

Methods of information systems synthesis

УДК 621.391

doi: 10.20998/2522-9052.2019.2.05

В. В. Гордійчук

Інститут Військово-Морських Сил НУ “Одеська морська академія”, Одеса, Україна

МЕТОДИКА ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ РАДІОСТАНЦІЙ З ПСЕВДОВИПАДКОВОЮ ПЕРЕСТРОЙКОЮ РОБОЧОЇ ЧАСТОТИ НА ОСНОВІ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В УМОВАХ ВПЛИВУ НАВМИСНИХ ЗАВАД

Анотація. Однією з важливих характеристик систем і засобів радіозв'язку, які функціонують в умовах радіоелектронного подавлення, є їх скритність, що є здатністю систем і засобів радіозв'язку протистояти дії засобів радіотехнічної розвідки. Одним з напрямків підвищення заводо захищеності та скритності засобів радіозв'язку є використання технології псевдовипадкової перестройки робочої частоти. Проведений автором статті аналіз відомих наукових джерел показав, що вони орієнтовані на позиційні сигнально-кодові конструкції та в них не використовуються таймерні сигнально-кодові конструкції. Автором статті проведено розробку методики вибору раціональних значень параметрів радіостанцій з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій в умовах впливу навмисних завад. В ході дослідження автором були використані основні положення теорії зв'язку, теорії радіоелектронної боротьби, теорії сигналів та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. Зазначена методика відрізняється від існуючих тим, що в методиці реалізовано вибір параметрів частотно-часової матриці таймерних сигнальних конструкцій в залежності від сигнально-завадової обстановки, що реалізує не тільки зміну швидкості перестройки робочих частот, але й зміну початкового заповнення полінома в залежності від типу та інтенсивності завад; використані завадостійкі та спектрально-ефективні сигнально-кодові конструкції, що підвищує заводо захищеність та швидкість передачі засобів радіозв'язку при дії навмисних завад. Ефективність використання алгоритму вибору параметрів частотно-часової матриці можливо оцінити по виграшу у ймовірності помилкового приймання сигналів, що забезпечується при перестройці режиму від початкового. Отже сумарний виграш від використання розробленої методики складає до 15-20% у порівнянні з використанням частотної модуляції і циклічних кодів при однаковій пропускній здатності при впливі різних видів навмисних завад та з використанням алгоритму формування частотно-часової матриці 20-25%. Враховуючи зазначене, напряму подальших досліджень слід вважати розробку науково-методичного апарату підвищення структурної скритності засобів радіозв'язку на основі використання таймерних сигнальних конструкцій.

Ключові слова: система радіозв'язку; радіоресурс; заводо захищеність; радіоелектронне подавлення; радіоелектронна розвідка; скритність.

Вступ

На фізичному рівні основними етапами перетворення сигналу в програмованій радіостанції є розширення спектру та модуляція (демодуляція) сигналу.

В якості методу розширення спектру передбачається використовувати метод псевдовипадкової перестройки робочої частоти (ППРЧ) (FHSS - frequency-hopping spread spectrum). Режим FHSS неодноразово проявив себе як ефективний в умовах впливу навмисних завад, будучи реалізованим у переважній більшості сучасних засобів зв'язку військового призначення.

В якості цифрових методів модуляції сигналу пропонується застосування спектрально-ефективних M позиційно фазоманіпульованих (ФМ- M), M позиційних сигналів з квадратурною амплітудною маніпуляцією (КАМ- M) та амплітудно-фазової модуляції АФМ- M [1-4].

Завдання знаходження сигнально-кодових конструкцій (СКК) звичайно вирішується шляхом аналізу енергетичних і частотних характеристик засобів радіозв'язку (ЗРЗ) для конкретних умов використання цих сигнально-кодових конструкцій [2].

У відомих роботах [1, 4] в умовах впливу навмисних завад сигнально-кодові конструкції вибиралися шляхом максимізації енергетичної ефективності при обмеженнях значення коефіцієнта заводо захищеності для середніх значень відношення сигнал-завада у дискретному симетричному каналі та при використанні аналітичних залежностей для розрахунку пропускної спроможності дискретного симетричного каналу, ефективних тільки для середніх відношень сигнал-завада, що відповідають ймовірності бітової помилки $P_0 < 10^{-6}$. У цих роботах не враховується те, що засоби радіозв'язку із FHSS в умовах впливу навмисних завад можуть працювати при низьких відношеннях сигнал-завада.

Проведений аналіз відомих наукових досягнень виявив те, що в існуючих методиках вибору параметрів засобів радіозв'язку не реалізована адаптивна зміна швидкості та закону перестройки робочої частоти у поєднанні з адаптивною зміною сигнально-кодової конструкції [1-5].

