

**WdT – kody**

**Wymagania skutecznej transmisji**

- Bezpieczeństwo przesyłanej informacji (poufność, integralność, uwierzytelnianie, itd.)
- Zarządzalność systemami (konfigurowanie, monitorowanie, planowanie, reagowanie na błędy)

**Dane i sygnały**

- Dane analog./sygnał analog.
  - Widmo sygnału i dźwięku takie samo lub różne (kodowanie)
- Dane cyfr./sygnał analog.
  - MODEM
    - Modulator/DEModylator
    - przedzesilnik zasilania
    - modemy telefoniczne
- Dane analog./sygnał cyfr.
  - CODEC
    - Encoder/Decoder
- Dane cyfr./sygnał cyfr.

**Cele w ramach telekomunikacji**

Można wyróżnić następujące zadania w telekomunikacji:

1. dostarczenie interfejsu urządzeń – system transmisyjny
2. generowanie i przetwarzanie sygnałów
3. synchronizacja
4. wykrywanie błędów i ich korekcja
5. sterowanie i kontrola przepływu
6. wybór trasy (*routing*)
7. odnawianie przerwanej transmisji, i inne

Ważne jest wydajne wykorzystanie urządzeń transmisji, m.in. poprzez multipleksację i techniki kontroli przeciążeń

**Czynniki skutecznej transmisji**

Charakterystyka sygnału  
Charakterystyka kanalu transmisyjnego (medium)

Sygnał analogowy – fala elektromagnetyczna zmieniająca się w sposób ciągły  
Sygnał cyfrowy (dyskretny) – sekwencja impulsów (napięciowych) prostokątnych

Dane:  
analogowe (dźwięk, obraz) lub  
cyfrowe (źródło: komputer, tekst, liczby)

**Transmisja analogowa a cyfrowa**

Słowo transmisja określa:

1. przesył informacji (propagacja sygnałów)
2. przetwarzanie sygnałów

Transmisja analogowa:

- ma miejsce gdy sygnał jest analogowy (dane analogowe lub cyfrowe)
- nie ma interpretacji sygnałów – sygnał jest przesyłany i przetwarzany „taki jak jest”
- ponieważ zachodzi tłumienie (osłabianie) sygnału, stosowane są wzmacniacze
- ma miejsce kumulacja szumów, prowadząca do zniekształceń, degradacji sygnału

## Transmisja analogowa a cyfrowa

Transmisja cyfrowa:

- sygnały cyfrowe lub analogowe, reprezentujące dane cyfrowe (modem!)
- interpretacja sygnałów (decyzja: 0 czy 1)
- osłabienie sygnału wskutek tłumienia
- stosowanie regeneratorów (*repeater'ów*)
- brak kumulacji szumów

## Migracja systemów analogowych do cyfrowych

Przyczyny migracji:

- redukcja kosztów i rozmiarów urządzeń LSI, VLSI
- integralność danych, brak kumulacji szumów
- możliwe łącza o b. dużych przepustowościach (multipleksacja)
- bezpieczeństwo i prywatność (łatwość stosowania metod kryptograficznych)
- integracja danych (podobny sposób reprezentowania danych o dowolnym charakterze) – podobny sposób przetwarzania – redukcja kosztów

## Uszkodzenia sygnału podczas transmisji

Sygnal odbierany zawsze różni się od nadanego

- Systemy analogowe – ogólna degradacja sygnału
- Systemy cyfrowe – przekłamania (błędy) bitowe

## Rodzaje uszkodzeń transmisyjnych

- tłumienie (rozpraszanie mocy, osłabienie) i zniekształcenie powodowane przez tłumienie
- zniekształcenie powodowane przez opóźnienie
- szумy

## Tłumienie

Spadek mocy sygnału wraz ze wzrostem odległości przebytej w medium transmisyjnym

### Media przewodowe:

Parametr – tłumieniowość [dB/km] Zależność logarytmiczna

### Media bezprzewodowe:

Funkcja odległości, używanej częstotliwości nośnej, własności środowiska

## Tłumienie cd.

### Definicja:

Tłumienie jest to względna różnica mocy wyrażona w decybelach

$$N_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

gdzie:

$N_{dB}$  – tłumienie

$P_1$  - moc sygnału na wejściu

$P_2$  - moc sygnału na wyjściu

## Tłumienie cd.

**Przykład:**

Moc wejściowa:  $P_1 = 10 \text{ mW}$

Moc wyjściowa  $P_2 = 5 \text{ mW}$

$$N_{dB} = 10\log_{10} (10/5) = 10 * 0,3 = 3 \text{ dB}$$

## Negatywne skutki tłumienia

- Spadek mocy odbieranego sygnału
- Pogorszenie stosunku sygnał/szum
- Ponieważ tłumienie jest większe dla wyższych częstotliwości, to w efekcie tłumienie prowadzi do zniekształcenia sygnału – brak składowych Fouriera wysokich częstotliwości

Rozwiązań:

- Stosowanie wzmacniaczy i regeneratorów
- Stosowanie regeneratorów
- Stosowanie korektorów graficznych (*equalizers*)

Uwaga. Efekt zniekształcenia jest mniejszy dla sygnałów cyfrowych, bo jest mniejszy udział komponentów o wyższych częstotliwościach

## Opóźnienie

Dotyczy mediów przewodowych miedzianych i światłowodowych.

