

УДК 621.391.037

М.В. Цуранов

Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків

## КОМПЛЕКСНИЙ ПОКАЗНИК ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕШКОДОСТІЙКИХ КОДІВ

У статті пропонується комплексний показник ефективності для порівняльної оцінки перешкодостійких кодів, які тільки розроблюються або вже використовуються в реальних каналах зв'язку. Запропонований комплексний показник ефективності враховує шість показників, заснованих на різних критеріях і вагових коефіцієнтах, які визначаються експертами. Запропонований 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:** перешкодостійке кодування, показник ефективності, критерій ефективності, комплексний показник ефективності, рівні якості технічних систем.

### Вступ

У наш час в каналах зв'язку використовується велика кількість різноманітних перешкодостійких кодів, які суттєво відрізняються один від одного не тільки обчислювальною важкістю, але й можливістю виправлення перешкод.

Постає задача оцінки використання перешкодостійких кодів в різних каналах зв'язку. Ця задача ускладнюється тим, що деякі сучасні коди мають можливість м'якого декодування.

Оцінка ефективності за одним показником не є доцільною, оскільки не враховує постійно фактори навколишнього середовища, які мають тенденцію постійно змінюватися. Тому необхідно виробити комплексний показник ефективності перешкодостійких кодів, який би враховував критерії не тільки сучасних каналів передачі інформації, але і різної апаратури зв'язку.

**Мета пропонованої роботи:** розробка комплексного показника ефективності використання перешкодостійких кодів.

### Виклад основного матеріалу

При оцінці ефективності використання перешкодостійкого кодування в різних каналах зв'язку необхідно враховувати безліч факторів різних за своєю природою. Під фактором слід розуміти рушійну силу будь-якого процесу (явища) або умову, яка впливає на той чи інший процес (явище) [1].

При дослідженні ефективності технічних систем (ТС) виділяють три групи факторів: якість ТС, умови функціонування ТС, способи використання (застосування) ТС [1].

Для побудови показників ефективності і досягнення поставленої мети створюють систему. Розглядають операцію, в якій система, що аналізується, є активним засобом досягнення поставленої мети.

Визначають потенційну ефективність операції при ідеальному способі використання технічної системи. Цю потенційну ефективність і приймають за характеристику якості технічної системи [2]. З цього випливає, що показник ефективності введеної операції є показником якості ТС.

При практичному оцінюванні якості ТС не завжди доцільно використовувати в повному обсязі підхід, заснований на визначенні потенційної ефективності операції. Залежно від складності системи і мети дослідження визнають за доцільне введення декількох рівнів якості.

Емпірично встановлені наступні рівні якості: стійкість, перешкодостійкість, керованість, здатність, самоорганізація. Розглянемо рівні якості в порядку їх ускладнення [3]:

- первинною якістю будь-якої системи є її стійкість (R);
- другою якістю систем, більш складною, ніж стійкість, є перешкодостійкість (I);
- третьою якістю системи є керованість (C);
- четвертою якістю системи є здатність системи (A);
- п'ятою якістю системи є самоорганізація (L).

Введення рівнів якості технічних засобів дозволяє при їх дослідженні обмежитися всього одним з перерахованих рівнів. Очевидно, при аналізі якості радіоприймача рівень стійкості, який визначається в цьому випадку надійністю його роботи, недостатній.

Доцільно при оцінці якості приймача перейти на рівень I – перешкодостійкість, так як на цьому рівні можна визначити якість інформації яку буде отримувати користувач.

Для кількісного визначення ефективності системи слід ввести поняття показника ефективності. Показник – кількісна характеристика якої-небудь

властивості системи або цілеспрямованого процесу, що є результатом вимірювання або розрахунку [2]. Показник ефективності  $W(u)$  операції є міра ступеня відповідності реального результату операції необхідному [2].

Показник ефективності може вимірюватися як в метричній, так і порядковій шкалах.

Основною вимогою при виборі показника ефективності є відповідність показника меті операції, яка відображається необхідним результатом  $Y^{TP}$ .

Для опису відповідності реального результату  $Y$  операції необхідному формально вводять функцію відповідності [2]:

$$\rho = \rho(Y(u), Y^{TP}). \quad (1)$$

Ця функція в деякій шкалі показує ступінь досягнення мети операції, а конкретний вид функції залежить від мети операції, завдання дослідження та інших факторів.

