

Modulacje cyfrowe

Podstawowe modulacje cyfrowe

- ASK - Amplitude Shift Keying
- FSK - Frequency Shift Keying
- PSK - Phase Shift Keying
- QAM - Quadrature Amplitude Modulation

Modulacje cyfrowe

Efekywność widmowa

$$\Gamma = R/B \text{ [bit/s/Hz]}$$

R - szybkość transmisji (bit/s)

B - pasmo częstotliwości zajmowane przez sygnał

Modulacje cyfrowe

Modulacja cyfrowa stosowana w transmisji satelitarnej powinna:

- charakteryzować się stałą obwiednią sygnału
- zapewniać wysoką efektywność widmową

Najczęściej stosowane są modulacje fazy (PSK):

- **BPSK** biphas phase shift keying (M=2)
- **QPSK** quadriphase phase shift keying (M=4)
- OQPSK** offset QPSK
- $\pi/4$ QPSK**

Dla BPSK i QPSK: $BER = 1/2 \operatorname{erfc} \sqrt{E_b/N_0}$

Dla wielowartościowych modulacji PSK (M>2) jakość transmisji wyrażana jest w symbolowej stopie błędów (symbol error rate - SER), przybliżona zależność: $BER = SER/\log_2(M)$

Modulacje cyfrowe

Sygnał zmodulowany:

$$\mathbf{s(t) = A(t) \cos(2\pi f_0 t + \phi(t))}$$

$A(t)$ modulacja amplitudy

$\phi(t)$ modulacja kąta (fazy lub częstotliwości)

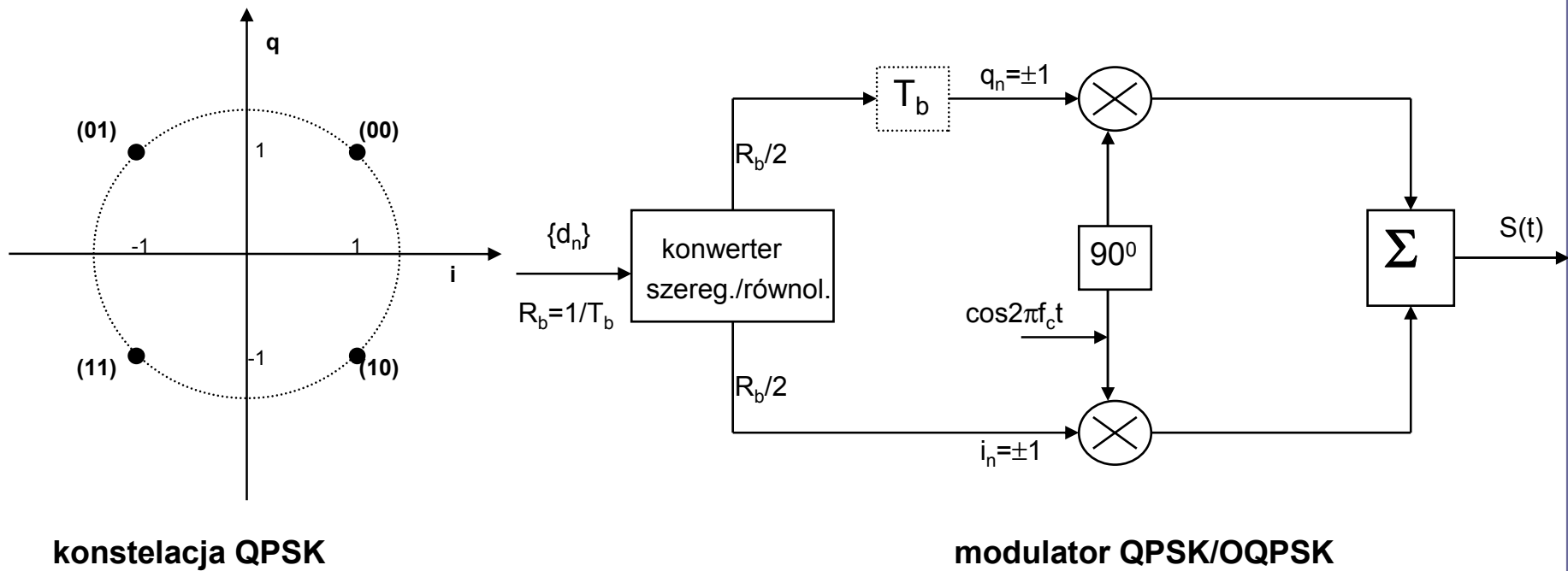
$$\mathbf{s(t) = s_I(t)\cos 2\pi f_0 t + s_Q(t)\sin 2\pi f_0 t}$$

