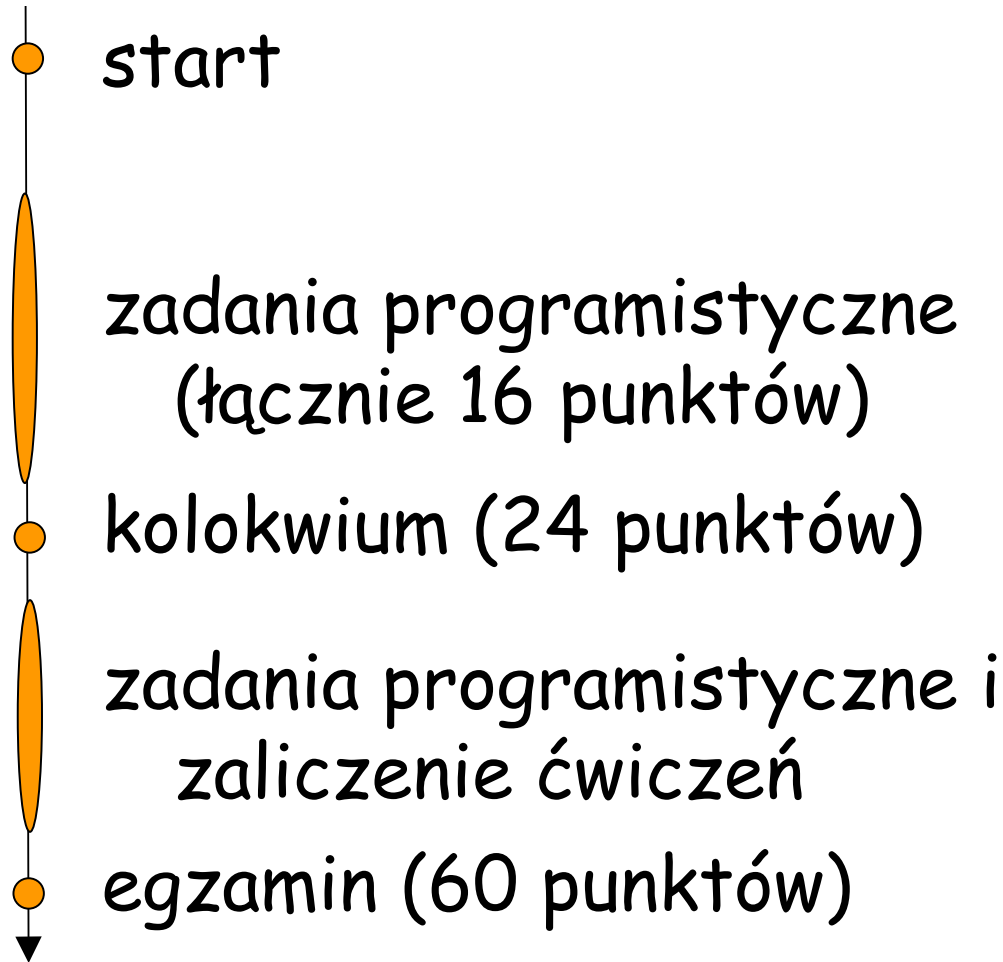


# Plan całości wykładu

- Wprowadzenie (2 wykłady)
- Warstwa aplikacji (2 wykłady)
- Warstwa transportu (2-3 wykłady)
- Warstwa sieci (2-3 wykłady)
- Warstwa łącza i sieci lokalne (3 wykłady)
- Podstawy ochrony informacji (2-3 wykłady)
- jeśli zostanie czasu...
  - sieci radiowe
  - komunikacja audio/wideo
  - zarządzanie sieciami

# Plan czasowy wykładu i ćwiczeń



# Literatura do warstwy łącza

Rozdział 5, *Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet*, wydanie 2 lub 3, J. Kurose, K. Ross, Addison-Wesley, 2004

Rozdziały 2.3, 2.4, 5, *Sieci komputerowe TCP/IP*, D.E. Comer, WNT, 1997

Rozdziały 3.6, 3.8, *Sieci komputerowe - podejście systemowe*, L. Peterson, B. Davie, Wyd. Nakom, Poznań, 2000

# Warstwa Łączy

## Cele:

- zrozumienie zasad działania mechanizmów warstwy łączy:
  - rozpoznawanie i naprawa błędów
  - współdzielenie kanału rozgłaszającego: wielodostępowość
  - adresowanie w warstwie łączy
  - niezawodna komunikacja, kontrola przepływu:  
*już była o nich mowa!*
- implementacja różnych technologii warstwy łączy

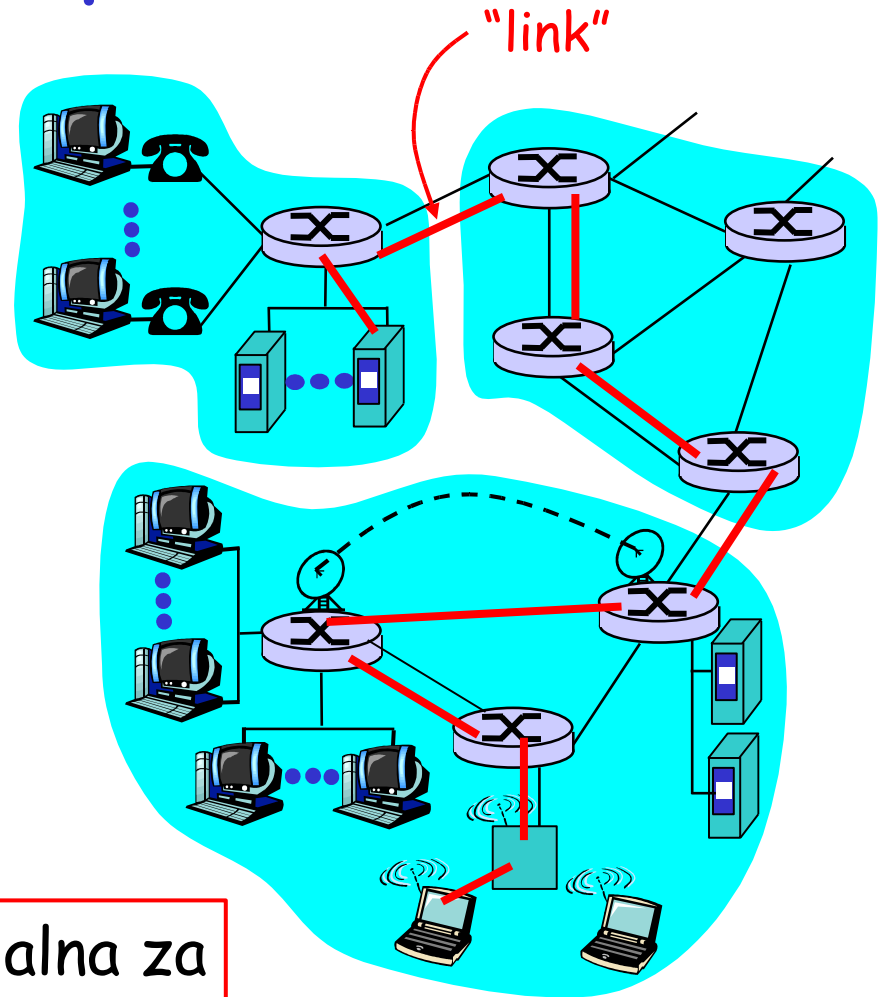
# Mapa wykładu

- ❑ 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

# Warstwa łącza: wprowadzenie

## Trochę terminologii:

- hosty, rutery, mosty, switche to **węzły**
- węzły są połączone **łączami**
  - łącza stałe
  - łącza bezprzewodowe
  - sieci lokalne
- jednostka informacji w warstwie łącza to **ramka**, która enkapsuluje pakiet



