

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

*Технології фізичного рівня для систем супутникового зв'язку розвиваються повільніше, ніж для систем безпроводового наземного зв'язку. У даній роботі запропоновані технології передачі сигналів з області наземних безпроводових телекомунікацій (наприклад, надширокосмугові сигнали, OFDM і MIMO), як можливе рішення для збільшення швидкості передачі в каналі, пропускної спроможності системи та раціонального використання спектра систем супутникового зв'язку. Розглянуто проблеми, що виникають при застосуванні цих технологій та можливі напрямки подальших досліджень.*

*Ключові слова: системи супутникового зв'язку, безпроводні системи.*

**Вступ.** В даний час супутниковий сегмент в телекомунікаціях займає важливе місце і забезпечує позиціонування системи зв'язку глобального покриття. Однак, розвиток супутникових технологій в порівнянні з наземними безпроводовими технологіями відбувається невисокими темпами. Так, наприклад, новий стандарт супутникового телемовлення DVB-S2 (Digital Video Broadcasting via Satellite) містить невелике число удосконалень і доопрацювань по відношенню до попереднього стандарту DVB-S [1].

У той же час, в області наземних безпроводових технологій відбуваються досить радикальні зміни. До найважливіших з них відносяться розвиток і впровадження технології мультиплексування з ортогональним розподілом сигналів OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), систем MIMO (Multiple Input - Multiple Output) і надширокопasmових сигналів UWB (Ultra Wideband).

Метою даної роботи є аналіз можливості застосування ряду ефективних технологій сучасних безпроводових систем (таких як OFDM, UWB і MIMO) в системах фіксованого супутникового зв'язку.

**Основна частина.** MIMO-технології включають в собі ціле сімейство технологічних напрямків, таких як однокористувацьке, багатокористувацьке і розподілене (віртуальне) MIMO [2]. Тому виникає питання вибору виду MIMO-технологій, які можуть бути найбільш раціонально застосовані у супутникових системах зв'язку, що відрізняються від наземних систем областю покриття, топологією каналу зв'язку, величиною затримки поширення, рівнем перешкод в каналі зв'язку.

Виходячи з особливостей супутникового зв'язку найбільш перспективними варіантами використання MIMO-систем в системах супутникового зв'язку можуть бути:

- Однокористувацька схема передачі з використанням одного або двох супутників;
- Багатокористувацька схема передачі з використанням одного супутника.

Необхідною умовою для повного використання переваг рознесення і мультиплексування в однокористувацькому випадку є наявність середовища з великим числом розсіювачів для більшої незалежності просторових шляхів поширення сигналів між багатоантенним приймачем і передавачем. Сам супутник не може забезпечити необхідне просторове рознесення антен для ефективної роботи системи MIMO. Тому, у разі однокористувацької схеми передачі з одним супутником можливе створення несиметричного SIMO (Single Input - Multiple Output) каналу, де множина антен реалізована виключно в наземному сегменті шляхом рознесення антен наземних станцій на необхідні відстані.

Застосування однокористувацького MIMO для каналу прямої видимості з тропосферними завмираннями утруднено через обмеження розміру супутника і неможливості рознесення антен на необхідну відстань. Однак, широкопasmова інтерактивна багатопроменева супутникова система обслуговує велике число терміналів за допомогою декількох променів. Більше того, існує пряма аналогія між прямим багатопроменим супутниковим каналом і широкопasmовим каналом багатокористувацької MIMO-системи. Дана аналогія дозволяє уникнути більшість недоліків однокористувацького супутникового MIMO-каналу. Схеми багатокористувацького MIMO надають можливість використання багатокористувацького мультиплексування, менш чутливі до наявності прямої видимості або кореляції антен, і дозволяють отримати вигоду від просторового мультиплексування без необхідності обладнання наземних терміналів декількома антенами. Це важливо з економічної точки зору, оскільки немає необхідності модифікувати стандартні прийомні термінали. Крім того, для розробки багатокористувацького MIMO в багатопромених супутникових системах є можливість використання подвійної поляризації [3].

Відносно застосування надширокопasmових зв'язку у супутникових системах ключовим завданням є вивчення впливу перешкод на наземні системи. При цьому необхідно вирішити й інші важливі завдання: вибір діапазону частот для надширокопasmових супутникових систем зв'язку; визначення впливу перешкод, які створюються такою системою для інших супутникових систем [4].

Технології надширокопasmового передачі менше схильні до впливу радіочастотних спотворень, таких як: нелінійність підсилювачів потужності, фазовий шум, дисбаланс I / Q компонент.

Імпульсні надширокопasmові сигнали не мають несучої і, отже, прості і дешеві в реалізації, так як для їх роботи не потрібні змішувачі та гетеродини. З іншого боку, для їх формування потрібні високошвидкісні цифро-аналогові і аналогово-цифрові перетворювачі для цифрової обробки сигналів.

Побудова високошвидкісних систем супутникового зв'язку можливе на основі об'єднання технології MIMO і надширокосмугових сигналів. Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка надширокосмугових систем MIMO (UWB-MIMO) для досягнення гігабітних швидкостей не тільки в наземних, але і у супутникових системах.

