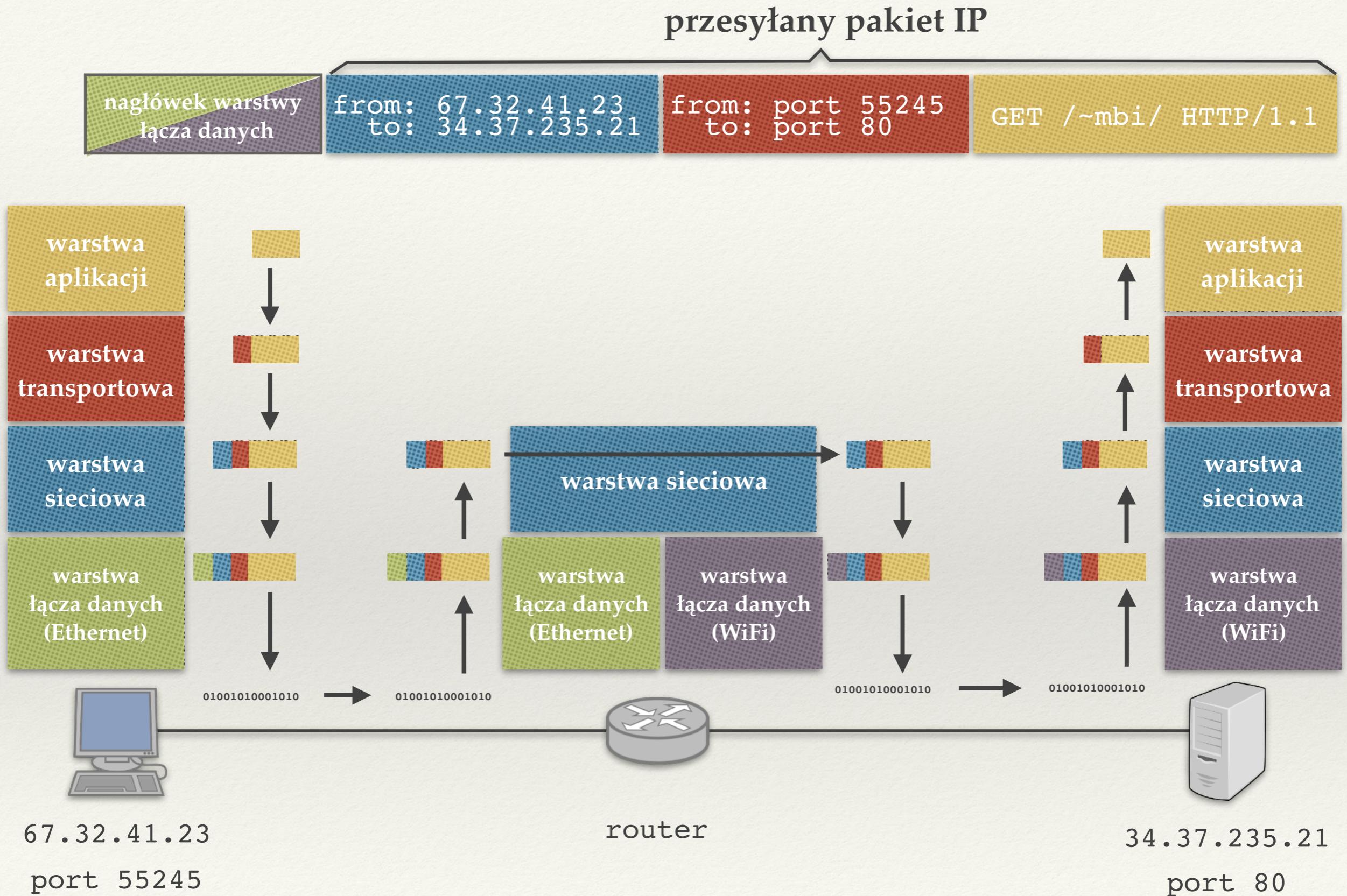
Co się dzieje, kiedy A wysyła pakiet do:

- * 156.17.4.254?
- * 156.17.4.255? (adres rozgłoszeniowy)

Internetowy model warstwowy (1)



Internetowy model warstwowy (2)



Dwie warstwy

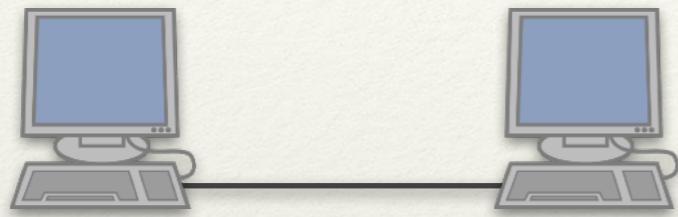
- ❖ **Warstwa łącza danych**
 - ◆ Umożliwia komunikację między dwoma „bezpośrednio połączonymi” urządzeniami.
 - ◆ Zapewnia zawodną usługę wysyłania *ramek*.
 - ◆ Kanał komunikacyjny może być współdzielony między wieloma urządzeniami.
 - ◆ Musi radzić sobie z błędami transmisji.

- ❖ **Warstwa fizyczna**
 - ◆ Określa szczegóły przesyłania pojedynczych bitów.
 - ◆ Kodowanie za pomocą sygnałów elektrycznych, fal radiowych itp.

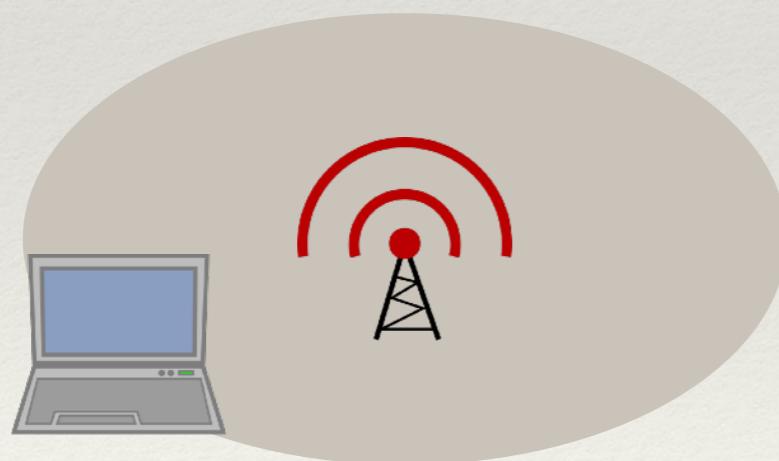
Najczęstsze standardy

- ❖ LAN (*Local Area Network*) — sieć lokalna
 - ◆ Sieci przewodowe: **Ethernet (IEEE 802.3)**.
 - ◆ Sieci bezprzewodowe: **WLAN (IEEE 802.11)**.
- ❖ WAN (*Wide Area Network*) — sieć rozległa
 - ◆ Frame Relay, MPLS, PPP, ...
- ❖ Standardy opisują obie warstwy (łącza danych i fizyczną).
- ❖ Implementowane na kartach sieciowych (w firmware).

Połączenia dwupunktowe

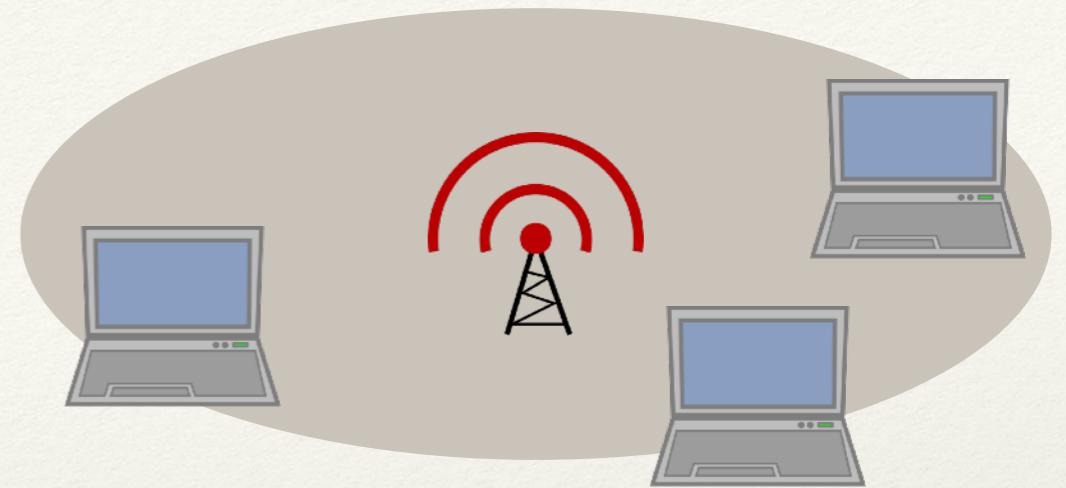


Komunikacja półduplexowa lub pełnoduplexowa w zależności od możliwości kabla.

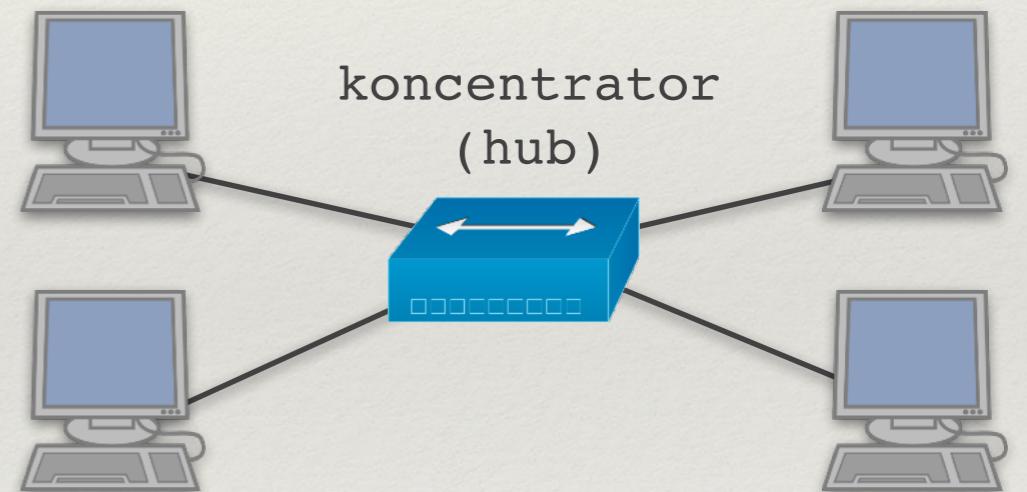


Komunikacja półduplexowa.

Połączenia wielopunktowe



- ❖ Wiele urządzeń podpiętych do tego samego kanału komunikacyjnego.
- ❖ Połączenie półduplekowe.
- ❖ Jak zapewnić, że tylko jedno urządzenie nadaje?



Współzielony kanał

Właściwości

- ❖ Dokładnie 1 komputer nadaje → wszyscy go słyszą.
- ❖ 2 komputery nadają jednocześnie → zakłócony sygnał:
 - ◆ kolizje (sieci przewodowe),
 - ◆ interferencje (sieci bezprzewodowe).
- ❖ Zazwyczaj nie można wtedy odczytać komunikatu.
- ❖ Czasem kolizje są nierozróżnialne od braku wiadomości.

Założenia

Co daje warstwa fizyczna w sieci przewodowej?

- ❖ Wiemy, czy ktoś nadaje (*carrier sense*).
- ❖ Wykrywanie kolizji (wiemy, że nastąpiła).
- ❖ Brak dodatkowego kanału na komunikaty kontrolne.

Rozwiązania deterministyczne

Oparte o wybrany jeden komputer

- ❖ Jeden komputer odpytuje pozostałe komputery.
- ❖ Decyduje, ile czasu mają nadawać.
- ❖ Wariant: TDMA (*time division multiple access*) = wybrane urządzenie dyktuje sloty czasowe (Bluetooth, sieci 2G i 4G, ...).

Oparte o przekazywanie żetonu.

- ❖ Skomplikowane i podatne na błędy implementacyjne.
- ❖ Gubienie żetonu, duplikacja żetonu, ...

Podejście losowe (1)

Rundowy ALOHA

- ❖ Czas podzielony na rundy; runda wystarcza do nadania jednej ramki.
- ❖ Sukces (ramka słyszana) = dokładnie 1 komputer nadaje.
- ❖ Jeśli komputer ma ramkę danych do wysłania, wysyła ją z ppb. p .
- ❖ Dla $p = 1/n$, gdzie n = liczba komputerów, które chcą wysłać ramkę, sukces średnio co e $\sim 2,71$ tur (dla dużych $n \rightarrow$ ćwiczenie)
- ❖ **Problemy:**
 - ◆ dość niskie wykorzystanie łącza ($\sim 1/e$),
 - ◆ musimy znać n , żeby wybrać optymalne p ,
 - ◆ potrzebujemy globalnego zegara.

Podejście losowe (2)

(Bezrundowy) ALOHA

- ❖ Jak poprzednio, ale każdy ma własne rundy (bez globalnego zegara).
- ❖ Przy $p = 1/n$, wykorzystanie łącza dwukrotnie niższe (ok. $1/(2e)$).
- ❖ Faktycznie wykorzystywany na przełomie lat 60 i 70 na Hawajach.



