

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**4-го Международного радиоэлектронного форума**

**«Прикладная радиоэлектроника.**

**Состояние и перспективы развития»**

**(МРФ'2011)**

**4<sup>th</sup> International Radio Electronic Forum**

**(IREF'2011)**

**PROCEEDINGS**

**Том II**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

**(МКТСТ'2011)**

**Volume II**

**INTERNATIONAL CONFERENCE**

**«TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES »**

**(ICTST'2011)**

**18-21 октября 2011г.**

**Харьков, Украина**

**October 18-21, 2011**

**Kharkov, Ukraine**

**Харьков  
2011**

УДК 621.37/39

4-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011. Сборник научных трудов. Том II. Международная конференция «Телекоммуникационные системы и технологии». – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. 2011. – 448 с.

В сборник включены научные доклады участников Международной конференции «Телекоммуникационные системы и технологии» (МКТСТ) 4-го Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011.

Издание подготовлено инновационно-маркетинговым отделом  
Харьковского национального университета радиоэлектроники  
и редакцией журнала «Проблемы телекоммуникаций»  
<http://pt.journal.kh.ua>

61166, Украина, Харьков, просп. Ленина, 14.

Тел.: (057) 7021-397, 7021-515, 7021-735

Факс: (057) 7021-113

E-mail: [innov@kture.kharkov.ua](mailto:innov@kture.kharkov.ua)

[akad@kture.kharkov.ua](mailto:akad@kture.kharkov.ua)

- © Академия наук прикладной радиоэлектроники, 2011
- © Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 2011

# РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ И СВЯЗНОЙ РЕЖИМЫ МОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ СВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИИ С ЦИФРОВЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ

Зинченко А.А.<sup>1</sup>, Слюсар В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет обороны Украины,  
03040, г. Киев, Воздухофлотский проспект, 28

<sup>2</sup>Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины  
03040, г. Киев, Воздухофлотский проспект, 28  
e-mail: swadim@inbox.ru

The given work is devoted to the research of signal's model of digital antenna array for radar and communication applications.

При создании интегрированных систем связи и радиолокационной разведки (ИССРР) на основе технологии цифровых антенных решеток (ЦАР) перспективным направлением является совместное использование принципов ММО-локации и ММО-связи в многопользовательском варианте реализации. Оптимальным решением в этом случае представляется применение конформных по конструкции антенных систем, состоящих из нескольких секций-решеток, расположенных по граням усеченной пирамиды. Такие конструкции, как известно, позволяют отказаться от механического сканирования луча и осуществлять мгновенный обзор пространства по секторам ответственности, выполняя когерентное накопление сигналов для улучшения энергетических показателей при работе по малоразмерным целям.

При анализе потенциальных возможностей ИССРР на начальном этапе развития соответствующей теории целесообразно рассматривать независимо радиолокационный и связной режимы функционирования мобильных станций связи и радиолокации (МССР). Такой методический прием позволит исключить из анализа наиболее сложные ситуации, когда связные сигналы приходят одновременно с отраженным от целей радиолокационным излучением, если применяются разные сигналы для связи и локации.

Применительно к радиолокационному режиму работы модель отклика многосекционной ЦАР в случае отдельно взятой МССР, входящей в многопозиционную группировку аналогичных станций, можно представить в матричном виде следующей записью:

$$U = P \cdot A + n,$$

где  $U$  – блочный вектор комплексных напряжений сигналов по выходах частотных фильтров пространственных каналов многосекционной ЦАР,  $P$  – сигнальная матрица,  $A$  – блочный вектор амплитуд сигналов,  $n$  – блочный вектор напряжений шумов.

В представленном выражении ключевым элементом является сигнальная матрица  $P$ , структура которой определяет компоновку элементов векторов напряжений, амплитуд и шумов. В этой связи рассмотрим формат матрицы  $P$  подробнее.

Будем полагать, что  $E$  передатчиков активной ЦАР излучает одночастотные непрерывные сигналы на разных длинах электромагнитных волн, а в гранях пирамидальной антенной системы используются плоские решетки с различным количеством элементов по горизонтали ( $R$ ) и вертикали ( $D$ ). В указанном варианте излучения от каждой цели будет отражаться многочастотный пакет из  $E$  сигналов, с учетом чего структура сигнальной матрицы  $P$  для режима радиолокации будет иметь вид:

$$P = (Q [\blacksquare] V) [\otimes] F, \quad (1)$$

где  $[\blacksquare]$  – символ блочного матричного произведения Хатри- Рао [1],

$[\otimes]$  – символ блочного кронекеровского произведения,

блочные матрицы характеристик направленности антенных элементов в азимутальной  $Q_{rt}(x_m)$  и угломестной  $V_{dt}(y_m)$  плоскостях в направлениях на  $m$ -й источник сигналов с угловыми координатами  $(x_m, y_m)$  представлены в виде:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{11}(x_1) & \dots & Q_{11}(x_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{R1}(x_1) & \dots & Q_{R1}(x_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{IT}(x_1) & \dots & Q_{IT}(x_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{RT}(x_1) & \dots & Q_{RT}(x_M) \end{bmatrix}, \quad V = \begin{bmatrix} V_{11}(y_1) & \dots & V_{11}(y_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{D1}(y_1) & \dots & V_{D1}(y_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{IT}(y_1) & \dots & V_{IT}(y_M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{DT}(y_1) & \dots & V_{DT}(y_M) \end{bmatrix}, \quad \text{где } r=1, \dots, R - \text{ порядко-}$$

вый номер антенного элемента в строке антенной решетки в пределах секции;  $d=1, \dots, D$  – порядковый номер антенного элемента в столбце антенной решетки в пределах секции;  $t=1, \dots, T$  – порядковый номер секции многосекционной ЦАР;

$$F = \begin{bmatrix} F_{11}(\omega_{11}) & \dots & F_{11}(\omega_{1E}) & \dots & F_{11}(\omega_{M1}) & \dots & F_{11}(\omega_{ME}) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{R1}(\omega_{11}) & \dots & F_{R1}(\omega_{1E}) & \dots & F_{R1}(\omega_{M1}) & \dots & F_{R1}(\omega_{ME}) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{IT}(\omega_{11}) & \dots & F_{IT}(\omega_{1E}) & \dots & F_{IT}(\omega_{M1}) & \dots & F_{IT}(\omega_{ME}) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{RT}(\omega_{11}) & \dots & F_{RT}(\omega_{1E}) & \dots & F_{RT}(\omega_{M1}) & \dots & F_{RT}(\omega_{ME}) \end{bmatrix} - \text{ блочная матрица}$$

АЧХ частотных фильтров, синтезированных с помощью дискретного преобразования Фурье на  $E$  частотах отраженных от  $M$  целей  $E$  сигналов.

Предполагается, что задача измерения дальности решается в многопозиционном режиме по полученным от отдельных МССР значениям угловых координат и радиальных скоростей целей. В простейшем случае это может быть триангуляционный метод.

Аналогичную запись следует взять за основу и для составления матричной модели отклика приемной ЦАР в связном режиме работы. Отличие от рассмотренного выше режима радиолокации заключается в необходимости учета матриц передаточных характеристик канала ММО в азимутальной и угломестной плоскостях, а также трактовке матрицы АЧХ частотных фильтров  $F$  в соответствии с типом применяемых сигналов. В случае использования сигналов OFDM выражение (1) модифицируется к виду:

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

где

$$\tilde{H}_Q = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{Q111} & \dots & \tilde{h}_{Q11M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{QR11} & \dots & \tilde{h}_{QR1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{QIT1} & \dots & \tilde{h}_{QITM} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{QRT1} & \dots & \tilde{h}_{QRTM} \end{bmatrix}, \quad \tilde{H}_V = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{V111} & \dots & \tilde{h}_{V11M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{VD11} & \dots & \tilde{h}_{VD1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{VIT1} & \dots & \tilde{h}_{VITM} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{VDT1} & \dots & \tilde{h}_{VDTM} \end{bmatrix} - \text{ блочные матрицы передаточ-}$$

ных характеристик канала ММО в азимутальной  $\tilde{h}_{Qrtm}$  и угломестной  $\tilde{h}_{vrtm}$  плоскостях в направлениях на  $m$ -й источник сигналов с угловыми координатами  $(x_m, y_m)$ , где  $r=1, \dots, R$  – порядковый номер антенного элемента в строке антенной решетки в пределах секции;  $d=1, \dots, D$  – порядковый номер антенного элемента в столбце антенной решетки в пределах секции;  $t=1, \dots, T$  – порядковый номер секции многосекционной ЦАР.

В режиме связи демодуляция сигналов может быть осуществлена путем оптимального оценивания вектора комплексных амплитуд сигналов согласно методу максимального правдоподобия по известному выражению  $\tilde{A} = (P^T P)^{-1} P^T U$  с учетом пространственно-временного либо иного типа кодирования ММО-сигналов. В радиолокационном режиме оцениванию должны подлежать параметрические элементы сигнальной матрицы  $P$ ,

а именно: неизвестные угловые координаты источников излучения и их доплеровские частоты. Опираясь на представленные матричные записи откликов ЦАР, можно получить нижние границы Крамера-Рао для дисперсий оценок параметров сигналов, используя, например, методику, изложенную в [2]. В связном режиме задача формирования информационной матрицы Фишера упрощается благодаря возможности использования допущения об известных угловых координатах источников сигналов и частотах всех OFDM-поднесущих. Для радиолокационного варианта функционирования МССР при этом необходимо выполнить дифференцирование сигнальной матрицы  $P$  по неизвестным угловым координатам целей и доплеровским частотам отраженных сигналов. Анализ соответствующих оценок точности, а также проверка их достоверности путем математического моделирования является целью дальнейших исследований.

