



Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Випуск 4 (32)

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:
kozelnikova@mail.ru

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.)

Заступники голови:

ГАЛАЙ Василь Миколайович (канд. техн. наук, доц.)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (канд. техн. наук, доц.)

Члени:

ІЛЮШКО Віктор Михайлович (д-р техн. наук, проф.)

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

КАЛІННИКОВ Володимир Геннадійович (д-р физ.-мат. наук, проф.)

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

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

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

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

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

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

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

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

МУРАВЛЬОВ Володимир В'ячеславович (канд. техн. наук, доц.)

ПЕШЕХОНОВ Володимир Григорович (академік РАН, д-р техн. наук, проф.)

СІЛЬВЕСТРОВ Антон Миколайович (д-р техн. наук, проф.)

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

СУХАНОВ Костянтин Георгійович (канд. техн. наук, с.н.с.)

ХРАЩЕВСЬКИЙ Рімвідас Вілімович (д-р техн. наук, проф.)

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

ЦАРЬОВ Віктор Михайлович (канд. техн. наук, с.н.с.)

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

Відповідальний секретар:

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, с.н.с.)

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

*Журнал індексується наукометричною базою Google Scholar (бібліометричні показники – 94/199/5);
71 місце серед 1800 українських періодичних наукових видань (http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe).*

Затверджений до друку науково-технічною радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (протокол № 21 від 11 листопада 2014 року)

Занесений до "Тереліку 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.

З М І С Т

КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО І ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Козелкова Е.С., Дмитриев И.О., Уварова Т.В.</i> Аналіз метода оцінки точності вимірювань апаратури супутникової навігації космічного апарата EGYPTSAT-1.....	3
<i>Козловський В.В., Миценко А.В., Левінсон Г.С., Петруняк І.Ю.</i> Методологія організаційно-технічного забезпечення інформаційної безпеки авіатранспортного комплексу України.....	8
<i>Тимочко А.А.</i> Метод тестування нечіткої логічної системи класифікації повітряних об'єктів в процесі контролю повітряного простору на основі нечітких мереж Петри.....	13
<i>Шарабайко О.М.</i> Аналіз функціонування існуючої системи контролю і аналізу космічної обстановки.....	17

РАДІОЛОКАЦІЯ І РАДІОТЕХНІКА

<i>Дружинін В.А.</i> Алгоритм визначення кутових координат об'єктів моніторингу в багатопозиційних системах радіолокаційного спостереження.....	18
<i>Наконечний В.С.</i> Аналіз методів виміру радіолокаційних характеристик об'єктів спостереження з метою отримання банку еталонних ознак для їх розпізнавання.....	32
<i>Степаненко Ю.К.</i> Можливості зменшення роздільної здатності по азимуту РЛС П-18.....	37

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

<i>Варламов І.Д., Гаценко С.С.</i> Математична модель інформаційних потоків автоматизованих систем управління....	42
<i>Галаган В.І., Турейчук А.М., Бондарчук С.В., Прокопенко О.С., Панадій К.В.</i> Світові тенденції, проблеми створення та впровадження автоматизованих систем управління військами (силами).....	50
<i>Галушка І.Н., Щербак С.С.</i> Применение технологий связанных данных для разработки сервисных шин территориально-распределенных предприятий.....	56
<i>Дробік О.В., Косовець М.А.</i> Дослідження роздільної здатності терагерцового 3D-радару з використанням інтегральної моделі гармонічних коливань типу I (IM-1) в умовах значних шумів.....	61
<i>Зінченко А.О., Слюсар В.І.</i> Багатопозиційна інтегрована система зв'язку і радіолокації із застосуванням методу децимації відліків аналогово-цифрових перетворювачів.....	65
<i>Коробчинський М.В., Мешков С.І.</i> Методика побудови мереж FN на основі динамічних моделей із розподіленими параметрами.....	71
<i>Кузавков В.В., Гайдур Г.І., Коваль Л.Т.</i> Шляхи вдосконалення системи технічного обслуговування.....	74
<i>Кушнірєва Н.І.</i> Формалізована постановка синтезу оптимально розподіленої структури системи прогнозування нештатних ситуацій.....	80
<i>Макаренко А.О., Гринкевич Г.О., Гусак М.О., Леявський Д.Б.</i> Дослідження ефективності роботи телекомунікаційних систем за допомогою інтерактивного програмного забезпечення.....	84
<i>Перкрестов Д.В.</i> Підтримка льотної придатності повітряних суден з продовженням ресурсом.....	88
<i>Пузырев А.Л., Ушаков В.В.</i> Практическая реализация метода инфракрасной эходефектоскопии для контроля элементов конструкции планера самолета в условиях эксплуатации.....	91
<i>Рагулін С.В.</i> Метод оцінки експлуатаційної надійності РЕС при явних і прихованих відмовах.....	94
<i>Рылова Н.В., Оксанич И.Г.</i> Метод оценки динамических приоритетов видов продукции в условиях дискретного производства.....	99
<i>Тихонов И.В., Гудков Д.М., Стадник О.І.</i> Особливості аналітичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах.....	105
<i>Чегодаев Б.В.</i> Перспективный метод оцінки якості технічного обслуговування пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку.....	109
<i>Шведова В.В.</i> Оцінювання показників якості тестового простору комп'ютеризованої системи тестування з малими контингентами опитуваних під час пілотного експерименту.....	118
<i>Яцко М.М.</i> Вибір методу статистичного аналізу надійності та класу моделі прогнозування надійності бортового обладнання літальних апаратів.....	126

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Голуб С.В., Немченко В.В.</i> Аналіз інформаційної технології обробки даних в процесах управління рухом мобільного робота.....	131
<i>Гринкевич Г.О., Коршун Н.В., Могилевський В.В., Малов А.И.</i> Оцінка ефективності технології «CLOUDCOMPUTING» в телекомунікаційній мережі.....	134
<i>Жебка В.В.</i> Синтез оптимальної телекомунікаційної мережі за трьома показниками якості.....	138
<i>Жураковський Б.Ю.</i> Розробка структури програмного забезпечення при об'єктному підході.....	142
<i>Мирошник О.М.</i> Комп'ютерна підтримка прийняття рішень в умовах техногенних надзвичайних ситуацій на основі ситуаційного управління.....	147
<i>Петрушен М.В.</i> Оцінка сучасних технологічних рішень та програмно-апаратних засобів щодо створення центру обробки даних у Збройних Силах України.....	155
<i>Федорова Н.В.</i> Сеть синхронизации и протокол прецизионного времени.....	160
<i>Хайрова Н.Ф., Аджит Пратап Сингх Гаутам.</i> Особенности экстракции и идентификации знаний WEB-контента.....	165
<i>Яремчук Ю.Є.</i> Особливості розроблення програмних засобів для асиметричного шифрування на основі рекурентних Vn-последовательностей.....	168

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<i>Перфілова О.О., Власенко Г.М.</i> Аналіз особливостей формування архітектурних систем доступного житла в приміських районах великих міст з урахуванням вимог безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	174
НАШІ АВТОРИ	177
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	179

Рис. 1. Результат оцінювання параметрів гармонійних коливань $U_k \cos(\Omega_k n + \varphi_k)$ за моделлю ІМ-1

Висновки

Наведений підхід дозволяє оцінювати всі три первинних параметри гармонічного коливання (частоту, фазу і амплітуду), до того ж дає добрі результати в умовах значних шумів. Це пояснюється тим, що операції інтегрування зберігають інформацію про фазу коливання і придушують шумову складову.

