

ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИОЛИНИЙ ДКМВ-ДИАПАЗОНА, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЮ МІМО

Оглоблин А.В.

Контрактный военнослужащий, Самара, РФ
homealeks@mail.ru

Предложен порядок проектирования радиоліній діапазона дециметрових волн (ДКМВ), використовуючих технологію множинного прийому і передачі (МІМО). Розглянута послідовність дій на кожному етапі, дані рекомендації по вибору оптимального варіанта. С використанням запропонованого порядку синтезована система МІМО 6×6 на базі двох триортogonalних антенних елементів для використання в складі польових швидкозростаючих комплексів ДКМВ-радіосвязи. Представлені технічні характеристики синтезованої системи, проаналізована предельно досяжна пропускна спроможність, зроблені висновки о можливості застосування синтезованої системи в складі радіоліній ДКМВ-діапазона.

Ключевые слова: ДКМВ-діапазон, порядок проектування, польовий комплекс, МІМО.

Введение

В настоящее время в ДКМВ-діапазоні існує проблема підвищення каналної ємкості при використанні фіксованого частотного ресурсу. Вона актуальна як для стаціонарних радіоцентрів, так і для засобів рухомої радіосвязи. Останні призначені для зв'язу з віддаленими районами при надзвичайних ситуаціях або військових діях [1]. Однак нестійкі канали радіосвязи зустрічаються не тільки в ДКМВ-діапазоні. Традиційно вищеописані проблеми вирішуються шляхом передачі надлишкової інформації. Це можуть бути коди корекції помилок всередині каналу, так і використання різних фізичних каналів (в сенсі багатолучевого розповсюдження сигналу). Розвиток останньої методики привело до появи технології множинної передачі і прийому МІМО. Розглянемо розділи даної методики.

Раздел 1

На основі результатів досліджень [2-4] пропонується порядок проектування радіоліній ДКМВ-діапазона, використовуючих технологію МІМО, включаючий наступні основні етапи:

- аналіз типів і умов розміщення радіостанцій;
- вибір видів і кратностей множинного прийому і передачі;
- вибір типів антенних систем;
- уточнення технічних вимог до обладнання;
- підбір і розробка (при необхідності) складових частин обладнання.

Схематично запропонований порядок проектування представлений на рис. 1. Розглянемо послідовно основні його етапи.

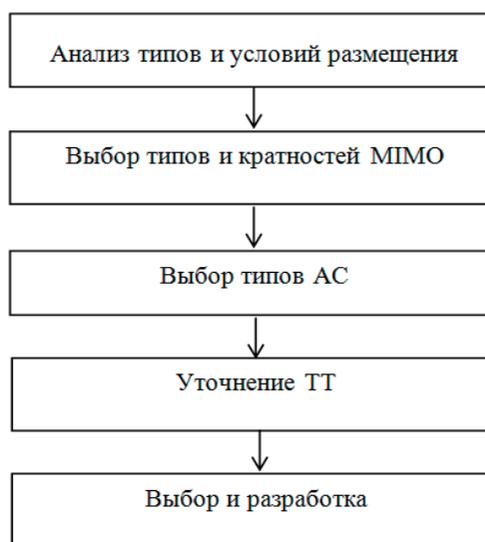


Рис. 1. Укрупненная схема порядка проектирования

Первый этап выполняется на основе рассмотрения тактико-технических требований к разрабатываемой радиолінії. Он включает в себя анализ типа предполагаемой к использованию радиостанции. Радиостанции можно разделить на два типа: совмещенные и разнесенные [5]. Разнесенные радиостанции состоят из приемных и передающих центров, которые располагаются вдали друг от друга и от промышленных предприятий для уменьшения помех радиоприему. В состав радиоцентра входят антенные и фидерные устройства с аппаратурой многократного использования антенн, промежуточная и оконечная аппаратура приемного тракта, радиоприемники и радиопередатчики, аппаратура контроля, дистанционного управления, служебной связи и сигнализации.

