



117997, Москва, Профсоюзная, 65, оф. 383

Тел.: +7 495 198 17 20 доб. 11-60

E-mail: datsys@mail.ru

**Редакция журнала
ООО "Сенсидат-Плюс"**

Исх. 07 от 24.04.2025

СПРАВКА

Настоящим сообщаем, что статья «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГРУППОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ» В.А. Ненашева прошла рецензирование, одобрена Редколлегией и будет опубликована в журнале "Датчики и системы" в №4, 2025 г.

Главный редактор
журнала «Датчики и системы»



проф. Ф.Ф. Пащенко

УДК 621.396.969

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГРУППОВОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

В.А. Ненашев¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (Санкт-Петербург, Россия)

nenashev.va@yandex.ru

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-79-10259).

Аннотация

Разработан автоматизированный метод оперативного контроля чрезвычайных ситуаций, реализуемый в авиационной системе группового технического зрения, функционирующей в радиодиапазоне. Получение высокоинформативных потоковых данных от авиационных систем бортового оперативного контроля в современном мире играет важную роль. Такие системы применяются при геологической и экологической разведке, при поиске людей и физических наземных объектов в зонах чрезвычайных ситуаций, в труднодоступных местах, при оценке состояния ледяных полей, дешифрировании пожаров, структурных и сезонных изменений и т.д. Эти задачи оперативного характера обуславливают необходимость в реализации новых эффективных автоматизированных систем с расширением их функциональных возможностей, что обуславливает необходимость применения междисциплинарных методов и подходов при построении таких авиационных систем оперативного контроля, в частности, в развивающейся области группового технического зрения. Целью работы является анализ особенностей реализации оперативного мониторинга и разработка соответствующего автоматизированного метода контроля в зонах чрезвычайных ситуаций с применением авиационных систем группового технического зрения в условиях ограниченной видимости, вызванных наличием насыщенной среды, например, дымовой завесы в зонах ЧС, а также сложными погодными условиями. Практическая значимость данной системы группового технического зрения заключается в возможности экстренной помощи людям, попавшим в бедствие в результате природных, экологических и техногенных катастроф. Своевременный поиск и оказание оперативной помощи позволит сохранить многие жизни и здоровье людей.

Ключевые слова: системы авиационного мониторинга, оперативный и автоматизированный контроль, зоны с чрезвычайными ситуациями, видеопотоки радиолокационных кадров, малогабаритные бортовые РЛС, система группового технического зрения.

AUTOMATED METHOD OF OPERATIONAL CONTROL OF EMERGENCY SITUATIONS USING AVIATION GROUP VISION SYSTEMS

V.A. Nenashev¹

¹Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (Saint-Petersburg, Russia)

Abstract

An automated method of operational control of emergency situations realized in the aviation group vision system operating in the radio band has been developed. Obtaining highly informative streaming data from aviation systems of onboard operational control in the modern world plays an important role. Such systems are used in geological and environmental reconnaissance, in search of people and physical ground objects in emergency zones, in hard-to-reach places, in assessment of ice fields, fire interpretation, structural and seasonal changes, etc. These operational tasks necessitate the implementation of new effective automated systems with the expansion of their functional capabilities, which necessitates the use of interdisciplinary methods and approaches in the construction of such aviation systems of operational control, in particular, in the developing field of group vision. The aim of the work is to analyze the peculiarities of operational monitoring implementation and to develop an appropriate automated method of control in emergency zones using aviation systems of group vision in conditions of limited visibility caused by the presence of saturated environment, such as smoke screen in emergency zones, as well as difficult weather conditions. The practical significance of this group vision system lies in the possibility of emergency assistance to people in distress as a result of natural, environmental and man-made disasters. Timely search and prompt assistance will save many lives and health of people.