Список літератури

1. SynViewScan. 3D Terahertz / Millimeter Wave Imaging. — електрон. дані. — режим доступу: http://www.synview.com/download/DataSheet_SynViewScan_0810.pdf

2. Опенгейм А.В., Шафер Р.В. Обработка сигналов в дискретном времени: Пер. с англ. С.А.Кулешова / Под ред. А.С.Ненашева. — М.: Техносфера, 2006. — 856 с., ил.

3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2002. — 608 с. ил.

4. Шрюфер Е. Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизованных сигналов: Підручник / За ред. В. П. Бабака. — К.: Либідь, 1992, С. 51 — 55.

5. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems / Transactions of the ASME — Journal of Basic Engineering, 82 (Series D): 35 — 45. Copyright © 1960 by ASME.

Надійшла до редколегії 12.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО 3D-РАДАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ТИПА 1 (ИМ-1) В УСЛОВИЯХ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ШУМОВ

А.В. Дробик, М.А. Косовец

В научной лаборатории НПП «Квантор» были проведены исследования изготовленного ЛЧМ (линейная частотная модуляция) радара с ограниченным во времени частоты биения от 3-х слоев отражения. Расстояния до слоев отражения — 0,095 м, 0,105 м, 0,106 м. Построена интегральная модель непрерывного сигнала биения на выходе смесителя ЛЧМ-радар, которая в первом приближении считается моделью гармонического колебания с неизвестными первичными параметрами. Приведенный подход позволил оценить все три первичных параметра гармонического колебания (частоту, фазу и амплитуду). Метод дал хорошие результаты в условиях значительных шумов.

RESEARCH RESOLUTION TERAHERTZ 3D-RADAR USING INTEGRAL MODELS HARMONIC OSCILLATION TYPE (IM-1) WITH THE SIGNIFICANT NOISE

A. V. Drobyk, M. A. Kosovets

In the science lab SPE "Quantor" studies were conducted made FMCW (Frequency modulation continuous wave) radar with a limited time to the beat frequency of 3 layers of reflection. The distance to the reflection layers - 0,095 m, 0,105 m, 0,106 m. Built integrated model of continuous beat signal at the mixer output chirped FMCW radar, which in the first approximation is considered a model of harmonic oscillation with unknown primary parameters. We have a campaign allows us to evaluate the pouring-all three primary parameters of harmonic oscillations (frequency, phase and amplitude). Method gave good results in a significant noise.

УДК 621.396

А.О. Зінченко¹, В.І. Слюсар²

¹Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

²Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

БАГАТОПОЗИЦІЙНА ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ І РАДІОЛОКАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ДЕЦИМАЦІЇ ВІДЛІКІВ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

У статті удосконалені розроблені раніше математичні моделі відгуку приймальної підсистеми багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації на сигнали, що надходять на її приймальну під-

систему, за рахунок застосування методу додаткового стробування відліків аналогово-цифрових перетворювачів. Моделі формалізовані для застосування окремих лінійних, плоских, а також конформних багатосекційних цифрових антенних решіток у приймальних позиціях багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації. Розглянуто варіанти надходження на приймальну підсистему окремих одночастотних сигналів від кожної активної позиції, що у сукупності утворюють інформаційний сигнал OFDM (N-OFDM), та складних багаточастотних сигналів OFDM (N-OFDM) від кожної позиції. Такий підхід дозволить спростити вимоги до швидкодії цифрових пристроїв обробки сигналів у приймальних цифрових антенних решітках.

Ключові слова: цифрова антенна решітка, багатопозиційна інтегрована система зв'язку та радіолокації, сигнальна матриця, діаграма спрямованості, додаткове стробування, приймальна позиція.

Вступ

Серед тенденцій розвитку інформаційних систем спеціального призначення заслуговує на увагу ідея створення багатофункціональних засобів, які поєднують у межах однієї апаратної платформи вирішення завдань традиційно притаманних окремим за призначенням радіотехнічним комплексам. Прикладом може слугувати початок розробки інформаційних систем, що забезпечують реалізацію функцій радіолокації та зв'язку на єдиній платформі апаратних засобів зі спільним набором радіосигналів. Вони отримали за кордоном назву радарно-комунікаційних систем [1]. Наступний крок, це інтеграція таких багатофункціональних засобів у єдині інформаційні кластери [2, 3]. Такий підхід дозволить досягти синергетичного ефекту.

У роботах [4, 5] авторами була запропонована ідея створення багатопозиційної інтегрованої системи мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки (МСЗРЛ) із застосуванням лінійних, плоских або мультисекційних конформних антенних решіток у якості приймально-передавальних пристроїв на кожній позиції. З метою розробки алгоритмічного забезпечення функціонування описаної багатопозиційної системи, авторами було розроблено ряд аналітичних моделей відгуку її приймальної підсистеми [6-10]. Моделі були формалізовані на випадок застосування на кожній позиції лінійних, плоских та багатосекційних конформних цифрових антенних решіток (КЦАР). При цьому для випадку застосування КЦАР у моделях відгуку передбачалися варіанти використання лінійних і плоских антенних решіток у секціях, а також багатосекційна побудова самих секцій. Проте така формалізація відгуку приймальної підсистеми багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації призводить до різкого збільшення обчислювальних операцій, що у свою чергу накладає обмеження на швидкодню спеціалізованих приладів цифрової обробки сигналів. Наведені у [6-10] співвідношення були орієнтовані на обробку безпосередньо відліків напруг сигналів по виходам аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Разом із тим, для спрощення вимог до швид-

кодії цифрових пристроїв обробки сигналів у приймальних ЦАР може бути застосоване проріджування інформаційних потоків за рахунок додаткового стробування відліків АЦП [11]. Вважається за доцільне провести узагальнення відгуку багатопозиційної системи МСЗРЛ саме за такою процедурою.

