УДК 621.396

Аркадій Володимирович Крижний
Олексій Володимирович Станович
Володимир Петрович Кучер
Костянтин Павлович Грищук

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ РАДІОТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ІНТЕРЕСАХ СПЕЦІАЛЬНИХ КОРИСТУВАЧІВ

Постановка проблеми

Найбільш істотний вплив на форми і способи ведення бойових дій, управління військами і зброєю в даний час чинять інформаційні технології, що швидко змінюють підходи до принципів організації системи військового управління в цілому.

Одним із ключових напрямків підвищення бойових можливостей збройних сил є формування інтегрованого інформаційного простору на основі нових інформаційних технологій. Мінімізація тривалості циклу прийняття рішення, ефективний розподіл інформаційних потоків через уніфікацію мережевого обладнання дозволяють досягати достатнього рівня знань обстановки і керування критичними процесами. В цьому контексті, з урахуванням високої ймовірності локальних (регіональних) конфліктів, розвинені країни світу приділяють особливу увагу вдосконаленню систем управління, де в якості основи перспективних систем зв'язку тактичної ланки управління [1] розглядаються безпроводові мережі передачі даних.

Виклад основного матеріалу

Безпроводові системи передачі даних будуються на моделі взаємодії відкритих систем (OSI) і класифікуються за:

способом обробки первинної інформації (аналогові та цифрові);

шириною смуги передачі (вузькосмугові, широкосмугові, надширокосмугові);

локалізацією абонентів (рухомі та стаціонарні);

географічною протяжністю (персональні, локальні, регіональні, глобальні);

видом передаваємої інформації (голос, відео, передача даних).

Створення системи наземного радіозв'язку на основі новітніх телекомунікаційних технологій, в яких знаходять широке застосування способи передачі інформації (даних, мови) за допомогою TCP/IP-протоколів (транкінгові системи, стільникові системи зв'язку, DECT-системи, мережі стандарту IEEE 802.11 (комерційна назва Wi-Fi) та IEEE 802.16 (комерційна назва WiMAX) необхідно здійснювати таким чином, щоб реалізувати можливість адаптивного поєднання кореспондентів з одночасним чітким визначенням прав їх доступу до системи та забезпеченням безпеки зв'язку [1].

Поява нових безпроводових технологій інформаційного обміну, таких як, Wi-Fi, WiMAX, та цілий ряд інших (табл. 1), дозволяють по-новому розглянути питання організації зв'язку в збройних силах [2]. Так, в арміях провідних країн світу зараз широко впроваджуються безпроводові мережі. Вони використовуються як для забезпечення повсякденної та навчальної діяльності військ, так і для інформаційно-телекомунікаційного забезпечення бойових дій. Для вибору та обґрунтування впровадження сучасних технологій радіозв'язку при обладнані вузлів, мереж цифрового зв'язку спеціального призначення, доцільно зосередитись на аналізі характеристик цифрових широкосмугових мереж передачі даних різного призначення.

Стандарти 802.11x. Сукупність стандартів 802.11x (поєднуються абревіатурою Wi-Fi – Wireless Fidelity) включає в себе ряд ратифікованих стандартів передачі даних (802.11a/b/g/n), і ряд документів, що описують додаткові функції.

Стандарт 802.11 описує протокол організації безпроводових мереж в діапазоні 2,4 ГГц із швидкостями 1 і 2 Мбіт/с. У зв'язку із невеликою перепускною спроможністю він не набув широкого розповсюдження.

Стандарт 802.11a описує передачу даних на швидкості до 54 Мбіт/с в частотному діапазоні UNII 5ГГц. У зв'язку із високою частотою і як наслідок – сильним загасанням сигналу, ефективний радіус дії цього стандарту досить малий. Перевагою використання стандарту 802.11a є можливість використання 12 каналів (по чотири на кожний з трьох діапазонів UNII в 100 МГц), що дозволяє організовувати безпроводову мережу із

перепускною спроможністю більше ніж в безпроводовій мережі, які підтримують стандарти 802.11b/g.

Стандарт 802.11b використовує метод прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) передачі широкосмугового сигналу з використанням кодування і модуляції. Працює в частотному діапазоні базового стандарту. Основна ідея технології розширення спектру полягає в тому, щоб від вузькосмугового спектру сигналу, що виникає при звичайному потенціальному кодуванні, перейти до широкосмугового спектру. Саме це дозволяє значно підвищити завадостійкість даних, що передаються. Максимальна швидкість передачі даних, що передбачена стандартом, – 11 Мбіт/с.

