

УДК 621.391

А.В. Шишацький¹, О.Г. Жук², Р.М. Животовський¹¹ Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ² Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ПРОГРАМОВАНИХ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

У статті запропоновано методику управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, що заснована на виборі оптимального режиму роботи в залежності від типу передаваної інформації та сигнально-завадової обстановки.

Ключові слова: сигнально-завадова обстановка, швидкість передачі інформації, ймовірність бітрової помилки, радіоелектронне подавлення, навмисні завади.

Вступ

В якості важливої умови реалізації глобального інформаційного простору розглядається створення трансформованої та гнучкої архітектури систем зв'язку. Головними відмінностями зазначеної архітектури від існуючої є використання систем високого рівня інтеграції, а також спряження різноманітних та різнотипних радіоелектронних систем, які повинні забезпечити вчасне доведення інформації до користувачів, оминаючи проміжні ланцюги. С цією метою здійснюється перехід від різнотипних незалежно функціонуючих підсистем до провадження інтегрованих систем зв'язку та передачі даних як сукупності уніфікованих багатofункціональних широкодіапазонних радіостанцій та комутаційних пристроїв, які об'єднані єдиною системою управління, що забезпечують передачу потоків різнотипної інформації (мовні сигнали, дані, графічні та відео зображення). [1]

В якості основних режимів роботи для перспективних засобів радіозв'язку використовуються метод ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) [2] та метод псевдовипадкової перестройки робочої частоти (ППРЧ) [3].

За рахунок використання технології OFDM досягається висока швидкість передачі за рахунок одночасної передачі даних по всіх підканалах, а швидкість передачі в окремому підканалі може бути і невисокою. Основними перевагами даного методу є відносно висока стійкість щодо частотно-селективних завмирань і вузькосмугових завад, а також висока спектральна ефективність. Але при наявності в каналі навмисних завад, особливо імітаційно-дезінформуючих, ефективність функціонування засобів радіозв'язку з OFDM значно знижується, іноді до повної втрати переданої інформації. Спектральна щільність потужності завад при прийманні після прямого перетворення Фур'є розподіляється практично по всіх частотних підканалах, що або ускладнює, або й зовсім

унеможливує приймання OFDM-сигналу. [2] Отже, зазначена технологія не забезпечує стійкої роботи в умовах активного радіоелектронного подавлення.

Для методу ППРЧ принцип боротьби з завадами полягає в розміщенні інформаційного сигналу з малою розмірністю в високорозмірному просторі сигналу. В таких умовах постановник завад повинен або розподіляти обмежену потужність завад по всьому простору радіосигналу, тим самим створювати малу спектральну щільність потужності завад, або використовувати всю потужність передавача завад в малому підпросторі, залишаючи частину простору радіосигналу вільною від завад. Однією із важливих характеристик засобів радіозв'язку з розширенням спектру з точки зору завадозахищеності є коефіцієнт розширення спектру. Цей коефіцієнт характеризує міру збільшення відношення сигнал-завада в результаті згорання розширеної смуги частот радіосигналу та приведення її до смуги частот інформаційного сигналу. В загальному випадку, незалежно від методу розширення спектру, вираз для коефіцієнта розширення спектру можна отримати шляхом представлення сигналу сумою ортогональних сигналів, які розташовані в N -вимірному геометричному просторі [3]. Для методу ППРЧ характерними недоліками є: низька швидкість передачі інформації та відсутність механізмів боротьби з завмираннями, що призводять до появи пакетів помилок у каналі зв'язку.

Тому **метою статті** є розробка методики управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку з метою підвищення завадозахищеності їх функціонування.

Постановка завдання

Задано: параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1, n}$, де $\Psi_1 \dots \Psi_n$ – кількість (сукупність) піднесучих, кількість робочих частот для перестройки, коефіцієнт розширення спектру, потужність передавача, відношення сиг-

нал/шум в каналі (задається для кожного підканалу окремо), робоча частота, види модуляції, мінімально необхідна швидкість передачі інформації (необхідна пропускна спроможність), смуга пропускання каналу зв'язку, набір коригувальних кодів з відповідними параметрами: швидкість коригувального коду, граничне значення відношення сигнал/шум в каналі, при якому коригувальний код починає давати вираш порівняно з модуляцією без кодування. Початковий режим роботи, який забезпечує мінімально необхідну швидкість передачі інформації $v_{i\text{доп}}$, передбачає використання усіх під несучих та робочих частот, багатопозиційної квадратурної амплітудної маніпуляції (КАМ-М) та багатопозиційної фазової маніпуляції (ФМ-М) та коригувального коду із заданою швидкістю ($R = 0,5$).

