

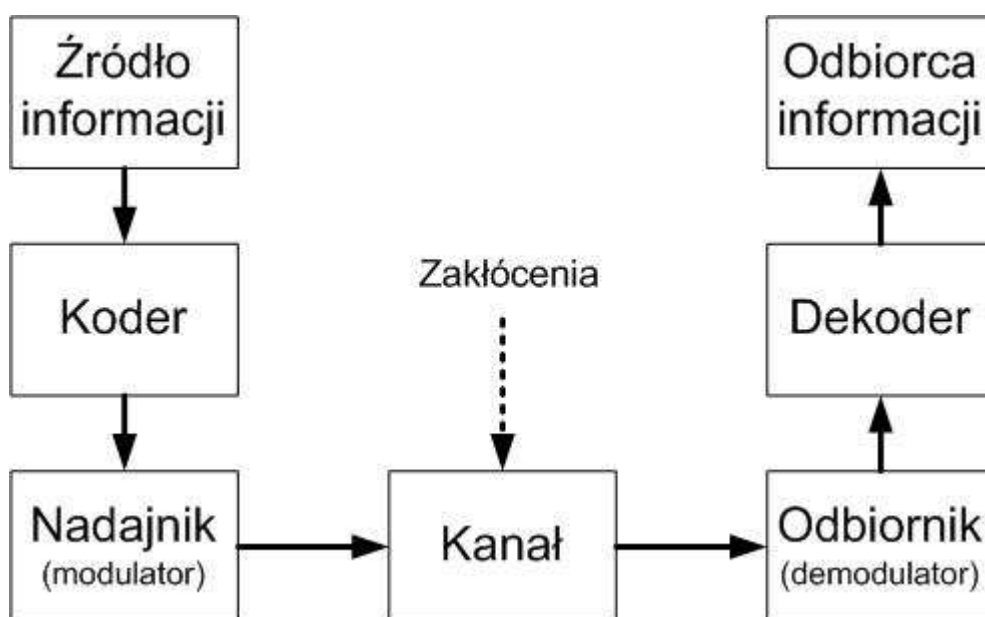
## 9. Detekcja i korekcja błędów transmisji cyfrowej

### 9.1. BER – Bit Error Rate

Bitowa stopa błędów opisuje prawdopodobieństwo przekłamania bitu w systemie cyfrowym.

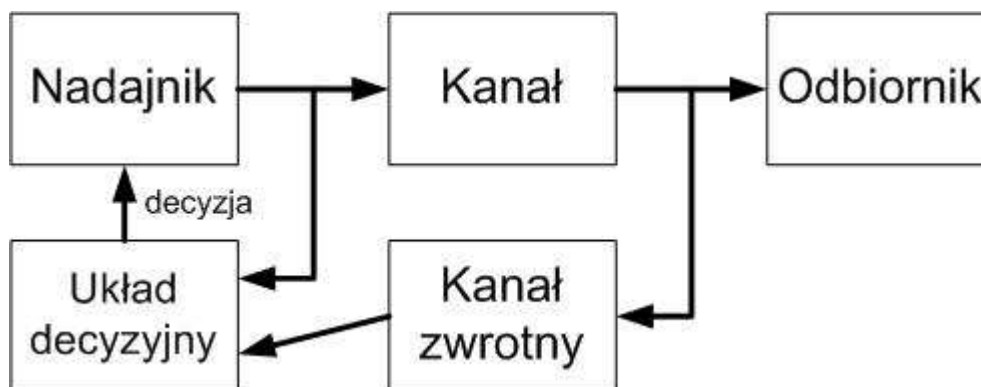
$$BER = \frac{\text{bity}_{\_}\text{niepoprawne}}{\text{wszystkie}_{\_}\text{bity}}$$

