

# Методи оцінки енергоефективності завадостійких кодів

Пєвнєв В.Я.<sup>1</sup>, Цуранов М.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ»

вул. Чкалова 17, м. Харків, Україна, ukrbear2006@gmail.com

<sup>2</sup> Ст. викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ»

вул. Чкалова 17, м. Харків, Україна, ukrbear2006@gmail.com

*Анотація* — у статті пропонується комплексний показник ефективності для порівняльної оцінки енергоефективності завадостійких кодів, які тільки розроблюються або вже використовуються в реальних каналах зв'язку. Запропонований комплексний показник ефективності враховує вісім показників, заснованих на різних критеріях і вагових коефіцієнтах, які визначаються експертами. Розглянутий комплексний показник ефективності враховує як переваги кодів при їх використанні в різних каналах зв'язку, так і при побудові кодів на різних апаратних платформах.

*Ключові слова:* завадостійке кодування, комплексний показник ефективності, енергоефективність.

## Energy efficiency of error controlled codes assessment methods

Pevnev V.Ya.<sup>1</sup>, Tsuranov M.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Computer Systems and Networks, National Aerospace University "KhAI" 17, Chkalov str., Kharkov 61070, Ukraine, ukrbear2006@gmail.com

<sup>2</sup> Senior Lecturer, Department of Computer Systems and Networks, National Aerospace University "KhAI" 17, Chkalov str., Kharkov 61070, Ukraine, ukrbear2006@gmail.com

*Abstract* — the paper offers a comprehensive performance indicator for comparison purposes noiseimmunity energy efficiency codes that are only developed or are already being used in real communication channels. The proposed comprehensive performance indicator takes into account the eight indicators based on different criteria and weighting coefficients that are determined by experts. Considered a comprehensive performance indicator takes into account both the benefits of code when used in a variety of communication channels and the construction of codes on different.

*Keywords:* noise immunity encoding, composite index performance, energy efficiency..

### ВСТУП

В наш час існує велика кількість різноманітних завадостійких кодів, які істотно відрізняються один від одного. Ці відмінності визначаються не тільки функціональними можливостями, але і обчислювальною складністю алгоритмів кодування (декодування), які використовуються. Обчислювальна складність є основним чинником, що визначає енергоефективність застосовуваного в системі завадостійкого коду.

З ростом вартості енергоносіїв та складності генерації «зеленої» енергії все більше уваги приділяють оцінці енерговитрат при використанні сучасних інформаційних і комунікаційних технологій. Очевидно, що з ростом частоти, використовуваної в комунікаційних системах, зменшуються енерговитрати, віднесені до одного біту інформації. Разом з тим, зростає ймовірність спотворення переданого повідомлення. Виникає проблема створення енергоефективних завадостійких кодів, а разом з нею і завдання порівняльної оцінки цих кодів в різних каналах

зв'язку, при використанні тієї чи іншої апаратної реалізації кінцевого обладнання.

### АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПОМИЛОК

Перш ніж будувати завадостійкий код необхідно провести математичне моделювання КЗ й проаналізувати поведінку завад каналів зв'язку при різних вхідних параметрах.

Значна група розроблених моделей використовує чисто математичний підхід до опису потоку помилок, це такі моделі як: Бергера-Манделброта [1], Брусилівського [2], Аксьонова-Вороніна [3]. У всіх цих моделях ігнорується фізична сторона процесів, що відбуваються в каналах зв'язку, механізм утворення групових помилок виражений неявно.

Ближчі до реальної роботи каналу зв'язку результати можна отримати, якщо будувати математичну модель потоку помилок, оперуючи математичними поняттями, близькими до фізичних явищ, що відбуваються в каналі зв'язку. Існує ряд моделей, які в певній мірі враховують фізику явищ,

що призводять до спотворення переданої інформації. Найбільш відомі серед них моделі Гільберта [4], Еліота-Гільберта [5], Фрічмана-Свободи [5], Флойліха-Беннета [5], Попова-Турина [1].

Проаналізувавши існуючі моделі помилок, автори дійшли висновку про найбільш точні моделі побудовані на багатовимірному розподілі Беннета - Фройліха. Автори провели експеримент в ході якого визначалася залежність кількості помилок в повідомленні від характеристик каналу зв'язку і довжини повідомлення. Для проведення експерименту автори програмно реалізували розглянуті вище моделі помилок з параметрами, що відповідають показникам в реальних каналах зв'язку. В ході експерименту підраховувалася кількість блоків, в яких виявлена хоча б одна помилка, ймовірність поява більше однієї помилки в міні блоках розмірами 4 і 8 біт, кількість таких міні блоків в переданому повідомленні[6].

