

А. О. Москаленко¹, Г. В. Сокол², Т. М. Коротун¹, А. Г. Углярниця¹, А. О. Шугайло²

¹ Полтавський інститут бізнесу ЗВО «Міжнародний ГТУ ім. акад. Ю. Бугая», Полтава, Україна

² Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛІВ МОДУЛЯЦІЇ ЦИКЛІЧНИМ ЗСУВОМ КОДУ З АДАПТАЦІЄЮ ПО ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ДОСКОНАЛИХ ДВІЙКОВИХ МАТРИЦЬ

Анотація. За результатами досліджень встановлено, що важливою характеристикою систем радіозв'язку спеціального призначення є перешкодозахищеність. Перешкодозахищеність включає скритність системи та її перешкодостійкість. Перешкодостійкість, структурна та енергетична скритність системи радіозв'язку спеціального призначення визначаються характеристиками використовуваних сигналів. В роботі представлено результати дослідження характеристик сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, а саме структурної та енергетичної скритності. За результатами проведених досліджень встановлено, що використання сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць замість М-последовностей дозволить підвищити структурну скритність радіосистем спеціального призначення. Структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць більша за структурну скритність М-последовностей, до того ж, при збільшенні довжини кодової последовності, структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць зростає стрімкіше. Енергетична скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць ідентична енергетичній скритності сигналів М-ічної ортогональної модуляції. Напрямок подальших досліджень є дослідження перешкодостійкості сигналів з адаптацією по швидкості передачі інформації на основі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

Ключові слова: модуляція циклічним зсувом коду, досконалі двійкові матриці, скритність.

Вступ

Постановка задачі. В сучасних умовах ведення прихованих інформаційних війн, здійснюваних, в тому числі, і поза межами безпосередніх збройних конфліктів, пошук ефективних методів і засобів протидії деструктивним впливам навмисних перешкод на лінії радіозв'язку є ефективним і значущим завданням для систем радіозв'язку спеціального призначення.

Перешкодозахищеність – це здатність системи зв'язку протистояти впливу потужних перешкод [1]. Перешкодозахищеність включає скритність системи та її перешкодостійкість. Таким чином, підвищення перешкодозахищеності досягається підвищенням скритності та перешкодостійкості системи.

Здатність системи радіозв'язку протистояти діям радіо- та радіотехнічній розвідкам, направленим на виявлення сигналів, вимірювання параметрів і визначення розташування джерела випромінювання, характеризується поняттям скритності [1-3]. В загальному випадку, розрізняють наступні види скритності: енергетичну, структурну і просторову.

Перешкодостійкість, структурна та енергетична скритність системи радіозв'язку спеціального призначення визначаються характеристиками використовуваних сигналів [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [4] запропоновано математичну модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Розглянуто основні принципи функціонування пристрою управління моделі формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Запропонована математична модель формування сигна-

лів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, розглянуті питання синтезу сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації, запропонований алгоритм їх кореляційної обробки, приведені правила формування сигналів адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації та правила функціонування пристрою вирішення цифрового кореляційного приймача сигналів адаптивної CSSK-модуляції.

В роботі [5] запропоновано методика застосування сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації в перспективних радіоінтерфейсах. Розглянуто порядок оцінювання середовища розповсюдження радіохвиль та передавання і прийом сигналів управління; моделі формування та кореляційної обробки сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації.

Питання щодо дослідження перешкодостійкості сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації розглянуто в роботі [6]. Проте, в даних роботах не було досліджено скритність систем радіозв'язку спеціального призначення при використанні сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Мета і завдання даного дослідження. Враховуючи це, метою статті є дослідження структурної та енергетичної скритності сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

Основна частина

1. Структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Використання ймовірності підбору структури сигналу для оцінки структурної скритності, не дозволяє врахувати алгоритмічні чи інші проблеми, пов'язані з розкриттям події. Крім того, ймовірність підбору структури сигналу, як правило, залежить від характеристик апаратури, які не завжди відомі досліднику і змінюються в процесі вдосконалення. Тому оцінка залежить не лише від характеру подій і супутніх обставин, а й від засобів, що використовуються [7].

В якості одиниці структурної скритності в [7] запропоновано використовувати одне двійкове вимірювання (ДВ). ДВ – середня кількість двійкових вимірювань, яку необхідно виконати для вирішення задачі по розкриттю структури сигналу.

Структурна скритність сигналів визначається наступним чином [7]:

$$S = \log_2 V,$$

де S – структурна скритність сигналу, V – кількість можливих систем сигналів.

