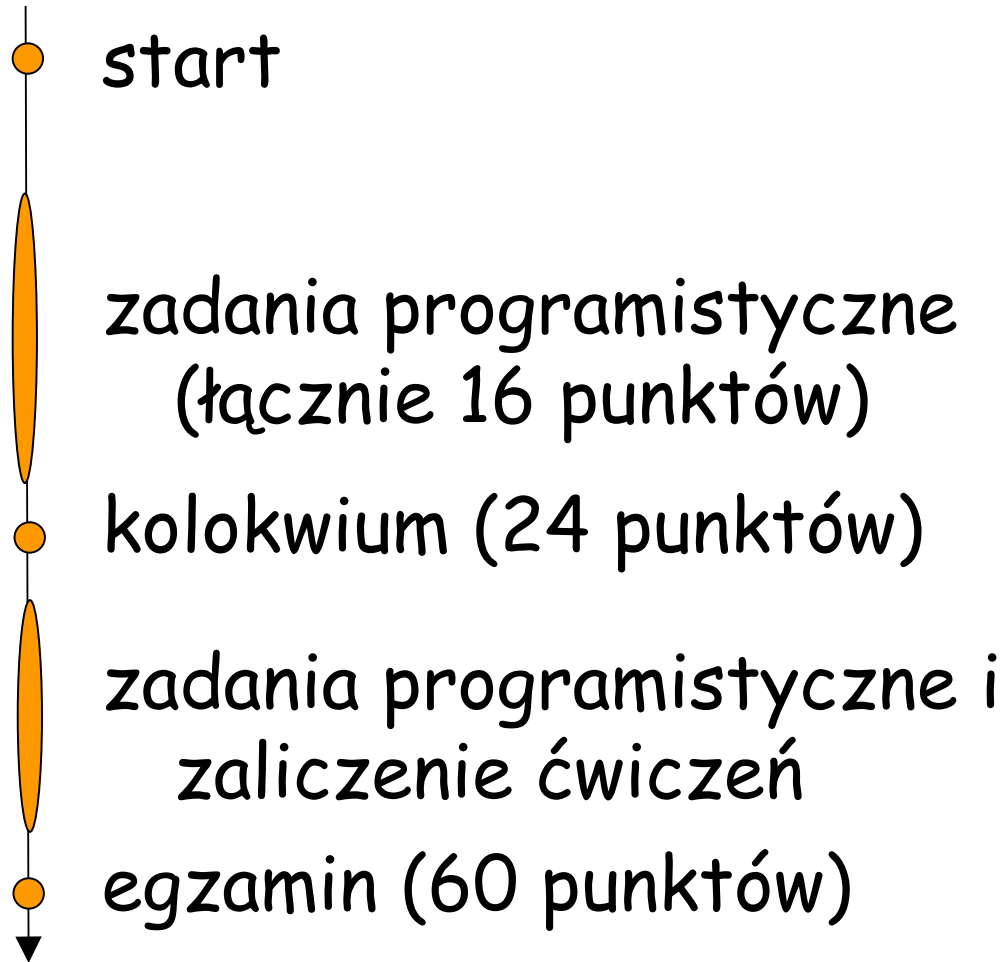


Plan całości wykładu

- 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

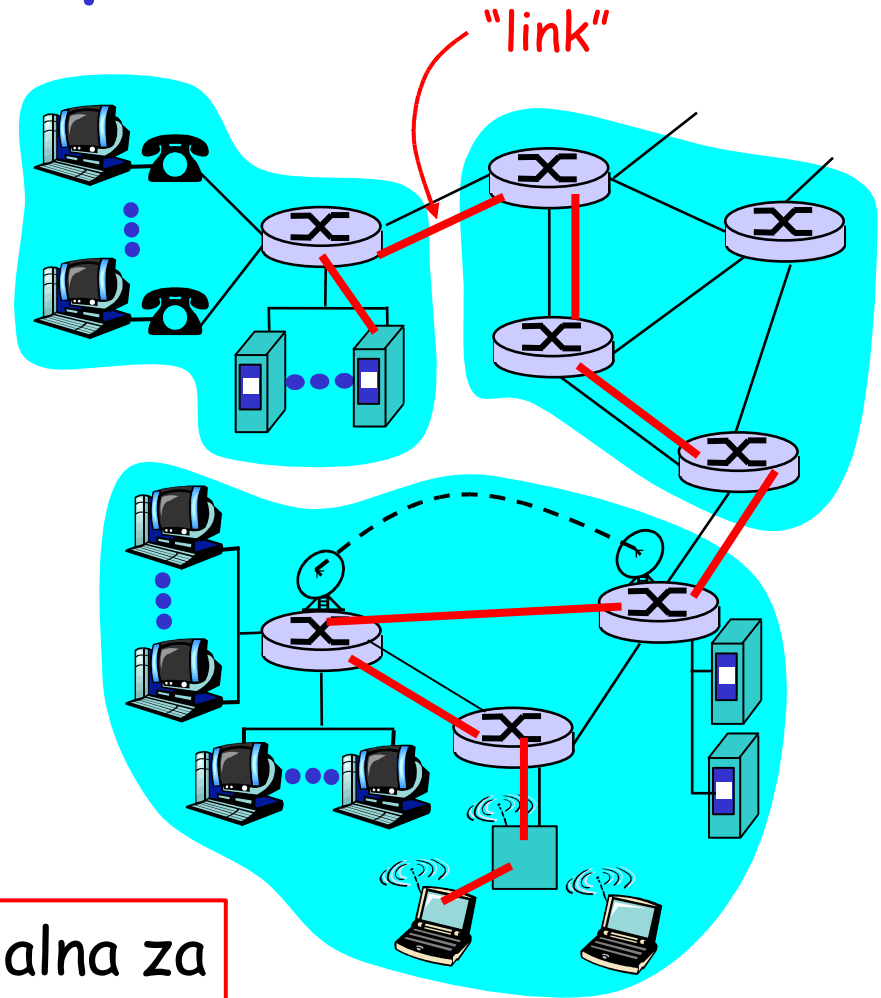
Mapa wykładu

- ❑ 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**

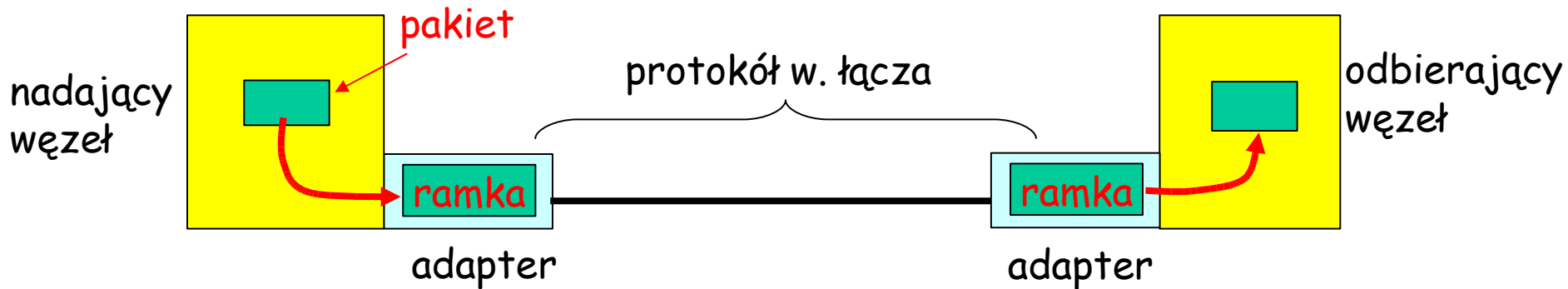
Usługi warstwy łącza

- ❑ **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