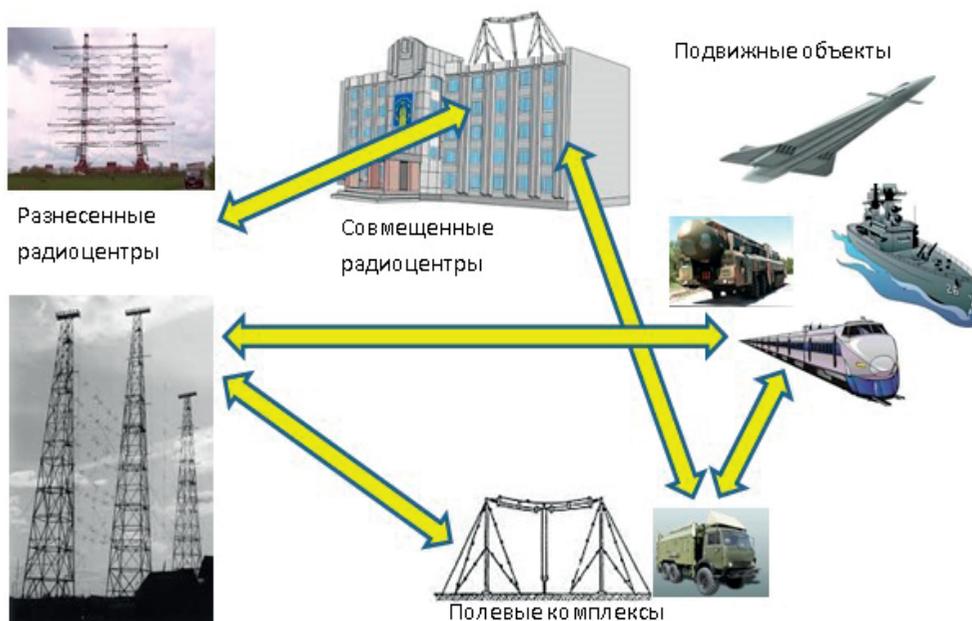


Рис. 2. Объекты и радиолинии ДКМВ

Антенные системы располагаются на антенном поле, которое обычно занимает большую часть территории радиоцентра.

Для коротковолновых радиоцентров применяются как узконаправленные антенны в количестве, соответствующем числу заданных направлений радиосвязи, составляющие сеть проводов, подвешиваемых на металлических или деревянных опорах высотой от 25 до 170 м, так и ненаправленные и слабонаправленные антенны.

В противоположность разнесенным совмещенные радиостанции осуществляют прием и передачу на антенные системы, расположенные компактно. Они размещаются в условиях существенно ограниченной занимаемой антеннами площади, очень часто – в городских зданиях (сооружениях) относительно небольших размеров. Приемо-передающие антенны ДКМВ-диапазона при этом удается установить только на крыше здания, площадь которого, особенно с учетом присутствия антенн радиосредств других диапазонов, практически не оставляет возможностей размещения нескольких пространственно разнесенных антенн ДКМВ.

Для антенных систем, реализующих прием сигнала, предлагается осуществлять выбор типа АС в пользу активных антенн на электрически коротких вибраторах. Такой выбор существенно сокращает требуемую площадь антенного поля без ухудшения прочих характеристик радиостанции. Это является особенно важным на совмещенных радиостанциях, но также имеет значение и для случая разнесенной радиостанции. По условиям размещения совмещенные радиостанции могут быть стационарными, под-

вижными (например, на кораблях и судах) и быстро-разворачиваемыми.

Для стационарных и подвижных совмещенных радиостанций может присутствовать дополнительное требование компактности размещения (например, радиосредства размещаются в одном или двух смежных зданиях, а антенны – на одной или двух смежных крышах). Антенны подвижных средств, например боевого корабля, размещаются также компактно, причем имеются дополнительные ограничения, связанные с размещением антенн вблизи мачт, надстроек и вооружения). Вышеприведенные объекты и радиолинии ДКМВ-диапазона показаны на рис. 2. Исходя из анализа требований к условиям размещения следует определить размер площадей, доступных для разворачивания АС радиостанции. Помимо этого, требуется определение необходимой мощности передатчика или ограничение на минимально допустимое отношение «сигнал/шум» для передающих и приемных радиостанций соответственно.

