

РАЗРАБОТКА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В СИСТЕМЕ МІМО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ

Х.С. ХАЧАТРЯН

Российско–Армянский университет, Ереван, Армения

e-mail: khachatryan.khach@gmail.com

(Поступила в редакцию 27 февраля 2019 г.)

В данной работе предлагается структурная схема системы для определения местоположения объекта или объектов, в которой используется технология МІМО. Для данной системы в качестве излучателя была смоделирована и изготовлена микрополосковая антенная решетка. Численное моделирование решетки осуществлено с помощью программного пакета «CADFEKO». На основе моделирования изготовлен экспериментальный макет антенной решетки.

1. Введение

В последнее время МІМО (Multiple Input Multiple Output) технология представляет большой интерес в разработке радаров различного назначения. Основным достоинством МІМО-радаров является повышенная вероятность обнаружения объекта и широкий сектор обзора [1–3]. МІМО технология основана на пространственном кодировании сигналов, которая дает возможность увеличить пропускную способность канала связи, используя систему, состоящую из двух или более антенн для приема и передачи сигнала [4,5]. На Рис.1 изображена блок-схема МІМО системы, где используется одна антенна для передачи и две антенны для приема сигнала. Данную реализацию называют 1×2 МІМО.

Система МІМО играет ключевую роль в увеличении пропускной способности канала связи [6,7]. Так поток информации разделяется на несколько каналов и передается разными путями через несколько антенн. Поток принимается такими же независимыми антеннами на приемной стороне, в результате чего получаем несколько независимых каналов связи. При этом, не расширив полосу пропускания канала, получаем увеличенную скорость передачи информации.

При распространении радиоволн в радиоканале наблюдаются замирания. Это особенно заметно в условиях плотной городской застройки. Замирания в каждом канале происходят независимо. В этом случае идея системы такова: если передавать по каналам МІМО одну и ту же информацию с небольшой задержкой,

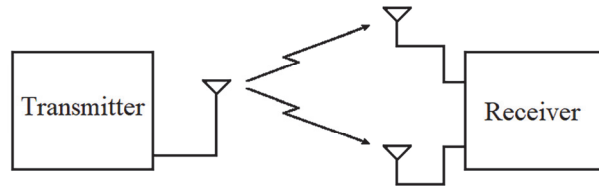


Рис.1. Блок-схема системы MIMO.

то становится возможным восстановить потерянные символы на приемной стороне, что эквивалентно приводит к улучшению отношения сигнал/шум. В итоге такая технология опять же приводит к возрастанию скорости.

Есть очень много разновидностей реализации MIMO, например, часто используемые в сетях Wi-Fi/3G/4G 2×2 / 3×3 / 4×4 MIMO. Емкость канала MIMO линейно возрастает с увеличением количества антенн для передачи и приема. При этом увеличение количества антенн также может привести к потере спектральной эффективности и ухудшению характеристик системы MIMO. Основываясь на вышесказанном, основная цель конструкции антенн с технологией MIMO состоит в минимизировании взаимодействия между близко расположенными элементами антенной решетки на передающем конце системы [8–11].

В данной работе разработана микрополосковая антенная решетка для системы мониторинга за объектами, использующая систему 1×2 MIMO. Выбор данного типа антенны обусловлен высоким коэффициентом направленного действия, возможностью быстрого сканирования за счет «качания» луча диаграммы направленности электрическим методом, а также малыми размерами, массой и относительно простой конструкцией.

2. Предлагаемая система мониторинга за объектами

Структурная схема предлагаемой системы изображена на Рис.2, где одна излучающая антенная решетка и модуль преобразователя частоты вверх установлена на движущемся объекте, а две приемные антенные решетки и модуль преобразователя частоты вниз установлены на приемной части системы. Приемная часть также включает в себя аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), персональный компьютер (ПК), и монитор для наблюдения движения объекта.



Рис.2. Структурная схема предлагаемой системы мониторинга за движущимся объектом: «object» – объект, «MIMO receiver» – MIMO приемник, «ADC» – АЦП, «PC» – персональный компьютер.

