



Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

3(43) ' 2017

Заснований
у 2007 році

Наукове періодичне видання,
в якому відображені результати
наукових досліджень з розробки та
удосконалення систем управління,
навігації та зв'язку у різних
проблемних галузях.

Засновник:
Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

Адреса редакційної колегії:
Україна, 36011, м. Полтава,
Першотравневий проспект, 24

Телефон: +38 (066) 706-18-30
(консультації, прийом статей).

E-mail:
kozelnkova@ukr.net

Інформаційний сайт:
<http://www.pntu.edu.ua>

Реферативна інформація
зберігається: у загальнодержавній
реферативній базі даних
„Україніка наукова” та публікується
у відповідних тематичних серіях
УРЖ „Джерело”.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Голова:

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф., Україна)

Заступники голови:

ШЕФЕР Олександр Віталійович (канд. техн. наук, доц., Україна)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц., Україна)

Члени:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович (д-р техн. наук, проф., Ізраїль)

ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф (д-р техн. наук, проф., Польща)

ІЛЬІН Олег Юрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КОРОБКО Богдан Олегович (канд. техн. наук, доц., Україна)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович (д-р техн. наук, проф., Німеччина)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф. Чехія)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф., Україна)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ПОПОВ Валентин Іванович (д-р фіз.мат. наук, проф., Латвія)

СТАНКУНАС Джонас (д-р техн. наук, проф., Литва)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ФРОЛОВ Євгеній Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ХОРОШКО Володимир Олексійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЧОРНИЙ Олексій Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

Відповідальний секретар:

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф., Україна)

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Журнал індексується наукометричною базою Google Scholar

Затверджений до друку науково-технічною радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (протокол № 7 від 17 травня 2017 року)

Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 25.01.2013 р., № 54

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.



Юрій Кондратюк

120

**Випуск журналу присвячений
120-й річниці із дня народження
піонера теоретичної космонавтики**

З М І С Т

<i>Шульга О.В., Борщ В.В. Штрихи біографії Юрія Кондратюка до 120-річного ювілею</i>	4
НАВІГАЦІЯ	
<i>Дорогобід В.П., Козелков С.В., Бороздін М.К. Підвищення точності місцеположення рухомих об'єктів за рахунок використання системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України</i>	7
ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ	
<i>Борщ В.В., Борщ О.Б., Шульга О.В. Автоматизоване керування процесом знезараження води</i>	11
<i>Галай В.М. Дослідження та моделювання системи управління електроприводом пасажирського ліфта із покращеними динамічними характеристиками</i>	14
<i>Здановський В.Г., Коваленко В.В., Глива В.А. Критеріальний підхід до оцінювання електромагнітного навантаження на виробничі середовища</i>	18
<i>Кислиця С.Г., Кожушко Г.М. Світлодіодні світильники: особливості та основні світлотехнічні вимоги</i>	21
<i>Мінтус А.М. Підвищення точності формування задавальних впливів для систем позиціонування</i>	24
<i>Свид І.В., Штих І.А. Синтез виявлювача послідовностей сигналів запиту несинхронної мережі систем ідентифікації</i> ..	28
<i>Тамахін Г.В., Дзівіцький В.Д. Оптимізація передачі електричної енергії від джерел до нелінійного навантаження</i>	31
<i>Худов В.Г., Хижняк І.А., Петров О.А. Ройовий метод сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження</i>	34
<i>Шуляк М.Л., Лебедев А.Т., Артьомов М.П., Мальцев В.П. Експериментальне дослідження алгоритму керування режимами роботи транспортного агрегату</i>	38
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ	
<i>Корж Ю.Н., Тыртышников А.И., Маврина М.А., Курчанов В.Н. Особенности прогнозирования нестационарных случайных процессов с известным трендом</i>	43
<i>Лецинский В.А., Лецинская И.А. Анализ структуры понятий методом сравнения</i>	48
<i>Ребров О.Ю. Анализ розподілу сільськогосподарських угідь України за питомим опором ґрунту при оранці</i>	51
КІБЕРНЕТИЧНА БЕЗПЕКА	
<i>Берковський В.В., Безсонов О.С. Аналіз та класифікація методів виявлення вторгнень в інформаційну систему</i>	57
<i>Резанов Б.М., Бульба С.С., Шокотько Д.В. Фактори аутентифікації системи контролю та управління доступом</i> ...	63
<i>Стрельницький О.О. Протиріччя та проблема захисту інформації в мережі систем спостереження повітряного простору</i>	66
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
<i>Веселовський М.В. Побудова смарт-систем за допомогою Raspberry Pi</i>	69
<i>Єрмілова Н.В., Остапенко О.С. Сучасні інформаційні технології у створенні віртуального освітнього середовища віддаленого доступу при інженерній підготовці фахівців електротехнічного напрямку</i>	73
<i>Жебка В.В., Шевченко С.М., Онищенко В.В. Основні аспекти математичного моделювання процесу управління телекомунікаційною мережею</i>	77
<i>Кучук Н.Г., Нечаусов С.М. Математична модель процесу оперативного перерозподілу обчислювальних ресурсів в гіперконвергентному середовищі</i>	80
<i>Левченко Д.Д. Аналіз факторів, що впливають на продуктивність кластеру нереляційної бази даних Cassandra</i>	84
<i>Лисенко Д.Е. Модель задачі прийняття рішень щодо вибору бізнес-процесів логістичного циклу організаційно-технічної системи</i>	88
<i>Мартінкус І.О., Ткачук М.В., Гамзаєв Р.О. Конструювання лінійок програмних продуктів із застосуванням доменного моделювання та метрик повторного використання коду</i>	93
<i>Минухин С.В. Информационная технология обработки заданий в двухуровневой распределенной системе с использованием СУБД PostgreSQL</i>	98
<i>Москаленко А.О., Сокол Г.В., Глуховець Ю.В., Варич В.В. Комплекс інтерактивних тривимірних моделей фізичних процесів та явищ засобами Blender</i>	104
<i>Обод А.І. Синтез та аналіз інформаційної структури обробки даних систем спостереження повітряного простору</i> ..	108
<i>Prischepa A.V. Modern data transmission system</i>	111
<i>Сілін С.О., Шостак І.В. Підхід до створення віртуальної мережі між IoT-пристроями, що поєднані трансляцією мережевих адресів</i>	114
<i>Ткачов В.М. Метод передачі даних в комп'ютерній мережі проміжного зберігання даних складної інформаційної системи</i>	117
<i>Чаузов О.М., Кононов В.Б., Лукова-Чуйко Н.В. Методика прогнозування часу обробки запиту систем швидкого реагування</i>	120
<i>Яцина Д.Ю. Нейронні мережі для розробки системи конвертації голосу</i>	124
ЗВ'ЯЗОК	
<i>Гонтар М.М., Сільвестров А.М., Нелюба Д.М. Аналіз методу найменших квадратів при зашумленості сигналів</i> ...	129
<i>Слюсарь І.І., Слюсар В.І., Смоляр В.Г., Волошко С.В. Мультистандартна система транкінгового зв'язку на основі перспективних технологій</i>	133
<i>Шефер О.В. Використання каналів втрати енергії електронів плазмової оболонки для мінімізації спотворень та затухань сигналів зв'язку із космічним апаратом</i>	139
<i>Шишацький А.В., Гриценко К.М., Чумак В.К., Завада А.А. Методика управління параметрами багатоантенних систем з шумоподібними сигналами</i>	143
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	146