В силу того, що  $Y(u)$  може бути випадковою змінною, функція відповідності також може бути випадковою величиною.

Введення в розгляд функції відповідності (1) дозволяє прийняти математичне сподівання цієї функції в якості показника ефективності  $W(u)$ , тобто

$$W(u) = M[\rho(Y(u), Y^{TP})]. \quad (2)$$

Якщо  $Y(u)$  і  $Y^{TP}$  – не випадкові змінні, то

$$W(u) = \rho(Y(u), Y^{TP}),$$

тобто в детермінованому випадку функція відповідності служить показником ефективності операції.

Для того щоб числова функція (2), визначена на множині стратегій  $U$ , могла розглядатися як показник ефективності, крім вимоги відповідності меті  $A_0$  операції вона повинна відповідати таким вимогам: змістовності та інтерпретованість, вимірності, відповідності системі переваг особи, що приймає рішення (ОПР).

Остання з цих вимог означає, що показник ефективності повинен враховувати психологічні особливості ОПР, що відображають її ставлення до різних ситуацій в умовах невизначеності (наприклад, схильність, несхильність або байдужість до ризику).

Формально психологічні особливості ОПР можна врахувати введенням спеціальної оцінювальної функції, що відбиває ставлення особи, що приймає рішення, до ризику.

З урахуванням цього показник ефективності  $W$  є математичне очікування оціночної функції:

$$W(u) = M\left[f^{\theta_c}\left(\rho(Y(u), Y^{TP})\right)\right]. \quad (3)$$

Показники, побудовані за правилом (2), називають «об'єктивними», а за правилом (3) – «суб'єктивними».

Показник ефективності у формі (3) є найбільш загальним. Залежно від виду оціночної функції  $f^{\theta_c}(\rho)$  та функції відповідності  $\rho(Y(u), Y^{TP})$  з (3) можна отримати різні показники ефективності.

Показник ефективності формується на основі критеріїв.

Критерій ефективності  $K$  є правило, що дозволяє зіставляти стратегії, які характеризуються різним ступенем досягнення мети, і здійснювати спрямований вибір стратегій з багатьох допустимих [2].

Критерій ефективності вводиться на основі певної концепції раціональної поведінки.

Існують три концепції раціональної поведінки систем (вироблення рішень) [2]: придатності, оптимізації, адаптивізації.

Згідно з концепцією придатності раціональна будь-яка стратегія  $u$ , при якій обраний показник ефективності приймає значення не нижче деякого прийнятного рівня  $W^{TP}$ , тобто

$$W(u) \geq W^{TP}, u \in U, \quad (4)$$

де  $U$  – множина припустимих стратегій.

Якщо показник ефективності векторний, то нерівність (4) записується для кожного приватного показника  $W_i(u) \geq W_i^{TP}$ , що входить до складу векторного показника ефективності.

Концепція оптимізації вважає раціональними ті стратегії  $u \in U$ , які забезпечують максимальний ефект в операції, тобто

$$W(u^*) = \max_{u \in U} W(u). \quad (5)$$

Оптимальна стратегія може бути неєдиною.

Використовувати концепцію оптимізації можна в тому випадку, якщо комплекс умов проведення операції строго фіксований, а показник ефективності  $W(u)$  – скаляр [2].

Ця концепція призводить до цілеспрямованої, але не гнучкої системи дій, так як не враховується поточна інформація про зміни різного роду, що відбуваються в системі і в зовнішньому середовищі при реалізації рішення  $u^*$ .

Концепція адаптивізації передбачає можливість оперативного реагування в ході операції на поточну інформацію про зміну комплексу умов проведення операції [2]. Суть концепції адаптивізації полягає в зміні стратегій управління і (стратегія розуміється в більш широкому сенсі і включає як способи зміни параметрів системи, так і способи зміни її структури) на основі не тільки апріорної, але й поточної і прогнозованої інформації з метою досягнення або збереження певного стану системи при змінюваному комплексі умов проведення операції.

Множина допустимих стратегій  $U$  може видозмінюватися в процесі надходження поточної ін-

формації. Як реакція на інформацію, що надходить і прогнозу розвитку операції система може змінювати мету свого функціонування.