Необхідно: визначити параметри сигналу (кількість активних піднесучих, кількість робочих частот, що будуть використовуватися при передачі повідомлень, сигнально-кодову конструкцію для кожної під несучої та робочої частоти (вид модуляції та коригувального коду), при яких максимізується частотна ефективність СРЗ β_F при виконанні обмежень на значення ймовірності бітової помилки приймання сигналів $P_6 \leq P_{6\text{ доп}}$.

Обмеження: вид коригувального коду – згорточні коди зі швидкостями $R = (1/4, 2/5, 1/2, 3/5, 3/4)$; вид сигналу – для методу ППРЧ ФМ-8 та КАМ-16, для методу OFDM КАМ-М та ФМ-М, розмірність маніпуляції $M = (16, 32, 64, 128, 256)$, кількість піднесучих N ($N = 256$); кількість робочих частот - n ($n=256$), тип завад – адитивні; максимально допустима ймовірність помилкового приймання сигналів

$$P_{6\text{ доп}} = 10^{-2}, 10^{-1} \leq P_{61} \leq 10^{-3}, 10^{-4} \leq P_{62} \leq 10^{-6}.$$

Допущення: стан передатної характеристики каналу зв'язку $H_{\text{заг}}$ перед передачею чергового символу відомий та не змінюється під час передачі символу; амплітудна характеристика підсилювача потужності передавача лінійна, нелінійні спотворення сигналу відсутні, потужність передавача є незмінною $P_{\text{прд}} = \text{const}$.

Виклад матеріалу дослідження

Завдання вибору оптимального режиму роботи засобу радіозв'язку частотної та енергетичної ефективності зводяться до типової оптимізаційної задачі:

$$\begin{cases} \beta_E = F_1(v_i, \Delta F, M, n, R, d, P_c, N_A) \rightarrow \max; \\ P_6 = F_2(P_c, M, n, R, d, N_A, K_p) \leq P_{6\text{ доп}}; \\ v_i = F_3(M, R, N_A, v_{\text{пер}}) \geq v_{i\text{ доп}}. \end{cases} \quad (1)$$

де N_A – кількість активних піднесучих (підканалів, в яких передається інформація), $N_A = N - N_B$, N_B – підканали, що внаслідок дії завад відключаються, P_c –

потужність сигналу в підканалі ($P_c = P_{\text{прд}} / N_A$), G_0 – спектральна щільність потужності шуму, M_i – розмірність ансамблю сигналів, R_i – швидкість коригувального коду ($R_i = k/n$), k – кількість інформаційних біт на вході кодера, n – кількість біт на виході кодера, K_p – коефіцієнт розширення спектру, $v_{\text{пер}}$ – швидкість перестройки робочої частоти, $d_{\text{фi}}$ – величина вільної відстані, що характеризує завадозахисні властивості коду, i – індекс підканалу (частоти), ΔF – ширина спектра сигналу. Значення $P_{\text{прд}}, \Delta F, T_S$ є постійними, значення $G_{0i}, M_i, R_i, d_{\text{фi}}$ задаються для кожного активного підканалу (робочої частоти).

Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку, алгоритм реалізації якої подано на рис. 1, складається з таких етапів.



Рис. 1. Алгоритм реалізації методики управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку

1. Введення вихідних даних. Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Pi = \{\psi\}$, а також значення мінімально необхідної швидкості передавання $v_{i\text{доп}}$ та ймовірності бітової помилки P_6 .

2. Оцінка рівня помилок у каналі та амплітудно-частотної характеристики стану каналу зв'язку. Здійснюється аналіз рівня P_6 бітових помилок у каналі та комплексного коефіцієнту передачі (або передатної функції).

3. Здійснення вибору режиму роботи засобу радіозв'язку. На основі отриманої інформації про стан каналу зв'язку здійснюється вибір режиму роботи засобу радіозв'язку. Правило вибору ґрунтується на вимогах, що пред'являються до різних видів інформації у перспективних системах передачі інформації та наведені у табл. 1 [4].