Метою зазначеної статті є розробка методики вибору раціональних значень параметрів радіостанцій з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій в умовах впливу навмисних завад.

Виклад основного матеріалу

Реалізація методики вибору параметрів засобів радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти в залежності від сигнально-завадової обстановки дозволить розширити можливості роботи засобів радіозв'язку та підвищити швидкість передачі.

Постановка задачі.

Задано: параметри радіозасобів та каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = 1, m$, де $\psi_1 \dots \psi_m$ – потужність корисного сигналу, тривалість імпульсу сигналу, смуга пропускання каналу зв'язку, вид навмисної завади, відношення сигнал/завада, швидкість стрибків, робоча частота, види модуляції, мінімально необхідна швидкість передачі інформації (необхідна пропускна спроможність), набір коригувальних кодів з відповідними параметрами: швидкість кодування, граничне значення відношення сигнал/шум в каналі, при якому коригувальний код починає давати вигоду порівняно з модуляцією без кодування.

Необхідно: визначити значення параметрів сигналу (вид і параметри TSC (timer signal constructions – таймерні сигнальні конструкції), кількість та швидкість стрибків, потужність передавача), при яких мінімізується ймовірність бітрової помилки P_b при виконанні обмежень на швидкість передачі в каналі $v_i \geq v_{i, \text{доп}}$.

Обмеження та допущення: вид модуляції – фазова модуляція (ФМ-М) та квадратурна амплітудна модуляція (КАМ-М), де M – обсяг ансамблю сигналів; розмірність ансамблю сигналів $2 \leq M \leq 16$; вид завадостійкого коду – турбокод зі швидкістю $0,2 \leq R \leq 0,75$; ймовірність помилкового приймання $P_b \leq 10^{-2}$, види навмисних завад: шумова загороджувальна завада, шумова завада в частині смуги, багатональна завада, ретрансльована завада. Для простоти проведення розрахунків навмисних завад будемо вважати їх як обмежений по смузі адитивний білий гаусівський шум зі спектральною щільністю потужності G_3 та різним коефіцієнтом γ , що характеризує частину смуги, яку займає завада.

Задача визначення параметрів сигналу з мінімальною ймовірністю бітрової помилки в системі з FHSS зводиться до типової оптимізаційної [1–5]:

$$\begin{cases} P_b = F_1(v_1, M, n, R, d, Q_3^2, P_c, K_{\text{п}}, K_{\text{ш}}) \rightarrow \min; \\ v_1 = F_2(M, n, R, d, Q_3^2, K_n) \geq v_{1, \text{доп}}. \end{cases} \quad (1)$$

Таким чином, вибір оптимальних параметрів радіозасобів з FHSS зводиться до адаптивного регулювання потужності сигналу, вибору режиму роботи FHSS та зміни параметрів СКК в залежності від завадової обстановки.

З [2] слідує, що, якщо множина допустимих розв'язків складається зі скінченного числа точок, що задаються обмеженнями системи рівнянь (1), то оптимізаційна задача може бути вирішена прямим перебором всіх значень цільової функції.

Методика вибору раціональних значень параметрів радіозасобів з FHSS проілюстрована на рис. 1

у вигляді алгоритму для її реалізації. Основні етапи методики є такими.

