

УДК 621.391.25:621.391.23

В.В. Топалов

Одеська Національна Академія зв'язку ім. О.С. Попова
кафедра інформаційної безпеки та передавання даних
E-mail: vladvlads@mail.ru

МОДИФІКОВАНИЙ ПЕРЕМЕЖУВАЧ S-ТИПУ У СКЛАДІ ТУРБОКОДІВ МНОЖЕННЯ

Анотація

Топалов В.В. Модифікований перемешувач s-типу у складі турбокодів множення. Запропоновано застосування модифікованого перемешувача s-типу у складі турбокодів множення, що дозволяє підвищити енергетичну ефективність.

Ключові слова: модифікований перемешувач s-типу, турбокоди множення, енергетична ефективність.

Постановка завдання.

Вперше турбокоди множення були запропоновані у роботі Пандіаха (R. Pyndiah) [1], що дозволило застосувати коди Боуза, Чоудхурі, Хоквінгема (БЧХ) у каскадній конструкції та забезпечити порівняно з турбокодами відсутність “порога помилок” та підвищити швидкість декодування, але при зменшенні енергетичної ефективності порівняно з турбокодами.

Структурна схема кодера турбокода множення та формування 2-D перевірочних елементів відображена на рис. 1. Каскадне з'єднання БЧХ кодерів у кодері турбокода дозволяє сформувати перевірні елементи як по горизонталі, так і по вертикалі, та перевірні елементи для рядків та стовбців.

У загальному випадку мінімальна кодова відстань турбокоду множення дорівнює мінімальній кодовій відстані коду першого кодера помноженого на мінімальну кодову відстань коду другого кодера. Це порівняно з турбокодами дуже полегшує пошук та однозначне трактування кодової відстані.

У класичній схемі з'єднання кодерів БЧХ у складі турбокодів множення застосовують блочні перемешувачі.

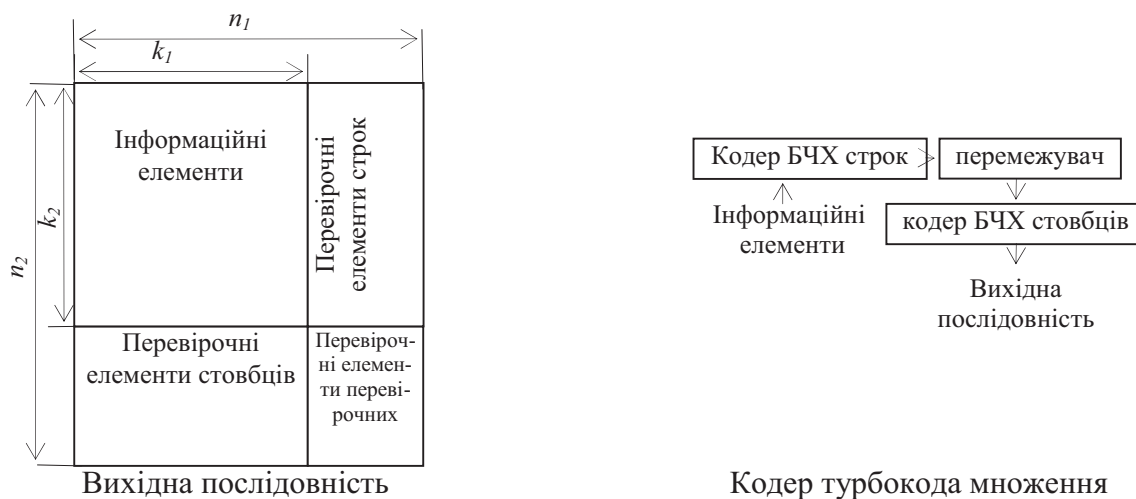


Рисунок 1 – Принцип формування вихідної послідовності після турбокода множення та структурна схема кодера турбокода множення

Але у послідуючих роботах були запропоновані і інші типи перемешувачів, у тому числі і перемешувач s -типу, що дозволило сформувавши більш випадкові комбінації кодових слів. А це згідно з теоремою Шеннона [2] дозволяє отримати більшу завадостійкість. Порівняно з блочними перемешувачами застосування перемешувач s -типу підвищує енергетичний вигравш кодування (ЕВК).