УДК 621.396

І.І. Слюсарь, В.І. Слюсар, В.Г. Смоляр, С.В. Волошко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

МУЛЬТИСТАНДАРТНА СИСТЕМА ТРАНКІНГОВОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У роботі розглянуті особливості побудови перспективних транкінгових систем радіозв'язку. На основі аналізу характеристик існуючих систем визначено основні недоліки та обмеження при роботі в різних умовах. В ході досліджень були визначені пріоритетні напрямки їх подальшого розвитку. Наведено результати математичного моделювання основних параметрів перспективної базової станції з точки зору забезпечення мультистандартності.

Ключові слова: транкінгові системи радіозв'язку, цифрове діаграмоутворення, N-OFDM, OFDM.

Вступ

Для створення Національної системи мобільного зв'язку державних органів [1] передбачається впровадження сучасних цифрових систем транкінгового радіозв'язку в інтересах служб громадської безпеки.

Аналізуючи особливості побудови перспективних транкінгових систем радіозв'язку (ТСР) можна зробити висновок, що вимоги до ТСР в Європі відрізняються від США через кілька чинників: висока щільність населення, велика кількість індустріальних центрів, розвинена структура проводових і безпроводових комунікацій. Тому, в Європі виправдане застосування систем з часовим множинним доступом (Time Division Multiple Access, TDMA) навіть при тому, що витрати на їх розгортання в два і більше разів вищі у порівнянні з системами з частотним множинним доступом (Frequency Division Multiple-Access, FDMA). Системи з FDMA більш привабливі для країн з нерівномірною щільністю абонентів, зі складним рельєфом місцевості, з наявністю примітивних аналогових систем зв'язку та ін.

За останні роки проведені численні наукові дослідження щодо впровадження сучасних цифрових ТСР в інтересах служб громадської безпеки.

За рівнем своїх функціональних можливостей системи TETRA (TErrestrial TRunked RADio) [2] з TDMA і APCO25 (Association of Public Safety Communications Officials International) [3] з FDMA перебувають на верхньому рівні класифікації ТСР. Кожен зі стандартів має більше сотні функцій передачі голосу/даних.

Однак, зазначені ТСР в технологічному плані значно відстають від інших телекомунікаційних систем передачі, наприклад, систем мобільного зв'язку 4G/5G [4], уніфікованих комунікацій, систем оптичного доступу [5] та ін. Як наслідок, основні елементи інфраструктури ТСР, в т. ч. й базові станції (БС), повинні будуватись на сучасних схемо-технічних рішеннях.

