

УДК 658.52 ; 681.3120

**ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ****Юдін О. К., Луцький М. Г., Чунарьова А. В.**

Національний авіаційний університет

kszi@ukr.net

*У статті показано підвищення достовірності правильної ідентифікації кодового слова на базі мінімально допустимої кількості інформації з урахуванням сформованих моделей вирішальних процедур статистичних правил прийняття рішень. Проведено оцінку ефективності нововведеного методу на базі розрахунку аналітичних залежностей імовірності правильної ідентифікації та ймовірності появи не коригованих помилок.*

*The article shows the increasing confidence of correct identification code word based on the minimally sufficient information, based on models developed statistical procedures for critical decision-making rules. Assessment of the effectiveness of the newly introduced method, based on the calculation of analytical dependence of the probability of correct identification and the probability of errors.*

**Вступ**

Під час проектування сучасних інформаційно-комунікаційних систем та мереж (ІКСМ) найважливішим завданням є забезпечення високої вірогідності та достовірності передачі даних. До найбільш ефективних методів вирішення цього завдання варто віднести застосування завадостійкого каналного кодування, як технології забезпечення достовірності і цілісності інформаційних повідомлень.

Ефективність та надійність роботи моделей вирішальних процедур статистичних правил прийняття рішення для задач вірогідного декодування даних оцінюється рядом характеристик, до основної з яких належить: імовірність правильної ідентифікації повної кодової конструкції та зменшення ймовірності появи не коригованих помилок в інформаційному потоці даних.

Основним завданням при побудові моделі процедури прийняття рішення є оцінювання точності ідентифікації з урахуванням забезпечення максимальної ймовірності правильного розпізнавання цифрового інформаційного повідомлення.

**Постановка завдання**

Завданням цих досліджень є підвищення достовірності правильної ідентифікації кодового слова на базі мінімально допустимої кількості інформації з урахуванням сформованих моделей вирішальних процедур статистичних правил прийняття рішень [1; 2]. До питань статті також належить: проведення аналізу адекватності зазначених методів у задачах вірогідної ідентифікації повної кодової конструкції під час використання стандартних багатоальтернативних проце-

© О.К. Юдін, М.Г. Луцький, А.В. Чунарьова, 2009

дур прийняття рішення. Зазначені процедури повинні відбуватися з умов зменшення ймовірності появи не коригованих помилок в інформаційному потоці даних.

**Мета статті** — підвищення достовірності правильної ідентифікації кодового слова на базі мінімально допустимої кількості інформації, а

також встановлення кількісних значень оцінки ефективності розробленого методу ідентифікації повної кодової конструкції на основі мінімально допустимої кількості інформації.

Для оцінювання достовірності розробленого методу за умов математичного моделювання в ході роботи сформуємо графічні залежності апостеріорної ймовірності правильної ідентифікації повної кодової конструкції та графічні залежності ймовірності появи не коригованих помилок від співвідношення сигнал/шум  $b = \sigma_s / \sigma_n$ .

**Метод ідентифікації та відновлення кодових конструкцій на базі мінімально допустимої кількості інформації**

У попередніх роботах розроблено нові методи відновлення кодових конструкцій на базі допустимої кількості інформації з урахуванням інформативних складових сигналу [1; 2].

Показано, що сформований вище метод надає можливість використання критеріїв й процедур ідентифікації інформаційних сигналів на базі мінімально допустимої кількості інформації  $I_k^{(x)}$  з визначеними порогоми прийняття рішень  $V_k^{(x)}$ . Однак ці правила розроблені для ідентифікації сигналів сформованих від різних класів інформаційних об'єктів з різко відмінними інформаційними параметрами та мають конкретні недоліки.

Доведено, що розв'язання цієї задачі можливе на основі досягнення мінімально допустимої міри кількості інформації, що сформована з урахуванням найбільш інформативних параметрів інформаційних складових.

Визначено, що інформативними параметрами сигналу є спектральне представлення послідовності кодових слів, як найбільш інформативне для прийняття остаточного рішення про достовірну ідентифікацію кодового слова.