Keywords: aviation monitoring systems, operational and automated control, emergency zones, video streams of radar frames, small-size airborne radars, group vision system

Введение. В последние годы наблюдается значительный рост применения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в гражданских и промышленных задачах, таких как мониторинг зон чрезвычайных ситуаций (ЧС), картографирование и экологический контроль. Однако, существующие отдельные радиолокационные системы, используемые для этих задач, сталкиваются с ограничениями, связанными с обеспечением требуемой информативности и функциональности при их работе в сложных условиях ограниченной видимости, например, обусловленной сложной метеорологической обстановкой. Это требует разработки новых подходов к вариантам построения бортовых РЛС, которые смогут обеспечивать высокое разрешение, точность определения координат наземных объектов с одновременным обеспечением оперативности обработки данных и ее полноты. Одним из наиболее перспективных средств, базирующихся на малых летательных аппаратах, являются малогабаритные бортовые радиолокационные станции (БРЛС), реализующие методы формирования и обработки видеопотоков (ВП) радиолокационных кадров (РЛК) в авиационных системах технического зрения. Актуальность их использования и развития методов формирования и обработки заключается в способности обеспечивать формирование высокоточных и информативных потоковых данных о наблюдаемой местности и физических наземных объектах, находящихся в зоне их обзора, вне зависимости от времени суток, сложных погодных и сезонных условий [1, 2, 3]. То есть, преимуществом использования таких авиационных систем с техническим зрением, функционирующих в радиодиапазоне, является их способность формировать видеопоток РЛК высокого разрешения сравнимого с видеопотоком оптических кадров, однако свободных от условий ограниченной видимости у последних [4].

Анализ современных бортовых РЛС для МЛА показывает, что их эффективность во многом определяется multifunctionality, автоматизированностью, гибкостью в

управлении со способностью формирования радиолокационных кадров высокого разрешения и частотой их следования. Для обеспечения этих высоких характеристик требуется объединение нескольких БРЛС в единую взаимодействующую группу с реализацией новых методов и технологий технического авиационного зрения, обеспечивающих при этом режим реального времени. Эти новые и модифицированные методы и технологии группового технического зрения открывают новые возможности для применения РЛС на МЛА в автоматизированном режиме, расширяя их функциональность и адаптируемость к сложной обстановке наблюдения [5, 6].

Использование не оптических авиационных систем контроля, а радиолокационных, является важнейшим аспектом, так как они позволяют работать в условиях плохой и ограниченной видимости, а именно, в ночное время, в плохих погодных условиях, в том числе при наличии тумана, дыма и облачности. Это позволяет осуществлять контроль зон природных катастроф, таких как наводнения, извержения вулканов, оползни, обрушения береговой линии и др.

Поэтому, в последнее время, использование и развитие радиолокационных методов и технологий в совокупности с методами технического авиационного зрения является актуальной областью вызывающей большой интерес во многих сферах гражданского применения, в частности, при решении задач оперативного контроля зон с ЧС природного и техногенного характера.

Таким образом, далее в работе освещены требования, которые следует учесть при реализации автоматизированного метода контроля чрезвычайных ситуаций, реализуемого на базе системы группового технического зрения.

Требования к реализации метода автоматизированного контроля чрезвычайных ситуаций с применением системы группового технического зрения. В работе [7, 8] для подобной системы технического зрения были описаны требования по обеспечению полноты, достоверности и точности формируемого одного кадра без учета способности реализуемой системы контроля с ТХ формировать видеопотоки РЛК. Поэтому в данной работе следует дать определения этим требованиям в контексте разрабатываемого нового потокового метода контроля и обеспечивающего дополнительные функциональные возможности при контроле зон с ЧС.

В данной работе под обеспечением точности понимается способность разрабатываемого метода обеспечить оценку параметров контроля зон ЧС с высокой точностью, в частности, формировать на основе технологий технического зрения поток видеокадров в радиодиапазоне с достаточной частотой их следования и высокого разрешения с целью высокоточного измерения и распознавания объектов интереса до уровня типа (параметров контроля) в передней зоне обзора (ПЗО) каждой БАС, входящих в состав взаимодействующей группы.

Под обеспечением полноты понимается насколько полными и достаточно информативными являются формируемые данные бортового контроля, что определяется наличием следующего перечня информационных единиц, на основе которых оценивается текущая обстановка в зоне ЧС (ее размеры, классификация ее зон и др.), а также сценарии ее развития: в конкретной сложной обстановке ограниченной видимости и в условиях временных ограничений полетного задания оперативного характера.

Под обеспечением достоверности в работе понимается способность нового метода бесперебойно функционировать в условиях ограниченной видимости и действия деструктивных воздействий, а также возможных аномалий.

Далее отдельно следует выделить два требования, являющихся ключевыми.