Zdjęcie Normana Abramsona ze strony
<https://halborn.net/category/photos/page/2/>

Podejście losowe (3)

CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*)

- ❖ Na początku sprawdź, czy kanał jest wolny.
- ❖ Jeśli tylko zauważysz kolizję, przestań nadawać.
- ❖ Dopasuj dynamicznie wartość p (algorytm *odczekiwania wykładniczego*):
 - ♦ Początkowo: $p \leftarrow 1$,
 - ♦ po kolizji: $p \leftarrow p / 2$.

CSMA/CD w Ethernecie

Dla każdej ramki do wysłania:

1. $m \leftarrow 1$
2. Poczekaj aż kanał będzie pusty i zacznij nadawać.
3. Podczas nadawania, nasłuchuj. Jeśli usłyszysz kolizję:
 - ♦ skończ nadawać,
 - ♦ wylosuj k ze zbioru $\{ 0, \dots, 2^m - 1 \}$ i oczekaj k rund,
 - ♦ $m \leftarrow m + 1$,
 - ♦ wróć do kroku 2.

CSMA/CD w Ethernecie

Dla każdej ramki do wysłania:

1. $m \leftarrow 1$
2. Poczekaj aż kanał będzie pusty i zacznij nadawać.
3. Podczas nadawania, nasłuchuj. Jeśli usłyszysz kolizję:
 - ♦ skończ nadawać,
 - ♦ wylosuj k ze zbioru $\{ 0, \dots, 2^m - 1 \}$ i oczekaj k rund,
 - ♦ $m \leftarrow m + 1$,
 - ♦ wróć do kroku 2.

1. Czy kolizja jest związana z bieżącą transmisją / czy ramka dotarła?

CSMA/CD w Ethernecie

Dla każdej ramki do wysłania:

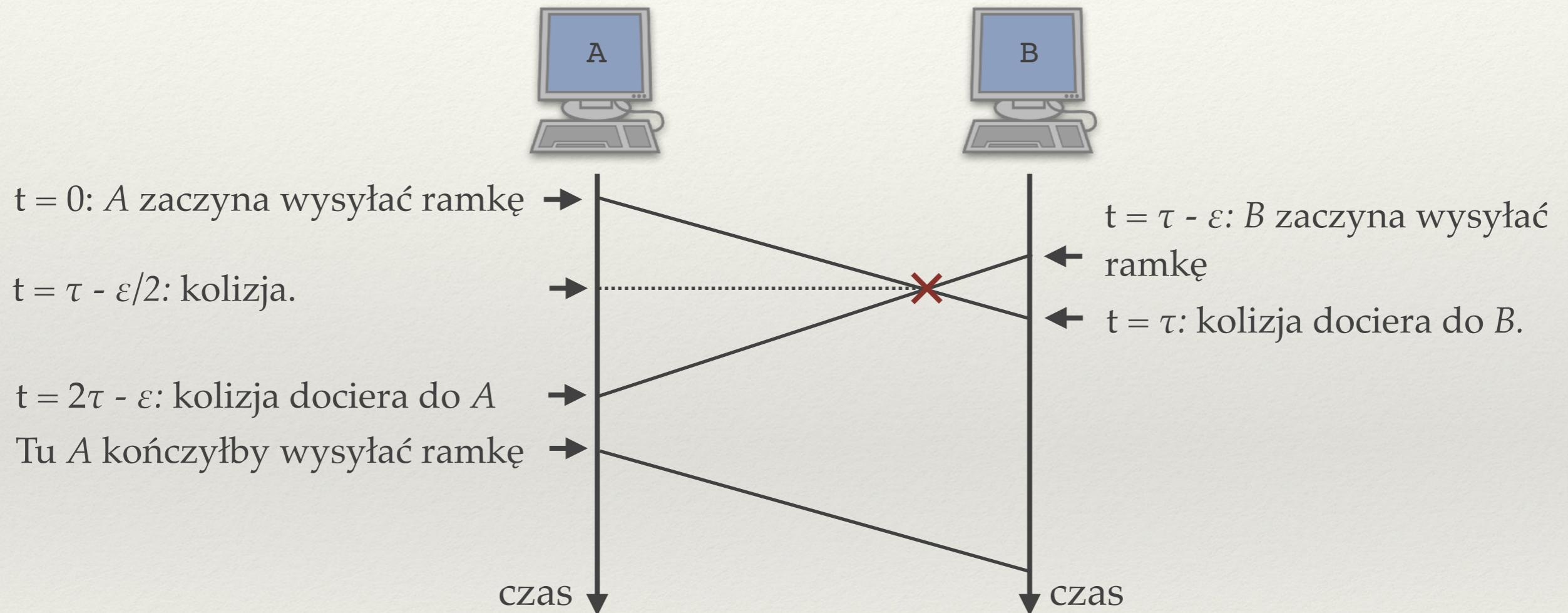
1. $m \leftarrow 1$
2. Poczekaj aż kanał będzie pusty i zacznij nadawać.
3. Podczas nadawania, nasłuchuj. Jeśli usłyszysz kolizję:
 - ♦ skończ nadawać,
 - ♦ wylosuj k ze zbioru $\{ 0, \dots, 2^m - 1 \}$ i oczekaj k rund,
 - ♦ $m \leftarrow m + 1$,
 - ♦ wróć do kroku 2.

1. Czy kolizja jest związana z bieżącą transmisją / czy ramka dotarła?
2. Jak dobrą długość rundy?

Czy ramka dotarła? (1)

Opcja 1: umiemy jednocześnie nadawać i słuchać.

- ❖ Sieci przewodowe (Ethernet). Niech τ = czas propagacji.



- ❖ Czas wysłania ramki $\geq 2 \tau \rightarrow$ wtedy albo ramka dotrze do odbiorcy albo dowiemy się o kolizji podczas jej nadawania.

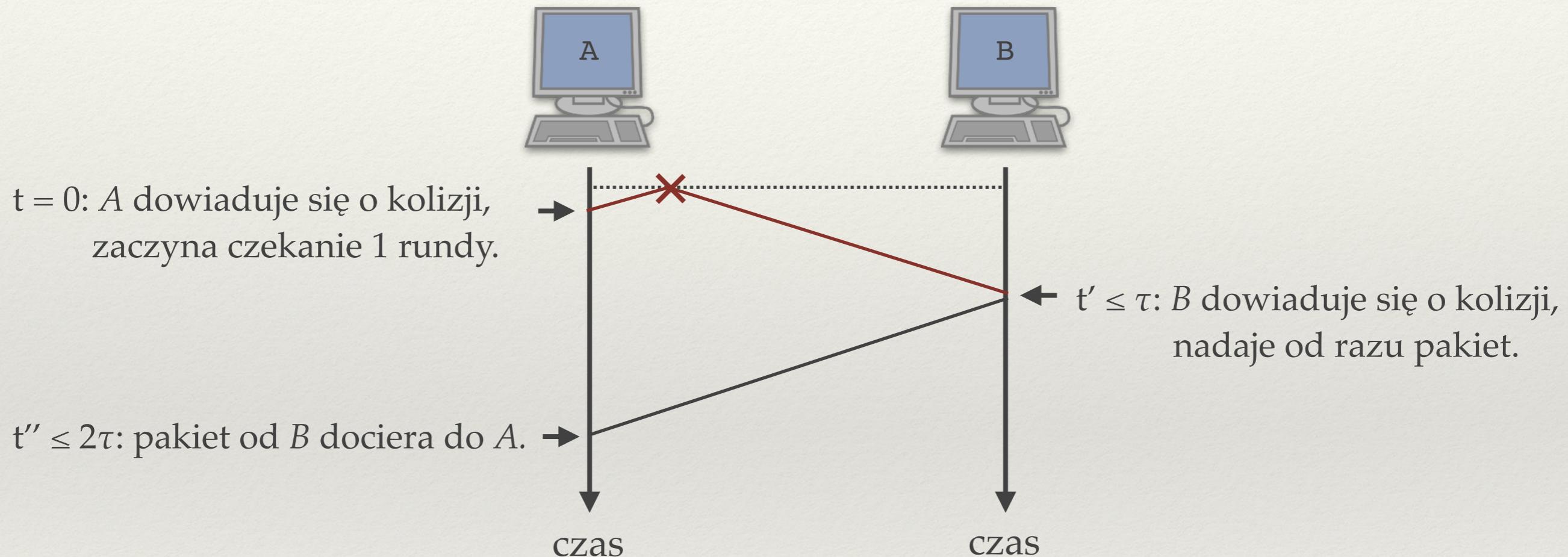
Czy ramka dotarła? (1)

Opcja 1: umiemy jednocześnie nadawać i słuchać.

- ❖ Niech τ = czas propagacji.
- ❖ Czas wysłania ramki $\geq 2 \tau \rightarrow$ wtedy albo ramka dotrze do odbiorcy albo dowiemy się o kolizji podczas jej nadawania.
- ❖ Ethernet definiuje max. odległość w sieci i min. długość ramki (np. przy prędkości 100 Mbit odpowiednio 100 m i 64 bajty).

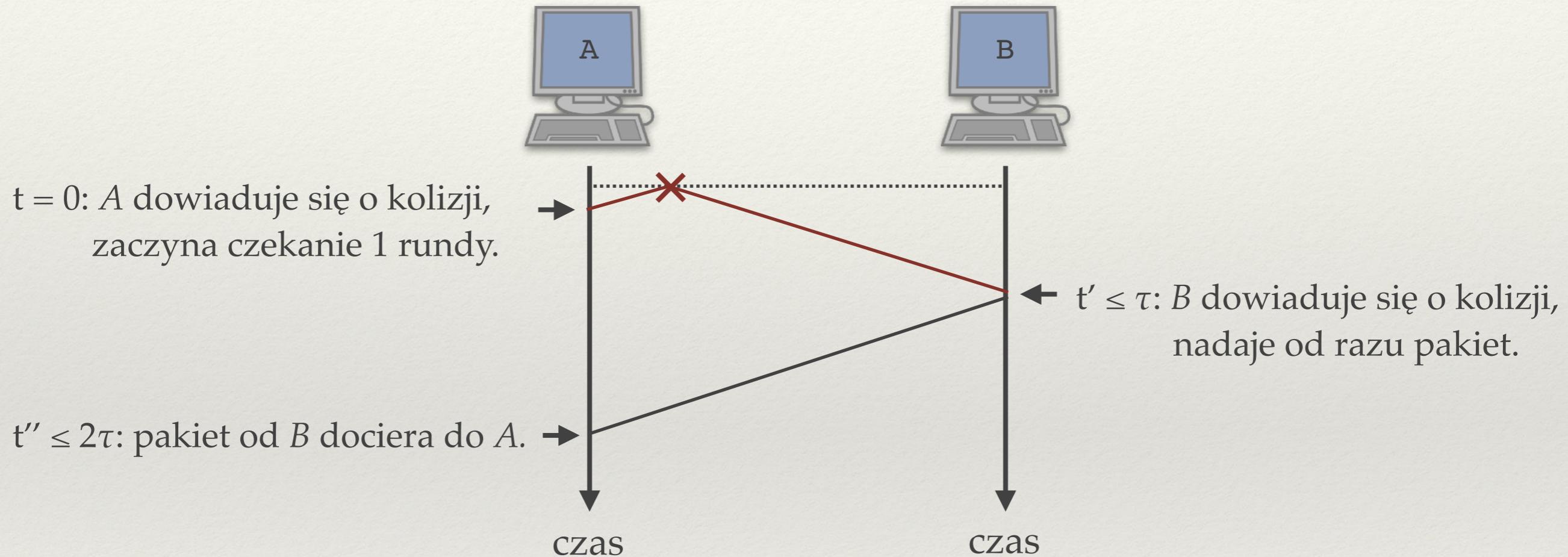
Długość rundy w CSMA/CD

Typowy przypadek: kolizja pakietów od A i B ,
 A oczekuje 1 rundę, B oczekuje 0 rund.



Długość rundy w CSMA/CD

Typowy przypadek: kolizja pakietów od A i B ,
 A oczekuje 1 rundę, B oczekuje 0 rund.



- ❖ W chwili t'' A powinien jeszcze oczekiwac (swoja jedną rundę).
- ❖ Wybieramy długość rundy $R = \text{czas wysłania 64 bajtów}$.
Wtedy gwarantujemy, że $R \geq 2 \tau$ co implikuje $t + R \geq t''$.