Метою статті є удосконалення раніше розроблених матричних моделей відгуку приймальної підсистеми багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації на основі цифрових антенних решіток з урахуванням процедури додаткового стробування відліків АЦП.

Основна частина

Для спрощення цифрової обробки сигналів будемо вважати, що формування квадратурних складових їх напруг здійснюється в аналоговому сегменті приймального тракту. При цьому обмежимося умовою, що смуга частот сигналів не є настільки широкою, щоб завдати значних викривлень у розквдратуренні сигналів. Аналого-цифрове перетворення кожної з отриманих у такий спосіб квадратурних складових напруг дозволяє в подальшому застосувати один з методів додаткового стробування (децимації) відліків АЦП. Сутність процедури проріджування (децимації) полягає у формуванні за сумою відліків АЦП одного сумарного відліку, що жорстко прив'язується за часом до сітки тактових імпульсів АЦП (рис. 1).



Рис. 1. Процедура децимації відліків аналого-цифрового перетворювача

Для позначення процедури додаткового стро-

бування відліків АЦП введемо узагальнене позначення $Z(w_m)$, що буде відповідати комплексній амплітудно-частотній характеристиці (АЧХ) процедури додаткового стробування відліків АЦП. Застосування величини $Z(w_m)$ дозволяє врахувати частотно-селективні властивості операції додаткового стробування в обробці сигналів. Таке узагальнене позначення застосуємо з метою формування сигнальних матриць, що були розроблені у попередніх роботах [6-10].

Для початку розглянемо випадок, коли на приймальну підсистему надходять окремі сигнали, що у сукупності утворюють інформаційний сигнал OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) або N-OFDM (non-orthogonal frequency division multiplexing).

Таким чином, у випадку виконання в приймальній ЦАР операції додаткового стробування відліків АЦП вектор напруг відгуків частотних фільтрів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) на пакет OFDM (N-OFDM) сигналу, що утворений одночастотними сигналами M випромінювачів, може бути отриманий, якщо зробити підстановки у сигнальну матрицю P відповідних співвідношень. Зокрема, для лінійних ЦАР, коли значення АЧХ фільтрів ШПФ та пристрою додаткового стробування відліків АЦП на частотах сигналів для всіх позицій однакові, у режимі зв'язку мова має йти про вираз:

$$P = (\tilde{H} \circ Q) [n] (ZnF), \quad (1)$$

де $Z = [Z(w_1) \quad L \quad Z(w_M)]$ – вектор-рядок ненормованої АЧХ цифрового фільтру додаткового стробування відліків АЦП на частотах M піднесучих сукупного OFDM (N-OFDM) сигналу, що формується за рахунок випромінювання електромагнітних коливань антенними пристроями M абонентських терміналів;

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11}(x_{11}) & L & Q_{11}(x_{M1}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Q_{R1}(x_{11}) & L & Q_{R1}(x_{M1}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Q_{IT}(x_{1T}) & L & Q_{IT}(x_{MT}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Q_{RT}(x_{1T}) & L & Q_{RT}(x_{MT}) \end{bmatrix} \text{ – блокова матриця}$$

діаграм спрямованості антенних елементів лінійної антенної решітки t -ої позиції $Q_{rt}(x_{mt})$ у напрямку на m -те джерело сигналів (m -го кореспондента) з відносною для t -ої позиції кутовою координатою x_{mt} , $m=1, \dots, M$; $r=1, \dots, R$ – порядковий номер антенного елементу в антенній решітці у межах ЦАР t -ої позиції, $t=1, \dots, T$ – порядковий номер позиції конкретної ЦАР у багатопозиційній системі;

$$\tilde{H}_Q = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{Q111} & L & \tilde{h}_{Q11M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{QR11} & L & \tilde{h}_{QR1M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{QIT1} & L & \tilde{h}_{QITM} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{QRT1} & L & \tilde{h}_{QRTM} \end{bmatrix} \text{ – блокова матриця пе-}$$

редавальних характеристик каналу МІМО \tilde{h}_{Qrtm} у напрямках на m -те джерело сигналів (m -го кореспондента) з кутовою координатою x_{mt} ;

$$F = \begin{bmatrix} F_{11}(w_1) & L & F_{11}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{S1}(w_1) & L & F_{S1}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{IT}(w_1) & L & F_{IT}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{ST}(w_1) & L & F_{ST}(w_M) \end{bmatrix} \text{ – блокова матриця}$$

АЧХ S частотних фільтрів, синтезованих за допомогою дискретного перетворення Фур'є на частотах піднесучих OFDM, N-OFDM сигналу; w_m – радіальна частота сигналу (m -го кореспонденту); – символ матричного добутку Адамара (поелементний добуток); $[n]$ – символ блокового транспонованого торцевого добутку матриць [12]; n – символ транспонованого торцевого добутку матриць [12].

Якщо добуток ZnF подати у блоковому вигляді з розбиттям на стовпці, наприклад,

$$ZnF = \begin{bmatrix} Z(w_1) \\ \mathbf{M} \\ Z(w_M) \end{bmatrix}^T n \begin{bmatrix} F_{11}(w_1) & L & F_{11}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{S1}(w_1) & L & F_{S1}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{IT}(w_1) & L & F_{IT}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{ST}(w_1) & L & F_{ST}(w_M) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z(w_1) & \begin{bmatrix} F_{11}(w_1) \\ F_{S1}(w_1) \\ F_{IT}(w_1) \\ F_{ST}(w_1) \end{bmatrix} & L & Z(w_M) & \begin{bmatrix} F_{11}(w_M) \\ F_{S1}(w_M) \\ F_{IT}(w_M) \\ F_{ST}(w_M) \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

то замість (1) слід застосувати вираз:

$$P = (\tilde{H} \circ Q) [\otimes] (ZnF). \quad (2)$$

у якому, $[\otimes]$ – блоковий кронекеровський (прямий) добуток матриць, а матриці Q , \tilde{H}_Q будуть мати додаткове розшарування за стовбцями по вертикалі, а саме,

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11}(x_1) & \mathbf{L} & Q_{11}(x_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Q_{R1}(x_1) & \mathbf{L} & Q_{R1}(x_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Q_{IT}(x_1) & \mathbf{L} & Q_{IT}(x_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Q_{RT}(x_1) & \mathbf{L} & Q_{RT}(x_M) \end{bmatrix}, \quad \tilde{H} = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{111} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{11M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{R11} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{R1M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{IT1} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{ITM} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{RT1} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{RTM} \end{bmatrix},$$