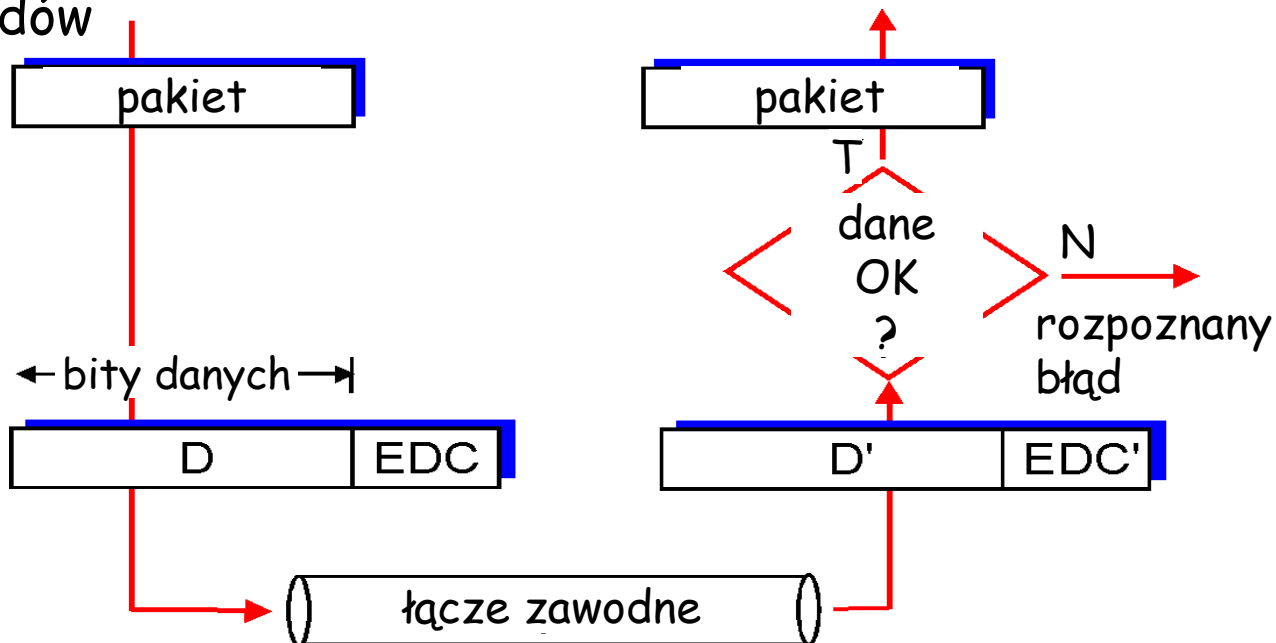
- ❑ 5.1 Wprowadzenie i usługi warstwy łącza
- ❑ 5.2 Rozpoznawanie i naprawa błędów
- ❑ 5.3 Protokoły wielodostępowe
- ❑ 5.4 Adresy w sieciach LAN oraz protokół ARP
- ❑ 5.5 Ethernet
- ❑ 5.6 Koncentratory, mosty, i switche
- ❑ 5.7 Bezprzewodowe łącza i sieci lokalne
- ❑ 5.8 PPP
- ❑ 5.9 ATM
- ❑ 5.10 Frame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

