

**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

# МАТРИЧНА МОДЕЛЬ ВІДГУКУ БАГАТОСЕКЦІЙНОЇ ЦАР У СКЛАДІ ПІРАМІДАЛЬНОЇ НАНОСХЕМИ

Слюсар Д.В.<sup>1</sup>, Слюсар В.І.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, вул. Політехнічна, 14,

<sup>2</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України,  
м. Київ, Повітрофлотський проспект, 28  
e-mail: swadim@inbox.ru

The given work is devoted to matrix model of multi-section digital antenna array in the pyramidal nanochip of wireless network on chip.

При використанні у складі бездротових мереж на кристалі пірамідальних конструкцій наносхем згідно з [1] можуть створюватись багатосекційні наноантенні комплекси на основі цифрових антенних решіток (ЦАР), де в якості секцій слід розглядати решітки, розташовані в окремо взятому рівні піраміди, та сукупність решіток, що відповідають тій чи іншій грані піраміди. Таким чином, необхідно ввести ієрархічну градацію секцій багатосекційної ЦАР одного наноноду (нанорозмірної базової станції передачі даних) за схемою «грань – рівень». Зазначена специфічна побудова антенних систем вносить певні особливості в обробку сигналів багатокористувальницької системи МІМО на кристалі. Тому розгляд специфіки аналітичної моделі відгуку багатосекційної ЦАР у складі пірамідальної наносхеми є метою даної доповіді.

Якщо подати сукупність напруг сигналів по виходах приймальних каналів багатосекційної ЦАР одного наноноду у традиційному вигляді [2]:

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

де  $U$  - блоковий вектор комплексних напруг сигналів по виходах частотних фільтрів просторових каналів сукупності секцій багатосекційної ЦАР,  $P$  - сигнальна матриця,  $A$  - блоковий вектор амплітуд сигналів,  $n$  - блоковий вектор шумових напруг,

то структура сигнальної матриці  $P$  та блокових векторів  $U$  і  $A$  у випадку лінійно-решітчатих секцій ЦАР буде наступною:

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

$$\text{де } Q = \begin{bmatrix} Q_{111}(x_{11}) & \dots & Q_{111}(x_{M11}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{RTG11}(x_{11}) & \dots & Q_{RTG11}(x_{M11}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{1TG}(x_{1TG}) & \dots & Q_{1TG}(x_{M1TG}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{RTGTG}(x_{1TG}) & \dots & Q_{RTGTG}(x_{M1TG}) \end{bmatrix}, \quad V = \begin{bmatrix} V_{111}(y_{11}) & \dots & V_{111}(y_{M11}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{RTG11}(y_{11}) & \dots & V_{RTG11}(y_{M11}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{1TG}(y_{1TG}) & \dots & V_{1TG}(y_{M1TG}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{RTGTG}(y_{1TG}) & \dots & V_{RTGTG}(y_{M1TG}) \end{bmatrix} - \text{блокові}$$

матриці характеристик спрямованості антенних елементів в азимутальній  $Q_{rtg}(x_{mg})$  та кутомісній  $V_{rtg}(y_{mg})$  площинах у напрямках на  $m$ -е джерело сигналів з кутовими координатами  $(x_{mg}, y_{mg})$ , де  $r=1, \dots, R_{tg}$  - порядковий номер антенного елемента у антенній решітці в межах  $tg$ -ї секції,

$t=1, \dots, T$  - порядковий номер рівня піраміди,

$g=1, \dots, G$  - порядковий номер грані піраміди,

$$\tilde{H}_Q = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{Q111111} & \cdots & \tilde{h}_{Q111M11} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{QR_{TG}111111} & \cdots & \tilde{h}_{QR_{TG}11M11} \\ \hline \tilde{h}_{Q1TG1TG} & \cdots & \tilde{h}_{Q1TGM_{TG}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{QR_{TG}TG1TG} & \cdots & \tilde{h}_{QR_{TG}TGM_{TG}} \end{bmatrix}, \quad \tilde{H}_V = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{V111111} & \cdots & \tilde{h}_{V111M11} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{VR_{TG}111111} & \cdots & \tilde{h}_{VR_{TG}11M11} \\ \hline \tilde{h}_{V1TG1TG} & \cdots & \tilde{h}_{V1TGM_{TG}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{VR_{TG}TG1TG} & \cdots & \tilde{h}_{VR_{TG}TGM_{TG}} \end{bmatrix} - \text{блокові матриці}$$

ці передаточних характеристик каналу MIMO в азимутальній  $\tilde{h}_{QR_{TG}TGM_{TG}}$  та кутomisній  $\tilde{h}_{VR_{TG}TGM_{TG}}$  площинах у напрямках на  $m$ -е джерело сигналів з кутovими координатами  $(x_{m_{tg}}, y_{m_{tg}})$ , де  $r=1, \dots, R_{tg}$  – порядковий номер антенного елемента у антенній решітці в межах  $tg$ -ї секції,

$$F = \begin{bmatrix} F_{111}(\omega_{111}) & \cdots & F_{111}(\omega_{M11}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{STG1}(\omega_{111}) & \cdots & F_{STG1}(\omega_{M11}) \\ \hline F_{1TG}(\omega_{1TG}) & \cdots & F_{1TG}(\omega_{M_{TG}}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{STGTG}(\omega_{1TG}) & \cdots & F_{STGTG}(\omega_{M_{TG}}) \end{bmatrix} - \text{блокова матриця амплітудно-частотних характе-}$$

ристик (АЧХ) частотних фільтрів на частотах піднесучих OFDM сигналу,

■ - символ транспонованого блокового торцевого добутку матриць [2] (блокового добутку Хатрі-Рао).