або

$$P = (\tilde{H} \mathbf{O} Q) \otimes (Z \otimes F), \quad (3)$$

якщо Z є блоковим вектор-рядком і має узгоджену блокову структуру з матрицею F з розширенням по стовпцях, тобто $Z = [Z(w_1) \mid \mathbf{L} \mid Z(w_M)]$,

$$F = \begin{bmatrix} F_{11}(w_1) & \mathbf{L} & F_{11}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{S1}(w_1) & \mathbf{L} & F_{S1}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{IT}(w_1) & \mathbf{L} & F_{IT}(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline F_{ST}(w_1) & \mathbf{L} & F_{ST}(w_M) \end{bmatrix},$$

$$Z \otimes F = \begin{bmatrix} Z(w_1) & \begin{bmatrix} F_{11}(w_1) \\ F_{S1}(w_1) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z(w_M) & \begin{bmatrix} F_{11}(w_M) \\ F_{S1}(w_M) \end{bmatrix} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Z(w_1) & \begin{bmatrix} F_{IT}(w_1) \\ F_{ST}(w_1) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z(w_M) & \begin{bmatrix} F_{IT}(w_M) \\ F_{ST}(w_M) \end{bmatrix} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \end{bmatrix}.$$

У разі застосування в різних позиціях МСЗРЛ неоднакових методів додаткового стробування відліків АЦП блоковий вектор-рядок Z у виразі (4) має трансформуватись у блокову матрицю

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1(w_1) & \mathbf{L} & Z_1(w_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Z_T(w_1) & \mathbf{L} & Z_T(w_M) \end{bmatrix},$$

де нижній індекс при Z означає порядковий номер позиції,

$$Z \otimes F = \begin{bmatrix} Z_1(w_1) & \begin{bmatrix} F_{11}(w_1) \\ F_{S1}(w_1) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_1(w_M) & \begin{bmatrix} F_{11}(w_M) \\ F_{S1}(w_M) \end{bmatrix} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline Z_T(w_1) & \begin{bmatrix} F_{IT}(w_1) \\ F_{ST}(w_1) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_T(w_M) & \begin{bmatrix} F_{IT}(w_M) \\ F_{ST}(w_M) \end{bmatrix} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \end{bmatrix}.$$

Перехід до режиму радіолокації у виразах (1) – (3), як і раніше, має супроводжуватись вилученням матриці \tilde{H} [9].

При застосуванні плоскої ЦАР співвідношення (1) – (3) слід модифікувати введенням у вирази сигнальної матриці діаграм спрямованості антенних елементів у кутомісцевій площині, наступним чином:

а) для виразу (1)

$$P = ((Q \mathbf{O} \tilde{H}_Q) \otimes [\mathbf{n}]) (V \mathbf{O} \tilde{H}_V) \otimes [\mathbf{n}] (Z \mathbf{n} F), \quad (4)$$

де матриці Q, \tilde{H}_Q співпадають з наведеними в (1), а матриці V, \tilde{H}_V будуть мати вигляд:

$$V = \begin{bmatrix} V_{11}(y_1) & \mathbf{L} & V_{11}(y_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline V_{R1}(y_1) & \mathbf{L} & V_{R1}(y_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline V_{IT}(y_1) & \mathbf{L} & V_{IT}(y_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline V_{RT}(y_1) & \mathbf{L} & V_{RT}(y_M) \end{bmatrix} - \text{блокова матриця діаграм спрямованості антенних елементів у кутомісцевій } V_{IT}(y_m) \text{ площині у напрямку на } m\text{-те джерело сигналів з кутовою координатою } (y_m);$$

$$\tilde{H}_V = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{V111} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{V11M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{VR11} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{VR1M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{VIT1} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{VITM} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{VRT1} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{VRTM} \end{bmatrix} - \text{блокова матриця передавальних характеристик каналу МІМО у кутомісцевій } \tilde{h}_{VITM} \text{ площині у напрямках на } m\text{-те джерело сигналів з кутовими координатами } (y_m);$$

б) для виразу (2)

$$P = ((Q \mathbf{O} \tilde{H}_Q) \otimes (V \mathbf{O} \tilde{H}_V)) \otimes (Z \mathbf{n} F), \quad (5)$$

де матриці Q, \tilde{H}_Q співпадають з наведеними в (2), а матриці V, \tilde{H}_V також будуть мати додаткове розширення за стовпцями по вертикалі:

$$V = \begin{bmatrix} V_{11}(y_1) & \mathbf{L} & V_{11}(y_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline V_{R1}(y_1) & \mathbf{L} & V_{R1}(y_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline V_{IT}(y_1) & \mathbf{L} & V_{IT}(y_M) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline V_{RT}(y_1) & \mathbf{L} & V_{RT}(y_M) \end{bmatrix}; \quad \tilde{H}_V = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{V111} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{V11M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{VR11} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{VR1M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{VIT1} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{VITM} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ \hline \tilde{h}_{VRT1} & \mathbf{L} & \tilde{h}_{VRTM} \end{bmatrix};$$

в) для виразу (3)

$$P = ((Q \mathbf{O} \tilde{H}_Q) \otimes (V \mathbf{O} \tilde{H}_V)) \otimes (Z \otimes F). \quad (6)$$

При багаточастотному зондуванні простору неперервними сигналами (OFDM, N-OFDM) з абонентських пристроїв МІМО у режимі зв'язку вирази для сигнальних матриць будуть відрізнятись можливістю застосування блокового транспонованого торцевого добутку матриць Z та F . Наприклад, за умови однакових АЧХ пристроїв, що реалізують додаткове стробування відліків АЦП, в усіх позиціях МСЗРЛ для лінійної ЦАР справедливим буде запис:

$$P = (\tilde{H} \mathbf{O} Q) \otimes (Z \mathbf{n} F) = (\tilde{H} \mathbf{O} Q) \otimes (Z \mathbf{n} F), \quad (7)$$

де $Z = [Z(w_{11}) \mid \mathbf{L} \mid Z(w_{1E}) \mid \mathbf{L} \mid Z(w_{1M}) \mid \mathbf{L} \mid Z(w_{ME})]$ – блоковий вектор-рядок ненормованої АЧХ цифрового фільтра додаткового стробування (ЦФДС) від-

