

УДК 621.396.969

DOI: 10.22213/2413-1172-2025-1-99-109

Концепция реализации групповой авиационной системы технического зрения*

В. А. Ненашев, кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

В статье представлена концепция построения групповой авиационной системы технического зрения, направленная на обеспечение высокой точности и оперативности контроля в условиях ограниченной видимости и сложной радиолокационной обстановки. Предлагаемая концепция базируется на использовании пространственно-распределенных систем малогабаритных радиолокационных станций, объединенных во взаимодействующую группу. В этой взаимодействующей группе осуществляется передача и обработка разноразмерных данных с применением методов межкадровой обработки и нейросетевого анализа, а также технологий технического зрения цифровой визуальной информации. Особое внимание уделено реализации освещения передней зоны обзора, в которой и обеспечивается формирование последовательности радиолокационных видеок кадров высокого разрешения. Продемонстрирована взаимосвязь всех функциональных блоков в рамках предлагаемой концепции, включая алгоритмы траекторного управления малыми летательными аппаратами, формирование и обработку последовательности радиолокационных видеок кадров и их интеллектуальный анализ. Цель исследования – разработка новой концепции построения и функционирования групповой авиационной системы технического зрения, состоящей из пространственно-распределенных малогабаритных бортовых РЛС, способной обеспечить в группе требуемую оперативность и автоматизацию процесса формирования последовательности видеок кадров и их интеллектуальной обработки с одновременным обеспечением требуемого разрешения, достоверности и полноты отображения радиолокационной обстановки в передних зонах обзора. Предложена концепция реализации авиационной системы технического зрения, обеспечивающей радиолокационное формирование и комплексную обработку видеок кадров, в которой также осуществляется нейросетевой анализ результатов этой комплексной обработки. Разработанная концепция группового технического зрения применима при осуществлении поисково-спасательных операций, экологическом контроле зон земной поверхности и оценке масштабов и развития катастроф в зонах чрезвычайных ситуаций, как природного, так и техногенного характера.

Ключевые слова: групповое техническое зрение, разноразмерные видеок кадры, нейросетевые технологии, радиолокационные кадры, контроль зон земной поверхности, малые летательные аппараты.

Введение

В последние годы наблюдается значительный прогресс в развитии бортовых многопозиционных систем и технологий авиационного технического зрения, что обусловлено растущей потребностью в эффективных и автономных средствах контроля и мониторинга земной поверхности [1–3]. Одной из наиболее перспективных областей применения являются автономные малые летательные аппараты (МЛА), способные объединяться в группы для выполнения сложных задач с минимальным вмешательством оператора [4–6].

Объединение нескольких МЛА во взаимодействующую группу особенно актуально в условиях, когда обработка данных одним аппаратом оказывается недостаточной для выполнения задач, требующих высокой точности, полноты и оперативности. Например, при мониторинге обширных территорий в случае стихийных бед-

ствий, поисково-спасательных операций или экологических катастроф возникает необходимость в организации взаимодействия между МЛА, включая комплексирование сигналов для отображения радиолокационной обстановки. Такой подход позволит обеспечить не только синхронность наблюдений, но и формирование единой информационной картины с высокой степенью достоверности. Базирующиеся на МЛА групповые системы технического зрения демонстрируют способность к непрерывному контролю за земной поверхностью, быстрой адаптации к изменяющимся сложным условиям ограниченной видимости и оптимальному распределению вычислительных и энергетических ресурсов между участниками группы, что существенно повышает общую производительность и расширяет функциональные способности такой распределенной системы в целом в отличие от однопозиционных систем авиационного контроля.

Современное состояние проблемы реализации групповых авиационных систем технического зрения может быть существенно дополнено рассмотрением результатов исследований, связанных с алгоритмами роевого поведения и управления движением мобильных роботов в неопределенных средах. Так, подход, приведенный в работе [7], основанный на численном моделировании роевого алгоритма для планирования пути в двухмерных некартографированных средах, позволяет эффективно организовать коллективное поведение и навигацию групп роботизированных устройств, что применимо и для управления малыми летательными аппаратами. Кроме того, существенный интерес представляет работа [8], в которой предложены методы группового управления движением роботов с использованием неустойчивых режимов, обеспечивающих гибкость и быструю адаптацию системы к изменяющимся условиям внешней среды. Данные разработки могут быть интегрированы в концепцию групповой авиационной системы технического зрения с целью повышения ее эффективности, оперативности и надежности в условиях неопределенности и ограниченной видимости.

В процессе реализации высокоточных и оперативных систем авиационного контроля следует одновременно обеспечить расширение их функциональных возможностей, а именно:

- 1) требуемую оперативность и автоматизацию процесса контроля при выполнении полетного задания в зону, требующую оперативного контроля, например, зоны ЧС;

- 2) требуемое высокое разрешение радиолокационного видеокadra (в целях распознавания объектов до уровня типа) по азимуту в передней зоне обзора (ПЗО) в режиме реального времени по курсу полета авиационной системы;

- 3) высокую достоверность и полноту формируемых данных для контроля зон ЧС в условиях ограниченной видимости и деструктивных воздействий на эту систему.

Цель исследования – разработка новой концепции построения и функционирования групповой авиационной системы технического зрения, состоящей из пространственно-распределенных малогабаритных бортовых РЛС, способной в группе обеспечить требуемую оперативность и автоматизацию процесса формирования последовательности видеокadров и их интеллектуальной обработки с одновременным обеспечением требуемого разрешения, достоверности и полноты отображения радиолокационной обстановки в передних зонах обзора.

