

УДК 621.391

А.В. Шишацький¹, О.В. Кувшинов², С.П. Петрунчак³¹ ЦНДІ озброєння та військової техніки ЗС України, Київ² Управління нормативно-методичного забезпечення та моніторингу володіння, використання та розпорядження нерухомого майна і земель, Київ³ Оперативне командування "Північ", Чернігів

МЕТОДИКА ВИБОРУ РЕЖИМІВ РОБОТИ БАГАТОАНТЕННИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

У статті запропоновано методику вибору режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку в залежності від сигнально-завадової обстановки, яка заснована на адаптивному управлінні режимами роботи та параметрами режимів багатоантенних систем. Розроблена методика дозволяє здійснювати вибір режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку за схемами MIMO та MIMO-OFDM.

Ключові слова: сигнально-кодова конструкція, швидкість передачі інформації, ймовірність бітової помилки, радіоелектронне подавлення, MIMO.

Вступ

Сучасні військові системи радіозв'язку (ВСРЗ) функціонують в складній радіоелектронній обстановці, яка характеризується наявністю в каналі зв'язку навмисних завад та завмирань сигналу.

Однією з технологій, що дозволяють ефективно боротися з навмисними завадами та завмираннями сигналу, а також значно збільшити пропускну здатність радіоканалів є технологія „багато входів – багато виходів” (MIMO – Multiple-Input Multiple-Output) [1–2].

У технології MIMO об'єднані просторово-часові методи прийому з використанням адаптивних антен, методи просторово-часового кодування і просторово-часового розділення сигналів [1–2].

Перевагами технології MIMO є:

- підвищення дальності роботи засобів радіозв'язку (ЗРЗ);
- наявність ефективних механізмів боротьби з завмираннями сигналів;
- підвищення пропускну здатності каналів зв'язку та рахунок формування фізично розподілених каналів.

Іншим напрямком підвищення ефективності військових систем радіозв'язку (ВСРЗ) є технологія ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням (OFDM–Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [3–5].

Основною особливістю технології OFDM сигналів є її інваріантність до явища багатопроменевості в каналі та висока пропускну здатність.

Однак зазначена технологія має наступні недоліки, основними з яких є: високий пік-фактор; нелінійні спотворення в радіотракті; помилки синхронізації та низька завадозахищеність [3–5].

Проте, проведений аналіз сучасних систем мобільного зв'язку показав, що для підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу системи WiMax та LTE використовують гібридну технологію MIMO-OFDM [6].

Проведемо аналіз переваг та недоліків зазначеної гібридної технології. До переваг зазначеної технології MIMO-OFDM відноситься [7–8]:

- адаптивне кодування та модуляція;
- для збільшення ємності в технології MIMO-OFDM використовуються канали шириною 40 МГц, що забезпечує на коротких та середніх дистанціях високу перепускную спроможність;
- окрім збільшення спектральної ефективності ЗРЗ β_E , OFDM дозволяє зменшити негативні наслідки багатопроменевого поширення радіохвиль та міжсимвольної інтерференції.

Зазначені переваги технології MIMO-OFDM обумовлюють високі швидкості передачі та ефектне використання радіочастотного ресурсу.

До недоліків технології MIMO-OFDM можна віднести:

- наявність спотворень в нелінійному передавачі, які суттєво знижують ефективність квадратурної амплітудної маніпуляції (КАМ) у порівнянні з фазоманіпульованими (ФМ) сигналами. Тому, лінійність каналу з КАМ є однією з основних вимог до ЗРЗ з MIMO-OFDM. При цьому зазначені вимоги збільшуються зі збільшенням позиційності маніпуляції [7–8];

– при збільшенні позиційності КАМ зменшується завадозахищеність, оскільки зменшується різниця між суміжними значеннями амплітуд та фаз сигналу.

Зазначені недоліки обумовлюють низьку завадозахищеність зазначеної технології, обмежують

дальність зв'язку, що робить її використання у військах досить обмеженим.

Тому метою статті є розробка методика вибору режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку для підвищення заводо захищеності та ефективності використання радіочастотного ресурсу.

Виклад основного матеріалу

Методика вибору режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку, алгоритм реалізації якої наведений на рис. 1, складається з наступних етапів.

1. *Введення вихідних даних (дія 1 на рис. 1).* Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, а також значення допустимої величини ймовірності помилкового приймання сигналів $P_{б\text{ доп}}$ та мінімально необхідної швидкості передачі інформації $v_{i\text{ доп}}$.