Долінар С., Дівсалар Д. (Dolinar S., Divsalar D.) в роботі [3] запропонували ввести умову перевірки значення відстані між елементами у вихідній послідовності із заданим значенням s . Даний тип перемешувача був названий псевдовипадковим s -типу. При псевдовипадковому перемешувачі s -типу два послідовно вхідних елементи $(i, i+1)$ будуть рознесені на дистанцію не менше s у вихідній послідовності $(\pi(i), \pi(i+1))$, при виконанні умови:

$$|i - (i+1)| < s, |p(i) - p(i+1)| \geq s. \quad (1)$$

При цьому s дорівнює $\sqrt{L/2} - 2 \leq s \leq \lceil \sqrt{2L} \rceil$, де L – довжина перемешувача [4].

Автор у роботі [5] при аналізі залежності ймовірності помилки декодування від відношення сигнал/шум для різних параметрів перемешувача з кодовою відповідністю констатував явище: найменше значення ймовірності помилки досягалося тоді, коли відстань між позицією елемента i та позицією $p(i)$ була максимальною.

Вирішення завдання та результати дослідження.

Відповідно до даного явища автором була запропонована модифікація основної умови формування перемешувача s -типу на перевірку елементів після перемешувача та до перемешувача порівняно з s :

$$|i - (i+1)| < s; |p(i) - p(i+1)| \geq s; |i - p(i)| \geq s. \quad (2)$$

Для оцінки модифікованої умови формування перемешувача s -типу було розглянуто залежності значення ймовірності помилки біта за турбокоду множення з модифікованим перемешувачем та без модифікації.

Оцінка ЕВК турбокоду з модифікованим перемешувачем s -типу проводиться при моделюванні методом Монте-Карло [6] каналу зв'язку ФМ-2 з гауссівським розподілом помилок і розрахунку ймовірності помилки декодування на прийнятому боці при зміні значення співвідношення сигнал/шум (E/N_0) . При ФМ-2 сигналі передається один біт інформації, енергія сигналу дорівнює енергії біта $(E = E_b)$ і співвідношення сигнал/шум може розглядатися як співвідношення енергії біта до енергії шуму (E_b/N_0) .

На рис. 2 показано залежності ймовірності помилки біта за турбокоду множення при поліномах $G = (32, 26)^2$ для різних довжин перемешувача L і двох типів перемешувача: s -типу і s -типу з новою умовою при швидкості коду $R = 0,66$ та алгоритму ітеративного декодування Log-MAP з кількістю ітерацій, що дорівнює 5.

На епюрі 1 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду множення з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 1024$ бітів. На епюрі 2 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду множення з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 4096$ бітів. На епюрі 3 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду множення з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 16384$ бітів. На епюрі 4 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду множення з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$ та довжиною перемешувача $L = 65536$ бітів. На епюрі 5 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду

множення з перемежувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемежувача $L = 1024$ бітів. На епюрі 6 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду множення з перемежувачем s -типу з новою умовою зі значення $s = 18$ та довжиною перемежувача $L = 4096$ бітів. На епюрі 7 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду множення з перемежувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемежувача $L = 16384$ бітів. На епюрі 8 відображена залежність імовірності помилки біта за турбокоду множення з перемежувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$ та довжиною перемежувача $L = 65536$ бітів.