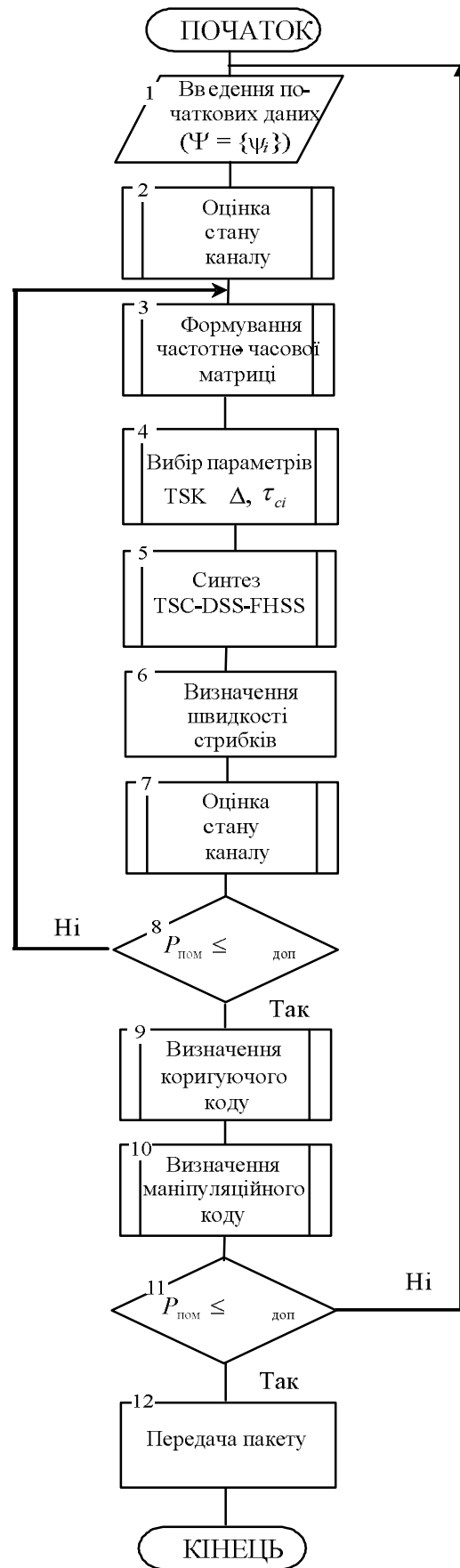


Рис. 1. Алгоритм реалізації методики

Дія 1. Введення початкових даних. Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1, m}$, а також заданої швидкості передачі інформації $v_{i \text{ доп.}}$.

Дія 2. Оцінювання стану каналу зв'язку. Для проведення аналізу якості каналу зв'язку застосовують дві групи методів аналізу часових рядів. До першої групи відносяться методи сумісної обробки вимірювань – найменших квадратів, максимальної правдоподібності, найменших модулів, непараметричні методи тощо [5, 6], які для отримання результату (оцінки) вимагають накопичення деякої вибірки об'ємом n - вимірювань (як правило, $n \gg 1$) і досить поширені на практиці. Другу групу утворюють методи, що використовують послідовну (по мірі надходження вимірювань) обробку даних. Їх теоретичною базою є оптимальна лінійна і нелінійна фільтрація [5, 6]. Важливо відзначити, що методи, засновані на оптимальній фільтрації вимірювань, можуть застосовуватися при більш загальних припущеннях (нестационарний характер процесів, що аналізуються, випадковість різних факторів тощо). Ця обставина разом з істотними перевагами обчислювального порядку, що проявляються при рішенні задач оцінювання по мірі проведення вимірювань (особливо для великих масивів даних), робить доцільним і актуальним використання методів оптимальної фільтрації для синтезу алгоритмів динамічного контролю якості робочих і резервних каналів зв'язку.

Дія 3. Формування частотно-часової матриці та визначення швидкості стрибків – на даному етапі визначається закон та швидкість перестройки робочої частоти в залежності від стану каналу, при цьому стовбець матриці є часовою позицією, а рядок відповідає умовному номеру частоти [3]. Для порівняння різних ЗРЗ з FHSS в якості однієї з ознак використовується швидкість стрибків частоти за одиницю часу. По цій ознаці розрізняють ЗРЗ з повільною, середньою та високою швидкістю перебудови частотних елементів. Для адекватного формування частотно-часової матриці необхідно зазначити те, що на ЗРЗ з FHSS впливають навмисні завади та різні види завмирань. Отже, якщо час роботи на одній частоті $T_c < t_3$, то на демодульований сигнал вплив амплітудних та частотно-селективних завмирань не відбувається. Якщо $T_c > t_3$, то вплив складової багатопроменевого поширення залежить від смуги частот модульованого сигналу, а також від швидкості стрибків. Для ЗРЗ з повільним FHSS час роботи на одній частоті $T_c \gg T_s$ тривалості передачі символу. Оскільки припускається, що $T_c > t_3$, то всі складові багатопроменевого поширення будуть на вході приймача протягом одиниці часу, поки сигнал знаходиться на одній і тій самій частоті, тому вплив багатопроменевого поширення буде таким самим, як і при відсутності частотних стрибків.

Передатна характеристика еквівалентного низькочастотного каналу змінюється кожного разу, коли несуча перестроюється на нову частоту, тому що є функцією несучої частоти. Як наслідок, при $T_c > t_3$

стрибки частоти видаляють вплив багатопроменевого поширення на процес демодуляції.

Алгоритм формування частотно-часової матриці складається з наступних етапів [4, 5]:

1. Визначення виду і характеристик навмисних завад.
2. Складання матриці гри радіоелектронного конфлікту.
3. Перевірка значення коефіцієнта перекриття та часу затримки.
4. Збільшення швидкості перестроювання робочої частоти.
5. Перевірка коефіцієнту розширення спектру.
6. Перевірка швидкості перестроювання робочої частоти на предмет максимального значення.
7. Збільшення коефіцієнту розширення спектру.
8. Перевірка коефіцієнту розширення спектру на предмет максимального значення.
9. Зміна початкового заповнення поліному частотно-часової матриці.