У цьому випадку згідно концепції адаптивізації раціональною слід вважати таку адаптивну стратегію  $u(t, \tau)$  з множини  $U(t, \tau)$ , яка забезпечує, наприклад, виконання умови

$$W_t(u^*(t, \tau) \geq W_t^{TP}(u(t, \tau), u(t) \in U(t, \tau), \quad (6)$$

де  $t$  – час;

$\tau$  – випередження прогнозу.

Запис  $W_t$  означає, що показник ефективності може змінюватися в часі.

Концепція адаптивізації призводить до цілеспрямованої і гнучкої системи дій.

В рамках концепції придатності рекомендується вибір стратегії з умови (4). Наведемо основні критерії придатності:

- прийнятного результату;
- допустимої гарантії;
- допустимого гарантованого результату.

Залежно від виду функції відповідності в рамках концепції оптимізації виділяють наступні критерії оптимальності:

- найбільшого результату;
- найбільшого середнього результату;
- найбільшої ймовірнісної гарантії результату;
- найбільшого гарантованого результату.

Найважливішим положенням, якого завжди слід дотримуватися при виборі критерію ефективності операції, є узгодження мети операції і критерію ефективності.

При розробці методики оцінювання ефективності використання перешкодостійких 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 каналу зв'язку (КЗ), також при використанні комплексних показників врахувати можливість абстрагуватися від реальної апаратної платформи, та мати змогу порівнювати швидкість кодів як за програмною так і за апаратною реалізацією.

Пропонується використовувати наступний комплексний показник для оцінки ефективності використання сучасних перешкодостійких кодів:

$$K_K = K_{B1} \frac{K_1}{K_1 + K_2} + K_{B2} \frac{F_{CPU}}{t_{\Sigma K}} + K_{B3} \frac{F_{CPU}}{t_{\Sigma DK}} + K_{B4} \frac{K_{O_{дн}}}{K_{O_{общ}}} + K_{B5} \frac{K_{O_{ш}}}{K_{O_{ш}} + K_{нош}} + K_{B6} \frac{K_{max}}{K_{общ}}$$

де  $K_{B1}, K_{B2}, K_{B3}, K_{B4}, K_{B5}, K_{B6}$  – вагові коефіцієнти, які визначають експерти;

$K_1$  – кількість інформаційних символів;

$K_2$  – кількість перевірочних символів;

$F_{CPU}$  – тактова частота процесора, вимірюється в тактах;

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

$t_{\Sigma DK}$  – сумарний час, в тактах процесора, необхідний для виконання операцій декодування алгоритму перешкодостійкого коду, при однаковому каналі зв'язку та пакеті даних;

$K_{O_{дн}}$  – кількість одночасно виконуваних операцій в алгоритмі;

$K_{O_{общ}}$  – загальна кількість операцій в алгоритмі;

Кош – кількість помилок які виникли в результаті передачі даних КЗ;

Кнош – кількість теоретично обґрунтованих, виправлених помилок;

$K_{общ}$  – загальна кількість біт для передачі з використанням алгоритму;

$K_{max}$  – максимальна можлива кількість помилок біт в алгоритмі, які можливо виправити.

Комплексний показник ефективності складається з шести показників, розглянемо більш детально кожен з них:

$$\frac{K_1}{K_1 + K_2} \text{ – формується на основі критерію швидкості коду, цей показник необхідно максимізувати, для сучасних кодів, за оцінками експертів, показник може приймати межі від 0,5 до 0,9;}$$

швидкості коду, цей показник необхідно максимізувати, для сучасних кодів, за оцінками експертів, показник може приймати межі від 0,5 до 0,9;

$$\frac{F_{CPU}}{t_{\Sigma K}} \text{ – формується на основі критерію швидкості кодування початкових даних, показник необхідно максимізувати, для сучасних кодів показник може приймати значення як менше так і більше 1, значення більше 1 приймаються тільки при відносно малій кількості вхідних даних, в випадку коли потрібно кодувати великий об'єм даних показник завжди буде приймати значення менше 1, цей показник дозволяє визначити час кодування але на відміну від методу описаного в [4] рахується в тактах процесору а не у реальному часі, що дозволить порівнювати складність обчислення коду для конкретної апаратної реалізації ;}$$