Дослідницькі роботи, присвячені UWB-MIMO можна розділити на три групи: вимір і моделювання каналу UWB-MIMO, оцінка пропускну здатності каналу і просторово-часове кодування, формування діаграми спрямованості антени. Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених вивченню даної технології, деякі аспекти залишаються невивченими. Отже, поки рано говорити про широке практичне застосування UWB-MIMO у супутникових системах.

У сучасних системах зв'язку широко використовується технологія мультиплексування з ортогональним поділом сигналів (OFDM). Основними перевагами даної технології є висока стійкість щодо частотно-селективних завмирань в каналі при меншій обчислювальній складності в порівнянні з системами з однією несучою, а також висока спектральна ефективність. Проте, до недавнього часу, дана технологія передачі вважалася непридатною для використання в супутниковому зв'язку, по-скільки OFDM-сигнал характеризується великим пікфактором. З цієї причини OFDM сигнали чутливі до нелінійних спотворень підсилювачів потужності передавача, що є одним з найважливіших показників при роботі з супутниковими системами.

Методи зменшення пікфактора для наземних систем широко вивчені і можуть бути застосовані в супутниковому зв'язку. Однак, одним з новітніх рішень для супутникового сегменту є модифікація OFDM з постійною огинаючою (CE-OFDM - Constant Envelope OFDM) [5]. У таких системах за допомогою фазової модуляції виходить сигнал з постійною обвідної, що має відношення пікової потужності до середньої рівне 0 дБ.

**Висновки.** Таким чином, проведений аналіз можливості використання технологій наземних систем зв'язку MIMO, OFDM, надширокосмугових сигналів і UWB-MIMO у фіксованих системах супутникового зв'язку з метою збільшення їх пропускну спроможності і більш раціонального використання спектра дозволяє зробити наступні висновки.

Впровадження розглянутих варіантів застосування технології MIMO у супутникових системах зв'язку дозволить підвищити пропускну здатність і ефективність цих систем. При цьому, виникає необхідність проведення додаткових досліджень з метою адаптації даної технології в системах супутникового зв'язку.

Надширокосмугові сигнали можуть бути використані в ліцензованих супутникових системах без обмеження по потужності. Це не призведе до оптимального використання спектру, але може зменшити складність апаратної бази і чутливість до радіочастотних спотворень, і, отже, збільшити пропускну здатність каналу.

Об'єднання надширокосмугових сигналів з технологією MIMO (UWB-MIMO) може бути найбільш перспективним при використанні в високошвидкісних наземних і супутникових системах зв'язку.

Використання технології OFDM в системах супутникового зв'язку може бути ефективним з трьох основних причин: збільшення спектральної ефективності фіксованих супутникових систем зв'язку, зменшення загальної складності супутникового приймача, зменшення складності інтеграції супутникових та наземних мобільних систем зв'язку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Digital Video Broadcasting (DVB), Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications, ETSI EN 302 307, v1.1.2, 2006.
2. MIMO technology]. Zbirnik naukovih prac Viiskovogo institute Kyivskogo nacionalnogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka.– K.: VIKNU, 2008. – Vyp. № 15. – с.153-159
3. Dual polarization for MIMO processing in multibeam satellite systems / N. Zorba, M. Realp, M.A. Lagunas, A.I. Perez-Neira // 10th Int. Work. Signal. Process. Space Commun., SPSC 2008, Oct. 2008.

4. Yoshio Kunisawa, Hiroyasu Ishikawa, Hisato Iwai, Hideyuki Shinonaga, "Satellite Communications using Ultra Wideband (UWB) Signals", Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies (ISART 2004), March 2-4, 2004.

5. S. C. Thompson, A. U. Ahmed, J. G. Proakis, J. R. Zeidler, M. J. Geile, "Constat Envelope OFDM", IEEE Trans. On Commun. Vol. 56, no. 8. August 2008, pp. 1300-1312.

**Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В.**, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**к.т.н. Миночкин Д.А.**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

*Технологии физического уровня для систем спутниковой связи развиваются медленнее, чем для систем беспроводной наземной связи. В данной работе предложены технологии передачи сигналов из области наземных беспроводных телекоммуникаций (например, сверхширокополосные сигналы, OFDM и MIMO), как возможное решение для увеличения скорости передачи в канале, пропускной способности системы и рационального использования спектра систем спутниковой связи. Рассмотрены проблемы, возникающие при применении этих технологий и возможные направления дальнейших исследований.*

*Ключевые слова: системы спутниковой связи, беспроводные системы.*

**Ph.D. Minochkin D.A.**

## **THEORETICAL BASIS FOR BUILDING EFFICIENT SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEMS**

*Development rate of physical layer techniques for satellite communications systems is slower, than for terrestrial wireless systems. This paper considers terrestrial wireless transmission techniques (such as UWB, OFDM, MIMO) as possible means to increase channel rates, system capacity and rational spectrum allocation in satellite communications systems. Various problems, that appear during application of these techniques are discussed, and future research topics are proposed.*

*Keywords: satellite communications systems, wireless systems.*