

**Kodowe zabezpieczenie przed
błędami oraz kanał
telekomunikacyjny i jego
właściwości**

Mikołaj Leszczuk

2010-12-27

Spis treści wykładu

- **Kodowe zabezpieczenie przed błędami**
 - **Definicje**
 - Odległość Hamminga
 - Waga kodu
 - Rodzaje kodów
 - **Nieliniowy, stało-wagowy kod detekcyjny „2 z 5”**
 - **Kod „ilorazowy”**
- **Kanał telekomunikacyjny i jego właściwości**
 - **Współdzielony kanał telekomunikacyjny (dzielone medium)**
 - **Metody dostępu do dzielonego medium**
 - Aloha
 - CSMA (CSMA/CA, CSMA/CD)

DEFINICJE

Definicja odległości Hamminga

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$$

$$y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$$

$$d_H = \sum_{i=1}^n [x_i(1 - y_i) + y_i(1 - x_i)]$$

- **Stopień (miara) podobieństwa dwóch wektorów x i y**
- **Łączna suma pozycji, na których różnią się dwa ciągi bitowe**
- **Liczba, której wartość określa ilość bitów, którymi różnią się dwa wektory**
- **Liczba bitów różnych w porównywanych obiektach**

Odległość Hamminga – – przykłady

- 10011101
- 10111001
 - $d_H=2$
- zagrabić
- zatrąbił
 - $d_H=3$

Waga kodu

- Liczba jedynek w kodzie
- Przykłady:
 - 00000 - waga=0
 - 00011 - waga=2
 - 11111 - waga=5
- **Kod stałowagowy** – stała waga ciągu kodowego (czyli stała liczba jedynek w słowie kodowym)

Kody systematyczne i niesystematyczne

Kod systematyczny

- Tworzony na podstawie reguły formalnej
- Każda kombinacja wartości zmiennych zdefiniowana w sposób jednoznaczny
- Możliwe rozróżnienie bitów informacyjnych i kontrolnych

Kod niesystematyczny

- Wymagane podanie tabeli określającej kolejność poszczególnych kombinacji występujących w dowolnym porządku

**NIELINIOWY, STAŁO-WAGOWY
KOD DETEKCYJNY „2 Z 5”**

Stałowagowy kod „2 z 5”

- **Binarne kodowanie cyfr**
 - **Każda cyfra kodowana na 5 bitach:**
 - 2 z nich to „1”
 - 3 z nich to „0”
 - **Waga prawidłowych ciągów kodowych – zawsze 2**
- | | | |
|-----|---|--------------|
| • 0 | - | 01100 |
| • 1 | - | 11000 |
| • 2 | - | 10100 |
| • 3 | - | 10010 |
| • 4 | - | 01010 |
| • 5 | - | 00110 |
| • 6 | - | 10001 |
| • 7 | - | 01001 |
| • 8 | - | 00101 |
| • 9 | - | 00011 |

Odporność na błędy kodu „2 z 5”

- **Odległość minimalna Hamminga $d=2$**
- **Możliwe wykrycie wszystkich błędów zmieniających wagę ciągu kodowego na różną od dwóch, czyli błędów**
 - **Pojedynczych**
 - **Potrójnych**
 - **Pięciokrotnych**
- **Możliwe także wykrycie**
 - **40% błędów podwójnych**
 - **40% błędów poczwórnych**

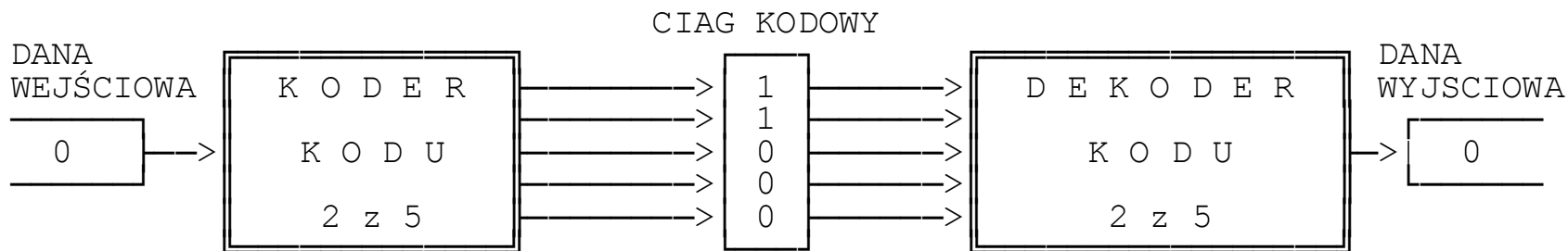
Zastosowania kodu „2 z 5”

- **Centrale telefoniczne (przesyłanie cyfr wybranego numeru telefonicznego)**
- **Kody paskowe**
- **Sieci i systemy komputerowe (w przeszłości)**

