

Zadania FEC

Budowanie algorytmów korekcyjnych

Radosław Lis, Kamil Turek, Maciej Białkowski

**Politechnika Wrocławska
Zakład Systemów Komputerowych i Dyskretnych**

NiDUC, Czerwiec 2019

Spis treści

- 1 Co to jest FEC
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Definicja

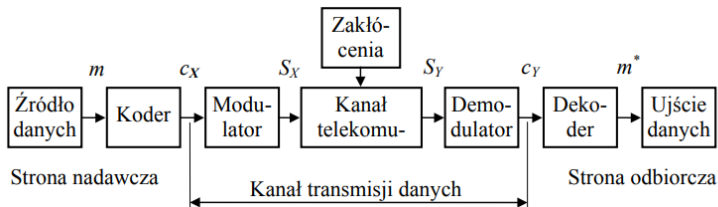
Definicja

Wikipedia

FEC (ang. *Forward Error Connection*) - technika dodawania nadmiarowości do transmitowanych cyfrowo informacji.

Schemat systemu transmisyjnego

Rysunek: Model transmisyjny



Zadanie

Zadanie

- korekcja błędów powstałych w wyniku zakłóceń

Zadanie

- korekcja błędów powstałych w wyniku zakłóceń
- osiągnięcie wymaganej stopy błędów transmisyjnych

Zadanie

- korekcja błędów powstałych w wyniku zakłóceń
- osiągnięcie wymaganej stopy błędów transmisyjnych
- przesył danych z możliwie największą szybkością

Zalety

Zalety

- dane przychodzą z jednakowym opóźnieniem

Zalety

- dane przychodzą z jednakowym opóźnieniem
- znacznie zmniejsza stopę błędu (ang. *bit error rate* - *BER*)

Zalety

- dane przychodzą z jednakowym opóźnieniem
- znacznie zmniejsza stopę błędu (ang. *bit error rate* - *BER*)
- nie jest potrzebny tylny kanał (ang. *back-channel*)

Wady

Wady

- nadmiarowość danych

Wady

- nadmiarowość danych
- nie gwarantuje poprawienia wszystkich danych

Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Charakterystyka BSC

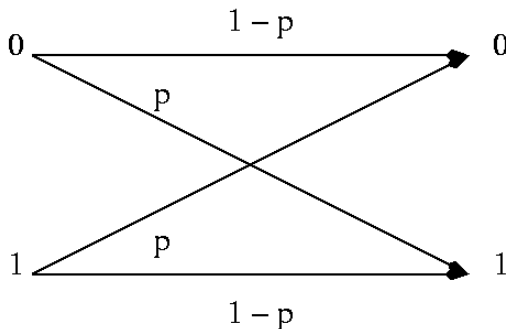
Binarny Kanał Symetryczny (ang. *Binary Symetric Channel*) to kanał komunikacyjny (transmisyjny) spełniający następujące warunki:

- Alfabetem wejściowym jest $A = \{0, 1\}$, alfabetem wyjściowym jest również $B = \{0, 1\}$.
- Macierzą reprezentującą kanał jest:

$$\begin{pmatrix} P & \bar{P} \\ \bar{P} & P \end{pmatrix}, \text{ gdzie } \bar{P} = 1 - P$$

Schemat działania BSC

Rysunek: Model BSC



Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Charakterystyka modelu Gilberta

Model Gilberta (ang. *Gilbert Model*) jest szeroko stosowany do opisywania wzorców błędów serii (ang. *burst errors*) w kanałach transmisyjnych:

- prawdopodobieństwo niepoprawnego przesłania bitów w stanie G (dobry) wynosi $1-k$ (zazwyczaj $k=1$)
- prawdopodobieństwo niepoprawnego przesłania bitów w stanie B (zły) wynosi $1-h$

Charakterystyka modelu Gilberta cd.

Ponadto generowana jest macierz A , która określa "przechodzenie" między stanami:

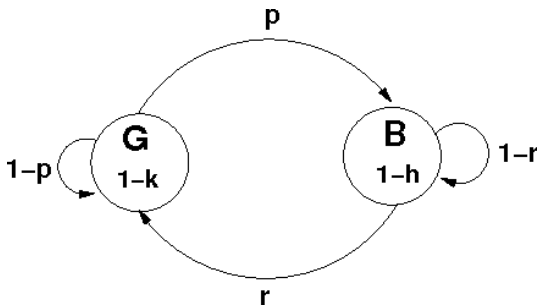
- Matryca przejścia A :

$$A = \begin{pmatrix} 1-p & p \\ r & 1-r \end{pmatrix}$$

gdzie $p = P(q_t = B | q_{t-1} = G)$ oraz $r = P(q_t = G | q_{t-1} = B)$
zaś q_t oznacza stan (G lub B) w czasie t