Второй этап заключается в выборе видов и кратности применяемой технологии ММО. В качестве входных данных на этом этапе используется заданное в техническом задании (ТЗ) ограничение на пропускную способность и определенное на предыдущем этапе соотношение «сигнал/шум». Следует отметить, что в ТЗ зачастую выдвигается требование не только к пропускной способности, но и к надежности. Последнее следует учитывать соразмерным увеличением требуемой пропускной способности, как показано в [2]. Исходя из пропускной способности и соотношения «сигнал/шум» по графикам, приведенным в [3-6],

следует определить кратность технологии ММО, достаточную для выполнения требований ТЗ.

Будем различать случай высокой и низкой кратности. Для высокой кратности (более трех) рекомендуется применять комбинированные типы разнесения. В случае низкой кратности (не более трех) и наличия ограничений на пространственное размещение АС рекомендуется использовать поляризационный тип разнесения подканалов ММО. В остальных случаях предлагается применение пространственного разнесения подканалов технологии ММО. Алгоритм действий на первом и втором этапах в виде единого процесса изображен на рис. 3.

Третий этап заключается в выборе типов антенных систем. По результатам анализа характеристик систем ММО [2], различающихся применяемым типом АС, сформирована таблица 1, в которой перечислены предлагаемые типы АС: БАЭ (биортогональный элемент из двух скрещенных вибраторов ВГДШП), ПТАЭ (полноразмерный триортогональный антенный элемент), ТАЭ (триортогональный антенный элемент из электрически коротких активных вибраторов) [7], КАР (кольцевая антенная решетка, составленная из ТАЭ). При выборе типа антенной системы радиостанции следует руководствоваться алгоритмом, показанным на рис. 4, а также таблицей 1.

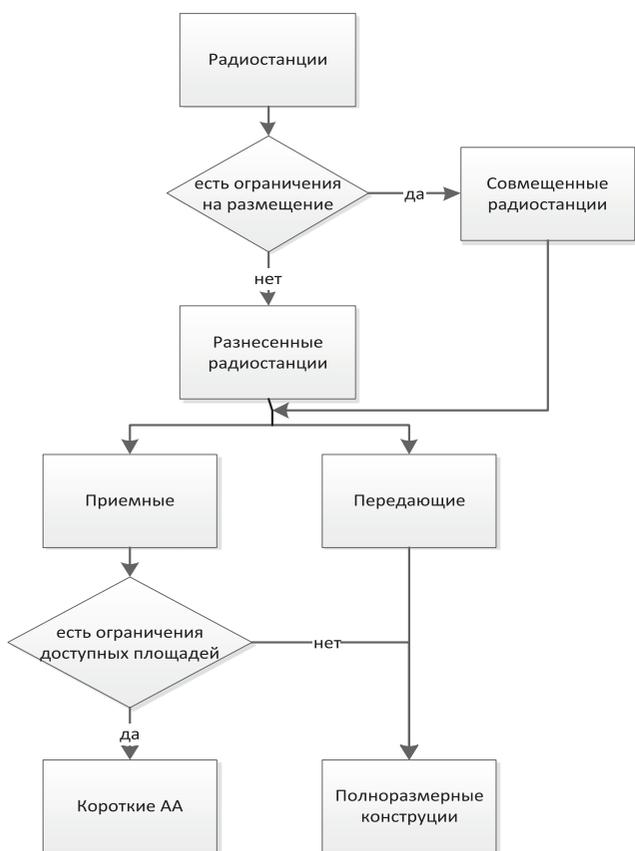


Рис. 3. Порядок действий на этапах 1 и 2

В случае передающих радиостанций необходимо использовать полноразмерные АС. Для таких радиостанций использование БАЭ или ПТАЭ выбирается исходя из кратности ММО. Если ММО кратно двум (2×2 , 4×4), то следует выбирать БАЭ, если трем (3×3) – ПТАЭ. В случае если ММО кратно и двум, и трем (например 6×6), то антенную систему предлагается выбирать из условий размещения, проанализированных на этапе 1.