Метою даної роботи є обґрунтування доцільності застосування сучасних цифрових систем транкінгового радіозв'язку для створення Національної системи мобільного зв'язку державних органів.

Виклад основного матеріалу досліджень

Як відомо, для реалізації високошвидкісної передачі даних та забезпечення вимог до систем радіозв'язку служб громадської безпеки існував проект MESA (Mobility for Emergency and Safety Applications). Він передбачав швидкість передачі на рівні 2 Мбіт/с. Однак, він так і не набув подальшого практичного розвитку стосовно ТСР. В цьому сенсі технології TETRA і APCO25, які вже багато років використовуються правоохоронними органами багатьох світових країн, є найбільш успішними.

Зазвичай, для систематизації ТСР використовують кілька класифікаційних ознак: тип багатостанційного доступу; метод передачі мовної інформації; кількість зон; метод об'єднання БС у багатозонових системах; спосіб пошуку та призначення каналу; тип каналу керування; спосіб утримання каналу.

Проведений аналіз свідчить про те, що цифрові ТСР у порівнянні з аналоговими мають переваги за рахунок реалізації вимог щодо підвищеної оперативності та безпеки зв'язку, надання широких можливостей з передачі даних, більш широкого спектру послуг зв'язку, можливостей організації взаємодії абонентів різних мереж.

Як відомо, всі цифрові ТСР є системами з виділеним каналом керування, а розрізняються насамперед способом доступу: FDMA або TDMA. Враховуючи поширеність в Україні ТСР TETRA і відкритість стандарту надалі в роботі розглядається ТСР TETRA. Стандарт TETRA припускає використання діапазону частот від 150 до 900 МГц. При цьому, TETRA Release 2 забезпечує 38,4÷691,2 кбіт/с, а радіоінтерфейс дозволяє реалізувати квадратурну амплітудну модуляцію QAM-64 (Quadrature Amplitude

Modulation, QAM). Аналіз варіантів застосування методу TDMA на прикладі TETRA дозволяє визначити його переваги та недоліки відносно TCP.

Для визначення характеристик та параметрів перспективної БС TCP TETRA в роботі виконана порівняльна оцінка TCP Motorola Dimetra IP [6], Rohill Tetranode [7] і DAMM Tetraflex [8]. З точки зору повноти функціоналу пріоритетними є TCP DAMM TetraFlex. Однак, при необхідності побудови систем загальної безпеки або об'єднаних TCP кількох силових структур на державному рівні перевагу слід віддати Motorola Dimetra IP Scalable.

Під час аналізу параметрів радіотракту TCP TETRA встановлено, що зона покриття БС TETRA в 2÷3 рази менша, ніж у БС аналогових TCP або DMR (Digital Mobile Radio). Тому, система TETRA вимагає встановлення в 3÷5 разів більшої кількості станцій для покриття аналогічної території.

Сервіс удосконаленої служби передачі даних (TETRA Enhanced Data Service, TEDS) оптимізований на ефективне використання частотного спектру та припускає використання різної ширини каналу та типу модуляції залежно від умов поширення сигналу. TEDS використовує 8 несучих частот на кожні 25 кГц, тобто 8, 16, 32 і 48 несучих на канали шириною 25, 50, 100 і 150 кГц відповідно. Кожна несуча забезпечує швидкість передачі 2400 символів за секунду, а сумарна символна швидкість залежить від загальної кількості несучих. Такий метод за рахунок низької швидкості на кожній несучій забезпечує стійкість модуляції до часової дисперсії і, отже, дозволяє уникнути необхідності застосування адаптивного еквалайзера.

На жаль, дотепер через дефіцит частотного спектру в мобільному радіозв'язку розгортання радіомереж з підтримкою сервісу TEDS обмежене використання каналів шириною ≤ 50 кГц.

Підвищення пропускної здатності БС TCP можливе за рахунок використання нових варіантів множинного доступу, що базуються на основі сучасних технологій та методів модуляції з високою спектральною ефективністю. Як наслідок, пропонується кілька підходів до вирішення цієї задачі:

- отримання додаткового операційного підсилення за рахунок модифікації алгоритмів QAM;
- робота з існуючим парком обладнання стандарту TETRA;
- введення режиму множинного доступу на основі ортогональної частотної дискретної модуляції (Orthogonal Frequency Division Multiple Access OFDMA);
- реалізація цифрової обробки сигналів (ЦОС) за гібридною схемою OFDM/TDMA або OFDMA/TDMA;
- забезпечення мультистандартних режимів роботи, наприклад, з DMR, APCO25 та ін.

Для підвищення пропускної здатності TCP стандарту TETRA у перспективній БС пропонується використовувати замість однієї несучої з QAM багатопозиційний сигнал типу OFDM [9]. Оскільки при застосуванні OFDM інформаційний потік розподілений на велику кількість низькошвидкісних підканалів, то довжина тактового інтервалу для кожної несучої визначається істотно більшою за типову затримку сигналів при багатопробному розповсюдженні радіохвиль. Це перетворює підданий селективному федингу широкопосмуговий канал з однією несучою на незалежні фединговані вузькосмугові підканали з частотним ущільненням.