Вимоги, що пред'являються до різних видів інформації у перспективних системах передачі інформації

Тип інформації	Ймовірність бітової помилки	Пріоритет	Затримка
Низько швидкісний голосовий потік (реальний час)	10^{-2}	Високий	Високочутлива (< 250 мс)
Аварійний виклик (критичний)	10^{-4}	Високий	Високочутлива (250 мс -5 сек)
СМС (найкраща якість)	10^{-3}	Низький	Дуже терпимий (> 10 сек)
Тактичний чат (не в реальному часі)	10^{-3}	Середній	Терпимий (5 мс -10 сек)
Повідомлення команд та управління (критичний)	10^{-3}	Високий	Високочутлива (250 мс -5 с)
Передача файлів (найкраща якість)	10^{-6}	Середній	Дуже терпимий (>1 хв.)
Відео в реальному часі	10^{-6}	Середній	Високочутлива (< 250 мс)

При здійсненні передачі інформації, до якої вимоги значення P_6 у каналі зв'язку в межах $10^{-1} \leq P_{61} \leq 10^{-3}$, обирається у якості режиму роботи ППРЧ, а якщо $10^{-4} \leq P_{62} \leq 10^{-6}$, то обирається режим роботи OFDM. При цьому вибір параметрів режимів роботи здійснюється за розробленими у роботах [5, 6] методиками.

4. Здійснення аналізу стану каналу зв'язку. У разі відповідності стану каналу зв'язку параметрам, що відповідають тому типу інформації, що передається по каналу зв'язку то здійснюється передача інформації, якщо ні, то здійснюється повернення алгоритму у початкове положення.

Висновки

В роботі запропоновано методику управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку, що призначений для підвищення заводо-захищеності систем військового радіозв'язку. Новизна розробленої методики від відомих полягає у тому, що розроблена методика реалізує управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку у залежності від виду передаваної інформації та сигнально-завадової обстановки.

Використання розробленої методики дозволить підвищити заводо-захищеність засобів радіозв'язку на 12-15% у порівнянні з відомими.

Напрямок подальших досліджень є розробка удосконаленої методики адаптивного управління

режимами роботи багаторежимних засобів радіозв'язку.

Список літератури

1. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи / В.А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63–65.
2. Кувшинов О.В. Напрямки вдосконалення технології OFDM при впливі навмисних завад / О.В. Кувшинов, Л.Л. Бортнік, О.Г. Жук // Збірник наукових праць ВІКНУ. – 2011. – Вип. 30. – С. 121-126.
3. Основи теорії телекомунікацій : підр. / [О.В. Корнейко, О.В. Кувшинов, О.П. Лежнюк та ін.]; за заг. ред. М.Ю. Ільченка. – К.: Політехніка, 2010. – 786 с.
4. David Young C. USAP Multiple Access: Dynamic Resource Allocation for Mobile Multihop Multichannel Wireless Networkmg / C. David Young // Proc. IEEE MILCOM '99, October 1999.
5. Шишацький А.В. Методика формування сигнально-кодових конструкцій OFDM-сигналу в умовах впливу навмисних завад та селективних замирань / А.В. Шишацький // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – №7 (132). – С. 71-77.
6. Шишацький А.В. Удосконалена методика адаптивного синтезу сигнально-кодових конструкцій радіозасобів з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А.В. Шишацький // Збірник наук. праць ЦНДІ ОБТ ЗС України. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2015. – Вип. 4(59). – С. 193-205

Надійшла до редколегії 23.03.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ПРОГРАММИРУЕМЫХ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ

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

В статье предложено методику управления режимами работы программируемых средств радиосвязи в условиях воздействия преднамеренных помех, которая основана на выборе оптимального режима работы в зависимости от типа передаваемой информации и сигнально-помеховой обстановки.

Ключевые слова: сигнально-помеховая обстановка, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление, преднамеренные помехи.

METHOD OF CONTROLLING MODES OF WORK PROGRAMMABLE RADIO EQUIPMENT

A.V. Shishatskiy, O.G. Zhuk, R.M. Zhitovovsky

In article offer method of controlling modes of work programmable radio equipment in conditions of intentional interference, which based on the choice of optimal mode work in dependence of type of transmitted information and signal-jamming environment.

Keywords: signal-jamming environment, speed of information transfer, bit error probability, radio-electronic suppression, intentional jamming.