

*Микола Олександрович Масесов  
Ігор Володимирович Борисов*

## ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО У ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

### Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розвиток телекомунікаційних систем та науково-технічного підґрунтя їх реалізації неминуче стосується засобів зв'язку спеціального призначення, які застосовуються в організаціях, відомствах та службах різних країн. Аналіз можливостей та технічних характеристик персональних засобів зв'язку, що впроваджуються та використовуються останнім часом в розвинутих країнах світу підтверджує тенденції застосування сучасних методів цифрової обробки сигналів та високоефективних методів модуляції.

Таким чином, розгляд та наукове супроводження розробок щодо впровадження телекомунікаційних технологій у вітчизняних засобах зв'язку, в тому числі подвійного призначення, є актуальною науковою та практичною задачею.

Серед перспективних інформаційних технологій, впровадження яких дозволить перейти до випуску засобів зв'язку наступного покоління, слід зазначити використання наступних: цифрової обробки сигналів, когнітивного радіо, багаторівневих видів модуляції сигналів, ортогональної частотної дискретної модуляції (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplex), направлених і smart-антен (цифрових антенних решіток); антенну технологію множинного входу – множинного виходу (MIMO, Multiple Input – Multiple Output) [1].

Ключовою особливістю зазначених технологій є спеціальна обробка радіосигналів у цифровому сегменті засобів зв'язку. Цей процес зазвичай вимагає значних обчислювальних потужностей пристроїв. Тому питання реалізації зазначених технологій у засобах зв'язку, особливо переносних та абонентських, завжди є актуальним [2]. Нижче приведені практичні приклади застосування сучасних інформаційних технологій в засобах зв'язку, що підтверджує можливість їх реалізації на практиці.

Технологія MIMO широко використовується при створенні сучасних засобів радіозв'язку, які працюють у відповідності стандартів 802.11, 802.16, 802.22 та їх різновидів. Це пристрої, які

виконані як у вигляді абонентських терміналів, так і в якості базових радіостанцій та пристроїв радіодоступу. Відомо, що на сьогоднішній день у більшій половині пристроїв для застосування в офісі та вдома реалізоване застосування технології MIMO. Щодо підтвердження можливості реалізації технології MIMO у засобах спеціального зв'язку, більш цікавим буде матеріал, що приведений нижче.

Персональна переносна мобільна станція MWE860 [3] була розроблена в Шанхайському інституті мікросистем і інформаційних технологій (SIMIT) та призначена для забезпечення зв'язку у військових та спеціальних операціях. Зовнішній вигляд її представлений на рис. 1. Серед основних технічних можливостей станції слід зазначити: максимальна пропускна спроможність – до 3,8 Мбіт/с; способи модуляції, що використовуються – QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 64QAM; ширина смуги частот – 8 МГц (10 МГц); фізичні розміри – 406,5\*264\*75 мм; підтримка протоколу WiFi – 802.11b/g; точність позиціонування GPS модуля – < 5 м.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд станції MWE860 [3].

Окремої уваги заслуговує пристрій персонального радіозв'язку PR-20 чеської фірми DICOM [4], який був представлений на науково-практичному симпозиумі „Інформаційні системи та технології” (IST) з питань військового зв'язку. Характерною особливістю цього пристрою є

реалізація крім стрибкоподібної зміни несучої частоти також просторового мультиплексування OFDM-сигналів за технологією MIMO зі схемою „2 передавача – 2 приймача”. Згідно заявлених характеристик пристрій PR-20 розроблений для забезпечення повнодуплексного цифрового зв'язку локальної мережі у складі бойової групи, яка може налічувати до 30 чоловік, без потреби в маршрутизаторах та іншому мережевому обладнанні. Робочий діапазон частот – 2,4 ГГц. Результати тестування пристроїв у міських умовах і всередині будівель показали, що вірогідність помилок в пакетах даних в режимі MIMO може бути понижена в 4 рази при відстані передачі 70-80 м.



Рисунок 2. Зовнішній вигляд пристрою PR-20 [4].

### Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Результати проведеного аналізу реалізації наукових досягнень у сфері зв'язку дозволяють зробити висновки про доцільність подальших наукових досліджень у напрямку використання технології MIMO. Але для реалізації та впровадження її у засобах спеціального зв'язку слід визначити особливості, обумовлені спеціальними умовами застосування техніки, та визначити позиції щодо впровадження технології MIMO у засобах зв'язку спеціального призначення.

Теоретичне обґрунтування обробки сигналів у багатоантенній технології MIMO досить докладно описано в різноманітних джерелах численних авторів. Свою практичну реалізацію технологія MIMO одержала в стандартах бездротового зв'язку сімейств 802.11 та 802.16. Крім того, технологія MIMO планується до використання у подальшому в четвертому й, перспективно, у п'ятому поколіннях систем радіозв'язку.

Ідея технології MIMO подібна до добре відомого принципу рознесеного прийому, коли в системі зв'язку створюються декілька некорельованих (незалежних) копій сигналу на

прийомі. Класичний підхід до реалізації методу рознесення полягає у використанні одного передавача та декількох рознесених у просторі приймальних антен з подальшою обробкою сигналів з метою підвищення якості приймання. З точки зору теорії інформації, рознесення еквівалентне введенню в систему зв'язку просторової надлишковості.

В таких системах, зазвичай, реалізується просторове мультиплексування: потік даних на передачі розбивається на два або більше потоків, кожний з яких передається одночасно з іншими з різних антен.

Багатоеlementні антенні пристрої забезпечують:

- розширення зони покриття радіосигналами і згладжування в ній "мертвих зон";
- використання декількох незалежних шляхів розповсюдження сигналу, що підвищує ймовірність роботи по трасах, на яких менший вплив завмирань;
- підвищення пропускної спроможності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів.

В системах MIMO можуть застосовуватись наступні підходи розділення сигналів: просторово-часове, просторово-частотне, просторово-поляризаційне, ортогональне кодування, а також розділення за напрямком приходу променя в приймальну антену.

Представляє інтерес поєднання технологій MIMO та OFDM для побудови високоефективної системи зв'язку в каналах з багатопроменевою. Очевидно, що системи OFDM по природі своїй пристосовані до застосування технології MIMO, причому кількома шляхами. Техніка MIMO-OFDM передбачена стандартами IEEE-802.16, проектом IEEE-802.11n та рядом інших перспективних розробок в області безпроводних мереж передачі інформації.

В класичних системах зв'язку MC-CDMA (Multi-Carrier Code Division Multiple Access) використовується один прийомо-передавач. У випадку застосування систем MIMO вихідний потік даних розбивається на субпотіки за кількістю випромінювачів MIMO-передавачів. В кожному субпотіці застосовується свій CDMA-код, далі кодована послідовність бітів використовується для формування OFDM-символів, які паралельно транслюються кожним передавачем. Такий підхід дозволяє при одних і тих же номіналах частот розділяти канали передачі MIMO-системи за рахунок додаткової ортогональної кодової модуляції. На приймальній стороні із OFDM-сигналу спочатку відновлюються ортогональні несучі, а далі на кожній з них сигнал демодулюється шляхом кореляційної обробки.

При цьому сигнали різних антен мають однакову частоту, а їх розрізнення на прийомі можливе завдяки різним CDMA-кодам. В приймачі відбувається кореляційна обробка з відновленням декількох копій пакетів гармонійних сигналів з безперервною фазою (свій синусоїдальний пакет для кожного випромінювача MIMO). Матриця представляє собою сукупність прийнятих копій

сигналів кожного з  $K$  випромінювачів:

$$\bar{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1K} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{M1} & S_{M2} & \dots & S_{MK} \end{bmatrix},$$

де  $S_{ij}$  – копія сигналу,

$i$  – номер випромінювача,

$j$  – номер декодера,  $1 \leq M \leq K$ .

Далі в схемі додавання за допомогою одного з відомих способів – автовибору, лінійного або оптимального додавання, відбувається обробка копій сигналів, потім відновлюються сигнали на кожній ортогональній піднесучій OFDM за допомогою швидкого перетворення Фур'є.