Современные требования к авиационным системам оперативного контроля земной поверхности

С одной стороны, для ПЗО каждой малогабаритной бортовой РЛС, входящей в пространственно-распределенную систему, требуется осуществлять формирование радиолокационного видеокadra довольно высокого разрешения, где высокое разрешение по азимуту не обеспечивается. С другой стороны, предъявляются требования к траекториям движения носителей малогабаритных бортовых РЛС, которые должны осуществлять обзор в передней зоне по курсу движения носителя для повышения оперативности системы.

Ключевым аспектом является возможность коррекции траектории движения МЛА, оснащенных компактными бортовыми РЛС, во время подлета к зоне наблюдения до момента идентификации области как зоны бедствия или экологической катастрофы. Такая коррекция траектории движения носителя РЛС позволяет значительно сократить время подлета к целевой зоне по сравнению с методом картографирования в боковом обзоре, который требует выполнения разворота этого носителя и сопряжен с дополнительными временными затратами.

Кроме того, при корректировке траектории движения носителя подлета к зоне бедствия уменьшается дистанция до объекта наблюдения, что приводит к увеличению отношения сигнал/шум (ОСШ) в радиолокационных измерениях. Повышенное ОСШ способствует улучшению качества формируемых видеокadров, что критически важно для достоверной классификации поверхностей территорий и распознавания наземных объектов в зонах, где авиационная система осуществляет оперативный и автоматизированный контроль [9].

Необходимо также обеспечить высокое разрешение радиолокационных видеокadров, формируемых для передних зон обзора малогабаритных бортовых РЛС. При этом разрешение видеокadров и частота их следования должна быть сопоставима с аналогичными характеристиками оптических авиационных систем, использующих методы технического зрения. Также критично обеспечить функционирование в условиях ограниченной видимости, что зачастую обусловлено сложными погодными и сезонными условиями, а также деструктивными воздействиями на радиолокационные каналы контроля, что не реализуется оптическими системами [10].

Дополнительной проблемой построения радиолокационных авиационных систем контроля с техническим зрением является низкая частота следования формируемых видеокадров на основе синтеза апертур и метода скользящего окна. Это связано с тем, что процесс синтеза апертур требует значительных вычислительных мощностей, что не всегда возможно обеспечить на борту малогабаритных бортовых РЛС. В результате возникает необходимость разработки методов, позволяющих повысить частоту следования кадров без значительного увеличения вычислительных ресурсов [11].

Кроме того, существует проблема реализации отображения наблюдаемых территорий и объектов в динамике изменений на них и в реальном масштабе времени. Эта проблема связана с высокими требованиями к вычислительным ресурсам бортового вычислителя и каналам связи между бортовыми РЛС, позиции которых объединены в группу. Для решения данной задачи необходимо разработать специализированный подход к распределению ресурсов между компонентами пространственно-распределенной системы бортовых РЛС. Такой подход позволит оптимизировать использование вычислительных мощностей и обеспечить своевременное обновление данных в реальном времени [12].

Все вышеуказанные аспекты и противоречия требуют разработки новых, специализированных, методов комплексирования радиолокационной информации, которые на данный момент отсутствуют. Необходимость интеграции бортовых РЛС, обеспечивающих высокое разрешение и частоту формирования видеокадров в совокупности с реализацией движения МЛА по заданным траекториям подчеркивает актуальность данной проблемы и необходимость проведения исследования в рамках разработки общей концепции групповой авиационной системы технического зрения для высокоточного, оперативного, полного, достоверного и автоматизированного контроля за зонами земной поверхности.

Одновременная реализация вышеуказанных требований с использованием однопозиционных систем авиационного контроля и мониторинга земной поверхности нереализуема, поскольку их технические и функциональные способности не позволяют их одновременно удовлетворить. Поэтому для решения обозначенных оперативных задач целесообразно разработать новую концепцию построения пространственно-распределенной системы (ПРС) малогабаритных

бортовых радиолокационных станций (МБРЛС). Такая система должна позволять в составе группы преодолевать вышеупомянутые ограничения однопозиционных авиационных систем с техническим зрением, а также расширять их функциональные возможности за счет их объединения во взаимодействующую группу. Для выполнения предъявляемых требований необходимо обеспечить требуемую полноту данных при отображении радиолокационной обстановки в ПЗО малогабаритных бортовых РЛС и осуществить комплексную обработку формируемых в них разноракурсных радиолокационных кадров (РЛК) высокого разрешения и с высокой частотой их следования. Однако при этом необходимо обеспечить требуемую скорость и точность формирования измерений в целях контроля зон ЧС, а также реализовать систему интенсивного и бесперебойного обмена потоковыми данными между аппаратурой связи распределенных в пространстве МЛА.

После выбора варианта построения пространственно-распределенной системы для преодоления вышеуказанных ограничений необходимо также разработать новый метод радиолокационного формирования последовательности РЛК, их комплексной обработки и интеллектуального анализа с учетом особенностей разноракурсности поступающей информации и создание условий для автоматизированного контроля состояния наблюдаемых зон и наземных объектов интереса. Такой метод должен обеспечивать как высокую скорость формирования данных, так и требуемую их полноту, что особенно важно для работы в сложных погодных условиях, при ограниченной видимости или под воздействием деструктивных факторов.

Таким образом, для реализации новой концепции, осуществляющей контроль на базе распределенных в пространстве авиационных систем с техническим зрением, с практической стороны требуется разработать такой вариант построения многопозиционной системы, при котором одновременно обеспечиваются все вышеуказанные требования (точность, оперативность, автоматизация, полнота и достоверность). С теоретической стороны – разработать новый метод оперативного контроля, осуществляющего формирование и обработку видеопоследовательности РЛК в авиационных системах группового технического зрения, что в совокупности позволяет расширить их функциональные возможности и минимизировать время выполнения полетного задания на осуществление контроля зон земной поверхности.