**Prędkość propagacji sygnału w mediach przewodowych zależy od częstotliwości.**

Efekt: zniekształcenie impulsów prostokątnych polegające na ich rozmyciu (dyspersja)

Uszkodzenie to jest krytyczne dla transmisji cyfrowej

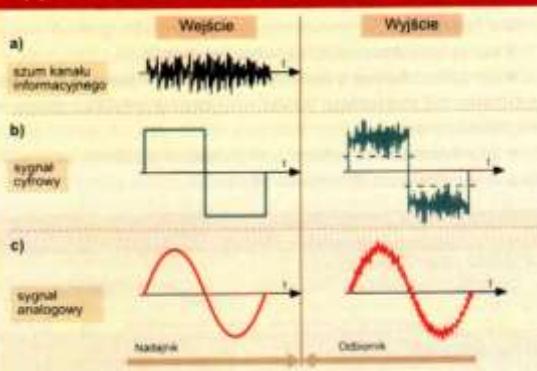
## Szумy

Szum – dodatkowy sygnał z zewnątrz lub wprowadzony przez system, nakładający się na sygnał transmitowany. Jest to główny czynnik ograniczający wydajność systemu transmisijskiego.

Rodzaje szumów:

- termiczny
- przesłuchy
- intermodulacyjny
- impulsowy

### Wpływ zakłóceń kanału na informację (cyfrową i analogową)



## Szum termiczny - biały

- jest obecny we wszystkich urządzeniach i mediach transmisyjnych
- jest funkcją temperatury
- nie zależy od częstotliwości
- nie może być wyeliminowany
- „biały” oznacza własności statystyczne szumu (średnio równy zero, proces stacjonarny)

## Przesłuchy

Dotyczy mediów przewodowych

Okręślone są jako przenik sygnału z sąsiednich żył przewodu do danej żyły (pary) sygnałowej.

Spowodowane sprzężeniem elektromagnetycznym sąsiednich ścieżek sygnału.

Rozróżniane są różne typy przesłuchów (wartości podawane w kartach katalogowych konkretnych przewodów).

## Rodzaje przesłuchów

- ❑ **FEXT** (z ang. *Far End Crosstalk*) – Przesłuchy na odległym końcu kabla; zakłócenie mierzone na przeciwnym końcu kabla niż sygnał wywołujący zakłócenie. Jest to parametr łatwy do pomiaru, ale trudny do wyspecyfikowania w normach – wartość jest zależna od długości (a więc tlumienia) kanału transmisji.
- ❑ **ELFEXT** (z ang. *Equal-Level Far End Crosstalk*) - przesłuchy oraz sygnał zakłócający mierzone są na przeciwnym końcu kabla w stosunku do nadajnika. Wartość uwzględnia długość kanału i może być łatwo wyspecyfikowana w normach.
- ❑ **NEXT** (z ang. *Near End Crosstalk*) - Najczęstszy sposób pomiaru przesłuchu zblíżnego, polega na pomiarze poziomu sygnału zaindukowanego w jednej parze przewodników, pochodzącego od sygnału z dowolnej z trzech pozostałych par, na tym samym końcu przewodu.

## Rodzaje przesłuchów cd.

- ❑ **PowerSum NEXT** - polega na pomiarze poziomu sygnału indukowanego w danej parze od sumy sygnałów pochodzących od wszystkich pozostałych par. Przesłuch zblíżny mierzony w ten sposób jest znacznie większy od mierzonego metodą tradycyjną i lepiej oddaje charakter rzeczywistych przesłuchów występujących w torze transmisyjnym. Bardzo istotny parametr dla instalacji w których będą działały protokoły transmisyjne wykorzystujące do transmisji wszystkie cztery pary przewodnika (np. Ethernet 100VG-AnyLAN, Ethernet 1000Base-T).
- ❑ **Return Loss** – straty odbiciowe. Parametr ten określa wartość sygnału odbitego, co spowodowane jest niedopasowaniem (odbiciem) impedancji wzdłuż kanału transmisyjnego. Sygnał ten może być źródłem zakłóceń dla sygnału użytecznego, co jest bardzo istotne w przypadku transmisji w dwóch kierunkach jednocześnie (np. przy Ethernet 1000Base-T).

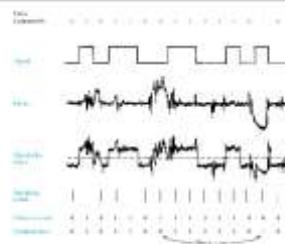
## Szum impulsowy

Cechy:

- ❑ krótki czas trwania, duża amplituda
- ❑ trudny do przewidzenia, występuje nieregularnie
- ❑ silne zakłócenia elektromagnetyczne, powodujące indukowanie się napięć, prowadzą do błędów w systemach telekomunikacyjnych

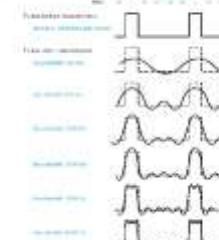
**Jest to główny czynnik przeklamań ( błędów bitowych) w systemach komunikacji cyfrowej**

## Przykładowy wpływ szumu termicznego i impulsowego na sygnał cyfrowy



## Wpływ szerokości pasma na kształt impulsu prostokątnego

### Szerokość pasma a szybkość transmisji (c.d.)



## Wniosek

Jeśli kanał pasmowy ma szerokość  $B$  Hz (czyli jest zdolny do przepuszczania sygnałów o częstotliwościach od 0 Hz do częstotliwości odcęcia równej  $B$  Hz), oraz wymagana jest dokładność odtwarzania impulsów odpowiadająca 95% średniej gęstości mocy wewnątrz pasa, to maksymalna szybkość transmisji wynosi:  $r_{b,\max} = B/2$  bps (bitów/sekundę)