Представлені в роботі [6] результати експерименту з моделювання каналу зв'язку з використанням запропонованих моделей групових помилок показує можливість: - застосування способу відновлення інформації при обміні даними в телекомунікаційних системах, викладеного в [7]. Використання, для завадостійкого коду міні блоків довжиною 4 та 8 біт дозволяють спростити алгоритми кодування та декодування, що значно впливає на енергоефективність. В якості моделей виникнення помилок необхідно використовувати моделі виникнення незалежних помилок, так як є більш «жорсткими», в порівнянні з запропонованими моделями групових помилок.

В сучасних системах зв'язку все частіше стали застосовуватися турбокоди з використанням алгоритмів м'якого декодування. Слід зазначити, що активне вивчення принципів турбокодування з паралельним включенням кодерів виявило ряд недоліків характерних для подібних систем: велика кількість ітеративних перетворень для досягнення потенційно можливих результатів, затримка сигналів при реалізації процедур перемирення символів, велика довжина кодових комбінацій, труднощі реалізації параметричної адаптації[8]. Однак у багатьох затребуваних практикою системах зв'язку доцільно використовувати інші конструкції кодерів, які реалізують короткі коди, але для яких залишаються високі вимоги до достовірності оброблюваної в них інформації.

#### МЕТОДИКА ПОРІВНЯННЯ ШВИДКОСТІ ЗАВАДОСТІЙКИХ КОДІВ

Одним з найбільш поширених на практиці класів кодів є Коди Боуза - Чоудхурі - Хоквінгхема (БЧХ-коди) [9]. Це широкий клас циклічних кодів, що застосовуються для захисту інформації від помилок, а також в якості першого каскаду турбокодів. Дані коди відрізняються можливістю побудови із заздалегідь визначеними коригуючими властивостями, а саме, мінімальною кодовою

відстанню, яке визначає кількість виявлених і виправляє помилок [10]. Однак, заздалегідь визначені властивості коду призводять до надлишкової збитковості і збільшеною потребою в енергії для апаратури кодування/декодування у випадку коли кількість завад в КЗ менша за теоретично обрахований максимум. Тому використання таких кодів в енергоефективних системах не завжди є доцільним. Автори пропонують порівняти швидкість роботи кодів БЧХ з кодом описаним в [7]. Для цього був розроблений алгоритм порівняння швидкості кодів описаний в [11]. Результати роботи алгоритму порівняння представлені в таблиці 1.

З табл. 1 видно, що найменший час займає формування послідовності з контрольними бітами інформаційної та кодової послідовності, на другому місці - середній час формування контрольної суми. Разом обидві ці процедури займають близько 1 с. Формування матриці коду БЧХ займає значно більше часу - в середньому 3,6 с.

Таблиця 1. – Середній час роботи алгоритмів з різними ймовірностями

Ймовірність (%)	Середній час формування контрольної суми (с)	Середній час формування перевіркової послідовності (с)	Середній час формування коду БЧХ (с)
100	0,783	0,157	3,604
95	0,78	0,145	3,6
90	0,777	0,134	3,23

При використанні кодових таблиць описаних в [12] часом формування контрольної суми можна знехтувати, оскільки вона вже врахована у кодовій таблиці. Отже, час формування завадостійкого коду становитиме частки секунди, що значно швидше формування коду БЧХ. Отже як бачимо алгоритм кодування представлений в [7] більш енергоефективний, оскільки потребує значно менше процесорного часу.

Основним завданням є розробка енергоефективних завадостійких кодів. Метою дослідження є отримання адекватних результатів при оцінці енергоефективності застосування завадостійких кодів в різних реалізаціях і каналах зв'язку.

Для обґрунтування можливості використання алгоритму [7] в реальних КЗ авторами проведено теоретичне дослідження можливості відновлення повідомлення цим алгоритмом[13]. Абсолютно очевидно, що кількість помилок визначатиметься якістю каналу, розміром повідомлення що передається і типом помилок, що виникають в каналі. У [6] показано, що використовуючи запропонований метод, можна з достатньою достовірністю представити усі помилки як поодинокі і незалежні. Для доказу можливості використання запропонованого методу в [13] була сформульована і доведена наступна теорема: Теорема 1. Для гарантованого відновлення початкового повідомлення за наявності однієї помилки в

повідомленні що передається досить послідовно змінити чотири біта в спотвореній четвірці.

