

Котов Олег Александрович
начальник кафедры д.в.н., профессор
ВА ВПО ВС РФ
Kotov Oleg Aleksandrovich

Максимов Алексей Михайлович,
слушатель, ВА ВПО ВС РФ
Maksimov Aleksey Mikhailovich

Савченко Виктор Алексеевич
начальник кафедры, к.п.н., доцент
ВА ВПО ВС РФ
Savchenko Viktor Alekseevich

Петлеванный Алексей Александрович
к.т.н., доцент, заместитель начальника кафедры ВАЗИ
ВА ВПО ВС РФ
Petlevannyu Aleksey Aleksandrovich

Чернов Владислав Владимирович,
слушатель ВАЗИ, ВА ВПО ВС РФ
Chernov Vladislav Vladimirovich

**РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОБИЛЬНЫХ РЛС
С КВАЗИОРТОГОНАЛЬНЫМИ СИГНАЛАМИ ДЛЯ РАЗВЕДКИ
ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ
DISTRIBUTED SYSTEM OF MOBILE RADARS WITH QUASI-ORTHOGONAL
SIGNALS FOR AIRSPACE SURVEILLANCE IN DENSE URBAN DEVELOPMENT**

Аннотация. Рассмотрены результаты проектирования распределенной системы мобильных радиолокационных станций (РЛС), предназначенной для обнаружения объектов малой авиации (ОМА) в условиях плотной городской застройки. Предложены технические решения, охватывающие размещение мобильных РЛС на базе каскадируемых антенных секций с перестраиваемыми параметрами, формирование зондирующих и коммуникационных сигналов с маркированием и помехоустойчивым выделением, совмещение разнородных данных в едином формате, гибридную классификацию воздушных объектов, а также защиту информационного обмена. Разработаны специализированные алгоритмы обработки радиолокационных данных: совмещение с цифровой картой местности, учет микродоплеровского эффекта, гибридная классификация и анализ спектральных характеристик на основе нейронной сети. Показано, что переход к пространственно-распределенным реализациям с использованием технологий множественного доступа и квазиортогональных базисов позволяет повысить структурную скрытность, помехозащищенность и разрешающую способность системы. Решена задача выбора сложных зондирующих сигналов для разнесенных передающих и приемных антенн, объединенных высокоскоростной сетью обработки.

Abstract. The results of designing a distributed system of mobile radar stations (RS) intended for detecting low-altitude aviation objects (LAO) in dense urban development conditions are considered. Technical solutions are proposed covering the placement of mobile radars based on cascable antenna sections with tunable parameters, the formation of probing and communication signals with labeling and interference-resistant extraction, the fusion of heterogeneous data in a unified format, hybrid classification of aerial objects, as well as the protection of information exchange. Specialized algorithms for radar data processing have been developed: alignment with a



digital terrain map, consideration of the micro-Doppler effect, hybrid classification, and analysis of spectral characteristics based on a neural network. It is shown that the transition to spatially distributed implementations using multiple access technologies and quasi-orthogonal bases makes it possible to improve the structural stealth, interference immunity, and resolution of the system. The problem of selecting complex probing signals for spaced transmitting and receiving antennas united by a high-speed processing network has been solved.

Ключевые слова: Распределенная РЛС, мобильные радиолокационные станции, объекты малой авиации, городская застройка, каскадируемые антенные секции, квазиортогональные базисы, гибридный классификатор, микродоплеровский эффект, нейросетевая обработка, помехозащищенность.

Keywords: Distributed radar, mobile radar stations, small aviation objects, urban development, cascadable antenna sections, quasi-orthogonal bases, hybrid classifier, micro-Doppler effect, neural network processing, noise immunity.

Развитие радиолокационных систем в последние годы связано с переходом от моностатических к пространственно-распределенным архитектурам. Такой переход обусловлен необходимостью повышения тактических характеристик, особенно при работе в сложной помеховой обстановке, характерной для плотной городской застройки. Обнаружение объектов малой авиации (ОМА) в таких условиях требует учета множества отражений от зданий, ограничений на размещение антенн и высокого уровня естественных и искусственных помех. В связи с этим актуальной является разработка распределенной системы мобильных РЛС, способной адаптироваться к условиям городской среды и обеспечивать надежное обнаружение и классификацию воздушных объектов.

Целью настоящей работы является изложение основных технических решений, алгоритмов и подходов, полученных в процессе проектирования такой системы.

Для размещения мобильных РЛС в условиях плотной городской застройки предложено использовать каскадируемые антенные секции с перестраиваемыми параметрами. Такое решение позволяет гибко адаптировать пространственную конфигурацию системы к конкретным особенностям местности, обеспечивая требуемые зоны покрытия и минимизируя влияние городских объектов. Каскадирование секций дает возможность масштабирования системы и оперативного изменения ее структуры в зависимости от решаемых задач.