1) Важнейшим требованием при реализации данного метода является обеспечение автоматизации, то есть его способность осуществлять контроль зон с ЧС практически в автоматическом режиме без участия человека с применением средств интеллектуального (нейросетевого) анализа формируемых потоковых данных бортового контроля.

Способность нового метода обеспечить автоматизированный контроль при анализе непрерывно поступающего большого объема потоковых данных для контроля зон ЧС с применением технологий ТЗ и комплексной обработки потоков кадров, сформированных для передней зоны обзора (ПЗО) в условиях ограниченной видимости и деструктивных воздействий. Поскольку время обработки данных от БАС оператором МЛА может составлять довольно продолжительное время от нескольких часов до суток, а эффективность решения поисково-спасательных задач в зонах ЧС при стремительном их развитии должно реализовываться с задержкой времени не более единиц секунд. Выполнение данного требования обеспечивается применением высокопроизводительных средств и интеллектуальных технологий, реализуемых на борту МЛА в БАС с ТЗ.

Таким образом, на сегодняшний день, особый интерес представляют автономные БАС, способные выполнять полеты по заданному маршруту и осуществлять контроль практически без вмешательства (при минимальном вмешательстве) оператора БЛА.

2) Другим важнейшим требованием при контроле зон ЧС является обеспечение оперативности, то есть реализации контроля зон ЧС с обнаружением объектов интереса и с последующим их распознаванием за минимальный промежуток времени в сложных условиях ограниченной видимости. При контроле зон ЧС для этого предлагается использовать ПЗО. Для их выполнения необходимо осуществлять обзор в ПЗО по курсу движения МЛА, так как такой подход позволяет минимизировать время, необходимое на реализацию поиска физических наземных объектов (ФНО) при проведении поисково-спасательных работ оперативного характера в зонах с ЧС.

Важным аспектом является тот факт, что при выполнении этих операций в ПЗО по курсу движения БЛА, переносящего бортовую аппаратуру, его траекторию легко скорректировать при подлете прежде, чем наблюдаемая зона будет идентифицирована как зона бедствия или экологической катастрофы. Этот факт позволяет сэкономить время подлета к соответствующей зоне по сравнению с методом картографирования в режиме бокового обзора, при котором необходимо выполнять разворот, сопровождаемый дополнительными временными затратами. Кроме того, организация контроля в ПЗО позволяет использовать более дешевые варианты БЛА самолетного типа, чем варианты мультикоптерного типа, что влечет экономию человеческих, финансовых и материальных ресурсов при разработке подобных систем. При этом, как правило, БЛА самолетного типа способны обеспечивать более высокие скорости полета, чем БЛА мультироторного типа, а также их производство, в целом, проще.

Однако осуществлять обзор в ПЗО по курсу движения МЛА путем формирования видеокadra в радиодиапазоне (ВКР) земной поверхности методом синтеза

апертуры антенны (САА) с высоким разрешением по азимуту нереализуемая задача в однопозиционном варианте исполнения такой системы технического зрения [9-12].

Поэтому обеспечение реализации вышеупомянутых требований может быть достигнуто путем разработки многопозиционной БАС контроля зон ЧС. При этом реализуемый за счет многопозиционной системы контроль в ПЗО позволяет существенно сократить общее время выполнения полетного задания и автоматизировать данный процесс, что является ключевым фактором при решении задач оперативного контроля в зонах с ЧС.

Целью данной работы является анализ существующих особенностей реализации оперативного мониторинга и разработка соответствующего автоматизированного метода контроля в зонах чрезвычайных ситуаций с применением авиационных систем группового технического зрения, способного функционировать в условиях ограниченной видимости, вызванных наличием насыщенной среды, например, дымовой завесы в зонах ЧС, а также сложными погодными условиями.

Особенности реализации режимов формирования видеопотока радиолокационных кадров. Для реализации подобных многопозиционных систем оперативного и автоматизированного контроля требуется в первую очередь определить вид регистрируемой информации от малогабаритных устройств контроля ЧС, базирующихся на МЛА самолетного типа.

Как правило, требуется выбрать такой вид регистрируемых сигналов, использование которых позволит осуществлять авиационный контроль сквозь облака, туман, дождь, дым, песчаные бури и другие сложные условия, в которых эффективная работа оптических, в том числе лазерных бортовых устройств, не реализуема.

Такой технологией является подход по формированию видеопотока (ВП) РЛК, на основе сочетания междисциплинарных методов радиолокационного синтеза апертуры антенны и методов технического радиозрения.