#### **Литература:**

1. Слюсар В.И. Обобщенные торцевые произведения матриц в моделях цифровых антенных решеток с неидентичными каналами.//Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника.- 2003. - Том 46, № 10. - С. 9 - 17.
2. Слюсар В.И. Информационная матрица Фишера для моделей систем, базирующихся на торцевых произведениях матриц// Кибернетика и системный анализ.- 1999.- № 4.- С. 141 – 149.

<i>Корниенко С.А.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ РАДИОКОНТРОЛЯ.....	176
<i>Нечаев Ю.Б., Дворжакова И.О., Малютин А.А., Радько П.Н.</i> ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ ДКМВ СВЯЗИ С ММО .....	180
<i>Нечаев Ю.Б., Дворжакова И.О., Малютин А.А., Радько П.Н.</i> ПОСТРОЕНИЕ СИГНАЛЬНЫХ СОЗВЕЗДИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ДКМВ СВЯЗИ С ММО .....	183
<i>Шахтарин Б.И., Асланов Т.Г.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ НА СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ .....	187
<i>Ютиков О.А.</i> МНОГОЛУЧЕВОСТЬ В ЗЕРКАЛЬНЫХ РАДИОТЕЛЕСКОПАХ: ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ В ШИРОКОМ ПОЛЕ ОБЗОРА .....	191
<i>Белокуров А.А., Вотяков О.И., Кузниченко В.С., Петров В.Л., Писаренок Г.Г.</i> МЕТОДЫ АНАЛИЗА OFDM СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАДИОМОНИТОРИНГА .....	196
<i>Прусский А.В., Калугин В.Д., Кальной С.Е., Тютюник В.В.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПРОВОДИМОСТИ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СЕНСОРНЫХ СТРУКТУРАХ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ.....	200
<i>Коваленко І.Г, Романюк В.А.</i> МЕТОД ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСУ НЕОДНОРІДНИХ СЕНСОРНИХ РАДІОМЕРЕЖ З НАДЛИШКОВОЮ КІЛЬКІСТЮ ВУЗЛІВ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЗАДАНОЇ ЯКОСТІ ПОКРИТТЯ РАЙОНУ МОНІТОРИНГУ .....	204
<i>Нечаев Ю.Б., Баев А.Д., Стромов А.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРШРУТИЗАЦИИ В СВЕРХБОЛЬШОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ОЦЕНКОЙ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ .....	207
<i>Лепіх Я.І., Карпенко А.О., Снігур П.О.</i> ВИМІРЮВАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ АКУСТОЕЛЕКТРОННИХ ДАТЧИКІВ КУТА ПОВОРОТУ .....	210
<i>Зинченко А.А., Слюсар В.И.</i> РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ И СВЯЗНОЙ РЕЖИМЫ МОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ СВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИИ С ЦИФРОВЫМИ АНТЕННЫМИ РЕШЕТКАМИ .....	212
<i>Слюсар Д.В., Слюсар В.І.</i> МАТРИЧНА МОДЕЛЬ ВІДГУКУ БАГАТОСЕКЦІЙНОЇ ЦАР У СКЛАДІ ПІРАМІДАЛЬНОЇ НАНОСХЕМИ.....	215
<i>Цыбулев Р.А., Слюсар В.И.</i> МЕТОД КОРРЕКЦИИ КВАДРАТУРНОГО РОЗБАЛАНСА .....	218
<i>Алексейцев К.Ф., Валковой В.С., Вдовичено Е.И., Дудник Л.А., Жартовский Д.Н., Кузниченко В.С., Нестеров Л.А.</i> СИНХРОНИЗАЦИЯ СИГНАЛОВ С ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА.....	220
<i>Величко Д.А., Вдовичено Е.И.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНОГО СИГНАЛА РЕТРАНСЛЯЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ЦИФРОВЫМИ МЕТОДАМИ .....	222

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

4-го Международного радиоэлектронного форума

«Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития»

(МРФ'2011)

Том II

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

(МКТСТ'2011)

**Ответственные за выпуск**

Дохов А.И.  
Поповский В.В.  
Булавина Е.С.

Материалы сборника публикуются в авторском варианте  
без редактирования

Подписано к печати 06.10.2011. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 51,6. Тираж 180 экз. Зак. 2-816. Цена договорная.

61166 Украина, Харьков, просп. Ленина, 14

---

Отпечатано в учебно-научном издательско-полиграфическом центре ХНУРЭ  
61166 Украина, Харьков, просп. Ленина, 14