### Przykład 1.

Niech kanał transmisyjny ma szerokość 100 kHz. Wymaganie co do wierności kształtu odtwarzanych impulsów jest określone przez 95% średniej mocy spektralnej wewnątrz pasa. Wyznaczyć maksymalną szybkość transmisji.

$$\text{Rozwiązanie: } r_{b,\max} = \frac{B}{2} = \frac{100,000}{2} = 50,000 \text{ bits per second}$$

### Przykład 2.

Powtórz Przykład 1 przy założeniu 90% dokładności (wierności) kształtu impulsów.

$$\text{Rozwiązanie: } r_{b,\max} = B = 100,000 \text{ bits per second}$$

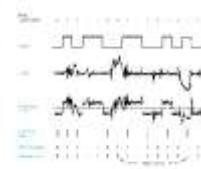
## Wpływ szumów na szybkość transmisji – stosunek S/N

### Stopa błędów transmisji

- Dla danego poziomu szumu:
  - większa szybkość transmisji  $\Rightarrow$  większa stopa błędów
  - silniejszy sygnał  $\Rightarrow$  mniejsza stopa błędów

- Stosunek sygnału do szumu:

$$(S/N)_{dB} = 10 \log \frac{\text{moc sygn.}}{\text{moc szumu}}$$

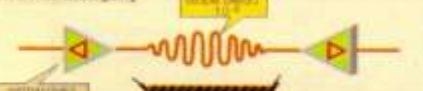


## Szybkość transmisji dla różnych mediów

| Rodzaj medium transportowego                | Szybkość transmisji |
|---|---------------------|
| Przewód magnetyczny                         | 1,2-56 Mb/s         |
| Przewód plynowy przez port szeregowy        | 20 kb/s             |
| Typowe łącze cyfrowe (ISDN)                 | 64 kb/s             |
| Port równoległy typu Centronics             | 300 kB/s            |
| Łącze cyfrowe typu WAN (E1)                 | 2 Mb/s              |
| Sieć LAN typu ARCNET                        | 2,5-20 Mb/s         |
| Sieć LAN typu Token Ring                    | 4-16 Mb/s           |
| Sieć LAN typu Ethernet                      | 10-1000 Mb/s        |
| Łącze cyfrowe typu WAN (T3)                 | 44,736 Mb/s         |
| HSSI (High Speed Serial Interface)          | 52 Mb/s             |
| FDDI (Fiber Distributed Data Interface)     | 100 Mb/s            |
| HPPPI (High Performance Parallel Interface) | 800-1600 Mb/s       |
| SONET (Synchronous Optical Network)         | 51,9-2500 Mb/s      |
| SDH (Synchronous Digital Network)           | 2,5-15,2 Gb/s       |

## Stopa błędu przekazów telekomunikacyjnych

### a) Przekaz analogowy



### b) Przekaz cyfrowy



## Kodowanie źródłowe danych

Przesłanie jakiejkolwiek informacji na odległość wymaga użycia kodu odwzorowującego litery, cyfry, słowa – na przesypane sygnały (i odwrotnie)

Konwersja sygnału na zrozumiałą postać informacji wymaga alfabetu, tabeli kodowej. Taka konwersja nosi nazwę **kodowania źródłowego**.

Kody informacyjne mogą być budowane w sposób zaplanowany, dla osiągnięcia ich określonych cech, np. zwięzości, odporności na błędy, itp.

## Przykłady alfabetów i kodów

### Alfabety Morse'a

| Znak | Maksymalne | Znak | Maksymalne | Znak | Maksymalne |
|------|------------|------|------------|------|------------|
| A    | ++         | J    | ****       | L    | ***        |
| B    | *****      | K    | ***        | M    | -          |
| C    | *****      | L    | *****      | N    | ***-       |
| D    | ***        | M    | **         | O    | ---        |
| E    | -          | N    | --         | P    | ++--       |
| F    | ++--       | O    | --         | Q    | ---+       |
| G    | ++-        | P    | ----       | R    | ---        |
| H    | ++++       | Q    | ----       | S    | ---        |
| I    | ++         | R    | ---        | T    | -          |
| K    | *****      | S    | -----      | U    | ----       |
| L    | *****      | T    | -----      | V    | ----       |
| M    | *****      | U    | ----       | W    | ---        |
| N    | *****      | V    | ----       | X    | ---        |
| O    | *****      | W    | ----       | Y    | ---        |
| P    | ----       | Z    | ----       | Z    | ----       |

## Alfabet CCITT nr 3

Jest kodem **z nadmiarem**, nie są wykorzystywane wszystkie kombinacje kodowe, a tylko 35 spośród 128 ( $2^7=128$ ). Stosunek liczy elementów Z do liczby elementów A w każdej kombinacji wynosi 3:4.