Принцип работы предлагаемой системы заключается в следующем: движущийся объект во время своего движения излучает высокочастотный сигнал в диапазоне 2.4 – 2.5 ГГц. Когда объект излучает высокочастотный сигнал, в приемной части системы с помощью двух антенных решеток принимается сигнал с некоторой задержкой Δt . Данная задержка обусловлена тем, что антенные решетки разнесены друг от друга. Иными словами, на входе системы ММО получим сигналы, отличающиеся друг от друга по фазе. По этой причине на приемном конце смеситель вниз имеет два канала обработки сигнала. На следующем этапе оба сигнала обрабатываются на АЦП и передаются на персональный компьютер. В последнем узле системы, используя фазовое отличие сигналов, с помощью программного обеспечения производится расчет по определению координат движущегося объекта относительно приемной части.

3. Моделирование и изготовление антенной решетки

В качестве прямо-передающего элемента в данной линейной антенной решетке используется прямоугольный полосковый резонатор (Рис.3). Материалом подложки служит FR4, имеющий ширину диэлектрика $h = 1.6$ мм. Рабочий диапазон частот антенны от 2.4 до 2.5 ГГц.

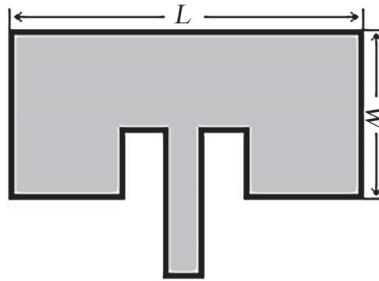


Рис.3. Геометрический вид резонатора.

Ниже приведены параметры данного резонатора на центральной частоте 2.45 ГГц.

Ширина резонатора W равна [12]

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}, \quad (1)$$

где c – скорость света, ϵ_r – диэлектрическая постоянная подложки, f_r – резонансная частота. Для выбранного нами материала подложки FR4 $\epsilon_r = 4.4$.

Длина резонатора L имеет следующий вид [12]

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{\text{reff}}$ – эффективная диэлектрическая постоянная (3), ΔL – поправка длины (4) [12].

$$\varepsilon_{\text{reff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412 \cdot h \frac{(\varepsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\varepsilon_{\text{reff}} + 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}, \quad (4)$$

где h – ширина диэлектрической подложки.

Следующим этапом является теоретическое определение расстояния между любыми двумя элементами данной решетки [12]

$$d_{x(y)} = \frac{\lambda}{1 + |\sin \theta|}, \quad (5)$$

где θ – ширина диаграммы направленности антенны в E – плоскости, λ – длина волны.

В результате численных расчетов были получены следующие значения для длины $L = 37.72 \text{ мм}$ и ширины $W = 29.19 \text{ мм}$ резонатора. Подставляя значения θ и λ получим $dx(y) = 50 \text{ мм}$.

Учитывая исходные данные по ширине диаграммы направленности решетки в двух плоскостях получим число элементов в горизонтальной $N_x = 4$ и вертикальной плоскостях $N_y = 4$. Соответственно, длины решетки в направлениях x и y равны

$$L_x = N_x \cdot L + (N_x - 1) \cdot dx, \quad (6)$$

$$L_y = N_y \cdot W + (N_y - 1) \cdot dy. \quad (7)$$

Подставляя значения (3) для длины решетки в направлениях x и y получим $L_x = 300.88 \text{ мм}$, $L_y = 266.76 \text{ мм}$.

Далее рассмотрим вопросы по организации питания излучающих элементов этой решетки. Была выбрана тройниковая схема питания, позволяющая обеспечить питание большого количества излучающих элементов решетки из одной точки [13]. Применение этой схемы приводит к упрощению и удешевлению конструкции антенной решетки.

Антенна была смоделирована с помощью программы «CADFEKO» [14]. Излучающий элемент имеет размеры 37.72 мм на 29.19 мм и толщину 1.6 мм . На Рис.4 представлена антенная решетка, смоделированная программой «CADFEKO».