На першому етапі відбувається оцінювання каналу зв'язку на присутність у ньому навмисних завад, визначається вид завади та її параметри. При дії ретрансльованої завади на другому етапі перевіряється коефіцієнт перекриття γ . В залежності від значення γ та t_3 відбувається зміна швидкості перестроювання робочої частоти (етап 6, 7) або зміна початкового заповнення поліному частотно-часової матриці (етап 10).

Дії 5,6. Вибір параметрів TSC. Синтез TSC-FHSS.

У FHSS використовується алгоритм навмисного розширення спектра інформаційного сигналу в межах великого діапазону частот, що забезпечує йому суттєвого зменшення його рівня спектральної щільності. При цьому робоча частота несучого коливання сигналу передавача змінюється відповідно до деякого закону, який відомий тільки приймачу завадозахищеної системи зв'язку. В приймачі при виділенні інформаційного сигналу виконується зворотна операція по відновленню його початкової смуги частот.

Основною перевагою системи зв'язку з FHSS є складність прослуховування сигналу, що передається, або придушення його вузькосмуговою завадою через постійну зміну частоти несучого коливання підканалу. Таким чином, ускладнюється виявлення енергії сигналу в ефірі та знижується ймовірність перехоплення повідомлень засобами радіотехнічної розвідки [7, 8]. Подальшим підвищенням ефективності систем зв'язку з FHSS є застосування більш складніших за формою сигнальних конструкцій в індивідуальних каналах абонентів. Для рішення цієї задачі пропонується використовувати TSC, структурна прихованість яких була розрахована у роботі [7] у порівнянні з позиційними сигналами, що дозволяє зробити висновок про перспективність їх застосування при побудові завадозахищених систем зв'язку. Розрізняють повільну та швидку FHSS, але в повному обсязі дані методи неможливо застосувати до непозиційних сигнальних конструкцій.

Відомо [7], що більш стійким до завад є ширококутний сигнал, який сформований шляхом швидкого розширення спектра. Пояснюється це тим, що вплив вузькокутної завади на один з частотних підканалів f_i не приведе до повного спотворення біта, а дозволить відновити його полярність за мажоритарним принципом. Тривалість інтервалу перебування T_n пов'язана з тривалістю інформаційного символу t_0 співвідношенням:

$$T_n = \frac{t_0}{k}, \quad (2)$$

де k – кількість частотних підканалів на інтервалі t_0 .

Цієї властивості не має ширококутний сигнал з повільним розширенням спектра, проте його реалізація набагато простіша. Швидкість перебудови несучої частоти дорівнює або менше швидкості передавання бітової швидкості повідомлення. Тому, за період частотного підканалу може бути переданий один та більше біт. Тривалість T_n пов'язана з t_0 співвідношенням:

$$T_n = K \cdot t_0, \quad (3)$$

де K – кількість біт, які приходяться на один частотний підканал.

За порядком використання робочих частот розрізняють системи зв'язку з послідовним FHSS, якщо в кожний момент часу передавання ведеться на одній частоті, й з паралельним FHSS, якщо передавання ведеться одночасно на декількох частотах [7]. Для сигналів із FHSS вводиться поняття бази, що характеризує розширення спектра

$$B = \frac{\Delta f_{прч}}{\Delta F_c}, \quad (4)$$

де $\Delta f_{прч}$ – ширина використовуваного для передавання діапазону частот; ΔF_c – ширина спектра передавального сигналу.

У системах зв'язку можуть застосовуватися складні сигнали, що використовують ФМ ПВП і FHSS. У цьому випадку база сигналу буде визначатися виразом $B = M \times L$, де M – база ФМ ПВП; L – база сигналу FHSS.

Розглянемо особливості побудови сигнальних конструкцій на основі FHSS і TSC. В роботі [8] доведена доцільність розширення спектра TSC за рахунок використання швидкої FHSS. На рис. 2 наведені часові діаграми, що пояснюють алгоритм передачі TSC ($x_{TCK}(t)$) за допомогою FHSS ($f_{прч-TCK}(t)$). Якщо тривалість імпульсів таймерних сигналів t_c кратна елементу Δ , то вибір періоду однієї частоти може бути організовано з урахуванням рівності

$$t_{nep} = \Delta = \frac{t_0}{s}, \quad (5)$$

або

$$t_{nep} = \frac{t_0}{s \cdot i_\Delta}, \quad (6)$$

де i_Δ – кількість підканалів на тривалість Δ .