Генерация серий РЛК высокого разрешения и их формирование в соответствующий ВП с высокой частотой кадров в режиме реального времени позволяет модифицировать существующие и разработать новые методы технического интеллектуального анализа этих кадров ВП, адаптируя соответствующие методы технического зрения, которые активно применяются для оптических видеосистем авиационного контроля.

Однако, сначала требуется провести обзор особенностей процессов формирования ВП РЛК и рассмотреть сложности их реализации, поскольку физика процесса генерации кадров в оптическом и радиодиапазоне различны.

Первой особенностью при реализации метода формирования ВП РЛК является объем вычисленных операций, которые требуется ежесекундно обрабатывать, то есть скорость обработки. Также для промежуточных результатов процесса обработки принятых эхосигналов требуется существенный размер памяти, необходимый для их промежуточного хранения. При этом следует учитывать массогабаритные особенности БРЛС, а именно вычислительного оборудования, энергопитания, антенны и приемного тракта. Чтобы установить такое оборудование на малые ЛА, оно должно иметь небольшой вес и габариты. Однако следует отметить, что последние разработки в этой области радиоэлектроники и электропитания позволяют устанавливать сравнительно малогабаритные БРЛС на МЛА.

Второй особенностью является обеспечение высокого разрешения формируемого РЛК, которое с одной стороны по азимуту зависит от скорости носителя БРЛС, с другой от частоты следования зондирующих импульсов в излучаемой пачке. Из этих соображений, в условиях базирования БРЛС на малых ЛА, требуется выбирать носители, способные обеспечить требуемую скорость полета. Это, как правило, носители самолетного типа. Частоту следования импульсов в зондирующей пачке следует задавать высокой, так как чем она выше, тем выше по азимуту разрешение формируемого РЛК.

Разрешение по дальности РЛК как известно связано с шириной частотного спектра зондирующего сигнала, то есть чем шире спектр, тем ниже ширина сжатого импульса и, тем выше соответствующее разрешение.

Третьей особенностью является обеспечение высокой частоты следования кадров при формировании ВП РЛК. Этот параметр ограничивается частотой повторения импульсов и общим их количеством. Чтобы обойти это ограничение, применяется наложение импульсов во времени (парциальных кадров (субапертур)). Чтобы обеспечить высокую степень их наложения, требуется разработать быстрые алгоритмы обработки в целях формирования как отдельного кадра в темпе поступления эхо-сигналов, так и соответствующего ВП. Из этого следует, что применяемый математический аппарат должен быть с одной стороны достаточно прост, с другой – обеспечивать высокие требования как по разрешению, так и по частоте следования РЛК из ВП.

Все вышеуказанные требования и особенности требуют разработки нового специализированного метода формирования и комплексной обработки потоковых кадров, которые в настоящее время отсутствуют.

Автоматизированный метод группового оперативного контроля чрезвычайных ситуаций. Таким образом с учетом требований и особенностей реализации следует разработать оперативный и автоматизированный метод формирования в реальном масштабе времени видеопотока радиолокационных кадров высокого разрешения в передней зоне обзора земной поверхности на основе синтеза апертуры антенны с бортов МЛА, исключая слепые зоны, при помощи пересылки радиолокационных данных в авиационной системе группового технического зрения.

Схема реализации автоматизированного метода оперативного группового контроля показана на рисунке 1.

Данный метод состоит из **4 этапов**, в каждом из которых осуществляется следующая последовательность действий:

Этап 1. Организация системы обмена данными и синхронизации между МБРЛС₁ и МБРЛС₂.

С устройства управления групповой системой технического зрения на каждый МЛА поступают синхронизирующие сигналы для настройки системы обмена данными (СОД) между позициями МБРЛС, а также организации управления траекториями их движения с учетом взаимодействия в группе.

После настройки и синхронизации СОД для каждого МЛА задается траектория их движения с учетом требований к взаимному их расположению, что обуславливается требованиями к разрешению формируемых видеок кадров и к частоте их следования.

Далее, с учетом взаимного расположения МЛА, антенной системой каждой МБРЛС обеспечивается необходимое направление диаграмм направленности для переднебоковых зон обзора с целью обеспечить заданное пространственное разрешение для ПЗО соседней МБРЛС каждого формируемого радиолокационного кадра, отображающего наблюдаемую территорию подстилающей поверхности этой передней зоны.