Стандарт 802.11g – розширення стандарту 802.11b, забезпечує швидкість передачі до 54 Мбіт/с. Пристрої 802.11g сумісні з 802.11b, можуть працювати в режимі 802.11g only, що дозволяє максимально використовувати перепускну спроможність безпроводових мереж.

Стандарти 802.11b/g розподіляють весь частотний діапазон ISM (Industry, Science and Medicine, частотний діапазон від 2,4 до 2,4835 ГГц, що призначений для безліцензійного використання в промисловості, науці і медицині) на чотирнадцять каналів, що розділені проміжком у 5 МГц (2412, 2417,...,2477). Кожен канал займає 22 МГц, тому поряд розташовані точки доступу повинні працювати на каналах, що відрізняються на 5 позицій (наприклад 1, 6 і 11 канали), щоб не здійснювати взаємний вплив. Останнім з розроблених є стандарт 802.11n. Цей стандарт має забезпечувати швидкість передачі даних до 540 Мбіт/с. Такий стрибок швидкості забезпечується за рахунок розділення приймального і передавального трактів (технологія MIMO – Multiple Input Multiple Output – множина входів множина виходів, технологія що дозволяє значно підвищити спектральну ефективність системи, максимальну швидкість передачі даних і ємність) і вдосконалення технік кодування.

Логічним продовженням розвитку технології є чорнова версія стандарту 802.11ac, який ще називають VHT (Very High Throughput — дуже велика перепускна спроможність), що представляє собою поправки до версії 802.11-2007.

IEEE 802.11ac – стандарт безпроводових мереж, які повинні забезпечувати високу перепускну спроможність безпроводових локальних мереж (WLAN) в діапазоні частот 5 ГГц. Збільшення перепускної спроможності і відповідно швидкості передачі інформації в стандарті IEEE 802.11ac досягається шляхом:

збільшення смуги перепускання каналів до 80/160 МГц, що дозволяє збільшити в два і чотири рази швидкість передачі порівняно з стандартом IEEE 802.11n;

збільшення максимального числа потоків до 8, що дозволяє подвоїти швидкість передачі інформації;

використання модуляції 256 QAM з ефективністю кодування 3/4 і 5/6, що дозволяє збільшити швидкість передачі;

використання багатокористувальницького доступу (MU-MIMO – Multi-user MIMO) і алгоритму STA (Spanning Tree Algorithm-алгоритм зв'язуючого дерева мережі);

використання доступу з просторовим розділом каналів (SDMA – Space Division Multiple Access), при якому потоки розділені не по частоті, а в просторі. В таблиці 1 наведено дані щодо основних стандартів групи 802.11x.

Всі стандарти підтримують автоматичний вибір швидкості передачі залежно від співвідношення сигнал/шум і можуть працювати на великих відстанях, але з меншою швидкістю. При використанні підсилювачів і спрямованих антен стандарти 802.11x можуть забезпечити передачу даних на відстані в декілька десятків кілометрів.

Таблиця 1

Характеристики основних стандартів групи IEEE 802.11x

Стандарт	Частота ГГц	Максимальна швидкість, Мбіт/с	Практична швидкість, Мбіт/с	Ефективна відстань дії, м
IEEE 802.11a	5	54	25	10
IEEE 802.11b	2,4	11	6,5	30
IEEE 802.11g	2,4	54	25	30
IEEE 802.11n	2,4	540	200	50
IEEE 802.11 ac	2,4	3500	293	від 10

В період з 2001 по 2005 роки розроблені чотири версії стандарту сімейства **IEEE 802.16**. Зазначені стандарти описують характеристики обладнання фіксованого і сеансового доступу в діапазоні 2-11 ГГц. Основні характеристики канального та фізичного рівня протоколів сімейства IEEE 802.16 наведені в таблиці 2.

Виходячи з аналізу характеристик канального та фізичного рівня протоколів сімейства IEEE 802.16, зазначених в таблиці 2, найбільш цікавими, з точки зору застосування технологій в мережах спеціального призначення, є технології стандартів 802.16d і 802.16e.