Schemat działania modelu Gilberta

Rysunek: Model Gilberta



Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Charakterystyka TMR

Potrójna redundancja modularna (ang. *triple modular redundancy*)

algorytm "głosujący", polegający na trzykrotnym zwielokrotnieniu każdego bitu, następnie sprawdzeniu każdej trójki bitów, a na końcu za pomocą głosowania (ang. *voter*) ustalający najbardziej prawdopodobną wartość bitu przed transmisją:

Charakterystyka TMR

Potrójna redundancja modularna (ang. *triple modular redundancy*)

algorytm "głosujący", polegający na trzykrotnym zwielokrotnieniu każdego bitu, następnie sprawdzeniu każdej trójki bitów, a na końcu za pomocą głosowania (ang. *voter*) ustalający najbardziej prawdopodobną wartość bitu przed transmisją:

- by mieć pewność co do poprawności to w każdym punkcie czasu może zawodzić co najwyżej jeden komponent,

Charakterystyka TMR

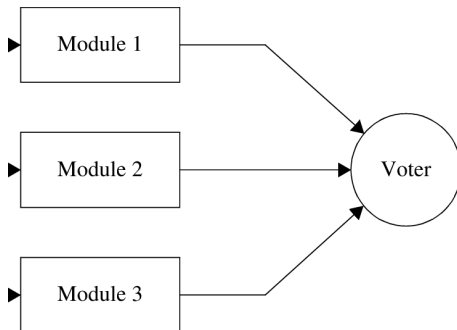
Potrójna redundancja modularna (ang. *triple modular redundancy*)

algorytm "głosujący", polegający na trzykrotnym zwielokrotnieniu każdego bitu, następnie sprawdzeniu każdej trójki bitów, a na końcu za pomocą głosowania (ang. *voter*) ustalający najbardziej prawdopodobną wartość bitu przed transmisją:

- by mieć pewność co do poprawności to w każdym punkcie czasu może zawodzić co najwyżej jeden komponent,
- duża złożoność i wysokie koszty, opłacalny jedynie gdy koszt awarii jest wystarczająco wysoki.

Schemat działania kodu TMR

Rysunek: Model TMR



Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - **Kod Hamminga**
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Hamming (7,4)

Kod Hamminga

Kod pozwalający naprawić pojedyncze przekłamania bitów w odebranym słowie binarnym oraz wykrywać błędy podwójne. W zapisie (7,4) oznacza to uzupełnienie 4-bitowe słowa binarnego trzema bitami na tzw. *pozycjach kontrolnych*.¹

¹Opis algorytmu

Hamming (7,4)

Kod Hamminga

Kod pozwalający naprawić pojedyncze przekłamania bitów w odebranym słowie binarnym oraz wykrywać błędy podwójne. W zapisie (7,4) oznacza to uzupełnienie 4-bitowe słowa binarnego trzema bitami na tzw. *pozycjach kontrolnych*.¹

- bardzo efektywny w kanałach, gdzie występuje maksymalnie jeden błąd na słowo

¹Opis algorytmu

Schemat działania kodu Hamminga (7,4)

Rysunek: Model kodu Hamminga (7,4)

Bit position: $Y = 1011001$

11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	0	1	h4	1	0	0	h3	1	h2	h1

- Select position of logic bit 1 for finding hamming code.
- Here logic bits 1 number of position as 3, 7, 9 and 11
- Now convert this data to binary code and addition this data using XOR operation.
- Avoid carry when applying addition.

$$\begin{array}{r} 3 = 0 \ 0 \ 1 \ 1 \\ 7 = 0 \ 1 \ 1 \ 1 \\ 9 = 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\ 11 = 1 \ 0 \ 1 \ 1 \\ \hline 0 \ 1 \ 1 \ 0 \\ h4 \ h3 \ h2 \ h1 \end{array}$$

Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Charakterystyka przeplotu

Przeplot (ang. *interleaving*)

Metoda ochrony przez błędami seryjnymi, działająca za pomocą prostego algorytmu - w nadajniku dane są wpisywane rzędami, a przesyłane do modulatora kolumnami, zaś w odbiorniku dane są przesyłane kolumnami, a odczytywane rzędami. Dzięki tym operacjom następuje rozproszenie serii błędów.