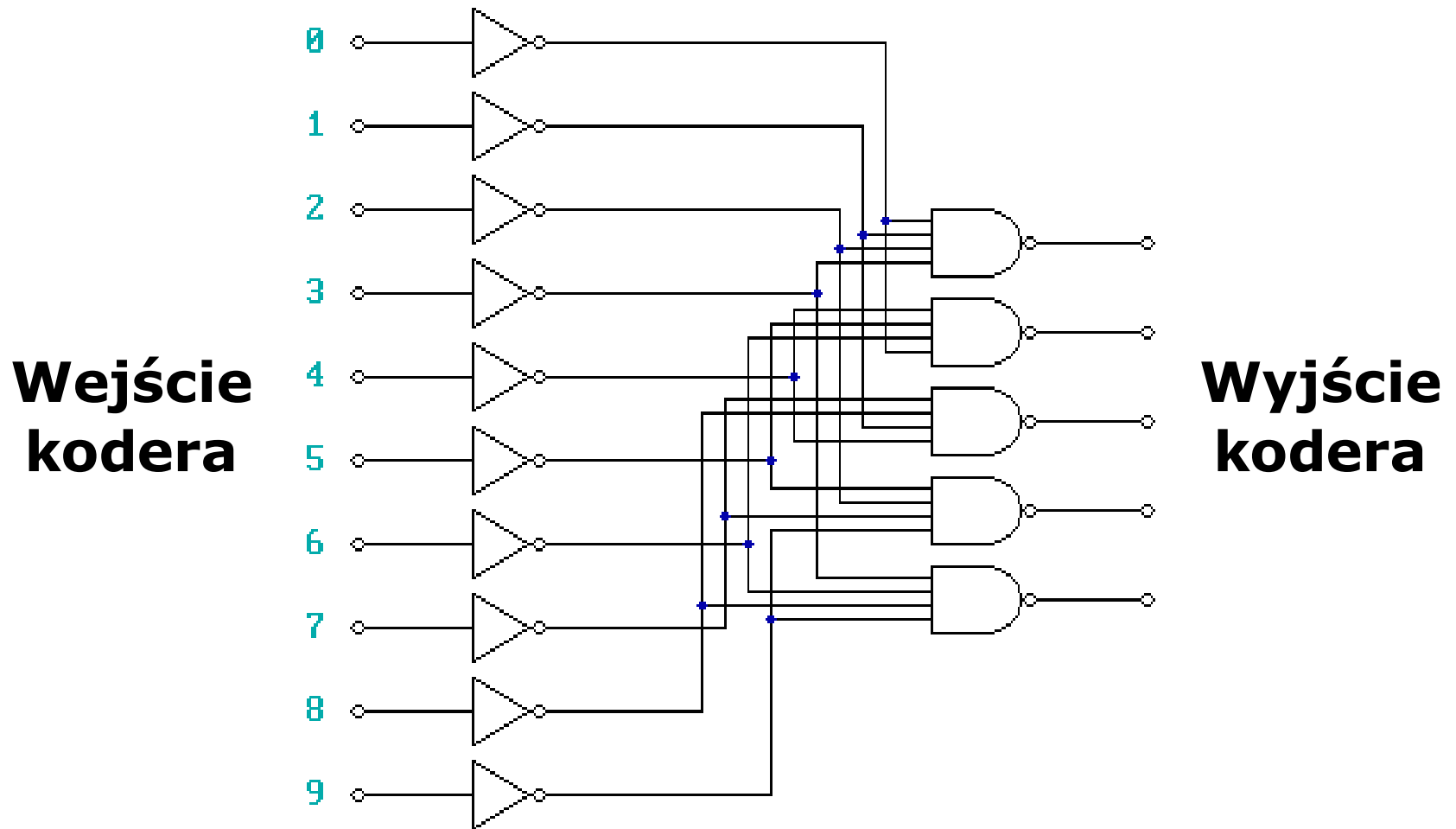


Źródło ilustracji: Wikipedia

Zasada działania kodera i dekodera kodu „2 z 5”

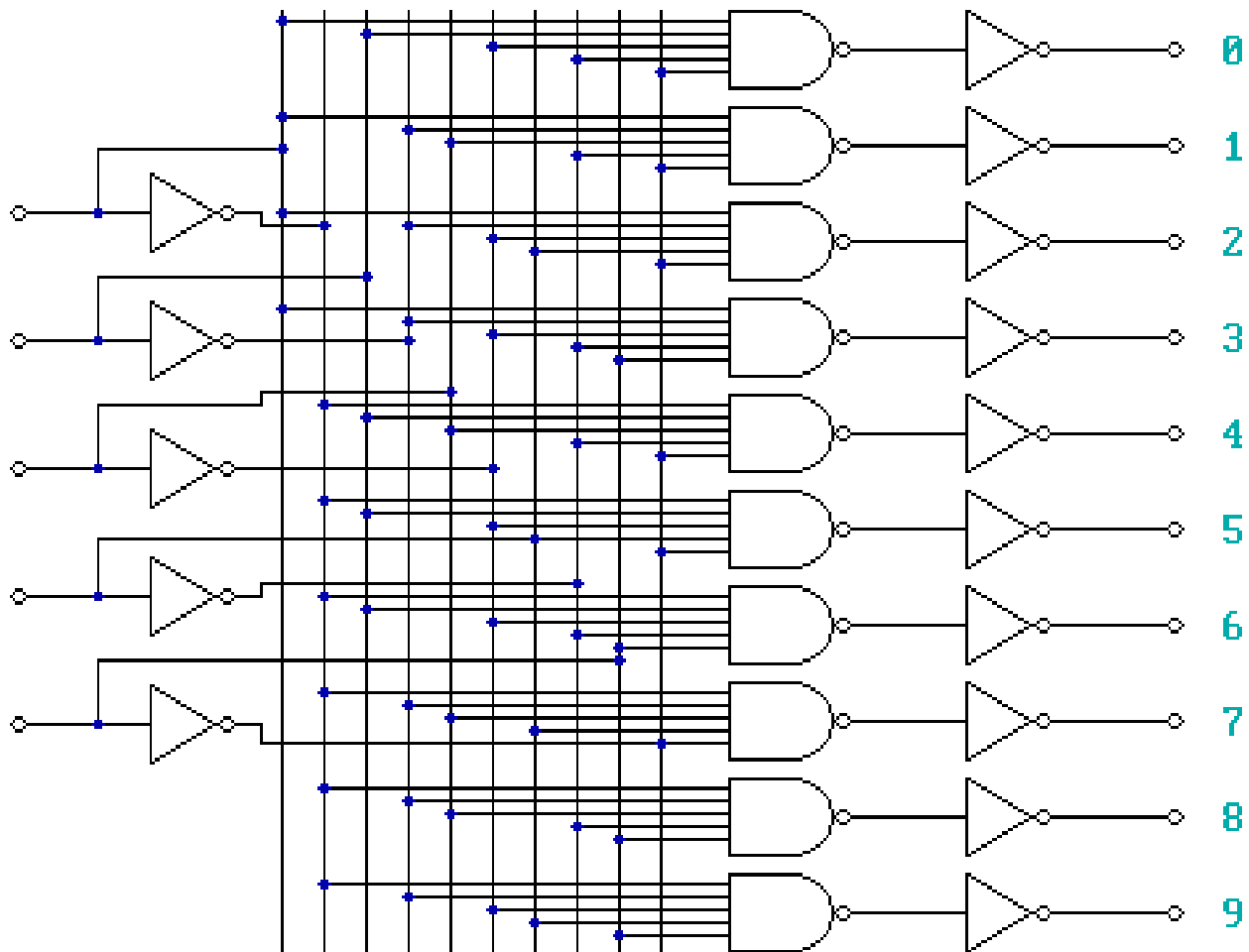


Schemat logiczny kodera kodu „2 z 5”



Schemat logiczny dekodera kodu „2 z 5”

Wejście dekodera



Wyjście dekodera

KOD „ILORAZOWY”

Idea kodowania ilorazowego

- **Liczby** – jeśli: $H \cdot G = S$ to brak reszty z dzielenia S/G
- **Wielomiany** – jeśli: $h(x) \cdot g(x) = s(x)$ to brak reszty z dzielenia $s(x)/g(x)$
- **Co ma wielomian do ciągu bitowego?**
 - 10101
 - $1 \cdot x^4 + 0 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0$
 - $x^4 + x^2 + 1$
- **Przyczyna powstania** – prosta realizacja mnożenia/dzielenia ciągów (wielomianów)

Kody ilorazowe – definicje

- $h(x)$:
wielomian informacyjny („nie-zakodowany”)
- $g(x)$:
wielomian tzw. „generujący” (generator kodu, „klucz”)
- $s(x)$:
wielomian kodowy („zakodowany”)

Kody ilorazowe – definicje – kontynuacja...

- k :
długość ciągu **informacyjnego** („nie-
zakodowanego”)
- n :
długość ciągu **kodowego** („zakodowanego”)
- p :
stopień wielomianu **generującego**

Niesystematyczne kodowanie ilorazowe

- Mnożenie ciągów informacyjnych $h(x)$ przez generator $g(x)$:

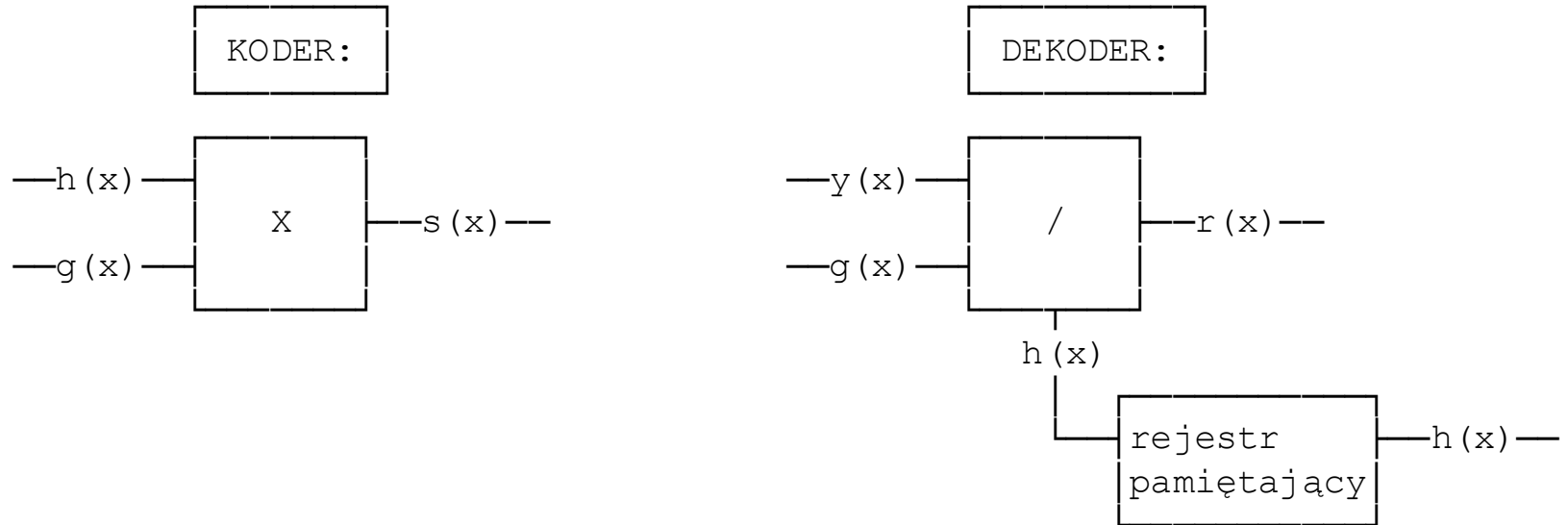
$$s(x) = h(x) \cdot g(x)$$

- **Wynik:**
 - Wielomian $s(x)$ podzielny bez reszty przez wielomian $g(x)$
 - Jednakowa długość (n) każdego ciągu kodowego

Niesystematyczne dekodowanie ilorazowe

- **Dzielenie odebranego ciągu ($s'(x)$) przez generator $g(x)$:**
 $h(x) = s'(x)/g(x) + r(x)$
gdzie $r(x)$ – reszta z dzielenia
- **Jeżeli $r(x) = 0$, to ciąg został przesłany bezbłędnie lub zaszedł błąd niewykrywalny dla danego kodu**

Schematy niesystematycznego kodera i dekodera ilorazowego



Kodowanie niesystematyczne i systematyczne

- **Niesystematyczny kod ilorazowy jako wynik stosowania przedstawionej reguły kodowania**
- **Pożądany kod systematyczny:**
 - Informacja na początku ciągu kodowego
 - Kontrola (pozycje nadmiarowe) na końcu ciągu kodowego
- **Inna reguła kodowania dla kodu systematycznego**

Systematyczne kodowanie ilorazowe

- **Mnożenie:**

$$s(x) = x^p \cdot h(x) - R(x)$$

- **Gdzie $R(x)$ – wielomian stanowiący resztę uzyskaną z podzielenia wielomianu: $x^p \cdot h(x)$, przez wielomian generujący $g(x)$**

- **Elementy kodera:**

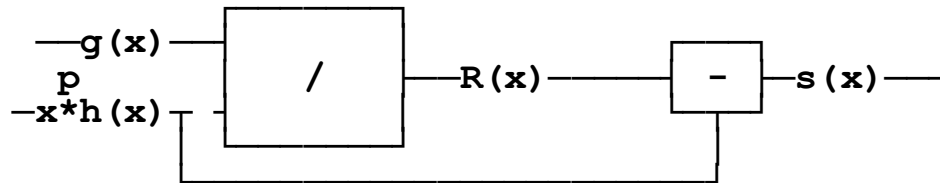
- Układ dzielący, wyznaczający resztę $R(x)$
- Układ odejmujący, realizujący operacje:
 $s(x) = x^p \cdot h(x) - R(x)$

Systematyczne dekodowanie ilorazowe

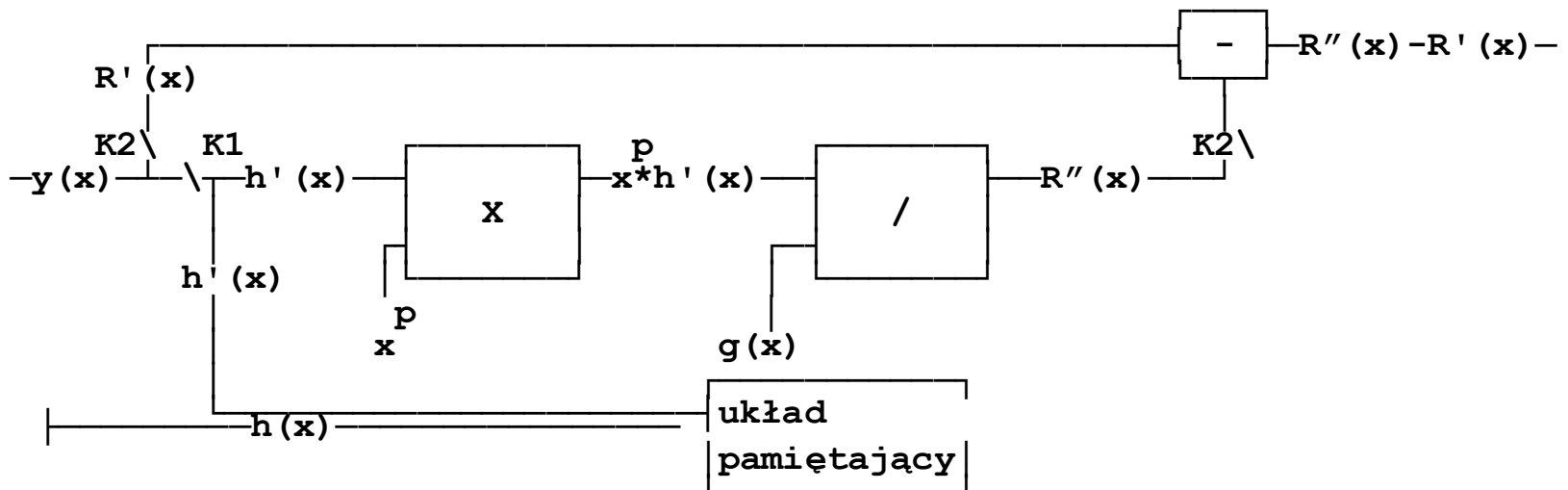
- **Dekoder zawiera:**
 - k -komórkowy rejestr, służący do zapamiętania odebranego ciągu informacyjnego $h'(x)$
 - Układ dzielący, wyznaczający resztę $R''(x)$ z podziału $h'(x)$ przez $g(x)$
 - Układ porównujący resztę $R''(x)$ z odebraną resztą $R'(x)$
- **Równość reszt $R''(x)$ i $R'(x)$**
 - Poprawność odebrania informacji
 - Wystąpienie błędu niewykrywalnego

Schematy systematycznego kodera i dekodera ilorazowego

KODER:



DEKODER:



**WSPÓLDZIELONY KANAŁ TELEKOMUNIKACYJNY
(DZIELONE MEDIUM)**

KANAŁ

**TELEKOMUNIKACYJNY I
JEGO WŁAŚCIWOŚCI**

Dzielone medium (1/2)