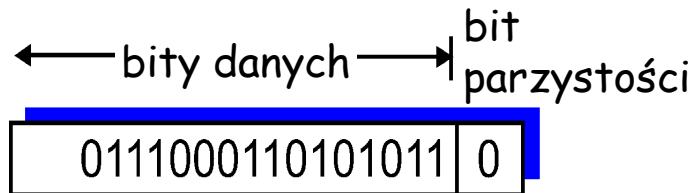


Kontrola parzystości

Jeden bit

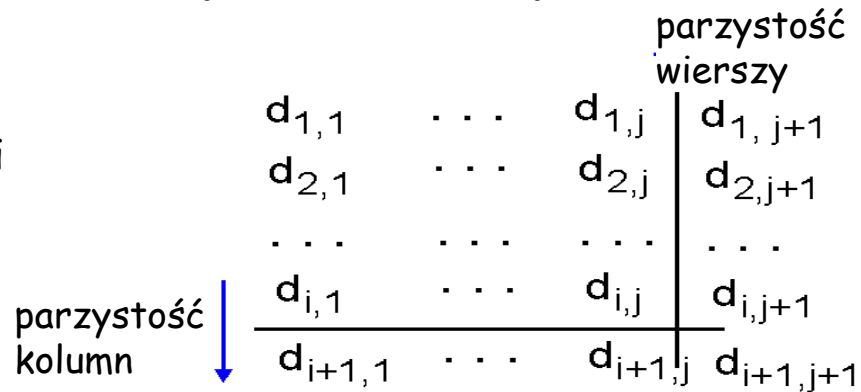
parzystości:

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:

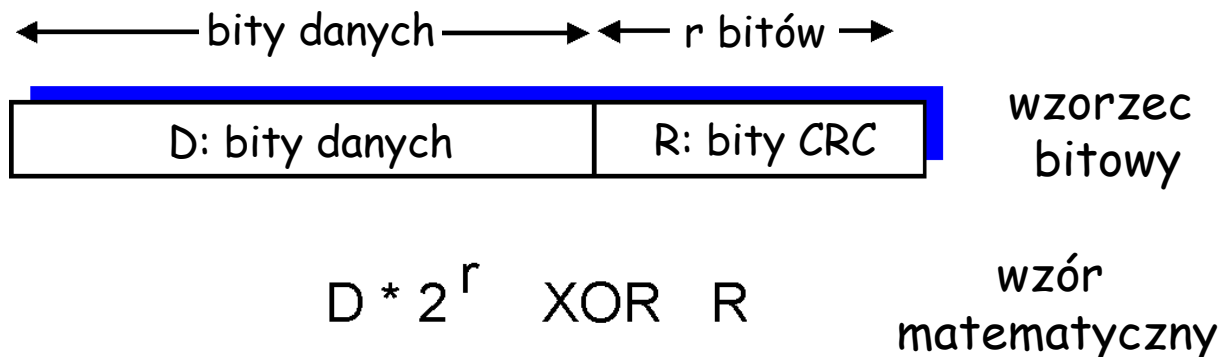
- ❑ traktuje zawartość segmentu jako ciąg 16-bitowych liczb całkowitych
- ❑ suma kontrolna: suma (negacja sumy bitowej) zawartości segmentu
- ❑ nadawca wstawia wartość sumy kontrolnej w polu sumy kontrolnej nagłówka UDP

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:

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

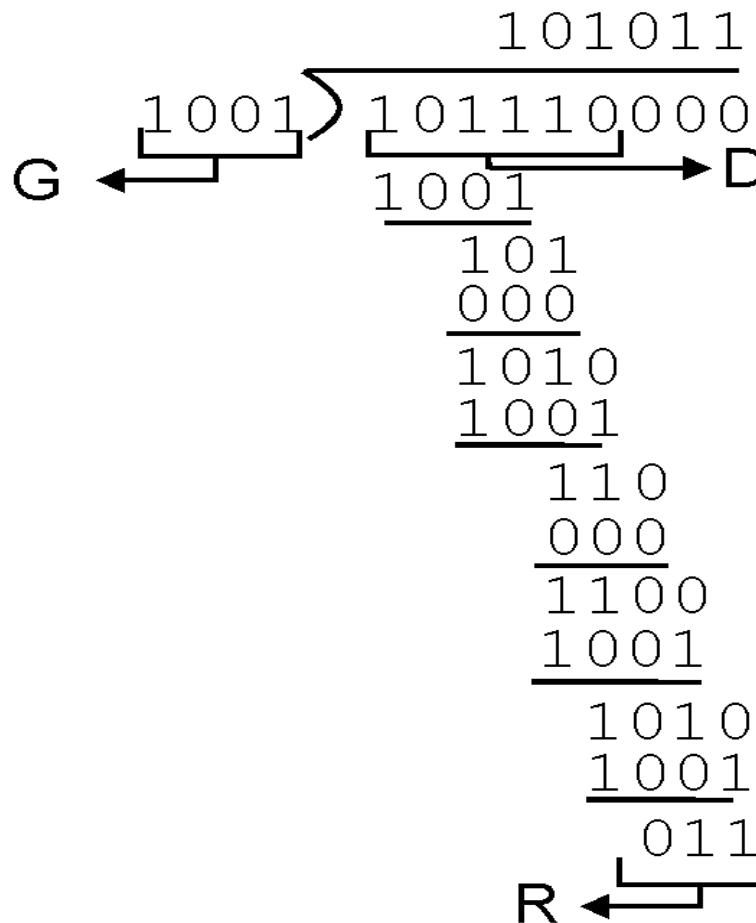
lub równoważnie:

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

lub równoważnie:

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

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



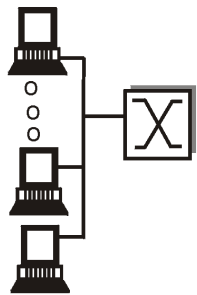
Mapa wykładu

- ❑ 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

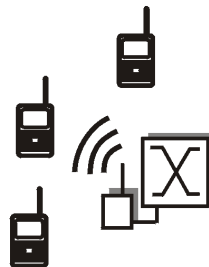
Łącza współdzielone i protokoły wielodostępowe

Dwa rodzaje "łącz":

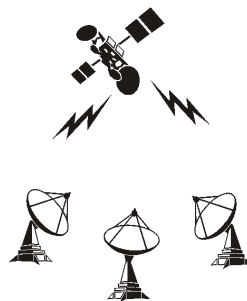
- punkt-punkt
 - PPP dla dostępu modemowego
 - łącze punkt-punkt pomiędzy switchem Ethernet i hostem
- **punkt-wielopunkt, rozgłaszające**
(wspólny kabel lub medium)
 - tradycyjny Ethernet
 - łącze zwrotne HFC
 - bezprzewodowa sieć lokalna 802.11



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

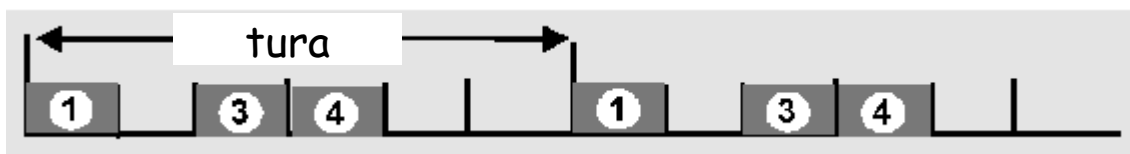
□ "Z kolejnością"

- ścisła koordynacja wielodostępu w celu uniknięcia kolizji

Protokoły MAC dzielące łącze: TDMA

TDMA: time division multiple access

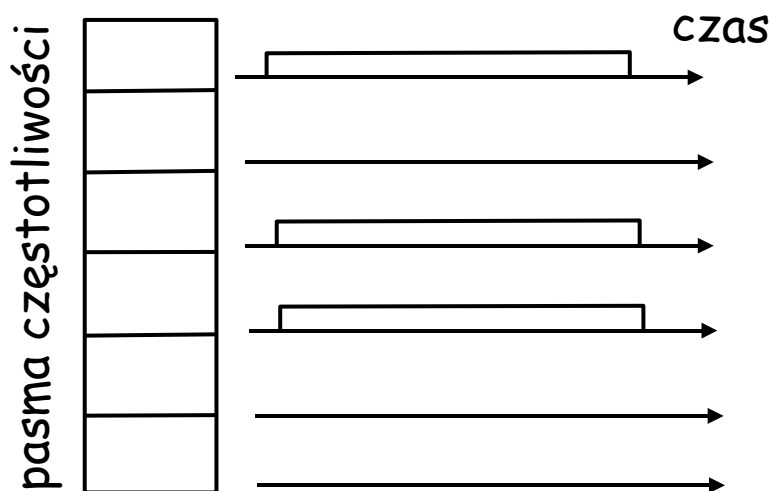
- ❑ dostęp do łącza w "turach"
- ❑ każda stacja otrzymuje szczelinę czasową stałej długości (długość = czas transmisji ramki) w każdej turze
- ❑ nieużywane szczeliny są puste
- ❑ przykład: sieć lokalna 6 stacji, 1,3,4 mają ramkę, szczeliny 2,5,6 są puste