Schemat działania przeplotu

Rysunek: Model przeplotu

b₁	<i>b₂</i>	b₃	b₄	b₅	b₆	b₇	b₈	b₉	b₁₀
b₁₁	<i>b₁₂</i>	b₁₃	b₁₄	b₁₅	b₁₆	b₁₇	b₁₈	b₁₉	b₂₀
b₂₁	<i>b₂₂</i>								b₃₀
b₃₁	<i>b₃₂</i>								b₄₀
b₄₁	<i>b₄₂</i>								b₅₀
b₅₁	b₅₂								b₆₀

Transmisja: **b₁b₁₁b₂₁b₃₁b₄₁b₅₁b₂b₁₂b₂₂b₃₂b₄₂b₅₂b₃ b₆₀**

Spis treści

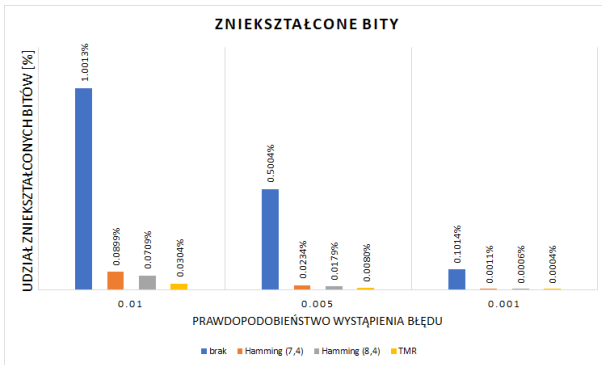
- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

Bez przepłotu

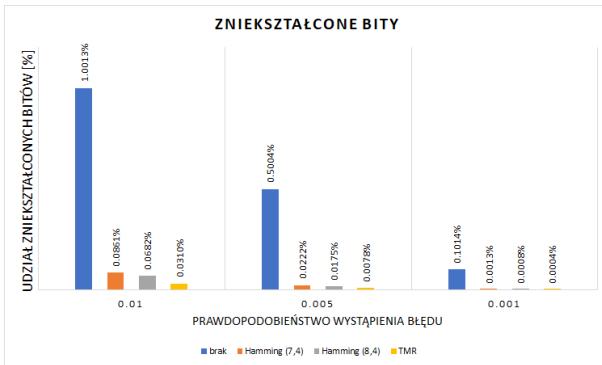
Rysunek: BSC bez przepłotu



BSC

Z przeplotem

Rysunek: BSC + przeplot

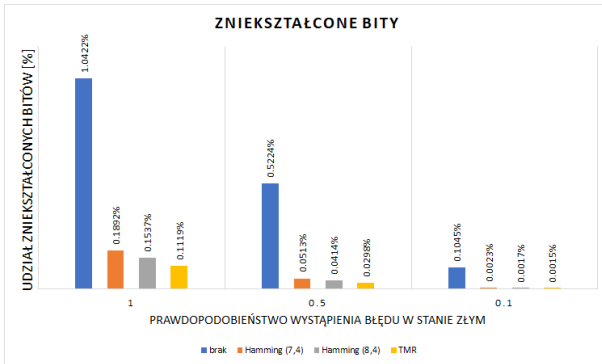


Spis treści

- 1 Co to jest FEC?
- 2 Zaimplementowane kanały dyskretne
 - Binarny Kanał Symetryczny
 - Model Gilberta
- 3 Zaimplementowane kody korekcyjne
 - Potrójna redundancja modularna (TMR)
 - Kod Hamminga
 - Przeplot
- 4 Wyniki
 - BSC
 - Gilbert

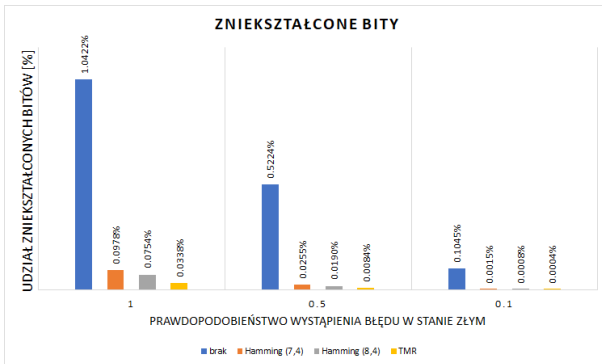
Bez przepłotu

Rysunek: Gilbert bez przepłotu



Z przeplotem

Rysunek: Gilbert + przeplot



References I