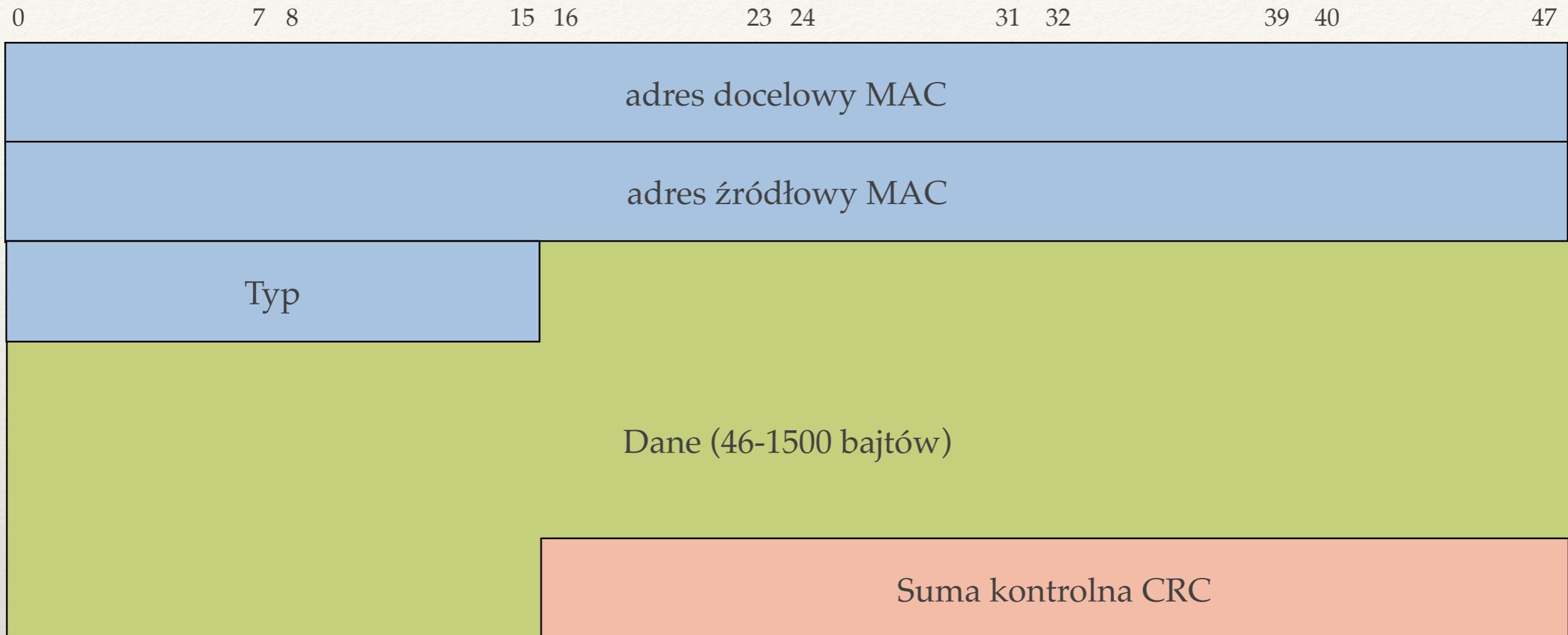
Czy ramka dotarła? (2)

Opcja 2: nie umiemy jednocześnie nadawać i słuchać.

- ❖ Sieci bezprzewodowe (WLAN), protokół CSMA / CA (*collision avoidance*)
- ❖ Nadający nie wie, czy wystąpiła interferencja, ramki zawsze nadawane do końca.
- ❖ Konieczne potwierdzanie otrzymania każdej ramki.
- ❖ Jak CSMA/CA, ale oczekujemy pewien czas, nawet jeśli kanał właśnie się zwolnił.

Ramki i adresowanie

Budowa ramki ethernetowej



- ❖ Dane = pakiet otrzymany z warstwy sieciowej.
- ❖ MTU = maksymalny rozmiar tych danych.
- ❖ Typ = identyfikuje protokół w danych, np. 0x0800 = IP.

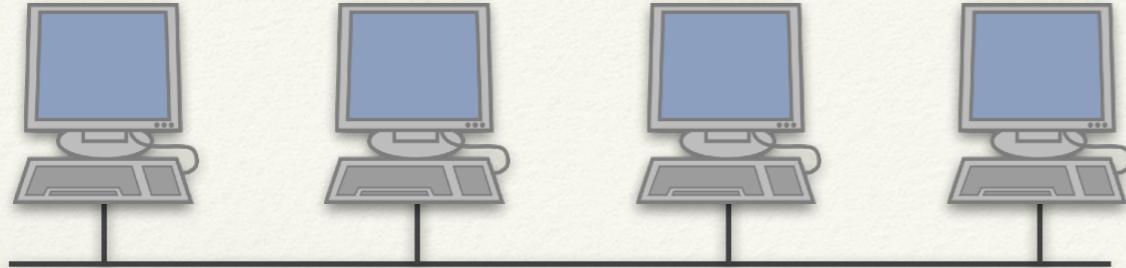
Długość ramki

- ❖ MTU ≤ 1500 bajtów:
 - ♦ historycznie droga pamięć RAM;
 - ♦ mniejsze ramki mniej podatne na uszkodzenia.
- ❖ Ramka musi mieć co najmniej 64 bajty \rightarrow dane ≥ 46 bajtów:
 - ♦ wypełnienie jeśli za mało danych;
 - ♦ wysyłanie trwa co najmniej $2 \cdot$ czas propagacji.

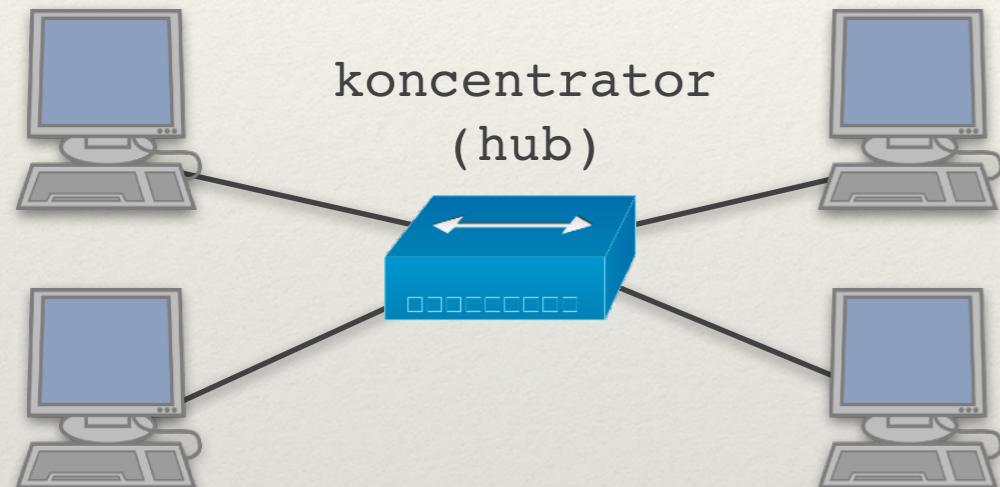
Adresy ethernetowe (MAC)

- ❖ 6-bajtowy unikatowy ciąg, przykładowo 00:14:2A:1F:F3:BA.
- ❖ Przypisany (teoretycznie) na stałe do karty sieciowej.
 - ♦ W praktyce można go łatwo zmienić.
- ❖ Pierwsze trzy bajty przyznaje IEEE producentowi kart sieciowych, trzy kolejne nadaje producent.

Fizyczna komunikacja w warstwie drugiej



a) wszystko wpięte do wspólnego łączna



b) hub replikuje sygnał na wszystkich portach wyjściowych



c) każdy komputer wysyła ramkę do punktu dostępowego, punkt dostępowy wysyła ją do wszystkich

Wysyłanie ramek

- ❖ **Ramka dociera (zazwyczaj) do wszystkich komputerów w sieci.**
 - ◆ (Nieprawda jeśli mamy przełączniki).
- ❖ **Przetwarzanie** (często w firmware karty sieciowej):
 - ◆ Czy nasz adres MAC = adres docelowy ramki?
 - tak → ramka interpretowana, dane ramki → warstwa sieciowa,
 - nie → ramka wyrzucana.
 - ◆ Karta sieciowa w trybie nasłuchu (*promiscuous mode*) przekazuje do systemu wszystkie widziane ramki (Wireshark).
 - ◆ Rozgłaszenie: jeśli adres odbiorcy = FF:FF:FF:FF:FF:FF, to ramkę interpretują wszyscy.

MAC vs IP

Jak warstwa sieciowa wysyła pakiety?

- ❖ Z tablicy routingu odczytujemy **kolejny adres IP na trasie do celu:**
 - ◆ albo IP następnego routera na trasie
 - ◆ albo IP docelowego komputera (jeśli leży w naszej sieci).

Adresowanie

- ❖ Adres źródłowy ramki = adres MAC naszej karty sieciowej.
- ❖ Adres docelowy ramki = adres MAC związany z kolejnym adresem IP na trasie do celu. **Skąd go wziąć?**

Protokół ARP

ARP = Address Resolution Protocol

- ❖ Rozgłasza zapytania „kto ma dany adres IP”.
- ❖ Enkapsulowany w ramkach wysyłanych na adres rozgłoszeniowy FF:FF:FF:FF:FF:FF, pole typ w ramce = 0x0806.
- ❖ Jeden komputer odpowiada.
- ❖ Wszyscy słyszą i zapisują odpowiedź w lokalnej tablicy ARP (na pewien czas).

demonstracja

Rozgłaszañie w warstwie sieciowej

- ❖ Pakiet skierowany do adresu rozgłoszeniowego IP:
 - ♦ Umieszczany w ramce adresowanej do FF:FF:FF:FF:FF:FF.
 - ♦ Co się stanie, jeśli mamy dwie różne sieci IP działające w tej samej sieci warstwy drugiej?

Adresy MAC vs IP

- ❖ Adresy MAC i IP globalnie identyfikują daną kartę sieciową.
- ❖ Dlaczego w warstwie sieciowej nie używamy adresów MAC?
 - ♦ Nie mają hierarchii - tablice routingu byłyby nieużywalnie duże.
 - ♦ Analogia: MAC = PESEL, IP = adres zamieszkania.

Odwrotność ARP

Przekształcenie MAC → IP?

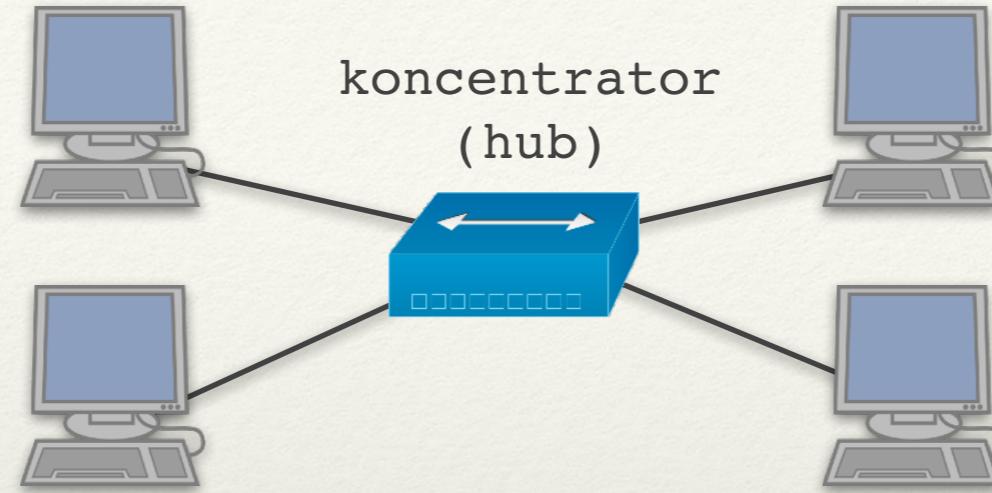
- ❖ Po co? Warstwa 2 powinna być niezależna od warstwy 3!
- ❖ Automatyczne przypisywanie adresów IP.
- ❖ Komputery bezdyskowe (znają tylko adres MAC swojej karty sieciowej).
- ❖ RARP (Reverse ARP).
- ❖ DHCP (pobieranie całej konfiguracji sieci).

Konfiguracja automatyczna

- ❖ IPv4: APIPA = Automatic Private IP Addressing:
 - ◆ komputer losuje adres z sieci **169.254.0.0/16**.
- ❖ IPv6: adresy *link-local*
 - ◆ komputer przydziela sobie adres z sieci **fe80::/64**,
 - ◆ ostatnie 64 bity adresu są deterministyczną funkcją adresu MAC.

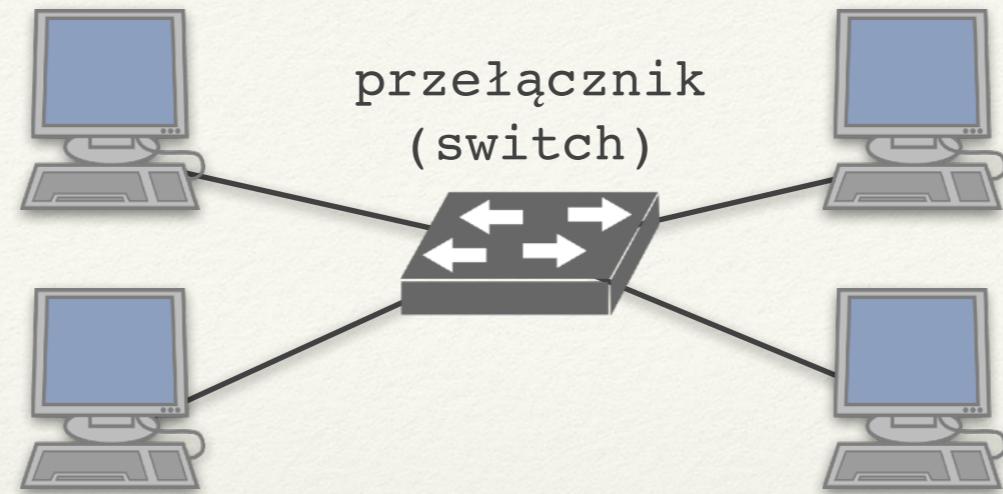
Przełączanie ramek

Dlaczego?



- ❖ Co się stanie jeśli podłączymy do koncentratora 100 komputerów?
 - ◆ Brak prywatności.
 - ◆ Kolizje przechodzą przez koncentrator.

