

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АЛГОРИТМУ QAM-МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛІВ У ПЕРСПЕКТИВНОМУ ТРОПОСФЕРНОМУ КОМПЛЕКСІ З ПІДТРИМКОЮ МІМО-РЕЖИМІВ РОБОТИ

У роботах [1, 2] авторами запропоновані методи просторово-часового кодування сигналів у перспективних тропосферних комплексах (ТРК), що відрізняються від відомих застосуванням сучасної антенної технології МІМО (множинного входу – множинного виходу, Multiple Input – Multiple Output). Зазначений підхід дозволяє будувати (модернізувати) тропосферні станції (ТРС) з розширеними функціональними можливостями, основні з яких – збільшена пропускна здатність (у кількість разів, пропорційну кількості антен передавача і приймача МІМО-системи) та підвищена завадостійкість роботи завдяки використанню цифрового діаграмоутворення [3]. Концептуальною особливістю таких станцій є можливість одночасної роботи з кількома іншими ТРС, що дає змогу будувати мережеву систему тропосферного зв'язку з суттєвою економією в кількості апаратних машин.

В якості алгоритму модуляції сигналів пропонується застосовувати неортогональну частотну дискретну модуляцію – N-OFDM [4], частковим випадком якої є відома OFDM. Але для режимів МІМО та мульти-МІМО [5] з використанням N-OFDM сигналів слід провести додаткове дослідження щодо вибору необхідної розрядності аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Для цього було здійснене імітаційне моделювання процесу обробки сигналів в приймальному цифровому сегменті ТРС з певними вихідними даними: відстань до точок перевідбиття у тропосфері, узагальнені кутові координати точок перевідбиття, довжина інтервалу тропосферного зв'язку та ін. Для різних значень частотного розносу між піднесучими сигналами N-OFDM і значень узагальнених кутових координат розраховувалося середньоквадратичне відхилення (СКВ) оцінок амплітуд сигналів (у квантах АЦП) за нижньою межею Крамера-Рао (НМКР).

Отримані результати свідчать, що СКВ оцінок амплітуд збільшується при зменшенні частотного інтервалу між піднесучими, зменшенні розносу узагальнених кутових координат між точками перевідбиття і парами точок перевідбиття у тропосфері. На основі отриманих даних був обґрунтований вибір алгоритму QAM-модуляції каналів піднесучих N-OFDM сигналу для 12-розрядного та 14-розрядного АЦП. Для цього було проведено порівняння розрахованих по НМКР СКВ оцінок амплітуд, помножених згідно правила „3 сигма” на 6, і значень міжсимвольного інтервалу, що відповідають різниці між сусідніми рівнями сигналу (у квантах АЦП) при обраному порядку QAM-модуляції.

Зроблено висновок, що порядок QAM-сигналу можна використовувати тим більшим, чим більше кутове рознесення між парами точок перевідбиття, і чим ширше інтервал розміщення піднесучих N-OFDM сигналу. Зокрема,

встановлено, що підвищення розрядності АЦП з 12 до 14 біт при чотирьохчастотному пакеті N-OFDM сигналів з рознесенням піднесучих в 0,6 ширини фільтра швидкого перетворення Фур'є дозволяє одержати для QAM-16 майже 5-кратне скорочення припустимого кутового інтервалу між точками перевідбиття (з 0,024 до 0,005 ширини променя).

Використання АЦП із більшою розрядністю приводить до розширення границь використання алгоритмів QAM-модуляції несучих, тому що при цьому збільшується можлива різниця (у квантах АЦП) між сусідніми рівнями сигналу. Таким чином, може бути отриманий вигреш у швидкості передачі інформації без розширення ширини задіяного частотного спектра.

Підводячи підсумки, слід вказати, що авторами вперше були оцінені граничні можливості просторового ущільнення каналів поширення тропосферних сигналів у режимі мульти-МІМО та обґрунтований вибір алгоритму QAM-модуляції залежно від розрядності АЦП (ЦАП), що використовуються в апаратурі цифрової обробки сигналів.

Серед рекомендацій щодо практичної реалізації розроблених методів у перспективних ТРК слід відмітити модульність побудови цифрового сегменту передавальної та приймальної частин, використання багаторозрядних АЦП (ЦАП) та сучасних обчислювальних платформ з багатоядерними процесорами.

В якості напрямків подальших досліджень необхідно вказати актуальне питання визначення впливу похибок вимірювання характеристик матриці мульти-МІМО-каналу у приймачі на якість процесу передачі сигналів.

Список використаних джерел

1. Слюсар В. І. Метод просторово-часового кодування сигналів тропосферного зв'язку на основі удосконаленої технології мульти-МІМО / В. І. Слюсар, М. О. Масесов // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ "КПІ". – 2009. – Вип. 1. – С. 132 – 136.

2. Слюсар В. И. Тропосферные сети связи на основе мульти-МІМО систем / В. И. Слюсар, Н. А. Масесов // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке : 12-й Междунар. молодежный форум, 1-3 апреля 2008 г. : тезисы докл. – Х., 2008. – С. 162.

3. Слюсар В. И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи / В. И. Слюсар // Радиоаматор. – 1999. – № 8. – С. 58–59.

4. Слюсар В. И. Метод неортогональной дискретной частотной модуляции сигналов для узкополосных каналов связи / В. И. Слюсар, В. Г. Смоляр // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. – 2004. – № 4.– С. 53–59.

5. Слюсар В. И. Обработка сигналов в многопользовательской системе МІМО / В. И. Слюсар, Н. А. Масесов // Информационные системы и технологии (ИСТ-2008) : Междунар. науч.-техн. конф., 18 апреля 2008 г. : тезисы докл. – Н. Новгород, 2008. – С. 75–77.