Для радиостанции, осуществляющей только прием сигнала, допустимо использование любого типа антенной системы. Рекомендованы же к применению ТАЭ и КАР на их основе. Выбор между ними осуществляется из экономических соображений.

При необходимости вести прием в условиях сложной помехово-шумовой обстановки, что соответствует низкому отношению «сигнал/шум», рекомендовано использование КАР с числом элементов, достаточным для «коррекции» низкого уровня сигнала. Более подробно данный процесс освещен в [8].

Раздел 2

Четвертый этап заключается в уточнении технических требований к оборудованию. На данном этапе должен быть уточнен состав технических средств (антенных систем, передатчиков/приемников, каналобразующего (модемного) оборудования) для обеих радиостанций и требования к ним, связанные с выбранными видом и кратностью разнесения. Уточняются и конструктивные требования, в том числе связанные с условиями размещения.

Особое внимание следует уделить по выполнению требований к соотношению «сигнал/шум», требований по числу каналов одновременной обработки, а также требований по максимальному времени обработки принятого сигнала. Данные требования следует уточнить по результатам выбора особенностей реализации технологии ММО.

По результатам уточнения технических требований подбирается имеющееся (ранее разработанное) оборудование или, при необходимости, формулируются требования к разработке нового либо модернизации имеющегося. С использованием предложенного порядка проектирования синтезирована система ММО 6×6 для последующего использования в составе полевых быстроразворачиваемых приемных комплексов ДКМВ-радиосвязи. Исходя из условий размещения и требуемой пропускной способности была выбрана реализация сис-

Таблица 1. Рекомендации по выбору типов антенных систем

Тип АС \ Тип системы	Передающие системы	Приемные системы	Приемные системы для случая низкого отношения «сигнал/шум»
БАЭ	+++	+	-
ПТАЭ	++	+	-
ТАЭ	-	++	-
КАР	-	+++	+++