Z rozważań teoretycznych wynika, że dla kodu pięcioelementowego, bez nadmiaru, prawdopodobieństwo błędu wynosi ok.  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Prawdopodobieństwo błędnego znaku w kodzie siedmioelementowym (przy stosunku 3:4) wynosi  $10^{-4}$ , a więc jest około 500 razy mniejsze. Zastosowanie właściwie skonstruowanego kodu poprawia w tym przypadku niezawodność transmisji.

| Numer kolumny | Wybrane znaki |               | Przedstawienie kodowe |   |   |   |   |   |   |
|---------------|---------------|---------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|
|               | Wybrane znaki | Wybrane znaki | 1                     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1             | A             | B             | 1                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2             | C             | D             | 0                     | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3             | E             | F             | 0                     | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4             | G             | H             | 0                     | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 5             | I             | J             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 6             | K             | L             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 7             | M             | N             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 8             | O             | P             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9             | Q             | R             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10            | S             | T             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11            | U             | V             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12            | W             | X             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13            | Y             | Z             | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 32            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 33            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 34            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 36            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 37            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 38            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 41            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 43            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 44            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 45            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 46            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 47            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 48            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 49            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 51            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 52            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 53            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 54            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 55            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 56            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 57            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 58            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 59            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 61            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 62            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 63            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 64            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 65            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 66            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 67            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 68            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 69            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 70            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 71            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 72            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 73            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 74            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 75            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 76            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 77            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 78            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 79            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 81            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 82            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 83            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 84            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 85            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 86            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 87            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 88            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 89            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 90            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 91            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 92            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 93            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 94            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 95            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 96            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 97            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 98            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 99            |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 101           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 102           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 103           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 104           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 105           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 106           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 107           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 108           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 109           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 111           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 112           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 113           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 114           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 115           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 116           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 117           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 118           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 119           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 121           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 122           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 123           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 124           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 125           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 126           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 127           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 128           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 129           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 131           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 132           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 133           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 134           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 135           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 136           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 137           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 138           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 139           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 141           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 142           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 143           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 144           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 145           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 146           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 147           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 148           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 149           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 150           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 151           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 152           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 153           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 154           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 155           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 156           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 157           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 158           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 159           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 160           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 161           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 162           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 163           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 164           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 165           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 166           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 167           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 168           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 169           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 170           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 171           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 172           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 173           |               |               | 0                     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|               |               |               |                       |   |   |   |   |   |   |

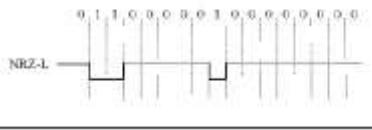
## Kryteria wyboru schematu kodowania

- widmo sygnału
    - składowe w.cz.
    - składowa stała (prąd stałego)
    - rozkład mocy w widmie sygnału
  - synchronizacja (taktowanie)
  - możliwość wykrycia błędów
  - odporność na zakłócenia (szумy)
  - koszt i złożoność implementacji

KOD NRZ

## NRZ - kody bez powrotu do zera

- NRZ - kod bez powrota do zera (*Nonreturn-to-Zero*)
    - stały poziom sygnału w czasie transmisji jednego bitu
  - NRZ-L - kod bez powroto do zera sterowany poziomem (*Nonreturn-to-Zero-Level*)
    - 0 = wysoki poziom, 1 = niski poziom
    - stosowany m.in. w technikach szeregowych



## Cechy kodów NRZ i RZ

Są to kody dwuwartościowe

Wady

- ❑ Podatne na zakłócenia
  - ❑ Nieodporne na długie ciągi zer
  - ❑ Trudności w synchronizacji – wymagają transmisji sygnału zegara
  - ❑ Obecność składowej stałej

Zalety

- ❑ Prostota realizacji i łatwość implementacji
  - ❑ Efektywne wykorzystanie pasma
  - ❑ Kod RZ jest samosynchronizujący, ale wymaga podwójnej szerokości pasma

## Podstawowe typy kodów cyfrowych

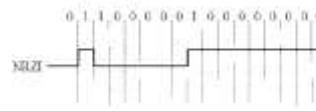
Cytometry Today

The diagram shows five horizontal lines representing different clocking schemes. The top line is labeled 'Kolmogorov bitów' and lists values 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. Below it, the first line is labeled 'Kodowanie NRZ' and shows a red square wave. The second line is labeled 'Kodowanie HZ' and shows a blue square wave. The third line is labeled 'Kodowanie AM' and shows a yellow square wave. The fourth line is labeled 'Kodowanie HDB3' and shows a green square wave. The fifth line is labeled 'Kodowanie CMI' and shows a pink square wave.

KOD NRZ

NRZ - kody bez powrotu do zera  
(c.d.)

- NRZI - kod bez powrotu do zera odrzucany (*Nonreturn-to-Zero Inverted*)
    - 1 = przejście na początek bitu, 0 = brak przejścia
    - kodowanie różnicowe
      - różnica między kolejnymi elementami typu 0, nie wartością bezwzględną
      - korzystne w przypadku szumów



Cytowane kody timowe

## Kody wielopoziomowe

Kody wielopoziomowe binarne służą do reprezentacji danych dwójkowych, ale sygnał ma więcej niż jeden poziom

Kod AMI (Alternate Mark Inversion)

„1” - impuls dodatni i ujemny na przemian, „0” brak sygnału

Kod HDB-3

Podobny do kodu AMI, ale pozwala uniknąć niedogodności długich ciągów zer. Gdy wystąpią więcej niż trzy zera „0”, to generowany jest dodatkowy impuls, tej samej polaryzacji co ostatnia jedynka „1”

Kod WAL-2

Zmiana polaryzacji następuje w środku trwania okresu.