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

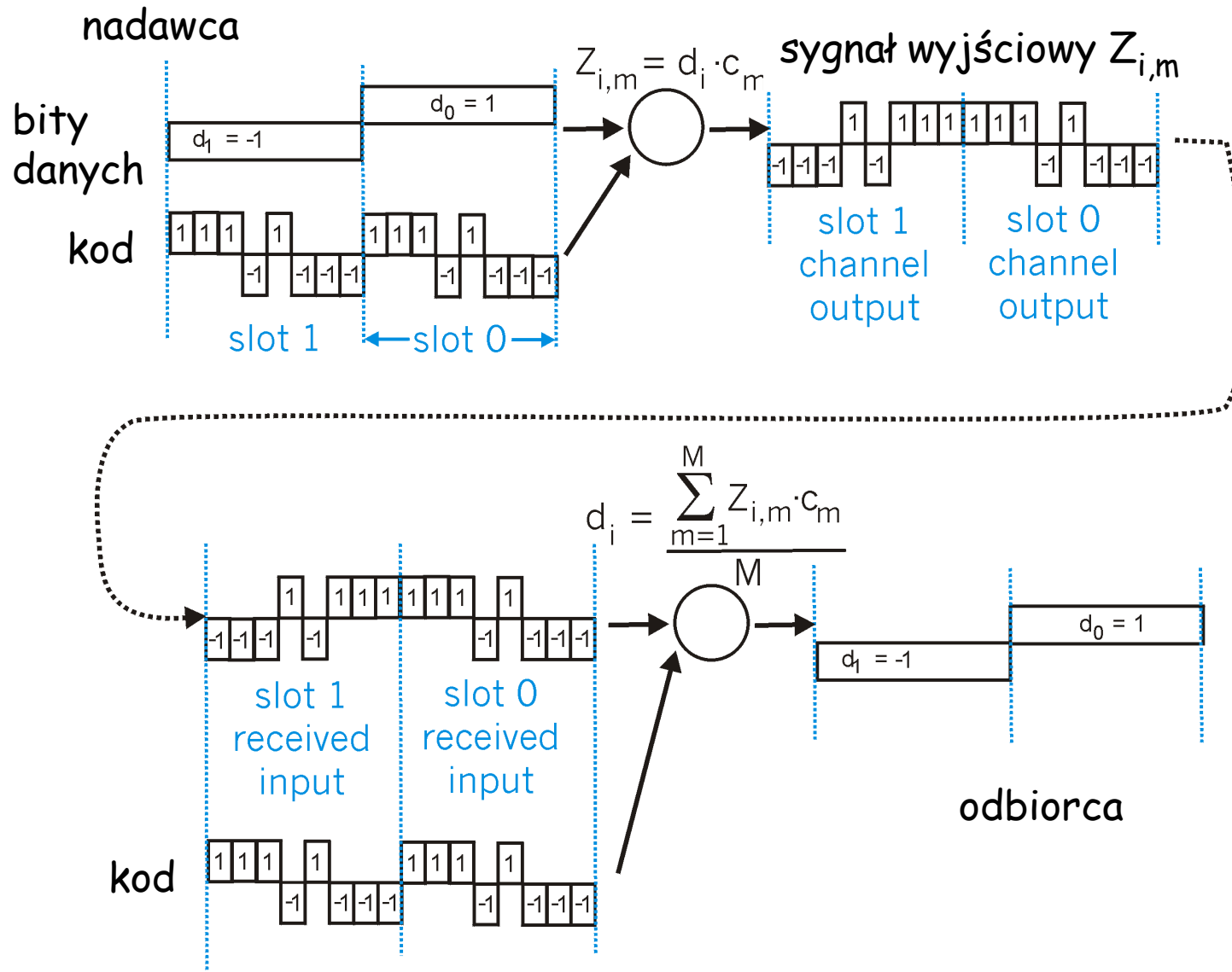


Protokoły MAC dzielące łącze: CDMA

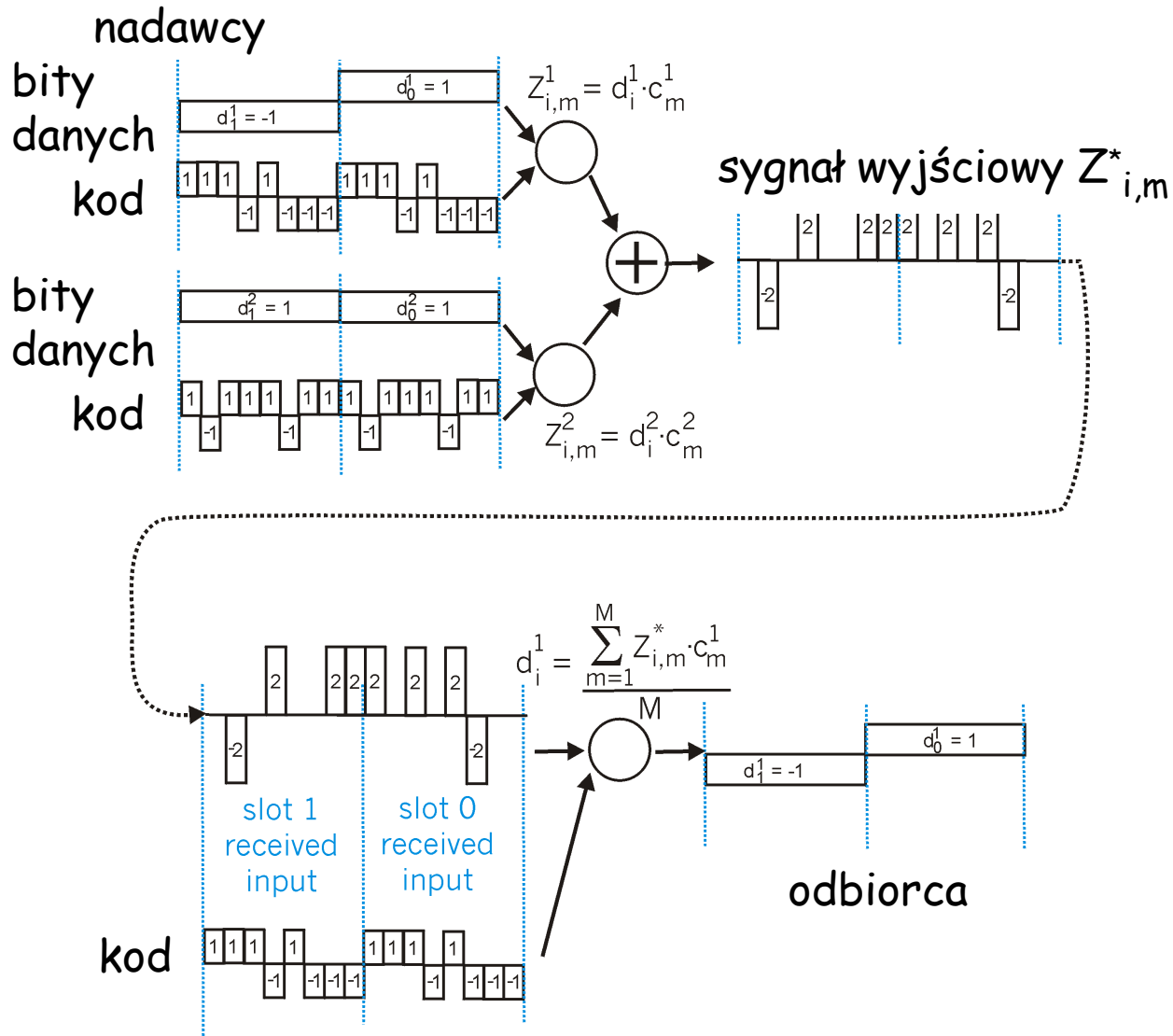
CDMA (Code Division Multiple Access)

