

УДК 621.391

А.В. Шишацький¹, О.Г. Жук², В.В. Лютов³, Р.М. Животовський¹¹Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Київ²Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ³Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

УДОСКОНАЛЕНА 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 багатопробного 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, вимагають або наявності деяких еталонних сигналів, або є вузькоспеціалізованими для конкретних видів модуляції. Всі методи оцінки, що використовуються на сьогодні в системах радіозв'язку, можна розділити на 4 групи згідно наступної схеми, представленої на рис. 1.

Розглянемо ці методи докладніше.

1. Одним з найменш критичних до обчислювальної складності алгоритмів є метод, заснований на періодичній передачі тестових сигналів заздалегідь відомої структури або зондуючих імпульсів. Суть методу полягає в тому, що через однакові проміжки часу передавач формує на своєму виході спеціальні тестові сигнали (псевдовипадкова послідовність (ПВП)), які, пройшовши по каналу зв'язку, поступають на вхід приймального обладнання і далі на схему оцінки, яка за наслідками порівняння параметрів одержаного тестового сигналу з параметрами еталонного сигналу, виробленого власним генератором, оцінює стан каналу в цілому. Під дією спотворень і завад, що виникають в каналі зв'язку, змінюється рівень тестового сигналу, що дає можливість визначити відношення сигнал/завада в каналі, а вимірювання зсуву границь бітових інтервалів ПВП дозволяє зробити висновок про величину часового запізнювання сигналу.

Методи оцінки якості каналу

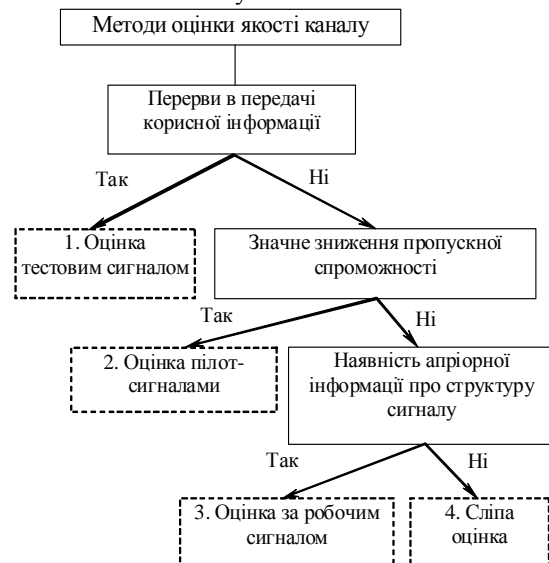


Рис. 1. Класифікація методів оцінки якості сигналу

Недоліком даного методу є те, що на час передачі тестової послідовності припиняється передача корисної інформації, що знижує оперативність передачі інформації. Час передачі тестової послідовності збільшується і за рахунок виконання процедури синхронізації приймального і передавального трактів. Крім цього, оцінка тестового сигналу дає інформацію тільки на момент його проходження каналом зв'язку, що відображається на своєчасності одержуваної оцінки, оскільки за час оцінювання

стану каналу умови розповсюдження в багатопроблемному радіоканалі можуть кардинально змінитися і канал з хорошою якістю може виявитися абсолютно непридатним для передачі інформації.

2. Використання у складі повідомлення, що передається, пілот-сигналів, розташованих на чітко визначених часових позиціях і з деякими фіксованими параметрами, дозволяє приймальному обладнанню виділити їх зі складу повідомлення, яке приймається на фоні шумів, і за аналізом параметрів пілот-тонів зробити висновок про стан каналу зв'язку в цілому. Фіксація і оцінювання на прийомі інформаційного сигналу пілот-тонів дозволяє шляхом аналізу зміщення границь тактів характеризувати частотне і часове запізнювання в каналі, що зрештою дає інформацію про якість каналу зв'язку.

Зміна параметрів пілот-сигналів (положення в структурі сигналу, вид модуляції, її кратність, рівень сигналу) дозволяє одержати інформацію про стан каналу в умовах дії зосереджених завад шляхом переміщення пілот-тонів на часові позиції, вільні від впливу завад, що заважають. Одночасно з цим періодичність надходження пілот-сигналів і фіксованість їх часових позицій служить для виконання процедури синхронізації.

Крім того, передача пілот-сигналів дозволяє своєчасно визначати умови розповсюдження сигналів, що змінюються, на підставі чого схема адаптації може коректувати параметри передачі з метою досягнення заданого рівня достовірності. Проте, оскільки пілот-тони містяться в кожному кадрі переданого повідомлення, то разом зі своїми корисними властивостями вони зменшують пропускну спроможність системи зв'язку. Через простоту виділення і оцінки параметрів пілот-тонів даний метод має досить низьку обчислювальну складність, а їх передача у складі інформаційного сигналу забезпечує оперативність оцінки якості каналу.