Показано, що спектральне подання сигналу використовується при розрахунках умовних ймовірностей і виборі найбільш ймовірної гіпотези з

урахуванням допустимої кількості інформації, яка відповідає кожній гіпотезі та позначена як:  $I_k(x)$  відповідно до  $\{H_k\}$ , де  $k=1, \dots, N$ . Для кожної гіпотези  $\{H_k\}$  обчислюється кількість інформації  $I_k(x)$ , що міститься в спектрі. Позначимо  $S_i(x_j)$  ( $j=1, \dots, N$ ,  $i=1, \dots, N$ ) як спектральне представлення прийнятого інформаційного сигналу за наявності в каналі зв'язку білого гауссівського шуму.

Визначено, що міра кількості інформації  $I_k(x)$ , яка розраховується для кожної гіпотези  $\{H_k\}$ , має такий вигляд:

$$I_k(x) = 1 - \Psi(q_k(x)), \quad (1)$$

де  $q_k(x)$  — апостеріорна ймовірність появи інформаційного сигналу;  $\Psi(q_k(x))$  — узагальнена міра невизначеності для  $k$ -го інформаційного сигналу, розрахована за апостеріорними ймовірностями.

Враховуючи те, що як інформативний параметр інформаційного сигналу взято спектральне представлення, формула (1) набуде вигляду:

$$I_k \left[ P(H_k/S_i(x_j)) \right] = 1 - \Psi \left[ P(H_k/S_i(x_j)) \right], \quad (2)$$

де  $P(H_k/S_i(x_j))$  — апостеріорна ймовірність появи інформаційного сигналу;  $\Psi \left[ P(H_k/S_i(x_j)) \right]$  — узагальнена міра невизначеності, розрахована за апостеріорною ймовірністю:

$$\Psi \left[ P(H_k/S_i(x_j)) \right] = \Phi \left( \frac{f \left[ P(H_k/S_i(x_j)) \right]}{P(H_k/S_i(x_j))} \right).$$

У результаті того, що використовували як інформативний параметр спектральне представлення сигналу, розрахунок умовної щільності ймовірності розподілу знайдемо за формулою:

$$W \left[ S_i(x_j)/H_k \right] = \prod_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k}} e^{-\frac{(S_k(x_j)-m_{ij})^2}{2\sigma_k^2}}, \quad (3)$$

де  $S_i(x_j)$  — прийнятий сигнал, за інформативний параметр якого взято спектральне представлення;  $j$  — поточний номер спектральних складових кожного  $S_i(x)$  прийнятого сигналу ( $j=1 \dots N$ );  $i$  — поточне значення номера інформаційного сигналу для множини гіпотез  $i=1, \dots, N$  ( $k=1, \dots, N$ );  $m_{ij}$  — двопараметричне математичне сподівання.

За двопараметричне математичне очікування  $m_{ij}$  оберемо двовимірне математичне сподівання  $m_{ij}$  корисного інформаційного сигналу  $S_i(x_j)$ , де

$i$  — поточне значення номера сигналу для множини гіпотез;  $j$  — поточний номер спектральних складових кожного інформаційного сигналу.

Тобто, для формування процедури ідентифікації кодових конструкцій будемо використовувати не узагальнене математичне сподівання сигналу (відповідної гіпотези), а математичне сподівання кожної спектральної складової.

Покажемо, що використання спектрального представлення кодового слова на основі використання двопараметричного математичного сподівання  $m_{ij} \leftrightarrow S_i(x_j)$  буде найкращим для побудови математичної процедури прийняття рішення з умов збільшення узагальненої міри кількості інформації.

Введене двопараметричне математичне сподівання, яке бере участь у процесі побудови процедури прийняття рішення, покликане забезпечує достатню кількість інформації та зменшує невизначеність правила.