- ❑ 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

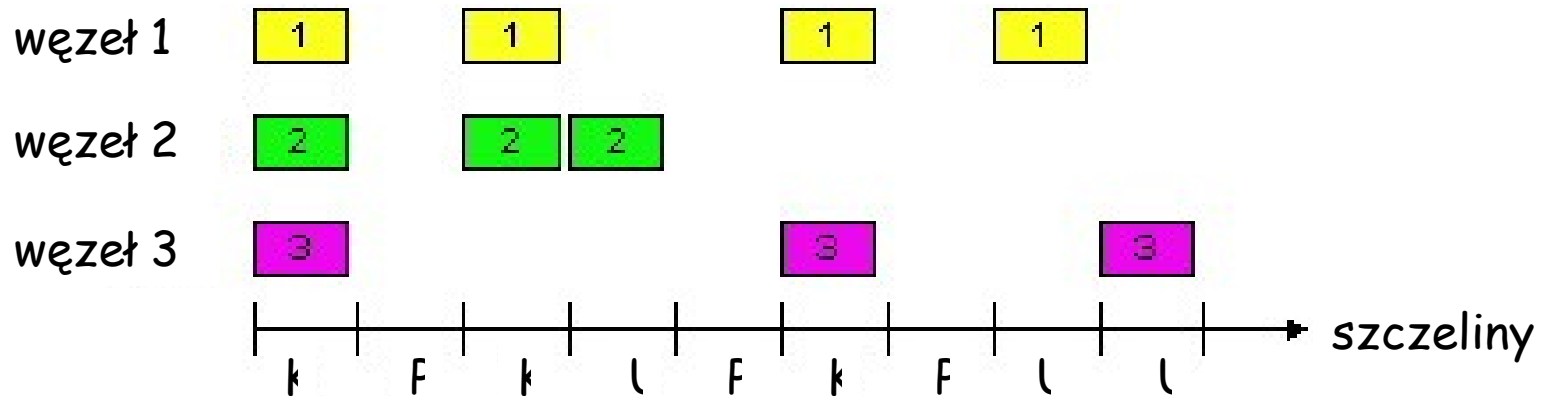
Założenia

- 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

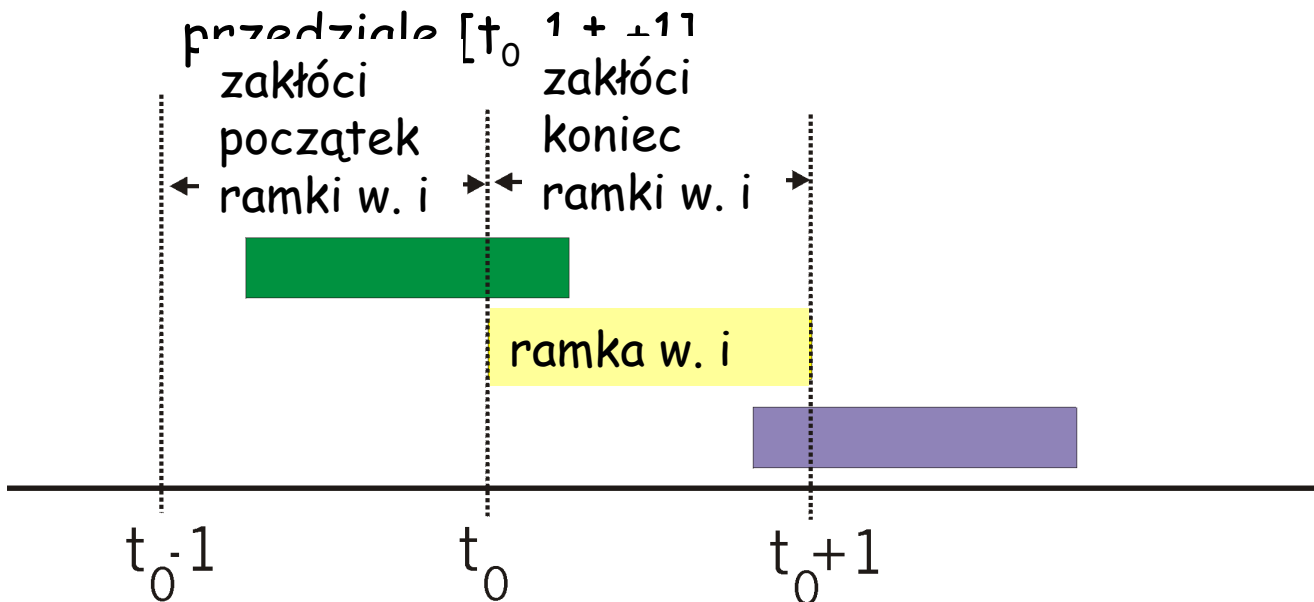
- Załóżmy, że N węzłów wysyła wiele ramek, każdy wysyła w szczelinie z prawdopodob. p
- prawd. że 1szy węzeł ma udaną transmisję = $p(1-p)^{N-1}$
- prawd. że jakiś węzeł ma udaną transmisję = $Np(1-p)^{N-1}$

- 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

$P(\text{udana transmisja wężła}) = P(\text{węzeł transmituje}) \cdot$

$P(\text{żaden inny węzeł nie transmituje } [t_0-1, t_0]) \cdot$

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

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

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

... wybrać najlepsze p i dążąc z $n \rightarrow$ nieskończoności...

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:

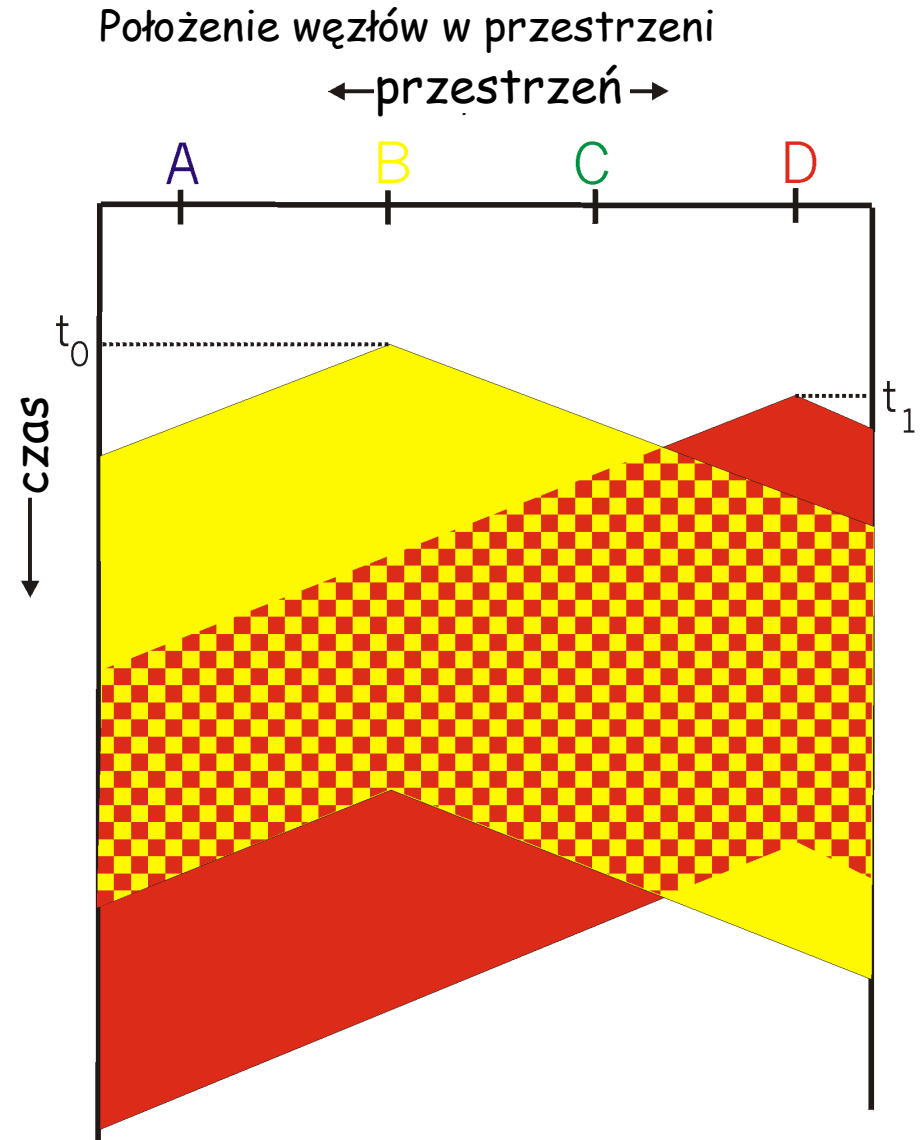
opóźnienie propagacji powoduje, że dwa węzły mogą nie słyszeć swojej transmisji na czas