2. *Оцінка стану каналу зв'язку (дія 2 на рис. 1).*

На даному етапі проводиться оцінювання стану каналу зв'язку за допомогою безеталонної методики оцінювання, що розроблена в [9].

3. *Прогнозування стану каналу зв'язку (дія 3 на рис. 1).*

На даному етапі відбувається прогнозування сигнально-заводової обстановки. Зазначена процедура відрізняється від відомих тим, що додатково містить операції:

- рециркуляції вхідних даних на один відлік;
- передискретизації вихідного процесу в логарифмічному масштабі часу;
- знаходження енергетичного спектру отриманого сигналу, визначенням відгуку;
- знаходження ентропії енергетичного спектру відповідної вибірки, що підлягає передискретизації, розрахунку максимального значення відгуків ентропії;
- знаходження прогнозу для реалізації максимального значення ентропії;
- передискретизації результату прогнозування в експоненційному масштабі часу.

Зазначена процедура має наступну послідовність дій [19]:

1. Відбувається введення вихідних даних.
2. Виконується часове стиснення процесу, який прогнозується, що необхідне для забезпечення обробки сигналів в режимі реального часу.

При цьому на кожному кроці реалізація оновлюється на один відлік.

Таким чином, формується клас реалізацій, що відрізняється один від одного зсувами на один відлік. Для формування класу дискретних відліків кожна реалізація піддається операції логарифмування та дискретизації.

Далі здійснюється знаходження максимального значення ентропії в відповідності з відношенням:

$$H(f) = - \int_{-1/2}^{1/2} \ln \left(\frac{X(f)}{\int_{-1/2}^{1/2} (X(f)) df} \right) df,$$

де $X_n(f) = \frac{X(f)}{\int_{-1/2}^{1/2} (X(f)) df}$ – нормований енергетич-

ний спектр вибірки, $X(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} r_{ss}(n) \exp(-2\pi fn)$,

$r_{ss}(n)$ – кореляційна функція процесу. Використання запропонованої процедури дозволяє отримати більш точний прогноз, чим при використанні інших відомих процедур.

4. *Вибір робочих частот з урахуванням стратегії засобів радіоелектронного подавлення (дія 4 на рис. 1).*

На підставі розробленого в роботах [10–12] науково-методичного апарату вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку проводиться аналіз радіочастотного ресурсу під час якого здійснюється визначення подавлених частотних діапазонів та стратегії комплексів радіоелектронного подавлення противника.

5. *Вибір режиму роботи (дії 5, 6, 9 на рис. 1).*

В залежності від необхідної швидкості передачі та сигнально-заводової обстановки відбувається вибір робочого режиму.

В якості робочих режимів в даному випадку використовується технологія MIMO-OFDM та MIMO. При $\beta_F \rightarrow \max$ використовується MIMO-OFDM, а при $\beta_E \rightarrow \max$ використовують MIMO. Детальне обґрунтування зазначеного вибору наведено в роботах [13–14].

6. *Вибір параметрів сигналу для режиму роботи (дія 8, 11 на рис. 1).*

Після проведення оцінки впливу навмисних завад та завмирань сигналу для кожного з режимів, проводиться вибір раціональних значень параметрів сигналу, де за допомогою проведеного математичного моделювання, здійснюється початкове введення параметрів ЗРЗ та каналу зв'язку, відбувається вибір раціональних значень параметрів для кожного з режимів, як це зазначено в роботах [5; 15–16].

7. *Здійснення аналізу стану каналу зв'язку (дія 12).*

За допомогою розробленої в [9] методики здійснюється оцінювання стану каналу зв'язку ЗРЗ, на підставі чого відбувається прийняття рішення щодо відповідності характеристик каналу зв'язку вимогам, що висувуються до його якості.

8. Перевірка виконання вимог з завадозахищеності для кожного з режимів (дія 13).