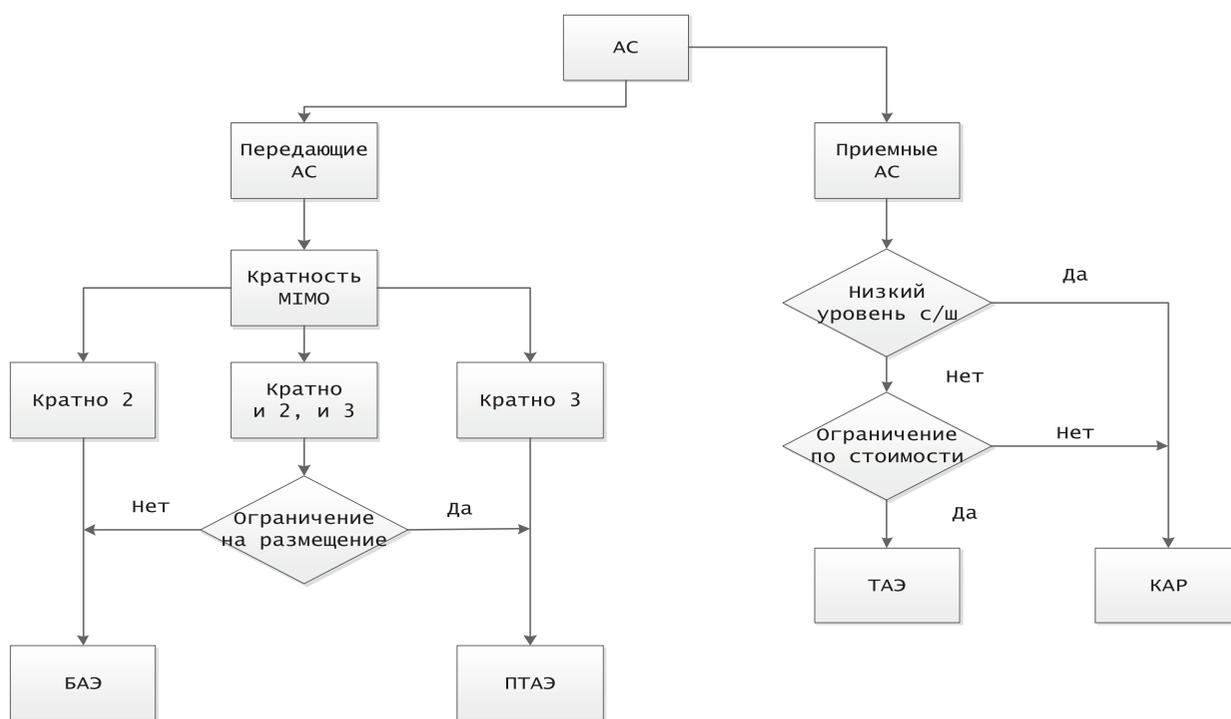


Рис. 4. Порядок действий на этапе 3

темы на электрически коротких активных антеннах с комбинированным типом разнесения подканалов.

Антенная система состоит из двух три-ортогональных антенных элементов (ТАЭ), которые представляют собой короткие ($l \ll \lambda$) симметричные вибраторы, расположенные в трех взаимно-перпендикулярных плоскостях. Высота подвеса ТАЭ составляет 4 м. Длины вибраторов равны также 4 м (состоящие из двух плеч длиной по 2 м каждое). Из соображений механической прочности и учета влияния опоры на электродинамические характеристики ТАЭ расстояние между опорой и вертикальным вибратором ТАЭ было выбрано равным 0,6 м [6]. Размер ме-

таллической конструкции (сетки) составляет 18×18 м с шагом 0,6 м.

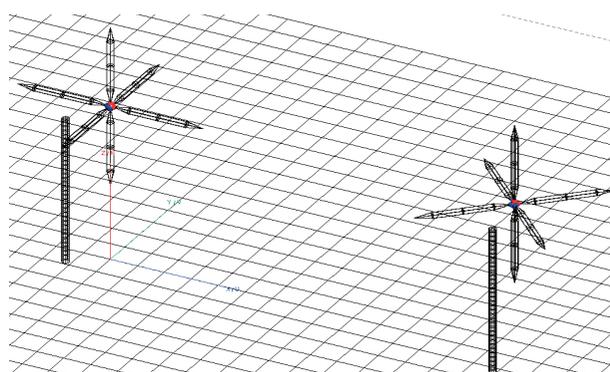


Рис. 5. Электродинамическая модель системы ММО 6×6

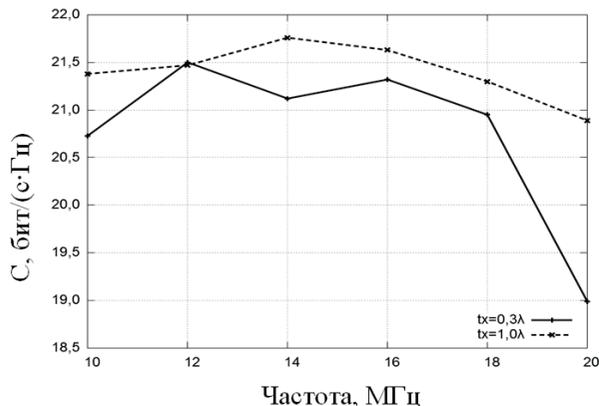


Рис. 6. Пропускная способность системы ММО 6×6 в зависимости от частоты при различных расстояниях между элементами

На рис. 6 приведена зависимость пропускной способности системы ММО 6×6 для расстояний между передающими элементами равных $0,3\lambda$ и $1,0\lambda$ при высоком качестве канала. При анализе использовалась методика, изложенная в [2], дополненная в части значений канальной и корреляционных матриц, соответствующих экспериментально полученным данным [9-10].

Для реализации системы связи, использующей технологию ММО 6×6 с комбинированным типом разнесения подканалов, будем применять два ТАЭ (см. рис. 5). На некотором расстоянии от фазового центра первого ТАЭ расположен идентичный триортогональный антенный элемент, повернутый на 45° против часовой стрелки. Взаимное расположение ТАЭ было выбрано из соображений уменьшения пространственной избирательности. Анализ пропускной способности системы ММО 6×6 с использованием данной модели проводился на расстояниях между ТАЭ равных 8,99 м; 14,99 м; 22,48 м и 29,98 м.