### 9.2. Systemy transmisji cyfrowej

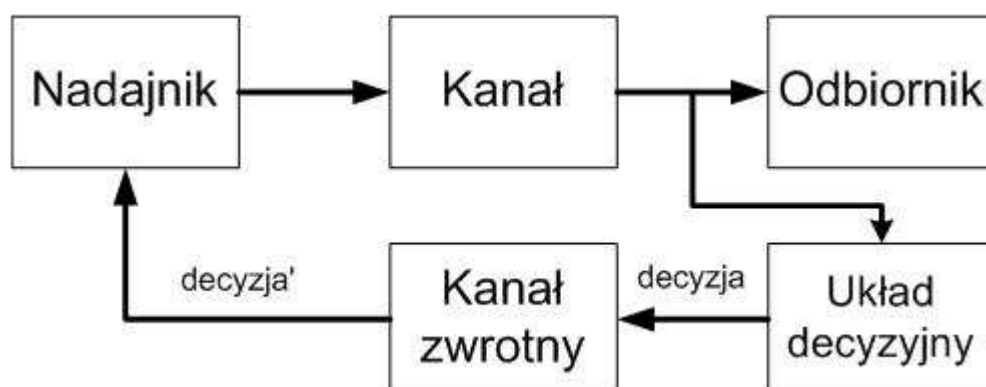


Rys. System transmisji cyfrowej z kodowaniem

### 9.3. Systemy z decyzyjnym sprzężeniem zwrotnym



System z decyzją po stronie nadajnika wymaga retransmitowania całego odebranego sygnału informacyjnego kanałem zwrotnym. Kanał zwrotny musi mieć taką samą przepustowość jak kanał podstawowy. Decyzję podejmujemy poprzez porównanie informacji z nadajnika i odebranej z kanału zwrotnego.



System z decyzją po stronie odbiornika przesyła kanałem zwrotnym tylko decyzję o poprawności transmisji. Ciągi przesyłana kanałem podstawowym musi zawierać dodatkowe informacje umożliwiające podjęcie decyzji o poprawności transmisji (detekcja błędów).

## 9.4. Przykłady kodów detekcyjnych

### 9.4.1. Bit parzystości

Do każdego ciągu bitów (zwykle 8-miu) dopisujemy jeden bit tak aby liczba jedynek w otrzymanym ciągu była parzysta. Bit parzystości pozwala wykryć pojedyncze przekłamanie.

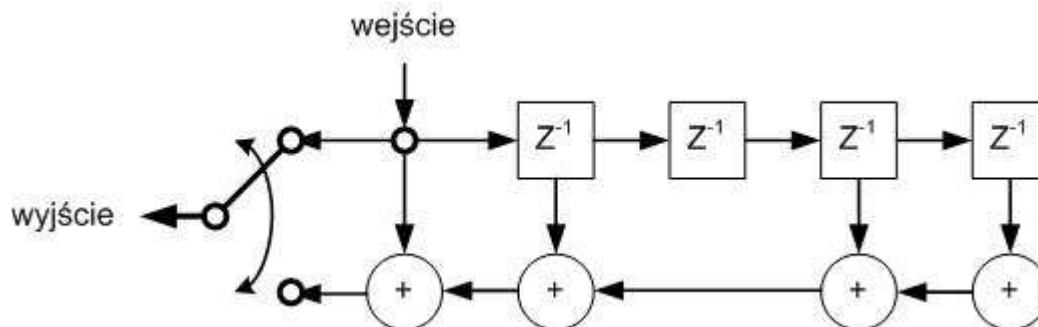
Informacja: 01011010  
Bit parzystości: 0  
Ciąg do nadania: 010110100

Po stronie odbiorczej  
Ciąg odebrany: 010111100  
Decyzja: Błąd transmisji – nieparzysta liczba jedynek

### 9.4.2. Kody splotowe - wielomianowe

Umożliwiają wykrycie pojedynczych i wielokrotnych błędów transmisji.

Wielomiany generujące powodują, że dany bit ma wpływ na kodowanie poprzednie i następnych bitów. Ciąg kontrolny o długości K-bitów zwykle może zabezpieczać  $2^K - 1$  bitów informacyjnych. Do zalet kodów splotowych należą: niewielka nadmiarowość, wykrywanie pojedynczych i wielokrotnych przekłamań, do wad złożony algorytm obliczania ciągu kontrolnego.



Rys. Realizacja kodu splotowego w oparciu o rejestr przesuwany.

## 9.5. Kody korekcyjne

### 9.5.1. Kod powtórzeniowy

Pozwala na detekcję i korekcję pojedynczego błędu. Charakteryzuje się dużą nadmiarowością.

Informacja:	0	1	0	1	1	0	1	0
Ciąg nadany:	000	111	000	111	111	000	111	000
Ciąg odebrany:	001	101	000	111	010	000	111	000
Decyzja:	0	1	0	1	0	0	1	0
Błędy decyzji:					*			