$s_I(t)$ - składowa synfazowa (*inphase*), $s_Q(t)$ - składowa kwadraturowa (*quadrature*)

$$\mathbf{A(t) = (s_I^2(t) + s_Q^2(t))^{1/2}}$$

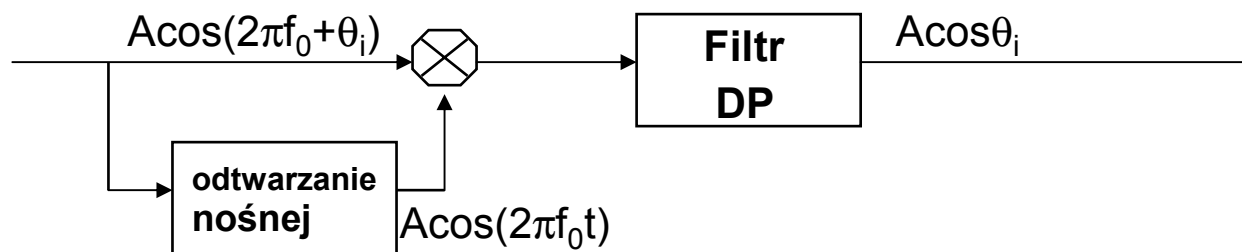
$$\mathbf{\phi(t) = \arctg(s_Q(t)/s_I(t))}$$

Modulacje cyfrowe

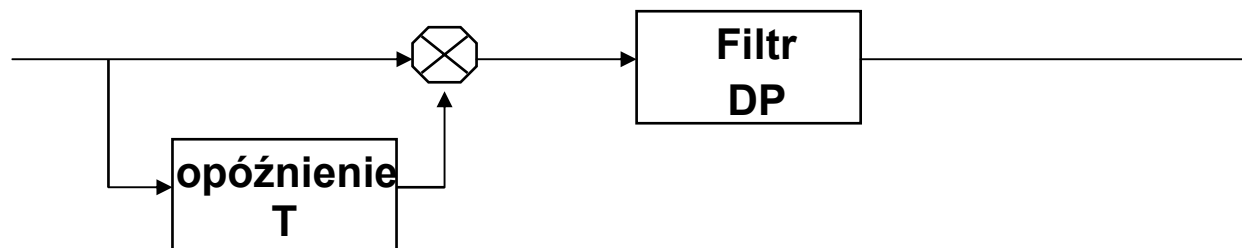


Modulacje cyfrowe

demodulacja koherentna

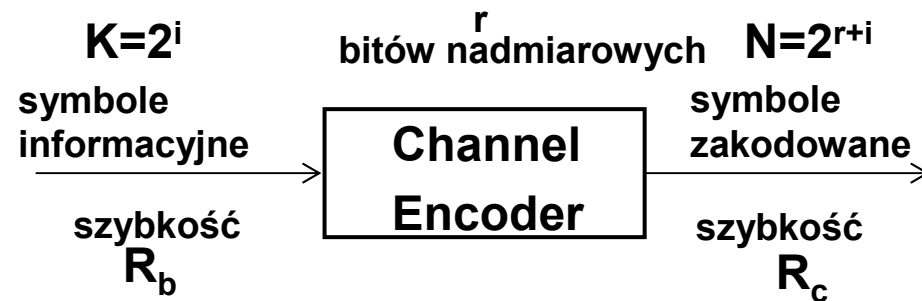


demodulacja różnicowa



Kodowanie korekcyjne

Kodowanie Kanałowe



i - liczba bitów informacyjnych r - liczba bitów nadmiarowych

Sprawność kodowania $k = K/N$

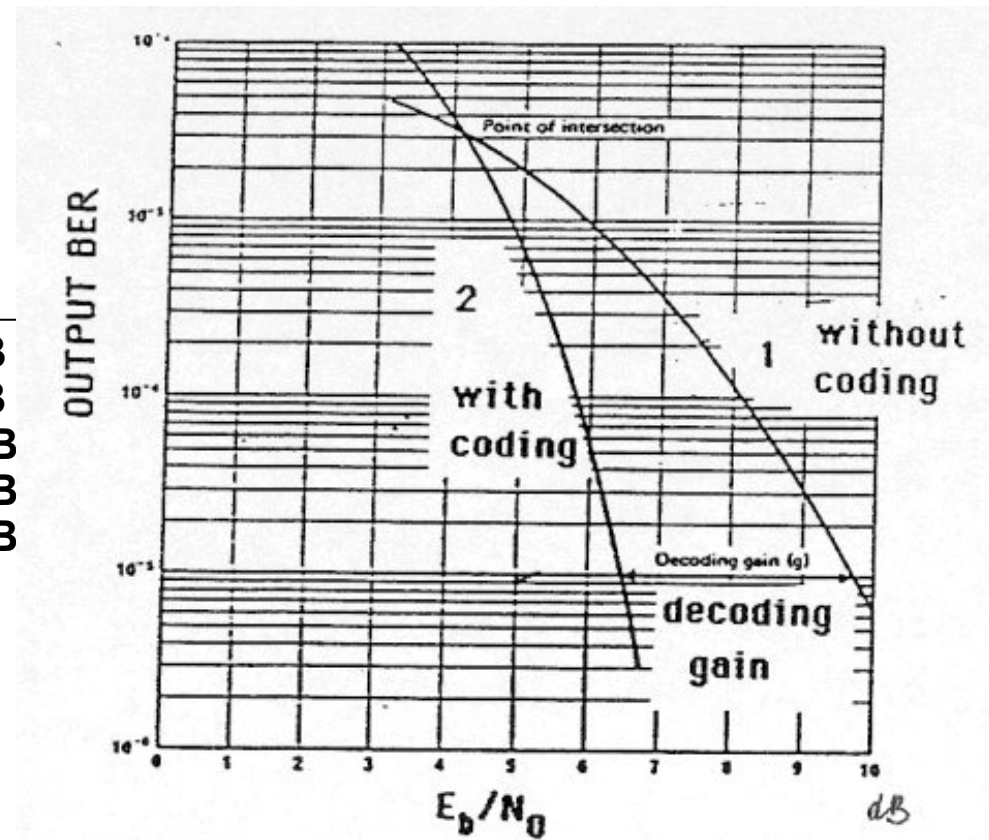
$$R_c = R_b/k$$

Kodowanie korekcyjne

Zysk kodowania

Przykładowe wartości:

Sprawność k	wymagane E_b/N_0 dla $BER=10^{-5}$	zysk
1	9.6dB	0dB
7/8	7.6dB	2dB
3/4	5.8dB	3.8dB
2/3	5.3dB	4.3dB
1/2	4.9dB	4.7dB



Kodowanie korekcyjne

Techniki detekcji/korekcji błędów

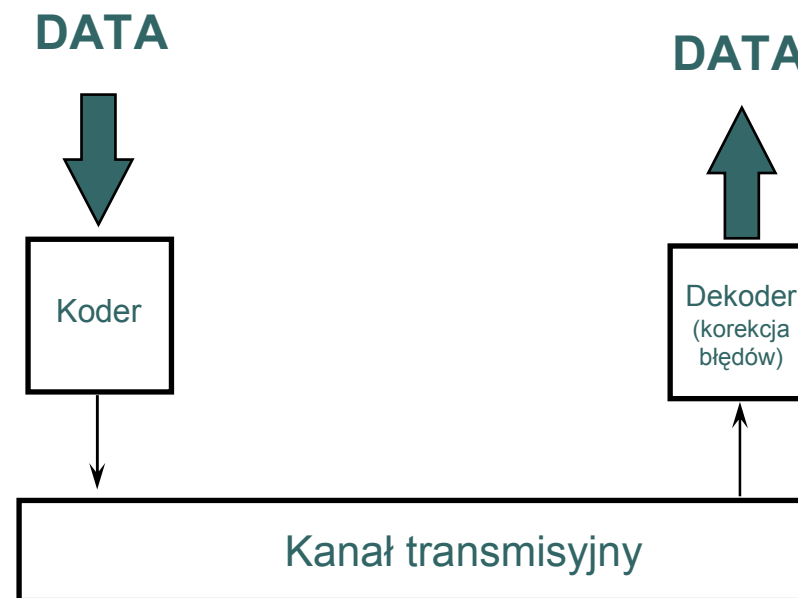
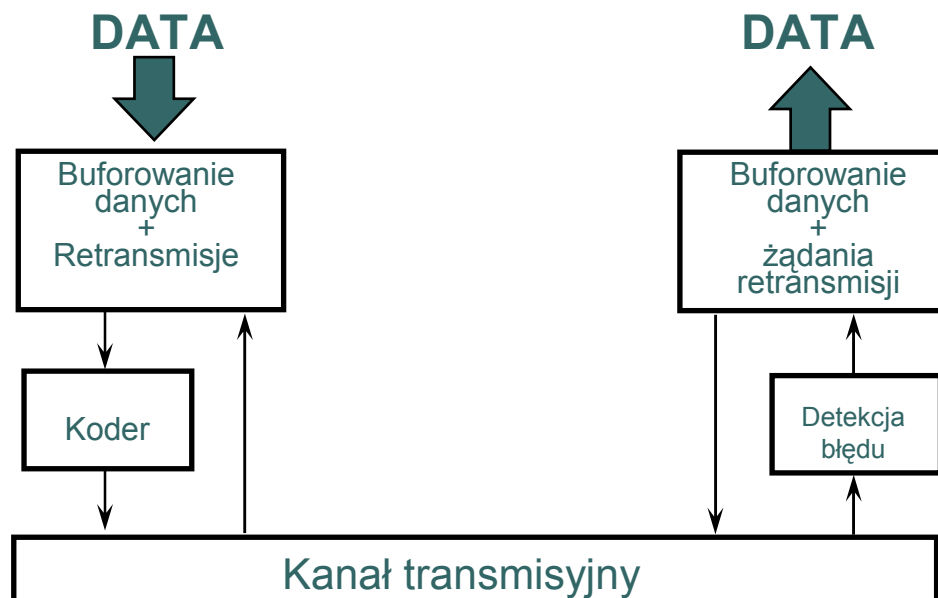
- **ARQ** - Automatic Repeat on Request

- **FEC** - Forward Error Correction
 - kody blokowe
 - kody splotowe
 - turbo-kody

Kodowanie korekcyjne

ARQ

FEC



Kodowanie korekcyjne - ARQ



FCS (frame check sequence)

- bit parzystości
- suma kontrolna
- CRC (cyclic redundancy check)