Перед визначенням основних параметрів ЦОС у БС з OFDM в рамках TCP TETRA доцільно сформулювати початкові дані, які спираються на вимоги стандарту TETRA. Враховуючи тривалість одного тайм-слоту (Time Slot, TS) – 14,167 мс і кількість переданої інформації – 510 модуляційних біт, технічна швидкість передачі складає 35,99915 кбіт/с (≈ 36 кбіт/с).

Для виявлення помилок при передачі в каналі радіозв'язку та їх виправлення, в каналному кодуванні застосовуються технології Forward Error Correction (FEC) і Cyclic Redundancy Check (CRC) у вигляді 4-ох процедур: блочного кодування, згорткового кодування, перемежування та шифрування, після чого формуються інформаційні канали. Один радіоканал займає смугу 25 кГц. Таким чином, в якості вихідних положень доцільно прийняти:

- абонентські термінали TETRA підключаються до БС в режимі TDMA;
- тривалість одного TS дорівнює 14,167 мс;
- затримка сигналу може складати 7÷10 мкс;
- режим TEDS використовує 8 несучих на канал смугою 25 кГц.

Надалі слід сформулювати вимоги до основних параметрів БС з OFDM:

1. БС з OFDM повинна підтримувати стандартні абонентські термінали TETRA в режимі TDMA. Це означає, що OFDM з модифікованим алгоритмом QAM реалізується в межах одного TS для абонентських терміналів з підтримкою відповідної удосконаленої ЦОС. Якщо всі термінали підтримують запропонований підхід, то може реалізовуватись режим доступу OFDM/TDMA або OFDMA, що дає додаткове підвищення пропускної здатності TCP.

2. Згідно з TEDS мінімальна кількість несучих підканалів сигналу OFDM повинна складати $M_{\min}=8$.

3. Кількість символів OFDM, що формують кадр, дорівнює цілому числу N .

Враховуючи вищезазначене, розраховуються параметри сигналу БС з OFDM.

1. Для розрахунку максимальної кількості несучих підканалів (відповідно – розмірність операції

швидкого перетворення Фур'є (ШПФ)) прийнятно тривалість символного періоду OFDM (або періоду ШПФ) рівною довжині TS, тобто $T_u=14,167$ мс, тоді:

$$M_{\max} = \frac{1}{T_u} = \frac{1}{14,167 \text{ мс}} = 283,34.$$

Зазвичай розмірність ШПФ обирається відповідно до алгоритму Кулі-Т'юкі (в даному випадку, $M_{\max}=2N$). Несприятливим наслідком популярності зазначеного алгоритму є те, що на основі параметрів алгоритмів ШПФ стали обиратись параметри обладнання замість того, щоб це мало зворотну послідовність. В даний час ефективні алгоритми ШПФ існують для практично будь-яких довжин перетворення,

наприклад – алгоритм Виноградова. Він більш ефективний в обчислювальному відношенні. Однак, прикладів практичного його використання майже немає через складність нерегулярної структури обчислень. Виходячи з цих міркувань визначається кількість несучих підканалів OFDM – $M_{\max}=256$.

2. Тривалість захисного інтервалу T_g може становити 1/4, 1/8, 1/16 або 1/32 від тривалості OFDM-символу.

Змінюючи значення T_g і кількість несучих підканалів в межах від $M_{\min}=8$ до $M_{\max}=256$ визначаємо кількість OFDM-символів в одному кадрі, тривалість якого не повинна перевищувати довжину TS. Результати розрахунків наведені в табл. 1÷3.

Таблиця 1

Параметри ЦОС OFDM для захисного інтервалу 1/8

Параметр сигналу OFDM	Кратність тривалості захисного інтервалу 1/8					
	256	128	64	32	16	8
Кількість підканалів	256	128	64	32	16	8
Δf , кГц	0,09766	0,19531	0,39063	0,78125	1,5625	3,125
T_u , мс	10,24	5,12	2,56	1,28	0,64	0,32
T_g , мс	1,28	0,64	0,32	0,16	0,08	0,04
$T_s=T_g+T_u$, мс	11,52	5,76	2,88	1,44	0,72	0,36
Розрахована кількість символів OFDM	1,22	2,45	4,91	9,83	19,67	39,35
Визначена кількість символів OFDM	1	2	4	9	19	39
Кількість символів OFDM на один кадр	4	9	19	39	78	157

Таблиця 2

Параметри ЦОС OFDM для захисного інтервалу 1/16

Параметр сигналу OFDM	Кратність тривалості захисного інтервалу 1/16					
	256	128	64	32	16	8
Кількість підканалів	256	128	64	32	16	8
Δf , кГц	0,097656	0,195313	0,390625	0,78125	1,5625	3,125
T_u , мс	10,24	5,12	2,56	1,28	0,64	0,32
T_g , мс	0,64	0,32	0,16	0,08	0,04	0,02
$T_s=T_g+T_u$, мс	10,88	5,44	2,72	1,36	0,68	0,34
Розрахована кількість символів OFDM	1,3	2,6	5,2	10,42	20,83	41,67
Визначена кількість символів OFDM	1	2	5	10	20	41
Кількість символів OFDM на один кадр	5	10	20	41	83	166