Стандарт 802.16d (фіксований WiMAX) використовує ортогональне частотне мультиплексування (OFDM), підтримує фіксований доступ в зонах з наявністю або відсутністю прямої видимості. Засоби

користувачів представляють собою стаціонарні модеми або PCMCIA-карти для ноутбуків. В більшості країн під цю технологію відведені діапазони 3,5 і 5 ГГц. Дана технологія є конкуруючою або взаємодоповнюючою технологією проводового широкосмугового доступу DSL (Digital Subscriber line – технологія, що дозволяють значно розширити перепускну спроможність абонентської лінії шляхом використання ефективних лінійних кодів і адаптивних методів корекції викривлень лінії на базі сучасних досягнень мікроелектроніки і методів цифрової обробки сигналу.

Таблиця 2

Характеристики основних стандартів групи IEEE 802.16

Стандарт	**802.16**	**802.16a**	**802.16d**	**802.16e**
Дата прийняття, рік	2001	2003	2004	2005
Діапазон частот, ГГц	10-66	2-11	2-11	2-11
Умови зв'язку	Пряма видимість	Без прямої видимості	Без прямої видимості	Без прямої видимості
Мобільність	Фіксований	Фіксований і сеансовий	Фіксований, рухомий і сеансовий	Мобільний
Режим передачі	Одна несуча	Одна несуча, 256 OFDM, 2048 OFDMA	Одна несуча, 256 OFDM, 2048 OFDMA	Одна несуча, 256 OFDM, багаторежимний OFDMA
Модуляція	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Швидкість передачі даних, Мбіт/с	32-134	1-75	1-75	1-15
Ширина каналу, МГц	20, 25, 28	Змінюється від 1,25 до 20	Змінюється від 1,25 до 20	Змінюється від 1,25 до 20
Специфікація фізичного рівня	Wireless MAN-SC	Wireless MAN-SCa, Wireless MAN OFDM, Wireless MAN OFDMA,	Wireless MAN-SCa, Wireless MAN-SC, Wireless MAN OFDM, Wireless MAN OFDMA,	Wireless MAN-SCa, Wireless MAN-SC, Wireless MAN OFDM, Wireless MAN OFDMA,

Стандарт 802.16e (мобільний WiMAX) оптимізований для підтримки мобільних користувачів. Дана версія підтримує ряд специфічних функцій, таких як хендовер, idle mode та роумінг. Застосовується масштабований OFDM-доступ (Scalable OFDMA – SOFDMA), можлива робота при наявності або відсутності прямої видимості. Частотні діапазони для мереж Mobile WiMAX такі: 2,3-2,5; 2,5-2,7; 3,4-3,8 ГГц. Конкурентами 802.16e є всі мобільні технології третього покоління (наприклад, EV-DO – Evolution-Data Only – технологія передачі даних, що використовується в мережах стільникового зв'язку стандарту CDMA, HSDPA – англ. High-Speed Downlink Packet Access – високошвидкісна пакетна передача даних від базової станції до мобільного телефону).

Основна відмінність двох технологій полягає в тому, що фіксований WiMAX дозволяє обслуговувати тільки статичних абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що рухаються зі швидкістю до 150 км/год. Мобільність означає наявність функцій роумінгу і "безшовного" перемикання між базовими станціями під час руху абонента (як відбувається в мережах стільникового зв'язку). Мобільний WiMAX може використовуватись також і для обслуговування фіксованих користувачів.

Стандарт 802.22 описує наступний етап розвитку програмуємого радіо (CDR– когнітивного радіо). Відповідно зазначеного стандарту система когнітивного радіо – це радіосистема, яка використовує технологію, що дозволяє цій системі отримувати знання про середовище експлуатації та внутрішнього стану системи, динамічно та автономно корегувати свої експлуатаційні параметри і протоколи відповідно отриманим знанням для завчасно поставлених завдань і навчатись на основі отриманих результатів. Основні параметри специфікації IEEE 802.22 наведено в таблиці 3.

Стандарт 802.22 спроектований для безпроводових регіональних мереж (Wireless Regional Area Network, WRAN), який передбачає покриття зон радіусом до десятків кілометрів. Збільшення радіуса дії досягається завдяки зменшенню номіналів робочих частот що використовуються в діапазонах застосування КХ/УКХ радіозасобів спеціальних користувачів, а також в діапазонах радіозасобів Wi-Fi і WiMAX для передачі інформації.