лікві АЦП на Е частотах піднесучих N-OFDM сигналів, що приходять від М абонентських терміналів МІМО;

$$F = \begin{bmatrix} F_{11}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{S11}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{IT}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{IT}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{IT}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{IT}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{ST}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{ST}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{ST}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{ST}(w_{ME}) \end{bmatrix},$$

$$Z[n]F = \begin{bmatrix} Z_{w_{11}} \begin{bmatrix} F_{11}(w_{11}) \\ \mathbf{M} \\ F_{S11}(w_{11}) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_{w_{1E}} \begin{bmatrix} F_{11}(w_{1E}) \\ \mathbf{M} \\ F_{S11}(w_{1E}) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_{w_{M1}} \begin{bmatrix} F_{11}(w_{M1}) \\ \mathbf{M} \\ F_{S11}(w_{M1}) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_{w_{ME}} \begin{bmatrix} F_{11}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} \\ F_{S11}(w_{ME}) \end{bmatrix} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{w_{11}} \begin{bmatrix} F_{IT}(w_{11}) \\ \mathbf{M} \\ F_{ST}(w_{11}) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_{w_{1E}} \begin{bmatrix} F_{IT}(w_{1E}) \\ \mathbf{M} \\ F_{ST}(w_{1E}) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_{w_{M1}} \begin{bmatrix} F_{IT}(w_{M1}) \\ \mathbf{M} \\ F_{ST}(w_{M1}) \end{bmatrix} & \mathbf{L} & Z_{w_{ME}} \begin{bmatrix} F_{IT}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} \\ F_{ST}(w_{ME}) \end{bmatrix} \end{bmatrix}.$$

Якщо АЧХ цифрового фільтра додаткового стробування відліків АЦП в усіх G сегментах приймальних ЦАР різних T позицій та I середовищ не співпадають [8, 10], то замість блокового вектор-рядка, як у (7), слід розглянути блокову матрицю

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11}(w_{11}) & \mathbf{L} & Z_{11}(w_{1E}) & \mathbf{L} & Z_{11}(w_{M1}) & \mathbf{L} & Z_{11}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{TG}(w_{11}) & \mathbf{L} & Z_{TG}(w_{1E}) & \mathbf{L} & Z_{TG}(w_{M1}) & \mathbf{L} & Z_{TG}(w_{ME}) \end{bmatrix}$$

у парі з матрицею АЧХ ШПФ фільтрів

$$F = \begin{bmatrix} F_{11}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{S11}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{ITG}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{ITG}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{ITG}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{ITG}(w_{ME}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{STG}(w_{11}) & \mathbf{L} & F_{STG}(w_{1E}) & \mathbf{L} & F_{STG}(w_{M1}) & \mathbf{L} & F_{STG}(w_{ME}) \end{bmatrix}.$$

При цьому

$$Z[n]F = \begin{bmatrix} Z_{11} \mathbf{n} F_{111} & \mathbf{L} & Z_{11M} \mathbf{n} F_{11M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{TG} \mathbf{n} F_{TG1} & \mathbf{L} & Z_{TGM} \mathbf{n} F_{TGM} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

де

$$Z_{i,gm} \mathbf{n} F_{i,gm} = \begin{bmatrix} Z_{i,g}(w_{m1}) & \begin{bmatrix} F_{i,g}(w_{m1}) \\ \mathbf{M} \\ F_{i,g}(w_{m1}) \end{bmatrix} \\ \mathbf{L} & Z_{i,g}(w_{mE}) \begin{bmatrix} F_{i,g}(w_{mE}) \\ \mathbf{M} \\ F_{i,g}(w_{mE}) \end{bmatrix} \end{bmatrix}.$$

При реалізації завдань зв'язку з мобільними абонентами радіальні частоти піднесучих будуть мати доплерівський зсув, який залежить від напрямків приходу сигналів у кожен конкретну позицію МСЗРЛ. Такий випадок нескладно врахувати, включивши в (8) додаткові індекси при величинах радіальних частот:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11}(w_{111}) & \mathbf{L} & Z_{11}(w_{1E1}) & \mathbf{L} & Z_{11}(w_{M11}) & \mathbf{L} & Z_{11}(w_{ME1}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{TG}(w_{1Tg}) & \mathbf{L} & Z_{TG}(w_{1Eg}) & \mathbf{L} & Z_{TG}(w_{MTg}) & \mathbf{L} & Z_{TG}(w_{MEg}) \end{bmatrix};$$

$$F = \begin{bmatrix} F_{11}(w_{111}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{1E1}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{M11}) & \mathbf{L} & F_{11}(w_{ME1}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{S11}(w_{111}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{1E1}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{M11}) & \mathbf{L} & F_{S11}(w_{ME1}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{ITG}(w_{1Tg}) & \mathbf{L} & F_{ITG}(w_{1Eg}) & \mathbf{L} & F_{ITG}(w_{MTg}) & \mathbf{L} & F_{ITG}(w_{MEg}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ F_{STG}(w_{1Tg}) & \mathbf{L} & F_{STG}(w_{1Eg}) & \mathbf{L} & F_{STG}(w_{MTg}) & \mathbf{L} & F_{STG}(w_{MEg}) \end{bmatrix};$$

$$Z_{i,gm} \mathbf{n} F_{i,gm} = \begin{bmatrix} Z_{i,g}(w_{m1i,g}) & \begin{bmatrix} F_{i,g}(w_{m1i,g}) \\ \mathbf{M} \\ F_{i,g}(w_{m1i,g}) \end{bmatrix} \\ \mathbf{L} & Z_{i,g}(w_{mEi,g}) \begin{bmatrix} F_{i,g}(w_{mEi,g}) \\ \mathbf{M} \\ F_{i,g}(w_{mEi,g}) \end{bmatrix} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

У випадку плоскої ЦАР замість виразів (4) та (5) необхідно використовувати:

$$P = ((Q \mathbf{o} \tilde{H}_Q)[\mathbf{n}] (V \mathbf{o} \tilde{H}_V)) \otimes (Z[\mathbf{n}]F), \quad (10)$$

або

$$P = ((Q \mathbf{o} \tilde{H}_Q)[\otimes] (V \mathbf{o} \tilde{H}_V)) \otimes (Z[\mathbf{n}]F), \quad (11)$$

де матриці Q, V, \tilde{H}_Q , \tilde{H}_V співпадають з наведеними в (4), (5).

Що ж стосується виразу (6)

$$P = ((Q \mathbf{o} \tilde{H}_Q)[\otimes] (V \mathbf{o} \tilde{H}_V)) \otimes (Z[\otimes]F),$$

то у даному випадку, при багаточастотному зондуванні, його застосування є менш прийнятним, оскільки потребує розподілу структури матриць Z та F на додаткові блоки з деталізацією до окремого стовпця.