У бінарній системі з FHSS тривалості всіх імпульсів однакові, тому визначення значущих моментів відновлення (ЗМВ) прийнятих сигналів не представляє труднощів. У TSC перехід зі стану “0” в “1” і навпаки залежить від Δ в t_c , тому для позначення переходу ЗМВ в роботі [8] запропоновано використовувати деякі фіксовані частоти, які при необхідності також можуть мінятися від одного сеансу передавання до іншого. Застосування додаткових частот дозволяє підвищити надійність виділення фронтів таймерного сигналу. Наприклад, на рис. 2 такими частотами є f_1 для переходу імпульсу зі стану “1” в “0” і частота f_2 – для переходу “0” в “1”. При цьому очікуваний на прийманні сигнал із частотою f_3 (заштрихована область), згідно із законом зміни частоти відповідно до деякого псевдовипадкового коду, заміниться сигналом із частотою f_1 .

Аналогічно, замість очікуваного сигналу з частотою f_3 (заштрихована область) буде прийнятий сигнал з частотою f_2 , що дозволить визначити перехід імпульсу таймерної конструкції зі стану “0” в “1”.

Розглянемо принципи побудови систем зв'язку на основі FHSS та TSC [7, 8]. TSC поступають на вхід першого модулятора, з виходу якого формується сигнал:

$$u(t) = x_{TCK}(t) U_0 \cos(\omega_0 t).$$

Потім $u(t)$ надходить на другий модулятор, частота носійного коливання якого визначається кодовим сигналом. На виході буде сформований ширококутний сигнал:

$$u'(t) = x_{мск}(t) U_0 \cos(\omega_0 t) \cdot \cos(\omega(g(t)t)),$$

де $\cos(\omega(g(t)t))$ – це набір частот, який представляє собою функцію від кодового сигналу.

Використання одноетапної модуляції спрощує схему передавача. На основі комбінації кодового сигналу відбувається вибір частоти носійного коливання, зміна параметра (наприклад, фази) якого відбувається з урахуванням значень полярності TSC на інтервалі τ . Як зазначено в [8] для фіксування зміни фронтів таймерних сигналів запропоновано застосування відповідних додаткових частот.

Недоліком запропонованого методу є необхідність фіксування зміни полярності фронтів TSC за допомогою додаткових частот, тобто приймач повинен перебувати в постійному очікуванні приймання сигналів з частотою f_1 й f_2 . Як показано в попередній схемі передавача з одноетапною модуляцією, фіксування фронтів TSC при демодуляції можливо за рахунок фазової модуляції, тому додаткові частоти не потрібні.

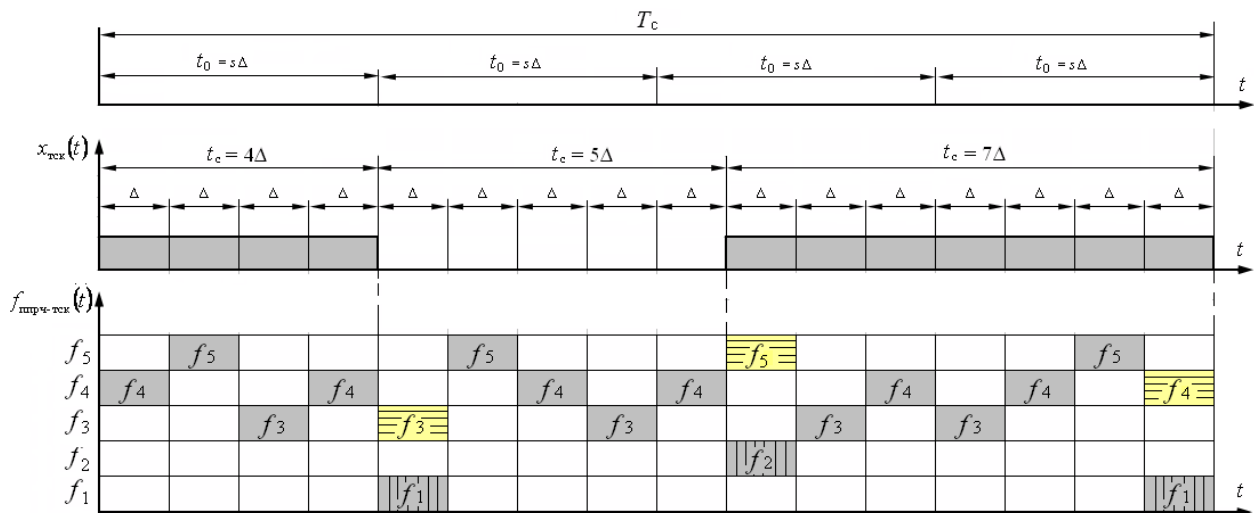


Рис. 2. Синтез сигнальної конструкції на інтервалі часу $T_c = n\tau$ при спільному використанні TSC і FHSS

Підвищення прихованості передавання сигналів FHSS та усунення зазначених недоліків запропоновано наступний алгоритм адаптації метода швидкої FHSS до розширення спектру TSC:

визначаються параметри TSC s , n та i ;

вибирається додаткова псевдовипадкова послідовність (ПВП) з тривалістю елементів

$$\tau = \Delta / j, \quad (7)$$

де j – кількість елементів τ на тривалості часу Δ ;

здійснюється розширення спектра TSC шляхом перемноження бінарних значень його амплітуд з амплітудами ПВП;

$$y_{TSC}(\tau) = x_{TSC}(\tau) \times c(\tau). \quad (8)$$

для елементів τ послідовності $y_{TSC}(\tau)$ застосовуються метод FHSS, але при цьому можливі варіанти, коли τ співпадає з періодом $t_{пер}$, а також $t_{пер} = \tau \cdot j$, тобто один частотний підканал об'єднує кілька послідовностей τ .

Як бачимо, у такому алгоритмі розширення TSC за допомогою FHSS не застосовані фіксовані частотні підканали для позначення переходів значущих моментів модуляції.

Для прийняття такого сигналу приймач системи зв'язку повинен мати не тільки закон зміни робочої частоти підканалів, але й послідовність прямого розширення спектру $c(\tau)$ таймерної сигнальної конструкції. Це потребує для виділення фронтів TSC застосування кореляційного приймача з опорним коливанням $c(\tau)$.

Таким чином, запропонований метод формування сигнальних конструкцій на основі FHSS з попереднім розширенням спектра TSC псевдовипадковими послідовностями дозволяє підвищити основні показники прихованості передачі: енергетичної, структурної й інформаційної. Однак залишається відкритим питання про вибір основних параметрів FHSS і TSC для побудови сигнальних конструкцій із заданими показниками якості в залежності від стану каналу зв'язку.

Вибір розмірності ансамблю маніпуляції сигнально-кодових конструкцій – обирається розмірність ансамблю сигналів з завчасно відомих варіантів, а саме: одномірних, двомірних та багатомірних сигналів. Вибір розмірності сигналу залежить від складності СКК, тобто при ускладненні СКК збільшується розмірність сигналу.

Вибір структури ансамблю маніпуляції сигнально-кодової конструкції – обирається структура ансамблю сигнально-кодової конструкції з завчасно відомих варіантів, а саме: на основі квадратної решітки, на основі трикутної решітки, ортогональні, біортогональні, симплексні. Зазначений вибір проводиться за умови мінімізації P_6 , тобто чим менше P_6 , тим простіша сигнальна конструкція.

Дія 9. Вибирається вид коригуючого коду. Обирається коригуючий код з завчасно відомих варіантів, а саме: турбо-коди, згорткові коди, каскадні коди. Різні види завадостійких кодів детально розглянуті в [7, 8]. Турбо-коди найбільш близько підходять до границі Шеннона, теоретичної межі максимальної пропускної здатності зашумленого каналу.

Перевагами турбо-кодів є незалежність складності декодування від довжини інформаційного блоку, порівняно невелика кодова відстань. Основні недоліки турбо-кодів – це відносно висока складність декодування і велика затримка, які роблять їх незручними для застосування у деяких сферах.

Дія 10. Вибирається маніпуляційний код. При узгодженні кодеку двійкового завадостійкого коду і модему багатопозиційних сигналів, необхідно використати маніпуляційний код, при якому збільшенню відстані по Хемінгу між кодовими комбінаціями відповідає більша відстань по Евкліду між сигналами, що відповідають їм. Як маніпуляційний код найкращим є код Грея у випадку відсутності апріорної інформації, тобто оптимальним для схем, що не використовують ітеративні методи декодування, а у випадках використання ітеративних методів MSP (modified set partitioning) – модифікований маніпуляційний код та MSEW (maximum squared Euclidean weight) – модифікований маніпуляційний код знаходження максимальної вагових коефіцієнтів Евкліда [2, 3].

Дії 11,12. Перевірка вимог по забезпеченню завадозахищеності ЗРЗ.

Якщо вимоги по забезпеченню $P_{ном}$ не виконуються, то виникає необхідність зміни вихідних даних. В тому випадку, якщо для декількох СКК виконується обмеження $P_{ном} \leq P_{ном доп}$, то обирається СКК з мінімальною ймовірністю бітової помилки.

Висновки

В зазначеній статті автором дослідження проведено розробку методики вибору раціональних значень параметрів радіостанцій з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій в умовах впливу навмисних завад.

Зазначена методика відрізняється від існуючих тим, що в методиці реалізовано вибір параметрів частотно-часової матриці таймерних сигнальних конструкцій в залежності від сигнально-завадової обстановки, що реалізує не тільки зміну швидкості перестройки робочих частот, але й зміну початково-

го заповнення полінома, в залежності від типу та інтенсивності завад; використані завадостійкі та спектрально-ефективні СКК, що підвищує завадозахищеність та швидкість передачі ЗРЗ при дії навмисних завад.