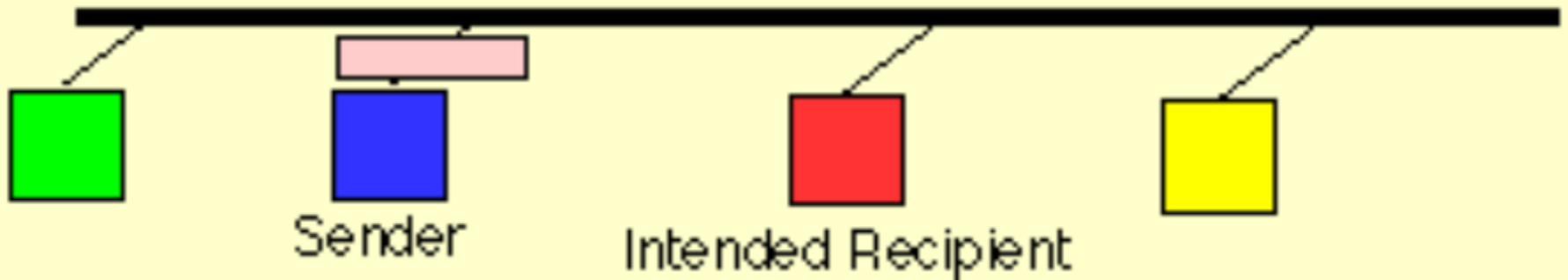
- **Możliwość użycia sieci Ethernet do zapewnienia dzielonego dostępu**
- **Dostęp grupy powiązanych węzłów (=komputerów)**
- **Dostęp do medium fizycznego (=kabla), łączącego te węzły**
- **Nazwa zaistniałej sytuacji – domena kolizyjna (ang. *collision domain*)**

Dzielone medium (2/2)

- Wszystkie ramki wysłane przez medium – odbierane przez wszystkich odbiorców
- Adres celu zawarty w nagłówku ramki (**MAC**)
- **MAC** – ang. *Medium Access Control* (kontrola dostępu do medium)
- Zapewnienie przetwarzania ramki jedynie przez wybrany węzeł docelowy
- Odrzucenie ramek przez **wszystkie inne komputery (nie-adresaci)**

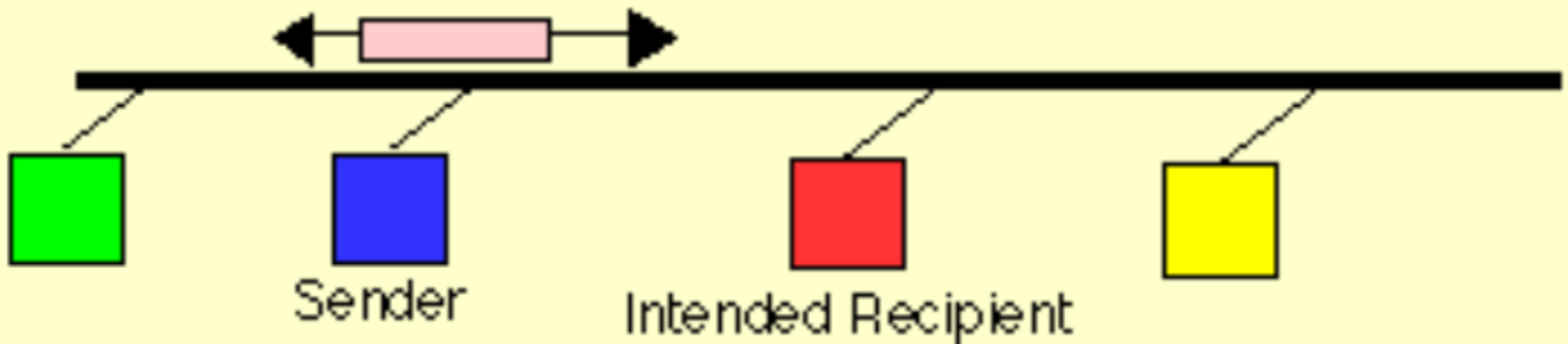
Przykład pracy w dzielnym medium (1/4)

- Przykład: sieć czterech komputerów
- Podłączone do **wspólnego kabla Ethernet (dzielone medium)**
- **Nadawca: komputer niebieski**
- **Odbiorca: komputer czerwony**



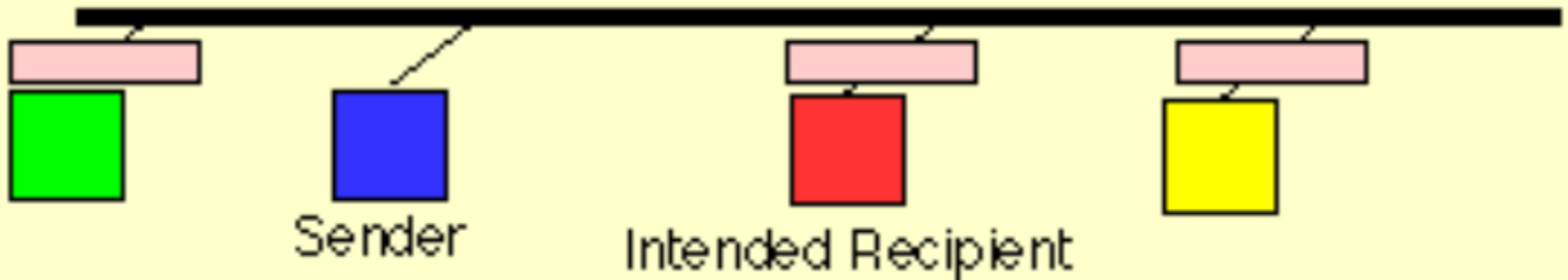
Przykład pracy w dzielnym medium (2/4)

- **Wysłanie ramki przez komputer niebieski**
- **Adres docelowy ramki = adres czerwonego komputera**
- **Propagacja sygnału w kablu w obu kierunkach**



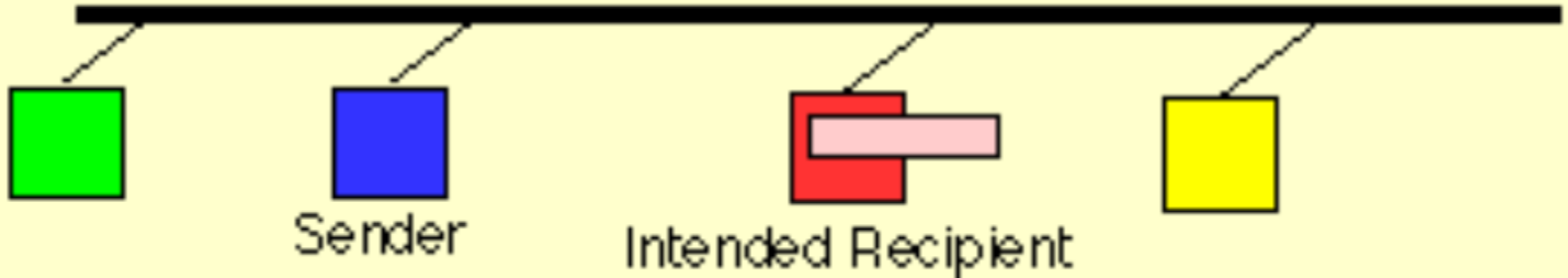
Przykład pracy w dzielnym medium (3/4)

