

УДК 629.7.058.53

**ЗАДАЧА РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ СБОРА,
ОБРАБОТКИ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ДАННЫХ, ПОСТРОЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**

**И. Б. Архимандритов¹, С. Г. Белов², В. С. Верба², А. А. Липатов², Д. А. Миляков²,
И. А. Сидоров², Д. Ю. Четыркин²**

¹ Филиал акционерного общества «Концерн радиостроения «Вега»,
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д.14а

² АО «Концерн «Вега», 121170, г. Москва, Кутузовский проспект, д.34

Статья поступила в редакцию 8 мая 2018 г.

Аннотация. Рассмотрена постановка задачи разработки модели цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, построенной с использованием сетецентрической авиационной системы мониторинга. Определены направления исследований, необходимых для решения поставленной задачи и в совокупности составляющих междисциплинарное научное исследование, охватывающее предметные области информационных технологий, методов искусственного интеллекта при решении задач планирования, теории группового управления объектами, статистической теории оптимальной обработки сигналов, радиометрии, интеграции (комплексирования) данных. Проведен анализ современного состояния исследований в рассматриваемой области, предложены подходы и методы решения поставленных задач. Показано, что разработанная модель сегмента сбора и обработки пространственных данных может быть использована в качестве методологической основы при практической реализации цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, обеспечивающей потребности государства, бизнеса и граждан в получении актуальной и достоверной информации об объектах, в том числе движущихся, а также о земной и водной поверхностях в интересующих районах.

Ключевые слова: цифровая экономика, цифровая платформа, авиационный мониторинг, аппаратно-программная архитектура, функциональная архитектура, открытая архитектура, облачные вычисления, радиолокационные системы, оптико-электронные системы, системы радиомониторинга, радиометрические системы, интерферометрия, групповое управление, интеллектуальное планирование, методы искусственного интеллекта.

Abstract. The formulation of the task of developing a model of a digital platform for the collection, processing and dissemination of spatial data, constructed using a network-centric aviation monitoring system, is considered. The directions of research necessary to solve the set task and, in the aggregate, make up interdisciplinary scientific research, covering the subject domains of information technologies, methods of artificial intelligence in solving planning problems, the theory of group control of objects, statistical theory of optimal signal processing, radiometry, data integration. The analysis of the current state of research in the field is carried out, approaches and methods for solving the problems are proposed. It is shown that the developed model of the spatial data collection and processing segment can be used as a methodological basis for the practical implementation of a digital platform for the collection, processing and dissemination of spatial data that meets the needs of the state, business and citizens in obtaining up-to-date and reliable information about objects, including, moving, as well as on the terrestrial and water surfaces in the areas of interest.

Keywords: digital economy, digital platform, aviation monitoring, hardware and software architecture, functional architecture, open architecture, cloud computing, radar systems, optoelectronic systems, radio monitoring systems, radiometric systems, interferometry, group management, intellectual planning, artificial intelligence methods.

Введение

Одной из целей развития цифровой экономики, предусмотренных программой «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной

распоряжением Правительства РФ №1632-р от 28 июля 2017 года, является создание сквозной цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, обеспечивающей потребности государства, бизнеса и граждан в актуальной и достоверной информации о пространственных объектах, в том числе движущихся.

Рассматриваемая цифровая платформа должна функционировать в рамках территориально распределенной инфраструктуры, в составе которой условно можно выделить следующие сегменты:

- сегмент сбора и обработки пространственных данных, реализуемый с помощью рассредоточенных по территории Российской Федерации и за ее пределами систем мониторинга различного вида базирования (воздушного, наземного, надводного, космического);
- сегмент хранения и распространения пространственных данных, реализуемый с помощью совокупности центров коллективного пользования данными;
- сегмент организации доступа к пространственным данным конечных потребителей – граждан, представителей бизнеса и органов власти, реализуемый с помощью интернет-порталов, выполняющих функции геоинформационных систем.

Рассматриваемая цифровая платформа должна обеспечивать взаимодействие перечисленных сегментов инфраструктуры в единой вычислительно-коммуникационной среде, построенной с использованием современных информационных технологий.

Разработка всеобъемлющей модели рассматриваемой цифровой платформы, охватывающей все аспекты построения различных сегментов ее инфраструктуры, является фундаментальной научной задачей, решение которой требует проведения разноплановых исследований несколькими научными коллективами под общим руководством центра компетенций, ответственным за создание платформы.

В настоящей работе дается общее описание задачи разработки модели рассматриваемой цифровой платформы в части, касающейся сегмента сбора и обработки пространственных данных. При этом основное внимание уделяется вопросам использования в составе платформы средств авиационного мониторинга, которые могут обеспечить оперативное получение детальных пространственных данных об объектах, представляющих интерес для конечных потребителей.

Разработка указанной модели является сложной научной задачей, требующей проведения ряда взаимосвязанных научных исследований в следующих областях:

1. Разработка аппаратно-программной архитектуры сегмента сбора и обработки пространственных данных, обеспечивающей «бесшовное» взаимодействие этого сегмента с другими сегментами рассматриваемой цифровой платформы при реализации в платформе «сквозных» информационных процессов.

2. Разработка функциональной архитектуры построения распределенной системы авиационного мониторинга, объединяющей рассредоточенные по территории Российской Федерации и за ее пределами средства сбора пространственных данных о наземных, надводных и воздушных объектах, в том числе движущихся, а также о земной и водной поверхностях и их характеристиках, и обеспечивающей динамическую реконфигурируемость системы мониторинга под выполнение заявок потребителей на получение пространственных данных.

3. Разработка методов и алгоритмов интеллектуального планирования использования группировок средств сбора данных при отработке заявок потребителей на получение пространственных данных.

4. Разработка методов и алгоритмов управления группировками средств сбора данных при отработке заявок потребителей на получение пространственных данных.