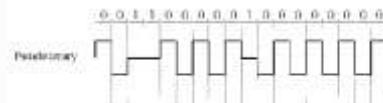
Dla każdej „nowej” jedynki (po zerze) i dla każdego „nowego” zera (po jedynce) – odwrócenie fazy sygnału

Jedynkom odpowiadają impulsy o przeciwej polaryzacji niż zerom. Kod samosynchronizujący (!)

## Kody wielopoziomowe binarne (c.d.)

Kod pseudotrojkiowy (pseudoternary)

- 0 = impuls dodatni lub ujemny (na przemian), 1 = brak sygnału
- stosowany w przypadku ISDN



## Cechy kodów wielopoziomowych

Zalety:

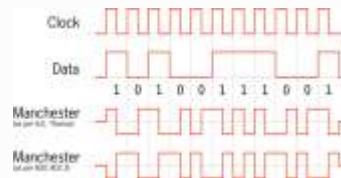
- brak składowej stałej
- mała szerokość pasma

Wady:

- odbiornik musi rozróżniać trzy poziomy sygnału
- mniej wydajne niż prosty NRZ
- duga sekwencja zer (jedynek) może powodować trudności z synchronizacją

## Kod Manchester

Kod Manchester jest sposobem fazowej modulacji sygnału cyfrowego (modulacja bifazowa). Logicznemu zeru odpowiada zmiana stanu w środku bitu z wysokiego na niski, jedynce - z niskiego na wysoki. Jest możliwa również odwrotna konwencja, która jako pierwsza została wprowadzona przez G. E. Thomasa w 1949 r.



## Działanie i cechy kodu Manchester

W środku czasu trwania przesyłanego bitu występuje zawsze zmiana stanu, więc możliwa jest synchronizacja modulatora z demodulatorem w każdym przesyłanym bicie. Daje to dużą odporność na zmiany szybkości transmisji.

Wymiarowana jest składowa stała co umożliwia przesyłanie tak zmodulowanego sygnału przez elementy jej nie przenoszące (np. transformatory liniowe używane w telekomunikacji).

Wadą jest potrzeba użycia do przesłania dwukrotnie szerszego pasa niż w przypadku sygnału niezmodulowanego.

Kodowanie Manchester wykorzystuje np. Ethernet. W wielu nowoczesnych modemach wykorzystana jest ulepszona wersja zapewniająca odporność na zamianę przewodów w linii transmisyjnej - różnicowe kodowanie Manchester.

## Kodowanie 4B/5B

Należy rozumieć jako: kodowanie 4 bitów na 5 bitów (pomimo użycia dużej litery B chodzi o bity - nie bajty)

W przypadku sieci szybszych takich jak FDDI (100 Mb/s) i podobnie szybkiego Fast Ethernetu 100 Base-T wykluczone jest zastosowanie kodu Manchester.

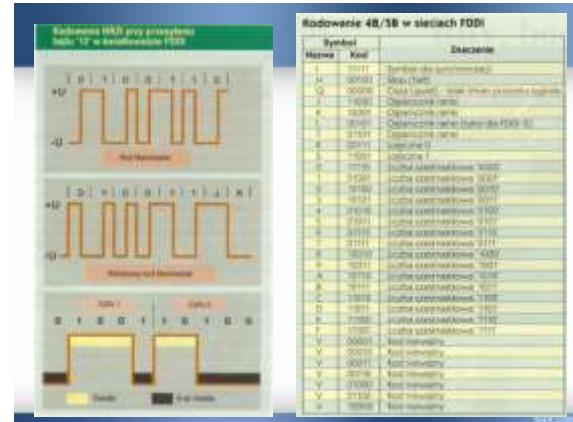
Ze względu na jego małą 50% efektywność wykorzystania przepustowości łączna, duży koszt niezbędnych nadajników i odbiorników z częstotliwością modulacji 200 MHz zaczyna być już znaczący.

Opracowany został inny kod zapewniający synchronizację odbiornika przy jednocześnie niższej częstotliwości sygnalizacji.

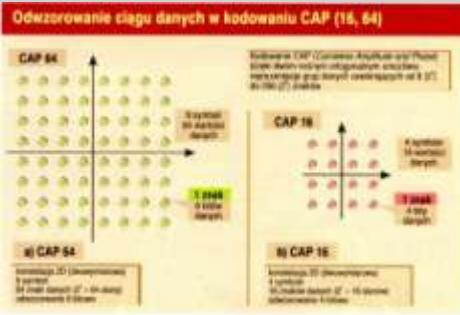
## Kodowanie 4B/5B (cd.)

W sieciach światłowodowych (FDDI) nie ma możliwości stosowania ujemnego odwzorowania sygnału, pozostają tylko dwa stany: jest emitowane światło, lub też jest go brak.  
W światłowodach stosowane jest kodowanie typu *non return to zero inverted* (NRZI).  
W kodowaniu tym bit 0 nie powoduje zmiany poziomu sygnału, bit 1 zawsze zmienia poziom sygnału. Pojawia się tu ryzyko przeoczenia zera w ich długim ciągu.

Opracowano tabelę przekodowań 4B/5B, w której wybrano (z  $2^5=32$  kodów możliwych do uzyskania przy 5 bitach) - 16 kodów reprezentujących liczby szesnastkowe (czyli połówki bajtu = 4 bity), w taki sposób, aby nigdy nie było więcej niż trzy zera w ciągu obok siebie. Inne kody z tego zestawu służą jako ograniczniki ramki FDDI, symbol synchronizacji, stop itd. Część kodów nie jest używana.