CRC

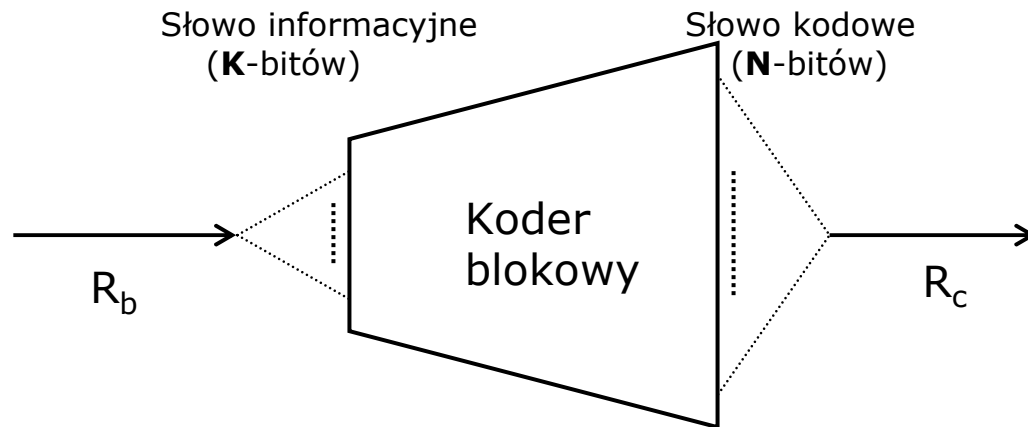
16-bitowy $G(x) = X^{16} + X^{15} + X^5 + 1$

32-bitowy $G(x) = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$

$$D(x)/G(x) = Q(x) + \text{R}(x) \rightarrow \text{FCS}$$

D(x) - wielomian danych

Kodowanie korekcyjne - FEC



(N, K, d_H)

d_H - odległość Hamminga

Kod blokowy o odległości Hamminga d_H umożliwia:
detekcję $d_H - 1$ błędów
korekcję $(d_H - 1) / 2$ błędów

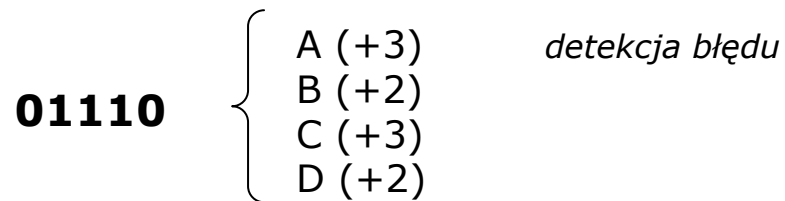
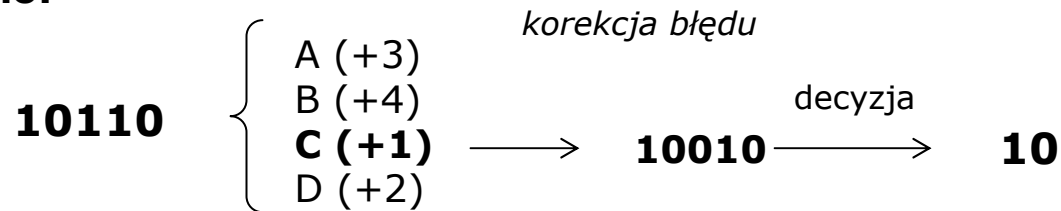
Kodowanie korekcyjne - FEC

Przykład:

Kod **(5,2,3)**

słowo informacyjne		słowo kodowe	
00	→	00101	A
01	→	01011	B
10	→	10010	C
11	→	11100	D

Odebrano:



Kodowanie korekcyjne - FEC

Kod RS (Reed-Solomon)

Kody RS w odróżnieniu od innych kodów blokowych operują nie na bitach ale na bajtach.

(204,188,8)

N=204 bajty słowa kodowego

K=188 bajtów słowa informacyjnego

t=8 liczba bajtów możliwych do skorygowania

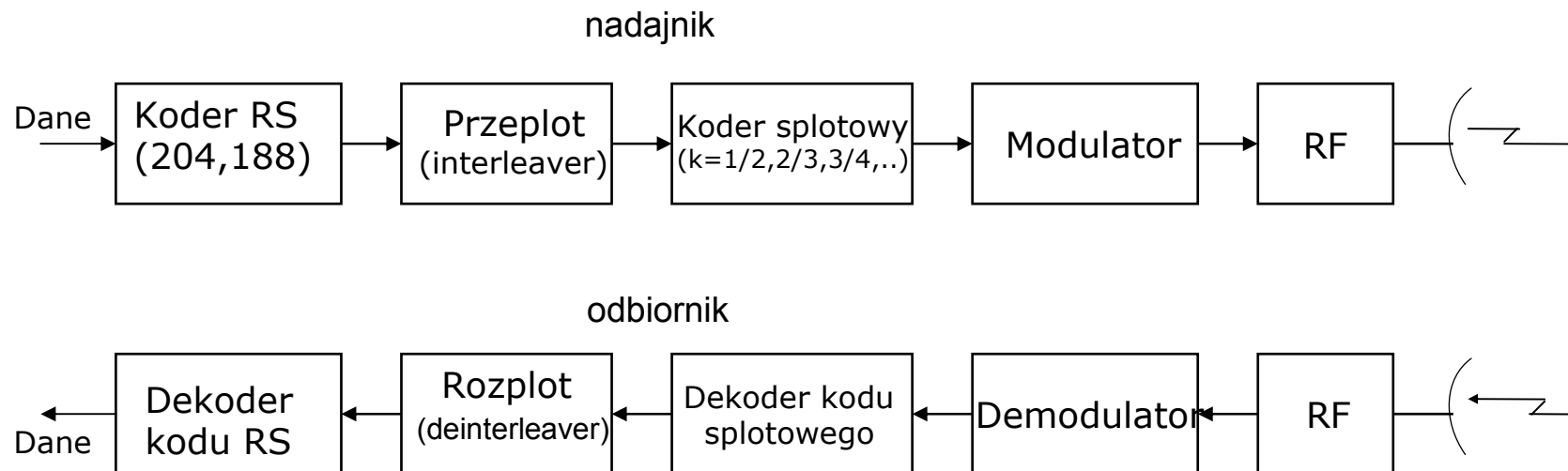
zalety:

- wysoki zysk, dla wejściowego $BER=10^{-4}$ elementowa stopa błędów na wyjściu dekodera może wynieść $BER=10^{-12}$
- możliwa korekcja „paczek” błędów z uwagi na bajtową strukturę kodu
- mały nadmiar, 8% dla kodu (204,188)

Kodowanie korekcyjne - FEC

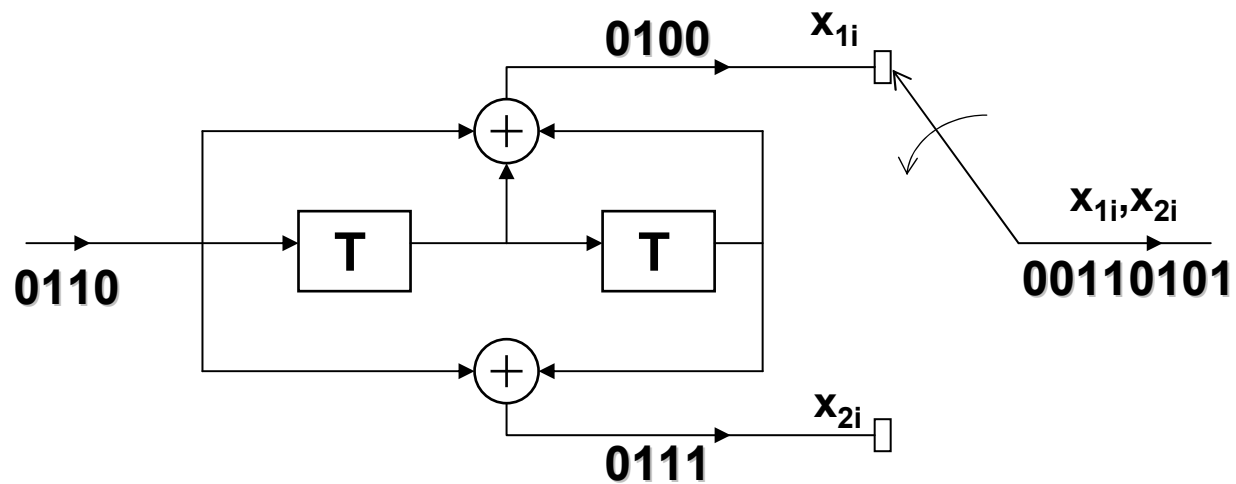
Kody RS stosowane są najczęściej w kaskadowym połączeniu z innymi kodami (najczęściej splotowymi).