Ефективність використання алгоритму вибору параметрів частотно-часової матриці можливо оцінити по вирашу у ймовірності помилкового приймання сигналів, що забезпечується при перестройці режиму TSC-FHSS від початкового. Отже, сумарний вираш від використання розробленої методики складає до 15-20% у порівнянні з використанням модуляції типу ЧМ-М і циклічних кодів при однакової пропускній здатності при впливі різних видів навмисних завад та з використанням алгоритму формування частотно-часової матриці 20-25%.

Напрямок подальших досліджень слід вважати розробку науково-методичного апарату підвищення структурної скритності засобів радіозв'язку на основі використання таймерних сигнальних конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шишацький А. В. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил / А. В. Шишацький, О. М. Башкиров, О. М. Костина // Науково-технічний журнал "Озброєння та військова техніка". – Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2015. № 1(5)-2015. – С. 35–40.
2. Шишацький А. В. Методика вибору раціональних значень параметрів багатоантенних систем військового радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А. В. Шишацький, О. В. Кувшинов, С. П. Петрунчак // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 2 (50). – С. 151–155.
3. Кувшинов О. В. Аналіз шляхів підвищення скритності широкосмугових систем військового радіозв'язку / О. В. Кувшинов, А. В. Шишацький, В. В. Лютов, О. Г. Жук // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – Вип. 1 (50). – С. 24–28.
4. Шишацький А. В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад / А. В. Шишацький, В. В. Ольшанський, Р. М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2(46). – С. 62–66.
5. Шишацький А. В. Оцінка впливу навмисних завад на системи радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / Шишацький А. В., Зірка М. В., Кадет Н. П., Лютов В. В. // Проблеми інформатизації та управління. – Київ: НАУ, 2015. – № 4(52). – С. 37–44.
6. Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems / S. Kalantaievska, H. Pievtsov, O. Kuvshynov, A. Shyshatskiy, S. Yarosh, S. Gatsenko, H. Zubrytskyi, R. Zhyvotovskiy, S. Petruk, V. Zuiko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 5, 9 (95), P. 60–76.
7. Захарченко, М. В. Системи передавання даних, том 1 / М. В. Захарченко. – Завадостійке кодування : Підр. для студентів ВНЗ. – Одеса : Фенікс, 2009. – 448 с.
8. Захарченко Н. В. Сравнение позиционного и таймерного кодирования / Н. В. Захарченко, С. М. Горохов, А. В. Кочетков, В. В. Гордейчук // Збірник наукових праць ВІПТ. – № 1 – 2016. – С. 59–63.

REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M. (2015), "Development of integrated systems and data for Armed Forces", *Arms and military equipment*, No 1(5), pp. 35–40.
2. Shyshatskiy, A.V., Kuvshynov, O.V. and Petrunchak, S.P. (2017), "Method of choice of rational values of parameters of multi-antenna systems of military radio communication with frequency hopping spread spectrum", *Systems of armament and military equipment*, No. 2 (50), pp. 151–155.
3. Kuvshynov, O.V., Shyshatskiy, A.V., Lyutov, V.V. and Zhuk, O.G. (2017), "Analysis of ways to increase the secrecy of broadband radiocommunication systems", *Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces*, No. 1 (50), pp. 24–28.
4. Shyshatskiy, A.V., Olshansky, V.V. and Zhyvotovskiy, R.M. (2016), "Algorithm of choice of working frequencies for means of military radio communication under the conditions of intentional interference", *Systems of armament and military equipment*, No. 2 (46), pp. 62–66.
5. Shyshatskiy, A.V., Zirka, M.V., Kadet, N.P. and Lyutov, V.V. (2015), "Estimation of influence of deliberate interference on radio communication systems with pseudorandom perestroika of operating frequency", *Problems of informatization and control*, NAU, Kyiv, No. 4 (52), pp.37–44.
6. Kalantaievska, S., Pievtsov, H., Kuvshynov, O., Shyshatskiy, A., Yarosh, S., Gatsenko, S., Zubrytskyi, H., Zhyvotovskiy, R., Petruk, S. and Zuiko, V. (2018), "Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5-9 (95), pp. 60–76, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085>
7. Zakharchenko, M.V. (2009), "Interference-encoding", Textbook for undergraduate students, Phoenix, Odessa, 448 p.

8. Zakharchenko, M.V., Gorokhov, S.M., Kochetkov, O.V. and Hordiichuk V.V. (2016), "Comparison of positional and timer coding", *Collection of scientific works MITI*, No 1, pp.59–63.