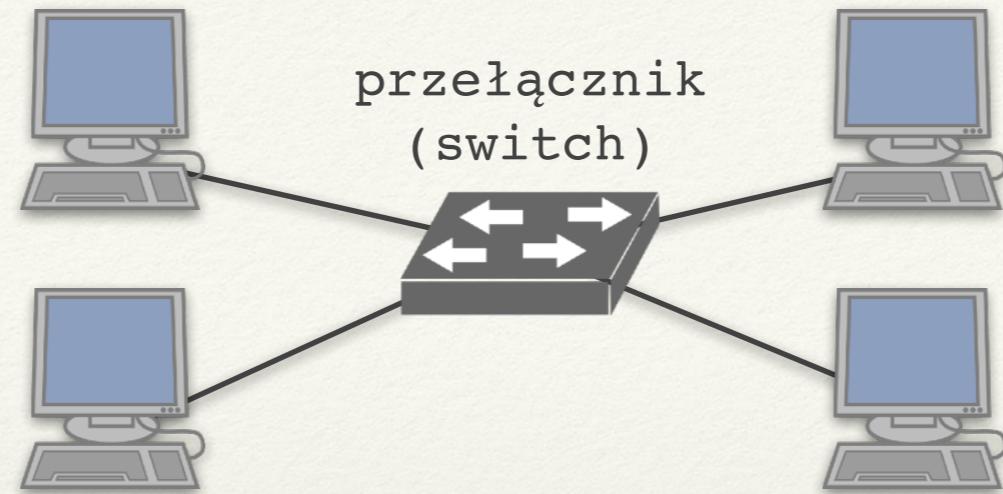
Przełącznik sieciowy



Przełącznik „rozumie” protokoły warstwy drugiej.

- ❖ Uczy się w trakcie działania, jakie adresy MAC są podłączone do danych portów.
- ❖ Zazwyczaj do portów podpięte pojedyncze komputery, ale mogą być też sieci.
- ❖ Kolejne transmisje są rozgłoszane do wszystkich portów tylko w razie konieczności.

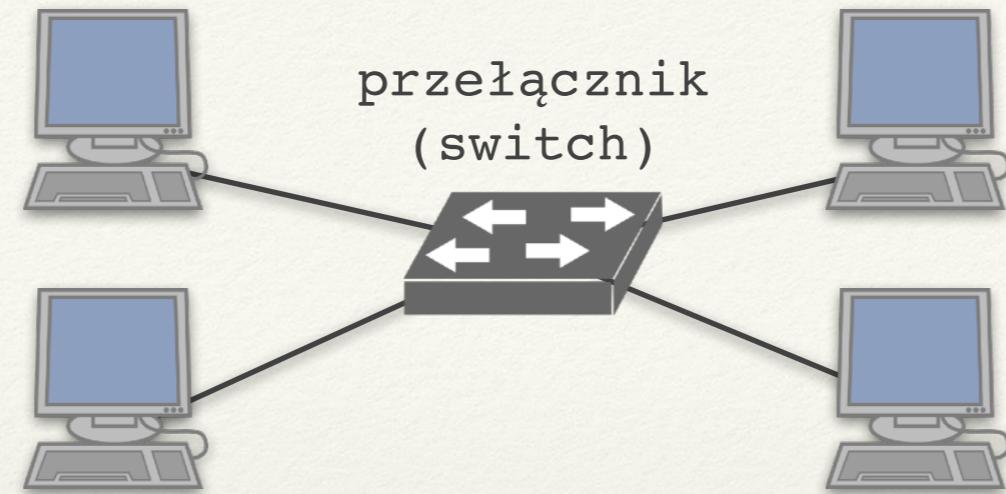
Przełącznik sieciowy



Przełącznik „rozumie” protokoły warstwy drugiej.

- ❖ Uczy się w trakcie działania, jakie adresy MAC są podłączone do danych portów.
- ❖ Zazwyczaj do portów podpięte pojedyncze komputery, ale mogą być też sieci.
- ❖ Kolejne transmisje są rozgłoszane do wszystkich portów tylko w razie konieczności.

Przełącznik sieciowy

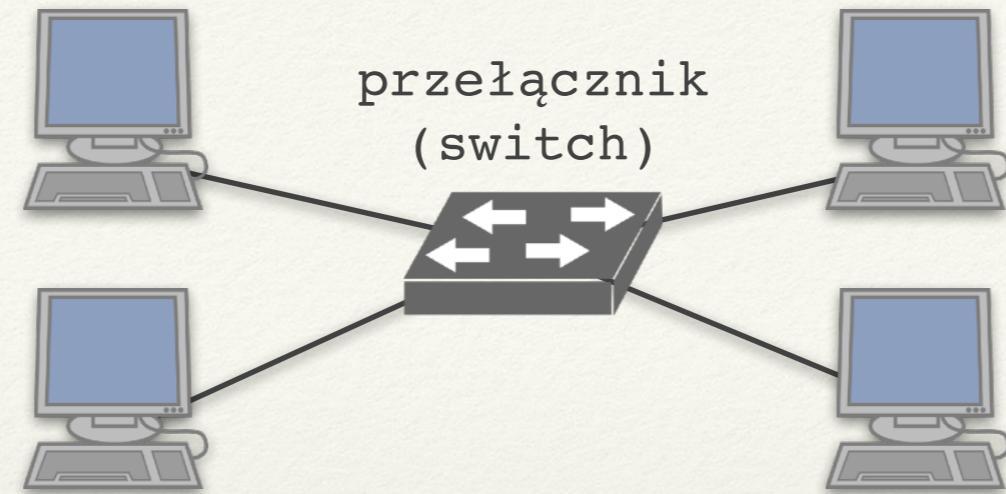


Przełącznik „rozumie” protokoły warstwy drugiej.

- ❖ Uczy się w trakcie działania, jakie adresy MAC są podłączone do danych portów.
- ❖ Zazwyczaj do portów podpięte pojedyncze komputery, ale mogą być też sieci.
- ❖ Kolejne transmisje są rozgłoszane do wszystkich portów tylko w razie konieczności.

Most = przełącznik z dwoma portami

Przełącznik sieciowy



Przełącznik „rozumie” protokoły warstwy drugiej.

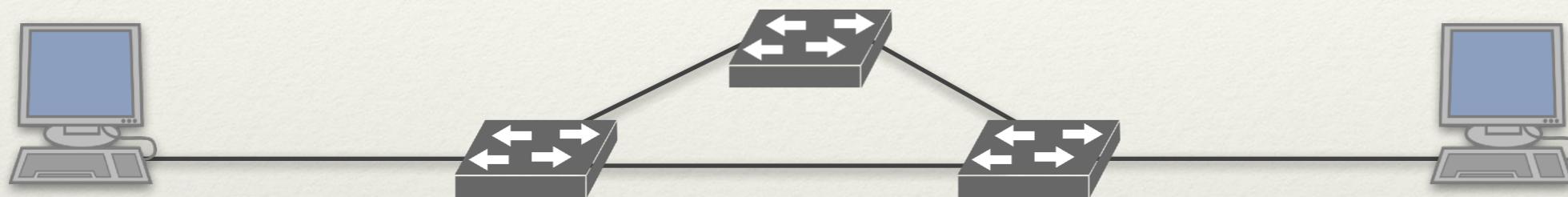
- ❖ Uczy się w trakcie działania, jakie adresy MAC są podłączone do danych portów.
- ❖ Zazwyczaj do portów podpięte pojedyncze komputery, ale mogą być też sieci.
- ❖ Kolejne transmisje są rozgłoszane do wszystkich portów tylko w razie konieczności.

Most = przełącznik z dwoma portami

- ❖ Łączy dwie sieci, często różnych technologii (np. Ethernet i WLAN).

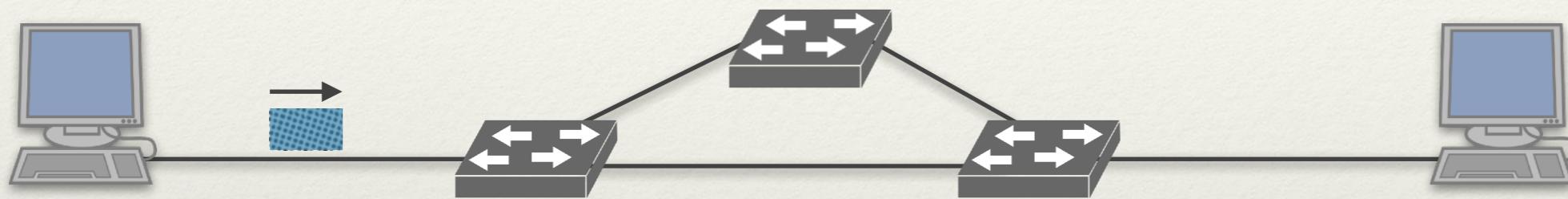
Przełączany Ethernet

- ❖ Ramki wysłane na adres rozgłoszeniowy są przekazywane do wszystkich portów.



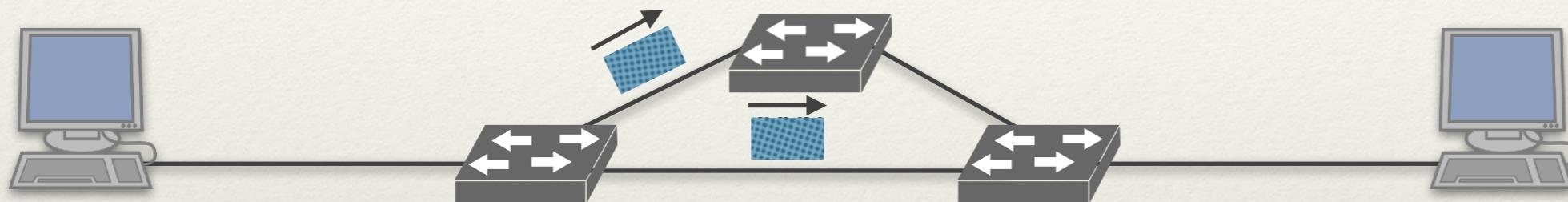
Przełączany Ethernet

- ❖ Ramki wysłane na adres rozgłoszeniowy są przekazywane do wszystkich portów.



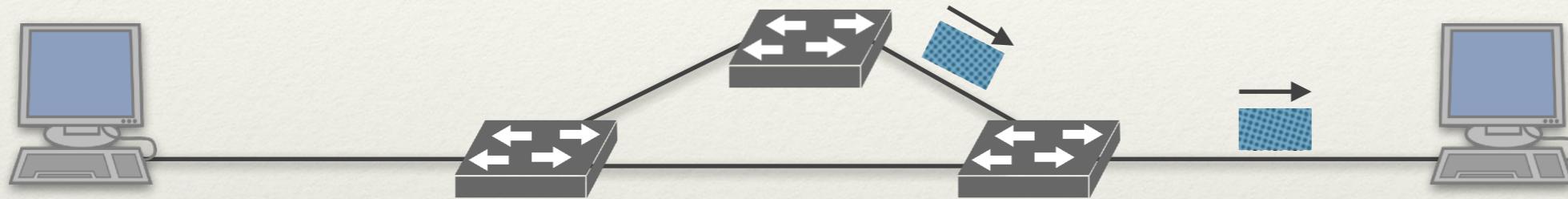
Przełączany Ethernet

- ❖ Ramki wysłane na adres rozgłoszeniowy są przekazywane do wszystkich portów.



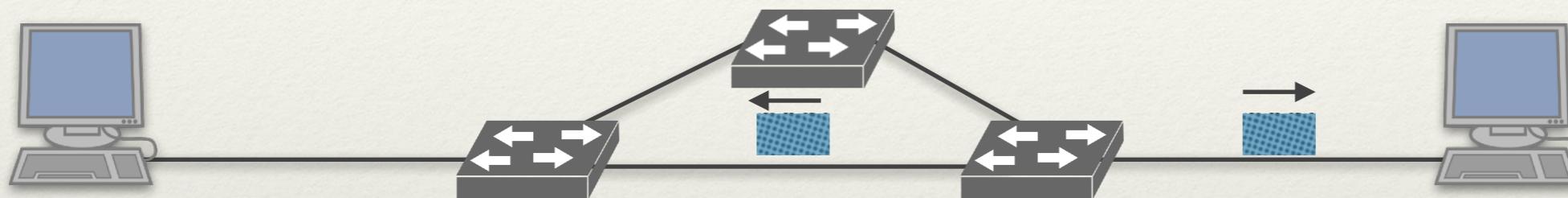
Przełączany Ethernet

- ❖ Ramki wysłane na adres rozgłoszeniowy są przekazywane do wszystkich portów.



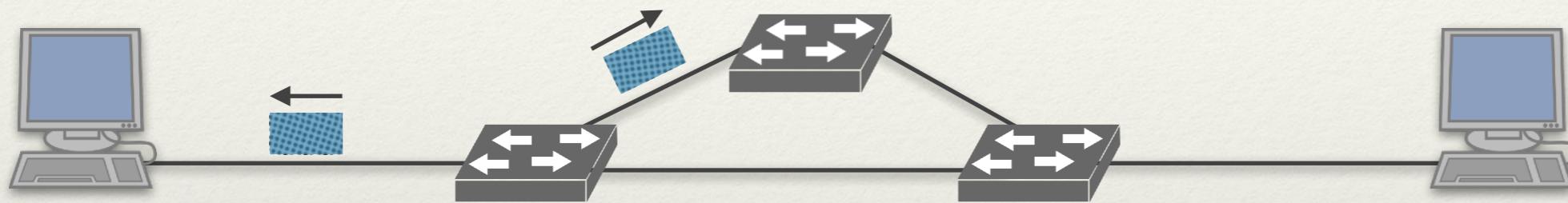
Przełączany Ethernet

- ❖ Ramki wysłane na adres rozgłoszeniowy są przekazywane do wszystkich portów.