przykład: system DVB-S



Kodowanie korekcyjne - FEC

Koder splotowy



$N=1$ $K=2$ $M=3$
 $k=N/K$

$$G_1(X) = 1 + X + X^2$$

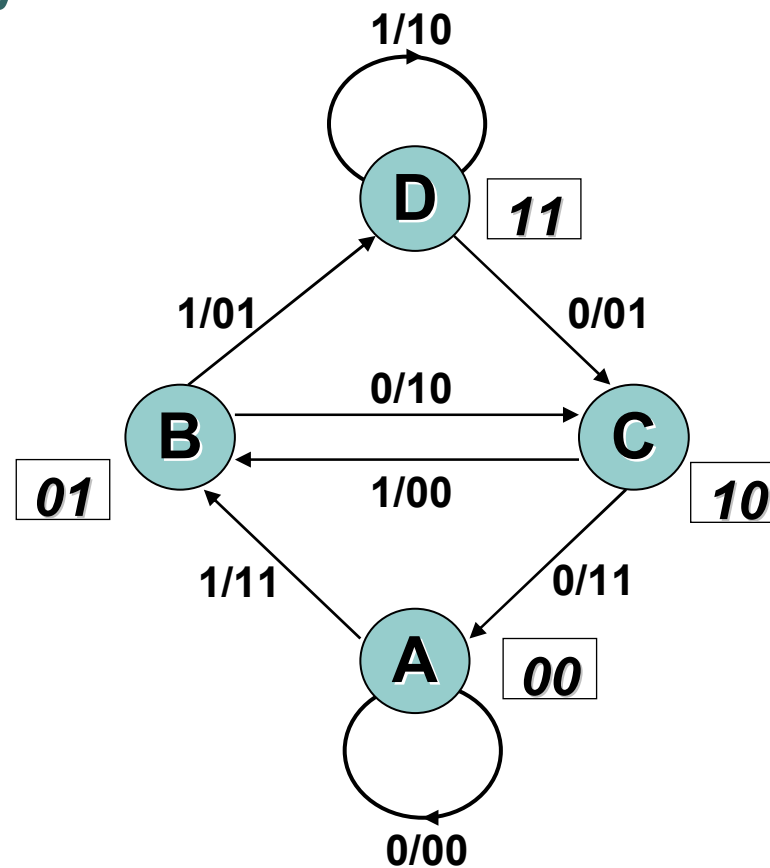
$$(G_1 = 1 \ 1 \ 1)$$

$$G_2(X) = 1 + X^2$$