Таблиця 3

Параметри ЦОС OFDM для захисного інтервалу 1/32

Параметр сигналу OFDM	Кратність тривалості захисного інтервалу 1/32					
	256	128	64	32	16	8
Кількість підканалів	256	128	64	32	16	8
Δf , кГц	0,09766	0,19531	0,39063	0,78125	1,5625	3,125
T_u , мс	10,24	5,12	2,56	1,28	0,64	0,32
T_g , мс	0,32	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01
$T_s=T_g+T_u$, мс	10,56	5,28	2,64	1,32	0,66	0,33
Розрахована кількість символів OFDM	1,34	2,68	5,37	10,73	21,46	42,93
Визначена кількість символів OFDM	1	2	5	10	21	42
Кількість символів OFDM на один кадр	5	10	21	42	85	171

Вони свідчать, що зменшувати T_g менше 1/16 не доцільно.

Крім того, відповідно до стандарту TETRA, T_g не повинен бути менше значення затримки сигналу ($7\div 10$ мкс). На практиці, з отриманих N символів

OFDM необхідно виділити частину під пілот-сигнали ($\approx 6\%$ від загальної кількості), а також включити крайові підканали ($\approx 18\%$ від загальної кількості) у разі наявності в них амплітудно-частотних спотворень.

Як наслідок, для кратності тривалості захисного інтервалу $1/16$ з точки зору кількості символів OFDM, доцільно обрати систему параметрів з кількістю несучих від 8-ми до 32-х. Сумарна швидкість передачі даних розраховується після вибору кодової швидкості та алгоритму QAM.

Для забезпечення багатостандартності БС TCP можливо розвинути аналогічний підхід на ЦОС для TCP ARCO 25 другої фази, прийнявши наступні початкові дані: смуга каналу – 6,25 кГц, тривалість групи даних (Logical Link Data Unit, LDU) довжиною 9 кадрів – 180 мс. Наприклад, для тривалості одного кадру (20 мс) реалізується один символ OFDM з $M_{\max}=64$, $T_g=11,52$ мс.

В системах з OFDM на використання процедури перетворення Фур'є накладається обмеження, яке обумовлене відносно великими бічними пелюстками частотної характеристики фільтру ШПФ. Внаслідок цього може проявитися ефект міжканальної інтерференції, коли частоти несучих сигналів з визначених причин неконтрольовано зсуваються від максимуму амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) фільтру ШПФ. Таким чином, одним з істотних недоліків методу OFDM є те, що частотне ущільнення обмежене шириною смуги синтезованих фільтрів ШПФ [9].

Подібно до систем 5G одним з напрямків вирішення задач електромагнітної сумісності та підвищення спектральної ефективності є застосування



неортогональних сигналів, наприклад, неортогональної OFDM (N-OFDM) [10]. Це деякою мірою компенсує недоліки OFDM. На практиці, для підвищення завадозахищеності TCP процедуру N-OFDM, подібно OFDM, доцільно використовувати спільно зі схемами внутрішнього та зовнішнього каналного кодування для корекції або виявлення похибок.

Як відомо, QAM вже використовується в сучасних TCP FDMA (в iDEN використання QAM-16 забезпечує швидкість передачі 64 кбіт/с на канал) і TDMA (TETRA Release 2 – QAM-64 забезпечує до ≈ 690 кбіт/с). Відповідно, формування модуляційних символів OFDM теж виконується на подібній основі. При цьому, доцільно використовувати модифікацію, що зводиться до застосування схеми модуляції з «обертвовим» сигнальним сузір'ям [11]. Такий підхід забезпечує додаткове операційне підсилення.

Для мініатюризації антенних систем БС TCP та підвищення чутливості до слабких сигналів і забезпечення частотної та просторової вибірковості доцільно використовувати метаматеріали, електрично-малі антени (ЕМА) або реалізовувати комбінації зазначених технологічних підходів. Прикладом останнього є зразки антен (рис. 1) компанії Fractal Antenna Systems. Використовувана нею технологія дозволяє створювати за допомогою метаматеріалів багаточисельні фрактальні антени у різних формфакторах з унікальними показниками частотно-просторової селективності.

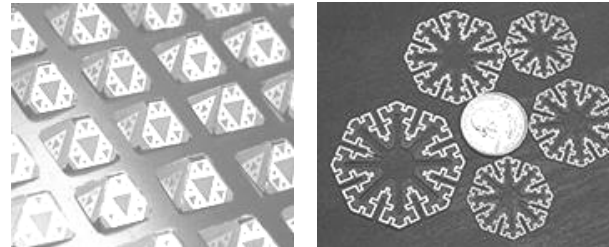


Рис. 1. Фрактальні антени з покриттям метаматеріалами розробки Fractal Antenna Systems

За аналогією з DVB-T2, доцільно забезпечити роботу терміналів абонентів в режимі MISO (множинний вхід – одиночний вихід) з використанням схеми кодування Аламоуті, тобто приймач обробляє сигнал від двох передавальних антен, або двох БС (відповідно, якщо він знаходиться в зоні їх дії) [11]. Як відомо, MISO – це частковий випадок MIMO – технології передачі даних n антенами та їх прийому m антенами. Сутність методу полягає в тому, що для передачі сигналу використовується не одна, а відразу кілька антен, що віддалені одна від одної. Розвитком цього підходу є введення режиму MIMO [12], який досить вдало використовується в безпроводових LAN (802.11n та ін.).