Особенности построения пространственно-распределенной оперативной системы группового технического зрения

Современные задачи контроля земной поверхности в режиме «воздух – поверхность» требуют интеграции технологий, обеспечивающих высокую точность, оперативность и полноту обрабатываемых потоковых данных, особенно в условиях ограниченной видимости. Ключевым элементом эффективного и оперативного радиолокационного контроля земной поверхности является освещение ПЗО в МБРЛС за счет формирования последовательности РЛК высокого разрешения и соответствующей частоты их следования.

Такой подход при освещении ПЗО, которая находится по курсу движения МЛА, позволяет минимизировать время обработки потоковых данных, повышает их достоверность и позволяет сразу переходить от обнаружения объектов к их автоматическому распознаванию. Это достигается благодаря тому, что движение осуществляется по прямой траектории; это упрощает требования к конструкции МЛА и выбору их типа [13, 14].

Кроме того, организация бортового контроля в ПЗО позволяет использовать более дешевые варианты МЛА самолетного типа, чем варианты мультикоптерного типа, что влечет экономию человеческих, финансовых и материальных ресурсов при разработке подобных авиационных систем, в особенности групповых. При этом, как правило, МЛА самолетного типа способны обеспечивать более высокие скорости полета, чем МЛА мультироторного типа, а также их серийное производство, в целом, проще реализовать [15].

Предлагаемый вариант построения авиационной системы группового технического зрения базируется на интеграции последовательностей РЛКПЗО, формуемых и обрабатываемых в пространственно-распределенной системе МБРЛС. Основой является синхронное управление источниками радиолокационных данных, что исключает потери и дублирование информации, обеспечивая ее высокую точность и достоверность. Такая структура позволяет не только собирать данные, но и адаптировать систему в реальном времени, корректируя траектории, управление и обмен данными в зависимости от динамическим изменяющейся воздушной и наземной обстановки.

Таким образом, при реализации такого варианта построения двухпозиционной ПРС, особо важно реализовать систему обмена потоковыми данными между аппаратурой связи МЛА, вводящих в нее. Это достигается за счет динамиче-

ской маршрутизации потоков данных и распределения вычислительных ресурсов между компонентами системы минимизируются задержки при передаче собираемой радиолокационной и навигационной информации, что также критически важно для задач оперативного контроля.

Как показано на рисунке 1, предлагаемый вариант реализации ПРС объединяет ключевые аспекты современных требований к системам оперативного контроля зон земной поверхности, обеспечивая их высокую автоматизацию, непрерывное функционирование и достоверность собираемых и передаваемых потоковых данных. Это позволяет эффективно решать задачи мониторинга в условиях, когда традиционные системы демонстрируют недостаточную функциональность. Вариант такой реализации группового технического зрения и информационного взаимодействия предполагает решение следующих ключевых задач:

- синхронизированный сбор и регистрация потоковых данных от пространственно-распределенных радиолокационных устройств, обеспечивающих временную и пространственную согласованность для построения точной модели местности наблюдаемых зон;
- высокоскоростной и надежный обмен данными между компонентами системы с использованием адаптивной маршрутизации, минимизирующей задержки и исключаяющей потери информации даже при наличии внешних деструктивных воздействий;
- формирование видеопоследовательности РЛК и их интеллектуальная обработка для высокоточного, полного, автоматизированного и точного освещения обстановки в наблюдаемой ПЗО, с классификацией зон земной поверхности и распознаванием наземных объектов интереса, а также с прогнозированием в динамике их положения в реальном масштабе времени.

Таким образом, построение ПРС требует поэтапного подхода, начиная с организации непрерывного информационного обмена и распределения вычислительных ресурсов на позициях при обработке собираемых и передаваемых потоковых данных. Для этого необходимо предусмотреть использование высокоскоростных каналов связи с адаптивной маршрутизацией, что минимизирует задержки и обеспечивает устойчивость к внешним деструктивным воздействиям. Распределенная обработка потоковых данных с использованием вычислительных ресурсов на борту каждого МЛА позволяет избежать перегрузки центральных узлов и поддерживать согласованность информации в реальном масштабе времени.