- Dotarcie (**ostatecznie**) sygnału do wszystkich komputerów
- Absorbpcja energii ramki przez rezystory terminujące na końcach kabla
- Zapobieżenie odbijaniu się sygnału z powrotem do kabla



Przykład pracy w dzielnym medium (4/4)

- **Badanie nagłówka aby zdecydować, o akceptacji ramki w danym komputerze**
 - **Komputer zielony**
 - **Komputer czerwony**
 - **Komputer żółty**
- **Akceptacja przez komputer czerwony**



METODY DOSTĘPU DO DZIELONEGO MEDIUM

Metody dostępu do dzielonego medium

- **Przeptytywanie**
- **Aloha**
- **CSMA**
 - **CSMA/CA**
 - **CSMA/CD**
- **Przesyłanie znacznika**
- **Magistrala (=kabel) z przesyłaniem znacznika**
- **Pierścień szczelinowy**
- **Metoda z wtrącanym rejestrem**

Protokół ALOHA

METODY DOSTĘPU DO DZIELONEGO MEDIUM

Protokół ALOHA

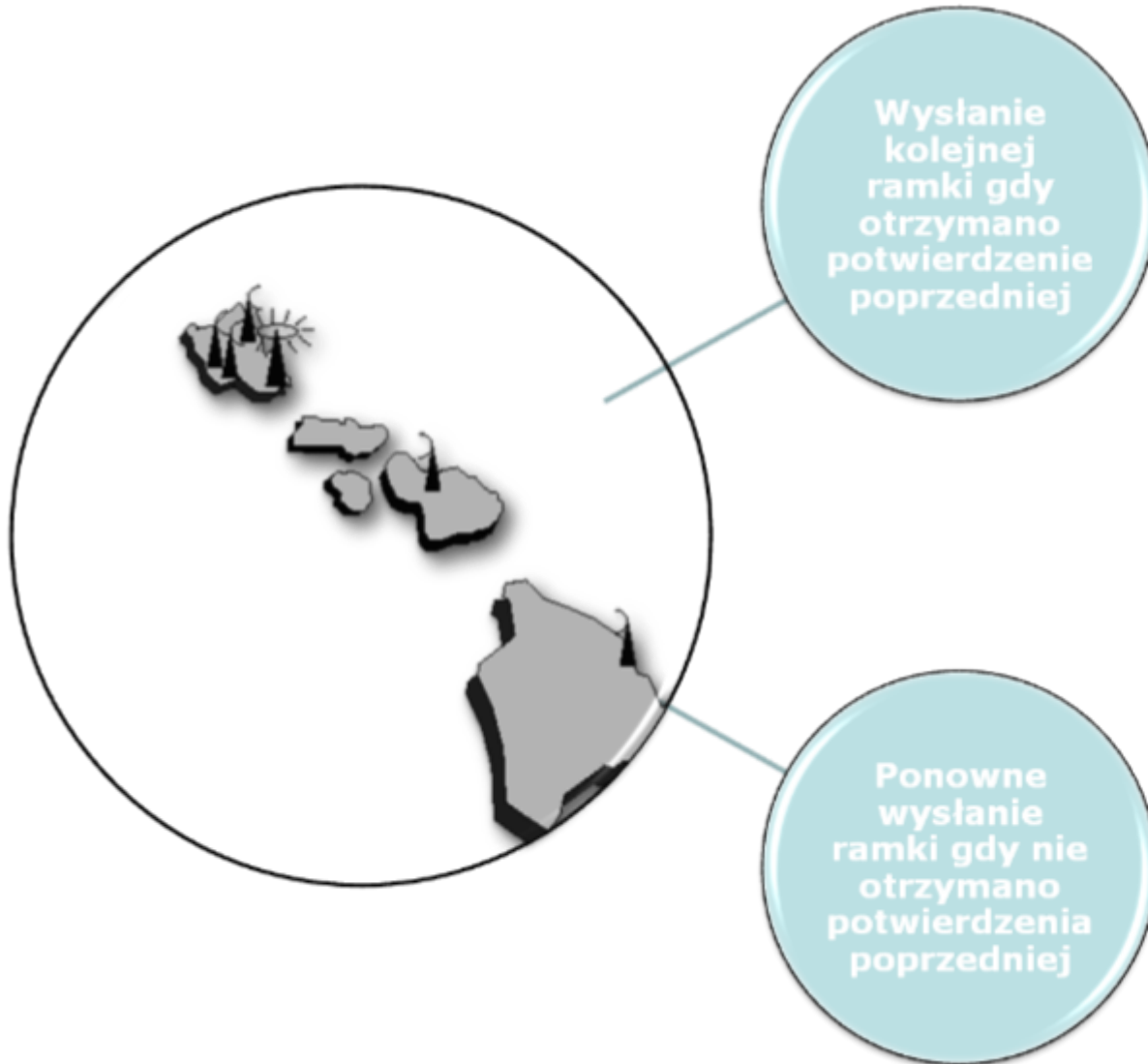
- Inna nazwa – **Metoda ALOHA**
- Prosty algorytm komunikacyjny
- Nadawanie danych w sieci przez źródło zaraz po pojawieniu się ramki do wysłania

Pierwsze zastosowanie

- Pierwotnie stworzony na **Uniwersytecie Hawajskim**
- Użycia w systemie komunikacji satelitarnej na **Pacyfiku (ALOHAnet)**



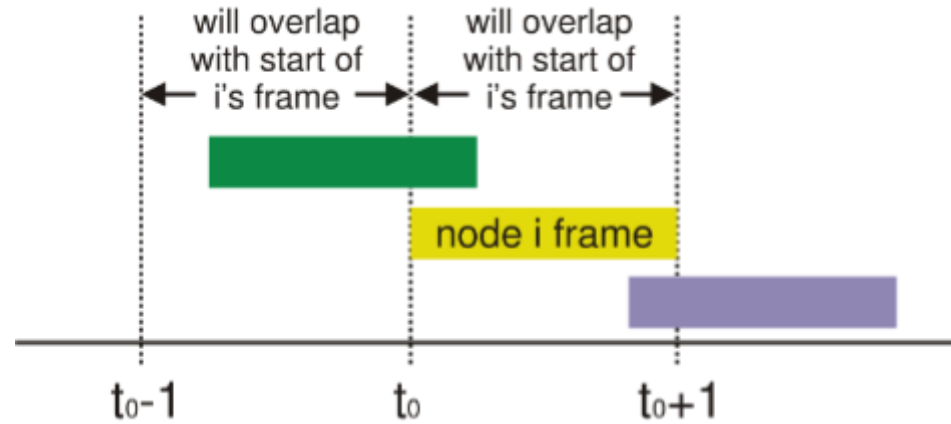
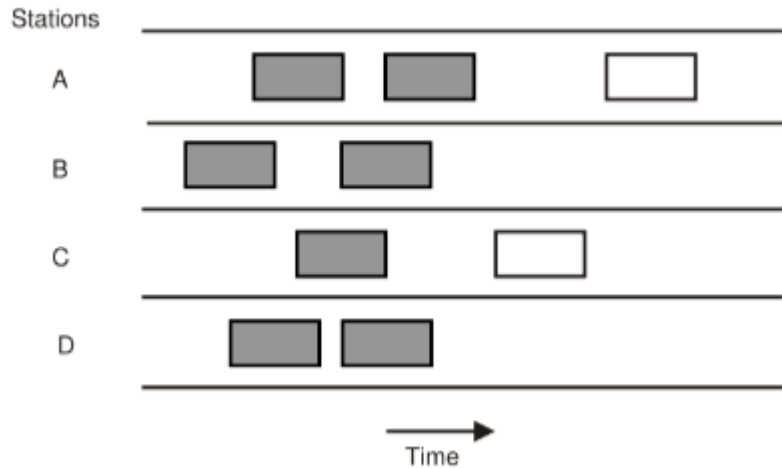
Potwierdzenia ALOHA



- **Poprawny odbiór ramki w odbiorniku**

- **Niepoprawny odbiór ramki w odbiorniku**
- **Niepoprawny odbiór potwierdzenia w nadajniku**

Powszechność powstawania kolizji w ALOHA (kolizje zaznaczono kolorem szarym)



Protokół CSMA

**METODY DOSTĘPU DO DZIELONEGO
MEDIUM**

Protokół CSMA

- Ang. ***Carrier Sense Multiple Access***
- Pol. **Wielodostęp z wykrywaniem nośnej**
- Zapewnienie równouprawnienia wszystkim użytkownikom
- Uniezależnienie sieci od awarii którejkolwiek ze stacji
- Możliwość transmitowania ramek przez urządzenia w każdej chwili
- Brak możliwości transmitowania ramek w czasie odbierania innej ramki

CSMA w sieciach LAN

- Duża popularność metody **CSMA** w **LAN**
- Możliwość stosowania w sieciach typu
 - „Magistrala”
 - „Gwiazda”
- Przekazywanie informacji do wszystkich stacji
- Właściwy odbiór tylko przez rzeczywistych odbiorców

CSMA w sieciach LAN – kontynuacja...

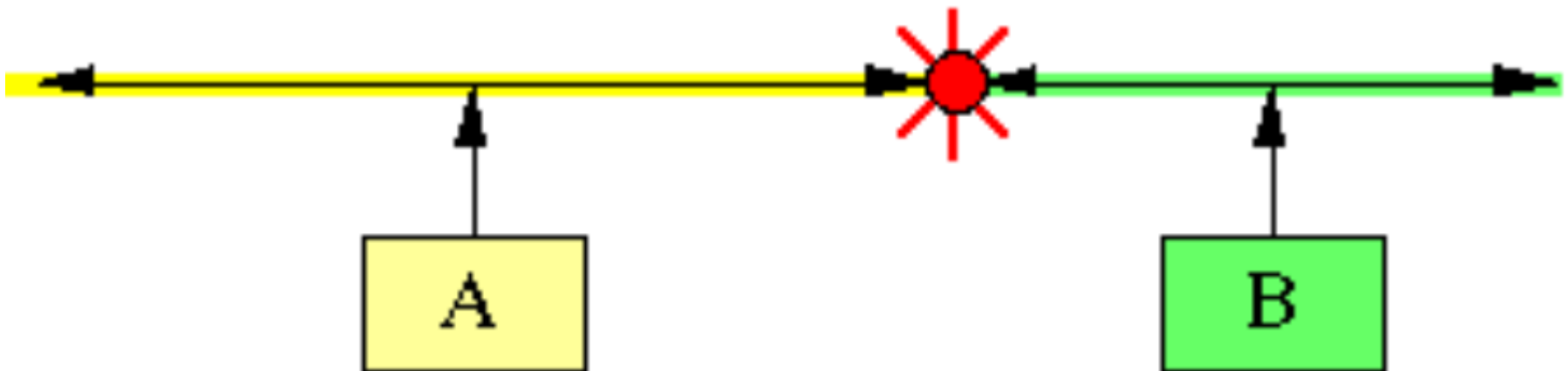
- Określanie odbiorcy na podstawie przesyłanego w nagłówku adresu odbiorcy
- Uzależnienie decyzji o nadawaniu na podstawie aktualnego stanu sieci
- Nasłuchiwanie celem wykrycia „zajętości” (aktualnego trwania transmisji) medium

Jednoczesna chęć nadawania

- **Pojawienie się zasadniczego problemu w sytuacji**
 - **Jednoczesnej chęci nadawania dwóch stacji**
 - **Jednoczesnego stwierdzeniu niezajętości medium**
- **Niebezpieczeństwo kolizji nawet przy prawie jednoczesnej chęci nadawania**

Jednoczesna chęć nadawania – kontynuacja...

- Skończona szybkość rozchodzenia się sygnałów
- Skutek: niezerowy, zwrotny (**2×**) czas propagacji (**ang. RTT, Round Trip Time**)
- Najprostsze rozwiązanie – wysyłanie sygnałów potwierdzających przez odbiorców
- Niska efektywność takiego rozwiązania (**ALOHA**)



Teoretyczne typy CSMA – w obu przypadkach protokół sporny (możliwość kolizji)

Persistent („uporczywe”) CSMA

- wysyłanie „własnej” ramki przez urządzenie, zaraz po odebraniu „cudzej” ramki

Non-persistent („nie-uporczywe”) CSMA

- wysyłanie „własnej” ramki przez urządzenie, po odczekaniu pewnego losowego czasu od odebrania „cudzej” ramki

Dwie praktycznie stosowane metody zapobiegania konfliktom transmisji w CSMA

CSMA z unikaniem kolizji (**CSMA/CA**)

- Idea metody sprowadzająca się do unikania kolizji

CSMA z wykrywaniem kolizji (**CSMA/CD**)

- Idea metody sprowadzająca się do naprawiania sytuacji powstałej w wyniku kolizji

Protokół CSMA/CA

**METODY DOSTĘPU DO DZIELONEGO
MEDIUM**

Protokół CSMA/CA

- **CA** – ang. „*Collision Avoidance*” (**unikanie kolizji**)
- Zasada polegająca na unikaniu kolizji
- Sprawdzanie stanu sieci (**medium**) przez stację, przed przystąpieniem do nadawania

Protokół CSMA/CA - kontynuacja...

- **Wysłanie sygnału gdy brak wykrywania transmisji pochodzącej od innej stacji**
 - **Bardzo krótkiego**
 - **Unikalnego**
- **Znaczenie sygnału – chęć nadawania (zgłoszenie nadawania)**
- **Odczekanie określonego przedziału czasu**
- **Cel – zapewnienie możliwości dotarcia owego sygnału do wszystkich stacji**
- **Dopiero wtedy – rozpoczęcie nadawania**

Kolizje w CSMA/CA (1/3)

- Zaprzestanie transmisji i oczekiwanie czasu o przypadkowej długości obowiązkiem każdej stacji wykrywającej kolizję w trakcie nadawania**
- Oczywista możliwość wystąpienia kolizji sygnałów zgłoszenia nadawania**
- Problem ten rozwiązywany podobnie jak w przypadku kolizji sygnału zgłoszenia nadawania z normalną transmisją**
- Zaprzestanie nadawania przez stację wykrywającą kolizję na krótki czas o losowej długości**

Kolizje w CSMA/CA (2/3)

- Następnie ponowienie próby zarezerwowania sieci dla potrzeb transmisji
- Po wystąpieniu kolizji, ubieganie się o prawo dostępu do sieci tylko przez niektóre stacje
- Tylko te – uczestniczące w kolizji sygnałów zgłoszenia nadawania
- Inaczej w **CSMA/CD** – o tym za chwilę

Kolizje w CSMA/CA (3/3)

- **Nadawanie przez stację wygrywającą rywalizację o dostęp do sieci**
- **W tym czasie nasłuchiwanie przez wszystkie pozostałe stacje nadejścia sygnału oznaczającego zakończenie ramki**
- **Ponowne rozpoczęcie się walki o dostęp po jego wykryciu**

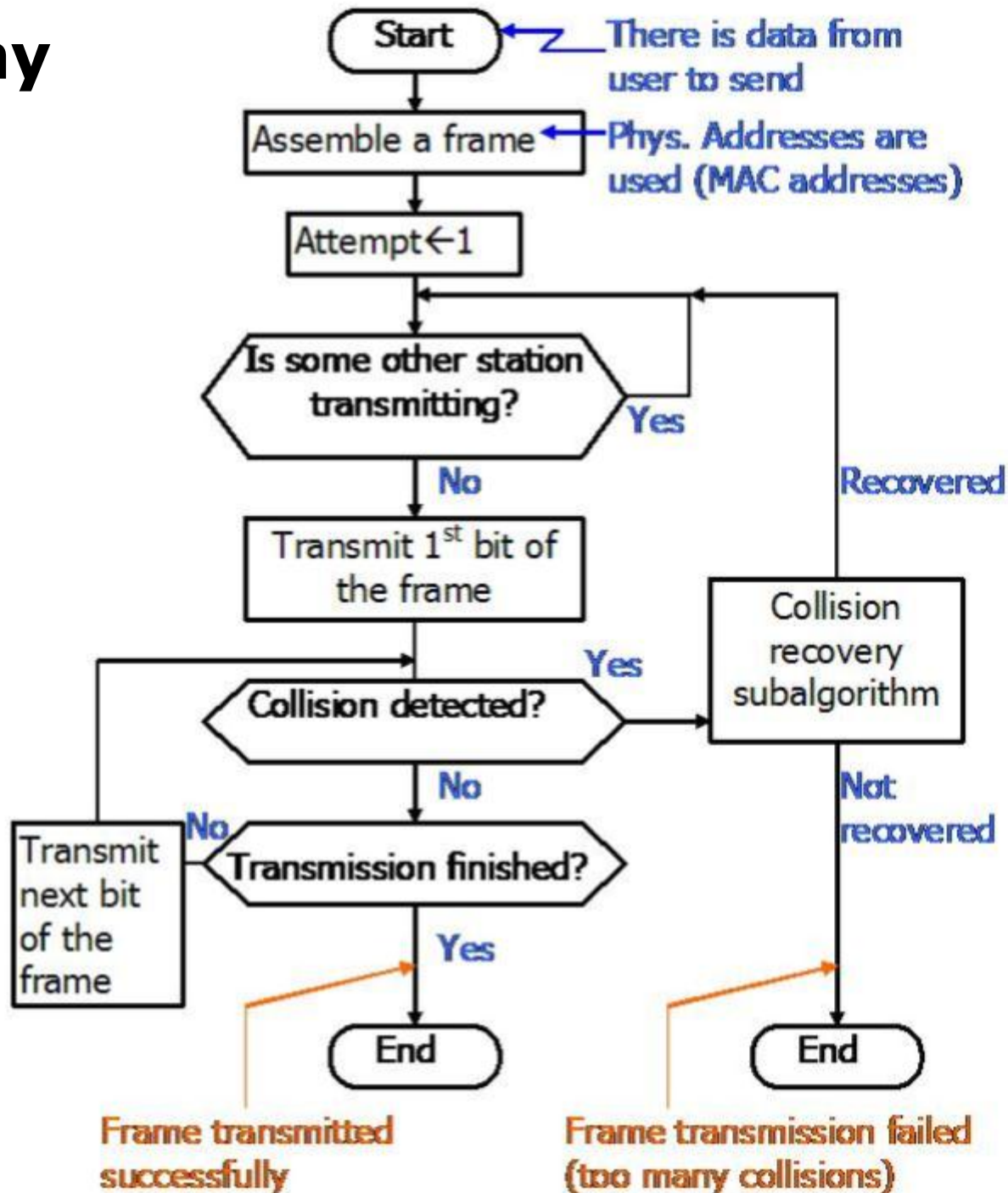
Protokół CSMA/CD

**METODY DOSTĘPU DO DZIELONEGO
MEDIUM**

Protokół CSMA/CD

- **Standard IEEE 802.3**
- Z ang. „***Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection***”
- Wielodostęp z wykrywaniem nośnej i detekcją kolizji
- Tryb pracy urządzeń komputerowych – ***full duplex*** (w obie strony)
- Najczęściej stosowane w:
 - **10BASE-T (Ethernet)**
 - **100BASE-T (Fast Ethernet)**
 - **1000BASE-T (Gigabit Ethernet)**

Uproszczony algorytm CSMA/CD



Źródło:
Wikipedia

Sekwencja zagłuszająca Ethernet

- Monitorowanie swojej własnej transmisji przez każdy węzeł transmitujący, w chwili pojawienia się danych czekających na wysłanie
- Natychmiastowe zatrzymanie przez węzeł własnej transmisji w przypadku „**zauważenia**” kolizji
- Kolizja – natężenie prądu wyższe niż generowane przez węzeł, tj. **>24 mA** dla kabla koncentrycznego

Sekwencja zagłuszająca Ethernet – kontynuacja...

- Dodatkowe zagłuszenie kolizji przez wysłanie **32-bitowej**, tzw. ***Ethernet jam sequence*** (sekwencji zagłuszającej Ethernet)
- Przyczyna wysyłania – zapewnienie braku możliwości potencjalnie „poprawnego” odebrania przez każdy inny węzeł „zakłóconej” ramki
- Podmiana **32-bitowej** sumy kontrolnej **MAC CRC** na sekwencję zagłuszającą **Ethernet**
- Odrzucenie ramki przez odbiorców z powodu błędu sumy kontrolnej **CRC**

Minimalny rozmiar ramki CSMA/CD (1/2)

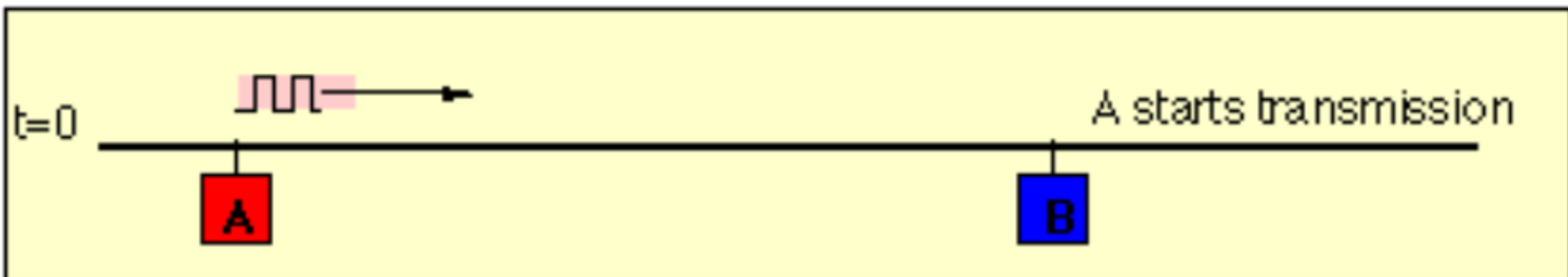
- Konieczność zapobiegnięcia odebrania kompletnej, uszkodzonej ramki, przed rozpoczęciem zagłuszania
- Minimalny rozmiar ramki
- Czynniki wpływające na minimalny rozmiar:
 - Odległość między krańcami sieci
 - Rodzaj używanego medium
 - Liczba **repeaterów** przez które sygnał może musieć przejść, aby dotrzeć do pozostałej części **LAN**