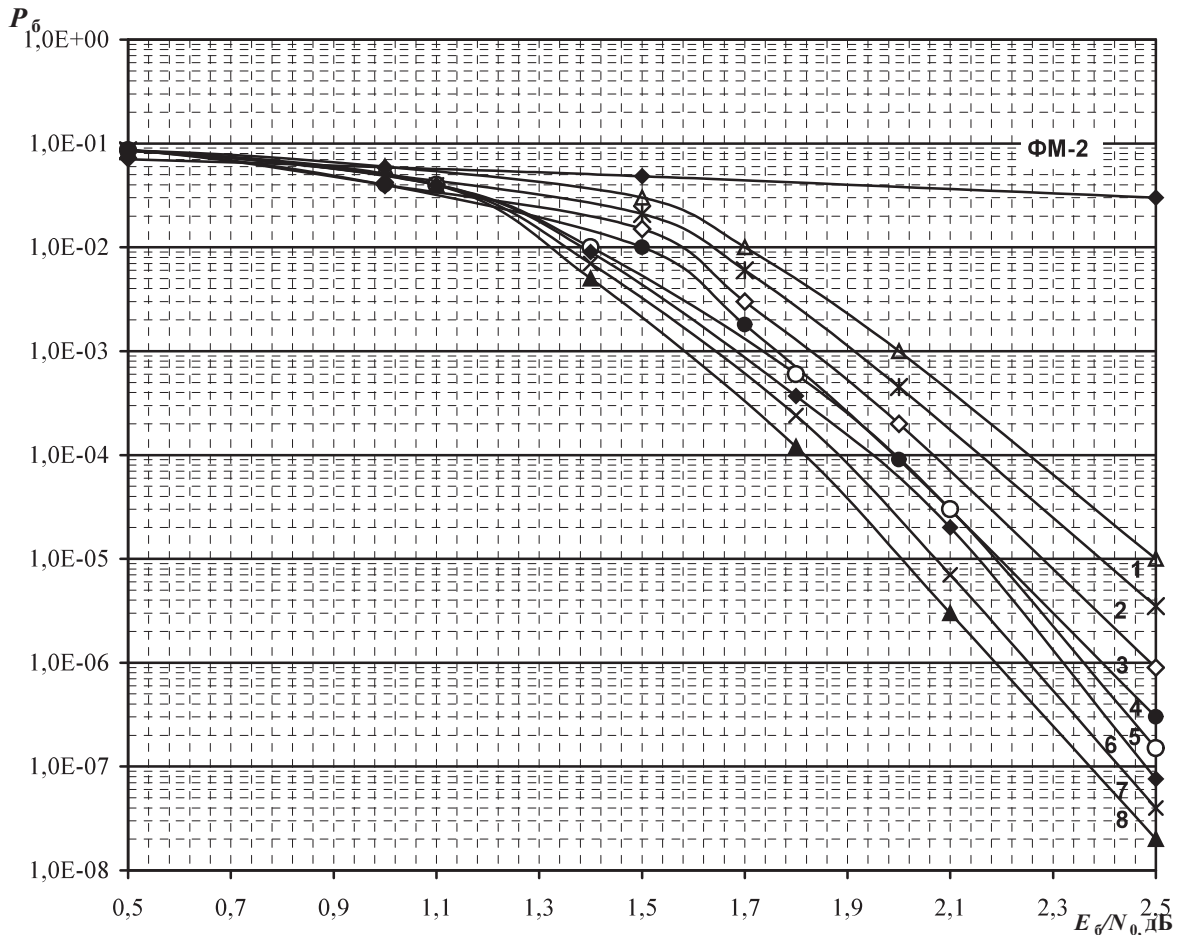


Рисунок 2 – Залежність імовірності помилки біта на виході турбодекодера множення від співвідношення сигнал/шум і типу перемежувача

Дані залежності дозволяють оцінити ЕВК при застосуванні різних типів перемежувачів за різної їхньої довжини L . Як видно з рис. 2 приріст ефективності за малих значень L складає 0,15, ..., 0,3 дБ. За середніх значень довжини перемежування L ($L = 4096$ бітів) різниця співвідношення сигнал/шум для модифікованого і не модифікованого перемежувача s -типу також склала від 0,15 до 0,3 дБ. В області великих значень довжин перемежування $L = 16384$, ..., 65536 бітів приріст ефективності кодування менш виражений порівняно з середніми довжинами перемежування і складає від 0,2 до 0,25 дБ. Але такий приріст іноді еквівалентний застосуванню більш складного коду.