5. Разработка методов и алгоритмов получения пространственных данных

по измерениям от датчиков (информационных систем) различной физической природы, размещаемых на летательных аппаратах, в том числе:

- методов и алгоритмов формирования трассовой информации (пространственных координат и скоростей) и распознавания типов подвижных воздушных, наземных и надводных объектов по измерениям от радиолокационных (РЛС) и оптико-электронных (ОЭС) систем обзора воздушного пространства, а также от систем радиомониторинга – для объектов, являющихся источниками радиоизлучения (ИРИ);
- методов и алгоритмов обнаружения и распознавания типов неподвижных наземных и надводных объектов по измерениям от РЛС с синтезированной апертурой (РСА) и ОЭС землеобзора, а также от систем радиомониторинга – для объектов, являющихся ИРИ;
- методов и алгоритмов картографирования земной поверхности, в том числе формирования 3D-рельефа местности, с использованием РСА и ОЭС;
- методов и алгоритмов формирования специализированных карт земной и водной поверхностей с информацией о влажности почвы, уровне грунтовых вод, типе растительности, температуре почвы или поверхности воды, солености водоемов, наличии нефтяных пятен, толщине льда, лесных пожарах и др. с использованием радиометрических систем;
- методов и алгоритмов комплексной (совместной) обработки пространственных данных, собираемых датчиками различной физической природы, в целях получения обобщающих сведений об объектах мониторинга для предоставления потребителям.

Эти исследования в совокупности составляют междисциплинарное научное исследование, охватывающее предметные области информационных технологий, методов искусственного интеллекта при решении задач планирования, теории группового управления объектами, статистической теории оптимальной обработки сигналов, радиометрии, интеграции (комплексирования) данных.

Разработанная в результате этих исследований модель сегмента сбора и обработки пространственных данных может быть использована в качестве методологической основы при практической реализации рассматриваемой цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, обеспечивающей потребности государства, бизнеса и граждан в актуальной и достоверной информации о пространственных объектах.

Анализ современного состояния исследований в рассматриваемой области

В последнее десятилетие в связи с интенсивным развитием коммуникационной инфраструктуры, значительным повышением пропускной способности сетей связи и бурным развитием интернет-технологий в нашей стране появились предпосылки создания сквозных цифровых платформ, использование которых обеспечивает перевод процессов взаимодействия субъектов социально-экономической деятельности на новый качественный уровень.

Значимым примером таких цифровых платформ является интенсивно развивающаяся в настоящее время отечественная платформа предоставления государственных услуг, функционирующая в коммуникационной среде системы межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ) [1]. Данная платформа объединяет в единое информационное пространство организации и граждан, осуществляющих подачу заявок на оказание государственных услуг на специализированных интернет-порталах, с ведомствами различных уровней. Платформой реализуются сквозные бизнес-процессы прохождения заявок через информационные системы органов власти, налоговой, таможенной служб, Казначейства РФ и других ведомств. Включение ведомственных информационных систем в платформу осуществляется не напрямую, а в рамках сервис-ориентированного подхода – посредством размещения в сети СМЭВ соответствующих сервисов, предоставляющих требуемую функциональность этих систем.

Рассмотрим состояние и основные тенденции исследований в перечисленных выше областях, связанных с проблематикой разработки

сегмента сбора и обработки пространственных данных рассматриваемой цифровой платформы.

В области аппаратно-программной архитектуры реализации сложных территориально распределенных информационных систем и платформ в настоящее время интенсивно развиваются облачные технологии [2]. Их использование обеспечивает достижение высоких показателей отказоустойчивости и доступности информационной инфраструктуры, повышает эффективность использования ресурсов.

Обычно выделяют пять обязательных свойств облачных вычислений: обслуживание по требованию, широкий сетевой доступ, кластеризация ресурсов, эластичность и контроль на основании метрик.

Обслуживание по требованию подразумевает возможность потребителя получить доступ к вычислительным ресурсам, без взаимодействия с поставщиком услуг.

Под широким сетевым доступом понимается возможность удаленного доступа к ресурсам вне зависимости от используемого терминального устройства.

Кластеризация ресурсов подразумевает объединение вычислительных ресурсов в пулы для обслуживания большого числа потребителей по многопользовательской модели.

Под эластичностью понимается способность ресурсов быстро и упруго (как правило, автоматически), масштабироваться и освобождаться.

Контроль на основании метрик позволяет автоматически оптимизировать ресурсы, используемые облачной системой на основании измерений ключевых характеристик производительности.

Вышеперечисленные свойства технологий облачных вычислений благоприятны как для поставщика, так и для потребителя ресурсов. Объединение и динамическая реконфигурация ресурсов дают возможность максимально эффективно использовать аппаратную инфраструктуру. Потребители получают услуги с высоким уровнем доступности и низкими

рисками неработоспособности.

Использование облачной инфраструктуры для систем сбора, хранения, анализа и публикации больших объемов геопространственных данных является общемировой тенденцией, нашедшей отражение при реализации широко известных проектов Google Earth, OpenStreetMap, Microsoft Bing и других.

Применение облачных технологий при реализации сегмента сбора и обработки пространственных данных и других сегментов рассматриваемой цифровой платформы способно дать мощный толчок развитию цифровой экономики, обеспечив глобальную доступность геопространственных данных.

В области функциональной архитектуры построения систем авиационного мониторинга в настоящее время доминируют подходы, в рамках которых системы мониторинга рассматриваются как комплексы, обладающие фиксированным объемом функциональности и ориентированные на получение пространственных данных об объектах в интересах фиксированного числа конечных потребителей.

Современные системы авиационного мониторинга строятся на базе пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов [3, 4], оснащаемых информационными датчиками различной физической природы, в том числе:

- оптико-электронными системами, включающими датчики оптического и инфракрасного диапазона длин волн (пассивные фото, видео, телевизионные, активные лазерные);
- радиолокационными системами, работающими в различных диапазонах длин волн и в различных режимах, включая режимы синтезирования апертуры (РСА);
- системами радиомониторинга, получающих информацию об источниках радиоизлучения методами пассивной радиолокации;
- радиометрическими датчиками.

Одной из тенденций развития данного класса систем является создание пространственно-распределенных многопозиционных авиационных систем, включающих как пилотируемые самолеты, так и беспилотные летательные

аппараты (БЛА), взаимодействие между которыми осуществляется по унифицированным правилам в рамках единой сети, т.е. в соответствии с сетевыми принципами [5]. При этом состав задач, решаемых пилотируемыми комплексами, дополняется задачей общего управления сетевыми системами, а на группировку БЛА возлагается задача расширения зоны мониторинга в районе применения системы за счет оснащения БЛА различными информационными датчиками и средствами ретрансляции данных и команд управления.

Другой тенденцией развития систем авиационного мониторинга является создание многопозиционных сетевых группировок БЛА, оснащаемых различными информационными датчиками и управляемых либо с наземного пункта управления, либо самоуправляемых в соответствии с принципами многоагентности [6].