**warstwa łącza** jest odpowiedzialna za komunikację ramek pomiędzy sąsiednimi węzłami przez łącze

# Warstwa łącza: kontekst

- ❑ Pakiety są komunikowane przez różne protokoły warstwy łącza na kolejnych łączach:
  - n.p., Ethernet na pierwszym łączu, Frame Relay na kolejnych łączach, 802.11 na ostatnim łączu
- ❑ Każdy protokół w. łącza może oferować różne usługi
  - n.p., może (lub nie) oferować niezawodną komunikację na łączu

## analogia transportowa

- ❑ wycieczka z Warszawy do Bordeaux
  - limuzyna: Warszawa do Okęcia
  - Concorde: Okęcie do Paryża
  - pociąg: Paryż do Bordeaux
- ❑ turysta = **pakiet**
- ❑ etap wycieczki = **łącze komunikacyjne**
- ❑ sposób transportu = **protokół warstwy łącza**
- ❑ biuro podróży = **algorytm routingu**

# Usługi warstwy łącza

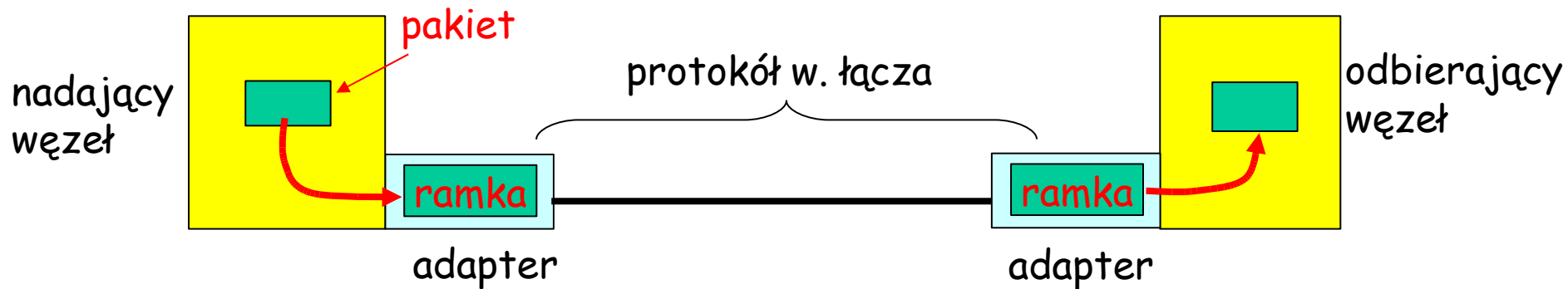
- ❑ **tworzenie ramek, dostęp do łącza:**
  - enkapsuluje pakiet w ramce, dodaje nagłówki i zakończenie
  - uzyskuje dostęp do łącza, jeśli jest współdzielone
  - 'adresy fizyczne' używane w nagłówkach ramek do identyfikacji nadawcy i odbiorcy
    - różne od adresów IP!
- ❑ **Niezawodna komunikacja między sąsiednimi węzłami**
  - w części trzeciej poznaliśmy mechanizmy niezawodnej komunikacji
  - rzadko używane na łączach, które mają małą stopę błędów (światłowód, jakiś rodzaj kabla)
  - łącza bezprzewodowe: wysokie stopy błędów
    - Pytanie: po co nam niezawodność na poziomie łącza i na poziomie koniec-koniec (w warstwie transportu)?



# Usługi warstwy łącza (ciąg dalszy)

- *Kontrola przepływu:*
  - dopasowanie prędkości nadawania i odbierania przez dwa sąsiednie węzły
- *Rozpoznawanie błędów:*
  - błędy powodowane przez tłumienie lub zakłócenia sygnału
  - odbiorca rozpoznaje błąd:
    - sygnalizuje nadawcy konieczność retransmisji, wyrzuca ramkę
- *Korekcja błędów przez kody nadmiarowe:*
  - odbiorca rozpoznaje *i naprawia* błędy bitowe bez potrzeby retransmisji
- *Komunikacja półdupleksowa i w pełni duplexowa*
  - w komunikacji półdupleksowej (ang. *half-duplex*, także "nadawanie naprzemienne"), węzły na obu końcach łącza mogą transmitować, ale nie jednocześnie

# Komunikacja "adapterów"



- ❑ warstwa łącza jest implementowana w "adapterach" (tzw. NIC, Network Interface Card)
  - karta Ethernet, karta PCMCIA, karta 802.11
- ❑ nadający adapter:
  - enkapsuluje pakiet w ramce
  - dodaje bity sum kontrolnych, niezawodność, kontrolę przepływu, itd.

- ❑ odbierający adapter
  - szuka błędów, realizuje niezawodność, kontrolę przepływu, itd
  - dekapsuluje pakiet, przekazuje warstwie odbierającemu węzłowi
- ❑ adapter jest częściowo autonomiczny
- ❑ działa w w. łącza i fizycznej