На рис. 3 показано енергетична ефективність турбокоду множення при поліномах $G = (32, 26)^2$, $G = (32, 21)^2$ для різних довжин перемежувача L і двох типів перемежувача: s -типу і s -типу з новою умовою при швидкостях коду $R = 0,66$, $R = 0,43$ та алгоритму

ітеративного декодування Log-MAP з кількістю ітерацій, що дорівнює 5, при ймовірності помилки біта 10^{-5} для каналу ФМ-2 з гауссівським розподілом помилок.

На епюрі 1 значення для турбокоду множення при поліномі $G = (32, 26)^2$, з перемежувачем s -типу зі значенням $s = 28$, $L = 4096$ бітів. На епюрі 2 значення для турбокоду при поліномі $G = (32, 26)^2$, з перемежувачем s -типу зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів. На епюрі 3 значення для турбокоду при поліномі $G = (32, 26)^2$, з перемежувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 18$, $L = 4096$ бітів. На епюрі 4 значення для турбокоду при поліномі $G = (32, 26)^2$, з перемежувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів. На епюрі 5 значення для турбокоду при поліномі $G = (32, 21)^2$, з перемежувачем s -типу зі значенням $s = 18$, $L = 4096$ бітів. На епюрі 6 значення для турбокоду при поліномі $G = (32, 21)^2$, з перемежувачем s -типу зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів. На епюрі 7 значення для турбокоду при поліномі $G = (32, 21)^2$, з перемежувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 18$, $L = 4096$ бітів. На епюрі 8 значення для турбокоду при поліномі $G = (32, 21)^2$, з перемежувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів.