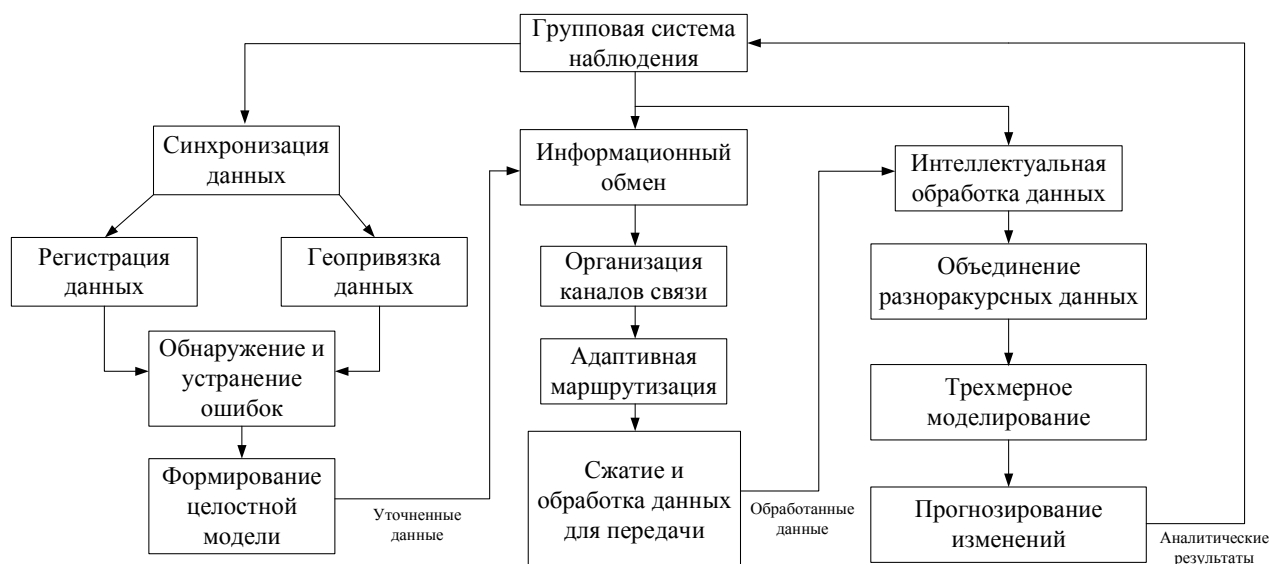


Рис. 1. Структурная схема требований к построению групповой системы контроля зон земной поверхности, освещение которых затруднено условиями ограниченной видимости

Fig. 1. Structural diagram of the requirements for the design of a group system for monitoring terrestrial surface areas with limited visibility conditions

Формирование видеопоследовательности РЛК высокого разрешения на базе предлагаемого варианта построения ПРС, состоящей из МБРЛС, требует разработки специализированного метода, основанного на реализации межкадровой обработки РЛК, учитывающего изменения между ними и позволяющего сразу перейти к интеллектуальному анализу. В частности, классификацию территорий и распознавание наземных объектов интереса в ПЗО, повышая оперативность системы и минимизируя временные затраты на обработку потоковых данных.

Метод радиолокационного формирования и комплексной обработки последовательности РЛК в пространственно-распределенной системе группового технического зрения

Концепция оперативного освещения ПЗО с теоретической стороны вопроса базируется на четырех последовательных этапах, направленных на формирование, передачу, комплексную обработку и интеллектуальный анализ радиолокационной потоковой информации, что в совокупности обеспечивает повышение точности, оперативности и достоверности наблюдений, что особенно важно в сложных условиях ограниченной видимости. Например, при условиях и в случаях, когда требуется осуществлять контроль сквозь облака, туман, дождь, дым, песчаные бури и другие сложные условия, в которых эффективная работа оптических, в том числе

лазерных бортовых устройств не всегда реализуема.

Этапы освещения ПЗО в рамках реализации новой концепции группового технического зрения представлены на рисунке 2.

На *этапе 1* проводится разработка и исследование вариантов построения ПРС, состоящей из МБРЛС. Разнесенные позиции устройств объединяются в единую высокоскоростную и взаимодействующую группу, предназначенную для информационного обмена, управления и комплексной обработки собираемой разноракурсной информации. Ключевым аспектом является интеграция задач комплексирования разнородных данных и траекторного управления МЛА в единую систему. Это не только расширяет теоретические основы многопозиционных систем, но и позволяет удовлетворить требования современных систем контроля зон земной поверхности. Для обеспечения полетов группы МЛА следует разработать алгоритмы и программно-аппаратные решения, которые обеспечивают обмен данными между МЛА, пилотируемыми аппаратами и пунктами управления в рамках единой информационной сети.

После выбора на этапе 1 варианта построения двухпозиционной ПРС на *этапе 2* требуется разработать метод формирования радиолокационного кадра высокого разрешения, который формируется в переднебоковой зоне сторонней МЛА₂ для передней зоны обзора основного МЛА₁, на который кадр передается от МЛА₂.

При этом в процессе формирования и передачи составных частей этого кадра осуществляется обнаружение, селекция и определение координат наблюдаемых физических наземных объектов (ФНО), а также параметров их движения к концу формирования РЛК в целях повышения быстродействия системы в целом и полноты формируемых данных. Эта задача решается

с помощью поэлементной передачи и распараллеливания обработки потоковых данных в условиях необходимости формировать один РЛК в передней зоне по курсу движения их носителей, что накладывает ограничения, связанные с требованиями обеспечить определенную траекторию полета носителей для МЛА, объединенных в группу [16, 17].



Рис. 2. Этапы реализации освещения передней зоны в рамках реализации новой концепции групповой авиационной системы технического зрения

Fig. 2. Stages of front-zone illumination implementation within the framework of the new concept of a group aviation technical vision system

Такой подход обеспечивает высокую оперативность и полноту формируемых данных в ПЗО каждой позиции МБРЛС, что особенно важно для анализа земной поверхности в сложных условиях ограниченной видимости и в условиях временных ограничений.

На *этапе 3*, основываясь на результатах и технических решениях первых двух этапов, решается задачи формирования видеопоследовательности РЛК для передней зоны обзора, который отображается на борту каждой распределенной авиационной системы с техническим зрением. Развитие в направлении перехода от принципа формирования отдельных РЛК в ПЗО к созданию непрерывного видеопоследовательности высокого разрешения и частоты следования кадров позволит модифицировать существующие методы и модели оперативного освещения обстановки в зоне ЧС, разработать новые интеллектуальные алгоритмы и методики, основанные на технологиях технического зрения, межкадровой потоковой обработке данных и семантической сегментации кадров.

Таким образом, в совокупности это позволит осуществлять оперативное, достоверное и высокоточное и полное отображение динамически меняющейся во времени радиолокационной обстановки – результата комплексной обработки разноракурсных объединенных между собой и с цифровой моделью местности последовательностей РЛК в ПРС.

На *этапе 4*, основываясь на результатах предыдущих трех этапов, разрабатываются новые методы интеллектуального анализа последовательности РЛК, учитывающие особенности их формирования и комплексной обработки. Специфика данного этапа заключается в создании новых и адаптации существующих нейросетевых архитектур, методов технического зрения и подходов к обработке больших объемов потоковых данных.

При этом **основным критерием** работоспособности системы группового технического зрения является минимизация времени выполнения полетного задания в зоне ЧС с обеспечением при этом требуемых показателей полноты, достоверности и разрешения формируемых видеок кадров, а также частоты их следования.

Применение нейросетевого обучения для анализа результатов комплексной обработки радиолокационных видеокadres

Технологии глубокого машинного обучения (МО), основанные на нейросетевых подходах и анализе больших данных, представляют собой перспективный инструмент для обеспечения автоматизированности и повышения эффективности комплексной обработки потоковой визуальной информации для ПЗО, формируемой в ПРС малогабаритных бортовых РЛС.

При этом остается важной проблема зависимости от зарубежных баз данных, используемых для обучения нейросетей. Это подчеркивает необходимость разработки отечественных аналогов, которые будут учитывать специфику национальных задач и обеспечивать технологическую независимость.

Для анализа радиолокационных данных в ПРС необходимы архитектуры нейросетей, которые адаптированы к обработке многомерной информации и учету особенностей радиолокационных данных, поступающих в режиме реального времени. На основе проведенных исследований и опыта разработки аналогичных систем [18, 19] ключевыми инструментами для решения таких задач являются обученные сверточные нейронные сети (СНС), способные эффективно обрабатывать пространственные данные, включая последовательности радиолокационных видеокadres.

Для эффективной реализации нейросетевого обучения в задачах комплексной обработки последовательности радиолокационных видеокadres необходимо использовать апробированные подходы, которые позволяют учесть специфику анализа многопозиционных данных и динамическое поведение объектов наблюдения. В частности, метод локации целей в передних зонах обзора, предложенный в работе [20], предусматривает использование двухпозиционной системы бортовых РЛС, что обеспечивает высокое пространственное разрешение и точность определения координат наземных объектов в условиях ограниченной видимости. Это решение является важной основой для реализации интеллектуальной обработки потоковых данных.

Существенную роль в формировании комплексных радиолокационных изображений играет подход [21, 22], основанный на кластеризации пикселей снимков. Данный метод обеспечивает эффективную интеграцию и семантическую сегментацию разноракурсных радиолокационных

данных, что критически важно для последующего применения нейросетевых архитектур в задачах классификации подстилающих поверхностей [23].

Для эффективного применения нейросетевых технологий требуется проведение исследований в следующих направлениях:

- собрать, создать и разметить наборы данных (датасеты), требуемые для обучения, включающие разнообразные и качественные данные, необходимые для построения эффективных нейросетевых моделей;
- осуществить синтез данных для расширения существующих наборов и повышения репрезентативности обучающих выборок;
- разработать систему обучения, дообучения и переобучения моделей непосредственно на конечных устройствах, установленных на авиационных системах бортового контроля.

В целом в задачах, требующих прогнозирования положения ФНО во времени, возникает необходимость работы с временными характеристиками данных. Традиционные рекуррентные сети, такие как LSTM и GRU, обладают достаточной адаптивностью для обработки последовательных данных. Но в условиях повышенных требований к вычислительной эффективности перспективным решением является использование трансформеров – моделей машинного обучения. Их способность обрабатывать как пространственную, так и временную информацию делает их предпочтительным выбором для задач прогнозирования, решаемых в режиме реального времени.

Для повышения точности обработки разноракурсных данных важно учитывать специфику каждой задачи. Например, анализ передней зоны обзора требует особого подхода к работе с данными высокой частоты, где оптимизация архитектуры сети играет ключевую роль. В частности, комбинированное использование СНС и трансформеров позволяет одновременно учитывать пространственные и временные характеристики, что обеспечивает улучшение точности распознавания и прогнозирования динамики объектов.

Выбор архитектуры нейросетей должен основываться на детальном анализе характеристик данных, включая их разрешение, структуру, объем и требования к времени обработки. Такой подход позволяет определить оптимальную модель, которая обеспечит высокую точность и надежность работы системы в условиях, характерных для ПРС МБРЛС.

Использование адаптированных решений гарантирует достижение ключевых параметров системы:

- оперативность обработки данных;
- высокая точность распознавания объектов;
- надежность функционирования в реальных условиях эксплуатации.

Развитие подходов к выбору и адаптации архитектур нейросетей открывает новые возможности для повышения оперативности поиска и достоверности распознавания объектов интереса. В рамках научно-технического проекта планируется совершенствование как теоретических, так и прикладных аспектов обработки потоковой информации в пространственно-распределенных и гибридных системах. Эти комплексы будут адаптированы для мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с использованием искусственного интеллекта и анализа больших объемов данных в реальном времени.

Заключение

Таким образом, для расширения функциональных возможностей отдельных МБРЛС в рамках предложенной концепции следует объединять их во взаимодействующую группу, состоящую как минимум из двух позиций. Расширение на три и более позиций нецелесообразно с экономической точки зрения, так как влечет значительные затраты производственных, временных и человеческих ресурсов. Поэтому в новой концепции предлагается использовать две МБРЛС, объединенные во взаимодействующую группу. При этом, усложняя незначительно аппаратную их часть новыми модульными устройствами (больше в части сугубо аппаратурой связи), значительно усложняя алгоритмическое и программное обеспечение путем комплексной обработки разноракурсных данных. За счет этого обеспечивается следующее расширение функциональных возможностей данной системы с групповым техническим зрением.

1. Увеличение разрешения радиолокационных видеокadres в ПЗО на борту каждой малогабаритной РЛС за счет реализации разноракурсного наблюдения в двухпозиционной системе группового технического зрения за этой передней зоной. Увеличение разрешения, в свою очередь, позволяет распознавать наземные объекты до уровня типа, то есть обеспечить автоматизированность процесса контроля зон с ЧС за счет нейросетевых методов распознавания наземных

объектов и классификации подстилающей поверхности.

2. Достоверность и полнота формируемых данных для реализации автоматизированного контроля зон ЧС в условиях ограниченной видимости и деструктивных воздействий на систему группового технического зрения, что реализуется путем модификации методов технического зрения с учетом специфики, поступающих радиолокационных данных.

3. Оперативность процесса контроля при выполнении полетного задания в зону с ЧС за счет способности системы обнаруживать и определять координаты объектов в процессе формирования каждого видеокadra, за счет межкадровой обработки, реализации контроля территорий с ЧС в ПЗО по курсу движения их носителей. При таком обзоре носителям малогабаритных РЛС не требуется выполнять дополнительные маневры, например разворот при мониторинге подстилающей поверхности.

Такой концептуальный подход особенно актуален для задач спасательных операций, например, при сходе снежных лавин или селевых потоков, где требуется оперативное построение карт местности и определение зон нахождения людей.

Выводы

В ходе выполнения исследования получены следующие результаты.

Сформулированы и проанализированы современные требования, предъявляемые к авиационным системам оперативного контроля земной поверхности.

Рассмотрены вопросы построения пространственно-распределенной оперативной системы группового технического зрения, что является практической стороной вопроса реализации общей концепции групповой авиационной системы технического зрения.

Представлен четырехэтапный метод радиолокационного формирования и комплексной обработки видеопотока РЛК в пространственно-распределенной системе группового технического зрения, что является теоретической стороной вопроса реализации той же общей концепции и приведены особенности применения нейросетевого обучения для анализа результатов комплексной обработки последовательностей радиолокационных видеокadres.

Интеграция наблюдаемых данных в прогнозные алгоритмы обеспечивает точное и всепогодное отображение обстановки, адаптированное к условиям реального времени.

Библиографические ссылки

1. Carrillo J., Borda K. (2021). Recent Advances in Artificial Intelligence and Computer Vision for Unmanned Aerial Vehicles: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, pp. 7959-7962 [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553713 (accessed: 10.01.2025).
2. Arafat Muhammad Yeasir, Alam Muhammad, Moh Sangman (2023). Vision-Based Navigation Techniques for Unmanned Aerial Vehicles: Review and Challenges: Drones [Electronic resource]. Available at: 10.3390/drones7020089 (accessed: 10.01.2025).
3. Методика обоснования требований к точности воспроизведения начальной частоты сигналоподобных помех бортовым радиолокационным станциям / Р. В. Антипенский, А. А. Волков, А. А. Донцов, Е. Е. Назаров // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2021. № 20. С. 244–253.
4. Подход научного обоснования требований к точности позиционирования высокоскоростных автономных подвижных объектов / В. К. Снежко, С. А. Якушенко, С. О. Бурлаков, С. С. Веркин, Е. В. Чеканова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 7-2 (94). С. 212–217. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-7-2-212-217
5. Оптико-электронная корреляционно-экстремальная навигационная система малого беспилотного летательного аппарата / А. А. Шейников, В. А. Малкин, Э. А. Смоленский, Л. А. Иваницкий // Системный анализ и прикладная информатика. 2024. № 2. С. 30–40. DOI: 10.21122/2309-4923-2024-2-30-40
6. Перспективные направления применения беспилотных авиационных систем в лесном комплексе / Н. А. Коршунов, В. А. Савченкова, А. В. Перминов, М. Е. Конюшенков // Лесохозяйственная информация. 2022. № 2. С. 34–46.
7. Численное моделирование роевого алгоритма планирования пути в двухмерной некартографированной среде / В. А. Костюков, И. М. Медведев, М. Ю. Медведев, В. Х. Пшихопов // Вестник Южно-Уральского университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2024. Т. 16, № 2. С. 26–40.
8. Пшихопов В. Х., Медведев М. Ю. Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов // Труды СПИИРАН. 2018. № 5 (60). С. 39–63. DOI: https://doi.org/10.15622/sp.60.2
9. Van Der Sluijs J., Saiet E., Bakelaar C., Wentworth A., Fraser R., Kokelj S. (2023). Beyond visual-line-of-sight (BVLOS) drone operations for environmental and infrastructure monitoring: a case study in north-western Canada. Drone Systems and Applications [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.1139/dsa-2023-0012 (accessed: 10.01.2025).
10. Stuart M., McGonigle A., Willmott J. (2019). Hyperspectral Imaging in Environmental Monitoring: A Review of Recent Developments and Technological Advances in Compact Field Deployable Systems. Sensors [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.3390/s19143071 (accessed: 10.01.2025).
11. Zaslavskiy M., Kryzhanovskiy K., Ivanov D. (2023). Development of an Environmental Monitoring System Based on Spatial Marking and Machine Vision Technologies. Journal of the Russian Universities: Radioelectronics Sensors [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.32603/1993-8985-2023-26-4-56-69 (accessed: 10.01.2025).
12. Yang N., Li B. (2020). UAV-based Regional Environmental Monitoring IoT System. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Sensors [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.1088/1755-1315/461/1/012061 (accessed: 10.01.2025).
13. Методы обработки визуальной информации для навигации безэкипажного судна / П. А. Гессен, А. И. Лизин, В. А. Павлова, В. А. Тупиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 6. С. 66–76.
14. Король Д. Г., Темченко В. С. Исследование цилиндрической конформной антенной решетки с печатным излучателем для БПЛА // Труды МАИ. 2023. № 129. С. 14.
15. Shepeta A.P., Nenashev V.A. (2020). Accuracy characteristics of object location in a two-position system of small onboard radars // Информационно-управляющие системы, № 2 (105). С. 31–36.
16. Разработка и исследование интеллектуальной пространственно-распределенной многосенсорной системы мониторинга земной и морской поверхности, реализуемого средствами малой корабельной авиации / В. А. Ненашев, К. Ю. Рыжов, С. А. Ненашев, Е. К. Григорьев, М. Ю. Григоров // Труды Крыловского государственного научного центра. 2023. № S1. С. 45–56.
17. Совмещение сформированных радиолокационных изображений с цифровой картой местности в бортовых системах оперативного мониторинга земной поверхности / А. А. Сенцов, В. А. Ненашев, С. А. Иванов, Е. Л. Турнецкая // Труды МАИ. 2021. № 117. С. 8.
18. Ненашев В. А., Сенцов А. А. Пространственно-распределенные системы радиолокационного и оптического мониторинга : монография. СПб. : ГУАП, 2022. 191 с.
19. Nenashev V.A., Sentsov A.A., Shepeta A.P. (2019) Formation of Radar Image the Earth's Surface in the Front Zone Review Two-Position Systems Airborne Radar: Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), Saint-Petersburg, Russia, 2019, pp. 1-5 [Electronic resource]. Available at: http://doi.org/10.1109/weconf.2019.8840641 (accessed: 10.01.2025).
20. Патент 2703996 РФ, МПК G01S 13/90. Способ локации целей в передних зонах обзора бортовых радиолокационных станций двухпозиционной радиолокационной системы / Г. А. Коржавин, В. А. Ненашев, А. П. Шепета, Ю. Ф. Подоплекин, А. Г. Давинчук (РФ). 2019.
21. Ненашев В. А., Ханыков И. Г. Формирование комплексного изображения земной поверхности на основе кластеризации пикселей локационных снимков в многопозиционной бортовой системе // Ин-

форматика и автоматизация. 2021. Т. 20, № 2. С. 302–340. DOI: 10.15622/ia.2021.20.2.3

22. Звонарев И. С., Караваев Ю. Л. Нейросетевой алгоритм обучения мобильного робота в задаче следования за целью // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 2. С. 4–14. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-2-4-14

23. Ненашев В. А. Классификация поверхностей по видеокдрам с применением авиационных систем группового технического зрения // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2025. № 2 (243). С. 126–129. DOI: 10.22184/1992-4178.2025.243.2.126.129

References

- Carrillo J., Borda K. (2021). Recent Advances in Artificial Intelligence and Computer Vision for Unmanned Aerial Vehicles: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, pp. 7959-7962 [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553713 (accessed: 10.01.2025).
- Arafat Muhammad Yeasir, Alam Muhammad, Moh Sangman (2023). Vision-Based Navigation Techniques for Unmanned Aerial Vehicles: Review and Challenges: Drones [Electronic resource]. Available at: 10.3390/drones7020089 (accessed: 10.01.2025).
- Antipensky R.V., Volkov A.A., Dontsov A.A., Nazarov E.E. (2021) [Methodology for Substantiating Accuracy Requirements for Reproducing the Initial Frequency of Signal-like Interference for Airborne Radar Stations]. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, no. 20, pp. 244-253 (in Russ.).
- Snezhko V.K., Yakushenko S.A., Burlakov S.O., Verkin S.S., Chekanova E.V. (2024) [Scientific Approach to Justifying Positioning Accuracy Requirements for High-Speed Autonomous Moving Objects]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, no. 7-2 (94), pp. 212-217. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-7-2-212-217 (in Russ.).
- Sheinikov A.A., Malkin V.A., Smolensky E.A., Ivantsky L.A. (2024) [Optical-Electronic Correlation-Extreme Navigation System for Small Unmanned Aerial Vehicles]. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika*, no. 2, pp. 30-40. DOI: 10.21122/2309-4923-2024-2-30-40 (in Russ.).
- Korshunov N.A., Savchenkova V.A., Perminov A.V., Konyushenkov M.E. (2022) [Promising Applications of Unmanned Aerial Systems in the Forestry Sector]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*, no. 2, pp. 34-46 (in Russ.).
- Kostyukov V.A., Medvedev I.M., Medvedev M.Yu., Pshikhov V.Kh. (2024) [Numerical simulation of swarm path planning algorithm in a two-dimensional unmapped environment]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika*, vol. 16, no. 2, pp. 26-40 (in Russ.).
- Pshikhov V.Kh., Medvedev M.Yu. (2018) [Group control of mobile robots movement in uncertain environments using unstable modes]. *Proceedings of SPIIRAS*, vol. 5, no. 60, pp. 39-63. DOI: 10.15622/sp.60.2 (in Russ.).
- Van Der Sluijs J., Sait E., Bakelaar C., Wentworth A., Fraser R., Kokelj S. (2023). Beyond visual-line-of-sight (BVLOS) drone operations for environmental and infrastructure monitoring: a case study in north-western Canada. *Drone Systems and Applications* [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.1139/dsa-2023-0012 (accessed: 10.01.2025).
- Stuart M., McGonigle A., Willmott J. (2019). Hyperspectral Imaging in Environmental Monitoring: A Review of Recent Developments and Technological Advances in Compact Field Deployable Systems. *Sensors* [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.3390/s19143071 (accessed: 10.01.2025).
- Zaslavskiy M., Kryzhanovskiy K., Ivanov D. (2023). Development of an Environmental Monitoring System Based on Spatial Marking and Machine Vision Technologies. *Journal of the Russian Universities: Radioelectronics Sensors* [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.32603/1993-8985-2023-26-4-56-69 (accessed: 10.01.2025).
- Yang N., Li B. (2020). UAV-based Regional Environmental Monitoring IoT System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Sensors* [Electronic resource]. Available at: doi.org/10.1088/1755-1315/461/1/012061 (accessed: 10.01.2025).
- Gessen P.A., Lizin A.I., Pavlova V.A., Tupikov V.A. (2023) [Methods for Processing Visual Information for Unmanned Vessel Navigation]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, no. 6, pp. 66-76 (in Russ.).
- Korol D.G., Temchenko V.S. (2023) [Study of Cylindrical Conformal Antenna Array with Printed Radiator for UAVs]. *Trudy MAI*, no. 129, p. 14 (in Russ.).
- Shepeta A.P., Nenashev V.A. (2020) Accuracy Characteristics of Object Location in a Two-Position System of Small Onboard Radars. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy*, no. 2 (105), pp. 31-36.
- Nenashev V.A., Ryzhov K.Yu., Nenashev S.A., Grigoryev E.K., Grigorov M.Yu. (2023) [Development and Research of an Intelligent Spatially Distributed Multisensor Monitoring System for Land and Sea Surfaces]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*, no. S1, pp. 45-56 (in Russ.).
- Sentsov A.A., Nenashev V.A., Ivanov S.A., Turnetskaya E.L. (2021) [Matching Formed Radar Images with a Digital Terrain Map in Onboard Systems for Operational Monitoring of the Earth's Surface]. *Trudy MAI*, no. 117, p. 8 (in Russ.).
- Nenashev V.A., Sentsov A.A. (2022) [Spatially distributed systems of radar and optical monitoring]. *St. Petersburg: GUAP*, 191 p. (in Russ.).
- Nenashev V. A., Sentsov A. A., Shepeta A. P. (2019) Formation of Radar Image the Earth's Surface in the Front Zone Review Two-Position Systems Airborne Radar: Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), Saint-Petersburg, Russia, 2019, pp. 1-5 [Electronic resource]. Available at: http://doi.org/10.1109/weconf.2019.8840641 (accessed: 10.01.2025).

20. Pat. 2703996 RF, IPC G01S 13/90. Method of target location in the forward viewing zones of onboard radar stations of a two-position radar system / G.A. Korzhavin, V.A. Nenashev, A.P. Shepeta, Yu.F. Podoplekin, A.G. Davinchuk (RF). 2019.

21. Nenashev V.A., Khanykov I.G. (2021) [Formation of a complex image of the earth's surface based on clustering of pixels of location images in a multi-position on-board system]. *Informatika i avtomatizacija*, vol. 20, no. 2, pp. 302-340. DOI: 10.15622/ia.2021.20.2.3 (in Russ.).

22. Zvonarev I.S., Karavaev Yu.L. (2024) [Neural network algorithm for training a mobile robot in the task of following a target]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, vol. 27, no. 2, pp. 4-14. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-2-4-14 (in Russ.).

23. Nenashev V.A. (2025) [Classification of surfaces from video frames using aviation systems of group technical vision]. *Jelektronika: Nauka, tehnologija, biznes*, no. 2 (243), pp. 126-129. DOI: 10.22184/1992-4178.2025.243.2.126.129 (in Russ.).

Concept for Implementing a Group Aviation Technical Vision System

V.A. Nenashev, PhD in Engineering, Associate Professor, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

This paper presents a concept for the design of a group aviation technical vision system aimed at ensuring high-precision and prompt monitoring under conditions of limited visibility and complex radar environments. The proposed concept is based on the use of spatially distributed systems of compact airborne radar stations, integrated into an interacting group. Within this interacting group, transmission and processing of multi-angle data are carried out using inter-frame processing methods, neural network tools, and technical vision technologies. Special attention is given to the implementation of front-zone illumination, which enables the formation of a sequence of high-resolution radar video frames. The interrelation of all functional units within the proposed concept is demonstrated, including algorithms for trajectory control of small unmanned aerial vehicles, formation and processing of radar video frame sequences, and their intelligent analysis. The aim of this research is to develop a novel concept for the design and operation of a group aviation technical vision system composed of spatially distributed compact airborne radar stations, capable of collectively ensuring the required responsiveness and automation in the process of video frame sequence generation and intelligent processing, while simultaneously achieving the necessary resolution, reliability, and completeness of situational awareness in the forward observation zones. As a result, a concept is proposed for an aviation technical vision system that enables radar-based formation and comprehensive processing of video frames, including neural network-based analysis of the results of this integrated processing. The developed concept of group technical vision is applicable to search and rescue operations, environmental monitoring of terrestrial surface areas, and assessment of the scale and development of natural and man-made emergency situations.

Keywords: group technical vision, multi-angle video frames, neural network technologies, radar frames, terrestrial surface area monitoring, small unmanned aerial vehicles.

Получено 07.02.2025

Образец цитирования

Ненасhev В. А. Концепция реализации групповой авиационной системы технического зрения // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2025. Т. 28, № 1. С. 99–109. DOI: 10.22213/2413-1172-2025-1-99-109

For Citation

Nenashev V.A. (2025) [Concept for Implementing a Group Aviation Technical Vision System]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 28, no. 1, pp. 99-109 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2025-1-99-109