Разработаны методы формирования зондирующих сигналов РЛС и сигналов цифровых коммуникационных каналов. Эти методы обеспечивают маркирование сигналов и их надежное выделение в условиях действия естественных и искусственных помех. Для организации множественного доступа предложено применять специальные квазиортогональные базисы, что позволяет сформировать совокупность ортогональных сигналов с хорошими корреляционными свойствами. Это обеспечивает высокие тактические характеристики: структурную скрытность, помехозащищенность и высокую разрешающую способность.

Для принятия решений интеллектуальной системой управления распределенными РЛС разработаны методы совмещения результатов обработки информации от разнородных источников в едином информационном формате. Кроме того, создан гибридный классификатор, позволяющий относить обнаруживаемый объект к одному из двух классов воздушных объектов (ВО): естественному или искусственному.

Предложены решения по защите информационного обмена между постами РЛС и наземным пунктом управления. Они основаны на маскировании, сжатии и кодировании радиолокационных данных, что повышает устойчивость системы к несанкционированному доступу и внешним воздействиям.

На основе статистических данных, накопленных с помощью имитатора малоразмерной воздушной цели на базе ОМА, разработаны и внедрены следующие алгоритмы обработки радиолокационной информации:



- совмещение радиолокационных изображений с цифровой картой местности;
- выделение и учет микродоплеровского эффекта в принятом сигнале;
- гибридная классификация, включающая предварительную обработку (фильтрацию, выделение классификационных признаков, кластеризацию, аппроксимацию) и принятие решения о принадлежности объекта к одному из классов;
- выделение и учет спектральных характеристик принятого радиолокационного сигнала на основе нейронной сети.

В области синтеза, обработки и кодирования сигналов выявлены следующие противоречия. Во-первых, возрастающие требования к гарантированной передаче модулированных радиосигналов в условиях растущих уровней помех при неизменных подходах к формированию классических кодов. Во-вторых, необходимость обеспечения помехоустойчивого кодирования за счет ослабления требований к автокорреляционной функции с одновременным переходом к новому несимметричному представлению кодов.

Для разрешения этих противоречий в проектируемой системе распределенных РЛС решена задача выбора конкретных типов сложных зондирующих сигналов при использовании нескольких разнесенных передающих и приемных антенн, объединенных в высокоскоростную сеть обработки и комплексирования информации.

В результате проведенных исследований разработаны основные решения для создания распределенной системы мобильных РЛС обнаружения ОМА в условиях плотной городской застройки. Предложены способы размещения на основе каскадируемых антенных секций, методы формирования сигналов с квазиортогональными базисами, подходы к совмещению данных и гибридной классификации, а также решения по защите информационного обмена. Разработаны и внедрены специализированные алгоритмы обработки радиолокационных данных. Показано, что пространственно-распределенная архитектура с квазиортогональными сигналами обеспечивает повышение структурной скрытности, помехозащищенности и разрешающей способности. Решена задача выбора сложных зондирующих сигналов для разнесенных антенн. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании перспективных систем радиолокации, функционирующих в сложной городской обстановке

Список литературы:

1. Иванов С.А., Стародубцев П.Ю., Акишин А.В. Обнаружение беспилотных летательных аппаратов на сложном фоне // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2020. Вып. 1. С. 49–56.
2. Цыцулин А.К., Морозов А.В., Бобровский А.И. Классификация малоразмерных изображений космических объектов по признакам движения с помощью обучаемого алгоритма // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2018. Вып. 3. С. 72–80.
3. Никитин В.В., Цыцулин А.К. Телевидение в системах физической защиты. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. 134 с.
4. Болотова О.В., Анисимова А.А., Акзигитов Р.А. Применение ультразвука в авиации для борьбы с птицами // Решетневские чтения. 2016. Т. 1. С. 472–474.
5. Патент № 2730420 С1 Российская Федерация, МПК F41J 5/00, G01V 1/24, G01V 1/30. Способ определения координат места падения боеприпаса: № 2020106341: заявл. 10.02.2020: опубл. 21.08.2020 / А. В. Акишин, А. Е. Смелов, С. А. Иванов [и др.]. – EDN KLLLMM.
6. Алашеев, В. В. Взгляды США на разработку доктрины информационного воздействия в киберпространстве / В. В. Алашеев, А. В. Акишин, М. Н. Чеснаков // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях: Труды III Межвузовской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 16 февраля 2018 года. Том 1. – Санкт-Петербург: ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ КАЗЕННОЕ ВОЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ ИМЕНИ МАРШАЛА СОВЕТСКОГО СОЮЗА С. М. БУДЕННОГО" МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, 2018. – С. 67-71. – EDN XMGZPF.



7. Алашеев В.В., Вершенник А.В., Вершенник Е.В., Карпов А.В., Латушко Н.А., Чеснаков М.Н., Стародубцев Ю.И. Способ определения оптимальной периодичности контроля состояния технических средств и систем при минимальном времени получения результата. Патент на изобретение RU 2659373, 29.06.2018.

8. Анализ и классификация угроз информационной безопасности на автоматизированных системах / Д. А. Охотин, А. В. Акишин, Н. В. Хечиев [и др.] // Вектор научной мысли. – 2025. – № 1 (18). – С. 389-392. – EDN OCDJJU