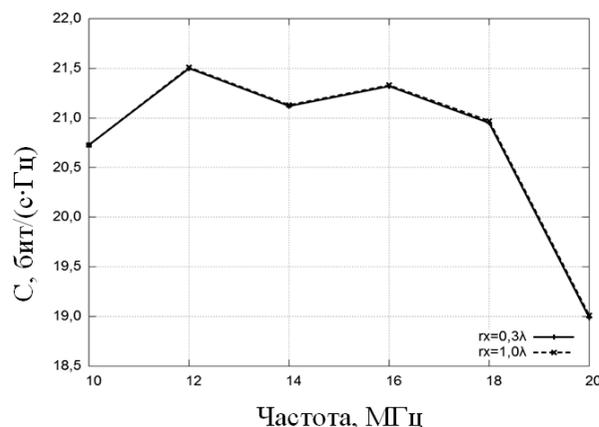


Рис. 7. Пропускная способность системы ММО 6×6 в зависимости от частоты при различных расстояниях между элементами

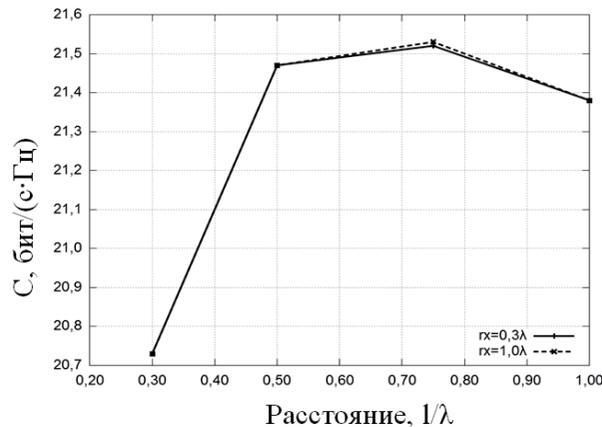


Рис. 8. Пропускная способность системы ММО 6×6 в зависимости от расстояния между элементами на частоте 10 МГц

На рис. 7 приведена зависимость пропускной способности системы ММО 6×6 для расстояний между приемными элементами равных $0,3\lambda$ и $1,0\lambda$ при высоком качестве канала. Видно, что разнесение на приемной стороне оказывает слабое влияние на пропускную способность системы. Также была исследована зависимость пропускной способности от расстояния между элементами системы ММО на нескольких частотах. Результат для частоты 10 МГц представлен на рис. 8. Ранее сделанный вывод о слабом влиянии разнесения на приемной стороне на пропускную способность системы в целом здесь вновь находит свое подтверждение.

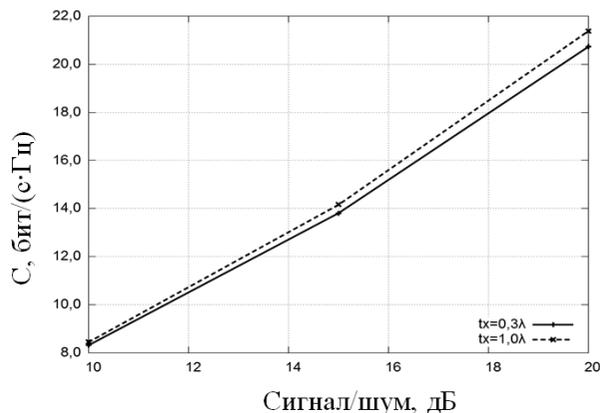


Рис. 9. Пропускная способность системы ММО 6×6 в зависимости от соотношения «сигнал/шум» на частоте 10 МГц

Заключение

На рис. 9 приведена зависимость пропускной способности системы ММО 6×6 от соотношения «сигнал/шум» для различных расстояний между передающими элементами ($0,3\lambda$ и $1,0\lambda$). Исходя из про-

веденных исследований система ММО 6×6 с комбинированным типом разнесения подканалов подходит для применения в области ДКМВ при расстояниях между антенными элементами, превышающих $0,5\lambda$, и высоком соотношении «сигнал/шум», что подтверждает работоспособность предложенного ранее порядка проектирования радиолиний ДКМВ-диапазона, использующих технологию ММО.