Досить перспективним для БС TCP є застосування технології цифрового діаграмоутворення (ЦДУ) на основі цифрових антенних решіток (ЦАР)

[13]. Ключова особливість ЦАР – цифрове формування променів діаграми спрямованості (ДС) антени. В цілому, телекомунікаційна система з ЦДУ на базі ЦАР має можливості для ефективного вирішення наступних завдань:

- поліпшення відношення сигнал/завада завдяки формуванню «нулів» ДС у напрямках завадових сигналів, у тому числі від сусідніх бортових та наземних станцій, навіть у головних пелюстках ДС;
- придушення завадових сигналів, що виникають у разі багатопроменевого поширення радіохвиль, а також істотне зниження глибини фідінгової модуляції;
- досягнення максимальної ефективності систем множинного доступу з кодовим (Code Division Multiple Access, CDMA), просторовим ущільненням (Space Division Multiple Access, SDMA); FDMA і TDMA;

– інтеграція в єдину інформаційну систему різних за функціональним призначенням підсистем, а саме радіонавігації, радіозв'язку тощо;

– підвищення інтенсивності корисних сигналів шляхом фокусування максимумів ДС у напрямках рухомих кореспондентів;

– вирішення проблеми електромагнітної сумісності.

Для демонстрації роботи процедури придушення завад при використанні ЦДУ і наступного формування максимуму ДС в потрібному напрямку було проведено математичне моделювання в пакеті

MathCad, результати якого наведені на рис. 2 і 3. При цьому, кутова координата корисного сигналу була задана рівною $+200$, а поодинокі завади – -200 відносно нормалі до 4-елементної антенної решітки. Амплітуда сигналу складала 10 умовних одиниць, а завади – 1000, різниця фаз сигналу та завади дорівнює 450 . Неважко помітити, що в результаті придушення завади відбувається спотворення сигнального відгуку, яке зростає у міру зближення кутових координат провалу ДС і напрямку на корисний сигнал (рис. 4). Аналогічні результати були отримані і при придушенні двох і трьох постановників завад.

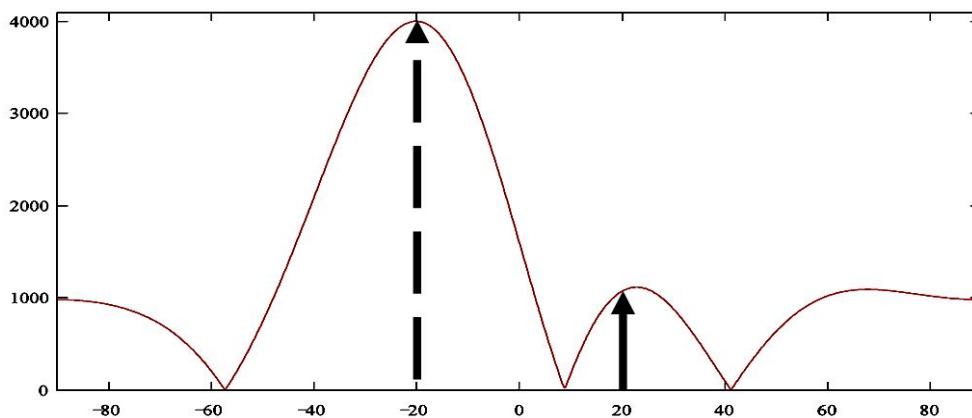


Рис. 2. Сигнальна суміш до придушення завади:
корисний сигнал – суцільна стрілка; завада – пунктирна стрілка

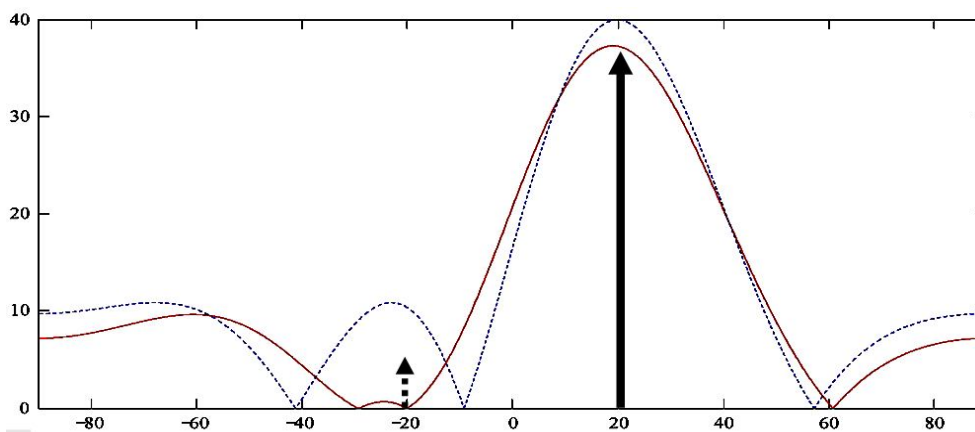


Рис. 3. Сигнальна суміш: після придушення завади – суцільна лінія;
немає завад – пунктирна лінія