За результатами аналізу методів формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць [4,5] встановлено, що структурна скритність даних сигналів визначається характеристиками досконалих двійкових матриць.

Кількість можливих ортогональних систем сигналів, отриманих на основі досконалих двійкових матриць, визначається [8, 9] для парних n

$$V = \frac{3^{n/2} \times 2^{2^{n+1}-1}}{2^{2n}} = 3^{n/2} \times 2^{2(2^n - n - 1)}$$

і для непарних n

$$V = \frac{3^{(n-1)/2} \times 2^{2^{n+1}-1}}{2^{2n}} = 3^{(n-1)/2} \times 2^{2(2^n - n - 1)}.$$

Прийнявши довжину кодової послідовності за L , для даного випадку $n = \log_2 L/2$.

Враховуючи це отримано залежності структурної скритності сигналів від довжини кодової послідовності для сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць і сигналів M -ічної ортогональної модуляції (рис. 1).

Як видно із рис. 1, структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць більша за структурну скритність M -послідовностей, до того ж, при збільшенні довжини кодової послідовності (L), структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць зростає стрімкіше.

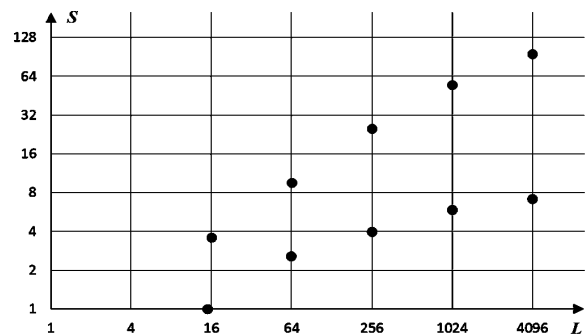


Рис. 1. Залежність структурної скритності від довжини кодової послідовності сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць і M -послідовностей

Енергетична скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Окрім структурної скритності, важливе значення для систем радіозв'язку спеціального призначення має їх енергетична скритність. Частіш за все, найбільш ефективним засобом виявлення широкопasmових сигналів є т. зв. енергетичний виявлювач (радіометр) [7]. Радіометр – простий пристрій, що потребує незначних попередніх припущень щодо структури сигналів. Спрощена блок-схема радіометра представлена на рис. 2.

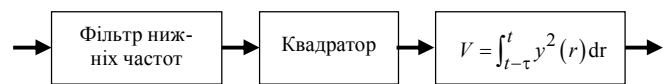


Рис. 2. Структурна схема радіометра

Детектування здійснюється при порівнянні величини V на виході радіометра з порогом L . При цьому вважається, що сигнал виявляється, якщо $V \geq L$, якщо ж $V < L$, це сприймається, як відсутність сигналу на вході приймача, і розцінюється, як хибна тривога. Оскільки запропоновані сигнали ортогональні, їх енергетична скритність ідентична енергетичній скритності сигналів M -ічної ортогональної модуляції (МОМ) (рис. 3) і визначається таким чином [7]:

$$P_{вр} = \int_{L_0}^{\infty} (u/\Lambda)^{(TF-1)/2} e^{-(u+\Lambda)} I_{TF-1}(2\sqrt{u\Lambda}) du,$$

де $P_{вр}$ – ймовірність виявлення сигналу; L_0 – поріг радіометра; Λ – відношення енергії сигналу, накопленої радіометром шляхом інтегрування і спектральної щільності шуму; TF – добуток довжини сигналу і полоси пропускання фільтра радіометра; $I_{TF-1}(x)$ – модифікована функція Бесселя першого роду $TF-1$ порядку. На рис. 3 [7] $P_{фа}$ – ймовірність хибної тривоги; для кожного значення ймовірності хибної тривоги представлені по п'ять кривих, що відповідають (зверху-вниз) ймовірності помилки в символі $P_c = 0.00001$; $P_c = 0.0001$; $P_c = 0.001$; $P_c = 0.01$; $P_c = 0.1$. Як видно із рис. 3, ймовірність виявлення сигналу радіометром зменшується при зростанні бази сигналу, крім того, зменшення ймовірності помилки в прийомі символу призводить до збільшення ймовірності виявлення сигналу радіометром.