Надійшла (received) 02.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 14.05.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Гордійчук Валерій Валентинович – начальник науково-організаційного відділення, Інститут Військово-Морських Сил Національного університету "Одеська морська академія", Одеса, Україна;

Valerii Hordiichuk – Head of the Scientific and Organizational Department, Institute of Naval Forces of the National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine;

e-mail: gordiychukvalval@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3665-4201>

Методика выбора рациональных значений параметров радиостанций с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты на основе таймерных сигнальных конструкций в условиях влияния преднамеренных помех

В. В. Гордейчук

Аннотация. Одной из важных характеристик систем и средств радиосвязи, функционирующих в условиях радиоэлектронного подавления, является их скрытность, что есть способностью систем и средств радиосвязи противостоять действию средствам радиотехнической разведки. Одним из направлений повышения помехозащищенности и скрытности средств радиосвязи является использование технологии псевдослучайной перестройки рабочей частоты. Проведенный автором статьи анализ известных научных источников показал, что они ориентированы на позиционные сигнально-кодовые конструкции и в них не используются таймерные сигнально-кодовые конструкции. Автором статьи проведена разработка методики выбора рациональных значений параметров радиостанций с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты на основе таймерных сигнальных конструкций в условиях воздействия преднамеренных помех. В ходе исследования автором были использованы основные положения теории связи, теории радиоэлектронной борьбы, теории сигналов и общенаучные методы анализа и синтеза. Указанная методика отличается от существующих тем, что в методике реализован выбор параметров частотно-временной матрицы таймерных сигнальных конструкций в зависимости от сигнально-помеховой обстановки, при этом реализуется не только изменение скорости перестройки рабочих частот, но и изменение первоначального заполнения полинома в зависимости от типа и интенсивности помех; использованы помехоустойчивые и спектрально-эффективные сигнально-кодовые конструкции, повышающие помехозащищенность и скорость передачи средств радиосвязи при действии преднамеренных помех. Эффективность использования алгоритма выбора параметров частотно-временной матрицы можно оценить по выигрышу вероятности ложного приема сигналов при перестройке режима от исходного. Итак, суммарный выигрыш от использования разработанной методики составляет до 15-20% по сравнению с использованием частотной модуляции и циклических кодов при одинаковой пропускной способности при воздействии различных видов умышленных помех и с использованием алгоритма формирования частотно-временной матрицы 20-25%. Учитывая указанное, направлением дальнейших исследований следует считать разработку научно-методического аппарата повышения структурной скрытности средств радиосвязи на основе использования таймерных сигнальных конструкций.

Ключевые слова: система радиосвязи; радиоресурс; помехозащищенность, радиоэлектронное подавление; радиоэлектронная разведка; скрытность.

Method of selection of rational dimensions of parameters of radio stations with the frequency hopping spread spectrum on and the basis of timer signal constructions in the conditions of the intentional interference

V. Hordiichuk

Abstract. One of the most important characteristics of systems and radiocommunication devices operating in conditions of radio-electronic suppression is their secrecy, which is the ability of systems and devices of radio communication to withstand the action of radiotechnical intelligence. One of the ways to increase the noise immunity and stealth the radio communication devices is to use the pseudorandom frequency adjustment technology. The analysis of well-known scientific sources by the author of the article showed that they are oriented to positional signal-code designs and do not use timer signal-code designs. The author of the article is devoted to the development of a method for selecting rational parameters of radio stations parameters with pseudorandom processing of frequency on the basis of timer signal structures in conditions of intentional interference. During the research, the author used the basic provisions of the communication theory, the theory of electron-fight theory, the theory of signals, and general scientific methods of analysis and synthesis. The mentioned technique differs from the existing ones because the method of selecting the parameters of the frequency-time matrix of timer signal structures, depending on the signal-interference situation, implements not only the change in the speed of the adjustment of operating frequencies, but also the change in the initial filling of the polynomial, depending on the type and intensity interference; noise immunity and spectrally effective signal-code designs have been used, improves noise immunity and speed of radio communication during intentional interference. The efficiency of using the algorithm for selecting the parameters of the time-frequency matrix can be estimated by gaining the probability of false reception of signals when the mode is restored from the original. Thus, the total gain from using the developed technique is up to 15-20% compared with the use of frequency modulation and cyclic codes at the same bandwidth under the influence of various types of intentional interference and using the algorithm for the formation of the frequency-time matrix of 20-25%. Taking into account the above, the direction of further research should be considered in the development of a scientific and methodical apparatus for increasing the structural stealth of radio communication devices based on the use of timer signal structures.

Keywords: radio communication system; radio resource; noise immunity; radio electron suppression; radioelectronic intelligence; stealth.