Развитие многопозиционных систем авиационного мониторинга делает актуальной разработку функциональной архитектуры построения таких систем, обеспечивающей свойство их динамической реконфигурируемости под решение поставленных задач, предполагающей возможность:

- изменять количественный состав используемых ЛА и БЛА и типы используемой полезной нагрузки в зависимости задачи;
- проводить оперативную замену беспилотных компонентов комплекса при их выходе из строя в процессе применения;
- изменять функциональное назначение группировки средств сбора данных.

В области планирования использования группировок средств сбора данных в настоящее время используются два основных подхода к планированию: централизованный и многоагентный [7].

В настоящее время известны два основных подхода к планированию действий группировок БЛА: централизованный и многоагентный [7].

Централизованный подход [7, 8] предполагает, что построение, оптимизация, контроль выполнения и коррекция плана мониторинга

выполняется в центре управления группировкой.

Многоагентный подход [9] основан на том, что эти этапы планирования реализуются путем переговоров между агентами, каждый из которых в той или иной мере обладает информацией об общей задаче, знаниями о способах ее решения и локальной цели своей деятельности, а также располагает данными о своем состоянии и ресурсных ограничениях.

При централизованном планировании действий БЛА решаются задачи построения маршрутов полета БЛА, расписаний их работы, циклограмм функционирования датчиков и др. Причем указанные компоненты плана должны удовлетворять ограничениям, определяющим область проведения мониторинга, время его выполнения, спектральный диапазон и режимы работы бортовых датчиков информации, доступные ресурсы группировки БЛА.

Для решения задач этого класса широко используются методы линейного программирования, метод ветвей и границ, вероятностные методы, эволюционные и генетические алгоритмы и др. [7].

Перспективным подходом к решению задач планирования в условиях смешанных систем ограничений (уравнений и неравенств, линейных и нелинейных, логических выражений и др.), а также наличия неопределенных значений параметров плана является использование методов *программирования в ограничения* (Constraint Programming), относящихся к области искусственного интеллекта [10].

В связи с этим актуально исследование возможности использования методов программирования в ограничениях для интеллектуального планирования мониторинга пространства группировкой БЛА. При проведении исследований целесообразно провести выбор и обоснование методов, наиболее подходящих для решения данной задачи, разработать способы их интеграции с методами нечеткой логики, мягких вычислений и др.

В области управления группировками средств сбора данных в настоящее время используются стратегии централизованного и децентрализованного управления [11].

К числу стратегий централизованного управления [12] относят следующие:

- стратегию единоначального управления [12], в соответствии с которой планирование и управление действиями всех объектов в группе осуществляется из одного центра;
- стратегию иерархического управления (управления с лидером) [13-15], предусматривающую наличие взаимосвязанных центров управления разного уровня.

В свою очередь, среди стратегий децентрализованного управления [16, 17] выделяют следующие:

- стратегию коллективного управления [18], основанную на обмене информацией между объектами группы с целью оптимизации их совместных действий;
- стратегию стайного управления [19], в рамках которой отдельные объекты в группе не связаны информационными каналами между собой, но, наблюдая друг за другом и воспринимая изменения внешней среды, могут корректировать свои действия для достижения общей цели.

Среди серьезных проблем управления группами БЛА можно выделить следующие [11, 20-22]:

- большую размерность моделей состояния группы БЛА;
- нелинейный рост размерности алгоритмов управления группой БЛА при увеличении численности группы;
- необходимость оптимизации управления группой БЛА по общему для всей группы критерию эффективности и др.

Стратегию коллективного управления можно считать наиболее перспективной с точки зрения решения большинства из этих проблем, так как она предполагает декомпозицию исходных моделей состояния системы управления, локальную оптимизацию декомпозированных моделей и переход от одновременного управления всей группой БЛА к управлению отдельными БЛА, и, следовательно, повышение быстродействия системы [11, 20-22]. В то

же время эта стратегия не гарантирует реализацию управления, оптимального по критериям, общим для всей группы.

Стратегии децентрализованного управления реализуются с использованием многоагентных технологий [6, 23, 24]. В рамках этих технологий группировка БЛА рассматривается как сеть слабо связанных объектов (агентов), осуществляющих решение частных проблем, которые существуют в общей среде и взаимодействуют друг с другом для достижения общих целей системы и/или частных целей отдельных агентов. Взаимодействие может выполняться агентами напрямую путем обмена сообщениями (в рамках стратегии коллективного управления), или косвенно, когда агенты воспринимают присутствие других агентов через изменения во внешней среде (в рамках стратегии стайного управления).

В качестве отдельного класса систем управления выделяют интеллектуальные системы (ИС) [25]. Они создаются на основе подходов экспертных систем, неклассических логик, мягких вычислений и др. [26]. К числу их достоинств относятся:

- возможность управления системами, взаимосвязь координат состояния которых не может быть выражена в строгой математической форме;
- возможность использования в системах управления данных, содержащих НЕ-факторы (нечеткость, недоопределенность, неполноту и др.) [27], что особенно важно при управлении объектами в непредсказуемо меняющихся условиях и неопределенности исходных данных.

К недостаткам ИС управления можно отнести невозможность получения оптимального управления, а также субъективность определения лингвистических значений и функций принадлежности нечетких переменных (при использовании широко распространенного математического аппарата нечеткой логики).

ИС группового управления могут быть построены на основе всех рассмотренных выше стратегий группового управления.

Обоснованный выбор в пользу той или иной стратегии группового

управления при решении задач сбора пространственных данных в системах авиационного мониторинга определяется характером решаемых задач и количеством используемых БЛА в составе группировки.

В области получения пространственных данных об объектах в существующих системах авиационного мониторинга реализован широкий класс методов и алгоритмов получения данных по измерениям от датчиков (информационных систем) различной физической природы, с помощью которых с тем или иным уровнем качества решается большинство задач, представляющих интерес для потребителей [3, 4], в том числе задачи:

- трассового сопровождения воздушных объектов по измерениям от РЛС и ОЭС обзора воздушного пространства;
- обнаружения и распознавания наземных и надводных объектов по изображениям, формируемым РСА и ОЭС землеобзора;
- обнаружения и распознавания наземных и надводных ИРИ по измерениям систем радиомониторинга;
- картографирования земной поверхности с использованием РСА и ОЭС;
- формирования специализированных карт земной и водной поверхностей с информацией о влажности почвы, уровне грунтовых вод, типе растительности, температуре почвы или поверхности воды, солености водоемов, наличии нефтяных пятен, толщине льда, лесных пожарах и др. с использованием радиометрических систем;
- интеграции (комплексирования) пространственных данных, собираемых датчиками различной физической природы, в целях получения обобщающих сведений об объектах мониторинга.

Проводятся исследования, пока не получившие значимого применения в реальных системах, по разработке методов и алгоритмов:

- распознавания воздушных объектов в процессе их трассового сопровождения средствами РЛС и ОЭС;
- трассового сопровождения воздушных ИРИ по измерениям систем радиомониторинга;

- обработки данных радиолокационного наблюдения в сверхвысокочастотных диапазонах и для сверхширокополосных (видеоимпульсных) РЛС, а также комплексной (совместной) обработке данных радиолокационного наблюдения одновременно в нескольких диапазонах;
- радиограмметрического формирования 3D-рельефа местности;
- формирования обобщающего представления об объектах мониторинга по результатам совместной интеграционной обработки данных РЛС, ОЭС и систем радиомониторинга.

В части, касающейся авиационных радиолокационных систем землеобзора в настоящее время мировой тенденцией развития являются:

- разработка многочастотных мультиполяризационных РСА, позволяющих повысить вероятности обнаружения и распознавания объектов поиска [28];
- улучшение пространственного и радиометрического разрешения РСА до уровня, при котором получаемые радиолокационные изображения по визуальному восприятию приближаются к оптическим снимкам [29, 30];
- разработка интерферометрических РСА, имеющих горизонтальный и (или) вертикальный антенный базис, для формирования трехмерных радиолокационных изображений местности при использовании вертикального базиса, и для точного определения радиальной составляющей скорости (до единиц см/с) элементов разрешения при использовании горизонтального базиса [31];
- внедрение режима селекции движущихся наземных и надводных объектов во всем практическом диапазоне скоростей [29].

Проводятся исследования в области совместной обработки радиолокационных изображений, одновременно полученных в различных частотных диапазонах при различных сочетаниях поляризации излучаемого и принимаемого сигналов, с целью повышения вероятности обнаружения и распознавания объектов поиска, в том числе подземных и скрытых

растительностью или снежным покровом [31].

Кроме того, в последнее десятилетие существенное развитие получили РСА, устанавливаемые на борту беспилотных летательных аппаратов. Это позволяет значительно сократить затраты по проведению мониторинга земной поверхности по сравнению с размещением радиолокатора на пилотируемых аппаратах.

Мировые тенденции развития авиационных и космических радиометрических систем направлены на решение задач по дистанционному зондированию атмосферы, поверхности океана и земли с выдачей информации о:

- направлении и скорости приповерхностного ветра;
- зонах осадков над сушей;
- влагосодержании почвогрунтов;
- температуре поверхности океана и суши;
- толщине и возрасте ледовых полей.

Радиометрические системы совершенствуются для повышения информативности, при этом повышается пространственная разрешающая способность за счет использования режима интерферометрического пассивного синтеза апертуры антенны, увеличения количества значащих разрядов в выходном коде параметров, за счет повышения чувствительности приемников и совершенствования методов калибровки аппаратуры.

Важной тенденцией развития радиометрических систем стала микроминиатюризация приемной аппаратуры с уменьшением габаритных размеров и массы, благодаря чему появилась возможность размещения радиометров на беспилотных летательных аппаратах, что существенно расширяет диапазон возможных пользователей и делает возможным использование таких радиометров в системе точного земледелия.

В части, касающейся методов обработки данных радиомониторинга, решение задачи трассового сопровождения воздушных источников радиоизлучения (ИРИ) по измерениям пеленгов на ИРИ достаточно хорошо

проработано только для многопозиционных систем. Однако, создание многопозиционных систем затратно и не всегда оправдано. Применительно к однопозиционным системам радиомониторинга, размещаемым на пилотируемых и беспилотных ЛА, известны методы трассового сопровождения ИРИ, работающие в предположении, что наблюдаемые объекты движутся равномерно и прямолинейно [32, 33]. Однако на практике ИРИ могут маневрировать.

Использование существующих моделей состояния, позволяющих описывать движение маневрирующих объектов, не позволяет осуществлять их трассовое сопровождение на основании угломерных данных из-за того, что существуют различные варианты траекторий ИРИ, описываемые данными моделями, при которых измеренные пеленги будут одинаковыми. В связи с этим является актуальной разработка новых подходов, позволяющих обеспечить решение задачи сопровождения ИРИ однопозиционными системами радиомониторинга.

Общим ограничением методов и алгоритмов получения пространственных данных, применяемых в существующих системах авиационного мониторинга, является то, что они ориентированы на использование в составе изолированных и, как правило, однопозиционных систем «поставщик – потребитель», реализуемых на базе одного пилотируемого или беспилотного ЛА. При этом производители отдельных систем ориентируются на собственные форматы собираемых пространственных данных и используют уникальные протоколы взаимодействия между компонентами своих систем и с внешними потребителями.

В связи с этим одним из важных направлений при разработке модели рассматриваемой цифровой платформы в части, касающейся организации процессов сбора и обработки данных, является формирование унифицированных требований к методам и алгоритмам получения пространственных данных, обеспечивающих возможность их использования в составе рассматриваемой цифровой платформы.

Кроме того, в контексте существующих тенденций развития систем авиационного мониторинга, связанных с созданием многопозиционных сетцентрических группировок средств сбора и обработки данных на базе пилотируемых и беспилотных ЛА, становится весьма актуальной разработка методов и алгоритмов получения пространственных данных для многопозиционных условий наблюдения.

Основные подходы к разработке модели рассматриваемой цифровой платформы

С учетом результатов анализа существующего состояния и направлений исследований в областях, связанных с проблематикой создания рассматриваемой цифровой платформы в части, касающейся сегмента сбора и обработки пространственных данных, реализуемого с использованием систем авиационного мониторинга, представляется целесообразным использовать следующие основные подходы при разработке модели указанной платформы.

При разработке аппаратно-программной архитектуры сегмента сбора и обработки пространственных данных, обеспечивающей «бесшовное» взаимодействие этого сегмента с другими сегментами рассматриваемой цифровой платформы, целесообразно использовать концепцию «гибридных облаков» с моделью предоставления ресурсов SaaS (Software as a Service) [2].

Гибридное облако (англ. Hybridcloud) представляет собой объединение двух или более различных облачных инфраструктур (частных, совместных или публичных), которые сохраняют уникальность, но связаны между собой стандартами и технологиями передачи данных и приложений.

Использование концепции гибридного облака представляется единственно возможным для объединения в единую инфраструктуру множества реализуемых в отдельных облаках территориально распределенных систем, включающих государственные и корпоративные системы авиационного мониторинга, публичные геоинформационные сервисы, а также для обеспечения возможности использования все более широко применяемого краудсорсинга (crowdsourcing) – передачи некоторых функций и задач

неопределенному кругу исполнителей, действующих на добровольной основе.

Модель предоставления ресурсов SaaS (программное обеспечение как сервис) обеспечит возможность использовать готовые приложения, размещаемые в облачной инфраструктуре сегмента сбора и обработки пространственных данных. Доступ к приложениям из других сегментов платформы будет осуществляться с использованием технологий «тонких» клиентов. Потребители функциональности сегмента при этом не будут иметь возможности управлять инфраструктурой облака, получая доступ исключительно к приложениям. Такой подход позволит минимизировать порог вхождения в систему, обеспечив простой и понятный интерфейс взаимодействия с сегментом произвольных потребителей, а также обеспечит необходимый уровень безопасности за счет эффективной изоляции инфраструктуры сегмента. Особое внимание при обосновании модели облачной инфраструктуры сегмента сбора и обработки пространственных данных будет уделено формированию требований к интерфейсам взаимодействия с приложениями, размещаемыми в облаке.

При разработке функциональной архитектуры построения распределенной системы авиационного мониторинга, объединяющей рассредоточенные по территории Российской Федерации и за ее пределами средства сбора пространственных данных, целесообразно использовать принцип сетцентричности и концепцию открытости архитектуры построения системы.

Принцип сетцентричности предполагает организацию взаимодействия между компонентами распределенной системы по унифицированным правилам в рамках единой сети.

Открытость архитектуры [4] предусматривает необходимость обеспечения следующих свойств системы:

- расширяемости, определяющей способность системы к наращиванию функциональных возможностей;
- масштабируемости, определяющей способность системы к изменению

количества источников и потребителей информации без потери качества решаемых задач.

Применительно к территориально распределенной системе авиационного мониторинга свойства расширяемости и масштабируемости должны обеспечиваться созданием механизма динамической реконфигурации системы под выполнение заявок потребителей на получение пространственных данных, поступающих из сегмента рассматриваемой цифровой платформы, отвечающего за предоставление доступа к данным граждан, представителей бизнеса и органов власти.

Использование механизма реконфигурации распределенной системы авиационного мониторинга позволит:

- наращивать номенклатуру используемых в системе типов пилотируемых и беспилотных ЛА и типов полезной нагрузки (информационных датчиков) на борту ЛА без перепроектирования системы в целом;
- изменять количественный состав ЛА, включаемых в состав распределенной системы, с указанием мест их базирования;
- конфигурировать логику (управляющие процессы) функционирования многопозиционной системы и состав применяемых типов БЛА под решение различных задач мониторинга, формируемых по результатам обработки заявок потребителей на получение пространственных данных.

При разработке методов и алгоритмов интеллектуального планирования использования группировок средств сбора данных, реализуемого при отработке заявок потребителей на получение пространственных данных, целесообразно использовать два подхода:

- централизованного интеллектуального планирования на основе методов программирования в ограничениях [10, 34, 35], представления и обработки НЕ-факторов данных и знаний [27], включая неклассические логики, мягкие вычисления и др. [26], а также когнитивной компьютерной графики [36-39];
- мультиагентного интеллектуального планирования [6].

Также целесообразно провести сравнительное исследование обоих подходов с целью определения их границ применимости в задачах построения, оптимизации, контроля выполнения и коррекции плана мониторинга области пространства группировкой БЛА.

Целесообразно разделить решение задачи планирования мониторинга области пространства с помощью группировки БЛА на следующие основные этапы:

1. Формирования состава группировки БЛА, способной в заданный период времени провести мониторинг заданной области пространства с использованием датчиков заданного спектрального диапазона, размещенных на борту БЛА.

2. Формирования маршрута полета каждого БЛА на основе методов траекторного управления наблюдением [40].

3. Составления расписания работы каждого БЛА в процессе мониторинга, определяющего время прибытия БЛА в заданные пункты маршрута и время проведения измерений в определенных режимах работы бортовых датчиков информации.

Целесообразно рассматривать задачу планирования мониторинга области пространства с помощью группировки БЛА как *задачу удовлетворения ограничений*, которая, в общем случае, является NP-полной [10].

В части методов программирования в ограничениях целесообразно отдать предпочтение методам распространения ограничений, допускающим использование мягких ограничений, данных, содержащих НЕ-факторы, способных решать смешанные системы ограничений [27]. Применение таких методов должно обеспечить следующие возможности:

- решения задачи построения плана мониторинга, как задачи удовлетворения ограничений в общем виде;
- построения планов мониторинга с большим количеством разнотипных параметров (действительных, целочисленных, логических);
- построения планов мониторинга с большим количеством разнотипных

ограничений (линейных и нелинейных, уравнений и неравенств, логических выражений);

- построения планов мониторинга с переопределенными и недоопределенными системами ограничений;
- коррекции планов мониторинга в процессе их выполнения с учетом изменившихся условий.

При создании интеллектуального пользовательского интерфейса, обеспечивающего взаимодействие лиц, принимающих решения, с системой мониторинга в процессе построения, оптимизации, контроля выполнения и коррекции плана мониторинга целесообразно использовать методы когнитивной компьютерной графики, что должно обеспечить следующие возможности [38, 39]:

- наглядного представления лицам, принимающим решения, плана мониторинга в процессе его построения, оптимизации, контроля выполнения и коррекции;
- привлечения внимания лиц, принимающих решения, к элементам плана мониторинга или условиям его выполнения, наиболее значимым для текущего этапа работы с планом (построения, оптимизации, контроля выполнения и коррекции);
- внесения изменений в план мониторинга с отображением прогноза их последствий.

При использовании многоагентного подхода (многоагентных технологий) целесообразно разработать интеллектуальную программную систему планирования ресурсов сетевидной авиационной системы мониторинга окружающего пространства и управление ею в реальном времени. Функционал такой интеллектуальной программной системы планирования должен включать в себя:

- оперативную реакцию на важные события;
- динамическое планирование и адаптивное перепланирование заказов/ресурсов;

- взаимодействие с клиентами, менеджерами и исполнителями для согласования принимаемых решений;
- мониторинг исполнения построенных планов и бизнес-процессов заказчика;
- перепланирование расписаний в случае рассогласования между планом и фактом.

При разработке методов и алгоритмов управления группировками средств сбора данных, используемых при обработке заявок потребителей на получение пространственных данных, целесообразно проработать различные варианты проведения мониторинга, определяемые характером решаемых при мониторинге задач и потребном количестве авиационных средств сбора информации, включая пилотируемые и беспилотные ЛА [41].

Для каждого варианта проведения мониторинга целесообразно провести разработку и сравнительный анализ нескольких алгоритмов группового управления, построенных в рамках стратегий централизованного и децентрализованного (распределенного) управления, а также смешанной стратегии управления. При этом особое внимание будет уделено разработке методов и алгоритмов роевого децентрализованного управления большими группами БЛА с использованием многоагентных технологий, а также технологий, основанных на концепции представления группы БЛА как среды с распределенными параметрами.

По результатам сравнительного анализа различных подходов к реализации управления группировками средств сбора данных целесообразно сформировать методологию выбора алгоритмов группового управления, используемых для обработки заявок потребителей в рамках сегмента сбора и обработки пространственных данных рассматриваемой цифровой платформы.

При разработке методов и алгоритмов получения пространственных данных по измерениям от датчиков различной физической природы, размещаемых на летательных аппаратах, целесообразно провести предварительное исследование потребностей конечных потребителей –

граждан, представителей бизнеса и органов власти в информации о пространственных объектах, в том числе движущихся, которые могут быть получены средствами сегмента сбора и обработки пространственных данных рассматриваемой цифровой платформы. В качестве такой информации могут быть определены, например:

- таблицы/графики/анимация с трассовой информацией о воздушных судах в районе аэропортов или морских судах в районе акваторий портов за определенный период времени;
- оптические, инфракрасные или радиолокационные изображения местности или водной поверхности с результатами обнаружения и распознавания объектов;
- таблицы/графики/анимация с трассовой информацией о воздушных ИРИ или карты с результатами обнаружения и распознавания наземных и надводных ИРИ;
- фотограмметрические или радиограмметрические 3D-изображения местности;
- специализированные карты земной и водной поверхностей с информацией, полученной с помощью средств радиометрии и т.д.

При этом имеется в виду, что открытая сервис-ориентированная архитектура [42] сегмента сбора и обработки пространственных данных будет предусматривать неограниченное расширение перечня видов предоставляемой информации по мере появления новых потребностей в информации, реализации новых способов проведения мониторинга и разработки новых сервисов публикации результатов мониторинга.

При разработке методов и алгоритмов получения пространственных данных для их реализации в составе рассматриваемой цифровой платформы целесообразно использовать научно-технический задел по решению принципиально новых задач авиационного мониторинга, представленный в [43-56] и касающийся:

- распознавания воздушных объектов в процессе их трассового

- сопровождения средствами РЛС и ОЭС;
- трассового сопровождения воздушных ИРИ по измерениям систем радиомониторинга;
 - обработки данных радиолокационного наблюдения в сверхвысокочастотных диапазонах и для сверхширокополосных (видеоимпульсных) РЛС, а также комплексной (совместной) обработке данных радиолокационного наблюдения одновременно в нескольких диапазонах;
 - радиограмметрического формирования 3D-рельефа местности;
 - формирования обобщающего представления об объектах мониторинга по результатам совместной интеграционной обработки данных РЛС, ОЭС и систем радиомониторинга и др.

В частности, для повышения информативности радиолокационного наблюдения целесообразна разработка методов и алгоритмов для многоканальных РСА, производящих зондирование местности одновременно в различных частотных диапазонах и на разных поляризациях, или при работе РСА в специальных режимах (селекции движущихся целей, режима трехмерной съемки).

Использование многоканальных РСА позволит получать информацию об отражательной способности земной и водной поверхности в широком частотном диапазоне и при различных поляризациях. А при достаточно низкой рабочей частоте радиолокатора многочастотная радиолокационная съемка позволит производить подповерхностное зондирование на глубину, зависящую от свойств грунта. По обратному рассеянию от глубинных объектов возможно восстановление подповерхностной структуры [28].

Кроме того, использование различных частотных диапазонов и разных поляризаций позволит производить уверенную идентификацию природных образований, таких как льды различных типов, растительность и др., а также искусственных объектов, что очень важно при составлении топографических и тематических карт местности.

Также целесообразна разработка интерферометрических методов использования режима построения трехмерных изображений подстилающей поверхности [31], позволяющего определять относительную высоту местности с высокой точностью и алгоритмов формирования 3D-карт местности.

Для осуществления контроля движения автотранспорта, как по автомобильным дорогам, так и вне их, целесообразно использование специальных алгоритмов для РСА с режимом селекции движущихся целей, что в определенных условиях (например, в отдаленных труднодоступных районах или при ограниченной видимости) позволит получить эффективный инструмент для обнаружения движущейся техники и контроля за автомобильным транспортом.

Получаемые радиолокационные изображения имеют, как правило, очень большой объем, вплоть до сотен мегабайт. Для работы с такими большими изображениями, в основном для целей обнаружения, распознавания, построения на их основе тематических карт местности, требуются очень большие вычислительные мощности либо значительное увеличение времени обработки данных. В связи с этим представляется целесообразным разработать архитектуру специализированных вычислителей, обеспечивающих сокращение времени обработки изображений до приемлемых значений, что позволит повысить оперативность выполняемой радиолокационной съемки.

При разработке алгоритмов получения данных радиометрических систем целесообразно использовать запатентованные методы двухпорной модуляции при работе над поверхностью суши и трехпорной модуляции при работе над поверхностью воды [54].

В части, касающейся решения задачи трассового сопровождения воздушных ИРИ однопозиционными системами радиомониторинга, целесообразно реализовать метод, основанный на использовании новых моделей состояния ИРИ. Суть этого метода заключается в том, что в качестве модели состояния ИРИ, используемой в алгоритме нелинейной калмановской фильтрации координат ИРИ по наблюдениям углов пеленга, применяется

модель, основанная на допущении, что ИРИ маневрируют только в горизонтальной плоскости, при этом модуль их скорости в процессе совершения маневров меняется незначительно. Предварительные исследования по этому вопросу показали работоспособность предлагаемого подхода.

При разработке всех алгоритмов получения пространственных данных необходимо учитывать заранее сформированные унифицированные требования, обеспечивающих возможность использования этих алгоритмов в составе рассматриваемой цифровой платформы.

В контексте существующих тенденций развития систем авиационного мониторинга, связанных с созданием многопозиционных сетцентрических группировок средств сбора и обработки данных на базе пилотируемых и беспилотных ЛА, разрабатываемые методы и алгоритмы должны быть ориентированы на многопозиционные условия наблюдения.

Заключение

Рассмотрена задача создания сквозной цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, обеспечивающей потребности государства, бизнеса и граждан в актуальной и достоверной информации о пространственных объектах, предусмотренная программой развития «Цифровой экономики Российской Федерации».

Показано, что в составе рассматриваемой цифровой платформы можно выделить следующие сегменты:

- сегмент сбора и обработки пространственных данных, реализуемый с помощью рассредоточенных по территории Российской Федерации и за ее пределами систем мониторинга различных видов базирования (воздушного, наземного, надводного, космического);
- сегмент хранения и распространения пространственных данных, реализуемый с помощью совокупности центров коллективного пользования данными;
- сегмент организации доступа к пространственным данным конечных потребителей – граждан, представителей бизнеса и органов власти,

реализуемый с помощью интернет-порталов, выполняющих функции геоинформационных систем.

Дано общее описание задачи разработки модели рассматриваемой цифровой платформы в части, касающейся сегмента сбора и обработки пространственных данных, реализуемого с использованием распределенных систем авиационного мониторинга.

Проведен анализ современного состояния и направлений исследований в предметных областях, связанных с проблематикой создания сегмента сбора и обработки пространственных данных рассматриваемой платформы.

Сформулированы основные подходы к разработке модели рассматриваемой цифровой платформы в части:

- аппаратно-программной архитектуры сегмента сбора и обработки пространственных данных;
- функциональной архитектуры построения распределенных систем авиационного мониторинга;
- планирования использования группировок средств сбора данных;
- управления группировками средств сбора данных;
- получения пространственных данных об объектах по измерениям от датчиков различной физической природы.

Литература

1. Жарков А.А. Система межведомственного электронного взаимодействия. // Молодой ученый [Электронный ресурс]. 2014. №14. С.41-45. URL: <https://moluch.ru/archive/73/12406>.
2. Широкова Е. А. Облачные технологии. // Современные тенденции технических наук: материалы междунар. науч. конф. (г. Уфа, октябрь 2011 г.). – Уфа: Лето, 2011. С. 30-33.
3. Верб В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. Монография. – М.: Радиотехника, 2014. – 528 с.
4. Архимандритов И.Б., Белов С.Г., Белик Б.В., Верб В.С., Меркулов В.И.,

- Миляков Д.А. и др. Комплексы с беспилотными ЛА. Состояние и перспективы. Монография. / Под ред. В.С. Вербы. – М.: Радиотехника, 2016.
5. Ruoxin Shi, Lifan Liu, Shuandao Li, and Jiang Wu. Command and Control Configuration Based on Service Reconfiguration for Unmanned Aircraft Systems. *Proceedings of 2016 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference*, August 12-14, 2016, Nanjing, China, pp. 1997-2000.
 6. Городецкий В.И. и др. Прикладные многоагентные системы группового управления. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. №2. С. 3-24.
 7. Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos, editors. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. DOI 10.1007/978-90-481-9707-1.
 8. L. Geng, Y. F. Zhang, J. J. Wang, J. Y. H. Fuh, and S. H. Teo. Mission planning of autonomous UAVs for urban surveillance with evolutionary algorithms. *In 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)*, 2013.
 9. X. Cheng, D. Cao, and C. Li. Survey of cooperative path planning for multiple unmanned aerial vehicles. *Applied Mechanics Materials*, 2014, pp. 667-679.
 10. Handbook of Constraint Programming. Edited by F. Rossi, P. van Beek and T. Walsh. Elsevier. 2006.
 11. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.
 12. SPH Engineering Centralized Drone Management System (available at: <http://www.sph-engineering.com>, UgCS Centralized drone management (available at: <https://www.ugcs.com>).
 13. Andrew Sutton, Baris Fidan, Dirk van der Walle. Hierarchical UAV Formation Control for Cooperative Surveillance. *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*, Seoul, Korea, July 6-11, 2008, pp. 12087-12092.
 14. HuZhi-wei, LiangJia-hong, ChenLing, WuBing. A Hierarchical Architecture for Formation Control of Multi-UAV. *Procedia Engineering*, Volume 29, 2012, pp. 3846-3851.
 15. Харьков В.П., Меркулов В.И. Синтез алгоритма иерархического управления

- группой БЛА. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. №8. С. 61-67.
16. Wei Meng, Zhirong He, Rong Su, Ahmad Reza Shehabinia, Liyong Lin, Rodney Teo, Lihua Xie. Decentralized Control of Multi-UAVs for Target Search, Tasking and Tracking. *Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control*. Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014, pp. 10048-10053.
 17. Nathan Michael Paczan, Michael John Elzinga, Raphael Hsieh, Luan Khai Nguyen. Collective unmanned aerial vehicle configurations. US20160378108A1. US Application. Current Assignee: Amazon Technologies Inc., Priority date 2015-02-19.
 18. Controlling unmanned aerial vehicles as a flock to synchronize flight in aerial displays. US20140249693A1. US Application. Inventor: James Alexander Stark, Clifford Wong, Robert Scott Trowbridge. Current Assignee: Disney Enterprises Inc. Priority date: 2013-02-15.
 19. Меркулов В.И., Миляков Д.А., Самодов И.О. Оптимизация алгоритма группового управления беспилотными летательными аппаратами в составе локальной сети. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №12(161). С. 157-166.
 20. Харьков В.П., Меркулов В.И. Формирование заданной конфигурации сложной распределенной системы управления. // Радиотехника. 2011. №6. С. 96-101.
 21. Харьков В.П., Меркулов В.И. Синтез алгоритма иерархического управления группой БЛА. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. №8. С. 61-67.
 22. Меркулов В.И., Харьков В.П., Шамаров Н.Н. Оптимизация коллективного управления группой беспилотных летательных аппаратов. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. №7. С. 3-7.
 23. Бурый А.С., Фомичев И.Д. Мультиагентные модели управления группами автономных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2013. – № 2(12). URL:

http://iea.gostinfo.ru/files/2013_02/2013_02_06.pdf.