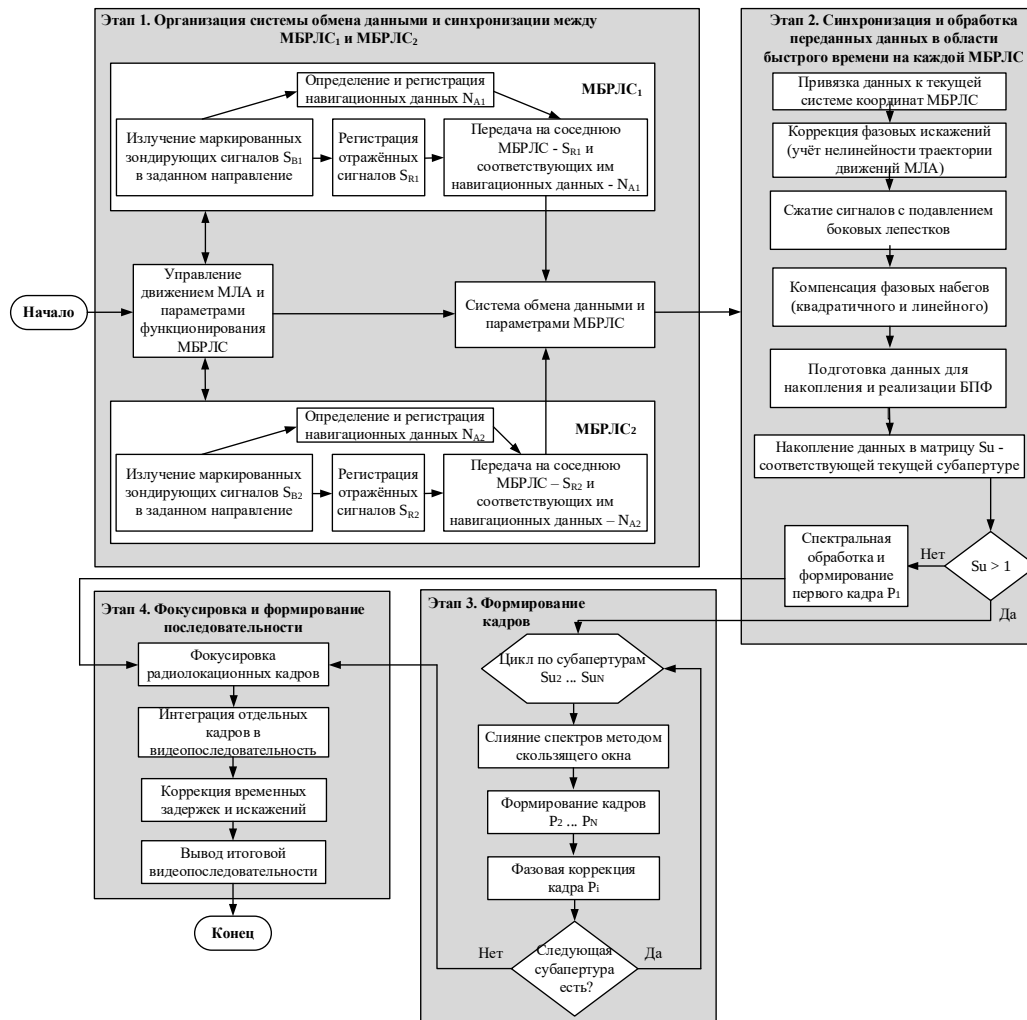


Рис. 1. Схема реализации метода оперативного группового контроля

После этого, осуществляется настройка параметров функционирования каждой МБРЛС и излучение маркированных зондирующих сигналов S_{B1} наблюдаемой территории в направлении диаграмм направленности и с учетом ее ширины по курсу переднебоковой зоны обзора излучающей позиции для территории являющейся ПЗО для соседней МБРЛС.

На каждой МБРЛС в начале каждого периода зондирования осуществляется определение и регистрация навигационных данных N_A .

Далее по каналам СОД осуществляется передача от МБРЛС₁ к МБРЛС₂ радиолокационных зарегистрированных эхо-сигналов S_{R1} и соответствующих им навигационных параметров N_{A1} носителя МБРЛС₁, формируемых на каждом периоде зондирования пачки импульсных маркированных сигналов. Аналогичная передача осуществляется от МБРЛС₂ к МБРЛС₁ сигналов S_{R2} и навигационных параметров N_{A2} .