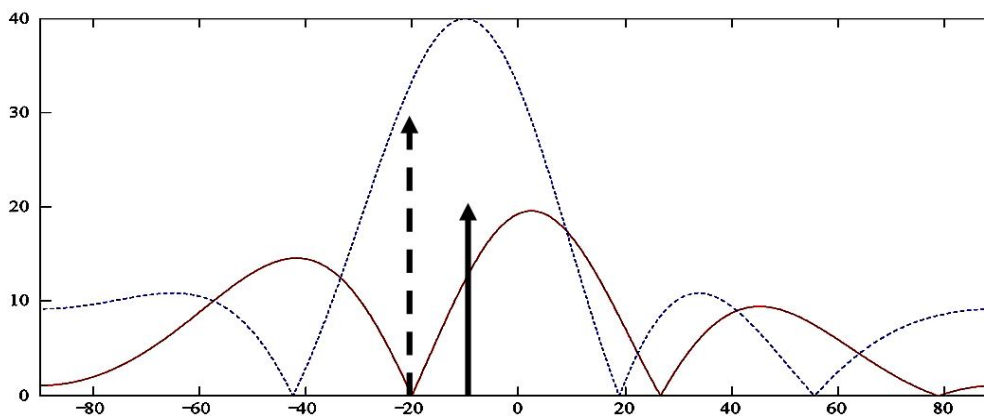


Рис. 4. Спотворення сигнального відгуку (суцільна лінія) після придушення завади при кутовому рознесенні на 100 (координата джерела завади – -200), немає завад – пунктирна лінія

Для перспективної БС, враховуючи вимоги щодо забезпечення можливості роботи з існуючим парком обладнання стандарту, уніфікації та відкритості щодо подальших модифікацій, а також реалізації мультистандартних режимів, в якості базової визначена технологія програмної конфігурації обладнання (Software-Defined Radio, SDR). На її основі розроблені схемні рішення приймального та передавального тракту перспективної БС з OFDM. На даний час, при побудові БС використовують конструктиви на основі CompactPCI. Альтернативою цьому є більш сучасні рішення, що впроваджують PCI Express [14].

Висновки

Таким чином, зазначені пріоритетні напрямки розвитку базових елементів інфраструктури ТСП дозволять значно розширити номенклатуру сервісів та послуг, а також задовольнити існуючі вимоги при створенні Національної системи мобільного зв'язку державних органів. Крім того, це скоротить суттєве відставання в технологічному плані ТСП від передових телекомунікаційних систем передачі.

Список літератури

1. Про затвердження плану першочергових заходів щодо створення Національної мережі мобільного зв'язку державних органів на 2015 рік / Розпорядження КМУ від 20 травня 2015 р. № 523-р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/523-2015-%D1%80>.
2. Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Release 2; Designer's Guide; TETRA High-Speed Data (HSD); TETRA Enhanced Data Service (TEDS) [Electronic resource] / ETSI TR 102 580 V1.1.1 (2007-10). Technical Report. – Last access: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102500_102599/102580/01.01.01_60/tr_102580v010101p.pdf.
3. APCO P25 (Project 25) [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/APCO_P25.
4. Слюсар І.І. Визначення пріоритетного ряду характеристик системи 5G на основі методу аналізу ієрархій. / І.І. Слюсар, В.І. Слюсар, Р.В. Кулик. // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: матеріали 6-ї міжнародної науково-технічної конференції. – Полтава: ПолтНТУ; Баку: ВА ЗС

АР; Кіровоград: КІА НАУ; Х.: ДП «ХНДІ ТМ», 21-22 квітня 2016 р. – С. 59.

5. Converged Solutions for Next Generation Optical Access / I. Sliusar, V. Slyusar, S. Voloshko, V. Smolyar // IEEE Second International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICST&T2015). – Kharkiv. – October 13-15, 2015. – P. 149-152.

6. Цифровая транкинговая система радиосвязи Motorola Dimetra IP Compact [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://www.sagatecom.ru/radiosystems/digital_systems/dimetra_ip_compact.php.

7. TetraNode access networks [Electronic resource] / Rohill. – Last access: <http://www.rohill.nl/products/access-networks>.

8. The power of true scalability with a TETRA system [Electronic resource] / Damm Cellular Systems A/S. – Last access: <http://www.damm.dk/products/tetraflex-system/>.