3. При використанні методів оцінки якості каналу за робочим сигналом для оцінки стану каналу на прийомі використовують реалізації вхідного інформаційного сигналу, прийняті в умовах дії різних завад і схильні до спотворень. Даний вид оцінки потребує апріорного знання одержувачем деякої інформації про переданий сигнал, наприклад про вид і кратність модуляції, значення довжини циклічного префікса і т.п. Вид і кратність модуляції визначає тип використовуваного сигнального сузір'я для представлення сигналу, що на прийомі дає можливість здійснити вимірювання дисперсії точок фазової площини, відповідних переданим інформаційним символам, і, задаючись деяким критичним значенням цього розсіювання, можна зробити висновок про якість каналу зв'язку.

Знання довжини циклічного префікса дозволяє визначити зсуви меж символів захисного інтервалу,

що дає можливість оцінити часове і частотне запізнювання сигналу. Алгоритм оцінки за робочим сигналом дозволяє одержувати своєчасну і оперативну оцінку якості каналу. Однією з головних переваг даного методу оцінки є те, що він не впливає на пропускну спроможність системи передачі при своєчасному і оперативному отриманні оцінки, що в сучасних умовах розвитку високошвидкісних послуг стає дуже актуальним.

4. Під сліпою оцінкою мається на увазі оцінка невідомих сигналів, що пройшли лінійний канал з невідомими характеристиками на фоні завад. При цьому оцінювання параметрів сигналу ведеться тільки за доступними реалізаціями вхідного сигналу приймального пристрою.

Існує величезне різноманіття методів сліпої оцінки каналу, використання яких засноване на застосуванні статистичних методів сліпої ідентифікації і різних математичних методів, що вимагає великих обчислювальних витрат по накопиченню і обробці статистично значимої кількості реалізацій. Внаслідок того, що необхідне попереднє накопичення даних для аналізу якості каналу, даний алгоритм має досить низьку оперативність і своєчасність отримання оцінки. У загальному випадку при сліпій оцінці можливо отримання лише наближеного рішення найкращої з погляду деякого критерію якості. Безперечною перевагою алгоритму сліпої оцінки є те, що оцінка каналу ведеться без застосування методів, що знижують пропускну спроможність системи передачі.

При використанні різних методів оцінки якості сигналів в адаптивних системах зв'язку існує можливість передачі одержаної інформації про стан каналу зв'язку по виділеному службовому каналу до передавача, який на підставі цих даних може змінювати параметри передаваного сигналу, тим самим забезпечуючи оптимальну для конкретних умов розповсюдження завадостійкість. Але, організація зустрічного каналу зворотного зв'язку вимагає затрат пропускну спроможності системи передачі, що є негативним чинником.

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.

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 $A_s(t)$ 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 (кінець вектора $\mathbf{Z} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$) присвоюється одна з m гіпотез. Простір прийнятих сигналів при цьому розбивається на m непересічних областей Z_i ($i = 1 \dots m$), кожна з яких відповідає прийняттю визначеної гіпотези (сигналу A_i) рис. 2, а [8; 9].

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 i (для двійкової системи $i = 1, 2$) точка прийнятого коливання Z відхиляється від точки A_i . При оцінці відношення сигнал-шум застосовано поняття вектору помилок $\epsilon(n)$. Це вектор між прийнятим символом $\mathbf{Z}(n)$ та символом, відновленим на приймальному боці $\mathbf{A}(n)$ рис. 2, б. При цьому квадрат модуля вектора помилки визначається як

$$|\epsilon(n)|^2 = (Z_s(n) - A_s(n))^2 + (Z_c(n) - A_c(n))^2, \quad (1) \quad n = 1, 2 \dots N.$$

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

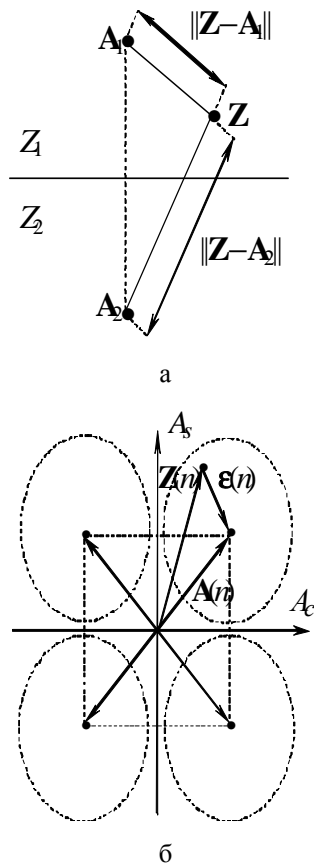


Рис. 2. а – векторне представлення сукупності прийнятих сигналів на вході МІМО системи; б – графічне відображення вектору відображення

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

$$Q^2 = 10 \lg \frac{\sum_{n=1}^N |A(n)|^2}{\sum_{n=1}^N |\epsilon(n)|^2}. \quad (2)$$