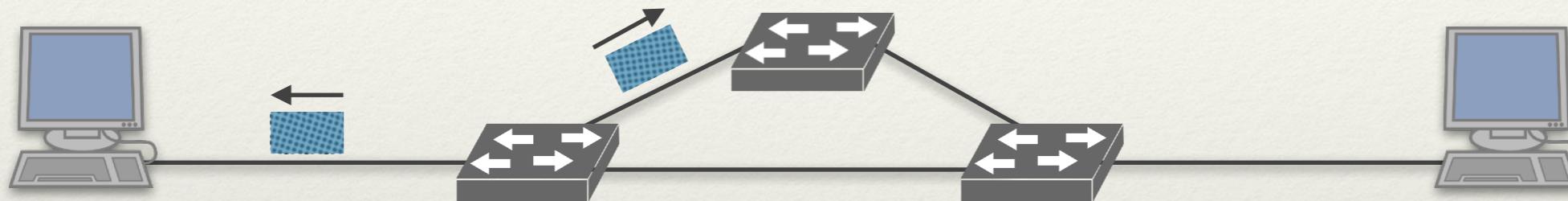
Przełączany Ethernet

- ❖ Ramki wysłane na adres rozgłoszeniowy są przekazywane do wszystkich portów.



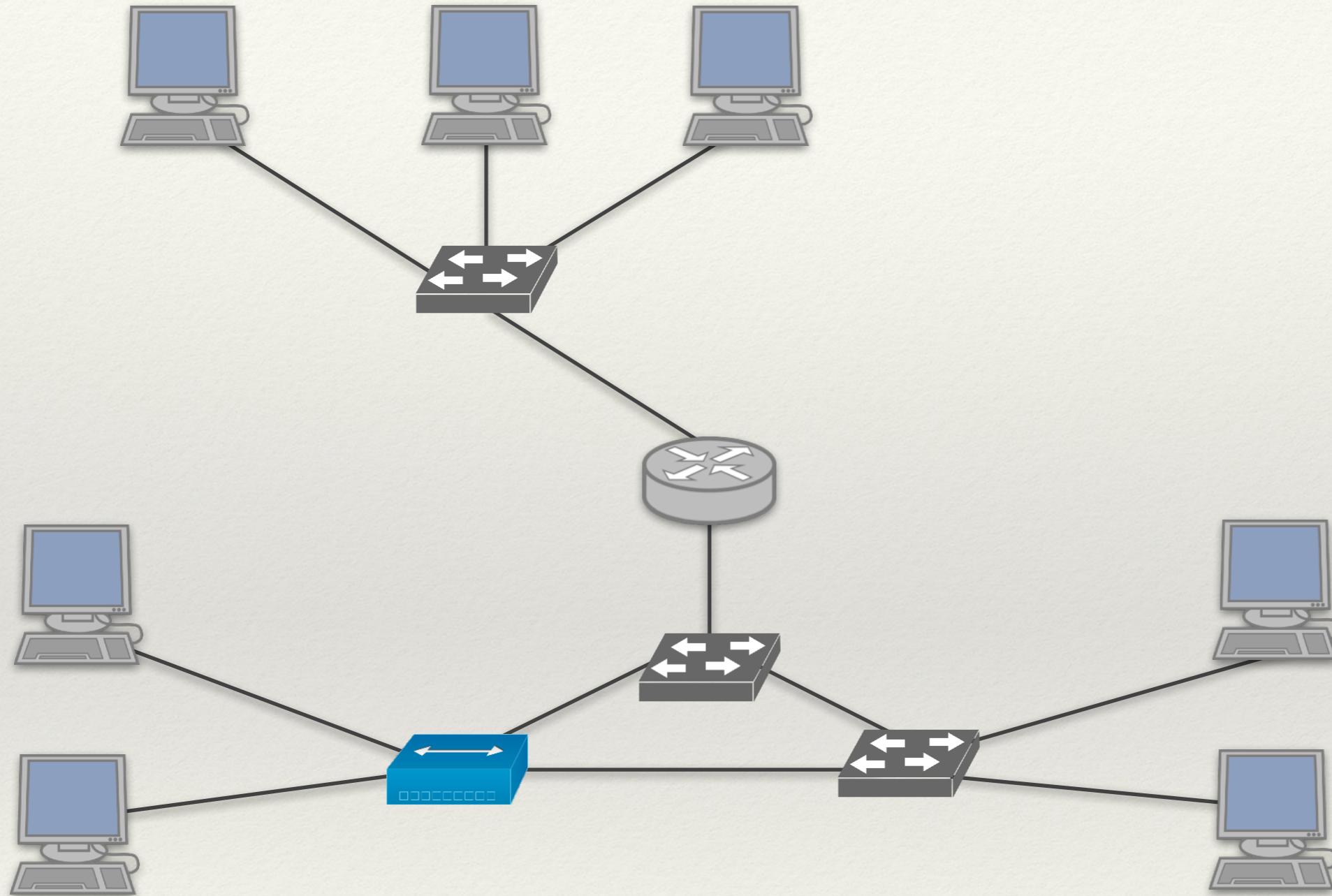
Przełączany Ethernet

- ❖ Ramki wysłane na adres rozgłoszeniowy są przekazywane do wszystkich portów.

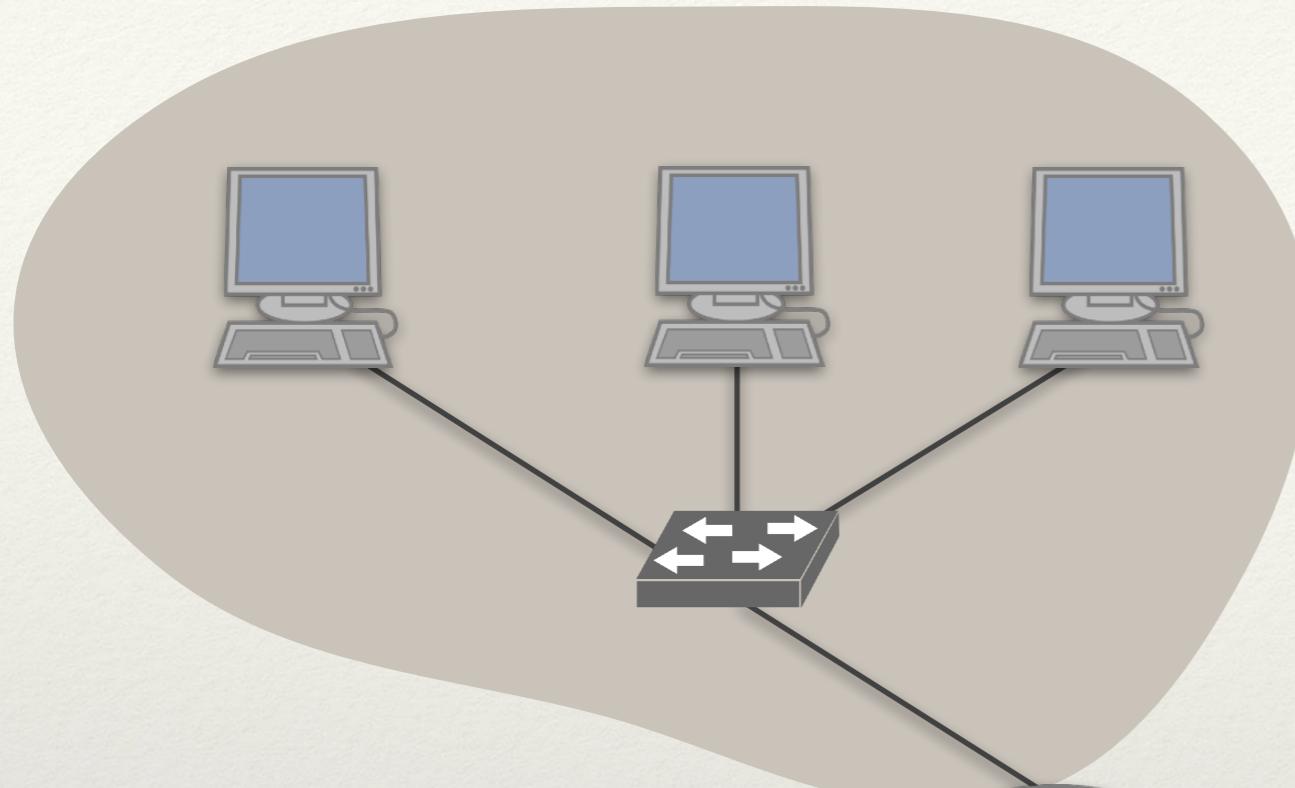


- ❖ Chcemy mieć topologię bez cykli (burze rozgłoszeniowe!)
- ❖ Przełączniki używają STP (*Spanning Tree Protocol*)
 - ❖ Rozproszony algorytm budowy drzewa spinającego.
 - ❖ Spośród połączeń wybierają drzewo, inne porty wykorzystywane tylko w wypadku awarii.