$$(G_2 = 1 \ 0 \ 1)$$

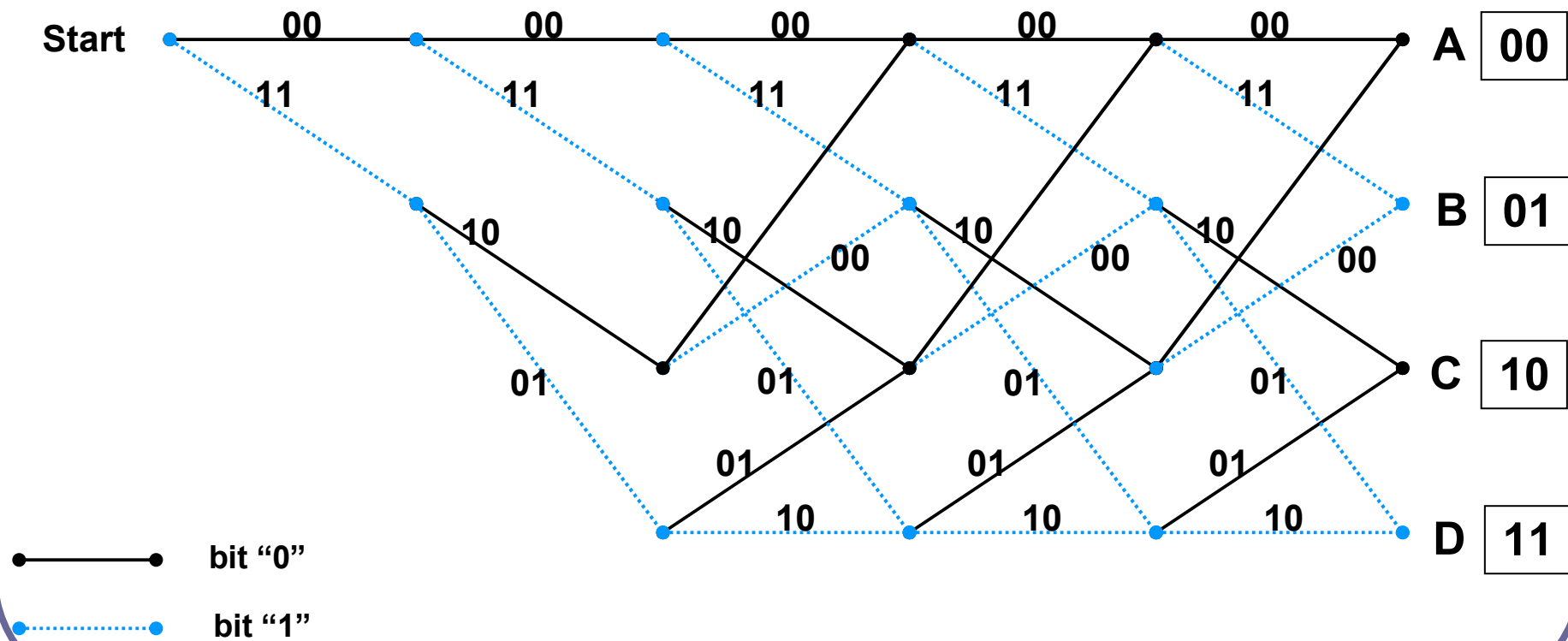
Kodowanie korekcyjne - FEC

Kod splotowy
graf stanów



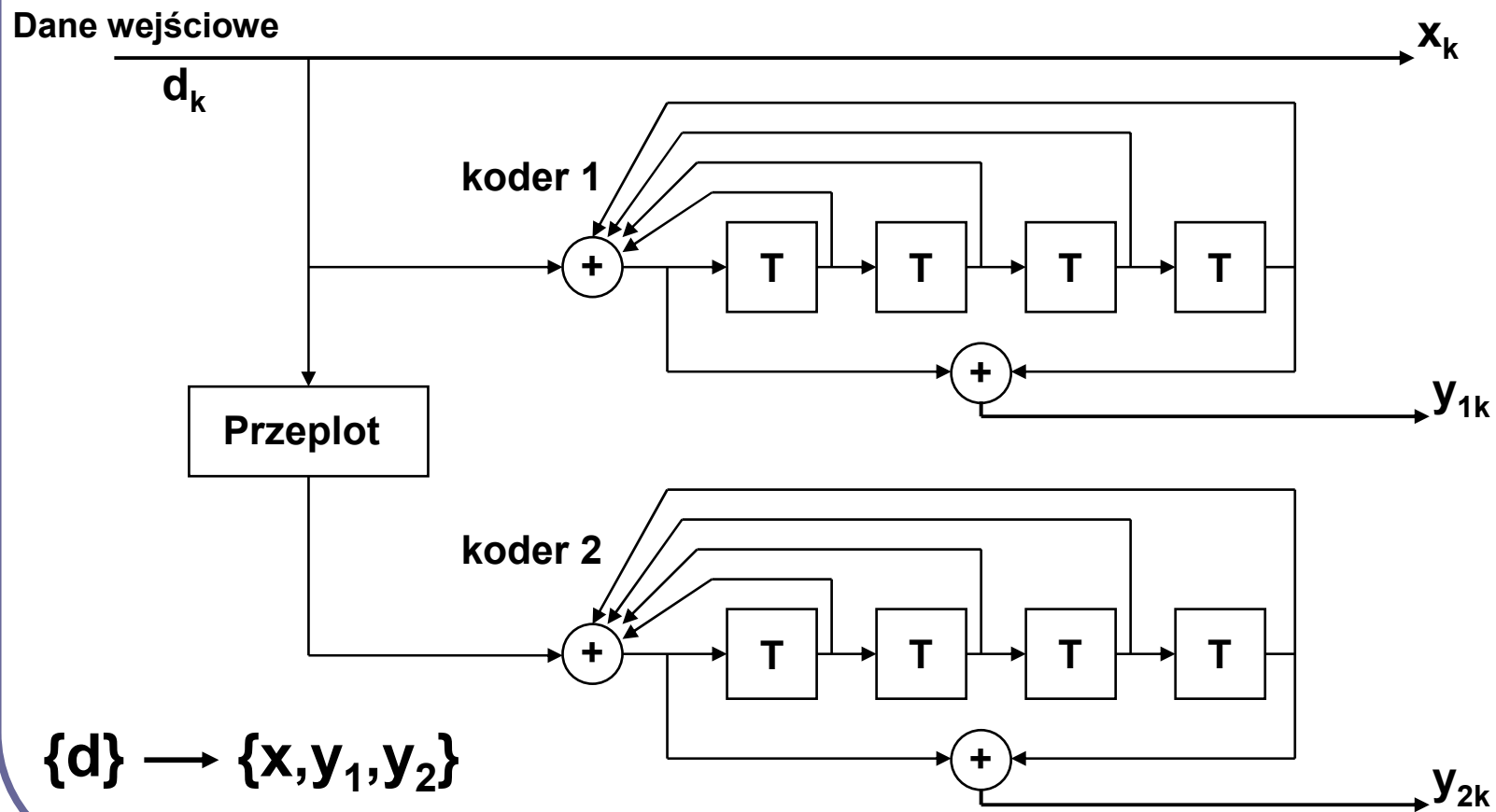
Kodowanie korekcyjne - FEC

Kod splotowy krata (trellis)