Наслідок теореми 1. Для відновлення початкового повідомлення з  $n$  помилками досить змінити  $4n$  біта з максимальною кількістю змін  $4n$ .

Однак одночасне спотворення 2-х бітів у 4-х бітовій послідовності може призвести до колізій. У роботі [13] авторами запропоновано механізм контрольної суми та сформовано теорему яка доводить ефективність використання контрольної суми. Теорема 2. Зміна двох будь-яких елементів в послідовності з чотирьох біт, що задовольняє перевірку на парність, не приводить до колізії[13].

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання: проведено аналіз існуючих методів оцінки ефективності перешкодостійких кодів; розроблений комплексний показник оцінки ефективності перешкодостійких кодів, який включає в себе оцінку енергоефективності від використання кодів в різних каналах зв'язку при різних конфігураціях кодувального і декодувального обладнання.

Слід зазначити, що рішення завдання порівняльної оцінки можливо тільки при використанні комплексного критерію. У цей критерій повинні входити і мінімізація енерговитрат, і максимізація кількості символів, які можуть бути виправлені при обраному коді, і мінімізація кількості коригувальних символів, і мінімізація часу побудови завадостійкої посилки і її відновлення і т.д. [14]. Крім цього, на наш погляд, слід звернути увагу на реакцію системи в разі неможливості відновити отриману посилку і генерації повторного запиту на передачу інформації.

Побудова енергоефективних завадостійких кодів є актуальним завданням, оскільки ускладнення алгоритмів завадостійкого кодування призводить не тільки до складності оцінки ефективності їх використання, особливо при оцінці енергоефективності різних реалізацій одного і того ж перешкодостійкого коду, а й до неможливості їх використання в системах зв'язку де є критичним енергоспоживання.

#### МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВАДОСТІЙКИХ КОДІВ

При розробці методики оцінювання ефективності використання завадостійких кодів, необхідно використовувати комплексні показники ефективності, які враховують не тільки поведінку кодів у реальних каналах зв'язку, але й можливість моделювання кодів для будь-якого КЗ, також при використанні комплексних показників слід враховувати можливість абстрагуватися від реальної апаратної платформи, та мати змогу порівнювати швидкість кодів як за програмною так і за апаратною реалізацією. В роботі [15] пропонується використовувати комплексний показник для оцінки ефективності використання сучасних завадостійких кодів, однак розглянутий

показник не враховує енергетичну ефективність, тому автори пропонують дещо вдосконалити його і привести до наступного вигляду[14]:

$$K_k = K_{e1} \frac{K_1}{K_1 + K_2} + K_{e2} \frac{F_{cpu}}{t_{\Sigma K}} + K_{e3} \frac{F_{cpu}}{t_{\Sigma \Delta K}} + K_{e4} \frac{K_{o_{одн}}}{K_{o_{обц}}} + K_{e5} \frac{K_{ош}}{K_{ош} + K_{нош}} + K_{e6} \frac{K_{max}}{K_{обц}} + K_{e7} \frac{P_{mk}}{P_{cm}} + K_{e8} E_{\sigma} (K_1 + K_2)$$

де  $K_{e1}$ ,  $K_{e2}$ ,  $K_{e3}$ ,  $K_{e4}$ ,  $K_{e5}$ ,  $K_{e6}$ ,  $K_{e7}$ ,  $K_{e8}$  - вагові коефіцієнти, які визначають експерти;

$$\sum_{i=1}^8 K_{e_i} = 1;$$

$K_1$  - кількість інформаційних символів;

$K_2$  - кількість перевірючих символів;

$F_{cpu}$  - Тактова частота процесора, вимірюється в тактах;

$t_{\Sigma K}$  - Сумарний час, в тактах процесора, необхідний для виконання операцій кодування алгоритму завадостійкого коду, при однакових пакетах даних;

$t_{\Sigma \Delta K}$  - Сумарний час, в тактах процесора, необхідний для виконання операцій декодування алгоритму завадостійкого коду, при однаковому каналі зв'язку та пакеті даних;

$K_{оодн}$  - кількість одночасно виконуваних операцій в алгоритмі;

$K_{ообц}$  - загальна кількість операцій в алгоритмі;

$K_{ош}$  - кількість помилок які виникли в результаті передачі даних КЗ;

$K_{нош}$  - Кількість, теоретично обґрунтованих, виправлених помилок;

$K_{обц}$  - загальна кількість біт для передачі з використанням алгоритму;

$K_{max}$  - максимально можлива кількість помилкових біт в алгоритмі, які можливо виправити;

$P_{mk}$  - потужність передавача на час використання завадостійкого коду;

$P_{cm}$  - стандартна потужність передавача;

$E_{\sigma}$  - затрати енергії на кодування 1 біту інформації.