## Kodowanie CAP



## Zabezpieczanie informacji przed przekłamaniemami

Ogólne podejście: kody z redundancją (redundancyjne)

Redundancja (nadmiarowość) informacji:  
do sygnałów nadawanych dodawane są dodatkowe znaki, usuwane z informacji w odbiorниku

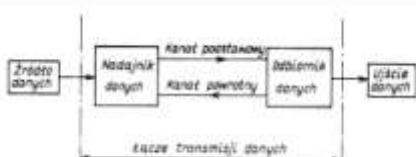
Redundancja pozwala na wykrywanie i ew. korygowanie przekłamań

Zakres bezpieczeństwa danych wzrasta – maleje efektywna szybkość transmisji

## Stosowane metody

### Metody:

- ze sprzężeniem zwrotnym
- bez sprzężenia zwrotnego



Rys. 9.3. Schemat układu przesyłu i odbioru danych z systemem zabezpieczenia za pomocą sprzężenia zwrotnego

## Metody ze sprzężeniem zwrotnym

Dwa przypadki:

sprzężenie zwrotne decyzji, w którym po stwierdzeniu po stronie odbiorczej błędu w bloku danych, kanałem zwrotnym przesyła się żądanie powtórnej transmisji.

sprzężenie zwrotne informacji, w którym stacja odbiorcza najpierw rejestruje odebrane dane, potem przesyła zwrotnie do nadajnika blok odebranej informacji, a ta dokonuje kontroli poprawności i ewentualnie podejmuje decyzję o powtórzeniu, lub przesyła sygnał akceptacji.

Druga z metod ze względu na dużą nieefektywność nie jest stosowana.

## Metody bez sprzężenia zwrotnego

### 1. Kody powtórzeniowe

Ogólna idea:

Niech każdy bit wiadomości zostanie powtórzony ustaloną z góry liczbę razy (np. 3 razy)

| Bit źródłowy | Transmitowana sekwencja bitów |
|--------------|-------------------------------|
| 0            | 000                           |
| 1            | 111                           |

## Przykład: Transmisja w obecności zakłóceń

| Wiadomość                | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sygnal transmitowany     | 000 | 000 | 111 | 000 | 111 | 111 | 000 |
| Szumy                    | 000 | 001 | 000 | 000 | 101 | 000 | 000 |
| Sygnal odebrany          | 000 | 001 | 111 | 000 | 010 | 111 | 000 |
| Sygnal zdekodowany       | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   |
| Błędy wykryte i usunięte |     | ↑   |     |     |     |     |     |
| Błędy niewykryte         |     |     |     |     | ↑   |     |     |

## Uwagi - wnioski

- Dekodowanie: ten sygnał (bit) jest najbardziej wiarygodny, którego wartość przeważa w otrzymanej sekwencji
- Zwiększenie liczby powtórzeń powoduje zmniejszenie prawdopodobieństwa wykrycia i korekty błędu.
- Z punktu widzenia szybkości transmisji powoduje to oczywiste opóźnienia. Z tego względu rzadko stosuje się tego rodzaju kodowanie.

## 2. Kontrola parzystości

Najprostsza metoda pozwalająca na wykrycie przekłamania w grupie transmitowanych bitów

Polega na dodaniu elementu (bitu) parzystości do ciągu danych.

Zasada kontroli polega na sprawdzeniu, czy liczba „1” w znaku transmitowanym jest parzysta (wówczas bit parzystości jest równy „0”), czy też nieparzysta (wówczas bit parzystości jest równy „1”).

Nie chroni przed wykryciem błędu w sytuacji gdy nastąpi jednocześnie przekłamanie parzystej ilości bitów.

Nie jest to też metoda pozwalająca na korekcję błędu - jedynie pozwala go wykryć.

## Kontrola parzystości – metody blokowe

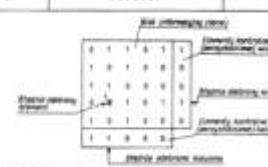
Stosowane w odniesieniu nie do jednego, lecz grupy przesyłanych znaków.

Kody blokowe najczęściej określa się symbolem  $(n,k)$  - gdzie  $n$  określa długość słowa kodowego, a  $k$  długość części informacyjnej. Kody te służą do szybkiego wykrycia i korekcji błędów występujących podczas przesyłu danych cyfrowych. Informacje dzielone są w tych kodach na bloki, do których dołączana jest nadmiarowa część kodowa pozwalająca na detekcję błędów występujących w blokach oraz korekcję - w zależności od sposobu zaprojektowania kanału transmisji ponowne pobranie całego bloku lub dokonanie automatycznej korekcji.

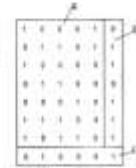
## Przykład zastosowania metody blokowej

Załogowanie przesyłanymi znakami Myślenice

| Znak | Ciąg informacji znaku<br>wsg. skrótu ze 5 | Element kontrolny |
|------|---|-------------------|
| A    | 100001                                    | 0                 |
| B    | 010001                                    | 0                 |
| C    | 110001                                    | 1                 |
| T    | 001001                                    | 1                 |



Rys. 4.4. Przykład zastosowania przesyłania znaków Myślenice



Rys. 4.1. Załogowanie przesyłaniem znaków Myślenice:  
a - dane do załogowania, b - załączony do załącznika znak Myślenice, c - załącznik po załączniku, d - załącznik po załączniku po załączniku.