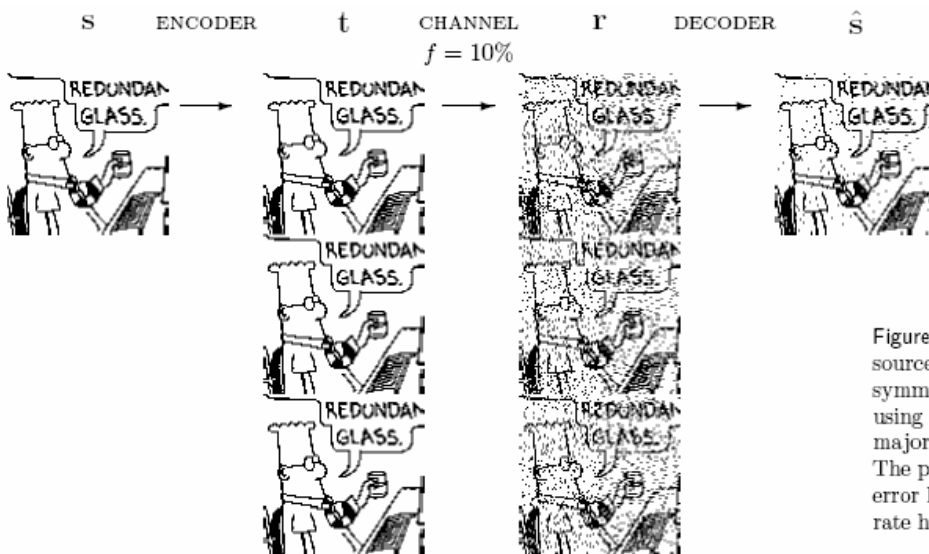


Figure 1.11. Transmitting 10 000 source bits over a binary symmetric channel with  $f = 10\%$  using a repetition code and the majority vote decoding algorithm. The probability of decoded bit error has fallen to about 3%; the rate has fallen to 1/3.

### 9.5.2. Sumy kontrolne

Sumy kontrolne wykorzystujące wielokrotne bity parzystości pozwalają na wykrywanie i korekcję pojedynczych błędów.

Po stronie nadawczej:	Po stronie odbiorczej:
0 1 0 1   0	0 1 0 1   0
1 0 1 0   0	1 0 0 0   0
1 1 1 0   1	1 1 1 0   1
0 1 0 0   1	0 1 0 0   1
0 1 0 1	0 1 0 1

Tak realizowane sumy kontrolne nie potrafią jednak wykryć błędu na bicie kontrolnym.

### 9.5.3. Kody Hamminga

Kody Hamminga pozwalają na wykrywanie i korekcję pojedynczych błędów bitów informacyjnych i bitów kontrolnych. Bity kontrolne podobnie jak w sumie kontrolnej są bitami parzystości, ale ich liczba i położenie w ciągu kodowym jest ściśle określone.

Liczba bitów kontrolnych

Oznaczmy:

L – liczba bitów informacyjnych

K – liczba bitów kontrolnych (parzystości)

N = L + K – liczba bitów ciągu nadawanego

Zależność określająca liczbę bitów kontrolnych

$$2^K - 1 > N$$

Położenie bitów kontrolnych w nadawanym ciągu umożliwia wskazanie numeru przekłamanego bitu.

	K1	K2	I1	K3	I2	I3	I4	K4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11
K1	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
K2	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
K3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+
K4	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+

Przykład:

Informacja: 01011010

L=8 bitów

K=4 bity

N=K+L=12 bitów

	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
	K1	K2	I1	K3	I2	I3	I4	K4	I5	I6	I7	I8	
K1	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	0
K2	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	0
K3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	0
K4	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	0

Należy nadać 000010101010

Przykład:

Odebrano: 001010101010

	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
	K1	K2	I1	K3	I2	I3	I4	K4	I5	I6	I7	I8	
K1	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	1
K2	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	1
K3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	0
K4	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	0

Numer błędnego bitu:  $0011_2 = 3_{10}$

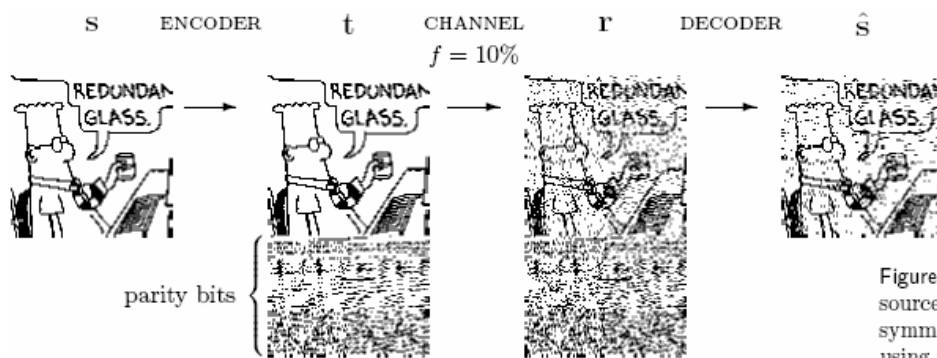


Figure 1.17. Transmitting 10 000 source bits over a binary symmetric channel with  $f = 10\%$  using a  $(7, 4)$  Hamming code. The probability of decoded bit error is about 7%.