Зондування простору імпульсним радіосигналом при додатковому стробуванні відліків АЦП має описуватись іншою матрицею відгуків процедури додаткового стробування:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{111}(d_{111}, w) & \mathbf{L} & Z_{111}(d_{M11}, w) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{S111}(d_{111}, w) & \mathbf{L} & Z_{S111}(d_{M11}, w) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{ITG}(d_{1Tg}, w) & \mathbf{L} & Z_{ITG}(d_{MTg}, w) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{STG}(d_{1Tg}, w) & \mathbf{L} & Z_{STG}(d_{MTg}, w) \end{bmatrix}, \quad (12)$$

де $d_{m_{i,g}}$ відносний зсув початку m-го імпульса від початку реперного стробу у відліках АЦП.

При зондуванні простору імпульсними радіосигналами E різних частот, що випромінюються M передавачами, у разі додаткового стробування відліків АЦП структура зазначеної матриці Z отримає блокову побудову наступного вигляду:

$$Z = [\tilde{Z}_1 \mid \mathbf{L} \mid \tilde{Z}_M], \quad (13)$$

де

$$\tilde{Z}_1 = \begin{bmatrix} Z_{111}(d_{111}, w_{111}) & \mathbf{L} & Z_{111}(d_{M11}, w_{E11}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{S111}(d_{111}, w_{111}) & \mathbf{L} & Z_{S111}(d_{M11}, w_{E11}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{ITG}(d_{1Tg}, w_{1Tg}) & \mathbf{L} & Z_{ITG}(d_{MTg}, w_{ETg}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{STG}(d_{1Tg}, w_{1Tg}) & \mathbf{L} & Z_{STG}(d_{MTg}, w_{ETg}) \end{bmatrix};$$

$$\tilde{Z}_M = \begin{bmatrix} Z_{111}(d_{11}, w_{1M_{11}}) & \mathbf{L} & Z_{111}(d_{M_{11}}, w_{EM_{11}}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{S_{111}}(d_{11}, w_{1M_{11}}) & \mathbf{L} & Z_{S_{111}}(d_{M_{11}}, w_{EM_{11}}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{1TG}(d_{1G}, w_{1M_{1G}}) & \mathbf{L} & Z_{1TG}(d_{M_{1G}}, w_{EM_{1G}}) \\ \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ Z_{S_{1TG}}(d_{1G}, w_{1M_{1G}}) & \mathbf{L} & Z_{S_{1TG}}(d_{M_{1G}}, w_{EM_{1G}}) \end{bmatrix}.$$

Висновки

У статті удосконалено раніше розроблені математичні моделі відгуку приймальної підсистеми багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації на сигнали, що надходять на її приймальну підсистему, за рахунок застосування методу додаткового стробування відліків аналогово-цифрового перетворювачів. Моделі формалізовані для застосування окремих лінійних, плоских, а також конформних багатосекційних цифрових антенних решіток у приймальних позиціях багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації. Розглянуто варіанти надходження на приймальну підсистему окремих одночастотних сигналів від кожної активної позиції, що у сукупності утворюють інформаційні сигнали OFDM (N-OFDM), та складних багаточастотних сигналів OFDM (N-OFDM) від кожної позиції. Такий підхід дозволить спростити вимоги до швидкодії цифрових пристроїв обробки сигналів у приймальних цифрових антенних решітках. Наведені моделі відгуку ЦАР можуть бути використані для оцінки якості функціонування системи зв'язку в різних ситуаціях прийому сигналів. Запропоновані моделі також дозволять суттєво спростити математичні розрахунки отримання нижньої межі Крамера-Рао для дисперсій оцінок параметрів сигналів при перевірці граничних можливостей синтезованих методів. Метою подальших досліджень є додаткова перевірка працездатності окремих аспектів запропонованого у статті підходу шляхом проведення математичного моделювання.

Список літератури

1. Christian Sturm, Werner Wiesbeck. Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing // *Proceedings of the IEEE* / Vol. 99, No. 7, July 2011. – Pp. 1236-1269.
2. Черняк В.С. Многопозиционные радиолокационные системы на основе МІМО РЛС // *Успехи современной радиоэлектроники*. – 2012. – № 8. – С. 29-45.
3. Васюта К.С. Мультирадарная информационно-измерительная система на основе хаотических сигналов. / К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.В. Озеров // *Радиолокационные*

и телекоммуникационные системы. – 2013. – № 3. – С. 25-32.

4. Слюсар В.І. Інтегрована система зв'язку та радіолокаційної розвідки на основі технології МІМО / В.І. Слюсар, А.О. Зінченко // 3-я Всеукраїнська науково-технічна конференція “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ”. – Львів, Академія Сухопутних військ імені Гетьмана Петра Сагайдачного. – 13-14 квітня 2010 р. – С. 150.

5. Слюсар В.І. Конвергенція систем зв'язку та радіолокаційної розвідки / В.І. Слюсар, А.О. Зінченко // Науково-технічна конференція “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки” (16-17 грудня 2010 р.). – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2010. – С. 95-97.

6. Зінченко А.О. Модель багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації на основі мультикористувальницького методу МІМО / А.О. Зінченко // Науково-виробничий збірник “Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку”. – 2014. – № 2(30). – С. 124-130.

7. Зінченко А.О. Удосконалена модель багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації на основі мультикористувальницького методу МІМО / А.О. Зінченко, В.І. Слюсар // *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. – 2014. – № 1. – С. 55-61.

8. Зінченко А.О. Матричные модели откликов OFDM-сигналов в многопозиционной радарно-коммуникационной системе / А.О. Зінченко // *Научно-образовательный журнал “Вестник военного института ВВ МВД республики Казахстан”*. – 2014 – № 2(12). – С. 58-63.

9. Зінченко А.О. Модель функціонування багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації у режимі МІМО радіолокації / А.О. Зінченко, В.І. Слюсар // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. – 2014. – № 2 (20). – С. 49 – 55.

10. Зінченко А.О. Модель відгуку багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації на основі багато сегментних конформних антенних решіток / А.О. Зінченко, В.І. Слюсар // *Науково-виробничий збірник “Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку”*. – 2014. – № 4(32). – С. 34-40.

11. Слюсар В.І. Синтез алгоритмов измерения дальности М источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП / В.І. Слюсар // *Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника*. – 1996. – Том 39, № 5. – С. 55-62.

12. Слюсар В.І. Обобщенные торцевые произведение матриц в моделях цифровых антенных решеток с неидентичными каналами / В.І. Слюсар // *Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника*. – 2003. – Том 46, № 10. – С. 9-17.

Надійшла до редколегії 04.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Л. Ляхов, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава.