Minimalny rozmiar ramki CSMA/CD (2/2)

- Minimum **46** bajtów części informacyjnej
- Identyczna reguła wysyłania sekwencji zagłuszającej w sytuacji jednoczesnego wykrycia kolizji przez dwa lub więcej transmitujące węzły

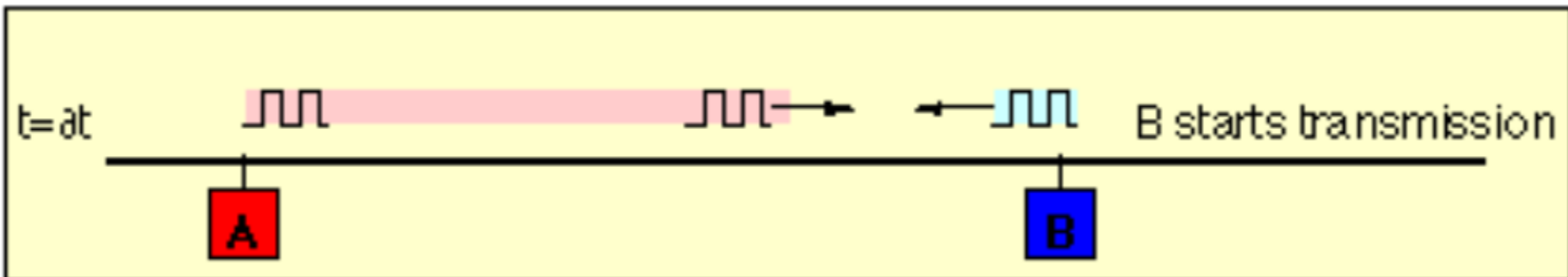
Kolizje w CSMA/CD (1/4)

- Graficzna analiza mechanizmu kolizji
- Rozpoczęcie transmisji przez **komputer A**
- W $t=0$, ramka wysyłana przez **"puste"** medium do **komputera B**



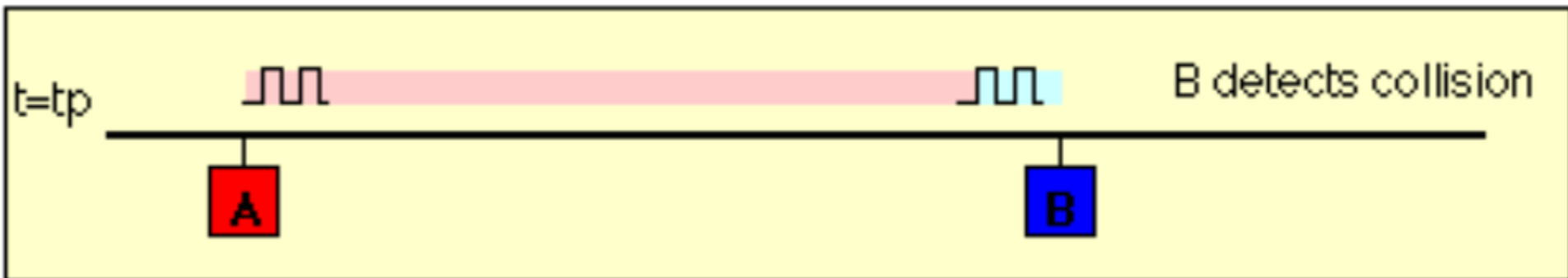
Kolizje w CSMA/CD (2/4)

- Krótką chwilę później, rozpoczęcie nadawania przez **komputer B**
- W tym przypadku, medium, obserwowane z punktu widzenia **komputera B** także pozornie puste



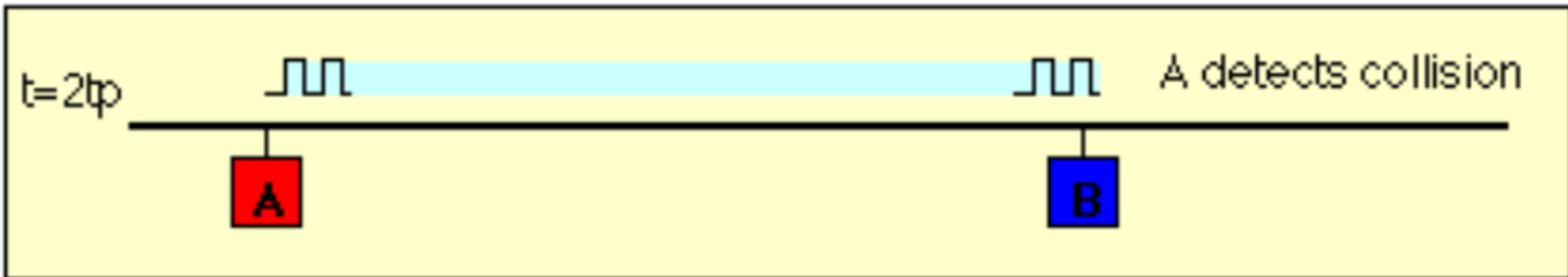
Kolizje w CSMA/CD (3/4)

- Po czasie, równym **RTT**, wykrycie innej transmisji z **komputera A**, przez **komputer B** (**świadomość kolizji**)
- Brak obserwacji nadawania przez **komputer B** z punktu widzenia **komputera A**
- Kontynuacja nadawania przez **komputer B**, przy użyciu **32-bitowej Ethernet jam sequence** (sekwencji zagłuszającej Ethernet)



Kolizje w CSMA/CD (4/4)

- Wzajemna świadomość kolizji obu komputerów po upływie czasu **RTT**
- Za chwilę – zaniechanie nadawania **jam sequence** (sekwencji zagłuszającej) przez **komputer B**
- Jednakże nadawanie sekwencji zagłuszającej przez **komputer A** do końca
- Ostatecznie – „**puste**” („**wolne**”) **medium**



Literatura (1/3)

- „Lokalne sieci komputerowe”,
<http://www.linuxpub.pl/download/sieci.pdf>
- “Aloha Protocol - Computer Science - Provided by Laynetworks.com”
<http://www.laynetworks.com/ALOHA%20PROTOCOL.htm>
- “CSMA” <http://www.cs.mu.oz.au/353/notes/node126.html>

Literatura (2/3)

- **“Get IEEE 802™ Home Page”**
<http://standards.ieee.org/getieee802/>
- **“Sieci – Profil Dydaktyczny”**
<http://irogoszinska.strony.wi.ps.pl/>
- **“Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)”**
<http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/lan-pages/csma-cd.html>

Literatura (3/3)

- **“Kodowanie i systemy transmisji danych – Pomoc”**
- **Krzysztof Patan, “Dyskretne sieci Hopfielda”,**
www.issi.uz.zgora.pl/~patan/materialy/sn/druk6.pdf
- **“Układy komutacyjne, kody konwersji liczb”,**
<http://kalitka.dhs.org/tc/cw2.html>
- **“Słownik techniki cyfrowej”,**
<http://sloownik.kargul.net/>