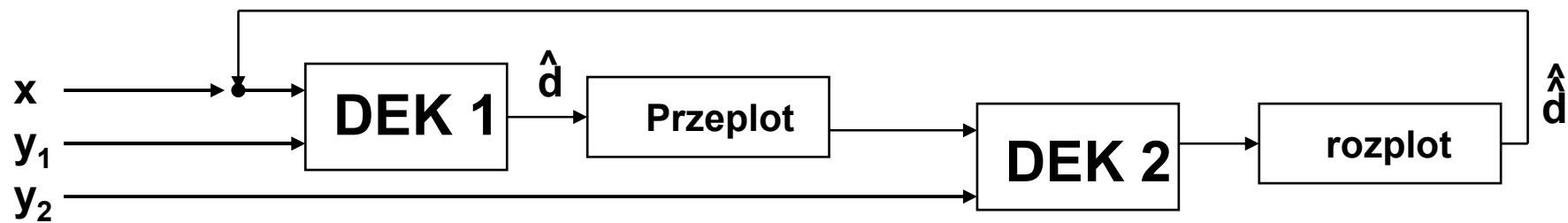
Kodowanie korekcyjne - FEC

Turbo koder



Kodowanie korekcyjne - FEC

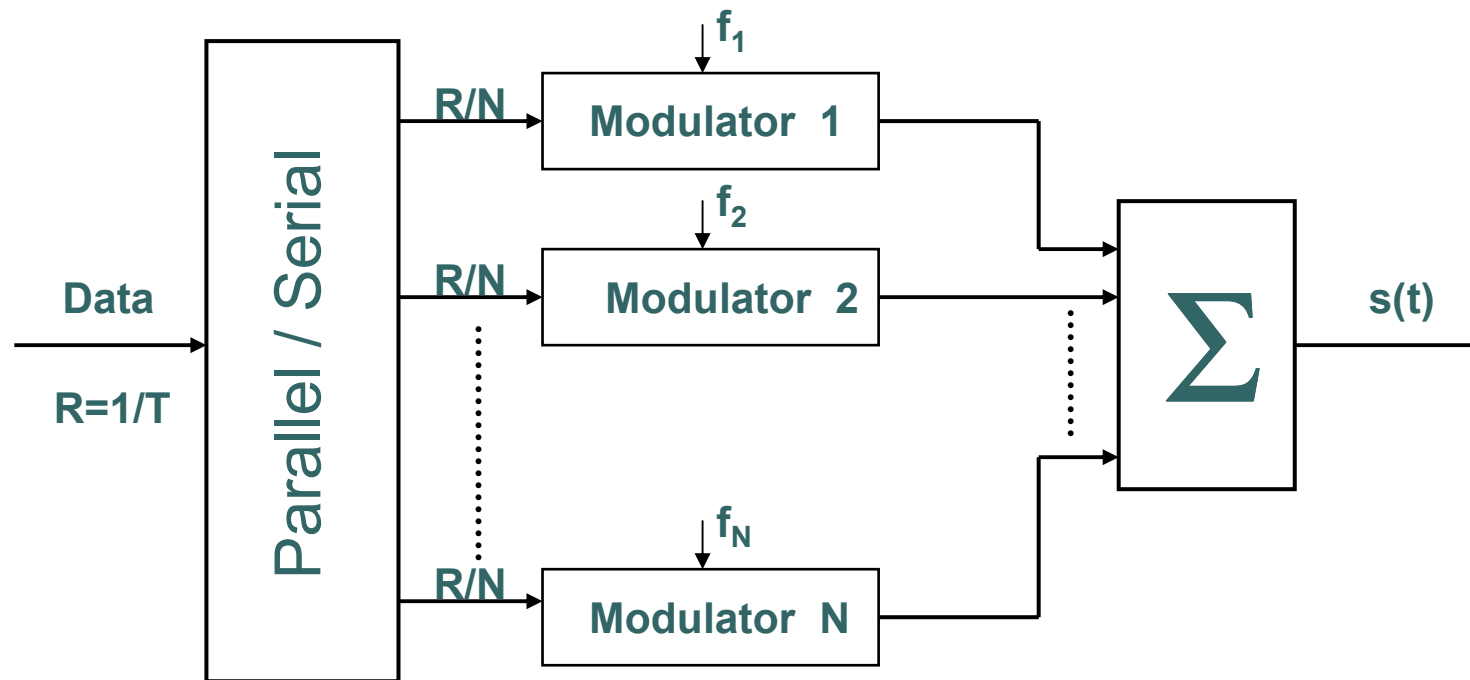
Turbo Dekoder



Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- Rodzaj transmisji wieloczęstotliwościowej (wielotonowej)
- Dostępne pasmo kanału transmisyjnego podzielone jest na wiele (N) wąskich pasm (podkanałów).
- Dane transmitowane są równolegle w wydzielonych podkanałach
- Nośne podkanałów są wzajemnie ortogonalne (odstęp między sąsiednimi nosnymi wynosi $\Delta f = 1/T$, gdzie T jest odstępem jednostkowym modulacji)
- Generacja i odbiór sygnału realizowane są w oparciu o algorytmy transformaty Fouriera (IFFT w nadajniku i FFT w odbiorniku)

Modulacje wielotonowe



System wielotonowy

Modulacje wielotonowe

Zalety OFDM

- Eliminacja zakłóceń powodowanych przez interferencję międzysymbolową **ISI** (*InterSymbol Interference*)

Zastosowanie w miejsce pojedynczego strumienia danych o dużej szybkości równoległej transmisji strumieni danych o małych przepływnościach powoduje wydłużenie odstepu jednostkowego modulacji do wartości odpowiadającej długości odpowiedzi kanału.

- Wysoka efektywność widmowa
- Duża elastyczność umożliwiająca optymalizację systemu pod kątem maksymalnej przepływności przez odpowiednią alokację mocy i wartościowości modulacji w podkanałach.

Modulacje wielotonowe

Wady OFDM

- Wrażliwość na zaniki selektywne
- Wymagana precyzyjna synchronizacja, konieczne jest stosowanie odpowiednich procedur (sekwencje treningowe, sygnały pilotowe)
- Wrażliwość na zniekształcenia nieliniowe wprowadzane przez kanał transmisyjny z uwagi na dużą dynamikę zmian amplitudy w sygnale OFDM

Modulacje wielotonowe

kanał wielodrogowy, max. opóźnienie $\tau_{\max} = 224 \mu\text{s}$

System z pojedynczą nośną (single carrier)

szybkość transmisji $R = 1/T = 7.4 \text{ Msym/s}$.

Poziom interferencji międzysymbolowej ISI (Inter-Symbol Interference):

$$\tau_{\max} / T = 1600$$

System wielotonowy (multicarrier)

Strumień danych o szybkości R podzielony jest na N równoległych strumieni o szybkościach $R_{\text{mc}} = 1/T_{\text{mc}} = R/N$.

ISI zostaje zredukowana do wartości:

$$\tau_{\max} / T_{\text{mc}} = \tau_{\max} / (TN)$$

Dla DVB-T liczba nośnych wynosi $N=8192$ co daje ISI:

$$\tau_{\max} / T_{\text{mc}} = 0.2$$