Введене математичне сподівання надалі буде використовуватися при побудові математичної процедури прийняття рішення, а саме — розрахунку умовної щільності розподілу сигналу, апостеріорної ймовірності правильної ідентифікації кодової конструкції, міри невизначеності та міри кількості інформації.

Доведемо, що кожна  $x_j$  спектральна складова інформаційного сигналу  $S_i(x_j)$  має нормальний закон розподілу (Гауссівський закон) випадкових величин за умови, що в каналі діє адитивний білий гауссівський шум з нормальним розподілом.

Оскільки кожна спектральна складова  $x_j$  інформаційного сигналу  $S_i(x_j)$  має нормальний закон розподілу випадкових величин, тоді в разі збільшення кількості спектральних складових весь спектр обере функцію щільності нормального закону розподілу (рис. 1). Це підтверджується центральною граничною теоремою для значної кількості однаково розподілених випадкових величин.

Ґрунтуючись на визначення центральної граничної теореми можна стверджувати, якщо  $x_1, x_2, \dots, x_j$  — незалежні величини, які мають один и той самий закон розподілу з математичним сподіванням  $m$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma^2$ , то при необмеженому збільшенні кількості складових  $x_j$  закон розподілу їх суми необмежено приближується до нормального розподілу випадкових величин.

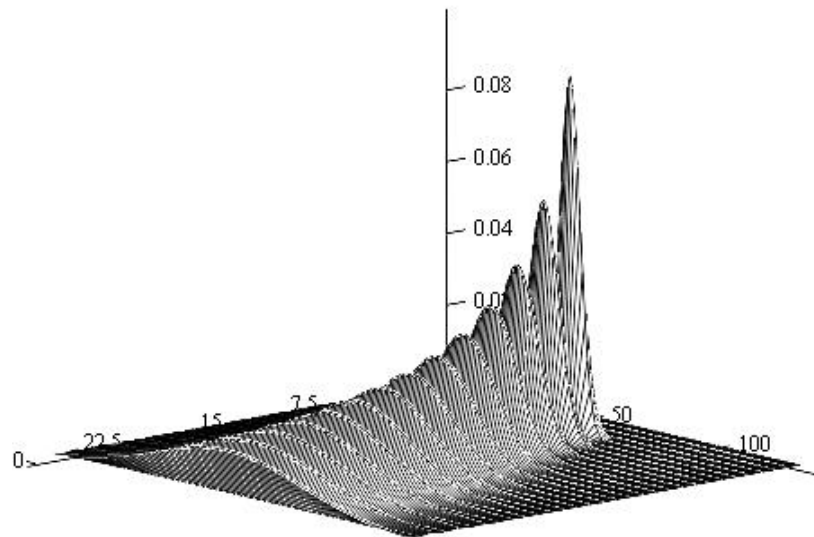


Рис. 1. Спектральне представлення слабо відмінних кодових конструкцій з урахуванням введення двовимірного математичного сподівання

З огляду на формулу (3) та за цих умов, одержимо загальний Байєсівський вираз знаходження умовної ймовірності появи інформаційного сигналу, тобто відповідної гіпотези  $\{H_k\}$  за умови прийнятого інформаційного сигналу  $S_i(x_j)$ :

$$P[H_k/S_i(x_j)] = \frac{\prod_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k}} e^{-\frac{(S_k(x_j)-m_{kj})^2}{2\sigma_k^2}}}{\sum_{j=1}^N \prod_{j=1}^N \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i}} e^{-\frac{(S_i(x_j)-m_{ij})^2}{2\sigma_i^2}}} \Bigg|_{\max} \quad (4)$$

Для достовірної ідентифікації прийнятої послідовності  $S_i(x_j)$  можна використати таку математичну процедуру прийняття остаточного рішення:

$$I_k [P(H_k/S_i(x_j))] > V_{\max} \quad (5)$$

### Методика оцінювання точності правильної ідентифікації кодових конструкцій

Проведемо оцінювання точності процедур відновлення та ідентифікації на основі допустимої кількості інформації за умов забезпечення достовірності і цілісності кодових конструкцій.

Для оцінювання якості розробленого методу на базі використання двопараметричного математичного сподівання, побудуємо графічні залежності ймовірності правильної ідентифікації  $P(H_k/S_i(x_j))$  від співвідношення сигнал/шум  $b = \sigma_s / \sigma_n$ .

З отриманих аналітичних та графічних залежностей апостеріорної ймовірності правильної ідентифікації можна зробити такі висновки, що кількісні значення ймовірностей правильної ідентифікації для розробленого методу  $\tilde{P}(H_k/S_i(x_j))$  відновлення кодових слів значно більші порівняно з використанням стандартної процедури  $P'(H_k/S_i(x_j))$ , тобто відбувається збільшення точності та достовірності ідентифікації від 1,14 до 2,7 разів.

Видно, що при збільшенні відношення сигнал/шум імовірність правильної ідентифікації при використанні двопараметричного математичного сподівання виграє за точністю, що збільшує достовірність ідентифікації (рис. 2).

Низький рівень порогів правильної ідентифікації пояснюється достатньо великою кількістю альтернативних гіпотез кодових комбінацій ( $N = 1024$ ), а також наявністю в зазначеному класі сигналів «слабо відмінних» кодових конструкцій. Однак процес математичного моделювання і використання процедур заснованих на достатній мірі кількості інформації, показали адекватність цих методів до встановлених вимог [1; 2].

Зрозуміло, що процедура прийняття рішення, сформована на основі двопараметричного математичного сподівання, більш результативна, а отже, використання математичних сподівань спектральних складових для кожної з можливих гіпотез більш інформативно.

Введення функції двовимірного спектра дає змогу проводити ідентифікацію при високому рівні шуму та невеликому рівні сигналу (коли шум складає 50 % від інформаційного сигналу), що зумовлює підвищення достовірності прийняття рішення.

Також для оцінювання точності та якості розробленого методу відновлення кодових конструкцій у задачах декодування повної кодової конструкції побудуємо графічні залежності ймовірності появи не коригованих помилок в інформаційному потоці.

На базі проведеного аналізу показано, що використання в процедурі прийняття рішення

двопараметричного математичного сподівання дає змогу зменшити ймовірність появи не коригованих помилок (рис. 3) та забезпечити подальше усунення спотворень у інформаційному повідомленні при фіксованих значеннях сигнал/шум

$$b = \sigma_s / \sigma_n.$$

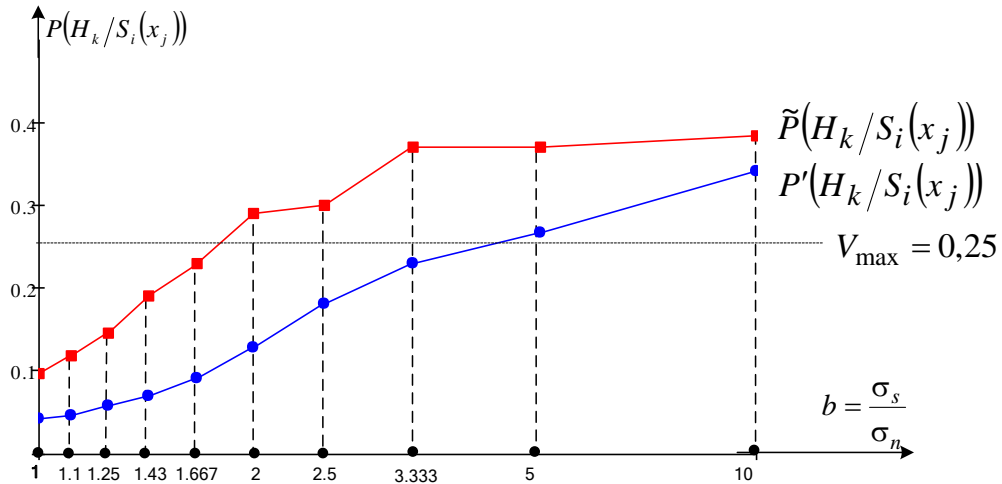


Рис. 2. Залежність апостеріорної ймовірності правильної ідентифікації від співвідношення сигнал/шум