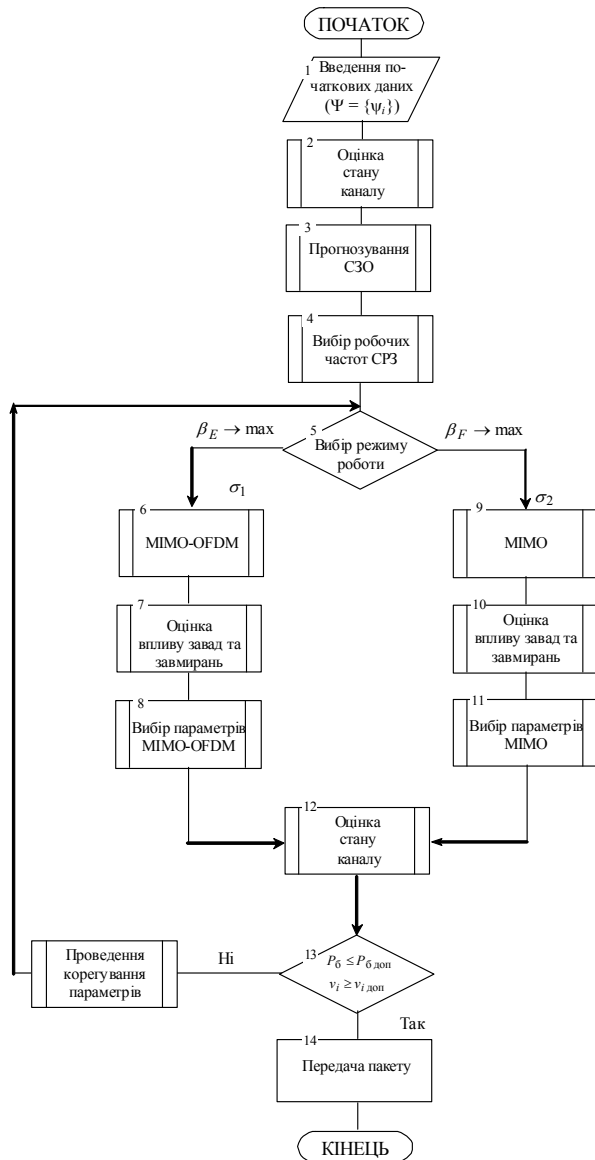


Рис. 1 Алгоритм реалізації методики вибору режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку

У разі відповідності стану каналу зв'язку параметрам, що задовольняють тому типу інформації, яка передається по каналу зв'язку, здійснюється передача пакету, якщо ні, здійснюється передача пакету та передається інформація про теперішній стан каналу зв'язку для корегування вибору режиму роботи ЗРЗ, що дозволить зменшити час прийняття рішення, щодо доцільності використання режиму роботи.

Висновки

1. В роботі запропоновано методика вибору режимів роботи багатоантенних систем військового радіозв'язку.

Сутність зазначеної методики полягає у виборі режиму роботи та параметрів режимів багатоантенних засобів військового радіозв'язку в залежності від сигнально-завадової обстановки та необхідної швидкості передачі інформації.

Новизна розробленої методики полягає у виборі робочих частот з урахуванням стратегії комплексів радіоелектронного подавлення та прогнозуванні стану каналів зв'язку, а також адаптації параметрів ЗРЗ у кожному з режимів роботи для підвищення ефективності функціонування військових систем радіозв'язку. Проведене математичне моделювання показало, що використання зазначеної методики дозволяє підвищити ефективність військових ЗРЗ на 12–20 % в залежності від складності сигнально-завадової обстановки.

В роботах [17–20] розроблено комплекс патентів України на корисні моделі, в яких детально описано структурні схеми засобів радіозв'язку, що дозволяють працювати в декількох режимах роботи та проводити корегування параметрів режимів в ході ведення сеансу радіозв'язку.

Напрямок подальших досліджень є розробка методики управління параметрами ЗРЗ з MIMO-OFDM в умовах впливу навмисних завад.

Список літератури

1. Слюсар В. Системи MIMO: принципи побудови та обробка сигналів / В. Слюсар // *Електроніка: Наука, Технологія, Бізнес.* – 2005. – № 8. – С. 52–58.
2. Кувшинов О.В. Аналіз характеристик систем радіодоступу з технологією MIMO / О.В. Кувшинов, Д.А. Міночкін // *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.* – К.: ВІКНУ, 2006. – Вип. № 3– С. 51–56.
3. Математична модель спотворення сигналу в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням при впливі навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, М.В. Борознюк, І.Ю. Рубцов // *Системи обробки інформації.* – 2016. – № 3. – С. 181–186.
4. Slyusar V.I. A processing of OFDM signals from UAV on digital antenna array of base station in conditions of jammers // *Information Systems Technology Panel Symposium (IST-091/RSY-021) "Information Assurance and Cyber Defence".* - Antalya, Turkey, 26-27 April 2010.
5. Шишацький А.В. Методика формування сигнально-кодівих конструкцій OFDM-сигналу в умовах впливу навмисних завад та селективних завмирань / А.В. Шишацький // *Системи обробки інформації.* – 2015. – № 7 (132). – С. 71–77.
6. Тихвинский В.О. Сравнительный анализ спектральной эффективности систем UMTS и LTE. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, И.В. Минаев. - М.: Эко-Трендз, 2007. – 400 с.
7. Вишневецкий В.М. Энциклопедия WiMax. Путь к 4G / В.М. Вишневецкий, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2009. – 465 с.
8. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.