#### ВИСНОВКИ

Представлений комплексний показник ефективності дозволяє провести порівняльний аналіз завадостійких кодів, які використовуються в різних каналах зв'язку. При оцінці якості кодів враховуються як результати математичного моделювання каналів зв'язку, так і результати реального використання кодів, важливо при оцінці можливості впровадження кодів, також враховується енергоефективність коду. Показник враховує енергоефективність використання кодів,

як в самому каналі зв'язку, так і на етапі операцій кодування, декодування.

Спираючись на експериментальні дослідження моделей помилок та швидкості роботи завадостійких кодів, враховуючи дані отримані спираючись на розроблений показник ефективності слід зазначити, що представлений в [7] завадостійкий код в більшості випадків задовольняє вимогам зелених технологій і максимально ефективно використовує енергетичну складову КЗ.

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Блох Э.Л. Модель источника ошибок в каналах передачи цифровой информации. / Блох Э.Л., Попов О.В., Турин В.Я. – М.: Связь, 1971.
- [2] Р.Фано Передача информации. Статистическая теория связи. / Р.Фано. – М.: Мир, 1965.
- [3] Советов Б.Я., Построение адаптивных систем передачи информации для автоматизированного управления. / Советов Б.Я., Стах В.М. – Л.: Энергоиздат, 1982.
- [4] Гильберт Э.Н. Пропускная способность канала связи с пакетными ошибками / Гильберт Э.Н. Кибернетический сборник. – № 9. – М.: Мир, 1964.
- [5] Статистика ошибок при передаче цифровой информации / Под ред. С.И.Самойленко. –М.: Мир, 1966.
- [6] Певнев В.Я. Экспериментальные исследования моделей групповых ошибок в каналах связи / Певнев В.Я., Цуранов М.В. // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. Харків:НТУ“ХПІ”.-№49. -2011.-с.115-121
- [7] Патент на корисну модель № 26778 Україна, МПК Н04L 12/00, Спосіб відновлення інформації при обміні даними у телекомунікаційних системах. / Певнев В.Я. та ін., заяв. 23.04.07, опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.
- [8] А. А. Гладких. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи / А. А. Гладких. – Ульяновск : УЛГТУ, 2010. – 379 с.
- [9] Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. / Блейхут Р. – М. : Мир, 1986.
- [10] Осмоловский С.А. Стохастические методы передачи данных. / Осмоловский С.А. – М.: Радио и связь, 1991.
- [11] Певнев В.Я. Сравнительный анализ скорости работы помехоустойчивых кодов / Певнев В.Я., Цуранов М.В. // Теоретические и прикладные проблемы информационной безопасности : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 21 июня 2012 г.) / М-во внутр. дел Респ. Беларусь, учреждение образования «Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь». – Минск : Акад. МВД,2012. – с.153-156.
- [12] Певнев В.Я. Построение оптимальных кодовых таблиц / Певнев В.Я., Цуранов М.В. // Системи обробки інформації . Збірник наукових праць. Вип. 3(108). Харків, ХУПС, 2012, с27 -30.
- [13] Певнев В.Я. Теоретичне обґрунтування методу відновлення повідомлення, прийнятого з помилками / Певнев В.Я., Цуранов М.В. // Системи обробки інформації . Збірник наукових праць. Вип. 2(109). Харків, ХУПС, 2013, с194 -196.
- [14] Научные основы, методы и средства зелёного компьютеринга и коммуникаций. Том 1. Разработка положений методологии зелёного компьютеринга и коммуникаций в условиях ресурсных ограничений // Отчёт о НИР (государственный регистрационный номер 0115U000996). – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т им. М.Е. Жуковского "ХАИ", 2015. – 246 с.
- [15] М.В. Цуранов Комплексний показник оцінки ефективності завадостійких кодів / М.В. Цуранов // Наука і техніка повітряних сил України №2 (19) 05.2015 -с.101-104