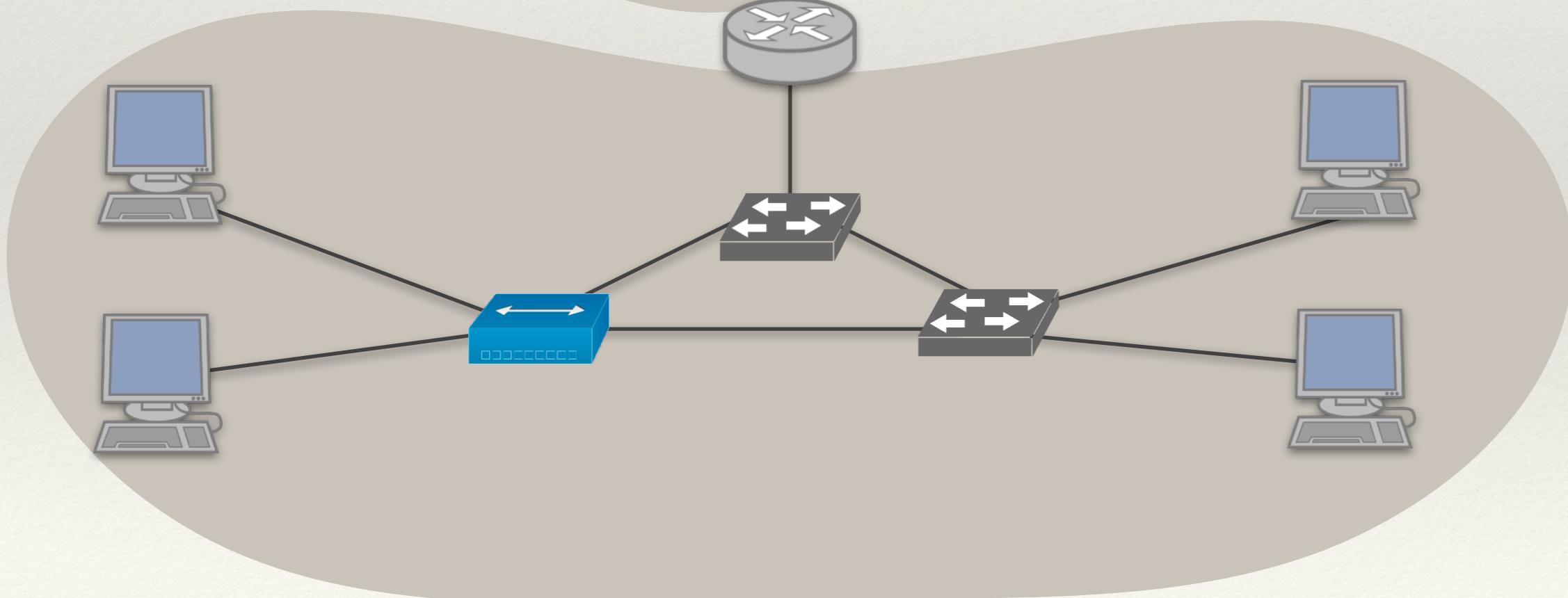
Domena rozgłoszeniowa



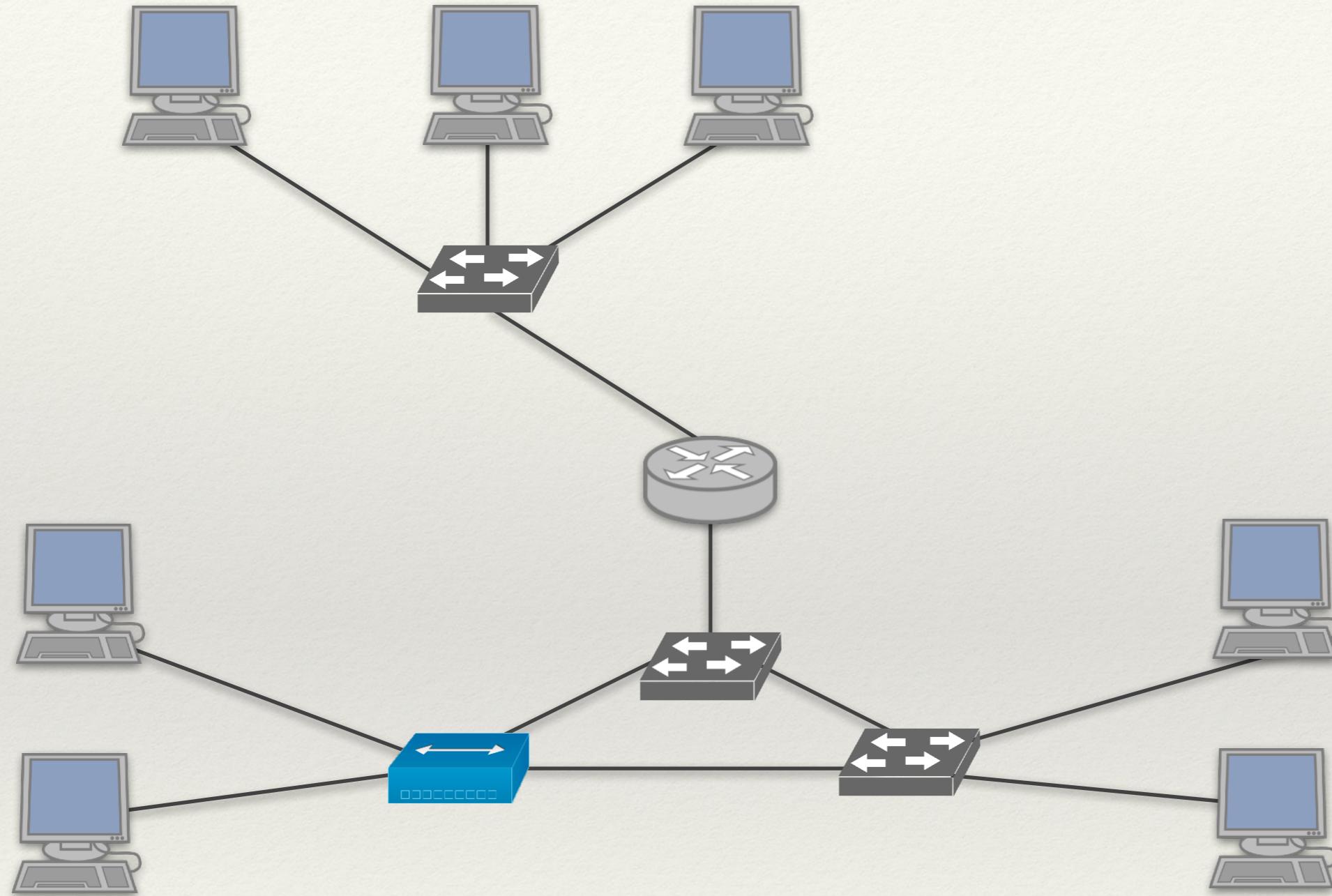
Domena rozgłoszeniowa



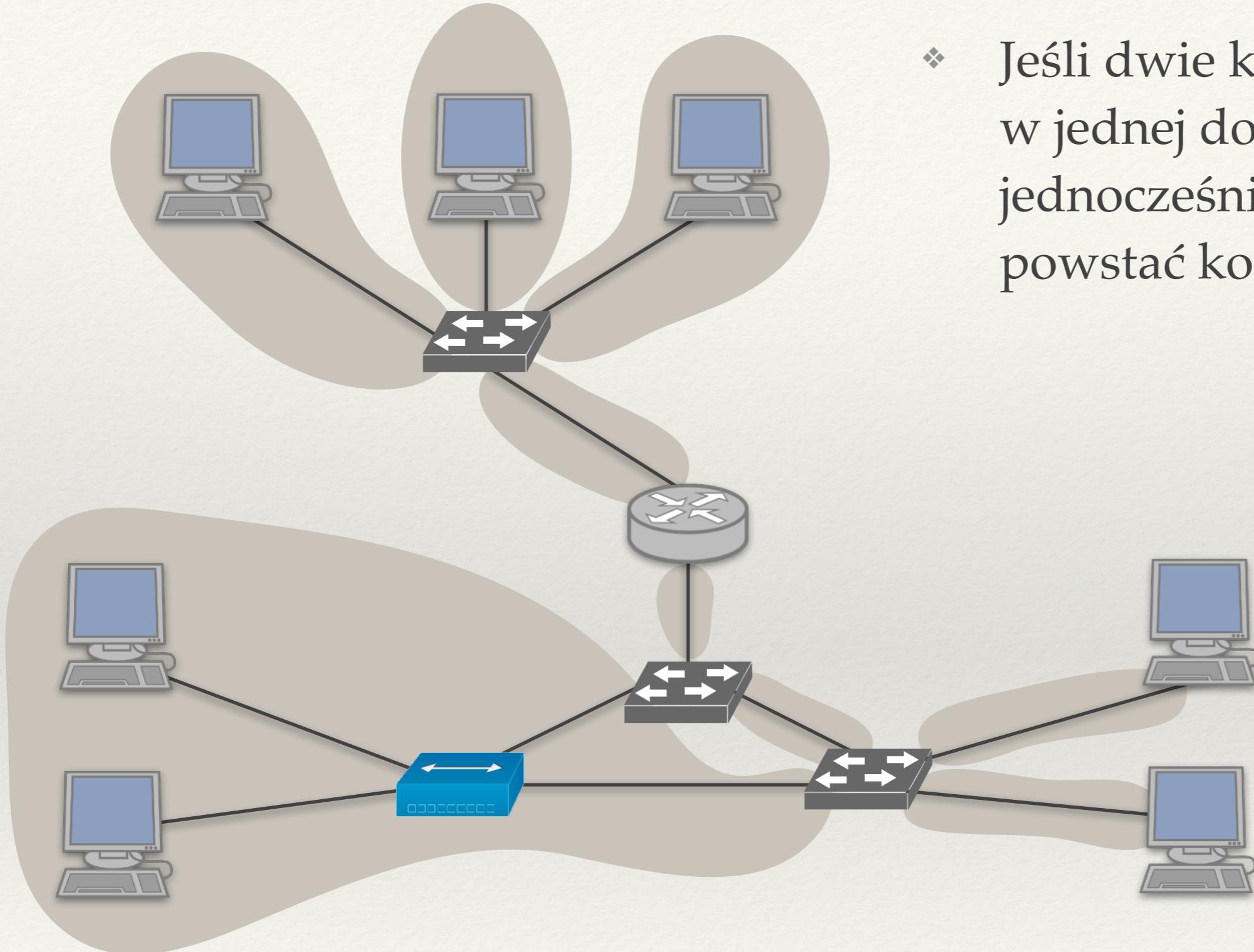
- ❖ Karty sieciowe w jednej domenie osiągalne bez pośrednictwa routera.
- ❖ Ramka wysłana na adres rozgłoszeniowy dotrze do wszystkich interfejsów z danej domeny rozgłoszeniowej.



Domena kolizyjna



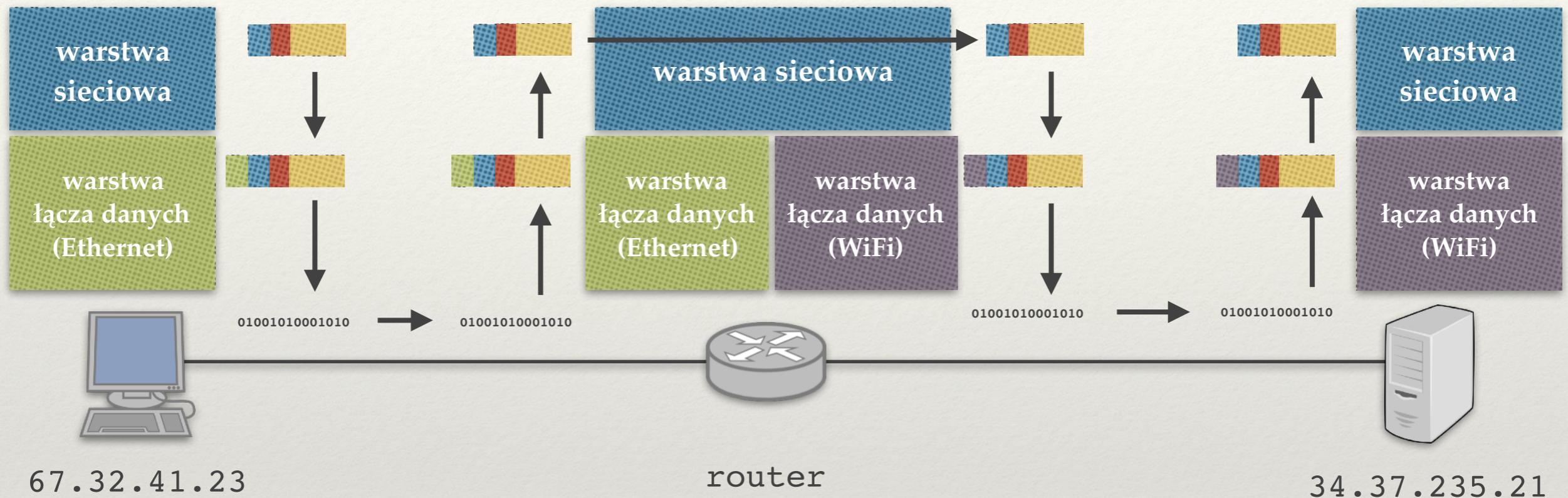
Domena kolizyjna



- ❖ Jeśli dwie karty sieciowe w jednej domenie nadają jednocześnie, to może powstać kolizja.

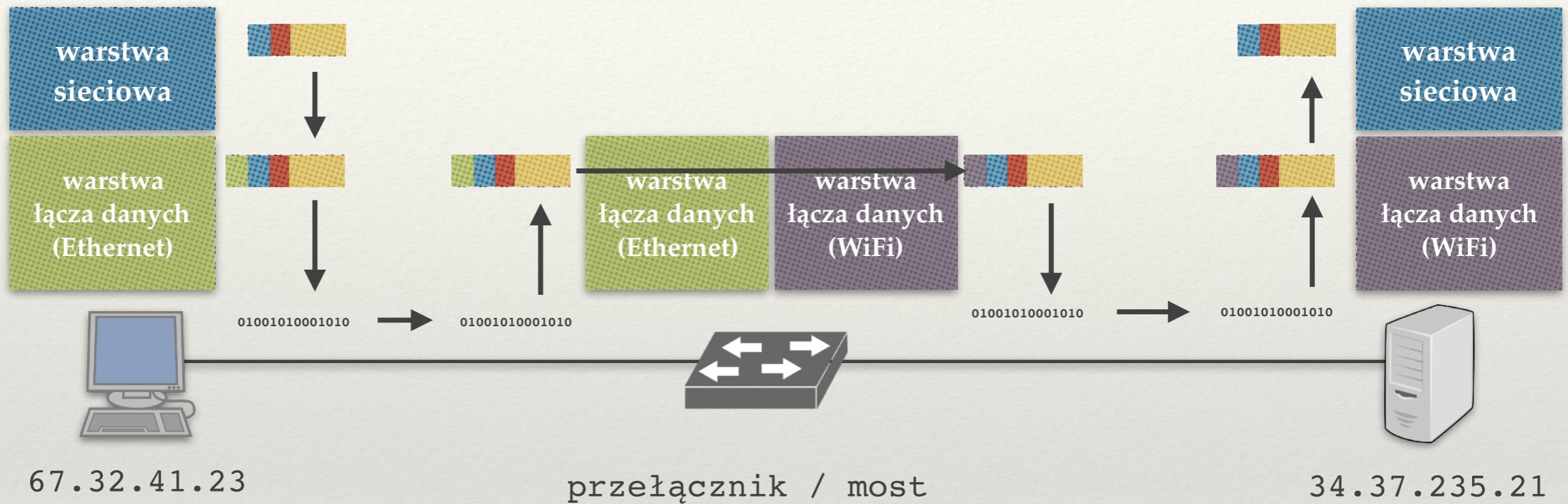
Łączenie sieci różnych technologii

Opcja 1: łączenie za pomocą routera (już poznaliśmy)



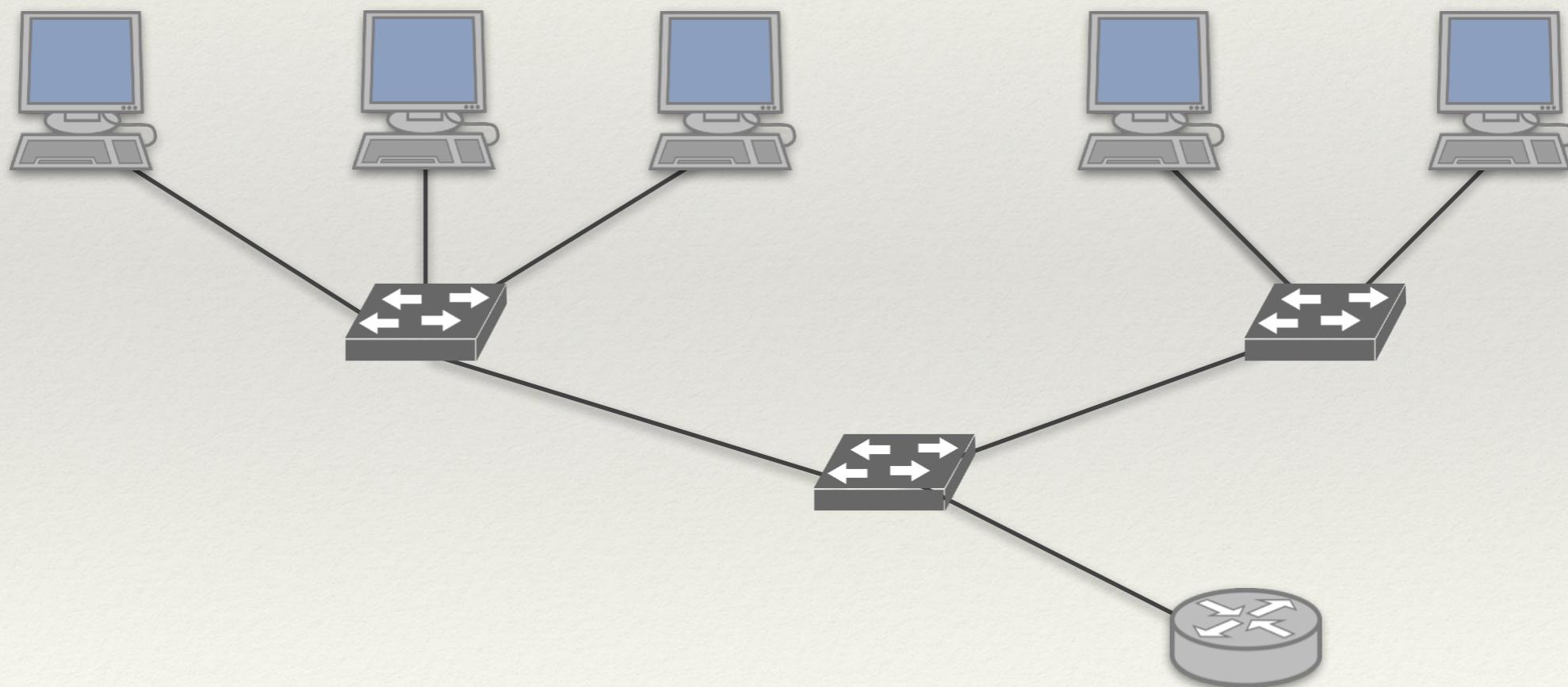
Łączenie sieci różnych technologii

Opcja 2: łączenie za pomocą mostu



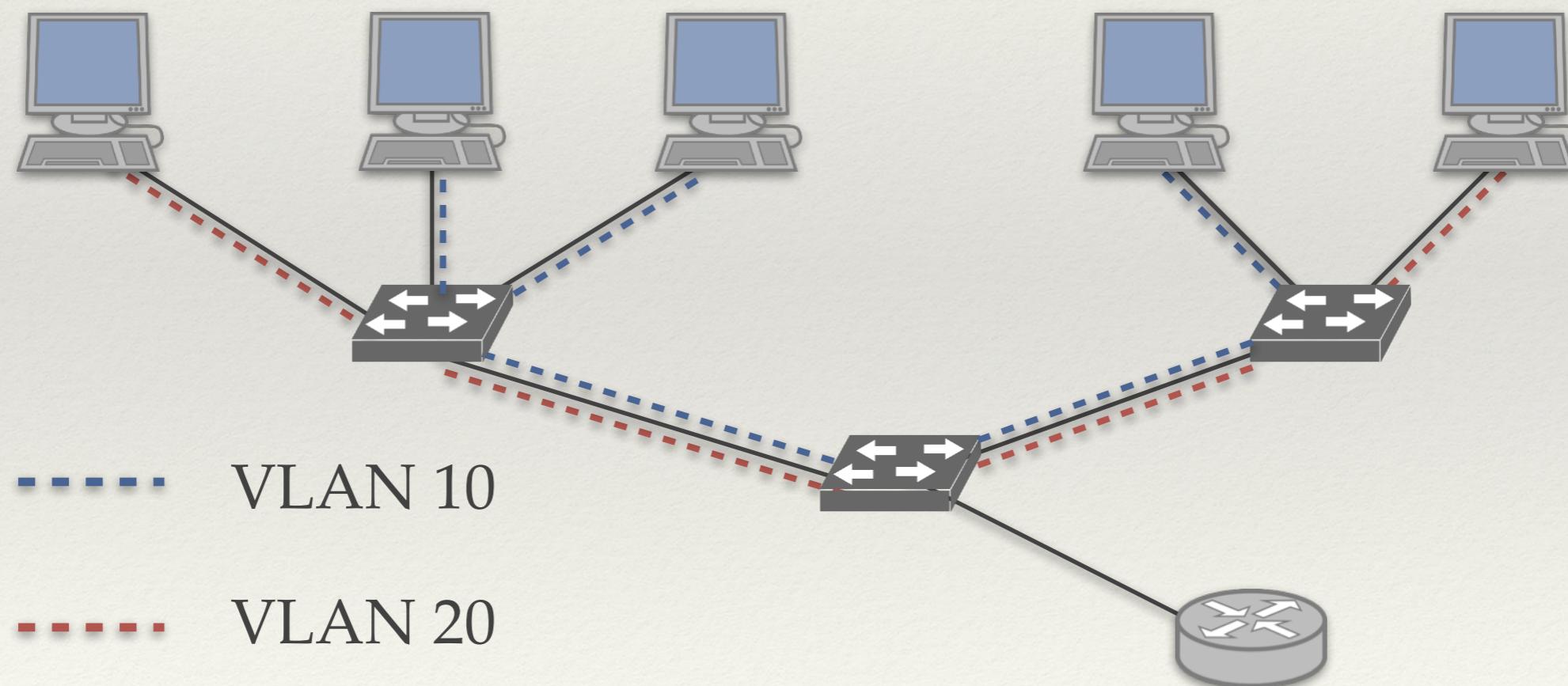
- ❖ Szybsze: nie ma tablicy routingu, tylko podmiana nagłówka + przeliczenie sumy kontrolnej
- ❖ Ale: nie rozumie IP, fragmentacja IP niemożliwa, nie poradzi sobie jeśli pakiet jest za duży w stosunku do docelowego MTU

VLAN: wirtualne sieci lokalne



VLAN: wirtualne sieci lokalne

- ❖ Fizyczne połączenie nie musi być tożsame z logiczną konfiguracją.
- ❖ Dla każdego portu przełącznika ustalamy do jakich VLAN-ów należy.
- ❖ W wysyłanych ramkach pojawia się dodatkowe pole będące numerem VLAN-u → przesyłana tylko w obrębie danego VLAN-u.

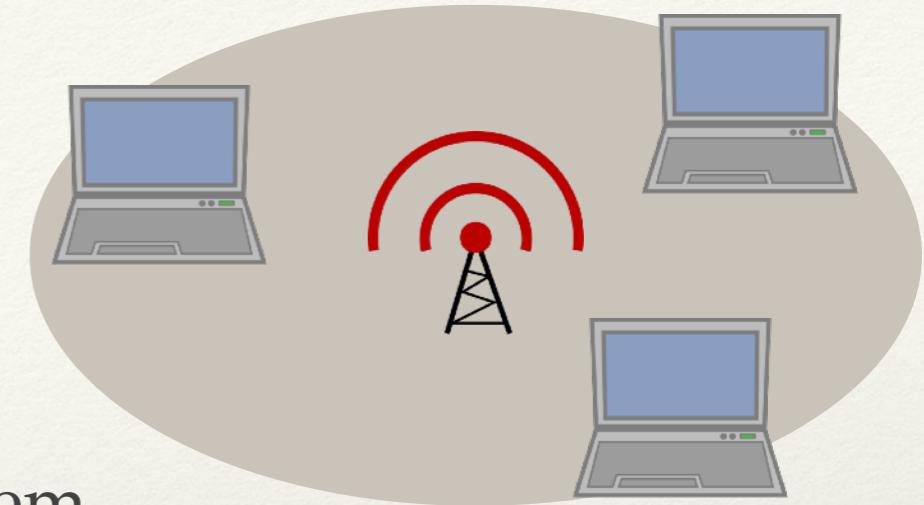


Sieci bezprzewodowe

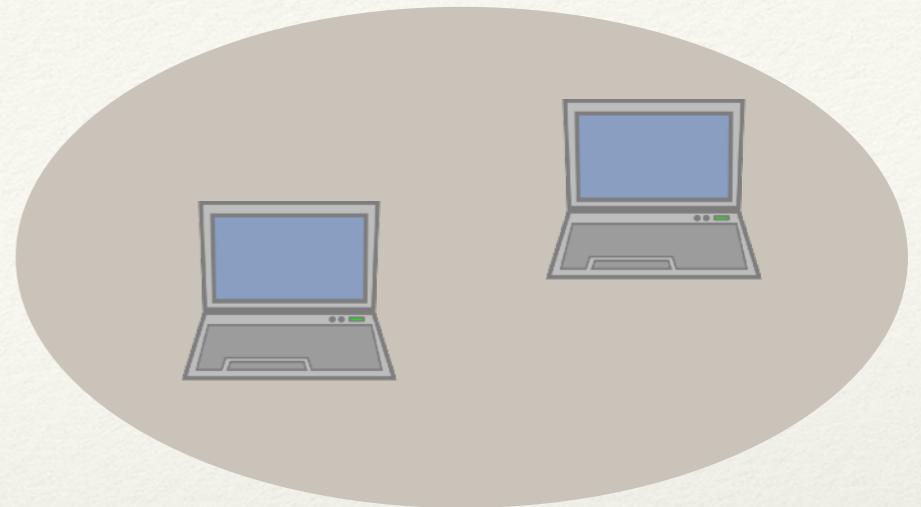
Sieci WLAN z punktem dostępowym

Punkt dostępowy (access point, AP)

- ❖ Każdy komunikuje się tylko z AP
- ❖ Każdy musi być w zasięgu AP
- ❖ AP jest połączony zazwyczaj kablem z routерem
 - ♦ może pełnić funkcję mostu między sieciami 802.11 i Ethernetem,
 - ♦ może też być zintegrowany z routерem.
- ❖ AP rozsyła ramki identyfikacyjne (*beacon frames*) zawierające m.in. nazwę sieci SSID.
- ❖ Przed transmisją trzeba się związać z wybranym AP, opcjonalne uwierzytelnianie.



Sieci ad-hoc

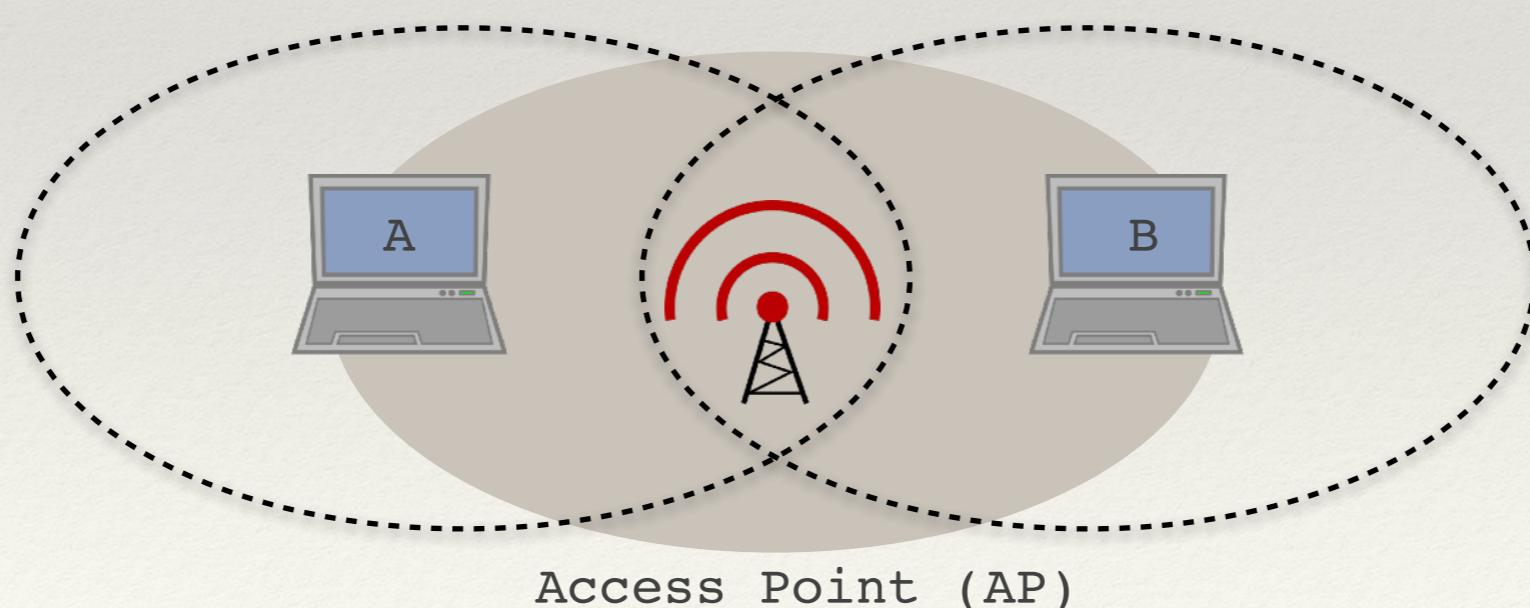


- ❖ Sieci WLAN bez punktu dostępowego
- ❖ Brak routingu = zakładamy, że każde urządzenie jest w zakresie nadawania każdego innego.