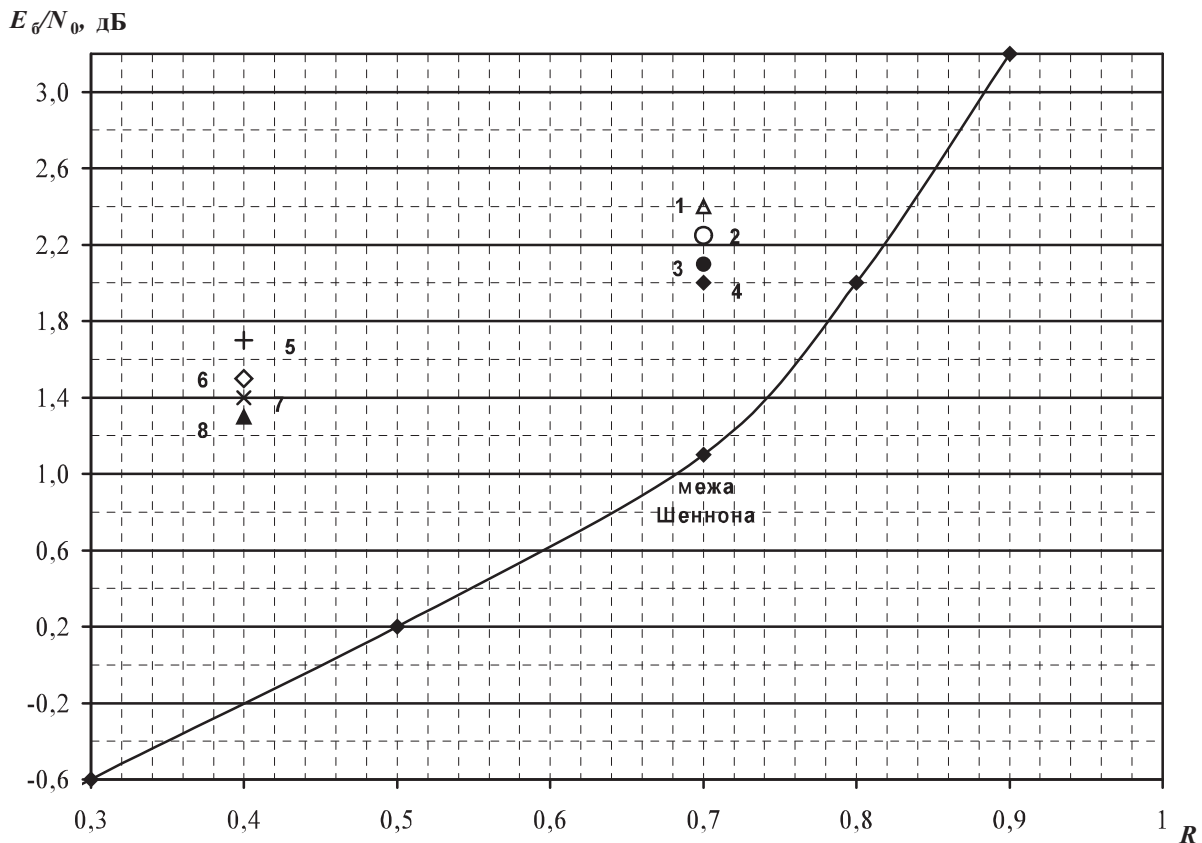


Рисунок 3 – Залежність енергетичної ефективності турбокоду множення від швидкості коду та типу перемежувача

Значення залежності ймовірності помилки біта для турбокоду множення із застосуванням нової умови формування перемежувача s -типу показують, що енергетична ефективність даних кодів на 0,1, ..., 0,3 дБ збільшилася порівняно з турбокодами множення за перемежувача без модифікації.

Висновки.

Застосування нової умови формування перемежувача s -типу дозволяє набуті значення ймовірності помилки біта на порядок менші при тому ж співвідношенні сигнал/шум (E_b/N_0), ніж за стандартного перемежувача s -типу. При застосуванні модифікованого перемежувача s -типу у складі турбокоду множення за заданої ймовірності помилки біта набуті менші необхідні значення відношення сигнал/шум на 0,1, ..., 0,3 дБ порівняно з турбокодами множення за перемежувача без модифікації, що дозволило покращити енергетичну ефективність.

Література

1. Pyndiah R., Near-Optimum Decoding of Product Codes : Block Turbo Codes // IEEE Trans. Commun. – 1998. – pp. 1003-1010.
2. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell Sys. Tech. J. – vol. 27. – 1948. – P. 379-423, P. 623-656.
3. Dolinar S. and Divsalar D. Weight Distributions for Turbo Codes Using Random and Nonrandom Permutations // TDA Progress Report 42-122. JPL. – August 1995.
4. Crozier S. New High-Spread High-Distance Interleavers for Turbo Codes/ S. Crozier // 20th biennial Symposium on Communications. – Kingston. – 2000. – P. 3-7.
5. Топалов В.В. Модификация перемежителя с кодовым соответствием / В. В. Топалов, Н. В. Захарченко, В. Г. Кононович // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 35. – С. 26-30.
6. Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование: методы Монте-Карло: учеб. пособие для вузов / Г. А. Михайлов, А. В. Войтишек. - Изд.: ИЦ Академия, 2006. - 368с.

Надійшла до редакції:
07.02.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн.наук, проф. Скобцов Ю.О.

Abstract

Topalov V.V. S-type interleaver modification for Turbo product codes. Represent s-type interleaver modification for Turbo product codes allow to increase energy efficiency.

Keywords: *s-type interleaver modification, Turbo product codes, energy efficiency.*

Анотация

Топалов В.В. Модифицированный перемежитель s-типа в составе турбокода произведения. Предложена модификация перемежителя s-типа в составе турбокода произведения, которая позволяет повысить энергетическую эффективность.

Ключевые слова: *модифицированный перемежитель s-типа, турбокоды произведения, энергетическая эффективность.*

© Топалов В.В., 2011