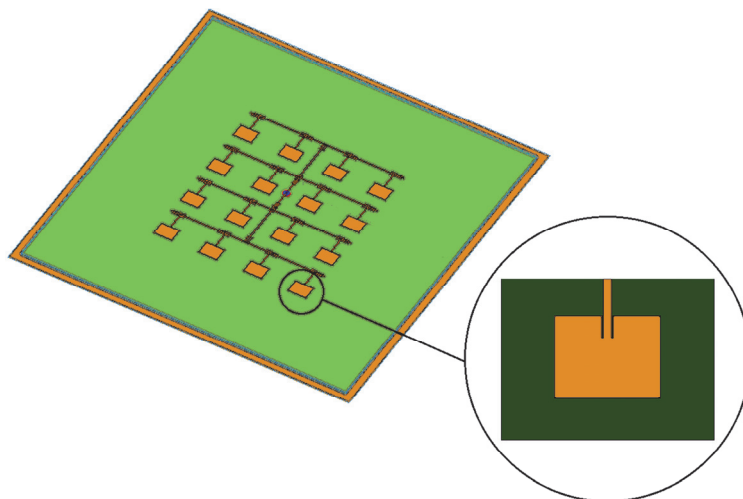


Рис.4. Модель микрополосковой антенной решетки.

В результате моделирования была получена диаграмма направленности данной антенной решетки в вертикальной и горизонтальной плоскостях (Рис.5).

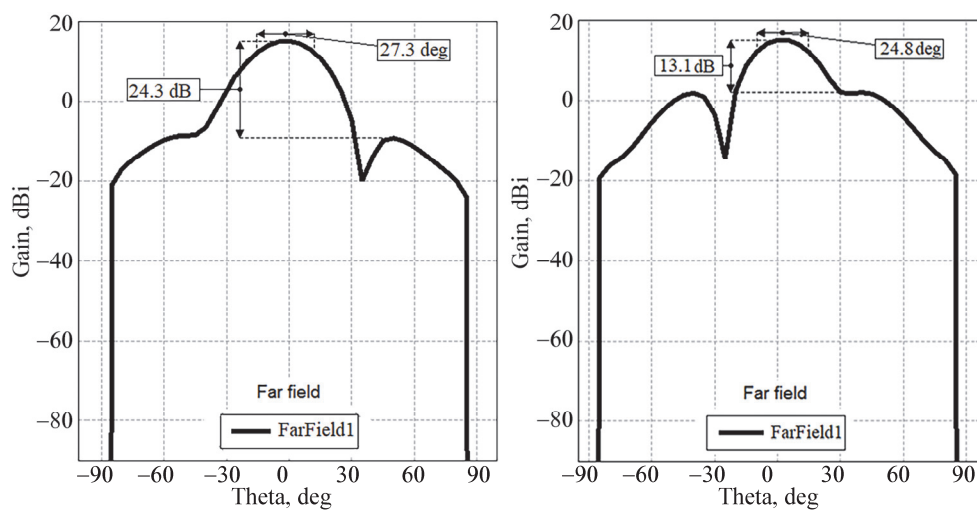


Рис.5. Диаграмма направленности антенны, полученная при помощи программного обеспечения «CADFEKO»: (а) – в вертикальной плоскости; (б) – в горизонтальной плоскости.

Для выявления рабочей частоты антенной решетки на следующем рисунке (Рис.6) приведена зависимость коэффициента стоячей волны (КСВ) от частоты.