МНОГОПОЗИЦИОННАЯ ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ДЕЦИМАЦИИ ОТСЧЕТОВ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.А. Зинченко, В.И. Слюсар

В статье усовершенствованы ранее разработанные математические модели отклика приемной подсистемы многопозиционной интегрированной системы связи и радиолокации на сигналы, поступающие на ее приемную подсистему.

тему, за счет применения метода дополнительного стробирования отсчетов аналогово-цифровых преобразователей. Модели формализованы для применения отдельных линейных, плоских, а также конформных многосекционных цифровых антенных решеток в приемных позициях многопозиционной интегрированной системы связи и радиолокации. Рассмотрены варианты поступления на приемную подсистему отдельных одночастотных сигналов от каждой активной позиции, которые в совокупности образуют информационный сигнал OFDM (N-OFDM), и сложных многочастотных сигналов OFDM (N-OFDM) от каждой позиции. Такой подход позволит упростить требования к быстродействию цифровых устройств обработки сигналов в приемных цифровых антенных решетках.

Ключевые слова: цифровая антенная решетка, многопозиционная интегрированная система связи и радиолокации, сигнальная матрица, диаграмма направленности, дополнительное стробирование, приёмная позиция.

MULTI-INTEGRATED SYSTEM OF COMMUNICATION AND RADAR SYSTEMS USING THE METHOD OF COLLECTION OF SAMPLES AN ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS

A.O. Zinhcenko, V.I. Slusar

The article improved the previously developed mathematical model of the response of the receiving subsystem in the power of integrated communication systems and radar systems to signals at its receiving subsystem, through the application of the method, additional Gating times, analog-to-digital converters. The model is formalized to apply linear, planar and conformal multi-section digital antenna arrays in the receiving positions in the power of integrated communication systems and radar systems. The variants of receipt at the receiving subsystem separate single frequency signals from each active position, which together form an information signal OFDM (N-OFDM), and complex multi-frequency OFDM signal (N-OFDM) from each position. This approach will simplify the requirements for the performance of digital signal processing in the digital receiving antenna arrays.

Keywords: digital antenna array, multi-integrated system of communication and radar systems, signal matrix, pattern, additional gating, the reception position.

УДК 621.391.8

М.В. Коробчинський, С.І. Мешков

Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка, Київ

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МЕРЕЖ FN НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ІЗ РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

У статті досліджено використання динамічних моделей для самоорганізації мережі FN, які дають змогу здійснювати діагностування складних об'єктів, сприяють отриманню точних довгострокових прогнозів щодо розвитку тих параметрів мережі, які відповідають необхідному спектру послуг.

Ключові слова: динамічні системи, мережі FN (Future Networks), метод самоорганізації, метод групового урахування аргументів, поліномом Колмогорова-Габора, розподілені параметри.

Вступ

Постійне розширення функцій мережі FN (Future Networks) та послуг, що надаються користувачеві, ставлять підвищені вимоги до гнучкості систем і оперативності управління, їх здатності адаптуватися до умов роботи та до особливостей мереж, до забезпечення необхідної якості роботи та живучості як самої керованої мережі, так і системи управління. При створенні національних та регіональних центрів управління перед усіма фірмами постає завдання – забезпечення управління обладнанням, оптимізації існуючого устаткування мереж зв'язку різних виробників-постачальників, розробка таких систем управління, які забезпечували б контроль роботи і управління як існуючого, так і нового обладнання.

Надаються переваги системам управління, побудованим на базі та принципах систем пакетної комутації; усі пошуки покращення управління мережами та удосконалення систем управління спрямовані на зниження затрат і підвищення показників якості управління телекомунікаційними мережами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття багато вчених займаються вирішенням цих досить складних проблем. Аналіз науково-технічної літератури показує, що проблемам дослідження побудови ефективних систем передачі, розвитку теорії оптимізації та теорії інформації присвячена велика кількість наукових робіт вітчизняних та закордонних вчених [1 – 10]. Але залишаються не вирішеними питання побудови складних динамічних систем на основі методу самоорганізації.

НАШІ АВТОРИ

- Аджит Пратап* Національний технічний університет «ХПИ», Харків
Сингх Гаутам здобувач
БОНДАРЧУК ЦВСД Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Сергій Васильович науковий співробітник
ВАРЛАМОВ Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Ігор Давидович кандидат технічних наук, начальник кафедри
ВЛАСЕНКО Державний університет телекомунікацій, Київ
Геннадій Миколайович кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри
ГАЙДУР Державний університет телекомунікацій, Київ
Галина Іванівна кандидат технічних наук, старший викладач
ГАЛАГАН ЦВСД Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Віктор Іванович кандидат військових наук, доцент
ГАЛУШКА Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, Кременчук
Глона Миколаївна асистент кафедри інформаційно-управляючих систем
ГАЦЕНКО Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Сергій Станіславович ад'юнкт
ГОЛУБ Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси
Сергій Васильович доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
ГРИНКЕВИЧ Державний університет телекомунікацій, Київ
Ганна Олександрівна кандидат технічних наук, доцент кафедри
ГУДКОВ Київська державна академія водного транспорту, Київ
Денис Миколайович аспірант
ГУСАК Державний університет телекомунікацій, Київ
Марія Олександрівна магістрант
ДМИТРИЄВ Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград
Ігор Олегович аспірант
ДРОБІК Державний університет телекомунікацій, Київ
Олександр Васильович кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри
ДРУЖИНИН Державний університет телекомунікацій, Київ
Володимир Анатолійович доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри
ЖЕБКА Державний університет телекомунікацій, Київ
Вікторія Вікторівна аспірантка
ЖУРАКОВСЬКИЙ Державний університет телекомунікацій, Київ
Богдан Юрійович доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
ЗІНЧЕНКО Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Андрій Олександрович кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри
КОВАЛЬ Державний університет телекомунікацій, Київ
Людмила Трохимівна старший викладач
КОЗЕЛКОВА Державний університет телекомунікацій, Київ
Катерина Сергіївна доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри
КОЗЛОВСЬКИЙ Національний авіаційний університет, Київ
Валерій Валерійович доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
КОРОБЧИНСЬКИЙ Воєнно-дипломатична академія, Київ
Максим Володимирович доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри
КОРШУН Державний університет телекомунікацій, Київ
Наталія Володимирівна кандидат технічних наук, декан факультету
КОСОВЕЦЬ Науково-виробниче підприємство «Квантор»
Микола Андрійович керівник компанії
КУЗАВКОВ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ
Василь Вікторович кандидат технічних наук, доцент
КУШНЄРОВА Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград
Надія Іванівна аспірант
ЛЕВІНСОН Національний авіаційний університет, Київ
Геннадій Сергійович студент
ЛЕЛЯВСЬКИЙ Державний університет телекомунікацій, Київ
Дмитро Борисович студент
МАКАРЕНКО Державний університет телекомунікацій, Київ
Анатолій Олександрович кандидат технічних наук, доцент кафедри
МАЛОВ Державний університет телекомунікацій, Київ
Олександр Ігорович студент
МЄШКОВ Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка, Київ
Сергій Іванович кандидат технічних наук, проректор з навчальної роботи
МИРОШНИК Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, Черкаси
Олег Миколайович кандидат технічних наук, майор служби цивільного захисту
МИЩЕНКО Національний авіаційний університет, Київ
Андрій Віталійович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
МОГИЛЕВСЬКИЙ Державний університет телекомунікацій, Київ
Володимир Борисович студент
НАКОНЕЧНИЙ Державний університет телекомунікацій, Київ
Володимир Сергійович кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
НЕМЧЕНКО Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси
Вадим В'ячеславович викладач кафедри
ОКСАНИЧ Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, Кременчук
Ірина Григорівна кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-управляючих систем
ПАНАДІЙ ЦВСД Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, Київ