# Mapa wykładu

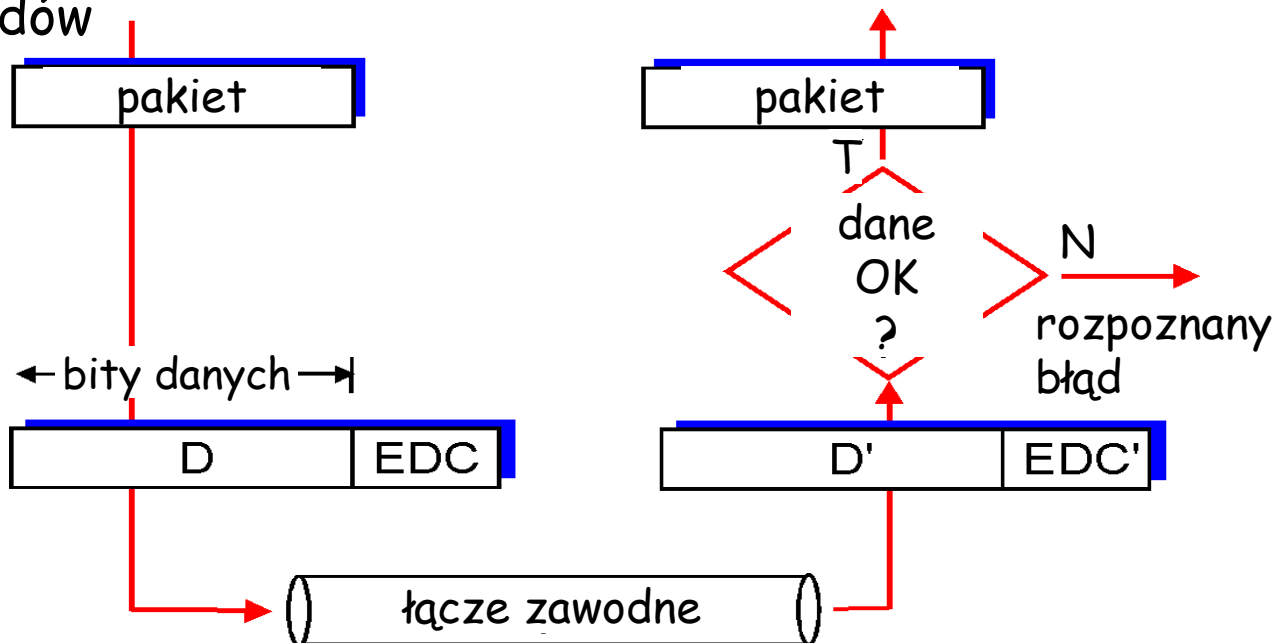
- ❑ 5.1 Wprowadzenie i usługi warstwy łącza
- ❑ 5.2 Rozpoznawanie i naprawa błędów
- ❑ 5.3 Protokoły wielodostępowe
- ❑ 5.4 Adresy w sieciach LAN oraz protokół ARP
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Koncentratory, mosty, i switche
- ❑ 5.7 Bezprzewodowe łącza i sieci lokalne
- ❑ 5.8 PPP
- ❑ 5.9 ATM
- ❑ 5.10 Frame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

# Rozpoznawanie i korekcja błędów

EDC= bity rozpoznania i korekcji błędów (nadmiarowe)

D = Informacje chronione przez kontrolę błędów, mogą zawierać pola nagłówka

- Korekcja błędów nie jest w 100% niezawodna!
  - protokół może przepuścić błąd, ale nieczęsto
  - większe pole EDC pozwala na lepsze rozpoznawanie i korekcję błędów

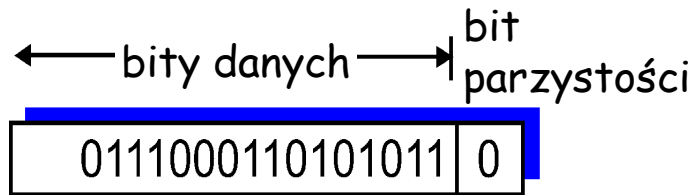


# Kontrola parzystości

## Jeden bit

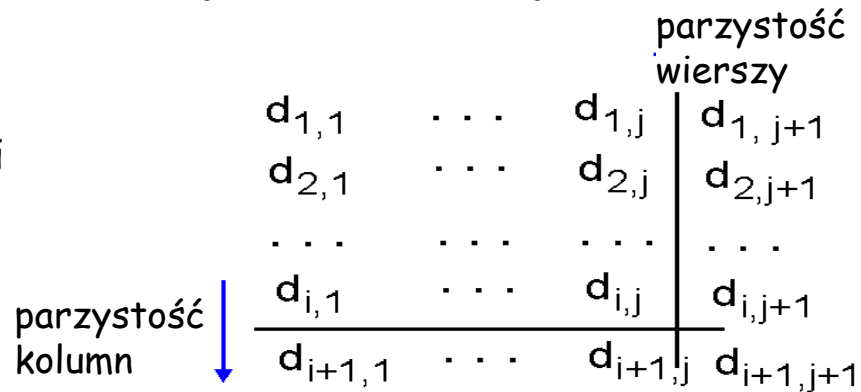
### parzystości:

Rozpoznaje pojedynczy błąd bitowy



## Dwuwymiarowe bity parzystości:

Rozpoznaje i poprawia pojedyncze błędy bitowe



1	0	1	0	1	1
1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0

*bez błędów*

1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0

błąd parzystości  
błąd parzystości  
możliwy do  
naprawienia błąd  
bitowy

# Internetowa suma kontrolna

Cel: rozpoznawanie błędów (n.p., bitowych) w komunikowanym segmencie (uwaga: używana *tylko* w warstwie transportu)

## Nadawca:

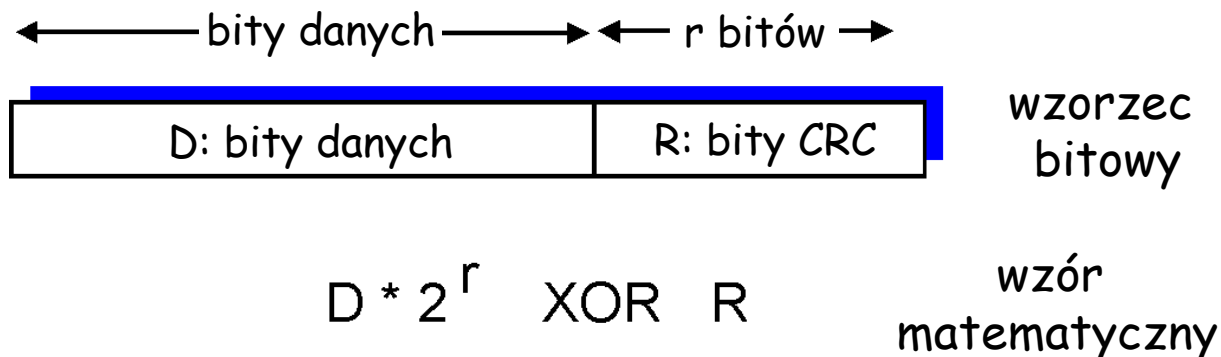
- ❑ traktuje zawartość segmentu jako ciąg 16-bitowych liczb całkowitych
- ❑ suma kontrolna: suma (negacja sumy bitowej) zawartości segmentu
- ❑ nadawca wstawia wartość sumy kontrolnej w polu sumy kontrolnej nagłówka UDP

## Odbiorca:

- ❑ oblicza sumę kontrolną otrzymanego segmentu
- ❑ sprawdza, czy obliczona suma kontrolna jest równa wartości w polu sumy kontrolnej:
  - NIE - wykryto błąd
  - TAK - nie wykryto błędu.