Этап 2. Синхронизация и обработка переданных данных в области быстрого времени на каждой МБРЛС. В рамках данного этапа осуществляется привязка данных к текущей системе координат на каждой МБРЛС. Коррекция фазовых искажений с учётом нелинейности траектории движений носителей, базирующихся на МЛА. Далее реализуется операция сжатия сигналов с подавлением боковых лепестков. Осуществляется компенсация фазовых набегов (квадратичного и линейного) и производится подготовка данных для накопления с последующей реализацией процедуры быстрого преобразования Фурье (БПФ). При этом, накопление данных, осуществляется в матрицу Su - соответствующую текущей субапертуре. Кроме того, в рамках данного этапа в случае $Su = 1$, накопления данных для первого кадра реализуется спектральная обработка и его формирование P_1 .

При этом сформированный на МБРЛС₂ радиолокационный кадр P_1 , представленный в системе координат (СК) МБРЛС₁ для переднебоковой зоны обзора, преобразуется в систему координат МБРЛС₂ с целью обеспечения корректного отображения информации в передней зоне обзора соответствующей МБРЛС₂. Формирование осуществляется на основе спектральной обработки накопленных и предварительно обработанных сжатых выборок эхо-сигналов в течении периода синтеза субапертуры антенны. При этом применяется фазовая коррекция для каждого сформированного кадра.

Этап 3. В случае $Su > 1$, реализуется этап - формирования отдельных кадров $P_2 \dots P_N$. После регистрации сигналов S на этапе 1, и их накопления в матрицу данных субапертур Su_i с предварительной обработкой на этапе 2, далее в цикле (начала этапа 3) выполняется формирование текущего отдельного радиолокационного кадра P_i высокого разрешения для каждой из субапертур.

Следует отметить, что формирование второго P_2 и последующих кадров $P_3 \dots P_N$, осуществляется методом скользящего окна, когда данные для новой субапертуры добавляются, а часть данных убирается из обработки как это показано на рисунке 2.

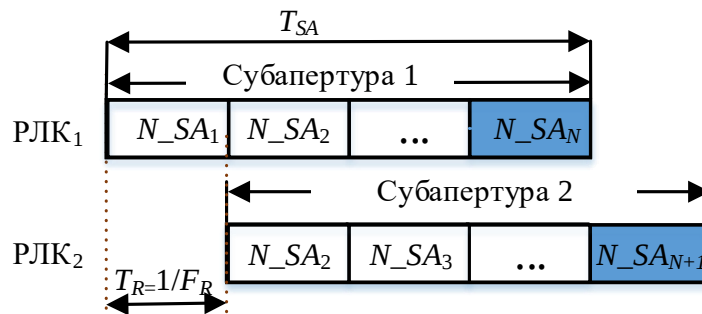


Рис. 2. Частота следования кадров с перекрытием субапертур

На рис. 2 показана разница во времени между приходом данных эхо-сигнала, полученных от Su_1 и Su_2 , по данным от которых и формируются РЛК за время T_{SA} . При этом частота следования кадров равна F_R и определяется обратной величиной длительности T_R элемента N_{SA} . Это обеспечивает высокое разрешение и высокую частоту обновления кадров и позволяет непрерывно отслеживать изменения в радиолокационной обстановке. Отдельные кадры в данном этапе формируются до тех пор, пока накапливаются данные в матрице Su .

Этап 4. Далее осуществляется фокусировка накопленных кадров на предыдущем этапе и их слияние в единую видеопоследовательность.

Реализуется алгоритм фокусировки каждого формируемого РЛК и их интеграция в единый видеопоток на основе сырых данных, собранных с различных ракурсов МБРЛС. При этом выполняется фазовая коррекция радиолокационных кадров для повышения разрешающей способности и точности отображения отражающих объектов с учётом динамических параметров движения малогабаритных бортовых радиолокационных станций и характеристик субапертур антенн.

Обработанные радиолокационные кадры интегрируются в непрерывную видеопоследовательность посредством применения алгоритмов, обеспечивающих согласование фазовых и амплитудных характеристик отдельных кадров, полученных с различных субапертур. Осуществляется коррекция и согласование радиолокационных данных с целью устранения несоответствий между ракурсами различных МБРЛС, включая компенсацию временных задержек и пространственных искажений.