- Катерина В'ячеславівна** науковий співробітник
ПЕРЕКРЕСТОВ Кіровоградська льотна академія НАУ, Кіровоград
Дмитро Віталійович здобувач
ПЕРФІЛОВА Національний авіаційний університет, Київ
Олена Олексіївна студент
ПЕТРУНЯК Національний авіаційний університет, Київ
Ігор Юрійович студент
ПЕТРУШЕН ЦВСД Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Микола Васильович молодший науковий співробітник
ПРОКОПЕНКО ЦВСД Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Олександр Сергійович старший науковий співробітник
ПУЗИРЬОВ Кіровоградська льотна академія НАУ, Кіровоград
Олександр Леонідович кандидат технічних наук, доцент
РАГУЛІН Кіровоградська льотна академія НАУ, Кіровоград
Сергій Володимирович здобувач
РИЛОВА Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, Кременчук
Наталія Вікторівна старший викладач кафедри інформаційно-управляючих систем
СЛЮСАРЬ Центральний науково-дослідний інститут озброєння і військової техніки ЗСУ, Київ,
Вадим Іванович доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник
СТАДНИК Київська державна академія водного транспорту, Київ
Олександр Іванович аспірант
СТЕПАНЕНКО Центральний науково-дослідний інститут ЗС України, Київ
Юрій Костянтинівич кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
ТИХОНОВ Київська державна академія водного транспорту, Київ
Ілля Валентинович кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
ТИМОЧКО Кіровоградська льотна академія НАУ, Кіровоград
Олександр Олександрович здобувач
ТУРЕЙЧУК ЦВСД Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Андрій Миколайович кандидат технічних наук, начальник НДВ
УВАРОВА ЦВСД Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, Київ
Тетяна Володимирівна науковий співробітник
УШАКОВ Кіровоградська льотна академія НАУ, Кіровоград
Владислав Володимирович викладач
ФЕДОРОВА Державний університет телекомунікацій, Київ
Наталія Володимирівна кандидат технічних наук, доцент кафедри
ХАЙРОВА Національний технічний університет «ХПІ», Харків
Ніна Феліксівна доктор технічних наук, професор кафедри
ЧЕГОДАЄВ «СКС» Українська Державна академія залізничного транспорту, Харків
Борис Володимирович здобувач кафедри
ШАРАБАЙКО Кіровоградська льотна академія НАУ, Кіровоград
Олександр Миколайович здобувач
ШВЕДОВА Національний технічний університет «КПІ», Київ
Вікторія Вікторівна кандидат технічних наук, доцент кафедри
ЩЕРБАК Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, Кременчук
Сергій Сергійович кандидат технічних наук, доцент старший науковий співробітник, доцент кафедри інформаційно-управляючих систем
ЯРЕМЧУК Вінницький національний технічний університет, Вінниця
Юрій Євгенович кандидат технічних наук, доцент, директор Центру інформаційних технологій і захисту інформації, професор кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем
ЯЦКО Кіровоградська льотна академія НАУ, Кіровоград
Максим Миколайович аспірант

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Аджит Пратап		Козловський В.В.	8	Прокопенко О.С.	50
Сингх Гаутам	165	Коробчинський М.В.	71	Пузирьов О.Л.	91
Бондарчук С.В.	50	Коршун Н.В.	134	Рагулін С.В.	94
Варламов І.Д.	42	Косовець М.А.	61	Рилова Н.В.	99
Власенко Г.М.	174	Кузавков В.В.	74	Слюсарь В.І.	65
Гайдур Г.І.	74	Кушнерова Н.І.	80	Стадник О.І.	105
Галаган В.І.	50	Левінсон Г.С.	8	Степаненко Ю.К.	37
Галушка І.М.	56	Лелявський Д.Б.	84	Тихонов І.В.	105
Гаценко С.С.	42	Макаренко А.О.	84	Тімочко О.О.	13
Голуб С.В.	131	Малов О.І.	134	Турейчук А.М.	50
Гринкевич Г.О.	84,	Мешков С.І.	71	Уварова Т.В.	3
	134	Мирошник О.М.	147	Ушаков В.В.	91
Гудков Д.М.	105	Міщенко А.В.	8	Федорова Н.В.	160
Гусак М.О.	84	Могилевський В.Б.	134	Хайрова Н.Ф.	165
Дмітрієв І.О.	3	Наконечний В.С.	32	Чегодаєв Б.В.	109
Дробік О.В.	61	Немченко В.В.	131	Шарабайко О.М.	17
Дружинін В.А.	18	Оксанич І.Г.	99	Шведова В.В.	118
Жебка В.В.	138	Панадій К.В.	50	Щербак С.С.	56
Жураковський Б.Ю.	142	Перекрестов Д.В.	88	Яремчук Ю.Є.	168
Зінченко А.О.	65	Перфілова О.О.	174	Яцко М.М.	126
Коваль Л.Т.	74	Петруняк І.Ю.	8		
Козелкова К.С.	3	Петрушен М.В.	155		

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
Випуск 4 (32)

Відповідальна за випуск *К.С. Козелкова*

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

Комп'ютерна верстка: *Т.В. Уварова*

Оформлення обкладинки: *І.В. Львіна*

Техн. редактор *Т.В. Уварова*

Коректор *В.В. Богомаз*

Підписано до друку 11.11.2014	Формат 60×84/8	Папір офсетний
Гарнітура «Times New Roman»	Друк – різнограф	Ум.-друк. арк. – 19,0
Ціна договірна	Наклад 150 прим.	Обл.-вид. арк. – 17,85
		Зам. 612-14

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@rambler.ru