kolizja:

cały czas transmisji ramki jest zmarnowany

uwaga:

odległość i opóźnienie propagacji mają wpływ na prawdopodobieństwo kolizji

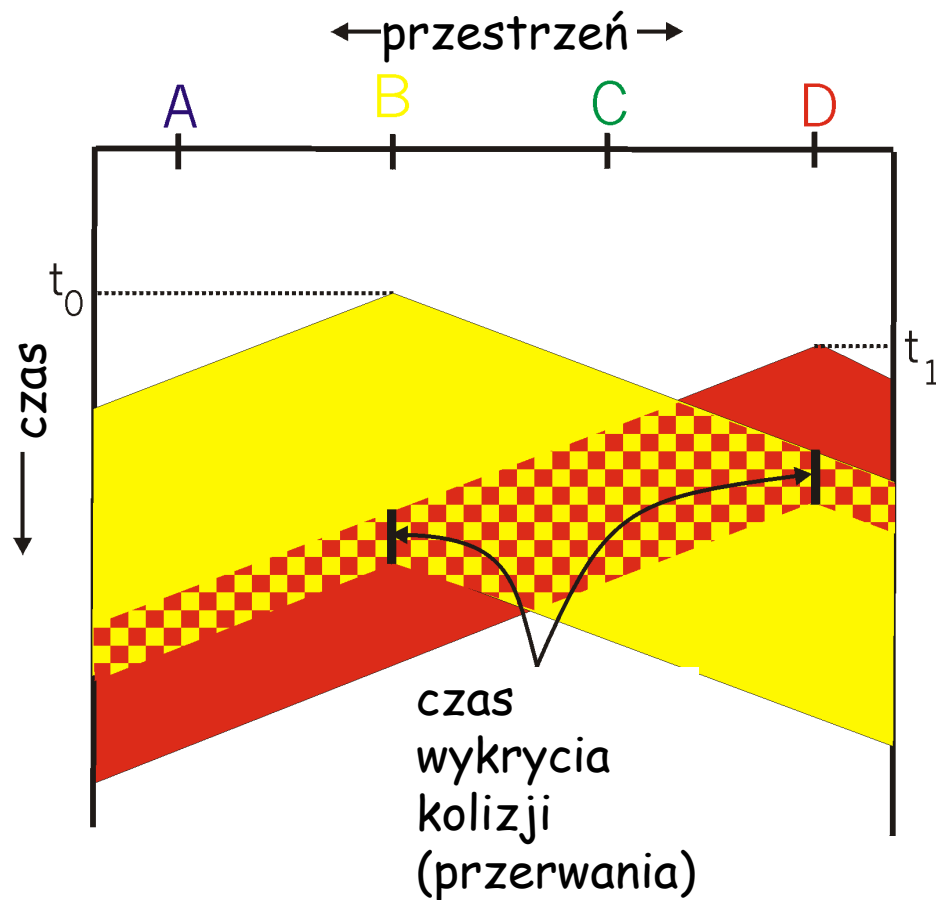


CSMA/CD (Collision Detection)

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!

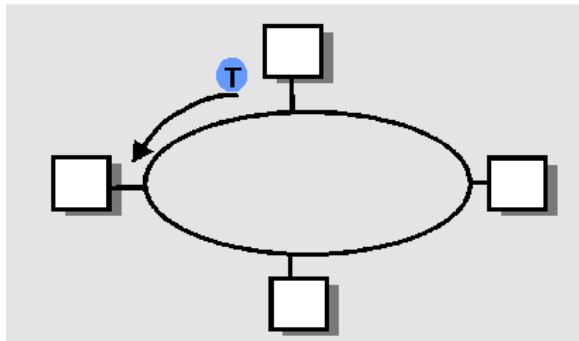
Protokoły MAC "z kolejnością"

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