Данное решение в совокупности с интеллектуальными средствами обработки потоков кадров позволит повысить скорость поиска и достоверность распознавания ФНО, а также обеспечить полноту и достоверность измеряемых данных о них в труднодоступных местах

Заключение. В работе были освещены требования, которые следует учесть при реализации метода оперативного контроля зон ЧС, реализуемого на базе авиационных систем группового ТЗ и способного функционировать в сложных условиях ограниченной видимости. На основе этих требований обоснована целесообразность осуществлять потоковый оперативный контроль зон земной поверхности сугубо в радиодиапазоне в автоматизированном многопозиционном режиме картографирования по курсу движения малых летательных аппаратов в их передних зонах обзора. Для этого далее были определены основные особенности, возникающие при реализации режима формирования видеопотока радиолокационных кадров высокого разрешения и высокой частоты их следования. С учетом выделенных особенностей описаны взаимосвязанные процессы, реализующие автоматизированный метод группового оперативного контроля чрезвычайных ситуаций, а также описаны пути его дальнейшего развития и сферы применения, требующие автоматизированности, достоверности и высокой информативности процесса бортового контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ненашев В.А., Сенцов А.А. Пространственно-распределенные системы радиолокационного и оптического мониторинга: моногр. - СПб.: Редакционно-издательский центр ГУАП, 2022. - 191 с.
2. Костин А. С., Рубинов В. В., Майоров Н. Н. Разработка программно-аппаратного обеспечения беспилотной системы для решения задачи мониторинга движения объектов в складском комплексе // Датчики и системы. 2024. № 4(276). С. 44-50.
3. Toro G.F., Tsourdos A. UAV sensors for environmental monitoring // Belgrade: MDPI. 2018. 661 p.
4. Ненашев В. А., Бестугин А. Р., Киршина И. А., Антохин Е. А. Формирование потока радиолокационных кадров в пространственно-распределенной системе малогабаритных бортовых РЛС // Успехи современной радиоэлектроники. – 2024. – Т. 78, № 3. – С. 59-69. – DOI 10.18127/j20700784-202403-07

5. Ненашев В. А., Ненашев С. А., Бестугин А. Р. [и др.] Контроль наземных объектов на основе нейросетевого распознавания в авиационных системах технического зрения // Датчики и системы. – 2024. – № 2(274). – С. 57-61. – DOI 10.25728/datsys.2024.2.10

6. Антонов И.К., Детков А.Н., Ницак Д.А., Тонких А.Н., Цветков О.Е. Воздушная разведка. Автоматизированное дешифрирование радиолокационных изображений. Под ред. И.К. Антонова. М.: Радиотехника, 2021. 296 с.

7. Ненашев В.А., Ненашев С.А. Классификация и распознавание наземных объектов в потоке радиолокационных кадров на основе нейросетевого подхода // Автоматизация в промышленности. 2024. № 1. С. 29-33. DOI 10.25728/avtprom.2024.01.07

8. Nenashev V.A., Khanykov I.G. Formation of Fused Images of the Land Surface from Radar and Optical Images in Spatial Distributed On-Board Operational Monitoring Systems // Journal of Imaging. 2021. 7(12):251.

9. Nenashev V. A., Shepeta A. P. and Kryachko A. F. Fusion Radar and Optical Information in Multi-Position On-Board Location Systems," 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2020, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/WECONF48837.2020.9131451>

10. Пальгуев Д. А., Фитасов Е. С., Ильясафов А. Д. Система распознавания малоразмерных малоскоростных воздушных объектов по объединенной разнородной информации и неполным данным от пространственно-разнесенных датчиков // Датчики и системы. – 2023. – № 1(266). – С. 16-22. – DOI 10.25728/datsys.2023.1.3

11. Патент № 2703996 С2 Российская Федерация, МПК G01S 13/90. Способ локации целей в передних зонах обзора бортовых радиолокационных станций двухпозиционной радиолокационной системы: № 2019108828: заявл. 26.03.2019: опубл. 23.10.2019 / Г. А. Коржавин, В. А. Ненашев, А. П. Шепета [и др.]; заявитель Акционерное общество "Концерн "Гранит-Электрон".

12. Патент № 2560082 С2 Российская Федерация, МПК G01S 13/90. Способ фронтального синтеза апертуры антенны земной поверхности с исключением слепых зон в передней зоне с помощью многопозиционной радиолокационной системы: № 2014100672/07: заявл. 09.01.2014: опубл. 20.08.2015 / А. П. Шепета, Ю. Ф. Подоплекин, В. А. Ненашев; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения".

Reference

1. Nenashev V.A., Sentsov A.A. Spatially distributed systems of radar and optical monitoring: monograph. - SPb.: Editorial and Publishing Center of SUAI, 2022. - 191 p.

2. Kostin A. S. S., Rubinov V. V., Mayorov N. N. Development of the unmanned system hardware-software for solving the problem of the objects movement monitoring in the warehouse complex // Sensors and systems. - 2024. - No 4(276). - pp. 44-50. DOI 10.25728/datsys.2024.4.8.

3. Toro G.F., Tsourdos A. UAV sensors for environmental monitoring // Belgrade: MDPI. 2018. 661 p.

4. Nenashev V. A., Bestugin A. R. A., Kirshina I. A., Antokhin E. A. Formation of the radar frame flow in a spatially distributed system of small-size airborne radars // Uspekhi sovremennoi radioelectronics. - 2024. - Vol. 78, No 3. - pp. 59-69. - DOI 10.18127/j20700784-202403-07

5. *Nenashev V. A., Nenashev S. A., Bestugin A. P. [et al.] Ground object control based on neural network recognition in aviation vision systems // Sensors and Systems. 2024. No 2(274). pp. 57-61. DOI 10.25728/datsys.2024.2.10*

6. *Antonov I.K., Detkov A.N., Nitsak D.A., Tonkikh A.N., Tsvetkov O.E. Air reconnaissance. Automated interpretation of radar images. Under edition of I.K. Antonov. Moscow: Radiotekhnika, 2021. 296 p.*

7. *Nenashev V.A., Nenashev S.A. Classification and recognition of the ground objects in the radar frames stream on the basis of the neural network approach (in Russian) // Automation in industry. 2024. No 1. pp. 29-33. DOI 10.25728/avtprom.2024.01.07*

8. *Nenashev V.A., Khanykov I.G. Formation of Fused Images of the Land Surface from Radar and Optical Images in Spatial Distributed On-Board Operational Monitoring Systems // Journal of Imaging. 2021. 7(12):251.*

9. *Nenashev V. A., Shepeta A. P. and Kryachko A. F. Fusion Radar and Optical Information in Multi-Position On-Board Location Systems," 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), St. Petersburg, Russia, 2020, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/WECONF48837.2020.9131451>*

10. *Palguyev D. A., Fitasov E. S., Ilyasafov A. D. System of recognition of small-sized low-speed air objects by combined heterogeneous information and incomplete data from spatially separated sensors // Sensors and systems. 2023. No1(266). pp. 16-22.*

11. Patent No. 2703996 C2 Russian Federation, MPK G01S 13/90. Method for locating targets in the forward viewing areas of airborne radar stations of a two-position radar system: no. 2019108828: filed. 26.03.2019: published 23.10.2019 / G. A. Korzhavin, V. A. Nenashev, A. P. Shepeta [and others]; applicant Joint Stock Company Concern Granit-Elektron.

12. Patent No. 2560082 C2 Russian Federation, MPK G01S 13/90. Method of frontal synthesizing the aperture of the earth surface antenna with the elimination of blind spots in the front zone using a multi-position radar system: No. 2014100672/07: avt. 09.01.2014: published 20.08.2015 / A. P. Shepeta, Y. F. Podoplekin, V. A. Nenashev; applicant Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation".

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ненашев Вадим Александрович – доцент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств (Кафедра 23) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» ГУАП, кандидат технических наук, доцент. E-mail: nenashev.va@yandex.ru, nenashev@guap.ru

SPIN-код: 6728-6108, AuthorID: 745612. Индекс Хирша по РИНЦ - 20.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Nenashev Vadim Alexandrovich – Associate Professor of the Department of Design and Technologies of Electronic and Laser Means (Department 23) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation», candidate of technical sciences, associate professor. E-mail: nenashev.va@yandex.ru, nenashev@guap.ru

SPIN-код: 6728-6108, AuthorID: 745612. Hirsch index by RSCI - 20.