# Sumy kontrolne: Kontrola redundancji cyklicznej (Cyclic Redundancy Check, CRC)

- ❑ bity informacji, **D**, są traktowane jako liczba w systemie dwójkowym
- ❑ wybierz wzorzec  $r+1$  bitów (generator), **G**
- ❑ cel: wybierz  $r$  bitów CRC, **R**, tak że
  - $\langle D, R \rangle$  dokładnie podzielne przez  $G$  (modulo 2)
  - odbiorca zna  $G$ , dzieli  $\langle D, R \rangle$  przez  $G$ . Jeśli reszta jest niezerowa: rozpoznano błąd!
  - rozpoznaje grupy błędów krótsze niż  $r+1$  bitów
- ❑ szeroko używane w praktyce (ATM, HDCL)



# Przykład CRC

Chcemy obliczyć:

$$D \cdot 2^r \text{ XOR } R = nG$$

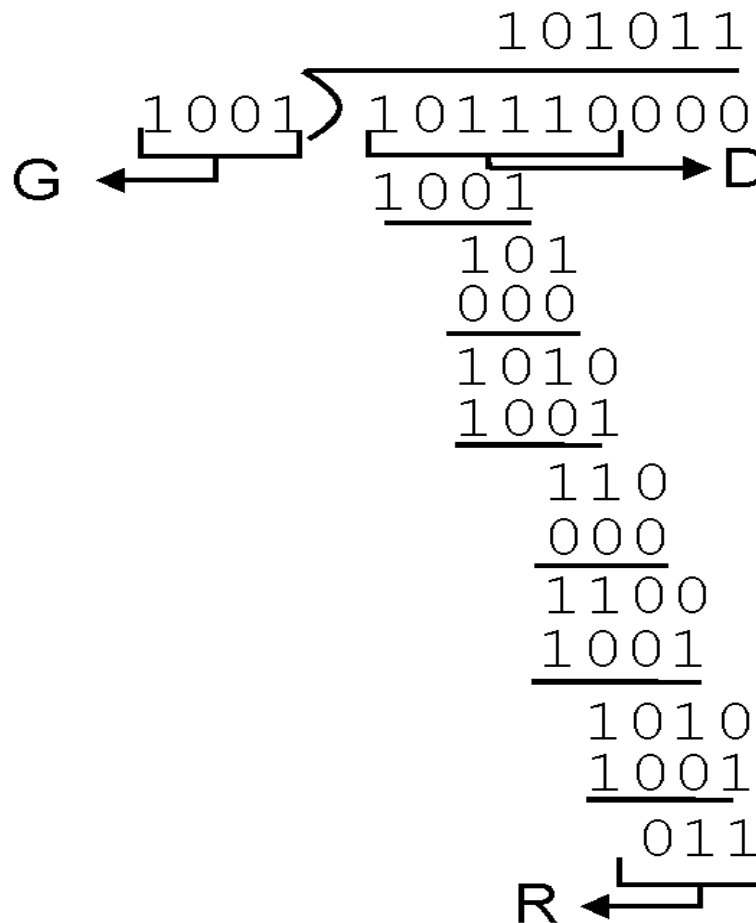
*lub równoważnie:*

$$D \cdot 2^r = nG \text{ XOR } R$$

*lub równoważnie:*

jeśli podzielimy  $D \cdot 2^r$   
przez  $G$ , chcemy  
resztę  $R$

$$R = \text{reszta} \left[ \frac{D \cdot 2^r}{G} \right]$$





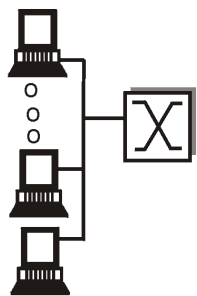
# Mapa wykładu

- ❑ 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

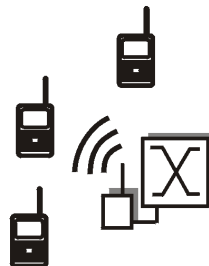
# Łącza współdzielone i protokoły wielodostępowe

Dwa rodzaje "łącz":

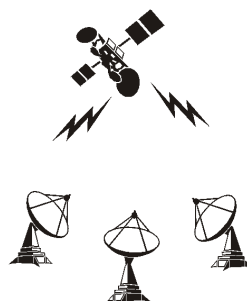
- punkt-punkt
  - PPP dla dostępu modemowego
  - łącze punkt-punkt pomiędzy switchem Ethernet i hostem
- **punkt-wielopunkt, rozgłaszające**  
(wspólny kabel lub medium)
  - tradycyjny Ethernet
  - łącze zwrotne HFC
  - bezprzewodowa sieć lokalna 802.11



wspólny kabel  
(n.p. Ethernet)



wspólne radio  
(n.p. Bluetooth)



satelita



impreza

# Protokoły wielodostępowe

- ❑ wspólne łącze rozgłaszające
- ❑ dwie lub więcej jednoczesnych transmisji: zakłócenia
  - tylko jeden węzeł może **poprawnie** nadawać w chwili czasu

## protokół wielodostępowy

- ❑ rozproszony algorytm, który określa jak węzły dzielą się łączem, czyli jak węzeł określa, kiedy może nadawać
- ❑ komunikacja sygnalizacyjna o podziale łącza musi sama używać tego łącza!
- ❑ czego wymagać od protokołów wielodostępowych:

# Idealny Protokół Wielodostępowy

## Łącze rozgłaszające o przepustowości $R$ b/s

1. Jeśli jeden węzeł chce nadawać, może nadawać z szybkością  $R$ .
2. Jeśli  $M$  węzłów chce nadawać, każdy może nadawać z średnią przepustowością  $R/M$
3. W pełni rozproszony:
  - nie potrzeba specjalnego węzła do koordynacji podziału łącza
  - nie potrzeba synchronizacji zegarów, szczelin czasowych
4. Prosty

# Protokoły MAC: taksonomia

Medium Access Control (MAC):

warstwa protokołów wielodostępowych

Trzy szerokie klasy protokołów:

## □ Podział łącza

- dzielą łącze na mniejsze "kawałki" (szczeliny czasowe, kawałki pasma, według kodu)
- przydziela kawałki węzłom do wyłącznego użytku

## □ Dostęp bezpośredni

- łącze nie jest dzielone, kolizje są możliwe
- "poprawianie" po kolizji

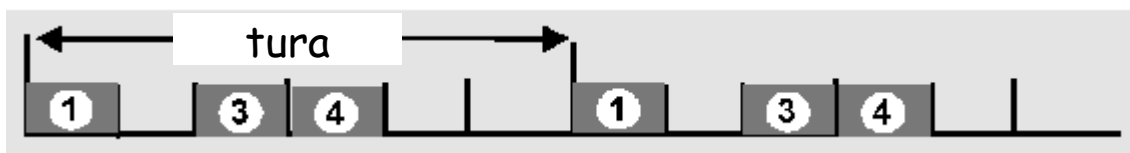
## □ "Z kolejnością"

- ścisła koordynacja wielodostępu w celu uniknięcia kolizji

# Protokoły MAC dzielące łącze: TDMA

## TDMA: time division multiple access

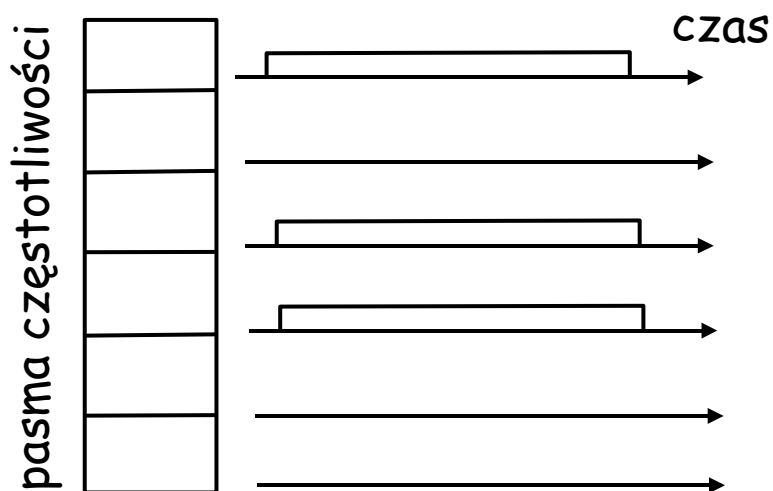
- ❑ dostęp do łącza w "turach"
- ❑ każda stacja otrzymuje szczelinę czasową stałej długości (długość = czas transmisji ramki) w każdej turze
- ❑ nieużywane szczeliny są puste
- ❑ przykład: sieć lokalna 6 stacji, 1,3,4 mają ramkę, szczeliny 2,5,6 są puste



# Protokoły MAC dzielące łącze: FDMA

## FDMA: frequency division multiple access

- ❑ pasmo łącza jest dzielone na mniejsze pasma
- ❑ każda stacja otrzymuje stałe pasmo częstotliwości
- ❑ niewykorzystany czas transmisji w nieużywanych pasmach
- ❑ przykład: sieć lokalna 6 stacji, 1,3,4 mają ramkę, pasma częstotliwości 2,5,6 są niewykorzystane



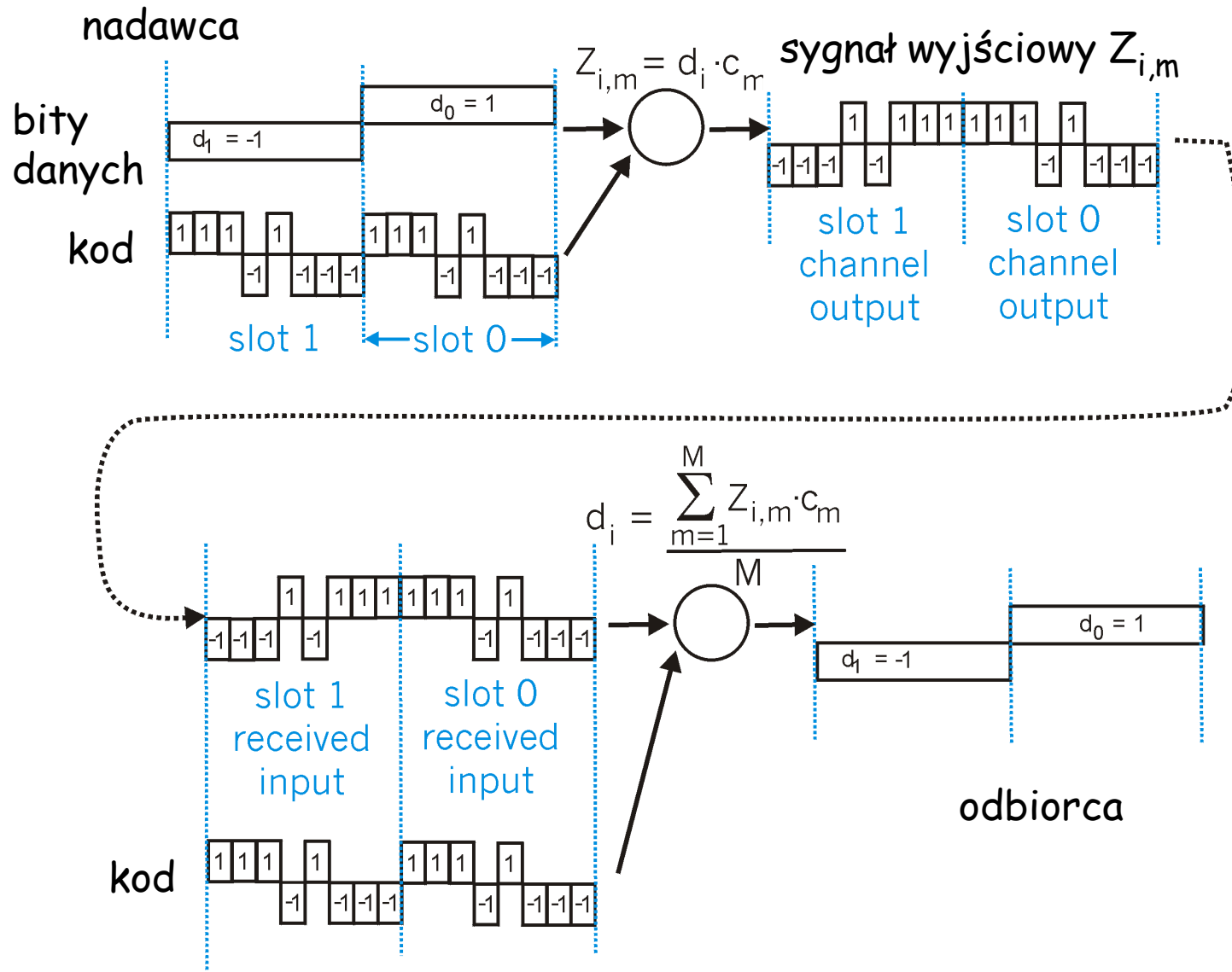
# Protokoły MAC dzielące łącze: CDMA

## CDMA (Code Division Multiple Access)

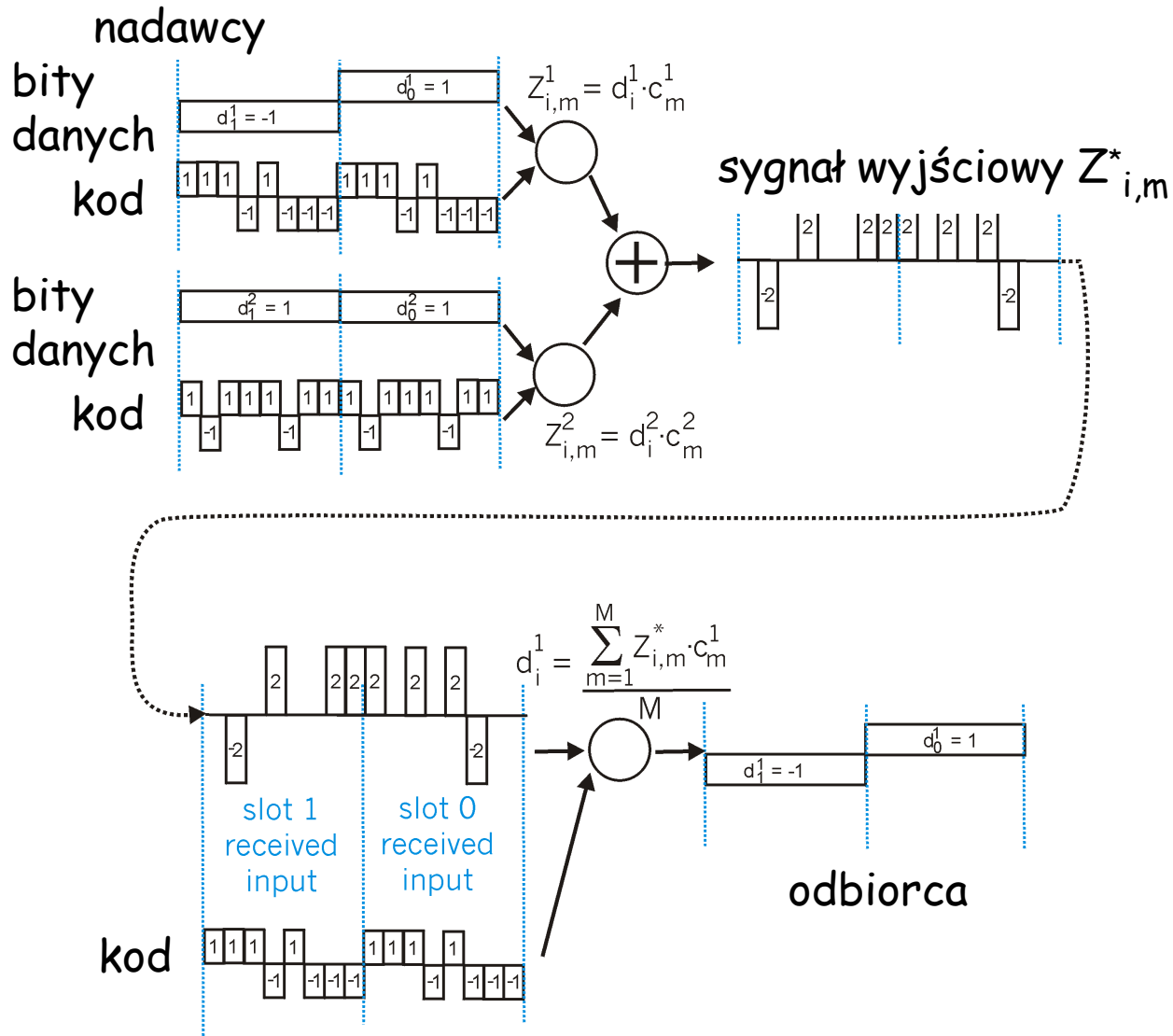
- ❑ każdemu użytkownikowi przypisany jest jednoznaczny "kod"; czyli dzielimy zbiór kodów między użytkowników
- ❑ używany najczęściej w bezprzewodowych łączach rozgłaszających (komórkowych, satelitarnych, itd)
- ❑ wszyscy użytkownicy mają tę samą częstotliwość, ale każdy ma ciąg dzielący dane (kod), które są wysyłane nadmiarowo
- ❑ *kodowany sygnał* = (oryginalna informacja) X (wartość w ciągu kodu)
- ❑ *dekodowanie*: suma iloczynów zakodowanego sygnału i wartości w ciągu kodu (wartości w ciągu kodu dodają się do 0)
- ❑ jeśli kody są odpowiednio dobrane, wielu użytkowników może nadawać na tej samej częstotliwości



# Kodowanie i dekodowanie CDMA



# CDMA: dwóch zakłócających nadawców



# Protokoły dostępu bezpośredniego

- Kiedy węzeł ma ramkę do wystania
  - transmituje z pełną przepustowością łącza, R.
  - nie ma koordynacji *a priori* pomiędzy węzłami
- dwa lub więcej transmitujących węzłów -> "kolizja"
- **protokół MAC dostępu bezpośredniego** określa:
  - jak wykrywać kolizje
  - jak naprawiać kolizje (n.p., przez opóźnione retransmisje)
- Przykłady protokołów MAC dostępu bezpośredniego:
  - szczelinowe ALOHA
  - ALOHA
  - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

# Szczelinowe ALOHA

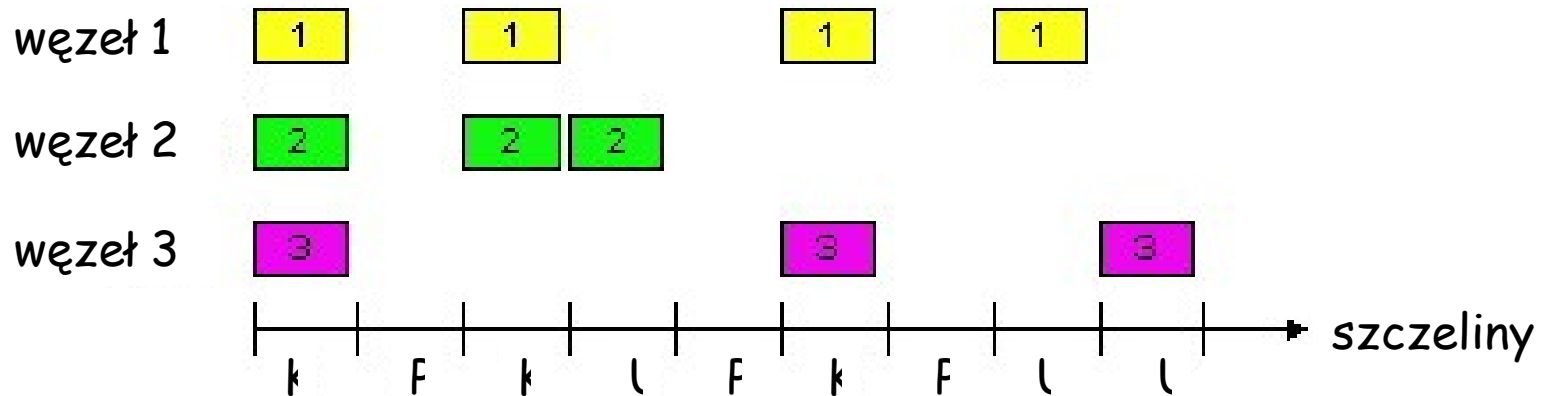
## Założenia

- wszystkie ramki mają ten sam rozmiar
- czas jest podzielony na jednakowe szczeliny (okres czasu na transmitowanie 1 ramki)
- węzły zaczynają transmitować tylko na początku szczelin
- węzły są zsynchronizowane
- jeśli 2 lub więcej węzłów transmituje w tym samym czasie, wszystkie węzły wykryją kolizję

## Działanie

- kiedy węzeł ma nową ramkę, transmituje w następnej szczelinie
- jeśli nie ma kolizji, węzeł może wysłać nową ramkę w następnej szczelinie
- jeśli jest kolizja, węzeł retransmituje ramkę w następnych szczelinach z prawdopodobieństwem  $p$ , aż odniesie sukces

# Szczelinowe ALOHA



## Za

- jeden aktywny węzeł może transmitować bez przerwy z pełną przepustowością kanału
- wysoce zdecentralizowane: trzeba tylko zsynchronizować szczeliny w węzłach
- proste

## Przeciw

- kolizje, marnowanie szczelin
- puste szczeliny
- węzły mogą rozpoznawać kolizje szybciej, niż wynosi czas transmisji ramki

# Wydajność szczelinowego ALOHA

**Wydajność** jest to stosunek ilości udanych transmisji gdy jest wiele węzłów, z których każdy wysyła wiele ramek, w długim okresie

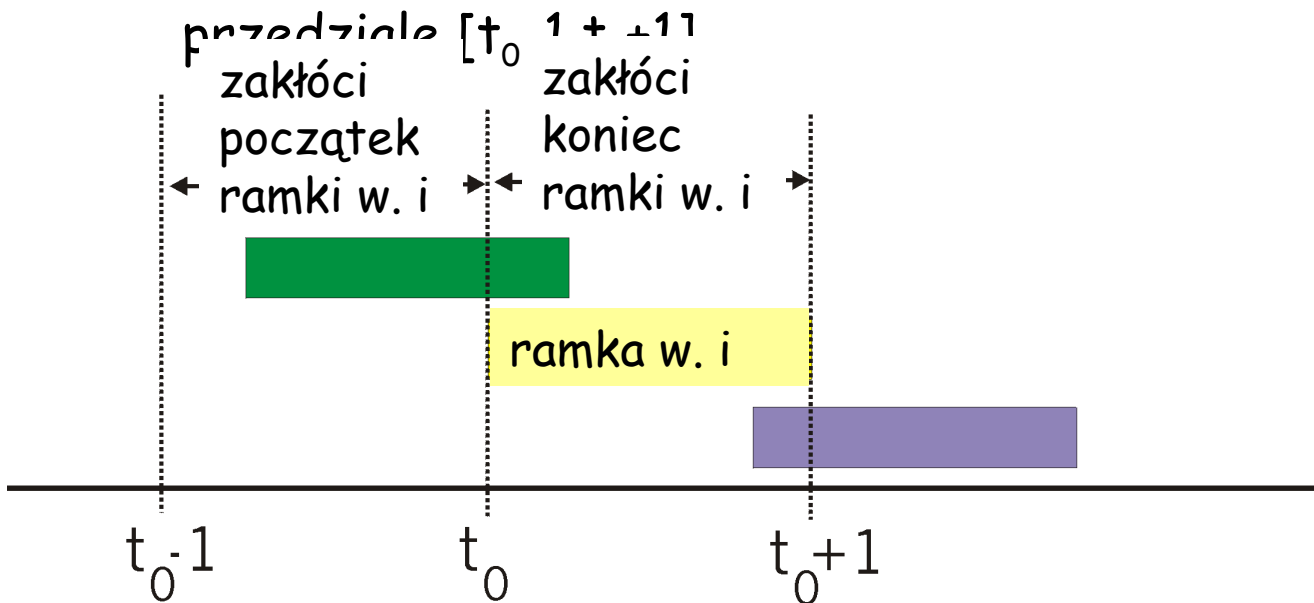
- Załóżmy, że  $N$  węzłów wysyła wiele ramek, każdy wysyła w szczelinie z prawdopodob.  $p$
- prawd. że 1szy węzeł ma udaną transmisję =  $p(1-p)^{N-1}$
- prawd. że jakiś węzeł ma udaną transmisję =  $Np(1-p)^{N-1}$

- Dla największej wydajności  $N$  węzłów, znajdź  $p^*$  maksymalizujące  $Np(1-p)^{N-1}$
- Dla wielu węzłów, oblicz granicę  $Np^*(1-p^*)^{N-1}$  przy  $N$  dążącym do niesk., wynik:  $1/e = .37$

***W najlepszym razie:  
wydajność 37%!***

# Czyste ALOHA (bez szczelin)

- czyste Aloha: prostsze, bez synchronizacji
- gdy otrzyma się ramkę
  - transmitować natychmiast
- prawdopodobieństwo kolizji rośnie:
  - ramka wysłana w czasie  $t_0$  koliduje z ramkami wysłanymi w



# Wydajność czystego ALOHA

$P(\text{udana transmisja w\u0119z\u0142a}) = P(\text{w\u0119z\u0119\u0142 transmituje}) \cdot$

$P(\text{\u017caden inny w\u0119z\u0119\u0142 nie transmituje } [t_0-1, t_0]) \cdot$

$P(\text{no other node transmits in } [t_0, t_0+1])$

$$= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1}$$

$$= p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

... wybra\u0107 najlepsze  $p$  i d\u0105\u017c\u0105 z  $n \rightarrow$  niesko\u0144czono\u015bci...

**Jeszcze gorzej !**

$$= 1/(2e) = .18$$



# CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

**CSMA**: bez synchronizacji, nasłuchiwać przed transmisją:

- Jeśli kanał jest wolny: wysłać całą ramkę
- Jeśli kanał jest zajęty, opóźnić transmisję
  
- Ludzka analogia: nie przerywać innym!

# Kolizje CSMA

kolizje mogą się dalej zdarzać:

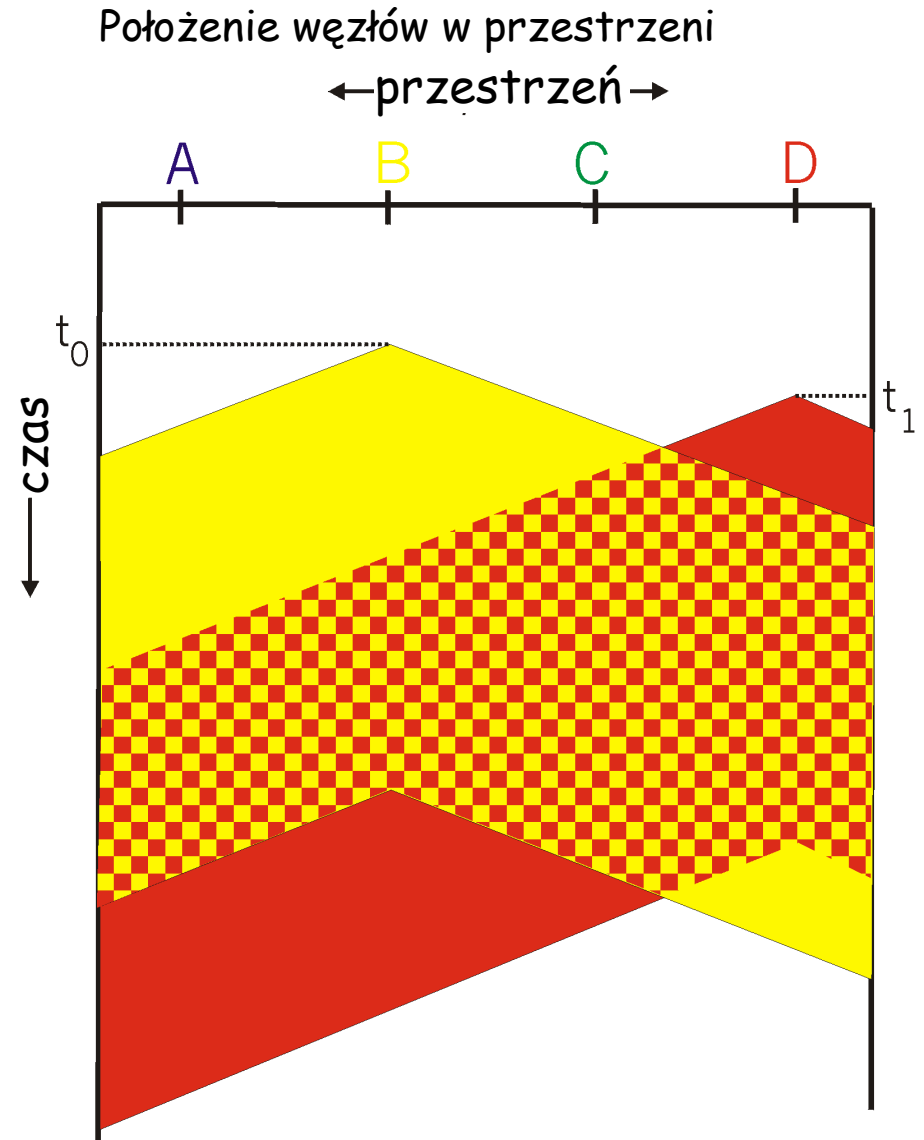
opóźnienie propagacji powoduje, że dwa węzły mogą nie słyszeć swojej transmisji na czas