9. Пат. 47918А Україна, МПК H04J 1/00 (2002.07). Спосіб частотного ущільнення вузькосмугових інформаційних каналів / Слюсар В.І., Смоляр В.Г., Слюсар І.І.; заявники та власники Слюсар В.І., Смоляр В.Г., Слюсар І.І. – № 117512; заявл. 05.11.2001; опубл. 15.07.02, Бюл. №7.

10. Слюсар В.І. Неортогональное частотное мультиплексирование (N-OFDM) сигналов. Ч. 1. / В.І. Слюсар. // Технологии и средства связи. – 2013. – №5. – С. 61-65.

11. ETSI EN 302 755 v1.3.1 (2012-04) Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2) / ETSI. [Electronic resource] – Last access: http://telcogroup.ru/files/materials-pdf/DVB_standards/DVBT/a122_DVB-T2_spec.pdf.

12. Слюсар В.І. Системи MIMO: принципи побудови та обробка сигналів. / В.І. Слюсар. // Електроніка: наука, технологія, бізнес. – 2005. – №8. – С. 52-58.

13. Вишневицкий В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневицкий. – М.: Техносфера, 2005. – С. 498-569.

14. Слюсар В.І. Внедрение PCI Express в CompactPCI – попытка №2. / Слюсар В.І., Троцько А.А. // Електроніка: наука, технологія, бізнес. – 2010. – № 7. – С. 72-81.

Надійшла до редколегії 17.03.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

МУЛЬТИСТАНДАРТНАЯ СИСТЕМА ТРАНКИНГОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И.И. Слюсарь, В.И. Слюсар, В.Г. Смоляр, С.В. Волошко

В работе рассмотрены особенности построения перспективных транкинговых систем радиосвязи. На основе анализа характеристик существующих систем определены основные недостатки и ограничения при работе в разных условиях. В ходе исследований были определены приоритетные направления их дальнейшего развития. Приведены результаты математического моделирования основных параметров перспективной базовой станции с точки зрения обеспечения мультистандартности.

Ключевые слова: транкинговые системы радиосвязи, цифровое диаграммообразование, N-OFDM, OFDM.

MULTISTANDARD SYSTEM TRUNKING COMMUNICATION BASED ON ADVANCED TECHNOLOGIES

I.I. Sliusar, V.I. Slyusar, V.G. Smolyar, S.V. Voloshko

This article considers the features of advanced trunking radio systems. Based on the analysis of the characteristics and properties of the existing systems identified the main shortcomings and limitations of the application when operating in the different conditions. During the research priority areas identified for further development of these systems. The results of mathematical modeling of the main parameters of the base station perspective in terms of providing the multistandards.

Keywords: trunking radio systems, digital diagram formation, N-OFDM, OFDM.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Артёмов М.П.	38	Кононов В.Б.	120	Сілін С.О.	114
Безсонов О.С.	57	Корж Ю.М.	43	Сільвестров А.М.	129
Берковський В.В.	57	Курчанов В.М.	43	Слюсар В.І.	133
Бороздін М.К.	7	Кучук Н.Г.	80	Слюсарь І.І.	133
Борщ В.В.	4, 11	Лебедев А.Т.	38	Смоляр В.Г.	133
Борщ О.Б.	11	Левченко Д.Д.	84	Сокол Г.В.	104
Бульба С.С.	63	Лещинська І.О.	48	Стрельницький О.О.	66
Варич В.В.	104	Лещинський В.О.	48	Тамахін Г.В.	31
Веселовський М.В.	69	Лисенко Д.Е.	88	Тиртишніков О.І.	43
Волошко С.В.	133	Лукова-Чуйко Н.В.	120	Ткачов В.М.	117
Галай В.М.	14	Мавріна М.О.	43	Ткачук М.В.	93
Гамзаєв Р.О.	93	Мальцев В.П.	38	Хижняк І.А.	34
Глива В.А.	18	Мартінкус І.О.	93	Худов В.Г.	34
Глуховець Ю.В.	104	Мінтус А.М.	24	Чаузов О.М.	120
Гонтар М.М.	129	Мінухін С.В.	98	Чумак В.К.	143
Гриценко К.М.	143	Москаленко А.О.	104	Шевченко С.М.	77
Дзівіцький В.Д.	31	Нелюба Д.М.	129	Шефер О.В.	139
Дорогобід В.П.	7	Нечаусов С.М.	80	Шишацький А.В.	143
Єрмілова Н.В.	73	Обод А.І.	108	Шокотько Д.В.	63
Жебка В.В.	77	Онищенко В.В.	77	Шостак І.В.	114
Завада А.А.	143	Остапенко О.С.	73	Штих І.А.	28
Здановський В.Г.	18	Петров О.А.	34	Шульга О.В.	4, 11
Кислиця С.Г.	21	Прищепа О.В.	111	Шуляк М.Л.	38
Коваленко В.В.	18	Ребров О.Ю.	51	Яцина Д.Ю.	124
Кожушко Г.М.	21	Резанов Б.М.	63		
Козелков С.В.	7	Свид І.В.	28		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 3 (43)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Льїна*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 18,25. Тираж 200 прим. Зам. 517-17

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua