УДК 621.391

О.Г. Жук

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ З ЦИФРОВИМИ ВИДАМИ МОДУЛЯЦІЇ

В роботі запропонована методика оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції, яка не використовує еталонні сигнали. Методика дозволяє значно підвищити швидкість визначення ймовірності помилкового приймання сигналу у порівнянні з класичними методами.

Ключові слова: *засіб радіозв'язку, ймовірність помилкового приймання, відношення сигнал-шум.*

Вступ

Сучасні системи і засоби радіозв'язку функціонують в складній радіоелектронній обстановці. Основними факторами, що впливають на якість радіозв'язку, є природні і навмисні завади, що діють в каналі та завмирання сигналів внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль [1 – 3]. При цьому одним з основних завдань при проектуванні систем і засобів радіозв'язку є вибір придатного алгоритму оцінювання параметрів сигналів на вході приймача [4, 5].

Аналіз останніх публікацій. Аналіз відомих методів обробки сигналів показав [5 – 7], що на даний час ефективні алгоритми оцінки таких важливих параметрів радіосигналів, як відношення сигнал-шум (ВСШ) і ймовірність помилкового приймання (ЙПП), вимагають або наявності деяких еталонних сигналів, або є вузькоспеціалізованими для конкретних видів модуляції.

Тому актуальною є розробка ефективних алгоритмів оцінки ВСШ і ймовірності помилкового приймання для цифрових видів модуляції в режимі близькому до реального часу, що дозволить швидко адаптувати засоби радіозв'язку до поточних характеристик каналу зв'язку.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка методики оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції, яка не використовує еталонні сигнали при прийманні.

Виклад основного матеріалу статті

Графічно реалізації прийнятих сигналів $A_i(t)$ і завад $B(t)$ можна зобразити відповідними векторами на площині, які відкладаються від початку координат. Якщо правило рішення обране вірно, то це означає, що кожній точці простору прийнятих коливань (кінцю вектора $\mathbf{Z} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$) присвоюється одна з m гіпотез. Простір прийнятих сигналів при цьому розбивається на m непересічних областей Z_i (i = 1...m), кожна з яких відповідає прийняттю визначеної гіпотези (сигналу A_i) (рис. 1) [8, 9].

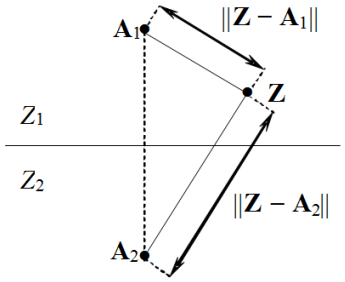

Рис. 1. Розбиття простору прийнятих сигналів

У двійковій системі (m = 2) простір Z розбивають на дві непересічні області Z_1 і Z_2. При наявності завади і передачі сигналу з номером і (для двійкової системи і = 1, 2) точка прийнятого коливання Z відхиляється від точки A_i. При оцінці відношення сигнал-шум застосовано поняття вектору помилок $\boldsymbol{\varepsilon}(n)$. Це вектор між прийнятим символом $\mathbf{Z}(n)$ та символом, відновленим на приймальному боці $\mathbf{A}(n)$ (рис. 2). При цьому квадрат модуля вектора помилки визначається як

$$\left|\varepsilon(n)\right|^2 = \left(Z_s(n) - A_s(n)\right)^2 + \left(Z_c(n) - A_c(n)\right)^2, \quad n = 1, 2...N. \tag{1}$$

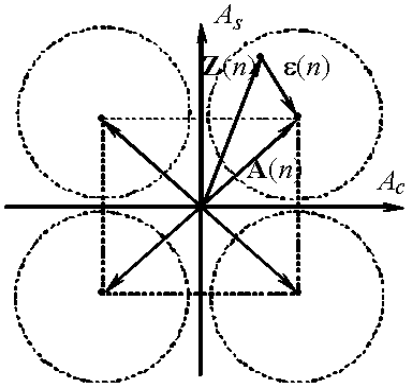

Рис. 2. Вектор помилок

В запропонованій методиці, замість еталонних значень координат точки сигнального ансамблю використовуються координати точок, відновлених на виході демодулятора $A_s(n)$ та $A_c(n)$.

© О.Г. Жук

З врахуванням формули (1), вираз для розрахунку середнього значення ВСШ (коефіцієнту помилок модуляції) послідовності із N символів можна записати у вигляді

$$Q^2 = 10\lg \sum_{n=1}^{N} |A(n)|^2 \Big/ \sum_{n=1}^{N} |\varepsilon(n)|^2. \qquad (2)$$

Методика оцінки відношення сигнал-шум та ймовірності помилкового приймання сигналів, схема алгоритму реалізації якої подано на рис. 3, складається з nfrих етапів.