На следующем этапе были произведены работы по изготовлению антенной решетки (Рис.7), в результате чего были получены характеристики данной

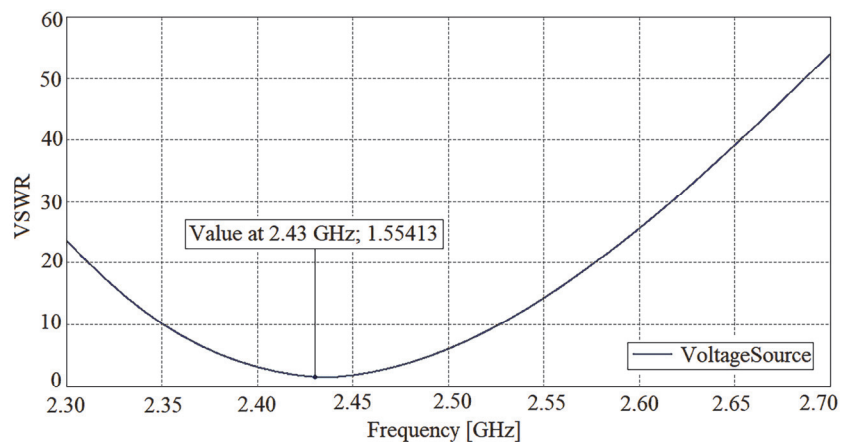


Рис.6. Зависимость КСВ от частоты.

антенны, которые показаны на Рис.8. После было произведено сравнение полученных данных с данными, полученными в результате моделирования в программе «CADFEKO».

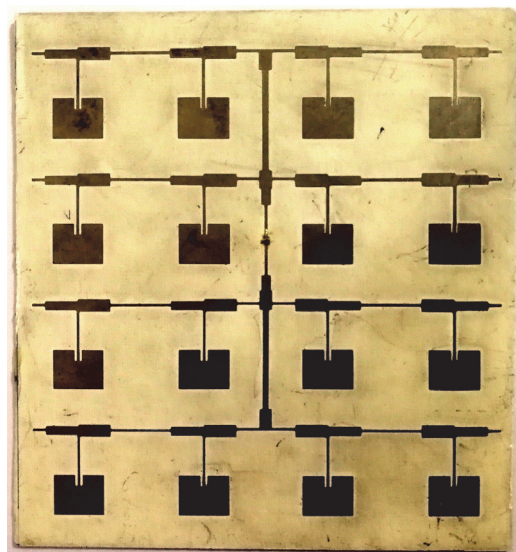


Рис.7. Модель изготовленной микрополосковой решетки.

Измерения проведены с помощью анализатора спектра «NI PXIe-56652», имеющего абсолютную точность амплитуды ± 0.6 дБ. Исследуя результаты измерений, получим коэффициент усиления модели антенны равный 11.5 дБ и ширину главного лепестка диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях в 25° . Полученные измерения практически повторяют результаты, полученные с помощью программы «CADFEKO».

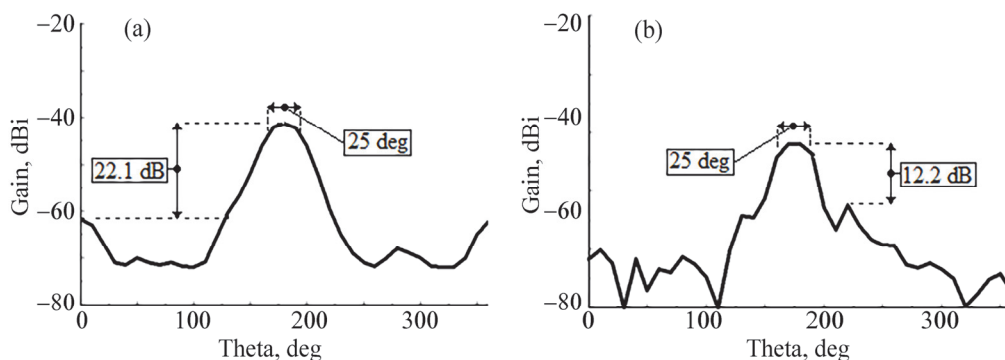


Рис.8. Диаграмма направленности реальной антенны: (а) – в ортогональной плоскости; (б) – в горизонтальной плоскости.