Із можливих методів рознесення перспективним є застосування просторово-часового кодування, реалізація якого полягає у передачі інформаційних сигналів через декілька рознесених у просторі передавальних антен та відповідних завадостійкому кодуванні цих сигналів. Методи просторово-часового кодування забезпечують кращий баланс між частотною та енергетичною ефективністю. Вказані методи використовуються в стандартах систем радіозв'язку 3-го покоління.

Особливості математичного апарату обробки сигналів у системах зв'язку з використанням технології MIMO дозволяє визначити наступні пропозиції щодо напрямків її впровадження:

цифрові антенні решітки з вбудованими (винесеними) приймально-передавальними пристроями;

базові станції радіодоступу й абонентські радіотерминали зв'язку;

системи радіолокації;

пристрої бездротового зв'язку для побудови локальних обчислювальних мереж;

вимірвальна радіоапаратура.

Можливі також варіанти інтеграції різних сфер застосування. Цікавим є напрямком інтеграції систем радіолокації та систем радіозв'язку [5].

На основі проведених наукових досліджень пропонується в подальшому використовувати

технологію MIMO під час розробки сучасних засобів радіозв'язку спеціального призначення. Але у кожному конкретному випадку слід додатково проводити наукові дослідження щодо особливостей реалізації технології для роботи в спеціальних умовах.

Використання зазначеної технології дозволить досягти наступних результатів: підвищити пропускну спроможність радіоканалів, збільшити їх завадозахищеність, забезпечити можливість адаптивної зміни діаграми спрямованості антенних систем у випадку активного радіовпливу противника та складної радіочастотної обстановки.

### Висновки

Таким чином, задача вибору базових технологій для впровадження у перспективних засобах радіозв'язку спеціального призначення є складною задачею, розв'язання якої повинно здійснюватись на основі принципів системного підходу та системного аналізу. В процесі розв'язання даної задачі необхідно розробити математичні моделі для визначення показників ефективності функціонування мережі у випадку застосування тих чи інших технологій, підтвердити отримані результати за допомогою імітаційного моделювання. Особливістю роботи такої моделі системи слід вважати урахування фактору активного радіовпливу противника та складної радіочастотної обстановки під час підготовки та в ході виконання поставленого завдання. Оптимальною можна вважати таку технологію (поєднання технологій), яка забезпечить узагальнений вииграш за усіма показниками якості з урахуванням обмежень по вартості окремих зразків техніки зв'язку та системи в цілому, масо-габаритних показників (особливо для мобільних станцій), електромагнітної сумісності, можливості інтеграції в єдину систему зв'язку держави.

Подальші дослідження будуть направлені на розробку математичної моделі радіоканалу з використанням технології MIMO, що враховує особливості розповсюдження та обробки сигналів у цифровому сегменті радіозасобів.

### Література

1. Слюсар В. И. Системы MIMO: принципы построения и обработка сигналов / В. И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. – № 10. – С. 52–59.  
 2. Масесов М. О. Особенности реализации современных технологий цифровой обработки сигналов в средствах радиосвязи / М. О. Масесов, С. В. Волопко, Чекан А. Ю. // Информационные системы и технологии (ИСТ-2011) : междунар. науч.-техн. конф., 22 апреля 2011 г. : тезисы докл. – Нижний Новгород, 2011. – С. 142. 3. China defense products. – Режим доступа :

www.china-defense-mashap.com. 4. Dicom. Products. Communications. – Режим доступа : www.dicom.cz/en/cat/34-products/1. 5. Зинченко А. А. Некоторые аспекты реализации интегрированной системы связи и радиолокации / А. А. Зинченко, Н. А. Масесов // Информационные системы и технологии (ИСТ-2012) : междунар. науч.-техн. конф., 20 апреля 2012 г. : тезисы докл. – Нижний Новгород, 2012. – С. 132.

В статье приведен анализ применения технологии MIMO в современных средствах беспроводной связи. Предложены рекомендации по направлениям внедрения и использования технологии MIMO в средствах связи специального назначения.

Ключевые слова: радиосвязь, технология MIMO, средство связи специального назначения.

In the article is brought analysis of the using of technology MIMO in modern radio communication means. The offered recommendations on introduction and use of technology MIMO in means of communication of the special purpose.

Key words: radio communication, technology MIMO, means of communication of the special purpose.