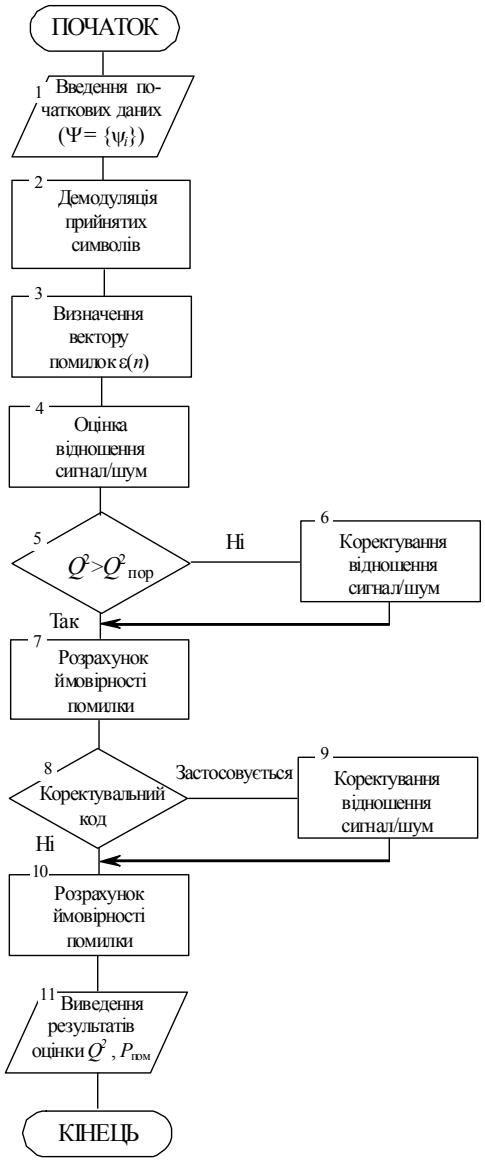

Рис. 3. Схема алгоритму

Введення вихідних даних. Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1, m}$, де $\psi_1 \ldots \psi_m$ – позиційність ансамблю сигналів M, максимальна потужність корисного сигналу $P_{с\,макс}$, порогові значення відношення сигнал-шум $Q^2_{пор}$, швидкість передачі інформації v_i, параметри коригувального коду (швидкість коду R; кількість помилок, що виправляє код s).

Обмеження: вид модуляції – квадратурна амплітудна модуляція (КАМ); розмірність ансамблю сигналів $4 \le M \le 256$; вид коригувального коду – згорточні коди зі швидкістю R = 0,5–0,9;

Демодуляція прийнятих символів. В демодуляторі приймача здійснюється обробка прийнятої послідовності спотворених символів.

Вимірювання коефіцієнта помилок модуляції по відновленому після оптимального детектування сузір'ю. Оцінка середнього значення коефіцієнта помилок модуляції, яке чисельно дорівнює відношенню сигнал-шум, базується на визначенні вектора помилок між прийнятим символом і переданим символом (символом, відновленим на приймальному боці). Коректування зсуву сигнальних точок сузір'я. Отримане значення відношення сигнал-шум порівнюється з пороговим значенням і при його перевищенні здійснюється коректування ВСШ за заздалегідь розрахованим законом.

Розрахунок значення ймовірності помилкового приймання на виході демодулятора. Для N-вимірної КАМ вона розраховується за формулою [10, 11]

$$P_{пом} = 1 - \left[1 - 2\left[\left(1 - \frac{2}{M^{1/N}}\right) F\left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}}\right) + \frac{1}{M^{1/N}} F\left(\frac{\alpha d}{\sqrt{2G_0}}\right)\right]\right]^N, \qquad (3)$$

де d – відстань між сигналами ансамблю КАМ; $F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$ – додаткова функція помилок, $d/\sqrt{2G_0} = \sqrt{2gQ_c^2}$; α – параметр модуляції (α = 1 – для класичної КАМ, α = 2 або 4 – для ієрархічної КАМ); $g = \frac{3\log_2 M}{N\left(M^{2/N} - 1 + 3(\alpha - 1)\left(M^{1/N} + \alpha - 1\right)\right)}$;

$Q_c^2 = \frac{E_c}{G_0 \log_2 M} = \frac{E_{max}}{\Pi^2 G_0 \log_2 M}$; E_{max} і E_c – відповідно максимальна і середня енергії сигналів КАМ;