Литература

1. Минкин М.А. Проблемы и перспективы модернизации и развития систем ДКМВ-радиосвязи // Вестник СОНИИР. №4(14), 2006. – С.4-10.
2. Оглоблин А.В. Предельно достижимые характеристики комплексов ДКМВ-радиосвязи, реализующих технологию ММО, при различных видах разнесения // Электросвязь. №5, 2015. – С. 47-51.
3. Оглоблин А.В. Исследование характеристик систем ММО ДКМВ-диапазона с поляризационным разнесением // Материалы 25-ой Крымской МНТК «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, сентябрь, 2015. – С. 449-451.
4. Оглоблин А.В. Сравнительные характеристики комплексов КВ-радиосвязи с использованием технологии ММО на каналах среднего и высокого качества // Материалы XIII МНТК «Физика и технические приложения волновых процессов». Казань, сентябрь, 2015. – С. 84-86.
5. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. М.: Горная линия – Телеком, 2006. – 598 с.
6. Оглоблин А.В. Применение приемных кольцевых антенных решеток в составе полевых комплексов ДКМВ-радиосвязи, реализующих технологию ММО // Инфокоммуникационные технологии. Т.13, №3, 2015. – С. 312-318. doi: 10.18469/ikt.2015.13.3.12
7. Кольчугин И.Ю., Красильников А.Д. Проектирование приемных кольцевых антенных решеток ДКМВ-диапазона с управляемыми пространственными и поляризационными характеристиками // Материалы XX МНТК «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж: НПФ «Саквбее», 2014. – С 494-501.
8. Букашкин С.А., Оглоблин А.В., Шишкин Д.С. Построение и алгоритм работы радиолинии по технологии ММО на основе адаптивных фазированных антенных решеток // Радиотехника. №4, 2015 – С. 28-31.
9. Salous S., Feeney S.M., Warrington E.M., Gunashekar S.D., Abbasi N.M. Experimental investigations of MIMO in the HF band Ionospheric Radio Systems and Techniques (IRST 2012) // 12th IET International Conference on. May 2012. – P. 1-4.
10. Daniels R.C.; Peters S.W. A New MIMO HF Data Link: Designing for High Data Rates and Backwards Compatibility // Military Communications Conference, MILCOM 2013 IEEE. – P. 1256-1261.

Получено 03.08. 2015

Оглоблин Александр Владимирович, командир войсковой части, г. Самара. Тел. (8-495) 696-93-93. E-mail: homealeks@mail.ru

DESIGN OF HF-BAND RADIO FREQUENCY LINES BASED ON MIMO TECHNOLOGY

Ogloblin A.V.

Military unit, Samara, Russian Federation

E-mail: homealeks@mail.ru

This work is concerned with design of HF-band radio frequency lines based on MIMO technology (Multiple Input – Multiple Output). We proposed algorithm for design including following stages: analyzing of types and location conditions of radio stations; selection of MIMO types and multiplicity ratio; selection of antenna system types; adjustment of technical requirements to equipment; fitting and/or development of equipment components. By using proposed algorithm, we synthesized MIMO system 6x6 based on two triple-orthogonal antenna elements for application in the field quickly installed HF-band radio frequency communication systems, described its technical specification, analyzed maximal bandwidth, concluded on ability of its application in HF-band radio frequency communication system.

Keywords: HF-band, design, field complex, MIMO

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.4.13

Ogloblin Aleksandr Vladimirovich, military unit, Samara, Russian Federation. Tel. +74956969393. E-mail: homealeks@mail.ru.