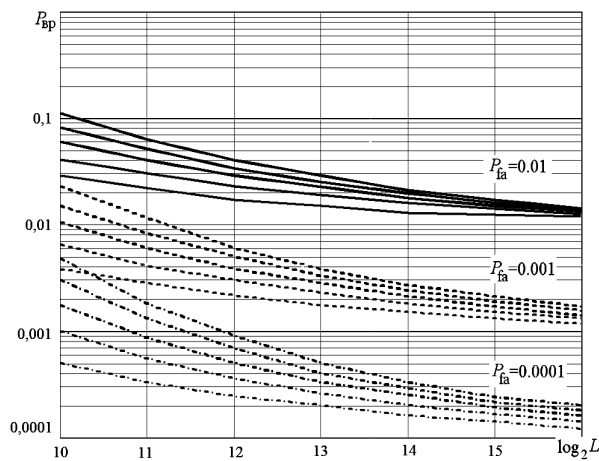


Рис. 3. Характеристики виявлення сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць за допомогою радіометра

Висновки

Таким чином, використання сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості

передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць замість M -последовностей дозволить підвищити структурну скритність радіосистем спеціального призначення. Наприклад, при довжина кодової послідовності, що використовується для розширення спектра, 1024 (1023) біт, структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць буде більша за структурну скритність сигналів на основі M -последовностей в $55.17/5.91 \approx 9.34$ раз, причому вираш має тенденцію збільшуватись при збільшенні довжини кодової послідовності.

Енергетична скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць ідентична енергетичній скритності сигналів M -ічної ортогональної модуляції.

Напрямок подальших досліджень є дослідження перешкодостійкості сигналів з адаптацією по швидкості передачі інформації на основі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 364 с.
2. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
3. Torrieri D.J. Principles of Secure Communication Systems. Dedham, MA.: Artech House, Inc., 1985. – 286 p.
4. Москаленко А.О. Математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць / А.О. Москаленко, Г.В. Сокол, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: – 2020. – № 1(59). – С. 147-150.
5. Москаленко А.О. Методика застосування сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації в перспективних радіоінтерфейсах / А.О. Москаленко, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич, С.О. Івко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2019. – № 3 (36) – С. 35–39.
6. Москаленко А.О. Перешкодостійкість сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації / А.О. Москаленко, Г.В. Сокол, Н.В. Рвачова, Т.В. Буряк, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: – 2018. – № 3(49). – С. 175-180.
7. Каневский З.М. Теория скрытности / З.М. Каневский, В.П. Литвиненко. – Воронеж: ВГУ, 1991. – 144 с.
8. Гепко И.А. Синтез совершенных двоичных решеток /И.А. Гепко // Радиозлектроника. – 1998. – Т.41. – №6 – С. 13-21.
9. Panchenko S. Analysis of efficiency of the bioinspired method for decoding algebraic convolutional codes / S. Panchenko, S. Prykhodko, S. Kozelkov, M. Shtompel, V. Kosenko, O. Shefer, O. Dunaievskaya / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2/4 (98) 2019.

Received (Надійшла) 30.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.09.2020

Characteristics of the modulation signals by the cyclic code shift with the adaptation by the information transfer rate based on perfect binary matrices

A. A. Moskalenko, G. V. Sokol, T. M. Korotun, A. H. Uhlianutsa, A. O. Shuhailo

Abstract. Research has shown that an important feature of special purpose radio systems is noise immunity. Interference protection includes the secrecy of the system and its noise immunity. In the general case, there are the following types of secrecy: energy, structural and spatial. Noise immunity, structural and energy secrecy of a special purpose radio communication system are determined by the characteristics of the signals used. The paper presents the results of research of the characteristics of modulation signals by cyclic code shift with adaptation by the information transmission rate based on perfect binary matrices, namely, structural and energy secrecy. The results of the research found that the use of modulation signals by a cyclic code shift with adaptation in the information transmission rate based on perfect binary matrices instead of M -sequences will increase the structural secrecy of special-purpose radio systems. The structural secrecy of modulation signals by a cyclic code shift with adaptation in the information transmission rate based on perfect binary matrices is higher than the structural secrecy of M -sequences, moreover, with an increase in the length of the code sequence, the structural secrecy of modulation signals by a cyclic shift of the code with adaptation in the information transmission rate by the basis of perfect binary matrices is growing faster. The energy secrecy of the cyclic code shift modulation signals with adaptation to the information transmission rate based on perfect binary matrices is identical to the energy secrecy of the M -ary orthogonal modulation signals. The direction of further research is to study the noise immunity of signals with adaptation for the information transmission rate based on perfect binary matrices in conditions of multipath propagation of radio waves.

Keywords: modulation signals by the cyclic code shift, perfect binary matrices, secrecy.