Процедура прийняття рішення, сформована на базі двопараметричного математичного сподівання , Процедура прийняття рішення, сформована за класичним правилом

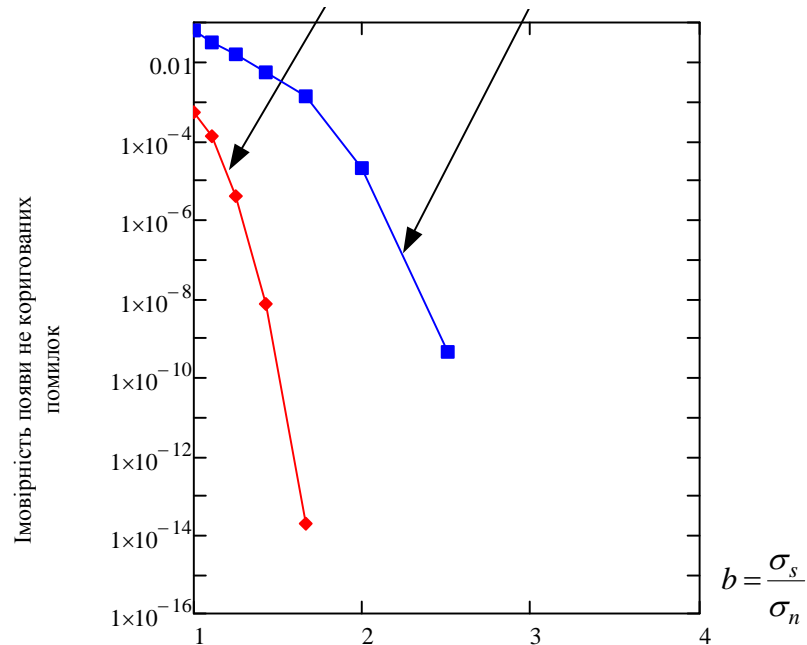


Рис. 3. Ймовірності появи не коригованих помилок при ідентифікації кодового слова залежно від співвідношення сигнал/шум

### Висновки

Проведені дослідження показали можливість підвищення достовірності правильної ідентифікації кодового слова на базі мінімально допустимої кількості інформації в 1,14 до 2,7 разів.

На основі проведеного аналізу процедури прийняття рішення можна констатувати, що використання двопараметричного математичного сподівання при розрахунках умовної щільності розподілу спектра сигналу, замість усередненого стандартного математичного сподівання, підвищує точність ідентифікації з умов збільшення міри кількості інформації.

Проведено оцінку ефективності нововведеного методу на базі розрахунку аналітичних залежностей імовірності правильної ідентифікації та ймовірності появи не коригованих помилок від співвідношення сигнал/шум  $b = \sigma_s / \sigma_n$ .

Показано, що кількісний рівень імовірності порогів правильної ідентифікації при викорис-

танні в процедурі прийняття рішення двопараметричного математичного сподівання — достатні і відповідають установленим умовам відновлення «слабо відмінних» кодових слів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Юдін О. К. Математичні аспекти використання багато альтернативних правил в задачах каналного кодування інформаційних потоків / О. К. Юдін, А. В. Чунарьова // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. — Вип. 47. — К.: ІПМЕ НАН України, 2008. — С. 25—31.

2. Юдін О. К. Спектральні методи визначення інформативних складових у процедурах усунення інформаційної невизначеності / О. К. Юдін, А. В. Чунарьова // Всеукраїнський міжведомственный науково-технічний збірник «Радиотехника». — Вип. № 159. — Х.: ХНУРЕ, 2009. — С. 228—233.

3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / Б. Скляр. — М.: Изд. дом Вильямс, 2004. — 1104 с.

Стаття надійшла до редакції 21.12.09.