швидкості кодування початкових даних, показник необхідно максимізувати, для сучасних кодів показник може приймати значення як менше так і більше 1, значення більше 1 приймаються тільки при відносно малій кількості вхідних даних, в випадку коли потрібно кодувати великий об'єм даних показник завжди буде приймати значення менше 1, цей показник дозволяє визначити час кодування але на відміну від методу описаного в [4] рахується в тактах процесору а не у реальному часі, що дозволить порівнювати складність обчислення коду для конкретної апаратної реалізації ;

$$\frac{F_{CPU}}{t_{\Sigma DK}} \text{ – формується на основі критерію швидкості декодування початкових даних, показник необхідно максимізувати, для сучасних кодів показник може приймати значення як менше так і більше 1, значення більше 1 приймаються тільки при відносно малій кількості вхідних даних, в випадку коли потрібно кодувати великий об'єм даних показник завжди буде приймати значення менше 1;}$$

швидкості декодування початкових даних, показник необхідно максимізувати, для сучасних кодів показник може приймати значення як менше так і більше 1, значення більше 1 приймаються тільки при відносно малій кількості вхідних даних, в випадку коли потрібно кодувати великий об'єм даних показник завжди буде приймати значення менше 1;

$\frac{K_{\text{одн}}}{K_{\text{общ}}}$  – формується на основі критерію

одночасного виконання різних операцій алгоритму перешкодостійкого кодування, показник необхідно максимізувати; чим більше показник, тим швидше операції алгоритму будуть виконуватися на сучасних багатоядерних процесорах та багатопроецесорних серверах;

$\frac{K_{\text{ош}}}{K_{\text{ош}} + K_{\text{нош}}}$  – практичний показник, формується

в результаті використання перешкодостійкого кодування в реальних каналах зв'язку, критерій, який використовується для показника формується на основі відношення кількості можливих помилок до суми максимально можливої кількості виправлених помилок і виниклих помилок, показник необхідно мінімізувати;

$\frac{K_{\text{мах}}}{K_{\text{общ}}}$  – теоретичний показник, формується

на основі математичного моделювання перешкод у КЗ [5], критерій якій лежить в основі показника формується на етапі проектування перешкодостійкого коду і визначає максимально можливі блоки даних для передачі, та максимально можливі групи перешкод, показник необхідно максимізувати; чим більше показник, тим більшу кількість помилок зможе виправити код.

## Висновки

Представлений в роботі комплексний показник ефективності дозволяє провести порівняльний аналіз перешкодостійких кодів, які використовуються у різноманітних каналах зв'язку.

При оцінці якості кодів враховуються як результати математичного моделювання каналів зв'язку, так і результати реального використання кодів, що важливо при оцінці можливості впровадження кодів. Показник враховує як складність кодування, так і складність декодування перешкодостійких кодів.

## Список літератури

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988. – Т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 328 с.
2. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. – 224 с.
3. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.
4. Певнев В.Я. Сравнительный анализ скорости работы помехоустойчивых кодов [текст] / В.Я. Певнев, М.В. Цуранов // Теоретические и прикладные проблемы информационно-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.
5. Певнев В.Я. Экспериментальные исследования моделей групповых ошибок в каналах связи [текст] / В.Я. Певнев, М.В. Цуранов // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2011. – №49. – С. 115-121.

Надійшла до редколегії 27.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ

М.В. Цуранов

В статье предлагается комплексный показатель эффективности для сравнительной оценки используемых или разрабатываемых помехоустойчивых кодов в реальных каналах связи. Предложенный комплексный показатель эффективности учитывает шесть показателей, основанных на различных критериях и весовых экспертных коэффициентах. Предложенный комплексный показатель эффективности учитывает как преимущества кодов при их использовании в различных каналах связи, так и преимущества в построении кодов на различных аппаратных платформах.

**Ключевые слова:** помехоустойчивое кодирование, показатель эффективности, критерий эффективности, комплексный показатель эффективности, уровне качества технических систем.

## A COMPLEX INDEX FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS NOISE IMMUNITY CODES

M.V. Tsuranov

The article offers a complex performance indicator for the comparative evaluation of used or developed error-correcting codes in real communication channels. The proposed integrated performance indicator takes into account six indicators based on different criteria and weighting coefficients are determined by experts. The proposed integrated performance indicator takes into account both the benefits of code when used in a variety of communication channels, as well as the advantages in building codes on a variety of hardware platforms.

**Keywords:** anti-interference coding efficiency index, the criterion of efficiency, a composite index of performance level as technical systems.