**kolizja:**

cały czas transmisji ramki jest zmarnowany

**uwaga:**

odległość i opóźnienie propagacji mają wpływ na prawdopodobieństwo kolizji

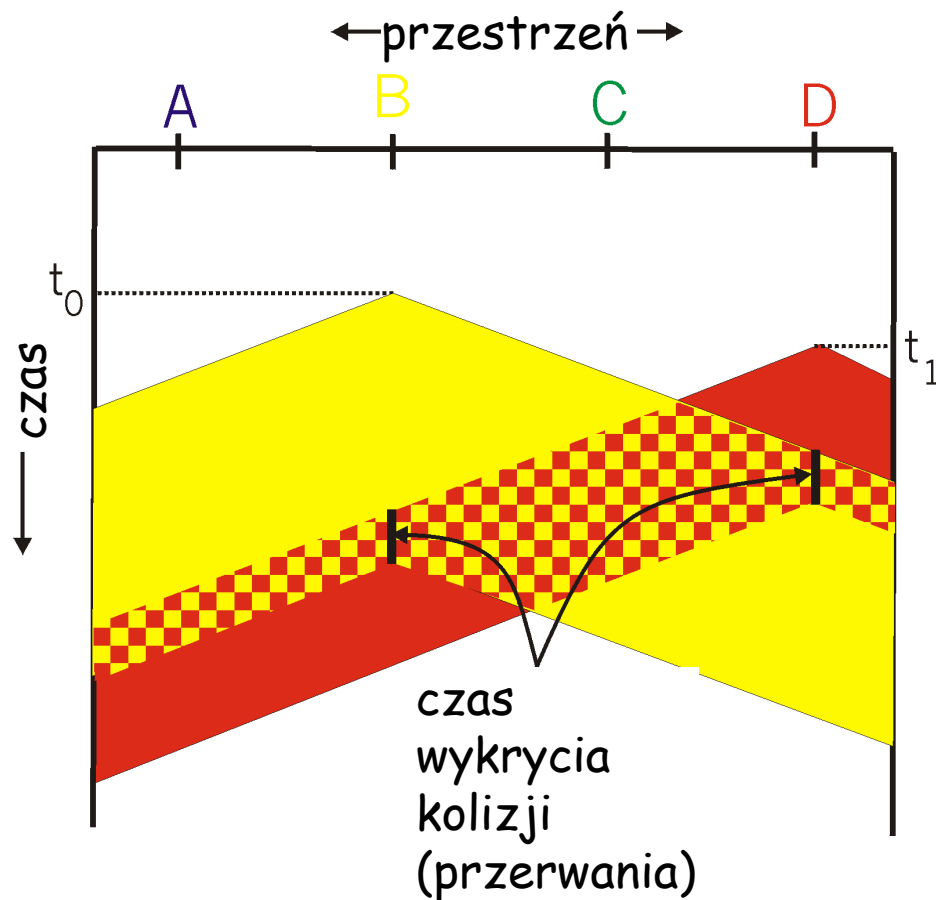


# CSMA/CD (Collision Detection)

**CSMA/CD:** nasłuchiwanie, opóźnianie jak w CSMA

- kolizje wykrywane w krótkim czasie
- kolidujące transmisje są przerywane, co zmniejsza marnowanie kanału
- wykrywanie kolizji:
  - proste w przewodowych sieciach LAN: mierz siłę sygnału, porównaj wysłany, odebrany sygnał
  - trudne w bezprzewodowych sieciach LAN: odbiorca odłączony podczas transmisji
- analogia ludzka: grzeczny rozmówca

# Wykrywanie kolizji w CSMA/CD



# Protokoły MAC "z kolejnością"

protokoły MAC z podziałem łącza:

- przy dużym obciążeniu, dzielą kanał wydajnie i sprawiedliwie
- niewydajne przy małym obciążeniu: opóźnienie w dostępie,  $1/N$  przepustowości dostępna nawet, gdy tylko 1 węzeł jest aktywny!

protokoły MAC z dostępem bezpośrednim:

- wydajne przy małym obciążeniu: pojedynczy węzeł może w pełni wykorzystać kanał
- wysokie obciążenie: narzut na kolizje

protokoły MAC "z kolejnością":

próbują połączyć zalety obu typów!

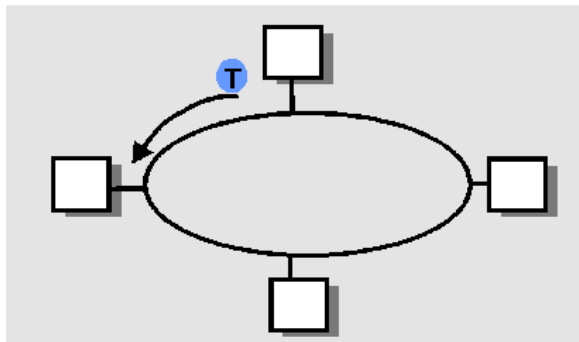
# Protokoły MAC "z kolejnością"

## Odpytywanie:

- ❑ węzeł nadrzędny kolejno "zaprasza" węzły podrzędne do transmisji
- ❑ problemy:
  - narzut na odpytywanie
  - opóźnienie
  - mała odporność na awarie (węzła nadrzędnego)

## Przekazywanie żetonu:

- ❑ **żeton** kontrolny przekazywany od jednego węzła do drugiego.
- ❑ komunikat żetonu
- ❑ problemy:
  - narzut na żeton
  - opóźnienie
  - mała odporność na awarie (żetonu)



# Podsumowanie protokołów MAC

- ❑ Co można zrobić z współdzielonym kanałem?
  - Podział kanału, za pomocą czasu, częstotliwości, kodu
    - Time Division, Code Division, Frequency Division
  - Dostęp bezpośredni (dynamiczny),
    - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
    - nasłuchiwanie: łatwe w niektórych mediach (przewody), trudne w innych (radio)
    - CSMA/CD używane w Ethernetie
  - W kolejności
    - odpytywanie z centralnego punktu
    - przekazywanie żetonu

# 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