$\Pi^2 = \frac{E_{max}}{E_c} = \frac{\left(M^{1/N} + \alpha - 2\right)^2}{M^{2/N} - 1 + 3(\alpha - 1)\left(M^{1/N} + \alpha - 1\right)}$ – пік-фактор сигналу КАМ. Після перетворень отримаємо

$$P_{пом} = \sum_{k=1}^{N} C_N^k (-1)^{k+1} 2^k \times \left[\left(1 - \frac{2}{M^{1/N}}\right) F\left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}}\right) + \frac{1}{M^{1/N}} F\left(\frac{\alpha d}{\sqrt{2G_0}}\right)\right]^k. \qquad (4)$$

Для класичної багатовимірної КАМ (α = 1) із формули (4) одержимо співвідношення

$$P_{пом} = \sum_{k=1}^{N} C_N^k (-1)^{k+1} \left[2\left(1 - \frac{2}{M^{1/N}}\right) F\left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}}\right)\right]^k. \qquad (5)$$

При N = 2 (двовимірна КАМ) (5) має вигляд

$$P_{пом} = 4P_1(1-P_1), \quad P_1 = \left(1-\frac{2}{M^{1/N}}\right)F\left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}}\right). \quad (6)$$

Для сигналів КАМ ймовірність помилкового приймання залежить від евклідової відстані між сигналами d. Ймовірність помилкового приймання можна визначити за спрощеною формулою [7]:

$$P_{пом} \approx \frac{4}{k}\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)F\left[\sqrt{\left(\frac{3}{M-1}\right)Q^2}\right], \quad (7)$$

де k – кількість біт/символ.

Розрахунок відношення сигнал-шум на виході декодера. Розраховується значення відношення сигнал-шум з врахуванням виправляючої здатності декодера. Розрахунок значення ймовірності помилкового приймання після декодера. При необхідності Ймовірність помилкового декодування кодової комбінації розраховується [8, 12]

$$P_{пом\ кк} = \sum_{j=s_{випр}+1}^{n} C_n^j P_{пом}^j \left(1-P_{пом}\right)^{n-j}, \quad (8)$$

де $s_{випр}$ – кількість помилок, що виправляє коригувальний код; n – тривалість кодової комбінації.

Головна перевага запропонованої методики полягає у відсутності необхідності використання еталонної послідовності для визначення ймовірності помилкового приймання сигналів з квадратурною модуляцією, а також у скороченні часу на оцінку, що дозволяє здійснювати обробку сигналів в режимі реального часу. Для проведення оцінки ефективності розробленої методики було розроблено імітаційну модель в середовищі програмування Matlab (Simulink). Результати моделювання показують, що запропонована методика дозволяє скоротити час оцінювання параметрів сигналу в 2,1…2,7 разів в залежності від позиційності ансамблю сигналів

Висновки

Таким чином, запропонована методика оцінки ймовірності помилкового приймання, яка дозволяє значно швидше при порівнянній погрішності в порівнянні із традиційними алгоритмами визначити поточне значення ймовірності помилкового приймання в приймачі без необхідності використання еталонних послідовностей.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка методів та методик управління параметрами засобів радіозв'язку на основі отриманих оцінок завадової обстановки в каналі зв'язку.

Список літератури

1. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.

2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В.]. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

3. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебн. пос. – М: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.

4. Коричнев Л.П., Королев В.Д. Статистический контроль каналов связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.

5. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи. – М: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.

6. Богданович В.А. Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов / В.А. Богданович, А.Г. Вострецов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 320 с.

7. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011/ – 904 с.

8. Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації: Підручник / [Кувшинов О.В., Лівенцев С.П., Лежнюк О.П., Міночкін А.І., Могилевич Д.І.]. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ", 2008. – 286 с.

9. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л. М. Финк. – М.: Сов. радио, 1970. – 727 с.

10. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под редакцией А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.

11. Теорія електричного зв'язку. Ч. 1: Основи теорії сигналів та розподілу інформації: Підр. / [Кувшинов О.В., Лівенцев С.П., Лежнюк О.П., Міночкін А.І., Могилевич Д.І.]. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ", 2008. – 331 с.

12. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1986. – 576 с.

Надійшла до редколегії 30.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА С ЦИФРОВЫМИ МЕТОДАМИ МОДУЛЯЦИИ

О.Г. Жук

В работе предложена методика оценивания параметров сигнала с цифровыми видами модуляции, которая не предусматривает использование эталонных сигналов. Методика позволяет увеличить скорость определения вероятности ошибочного приёма сигнала в сравнении с классическими методами.

Ключевые слова: *средство радиосвязи, вероятность ошибочного приёма, соотношение сигнал/шум.*

METHOD OF ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF SIGNALS WITH DIGITAL MODULATION TYPES

O.G. Zhuk

In work proposed method of estimation of the parameters of signals with digital modulation types, which do not use reference signals. Method allow to increase speed of definition of probability erroneous reception signal in comparison with classical methods.

Keywords*: the radio, the probability of erroneous reception, the signal-to-noise.*