

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ LINK-16

Аналіз специфікації тактичної системи передачі даних Link-16, детально описаної в STANAG 5516 Ed.4 [1], дозволяє зробити висновок про істотне відставання її можливостей від сучасних вимог до швидкості передачі даних. Зазначена проблема властива й усім подальшим редакціям зазначеного стандарту. Мова йде, зокрема, про необхідність забезпечення передачі відеозображень високої чіткості, не говорячи вже про 4 К, інтеграцію протоколу LINK-16 з тактичними системами доповненої реальності хоча б для трансляції анотацій, розширення використання протоколу цілевказівки JREAP-C до рівня окремо взятих солдат, що виконують завдання боротьби з безпілотними літальними апаратами, коректування вогню артилерії тощо.

З цієї причини автором у червні 2017 року на засіданні Групи НАТО з озброєнь сухопутних військ (AC/225, NAAG) Конференції національних директорів озброєння (CNAD) було запропоновано оновити специфікацію Link-16 на основі переходу до нових форм сигналів та інформаційних технологій (COFDM, FBMC, MIMO, Multiuser-MIMO та ін.).

Традиційно питання використання нових типів сигналів були прерогативою промисловості, однак, на думку експертів НАТО, що підтримали ідею автора, резерву часу для очікування відповідних пропозицій від промислових компаній уже не залишилося. Військовим фахівцям необхідно в найкоротший термін сформулювати свої вимоги й жорстко ставити завдання щодо їх реалізації.

У цьому зв'язку у доповіді пропонується варіант удосконаленого способу передачі даних на фізичному рівні протоколу Link-16 на основі комбінації технологій псевдовипадкової перебудови робочої частоти (ППРЧ) і ортогонального дискретного мультиплексування (OFDM). Відповідні ідеї описані автором у заявці на видачу патенту України на корисну модель №u201707800 від 25.07.2017 [2]. При цьому на відміну від методу [3, 4] стрибок за частотою здійснюється одночасно для всього ансамблю піднесучих на довільний інтервал, який у загальному випадку не відповідає ортогональній сітці частот. Рознесення ж піднесучих усередині ансамблю зберігають ортогональним. Для цього параметри частотного рознесення сигналів та тривалість багаточастотного пакету у часі адаптивно змінюють при передачі таким чином, щоб при усіх стрибках центральної робочої частоти багаточастотного пакету виконувалися умови ортогональності його піднесучих за частотою.

Як відомо, згідно з стандартом НАТО STANAG 5516 Ed.4, швидкість псевдовипадкової перебудови частоти в Link-16 становить 77800 раз за секунду. Така швидкість обумовлює період стаціонарності сигналу 13 мкс, якого цілком достатньо для демодуляції OFDM-пакету мінімум з 16 піднесучих. Оберемо, приміром, за інтервал стаціонарності символу в OFDM-сигналі 12,5 мкс, а інші 0,5 мкс із зазначених 13 мкс відведемо під захисні інтервали й перехідні процеси, пов'язані зі зміною несучої частоти. Якщо на прийомній стороні за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) сформувати частотні фільтри шляхом накопичення сигналу на інтервалі 12,5 мкс, то ширина головної пелюстки амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) окремо взятого синтезованого частотного фільтра буде становити 80000 Гц. Для ортогонального рознесення 16 піднесучих необхідно задіяти смугу частот $80000 \times 16 = 1,28$ МГц, що порівняно небагато. При 32 піднесучих зазначена смуга розшириться до 2,56 МГц. Як результат це дозволить підвищити швидкість передачі даних мінімум у 32 рази у порівнянні з традиційним використанням способу ППРЧ в Link-16. Відносно вузькі смуги частот сигналів дозволяють використовувати пропонований метод у КХ/УКХ діапазонах частот і вище.

При необхідності досягнення додаткової завадозахищеності сумарний OFDM-пакет на кожній робочій частоті може бути підданий додатковому кодуванню, наприклад, шляхом

стрибокподібної зміни фази. Якщо припустимо розширити смугу сигналу до 800 кГц, то при зазначених вище параметрах OFDM сигналів тривалість елементарного інтервалу кодової послідовності буде становити 1,25 мкс, що дозволить застосувати 10-позиційний фазовий код.

Подальше ускладнення сигнально-кової конструкції слід здійснювати на основі комбінації ППРЧ і неортогонального частотного дискретного мультиплексування сигналів (N-OFDM), що одержав у низці закордонних публікацій також найменування SEFDM (Spectrally Efficient FDM) [5]. Однак пріоритет у розробці відповідного методу N-OFDM належить все ж таки авторові даної доповіді [6]. Порівняно невелика кількість піднесучих (16 - 32) дозволяє досягти на цій основі додаткового 20-відсоткового підвищення спектральної ефективності за рахунок звуження займаної сигналами спектральної смуги. При цьому для демодуляції N-OFDM сигналів може бути використаний метод, описаний в [6].

Перевагою використання N-OFDM є спрощення процедури формування сигналів на передавальній стороні, оскільки при стрибках частоти відпадає необхідність контролювати дотримання умови ортогональності піднесучих в ансамблі. Така умова може виконуватися лише на одній або декількох несучих із усієї множини отримуваних при стрибках частоти їх номіналів. Іншими словами, параметри частотного рознесення сигналів та тривалість багаточастотного пакету у часі при усіх стрибках центральної робочої частоти багаточастотного пакету можуть зберігати незмінними, відповідно до умови ортогональності піднесучих за частотою, лише для центральної робочої частоти, що найбільш близька або співпадає з центральною частотою діапазону перебудови робочих частот.

Як варіант замість сигналів N-OFDM може використовуватися технологія FBMC.

Таким чином, технічний результат від застосування зазначеного способу полягає в підвищенні швидкості передачі даних, ємності та енергетичної ефективності тактичних мереж радіозв'язку на основі Link-16 і, як наслідок, - підвищенні стійкості їх функціонування. Це забезпечить можливість реалізації якісно нових функцій інформаційного забезпечення військ на основі запровадження мультимедійних шлюзів та засобів доповненої реальності.

Список використаних джерел

- 1 STANAG 5516 Ed.4 "Tactical Data Exchange - Link 16".
- 2 Слюсар В.І. Спосіб підвищення швидкості передачі даних сигналами з псевдовипадковою перебудовою частоти.- Заявка на видачу патенту України на корисну модель № u201707800 від 25.07.2017.
- 3 Зайцев С.В. Інформаційна технологія побудови системи OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот в умовах впливу навмисних завад/ С.В. Зайцев, В.В. Приступа, А.В. Яриловець// Вісник Чернігівського державного технологічного університету// № 4 (61), 2012 – С. 131-140
- 4 Зайцев С.В. Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. - Чернігів – 2016. – 397 с. - http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Dysertaciji/dis_Zayzev_16.pdf.
- 5 M. R. D. Rodrigues and I. Darwazeh. A Spectrally Efficient Frequency Division Multiplexing Based Communications System.// InOWo'03, 8th International OFDM-Workshop, Proceedings, Hamburg, DE, September 24-25, 2003. - <https://www.researchgate.net/publication/309373002>
- 6 Pat. of Ukraine № 47835 A. IPC8 H04J1/00, H04L5/00. Method of frequency-division multiplexing of narrow-band information channels// Sliusar Vadym Ivanovych, Smoliar Viktor Hryhorovych. – Appl. № 2001106761, Priority Data 03.10.2001. – Official Publication Data 15.07.2002, Official Bulletin № 7/2002