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

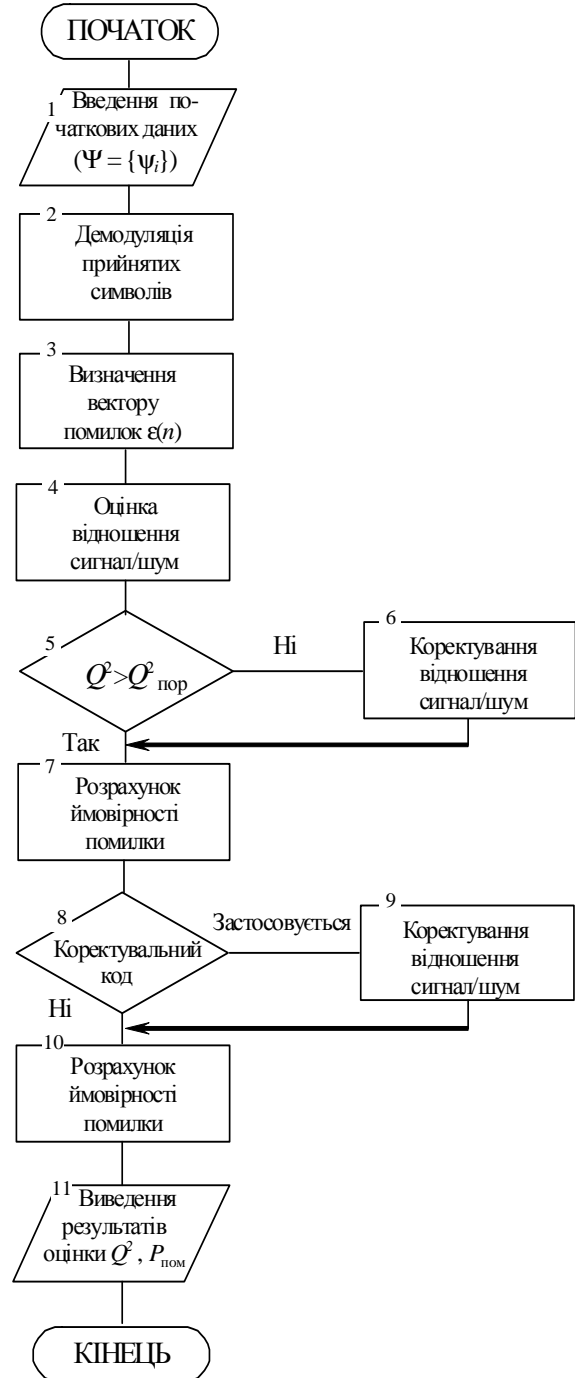


Рис. 3. Алгоритм реалізації методики

Введення вихідних даних.

Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1, m}$, де $\psi_1 \dots \psi_m$ – позиційність ансамблю сигналів M , максимальна потужність корисного сигналу $P_{c \max}$, порогові значення відношення сигнал-шум $Q_{пор}^2$, 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 $4 \leq M \leq 256$; вид коригувального коду – згортковий код з 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'я. 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]:

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

де d – відстань між сигналами ансамблю КАМ;

$$F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \text{додаткова функція помилок,}$$

$$\frac{d}{\sqrt{2G_0}} = \sqrt{2gQ_c^2}; \quad \alpha - \text{параметр модуляції } (\alpha = 1 -$$

для класичної КАМ, $\alpha = 2$ 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

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

Для класичної багатовимірної КАМ ($\alpha = 1$) із формули (4) одержимо співвідношення

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

При $N = 2$ (двовимірні КАМ) вираз (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]:

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

де $s_{\text{випр}}$ – 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 дозволяє значно швидше, ніж традиційні алгоритмами, визначити поточне значення ймовірності помилкового приймання в приймачі, забезпечуючи при цьому аналогічну точність без 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 радиодоступ / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Раснаев. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.
2. Вишневикий В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневикий, А.И. Ляхов, С. Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Волков Л.Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: учебное пособие / Л.Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
4. Коричнев Л.П. Статистический контроль канала связи / Л.П. Коричнев, В.Д. Королев. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.

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

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

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

8. Теория электричного зв'язку. Ч. 2: Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації: підручник / О.В. Кувшинов, С.П. Лівенцев, О.П. Лежнюк, А.І. Міночкін, Д.І. Могилевич. – 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. Теория электричного зв'язку. Ч. 1: Основи теорії сигналів та розподілу інформації: підручник / О.В. Кувшинов, С.П. Лівенцев, О.П. Лежнюк, А.І. Міночкін, Д.І. Могилевич. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 331 с.

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

Надійшла до редколегії 13.11.2016

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

А.В. Шишацкий, О.Г. Жук, В.В. Лютов, Р.Н. Животовский

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

A.V. Shishatskiy, O.G. Zhuk, V.V. Lutov, R.M. Zhivotovsky

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.