## Wnioski

- ❑ Blok informacyjny, złożony z pięciu wierszy pięcioróżnych znaków jest uzupełniony bitami parzystości dla poszczególnych wierszy, oraz dla wszystkich pięciu kolumn.
- ❑ Odbiornik rejestruje blok danych i elementy kontrolne, a następnie dokonuje sprawdzenia ich zgodności.
- ❑ W przykładowym diagramie zasada parzystości nie jest spełniona w trzecim wierszu i czwartej kolumnie. Oznacza to, że odebrano błędnie bit „0”.

## Przykład kodowania H. (7,4)

| Sekwencja źródłowa | Transmitowana sekwencja bitów | Sekwencja źródłowa | Transmitowana sekwencja bitów |
|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 0000               | 0000000                       | 1000               | 1000101                       |
| 0001               | 0001011                       | 1001               | 1001110                       |
| 0010               | 0010111                       | 1010               | 1010010                       |
| 0011               | 0011110                       | 1011               | 1011001                       |
| 0100               | 0100110                       | 1100               | 1100011                       |
| 0101               | 0101101                       | 1101               | 1101000                       |
| 0110               | 0110001                       | 1110               | 1110100                       |
| 0111               | 0111010                       | 1111               | 1111111                       |

Każdy element kodu różni się od pozostałych conajmniej trzema bitami!

## 3. Kody korekcyjne Hamminga

Kody Hamminga są kodami z redundancją, czyli dodawaniem do ciągu wiadomości dodatkowych elementów

Rozpatrzmy jako przykład blokowy kod Hamminga (7,4), z wykorzystaniem bitów parzystości

Oznaczenie kodu (7,4):  
przypisanie ciągiem 4-bitowym informacji - 7-bitowych kombinacji kodowych

## Reguła kodowania

Pierwsze cztery bity są identyczne jak bity źródłowe;  
Pozostałe trzy bity oznaczają:

- ❑ pierwszy jest bitem parzystości pierwszych trzech bitów źródła,
- ❑ kolejny jest bitem parzystości ostatnich trzech bitów źródła,
- ❑ ostatni - bitem parzystości następujących bitów źródła: pierwszego, trzeciego i czwartego.

## Wnioski nt. dekodowania kodu (7,4)

Dekodowanie kodu Hamminga, szczególnie w przypadkach bardziej rozbudowanych kodów, nie jest już sprawą równie bezpośrednią.

Zdefiniowanie reguł detekcji błędów i właściwych metod korekcji jest dość skomplikowane.

**Uwaga:** odbiorca wiadomości nie posiada informacji niezakłóconej (nadanej), ani też nie posiada informacji o zakłócenach jakie mogły mieć miejsce. Można jedynie zastosować odpowiednie metody w celu poszukiwania najbardziej prawdopodobnego wektora szumów, co pozwala na określenie najbardziej prawdopodobnego wektora źródłowego.

## 4. Kody cykliczne - Suma kontrolna CRC

❑ Jest to kod wielomianowy

❑ Nazywany też: sumą kontrolną CRC

❑ Pozwala na kontrolowanie szerokiej klasy możliwych uszkodzeń danych

❑ Opiera się o arytmetykę modulo 2

## Reguły arytmetyki modulo 2

Odejmowanie i dodawanie są równoważne, tzn. przy dodawaniu nie ma przeniesienia i nie ma pożyczek przy odejmowaniu

Zasady działań na bitach:

| dodawanie | mnożenie |
|-----------|----------|
| 0+0=0     | 0x0=0    |
| 0+1=1     | 0x1=0    |
| 1+0=1     | 1x0=0    |
| 1+1=0     | 1x1=1    |

## 5. Kody splotowe

W telekomunikacji **kod splotowy** (ang. *convolutional codes*) jest typem kodu korekcyjnego. Kody splotowe zwykle są określane przez trzy parametry:  $(n, k, m)$ .

Idea kodowania splotowego jest przekształcenie wejściowego  $k$ -bitowego ciągu informacyjnego na  $n$ -bitowy ciąg wyjściowy.

Sprawność kodu splotowego wynosi  $k/n$  ( $n \geq k$ ). Dodatkowym parametrem jest  $m$ , który oznacza liczbę przerzutników "D" w rejestrze albo ilość *boksów*, z których ten rejestr się składa. Można również wyróżnić wielkość  $L$ , która oznacza ograniczoną długość kodu i jest definiowana jako:

$L=k(m-1)$ . Ograniczona długość  $L$  reprezentuje liczbę bitów w pamięci kodera wpływających na generowanie  $n$  bitów wyjściowych.

Kody splotowe używane są często w celu poprawy odbioru w radiofonii cyfrowej, telefonii komórkowej oraz w łączach satelitarnych.

## Opis diagramu kratowego

W diagramie kratowym jest uwzględniany liniowo czas wszystkich kolejnych sekwencji zdarzeń. Na osi X jest zaznaczony zdyskretyzowany czas, a na osi Y wszystkie możliwe stany, jakie mogą wystąpić.