Problem ukrytej stacji

Strategia „nadawaj jeśli nikt nie nadaje” nie zawsze działa

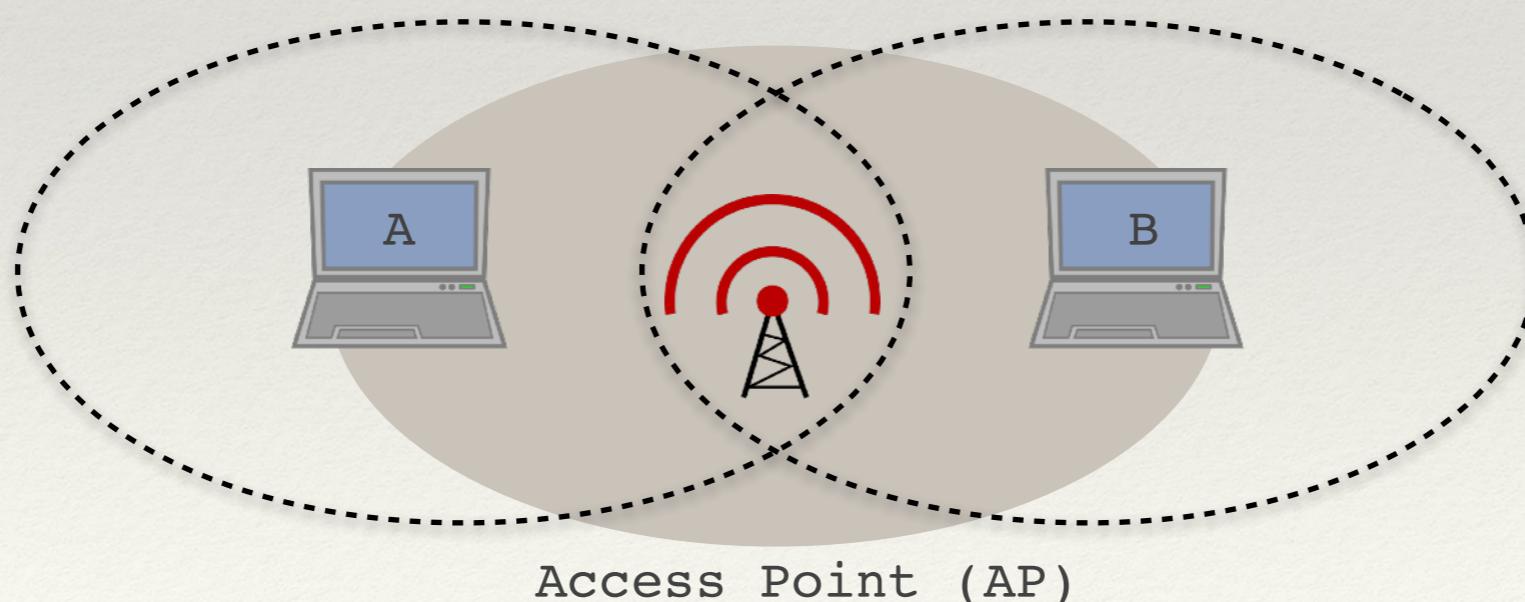
- ❖ A nadaje do do AP
- ❖ B chce nadać do AP.
 - ◆ B sprawdza stan kanału.
 - ◆ B nie słyszy żadnej transmisji, więc nadaje.
- ❖ Sygnał od A i B interferuje przy AP.



Problem ukrytej stacji: RTS+CTS

Rozwiążanie wbudowane w CSMA/CA.

- ❖ Zanim A nada ramkę do AP, wysyła komunikat RTS (*Request To Send*).
- ❖ AP odsyła CTS (*Clear To Send*),
 - ◆ B również słyszy CTS.
 - ◆ B będzie milczeć przez czas potrzebny A na wysłanie ramki.
- ❖ A wysyła ramkę do AP, AP ją potwierdza.



Szyfrowanie

Przestarzałe technologie:

- ❖ WEP (*Wired Equivalent Privacy*)
- ❖ WPA (*Wi-fi Protected Access*)

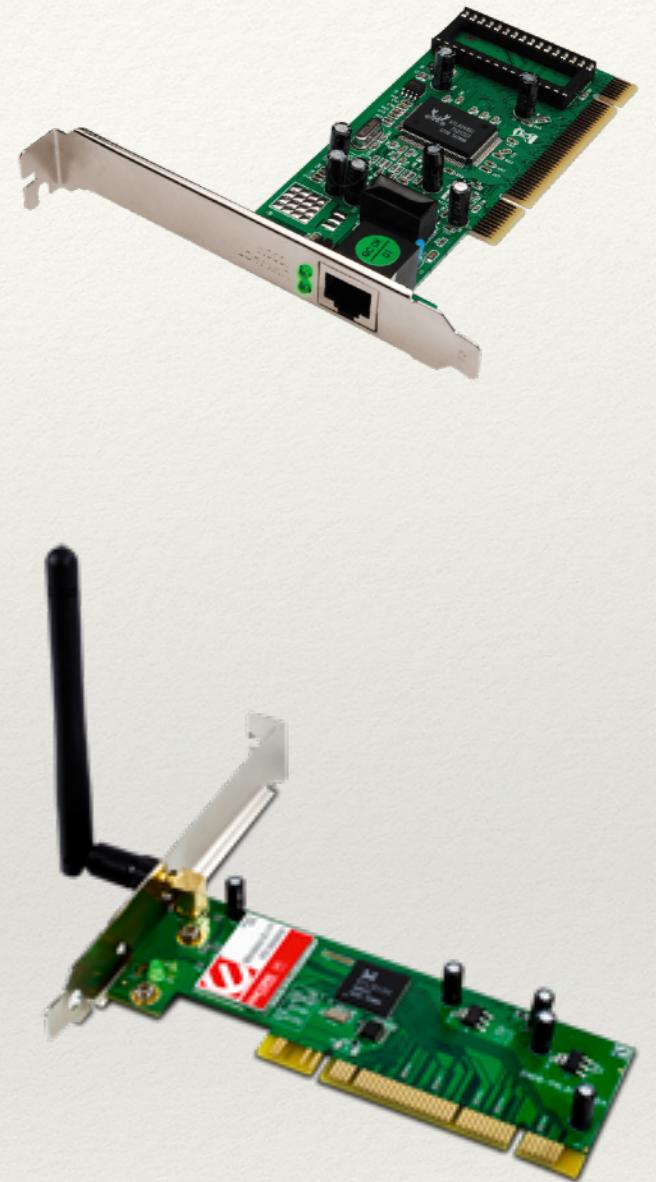
Współcześnie: WPA2 = 802.11i

- ❖ Personal, PSK (*Pre-Shared Key*) = jeden klucz szyfrujący
- ❖ Enterprise = osobny serwer uwierzytelniający (RADIUS)

Warstwa fizyczna

Karta sieciowa

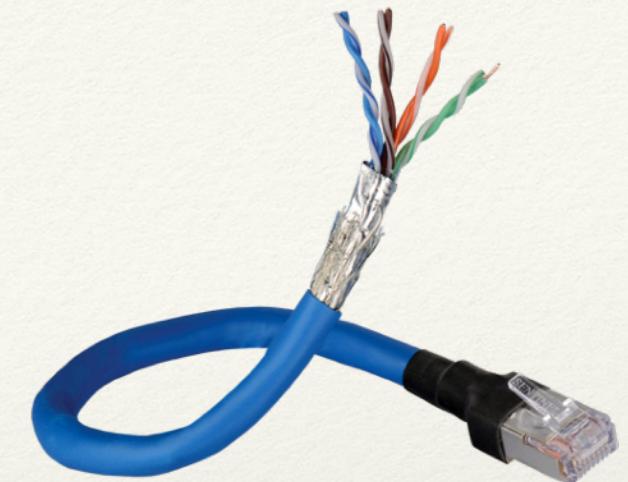
- ❖ Interfejs sieciowy = logiczna reprezentacja karty w systemie operacyjnym.
- ❖ Karta pracuje z określona częstotliwością nadawania → szybkość transmisji (w kbit/s, Mbit/s lub Gbit/s)
- ❖ Wysyła elektromagnetyczną falę nośną.
 - ◆ Bity kodowane jako zmiany fali (amplitudy lub fazy).
 - ◆ Odbieranie: zmiany fali zamieniane na bity.
- ❖ Karty oparte o światłowody: po jednej stronie dioda laserowa do nadawania, po drugiej fotodioda do odbierania.



Obrazki ze stron https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl_ws/E910/DIGITUS_DN10110_01.png,
http://www.entre-usa.com/mz/sites/default/files/imagecache/product_medium/products/ENLWI-1XN4x_product.png

Warianty Ethernetu

- ❖ Zazwyczaj wykorzystuje skrętkę niekranowaną
= kabel UTP (*unshielded twisted pair*) = 8 żył.
 - ❖ możliwa transmisja pełnodupleksowa,
 - ❖ różne kategorie (różne parametry tłumienia).



Najczęstsze warianty

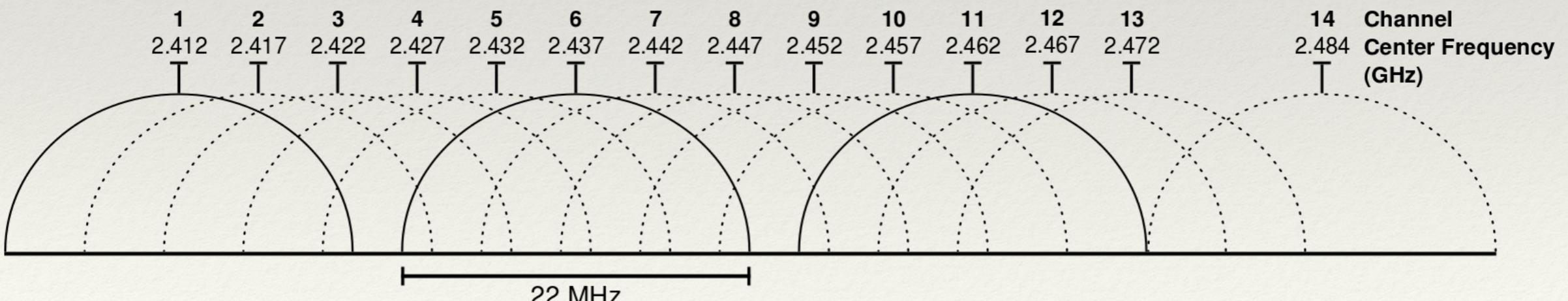
- ❖ Ethernet (10 Mbit/sek, kabel koncentryczny lub skrętka kat. ≥ 3 .)
- ❖ Fast Ethernet (100 Mbit/sek, skrętka kat. ≥ 5)
- ❖ Gigabit Ethernet (1 Gbit/sek, skrętka kat. $\geq 5e$ lub światłowód.)
- ❖ 10 Gigabit Ethernet (10 Gbit / sek, skrętka kat $\geq 6a$ lub światłowód.)

Obrazek ze strony https://rubimages-liberty.netdna-ssl.com/hi-res/LLINX-HD_twisted_terminated.png

Sieci bezprzewodowe

Wykorzystują fale radiowe o określonej częstotliwości

- ❖ Nadawca i odbiorca muszą korzystać z tej samej częstotliwości.
- ❖ Dwa pasma (zakresy częstotliwości): 2,4 Ghz i 5 Ghz.
- ❖ Dostępne do nadawania bez licencji.
- ❖ Przykładowo w paśmie 2,4 Ghz wyróżniono 14 częstotliwości (tzw. kanałów)
- ❖ Urządzenia nadające w kanale X zakłócają transmisje w sąsiednich.



Obrazek ze strony <http://en.wikipedia.org/wiki/802.11>

Warianty WLAN

- ❖ 802.11a: 5 Ghz, do 54 Mbit, rzadko spotykany.
- ❖ 802.11b: 2,4 Ghz, do 11 Mbit.
- ❖ 802.11g: 2,4 Ghz, do 54 Mbit
- ❖ **802.11n: 2,4 Ghz + 5 Ghz, do 600 Mbit (do 4 + 4 anten nadających + odbierających)**
- ❖ **802.11ac: 5 Ghz, do 1 Gbit (do 8 + 8 anten).**

- ❖ Nagłówek ramki przesyłany jest z minimalną prędkością dopuszczoną dla danego standardu
(802.11a/b = 1 Mbit, 802.11g/n = 6 Mbit)

Problemy z warstwą fizyczną

- ❖ **Malejąca siła sygnału**
 - ◆ Zwłaszcza przy falach radiowych: sygnał rozchodzi się wielokierunkowo, słabnie lub zanika przy przechodzeniu przez ściany.
 - ◆ Zasięg sieci bezprzewodowych to ok. 50 m (2,4 Ghz) i ok. 20 m (5 Ghz).
- ❖ **Interferencje**
 - ◆ Współcześnie głównie w sieciach bezprzewodowych.
 - ◆ Interferencje z innymi kartami sieciowymi, telefonami bezprzewodowymi, kuchenkami mikrofalowymi, Bluetoothem, ...
 - ◆ Propagacja wielościeżkowa: ten sam sygnał wędruje do celu ścieżkami różnej długości i interferuje sam ze sobą.

Lektura dodatkowa

- ❖ Kurose & Ross: rozdział 5 i 6.
- ❖ Tanenbaum: rozdział 4.