9. Удосконалена методика оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, В.В. Лютов, Р.М. Животовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 4. – С. 117-121.

10. 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. – С. 62-66.

11. Шишацький А.В. Методика вибору резервних робочих частот в системах радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А.В. Шишацький, О.В. Кувшинов // Дванадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”, тези доповідей, 13–14 квітня 2016 року. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, – 2016. – С. 214.

12. Шишацький А.В. Методика вибору робочих частот в складній електромагнітній обстановці / А.В. Шишацький / Системи управління, навігації та зв'язку Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – №1 (41). – 2017. – С. 146-149.

13. Шишацький А.В. Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, Р.М. Животовський // Збірник наукових праць “Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України”. – Х.: ХУПС, 2016. – № 2(23). – С. 135-137.

14. Жук О.Г. Методика адаптивного управління режимами роботи систем військового радіозв'язку / О.Г. Жук // Системи обробки інформації. – 2017. – № 3. – С. 106-114.

15. Кувшинов О.В. Аналіз методів формування сигналів в системах з МІМО / О.В. Кувшинов, В.К. Чумак, О.В. Волков // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – Вип. № 2. – С. 63-70.

16. Ермолаев В.Т. Уменьшение вероятности битовой ошибки при параллельной передаче информации в МІМО системе / В.Т. Ермолаев, Е.А. Маврычев, А.Г. Флакман // Изв. Вузов. Радиофизика. – 2003. – Т. 46, № 3. – С. 251-260.

17. Патент України на корисну модель №105370. МПК Н04В 1/54(2006.01), Н04В 3/60 (2006.01). Програмована радіостанція [Текст] / А.В. Шишацький, О.В. Кувшинов, О.Г. Жук, С.О. Клімович, В.О. Комаров, Т.Ю. Куровська, Н.Ю. Білько. – Заявл. 28.10.2015 року, патент опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.

18. Патент України на корисну модель № 96530. МПК Н04В 1/00(2015.01), Н04В 3/00(2006.01). Пристрій прийому та передачі OFDM-сигналів підвищеної стійкості [Текст] / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, О.В. Кувшинов, В.О. Комаров, Т.Ю. Куровська, С.М. Прокопенко. – Заявл. 18.08.2014 року, патент опубл. 10.02.2015 року, Бюл. № 3.

19. Патент України на корисну модель № 107001. МПК Н04В 1/38(2015.01), Н04В 3/60 (2006.01). Програмована радіостанція з прогнозуванням завадової обстановки [Текст] / А.В. Шишацький, О.В. Кувшинов, В.А. Голуб, В.А. Романюк, Р.О. Беляков, О.Ф. Сальнікова, Т.Г. Гурський. – Заявл. 25.12.2015 року, патент опубл. 10.05.2016 року, Бюл. № 9.

20. Патент України на корисну модель №106859. МПК Н04В 1/70(2016.01), Н04В 70/00. Програмована радіостанція [Текст] / А.В. Шишацький, О.В. Кувшинов, О.Г. Жук, В.А. Голуб, Т.Ю. Куровська, О.М. Башкиров, В.В. Лютов. – Заявл. 11.11.2015 року, патент опубл. 10.05.2016 року, Бюл. № 9.

Надійшла до редколегії 15.03.2017

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

МЕТОДИКА ВЫБОРА РЕЖИМОВ РАБОТЫ МНОГОАНТЕННЫХ СИСТЕМ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ

А.В. Шишацкий, А.В. Кувшинов, С.П. Петрунчак

В статье предложена методика выбора режимов работы многоантенных систем военной радиосвязи в зависимости от сигнально-помеховой обстановки, которая основана на адаптивном управлении режимами работы и параметрами режимов многоантенных систем. Разработанная методика позволяет осуществлять выбор режимов работы многоантенных систем военного радиосвязи по схемам МІМО и МІМО-OFDM.

Ключевые слова: сигнально-кодовая конструкция, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление, МІМО.

THE METHOD OF SELECTING THE OPERATING MODE OF MULTI-ANTENNA MILITARY RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS

A. Shishatskiy, A. Kuvshinov, S. Petrunchak

The article proposes a technique for selecting the modes of operation of multi-antenna systems of military radio communication, depending on the signal-interference situation, which is based on adaptive control of operating modes and parameters of multi-antenna systems. The developed technique allows to select the modes of operation of multi-antenna systems of military radio communication according to the schemes MIMO and MIMO-OFDM.

Keywords: signal-code construction, information transfer rate, bit error probability, radio electronic suppression, MIMO.