24. Амелин К.С., Граничин О.Н. Мультиагентное сетевое управление группой легких БПЛА. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2011. №6. С. 64-72.
25. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.
26. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
27. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний. // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1986. № 5. С. 3-28.
28. В.А. Плющев. Результаты разработки и направления развития многочастотных авиационных комплексов РСА. // Научно-технические технологии. 2004. №8-9.
29. Авиационные системы радиовидения. / Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М: Радиотехника, 2015.
30. М. Виноградов. Возможности современных РЛС с синтезированием апертуры антенны. // Зарубежное военное обозрение. 2009. №2. С. 52-57.
31. R. Bamler; P. Hartl. Synthetic aperture radar interferometry. Inv. Probl. 14, august 1998.
32. Мельников Ю.П., Попов С.В. Методы оценки погрешности определения параметров движения объекта при локации в условиях радиоэлектронного подавления. // Радиотехника. 1998. №3. С. 34.
33. Дрогалин В.В. и др. Определение координат и параметров движения источников радиоизлучений по угломерным данным в однопозиционных бортовых радиолокационных системах. // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2002. № 3.
34. Jussi Rintanen. Temporal Planning with Clock-Based SMT Encodings Proceedings of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 743-749. URL: <https://doi.org/10.24963/ijcai.2017/103>.
35. Buser Say, Ga Wu, Yu Qing Zhou, Scott Sanner. Nonlinear Hybrid Planning with Deep Net Learned Transition Models and Mixed-Integer Linear Programming. *Proceedings of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial*

Intelligence (IJCAI-17), pp. 750-756. Available at:
<https://doi.org/10.24963/ijcai.2017/104>.

36. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. / Под ред. Д.А. Поспелова – М.: Наука, 1991. – 192 с.
37. Еремеев А.П., Чирков А.В. Реализация средств когнитивной графики для систем поддержки принятия решений реального времени. // 8-я Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2002. Труды конференции. В 2-х т. Т.2. – М.: Физматлит, 2002. С. 624-631.
38. Липатов А.А. Методы и программные средства интеллектуализации пользовательского интерфейса в приложении к системам недоопределенных вычислений. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. №3. С. 16-27.
39. Липатов А.А. Интерактивная компьютерная графика в системах недоопределенных вычислений. // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2011. №6. С. 26-29.
40. Меркулов В.И., Миляков Д.А., Чернов В.С. Траекторное управление наблюдением в подвижных пассивных системах воздушного базирования. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2012. №11. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/nov12/10/text.pdf>
41. Верба В.С., Меркулов В.И. Робототехнические комплексы на основе беспилотных летательных аппаратов. Проблемы группового управления. // Полет. 2016. №4. С. 48-55.
42. Белов С.Г. Сервис-ориентированная процессная архитектура информационно-управляющей системы многодатчикового комплекса мониторинга окружающего пространства воздушного базирования. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. №1. С. 14-19.
43. Верба В.С., Меркулов В.И. Проблемы разработки мобильных многодатчиковых систем мониторинга окружающего пространства. // Полет. 2015. №5. С. 31-35.
44. Верба В.С., Меркулов В.И., Миляков Д.А., Чернов В.С. Интегрированные многодатчиковые комплексы мониторинга окружающего пространства.

- // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. №4. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/apr15/7/text.pdf>
45. Верба В.С., Меркулов В.И., Черепенин В.А. Проблемы разработки бортовых РЛС нового поколения. Ч. 1. РЛС в составе интегрированного авиационного комплекса. Условия применения. Системные показатели совершенства. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. №8. С. 4-12.
46. Верба В.С., Меркулов В.И., Черепенин В.А. Проблемы разработки бортовых РЛС нового поколения. Ч. 2. Общесистемные вопросы разработки. Прикладные проблемы. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. №8. С. 13-19.
47. Верба В.С., Меркулов В.И., Черепенин В.А. Проблемы разработки бортовых РЛС нового поколения. Ч.3. Технологические проблемы разработки. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. №8. С. 20-24.
48. С.Г. Белов. Использование нечеткой логики при отождествлении воздушных радиолокационных объектов в процессе их многоцелевого сопровождения. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may17/5/text.pdf> .
49. Белов С.Г. Использование псевдоизмерений при фильтрации параметров состояния объектов по наблюдениям в многодатчиковой среде. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may17/4/text.pdf>.
50. S.G. Belov, V.I. Merkulov, V.A. Cherepenin. Processing of signals from land-based radio emission sources in a monostatic air-borne monitoring system. // Journal of Communications Technology and Electronics, 2016, Vol. 61, No. 4, pp. 414-422. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064226916040045>.
51. Плющев В.А., Сидоров И.А., Четыркин Д.Ю. и др. В кн. «Радиолокационные системы авиационно-космического мониторинга земной поверхности и воздушного пространства» под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. – М: Радиотехника, 2014.
52. Брызгалов А.П., Исаев О.А., Ковальчук И.В., Туманов К.В., Фальков Э.Я., Хныкин А.В., Плющев В.А., Четыркин Д.Ю. Способ поиска и обнаружения

объекта. Патент РФ на изобретение 2596610 от 16.06.2015.

53. Каплин М.Г., Четыркин Д.Ю., Замотин М.М., Шишкин А.С., Данилов А.Ю. Совмещение радиолокационных изображений радиолокатора с синтезированной апертуры в различных диапазонах длин волн. Сборник XV молодежной научно-технической конференции «Радиолокация и связь – перспективные технологии». Материалы конференции. 2017. С. 38-45.
54. Верба В.С., Шутко А.М., Гуляев Ю.В., Крапивин В.Ф., Сидоров И.А., Новичихин Е.П., Плющев В.А. и др. СВЧ-радиометрия земной и водной поверхностей: от теории к практике. // Академическое издательство имени проф. Марина Дринова, София, 2014, ISBN 978-954-322-708-2.
55. Белик Б.В., Белов С.Г. Использование расширенного фильтра Калмана для слежения за подвижной воздушной радиоизлучающей целью в системе пассивной радиолокации воздушного базирования. Сборник трудов XXII международной научно-технической конференции «Радиолокация, радионавигация, связь». Воронеж: Изд-во НПФ «САКВОЕЕ» ООО – 2016.
56. Белик Б.В., Белов С.Г. Многоцелевое сопровождение источников радиоизлучения в однопозиционной системе радиомониторинга воздушного базирования. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may17/3/text.pdf>.

Для цитирования:

И. Б. Архимандритов, С. Г. Белов, В. С. Верба, А. А. Липатов, Д. А. Миляков, И. А. Сидоров, Д. Ю. Четыркин. Задача разработки модели цифровой платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных, построенной с использованием сетцентрической авиационной системы мониторинга. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may18/5/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.5.5