W diagramie takim poruszamy się poziomo zgodnie z upływem czasu. Każda transmisja oznacza, że na wejście został podany jeden nowy bit. Rysując diagram kratowy musimy najpierw nanieść wszystkie możliwe stany ( $2^k$ ) na osi pionowej. Później łączymy każdy stan z dopuszczalnym stanem następnym. W każdym stanie są tylko dwie możliwości do wybrania. Są one zdeterminowane przez nadchodzące bity w zależności czy to jest „0” czy „1”.

Na poszczególnych strzałkach zaznaczono są bity wejściowe oraz bity wyjściowe, które umieszczamy w nawiasie. Strzałki są skierowane w góre bądź w dół, w zależności od tego, jaki bit został podany na wejście. Jeżeli podamy „1” wówczas strzałka jest skierowana w dół, jeżeli natomiast podamy „0” strzałka skierowana jest do góry.

Taki diagram kratowy jest unikalny dla każdego kodu, podobnie jak diagram stanu i diagram struktury drzewa. Możemy także rysować kraty dla tylu okresów ile chcemy. Każdy okres będzie powtarzać możliwą transmisję. Zawsze startujemy ze stanu „0...0” ( $L$  zer). Rozpoczynamy z tego punktu i rozszerzamy kraty, aż wszystkie możliwe transmisje zostaną wykorzystane i uwzględnione na diagramie.

## Podsumowanie

CCITT (ITU) zaleca stosowanie następującego ciągu generacyjnego: 1000100000100001 co odpowiada wielomianowi:  $x^{16}+x^{12}+x^5+1$

Inne ciągi generacyjne:

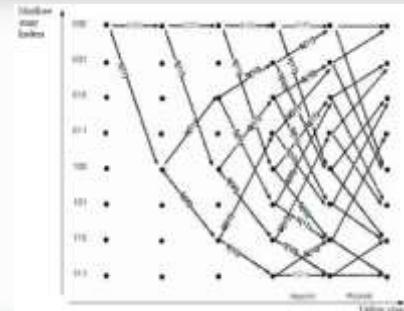
CRC-16:  $x^{16}+x^{15}+x^2+1$

CRC-32: (Ethernet, Token Ring)

$x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$   
 $x^{15}+x^{14}+x+1$  stosowany w sieciach ATM oraz DQDB

Praktyczne rozwiązania układowe do realizacji kodowania CRC są nieskomplikowane, gdyż operacje dzielenia modulo 2 realizowane są przy użyciu rejestrów przesuwających z odpowiednio dobranymi (do wielomianu generującego) sprzężeniami zwrotnymi.

## Diagram kratowy



## Przykład kodowania sekwencji bitów

przy użyciu diagramu kratowego dla kodu splotowego (2,1,4)



## Kodowanie z użyciem diagramu kratowego

W górnej części rysunku pokazano nadchodzące bity w danych chwilach czasowych. Zaczynamy z punktu „0..0” (L zer). Następnie przesuwamy się w prawą stronę – w zależności od stanów na wejściu w góre, gdy jest „0” lub w dół, gdy przychodzi „1”. Na rysunku przedstawiono tak zbudowaną „ścieżkę” dla przykładowej sekwencji bitów wejściowych 1011000.

## Dekodowanie kodów splotowych

Istnieje kilka metod dekodowania kodów splotowych. Są one podzielone na dwie zasadnicze kategorie.

1. Metoda „twarda” (ang. *hard*). Porównujemy odebraną sekwencję z wszystkimi dostępnymi kombinacjami i wybieramy jedną, która ma najmniejszą odległość Hamminga. Metodę tą ma bardzo silny próg decyzyjny. Jest to przykład dekodowania sekwencyjnego.
2. Metoda „miękką” (ang. *soft*). Możemy skorelować te sekwencje i wybrać jedną o najlepszej korelacji. Próg decyzyjny jest trochę rozmyty i pozostaje tu zawsze pewien margines niepewności. Jest to jeden z przykładów dekodowania metodą maksymalnego prawdopodobieństwa. Na takiej zasadzie działa np. dekodowanie Viteriego.

## Dekodowanie sekwencyjne

Polega na wędrowaniu ścieżką diagramu kratowego i liczeniu ewentualnych błędnych decyzji. Gdy błędów będzie zbyt wiele – cofamy się i wybieramy inną ścieżkę. Liczbę błędów zapamiętuje licznik, a maksymalną ilość błędnych decyzji ustalamy sami. Pomimo odebrania zakłóconego sygnału, dekoder jest w stanie zdekodować go poprawnie. Dekodowanie sekwencyjne używane jest gdy mamy do czynienia z dużymi zakłóceniami i słabym sygnałem użytkowym (gdzie odstęp sygnał-szum jest mały). Często spotykane w systemach satelitarnych.

## Dekodowanie metodą największego prawdopodobieństwa

- Metoda ta korzysta z **algorytmu Viteriego**. Polega ona na analizowaniu wszystkich ścieżek i porównaniu ich z sekwencją odebraną. Patrzymy przy tym na liczbę pozycji, na których się różnią i wybieramy oczywiście ścieżkę najbardziej podobną do odebranej sekwencji.
- Metoda ta jest stosowana w systemach gdzie błędy występują stosunkowo rzadko, tzn. małe jest prawdopodobieństwo przeklamania bitów, oraz błędy występują zupełnie przypadkowo a prawdopodobieństwo błędu podwójnego jest o wiele mniejsze od prawdopodobieństwa wystąpienia błędu pojedynczego.

**Dziękuję za uwagę !**