4. Заключение и выводы

Полученные выше результаты для диаграммы направленности антенны позволяют сделать вывод о возможности применения предлагаемой модели антенны в задаче радиолокации, используя технологию ММО. Преимущества технологии, предлагаемой в данной работе, заключаются в повышенной вероятности обнаружения объекта, широком секторе обзора. Помимо этого, радиолокация с использованием ММО технологии обходится дешевле, чем стандартные методы радиолокации.

Таким образом, с помощью численного моделирования была реализована структура антенной решетки, предназначенная для секторного обзора по курсу.

Автор выражает благодарность А.К. Агароняну за постановку задачи и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.A. Asaker, R.S. Ghoname, A.A. Zekry. International Journal of Computer Applications, **115**, 27 (2015).
2. В.Т. Лобач, А.О. Касьянов, М.В. Потипак, В.А. Алехин, К.В. Суматохин. Известия Южного федерального университета. Технические науки, **11**, 213 (2016).
3. M. Davis, G. Showman, A. Lanterman. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, **29**, 76 (2014).
4. S. Cui, A.J. Goldsmith, B. Ahmad. IEEE Journal on selected areas in communications, **22**, 1089 (2004).
5. G. Yang, C.K. Ho, R. Zhang. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, **33**, 1640 (2015).
6. Б.А. Панченко, Е.И. Нефедев. Микрополосковые антенны, Москва, Радио и связь, 1986.
7. S. Skogestad, I. Postlethwaite. Multivariable Feedback Control. Analysis and Design.

John Wiley and Sons Ltd., Chichester, Sussex, UK (2005).

8. **О.Г. Вендик, М.Д. Парнес.** Антенны с электрическим сканированием. Москва, 2001.
9. **И.С. Ковалева.** Конструирование и расчет полосковых устройств. Москва, Советское радио, 1974.
10. **D.W. Bliss, K.W. Forsythe.** Systems & Computers, **1**, 54 (2003).
11. **A.J. Paulraj, D.A. Gore, R.U. Nabar, H. Bolcskei.** Proceedings of the IEEE, **92**, 198 (2004).
12. **D.M. Pozar.** Proceedings of the IEEE, **80**, 79 (1992).
13. **P. Bhartia, I. Bahl, R. Garg, A. Ittipiboon.** Microstrip Antenna Design Handbook, Norwood, Artech House Publishers, 2001.
14. **G. Morghare, S. Poonam.** International Journal of Scientific and Research Publications, **4**, 252 (2014).

ՄԱՆՏԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԱԼԵՀԱՎԱՔԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ՄՇԱԿՈՒՄ MIMO
ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՀԱՄԱՐ ՕԲՅԵԿՏԻ ԿՈՈՐԴԻՆԱՏՆԵՐԸ ՈՐՈՇԵԼՈՒ ՀԱՄԱՐ

Խ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

Սույն աշխատանքում առաջարկվում է MIMO տեխնոլոգիա կիրառող օբյեկտի կամ օբյեկտների գտնվելու վայրի որոշման համակարգի կառուցվածքային սխեման: Նշված համակարգի համար որպես ճառագայթող մոդելավորվել ու պատրաստվել է միկրոշերտային ալեհավաքային ցանց: Ցանցի թվային մոդելավորումն իրականացվել է CADFEKO ծրագրային փաթեթի միջոցով: Մոդելավորման ստացված արդյունքներից հետո իրականացվել են ալեհավաքային ցանցի իրացման նախապատրաստական աշխատանքներ:

DEVELOPMENT OF AN ANTENNA GRID OF A CENTIMETRIC RANGE
IN THE MIMO SYSTEM FOR DETERMINING COORDINATES OF OBJECTS

K.S. KHACHATRYAN

This paper proposes a block diagram of a system for determining the location of a moving object or objects using MIMO (multiply input, multiply output) technology. For this system, a microstrip antenna array was modeled and produced as an emitter. Numerical modeling of the lattice was carried out using the CADFEKO software package; after the obtained simulation results, procurement work was carried out to implement the antenna array.