Кожна грань та рівень піраміди можуть взаємодіяти з різною кількістю джерел випромінювання, що мають неоднакове кутове положення відносно нормалі до секційної ЦАР. Тому у матрицях характеристик спрямованості антенних елементів введені індекси  $tg$  при порядковому номері кутової координати джерела сигналу, наприклад,  $x_{M_{tg}}, y_{M_{tg}}$ .

Оскільки у загальному випадку у різних рівнях пірамідальних наносхем та різних їхніх гранях можуть розташовуватися неоднакові за кількістю антенних елементів нанорешітки, то в кожному блоці блокових матриць буде своя кількість елементів по вертикалі. Це враховано подвійним індексом кількості просторових каналів  $R_{GT}$ .

Якщо решітки мають однакову кількість елементів у вертикальній та горизонтальній площинах, то відповідний параметр  $R_{GT}$  для них буде однаковим, як що ж ні, то доцільно при величині  $R_{GT}$  ввести додатковий індекс  $x$  або  $y$ , що характеризував би відповідно горизонтальну та вертикальну площину, тобто отримуємо  $R_{xGT}$  та  $R_{yGT}$ .

У випадку застосування в кожній секції ЦАР не лінійних, а плоских решіток з різною кількістю елементів у вертикальній та горизонтальній площинах наведені вирази мають бути модифіковані шляхом заміни блокових матриць  $Q, V$  та  $\tilde{H}_Q, \tilde{H}_V$  наступними:

$$\text{де } Q = \begin{bmatrix} Q_{111}(x_{111}) & \cdots & Q_{111}(x_{M11}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{R_{xTG}11}(x_{111}) & \cdots & Q_{R_{xTG}11}(x_{M11}) \\ \hline Q_{1TG}(x_{1TG}) & \cdots & Q_{1TG}(x_{M_{TG}}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{R_{xTG}TG}(x_{1TG}) & \cdots & Q_{R_{xTG}TG}(x_{M_{TG}}) \end{bmatrix}, \quad V = \begin{bmatrix} V_{111}(y_{111}) & \cdots & V_{111}(y_{M11}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{R_{yTG}11}(y_{111}) & \cdots & V_{R_{yTG}11}(y_{M11}) \\ \hline V_{1TG}(y_{1TG}) & \cdots & V_{1TG}(y_{M_{TG}}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{R_{yTG}TG}(y_{1TG}) & \cdots & V_{R_{yTG}TG}(y_{M_{TG}}) \end{bmatrix},$$

$$\tilde{H}_Q = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{Q11111} & \dots & \tilde{h}_{Q111M11} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{QR_xTG11111} & \dots & \tilde{h}_{QR_xTG11M11} \\ \hline \tilde{h}_{Q1TG1TG} & \dots & \tilde{h}_{Q1TGM TG} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{QR_xTGTG1TG} & \dots & \tilde{h}_{QR_xTGTGM TG} \end{bmatrix}, \quad \tilde{H}_V = \begin{bmatrix} \tilde{h}_{V11111} & \dots & \tilde{h}_{V111M11} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{VR_yTG11111} & \dots & \tilde{h}_{VR_yTG11M11} \\ \hline \tilde{h}_{V1TG1TG} & \dots & \tilde{h}_{V1TGM TG} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{h}_{VR_yTGTG1TG} & \dots & \tilde{h}_{VR_yTGTGM TG} \end{bmatrix}.$$

Спираючись на отримані математичні моделі відгуків ЦАР у складі наносхеми, демодуляція OFDM сигналів з квадратурно-амплітудною модуляцією та відомими частотами піднесучих і кутовими координатами джерел випромінювання може бути здійснена за виразом  $\tilde{A} = (P^T P)^{-1} P^T U$  з урахуванням просторово-часового чи іншого з різновидів кодування MIMO-сигналів.

#### Література:

1. Патент України на корисну модель № 60938. МПК H01Q 1/38 (2006.01). Спосіб виготовлення наносхем бездротової мережі на кристалі. / Слюсар Д.В., Слюсар В.І. - Заявка на видачу патенту України на корисну модель № u201103249 від 21.03.2011. - Патент опубліковано 25.06.2011, бюл. № 12.
2. Слюсар В.И. Торцевые произведения матриц в радиолокационных приложениях// Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника.- 1998. - Том 41, № 3.- С. 50 - 53.

<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