Таблиця 3

Основні характеристики стандарту IEEE 802.22

Дата прийняття, рік	2010
Діапазон частот, ГГц	54-862 МГц
Умови зв'язку	Без прямої видимості
Мобільність	Високошвидкісний мобільний доступ
Режим передачі	OFDM
Модуляція	QPSK, 16QAM, 64QAM
Швидкість передачі даних Мбіт/с	18-23 Мбіт/с
Радіус зони покриття, км	30-100
Ширина каналу, МГц	8-24
Спектральна ефективність, біт/с/Гц	от 0,624 до 3,12
Швидкість руху, км	до 100
Специфікація фізичного рівня	OFDMA / SC-FDMA

Стандарт IEEE 802.22 WRAN є одним з перших специфікацій, який використовує когнітивні технології в радіозв'язку. Таким чином стандарт дозволяє ефективно використовувати наявний спектр частот та досягнути швидкості передачі інформації до 22 Мбіт/с на відстань до 100 км.

Висновки

Підводячи підсумки проведеного аналізу можна зробити наступні висновки.

Технології безпроводового зв'язку є перспективними і актуальними для створення безпроводових мереж передачі даних в інтересах спеціальних користувачів.

Технологія когнітивного радіо в радіосистемах спеціальних користувачів є передовою і дозволяє забезпечувати широкосмуговий доступ до мереж передачі даних в існуючих діапазонах частот без утворення взаємних завад та підвищення розвідзахищеності, стійкості, живучості, надійності та прихованості системи зв'язку.

В той же час застосування приведених технологій у чистому вигляді, на думку авторів, не є доцільним. Слід здійснити адаптацію існуючих стандартів для їх спеціального використання у техніці військового зв'язку з можливістю реалізації довгострокової перспективи їх використання, розвитку та взаємосумісності. Зазначений напрямок визначає актуальність та необхідність проведення глибоких науково-прикладних досліджень, за наступними шляхами:

удосконалення методів і способів обробки сигналів у цифровому сегментів перспективних засобів (комплексів) радіозв'язку з використанням сучасних технологій;

визначення елементної бази та обґрунтування практичних рекомендації реалізації розроблених методів;

розробка пропозицій щодо управління системою зв'язку та особливостей організації її функціонування.

У сукупності, вирішення поставлених завдань дасть змогу розробити науково-обґрунтовані методологічні основи впровадження методів цифрової обробки сигналів для створення сучасних цифрових засобів зв'язку військового призначення.

Література

1. Романюк В.А. Напрямки розвитку тактичних систем зв'язку // II Науково-технічна конференція. ВІТІ. – К. : ВІТІ НТУУ «КПІ», 2004. – С. 23–33. **2. Лунтовський А.О.** Комп'ютерні мережі та телекомунікації : навч. посіб. для дистанційного навчання / А.О. Лунтовський, І.В. Мельник. – К. : Університет «Україна», 2007. – 257 с**. 3. Гордейчик С.В.** Безопасность безпроводных сетей / С.В. Гордейчик, В.В. Дубровин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2008. – 288 с. : ил. **4. IEEE 802.11** Электронный ресурс. – Режим доступа: www.wikipedia.com. **5. WiMAX** – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение / В.С. Сюваткин, В.И. Есипенко, И.П. Ковалев та ін. ; под ред. В.В. Крылова. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 368 с. **6. Системы** спутниковой святи. Электронный ресурс. – Режим доступа : www.wikipedia.com.

В работе проведен анализ стандартов передачи данных 802.11x, 802.16, 802.22, применяемых при построении беспроводных сетей. Приводятся сравнительные характеристики вышеуказанных технологий по основным показателям: Проведена оценка возможности их применения в интересах Вооруженных Сил Украины.

Ключевые слова: беспроводные технологии, когнитивное радио, WiMAX, Wi-Fi, WRAN.

This paper analyzes the data standards 802.11x, 802.16, 802.22, used in the construction of an wireless networks. The comparative main characteristics mentioned above in terms of technology are given. The possibility evaluation of an wireless networks in the interest of the Armed Forces of Ukraine is conducted.

Key words: wireless technologies, cognitive radio, WiMAX, Wi-Fi, WRAN.