References

1. Minkin M.A. Problemy i perspektivy modernizacii i razvitija sistem DKMV radiosvjazi [Problems and prospects of modernization and development of systems HF radio]. *Vestnik SONIR*, 2006, no. 4, pp. 4-10.
2. Ogloblin A.V. Predel'no dostizhimye harakteristiki kompleksov DKMV radiosvjazi, realizujushhij tehnologiju MIMO, pri razlichnyh vidah raznesenija [Maximum achievable characteristics of complexes of HF radio communication, implementing MIMO technology for different types explode]. *Jelektrosvjaz* ', 2015, no. 5, pp. 47-51.
3. Ogloblin A.V. Issledovanie harakteristik sistem MIMO DKMV diapazona s poljarizacionnym razneseniem [Study of characteristics of MIMO systems HF range with polarization diversity]. *Materialy 25-oj Mezhdunarodnoj Krymskoj NTK «SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii»* [Proceedings of the 25th International Crimean STC «Microwave equipment and telecommunication technologies»]. Sevastopol, 2015.
4. Ogloblin A.V. Sravnitel'nye harakteristiki kompleksov KV-radiosvjazi s ispol'zovaniem tehnologii MIMO na kanalah srednego i vysokogo kachestva [Comparative characteristics of HF radio systems with IP-use of MIMO technology to channel medium and high quality]. *Materialy XIII MNTK «Fizika i tehicheskie prilozhenija volnovyh processov»* [Proceedings of XIII IRTC «Physics and engineering applications of wave processes»]. Kazan, 2015.
5. Golovin O.V., Prostov S.P. *Sistemy i ustrojstva korotkovolnoj radiosvjazi* [Systems and devices shortwave radio]. Moscow, Goryachaya liniya – Telecom Publ., 2006. 598 p.
6. Ogloblin A.V. Primenenie priemnyh kol'cevnyh antennyh reshetok v sostave polevyh kompleksov DKMV-radiosvjazi, realizujushhij tehnologiju MIMO [Application of receiving circular antenna arrays for the field HF-band radio systems based on MIMO technology]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2015, vol. 13, no. 3, pp. 312-318. doi: 10.18469/ikt.2015.13.3.12
7. Kol'chugin I.Ju., Krasil'nikov A.D. Proektirovanie priemnyh kol'cevnyh antennyh reshetok DKMV diapazona s upravljaemymi prostranstvennymi i poljarizacionnymi harakteristikami [Design of HF-band receive circular antenna arrays with configurable spatial and polarization characteristics]. *20-ja mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Radiolokacija, navigacija, svjaz'»*. *Materialy konferencii*. Voronezh, NPF «Sakvóee», 2014, pp. 494-501.
8. Bukashkin S.A., Ogloblin A.V., Shishkin D.S. Postroenie i algoritm raboty radiolinii po tehnologii MIMO na osnove adaptivnyh fazirovannyh antennyh reshetok [Construction and operation algorithm radiolinii of MIMO technology based on adaptive phased array antennas]. *Radiotekhnika*, 2015, no 4, pp. 28-31.
9. Salous S., Feeney S.M., Warrington E.M., Gunashekar S.D., Abbasi N.M. Experimental investigations of MIMO in the HF band Ionospheric Radio Systems and Techniques (IRST 2012), *12th IET International Conference on*, 15-17 May 2012, pp. 1-4.
10. Daniels, Robert C.; Peters, Steven W. A New MIMO HF Data Link: Designing for High Data Rates and Backwards Compatibility. *Military Communications Conference*, MILCOM 2013 – IEEE, 2013, pp. 1256-1261.

Received 03.08.2015

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 004.93.1

ПОЛУЧЕНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ИЗ СТАТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ

Качайкин Е.И.¹, Куликов С.В.²

¹Министерство юстиции РФ, Москва, РФ

²АО «ПНИЭИ», Пенза, РФ

E mail: kachajkin@gmail.com

В статье рассматривается получение биометрических параметров высокого качества из изображений рукописной подписи. Изображения рукописной подписи бинаризируются с использованием фильтра Габора, и для них строятся карты направлений движения пера. Полученные карты направлений движения пера разделяются на фрагменты, для которых строятся гистограммы направлений движения пера. Гистограммы далее используются в качестве входных данных при обучении