

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ SLAM В БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБСТАНОВКИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Шамсудинов Г.Ю., Яровой В.Ю., Михайлова А.К.

Цель. Концептуальное обоснование и анализ применения систем SLAM в беспилотных авиационных средствах для точного 3D- и 4D-картирования объектов и местности в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) с целью предоставления оперативной и точной информации руководителю ликвидации чрезвычайной ситуации (РЛЧС).

Методы. Обзор существующих архитектур SLAM, анализ методов слияния данных¹ от нескольких сенсоров, сравнение алгоритмов (LOAM, LeGO-LOAM, LIO-SAM и др.) на основе литературных источников, концептуальная оценка результатов с использованием метрик точности картирования, разрешения моделей и устойчивости к помехам.

Результаты. Проанализированы мультисенсорные SLAM-системы, демонстрирующие потенциал для создания высокоточных 3D-моделей объектов и местности в экстремальных условиях. Установлено, что применение SLAM для оперативного картирования в ЧС позволяет повысить точность информации для РЛЧС, сократить время принятия управленческих решений и минимизировать риски при ликвидации ЧС.

Область применения исследований. Полученные концептуальные выводы могут быть использованы для разработки стратегий внедрения SLAM-систем в беспилотные авиационные средства для мониторинга и моделирования зон чрезвычайной ситуации, информационные системы для руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации, а также для решения других задач в области безопасности жизнедеятельности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, SLAM-метод, беспилотные авиационные средства, ликвидация ЧС, инновационные технологии.

(Поступила в редакцию 27 января 2026 г.)

Введение

Чрезвычайные ситуации представляют серьезную угрозу для жизни людей, объектов инфраструктуры и окружающей среды. В этих условиях эффективность принятия решений руководителем ликвидации чрезвычайной ситуации во многом определяется полнотой, точностью и оперативностью информации о зоне бедствия. Недостаточность или запаздывание таких данных затрудняет оценку обстановки, увеличивает время реагирования, повышает риск для личного состава и снижает эффективность применения сил и средств. В связи с этим одной из важных задач является получение достоверной пространственной информации, позволяющей быстро оценивать состояние объектов, характер разрушений и возможные опасные зоны.

В системе МЧС России беспилотные авиационные средства (БАС) активно используются для получения пространственной информации в ЧС. БАС позволяют проводить разведку в труднодоступных районах, минимизируя риски для спасателей, и уже интегрированы в практику оперативного реагирования [1]. Вместе с тем большинство существующих БАС оснащены полезной нагрузкой в виде широкоугольных камер или тепловизоров, которые обеспечивают получение визуальной и тепловой информации. Несмотря на их эффективность для первичного обзора и выявления источников тепла, такие средства не всегда позволяют сформировать целостное пространственное представление об обстановке, поскольку не обеспечивают точного определения пространственной информации о помещениях, структуре объектов и изменениях среды во времени.

Для повышения информативности воздушной разведки в условиях ЧС необходимы технологии, способные не только фиксировать отдельные визуальные признаки, но и формировать пространственную модель окружающей среды с одновременным определением положения

¹ Слияние данных (от англ. Data fusion) – данные от нескольких сенсоров, например, LIDAR (англ. Light Detection and Ranging – обнаружение и определение дальности с помощью света) для расстояний, IMU (англ. Inertial Measurement Unit – инерциальный измерительный блок) для движения, камеры для текстур, которые смешиваются, чтобы робот или дрон лучше ориентировался в сложных условиях.

беспилотной платформы. Одним из наиболее перспективных подходов к решению данной задачи являются методы одновременной локализации и картирования – SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Эти методы позволяют строить карту местности или объекта в реальном времени без заранее подготовленной модели среды, одновременно оценивая текущее положение носителя сенсоров.

Среди существующих решений особый интерес представляют системы SLAM на основе 3D LIDAR, поскольку они позволяют формировать точные облака точек и трехмерные модели объектов и местности [2]. Однако в условиях густого дыма, пыли и других аэрозольных помех применение таких систем осложняется из-за рассеяния лазерных импульсов на взвешенных частицах, что приводит к потере точек, росту шума и ухудшению качества карты. В связи с этим для сценариев, связанных с пожарами, обрушениями и ограниченной видимостью, требуется анализ сенсорных решений, способных обеспечить более устойчивое картирование в неблагоприятной обстановке.

Основная часть

Анализ предметной области. Учитывая высокую распространенность и разнообразие ЧС природного и техногенного характера, связанных с пожарами, наводнениями, землетрясениями, химическими авариями и иными факторами, сопровождающимися сложными условиями видимости, динамическими изменениями местности и наличием препятствий, авторами были выделены две ключевые категории сценариев ЧС, наиболее часто требующие точной информации РЛЧС для эффективной ликвидации последствий:

– пожары, обрушения зданий и техногенные аварии на промышленных объектах, связанные с их последствиями: ситуации с высокой температурой, частичным или полным разрушением конструкций, ограниченной видимостью, наличием опасных веществ и деформированных элементов инфраструктуры, где требуется детальное моделирование очагов возгорания, зон распространения огня, сохранившихся структур, а также точек разрушения [3]. Системы SLAM особенно перспективны в таких условиях, поскольку могут использовать не только лидарное сканирование, но и радарное зондирование, позволяющее получать плотные облака точек даже сквозь дым и пыль, выявляя скрытые повреждения, неустойчивые элементы и потенциально опасные зоны [4]. Кроме того, анализ облаков точек в реальном времени, особенно в мультисенсорной конфигурации с тепловизорами или широкоугольными камерами, дает возможность обнаруживать наличие людей и их примерное местоположение через идентификацию тепловых признаков, движущихся объектов или антропоморфных форм в заваленных или частично задымленных помещениях. На рисунке 1 представлен пример визуализации помещений;

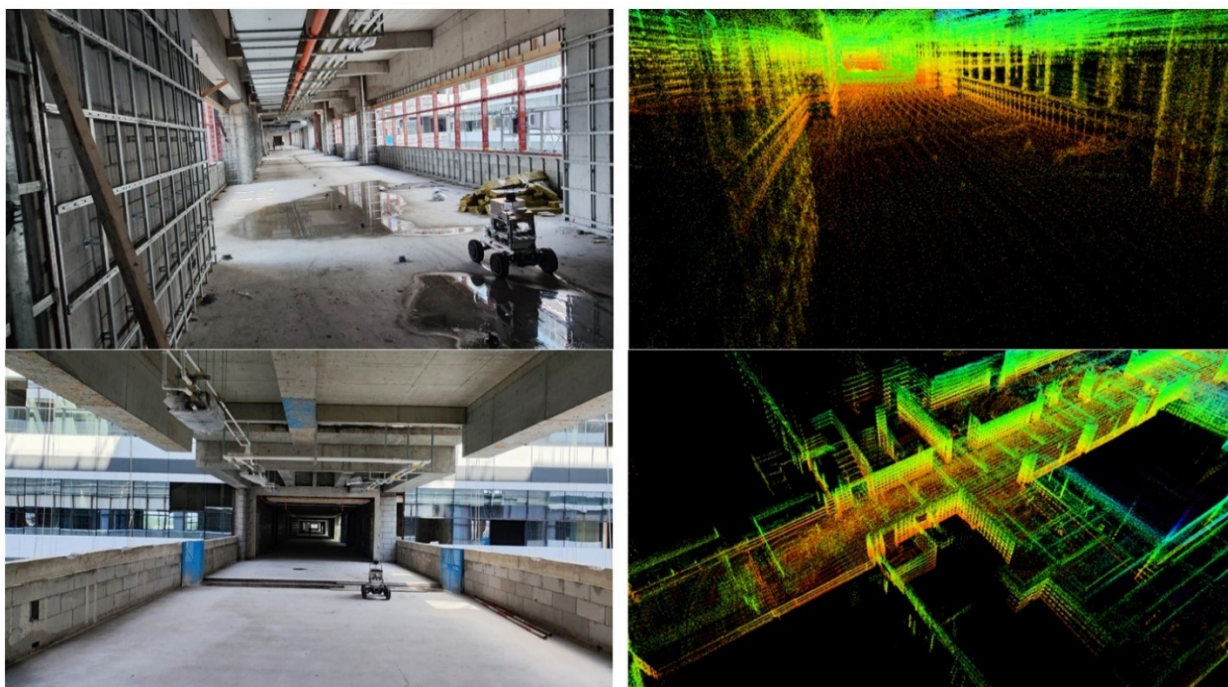


Рисунок 1. – Пример построения трехмерной модели внутреннего пространства с помощью LIDAR-SLAM

– природные катастрофы гидрологического и геологического характера (наводнения, землетрясения, оползни и обвалы): зоны с затоплением, разрушенными зданиями и неустойчивым рельефом, где необходимо быстрое построение 3D-моделей для оценки повреждений инфраструктуры, поиска пострадавших и определения безопасных маршрутов спасательных формирований.

Данный выбор категорий обусловлен следующими критериями:

– высокая частота встречаемости в ЧС природного и техногенного характера на территории Российской Федерации и в мире, включая риски, связанные с нарушениями промышленной, пожарной и экологической безопасности;

– необходимость оперативности и точности получения пространственной информации для принятия решений в условиях ограниченного времени, массового характера последствий и дефицита ресурсов.

С учетом указанных требований возникает необходимость сравнительного анализа современных алгоритмов и сенсорных конфигураций SLAM с точки зрения их применимости к задачам ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Сравнительный анализ современных алгоритмов SLAM. В настоящее время наиболее распространенными и актуальными решениями для SLAM в автономных системах, включая БАС, являются системы на основе 3D LIDAR с мультисенсорным слиянием. Как показано в обзоре X. Xu (2022) [2], ключевые алгоритмы включают LOAM, LeGO-LOAM, LIO-SAM и их вариации. Эти системы эффективны для высокоточного 3D-картирования в структурированных и частично динамичных средах, но имеют ограничения в условиях плотного дыма, типичных для пожаров: лазерные импульсы LIDAR рассеиваются на частицах дыма и пыли, что приводит к потере точек, шуму в облаках точек и деградации регистрации [4].

Для преодоления этих ограничений развиваются альтернативные подходы на базе ультразвуковых сенсоров, которые лучше проникают сквозь дым [4]. В таблице 1 представлено сравнение ключевых решений высокоточного 3D-картирования.

Таблица 1. – Сравнение существующих SLAM-решений с учетом применимости для пожарной охраны

Алгоритм	Основные сенсоры	Преимущества	Недостатки	Применимость для пожарной охраны
LOAM [5]	Лидар	Средняя позиционная ошибка 0,88 % на KITTI; в экспериментах авторов относительная ошибка дрейфа 0,9–2,8 %	Работа в задымленной среде не исследована; зависит от качества лидарных данных	Подходит для картирования при достаточной видимости; для плотного дыма применимость не подтверждена
LeGO-LOAM [6]	Трехмерный лидар	Для базовой версии: средняя абсолютная ошибка траектории 5,37 м, средняя относительная ошибка траектории 0,061	Испытания проведены не для пожаров и не для задымленной среды	Может использоваться в сложной геометрической обстановке, но прямых подтверждений нет
LIO-SAM [7]	Лидар + данные изображения	Предложено улучшение за счет использования информации изображения, семантических и скоростных признаков	По доступному источнику не подтверждены численные показатели дрейфа и ошибки траектории	Перспективен для динамической среды, но для пожарной охраны требует дополнительного обоснования
SuMa [8]	3-мерный лидар	Плотное лидарное картирование и глобально согласованная карта	Работа в условиях пожара и дыма не анализировалась	Пригоден для точного картирования при хорошей видимости
FirebotSLAM [9]	Тепловизионная камера	Построение трехмерной карты и оценка движения только по тепловизионным изображениям; ориентирован на задымленную среду	Сложность выделения устойчивых признаков на тепловизионных изображениях; хуже видны холодные объекты	Один из наиболее релевантных методов для пожаров в помещениях и ограниченной видимости
4DRT-SLAM [10]	4-мерный радар + тепловизионная камера	Оценка по абсолютной и относительной ошибке; метод специально разработан для среды с дымом	Ошибка возрастает на поворотах; в неструктурированной среде результаты хуже	Один из наиболее перспективных методов для пожарной охраны, но требует дальнейшей проверки на БАС

Продолжение таблицы 1

Алгоритм	Основные сенсоры	Преимущества	Недостатки	Применимость для пожарной охраны
Range-SLAM [11]	Сверхширокополосная система позиционирования	Может использоваться для локализации в неблагоприятных условиях	Требует уточнения условий развертывания; не заменяет полноценное трехмерное картирование	Возможен для локализации в помещениях
Ultrasonic-based SLAM [12]	Ультразвуковые датчики	Низкая стоимость и работоспособность при ограниченной видимости	Ограниченная дальность и меньшая детализация карты	Подходит для локальных задач в небольших помещениях; для БАС возможности ограничены

Из представленного сравнения следует, что для задач пожарной охраны наибольший интерес представляют методы, ориентированные на работу в условиях задымления и ограниченной видимости. К числу таких решений относятся FirebotSLAM и 4DRT-SLAM, поскольку в их основе лежит использование сенсоров, менее чувствительных к факторам среды, которые затрудняют применение классических лидарных и визуальных систем.

FirebotSLAM [9] представляет собой подход к одновременной локализации и картированию, основанный на использовании тепловизионных изображений. Его особенностью является построение трехмерной карты и оценка перемещения по данным тепловизионной камеры, что позволяет применять метод в условиях задымления, когда обычные оптические средства наблюдения теряют информативность. Такой подход может быть полезен при обследовании внутренних помещений, поиске очагов горения и выявлении участков с повышенной температурой. Вместе с тем возможности метода ограничены особенностями тепловизионных данных: холодные объекты и элементы сцены с низким температурным контрастом могут отображаться менее отчетливо, чем при использовании лидарных систем или обычных камер. Отображение препятствий в алгоритме FirebotSLAM представлено на рисунке 2.

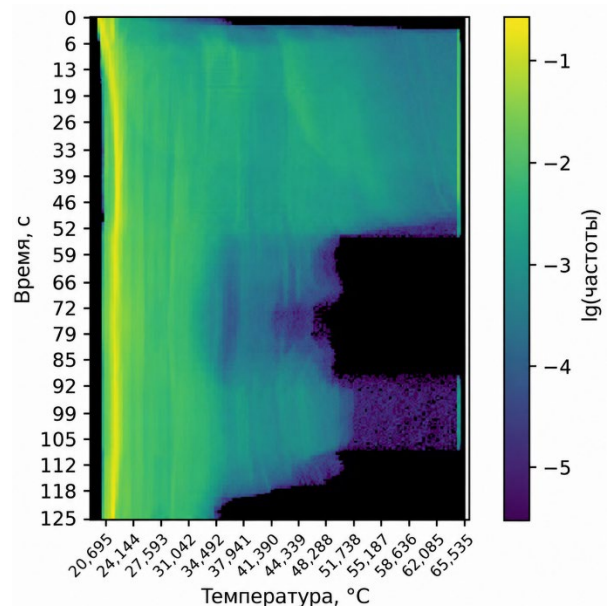


Рисунок 2. – Карта распределения температурных данных в алгоритме FirebotSLAM: зависимость логарифма частоты встречаемости температурных значений от температуры и времени наблюдения [10]

4DRT-SLAM [10] основан на совместном использовании четырехмерного радара и тепловизионной камеры. В отличие от методов, построенных только на лидарных или оптических данных, данный подход ориентирован на работу в среде с дымом и ограниченной видимостью. Радиолокационные данные позволяют получать информацию о структуре сцены в условиях, при которых лазерное сканирование и обычная видеосъемка становятся менее надежными, а тепловизионная камера дополняет эту информацию сведениями о температурных особенностях объектов. В результате метод может рассматриваться как перспективный для картирования задымленных помещений, выявления препятствий и повышения полноты информации о текущей обстановке. При этом авторы отмечают, что точность работы системы зависит от характера сцены: в неструктурированной среде и при маневрах с поворотами ошибка возрастает, поэтому данный инструмент предпочтительно использовать в больших помещениях или на открытых территориях. Работа радара и тепловизора 4DRT-SLAM представлена на рисунке 3.

Рассмотренные особенности 4DRT-SLAM, а также ранее проанализированного FirebotSLAM, показывают, что для повышения качества разведки в условиях чрезвычайных ситуаций наибольший интерес представляют мультисенсорные SLAM-системы, обеспечивающие построение пространственной модели обстановки в реальном времени. Их применение позволяет повысить точность 3D-моделирования, устойчивость к помехам и полноту

данных, используемых при принятии управленческих решений. Это важно в условиях ограниченной видимости, когда своевременное картирование пространства способствует снижению ошибок позиционирования, уточнению структуры опасной зоны и более обоснованной оценке рисков, включая вероятность повторных обрушений. Подобный подход соответствует современным зарубежным тенденциям в области аварийно-спасательных технологий, связанным с использованием интеллектуального слияния сенсорных данных для повышения эффективности действий в сложной обстановке [11].

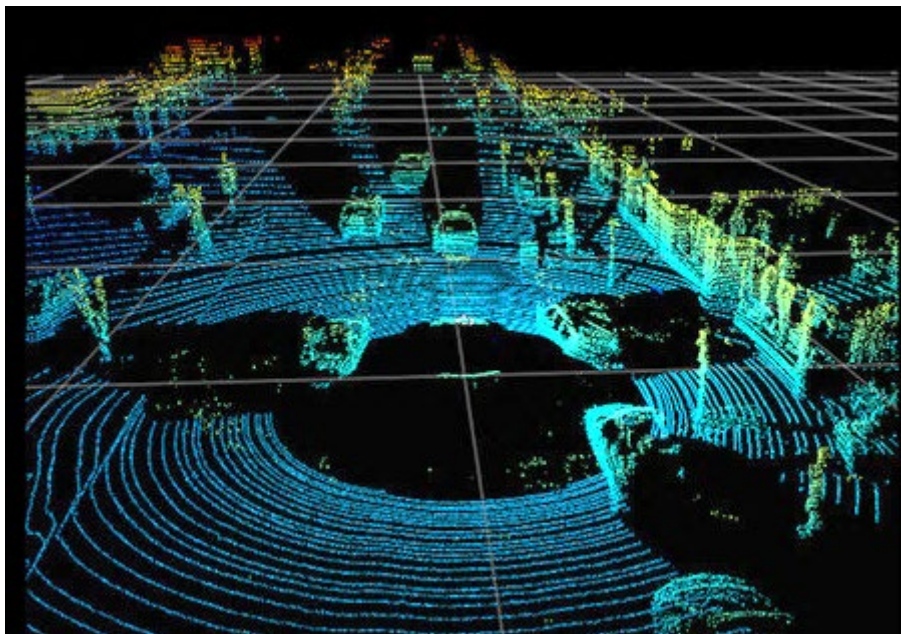


Рисунок 3. – Пример работы метода 4DRT-SLAM

С учетом указанных преимуществ представляется целесообразным рассматривать интеграцию систем FirebotSLAM и 4DRT-SLAM с беспилотными авиационными средствами. Такая концепция основана на использовании дронов в качестве мобильных платформ для оперативного сбора данных в реальном времени, их последующей обработки и передачи трехмерных моделей РЛЧС. Оснащение БАС соответствующей полезной нагрузкой – тепловизионными камерами для FirebotSLAM и 4D-радары в сочетании с тепловизорами для 4DRT-SLAM – позволяет частично преодолеть ограничения традиционных LIDAR-систем в условиях густого дыма, пыли и плохой видимости [13]. В результате создаются предпосылки для автономного или полуавтономного применения дронов в интересах разведки, повышения безопасности спасателей и сокращения времени принятия решений.

Точность построения пространственной модели определяется совокупным влиянием ошибок инерциальных измерений, шумов сенсоров и качества замыкания траектории. В условиях дыма и пыли качество лидарных данных может снижаться, что приводит к росту ошибки локализации и ухудшению построенной карты. По этой причине в подобных сценариях представляют интерес сенсорные решения, менее чувствительные к аэрозольным помехам.

В дыму LIDAR увеличивает шум сенсора, делая модель бесполезной, в то время как радары в 4DRT-SLAM минимизируют его, обеспечивая предиктивное картирование рисков, например вероятность обрушения как функцию деформаций. При анализе трехмерной модели объекта информация о деформациях, смещениях и нарушении геометрии конструкций может использоваться для оценки риска повторного обрушения.

Применительно к беспилотным авиационным средствам такой подход может использоваться для выявления участков с повышенной температурой, уточнения конфигурации проходов и препятствий, а также для дополнительной оценки обстановки в помещениях с ограниченной видимостью.

С учетом указанных особенностей и преимуществ рассмотренных мультисенсорных решений представляется целесообразным их интеграция с беспилотными авиационными средствами. Общие принципы такой интеграции включают несколько этапов. На этапе подготовки и запуска беспилотная платформа оснащается необходимыми сенсорами и вычислительными модулями, после чего выполняет взлет в автоматическом или полуавтоматическом

режиме с переходом от GPS-навигации (только при случае работы вне здания) к SLAM-позиционированию в условиях ограниченного доступа. На этапе сбора и обработки данных системы FirebotSLAM и 4DRT-SLAM в реальном времени формируют пространственную модель обстановки: первая – на основе тепловых признаков, вторая – на основе радиолокационного и тепловизионного анализа. На этапе передачи информации полученные трехмерные модели с указанием разрушений, тепловых зон и потенциальных местоположений пострадавших направляются РЛЧС по защищенным каналам связи для предиктивной модели поддержки принятия управленческих решений (по данной информации возможно сделать вывод о будущем ухудшении ситуации ликвидации ЧС).

Выбор сенсорной конфигурации БАС в зависимости от типа пожара. Выбор конкретной сенсорной конфигурации беспилотного авиационного средства определяется не только техническими возможностями платформы, но и типом пожара, характером объекта и условиями разведки. Для пожаров в зданиях и сценариев, сопровождающихся задымлением, разрушением конструкций и ограниченной видимостью, наибольший интерес представляют тепловизионные и радиолокационно-тепловизионные решения, в таких условиях приоритет имеют методы, способные сохранять информативность при наличии дыма и сложной внутренней структуры объекта. С этой точки зрения наиболее перспективным является FirebotSLAM, поскольку ориентирован на использование тепловизионных данных.

Для ландшафтных пожаров и обследования открытых пространств более востребованным может быть 4DRT-SLAM при условии, что задымление не приводит к существенному ухудшению качества данных.

Для техногенных пожаров на промышленных объектах приоритет получает устойчивость системы к дыму, сложной геометрии сцены, наличию технологических препятствий и потенциально опасных зон. В таких условиях наиболее целесообразно применение комбинированных сенсорных решений, обеспечивающих более полное представление об обстановке и повышающих безопасность разведки.

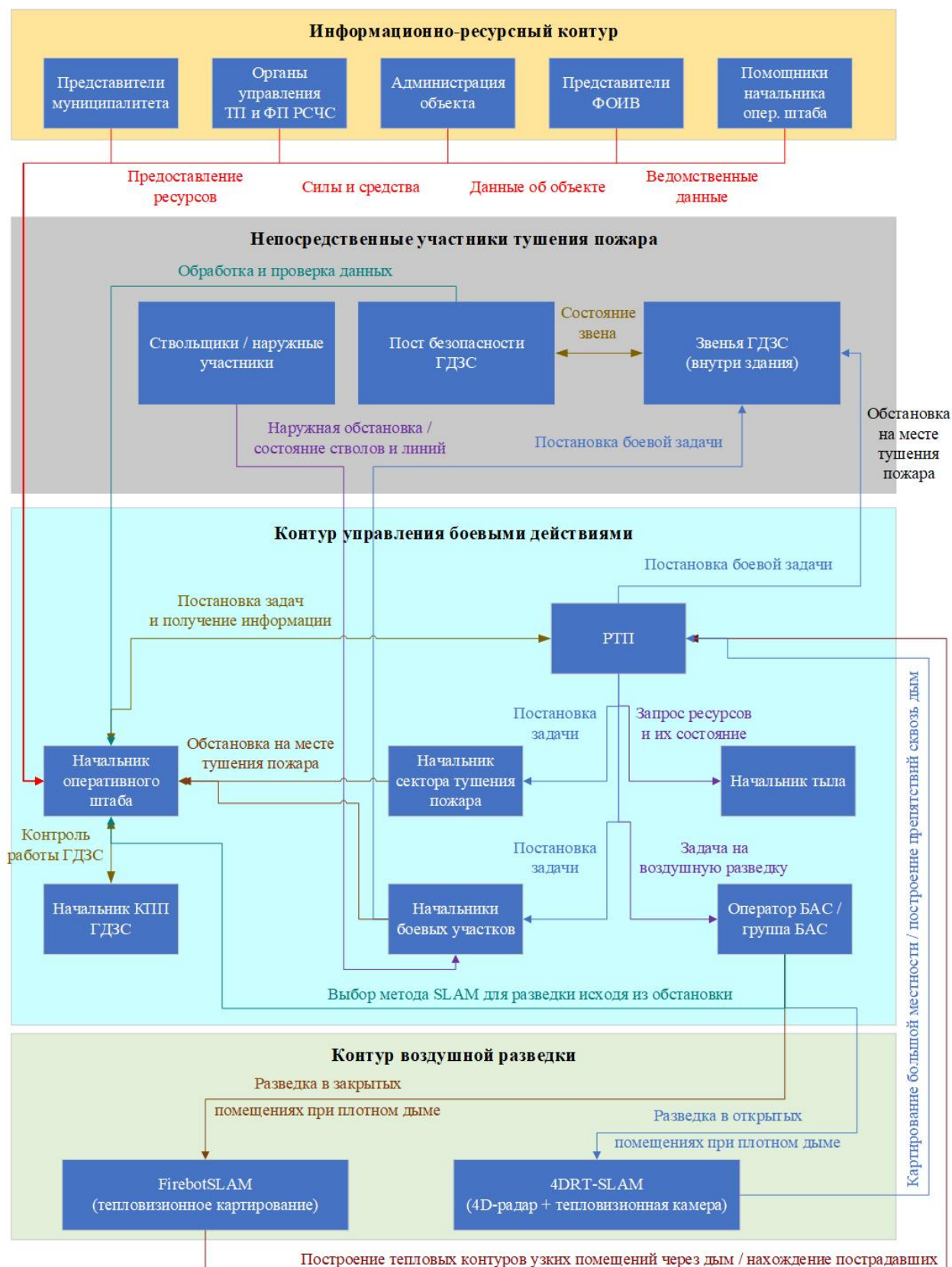
Проведенный анализ показал, что применение FirebotSLAM и 4DRT-SLAM в составе БАС следует рассматривать не только с позиции выбора сенсорной конфигурации, но и как компонент информационно-аналитического обеспечения тушения пожара. Интеграция данных технологий в систему воздушной разведки позволяет расширить объем сведений о текущей обстановке, повысить полноту пространственного представления о зоне пожара и создать основу для последующей предиктивной аналитики. С учетом этого на рисунке 4 представлена структурная схема информационного взаимодействия контуров управления, воздушной разведки и оперативного применения результатов картирования при тушении пожара.

Заключение

В статье рассмотрены современные подходы к применению систем SLAM в беспилотных авиационных средствах для пространственного картирования зоны чрезвычайной ситуации. Проведенный анализ показал, что методы на основе 3D LIDAR обеспечивают высокую точность построения облаков точек и трехмерных моделей в стандартных условиях, однако их применение существенно ограничивается в среде с дымом, пылью и ухудшенной видимостью.

В связи с этим наибольший интерес для задач пожарной охраны представляют решения, ориентированные на использование сенсоров, менее чувствительных к аэрозольным помехам. К таким решениям относятся FirebotSLAM, основанный на применении тепловизионной камеры, и 4DRT-SLAM, использующий совместную обработку данных четырехмерного радара и тепловизионной камеры. Эти методы могут рассматриваться как перспективные для картирования задымленных помещений и повышения полноты информации, поступающей руководителю ликвидации чрезвычайной ситуации.

Практическая значимость проведенного анализа состоит в том, что он позволяет уточнить направления выбора сенсорных и алгоритмических решений для БАС, применяемых при разведке в условиях ограниченной видимости. Вместе с тем для окончательной оценки применимости рассмотренных методов в задачах МЧС России необходимы дальнейшие экспериментальные исследования, включая проверку их работы на беспилотных платформах в условиях, приближенных к реальной обстановке чрезвычайной ситуации.



ТП – территориальные подсистемы; ФП – функциональные подсистемы;
 РСЧС – Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
 ФОИВ – федеральные органы исполнительной власти; ГДЗС – газодымозащитная служба;
 РТП – руководитель тушения пожара; БАС – беспилотные авиационные средства
Рисунок 4. – Структурная схема интеграции технологий FirebotSLAM и 4DRT-SLAM в систему воздушной разведки и информационного сопровождения принятия решений при тушении пожара

ЛИТЕРАТУРА

1. Широков, Г.С. Применение фото- и видеосъемки с использованием БАС в целях решения задач МЧС России / Г.С. Широков, И.В. Сацук // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: материалы VI Всеросс. науч.-практ. конф., Железногорск, 24 мая 2024 г. – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. – С. 293–297. – EDN: LLSMVR.
2. Xu, X. A review of multi-sensor fusion slam systems based on 3D Lidar / X. Xu, L. Zhang, J. Yang, [et al.] // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, No. 12. – Article 2835. – DOI: 10.3390/rs14122835.
3. Кравченко, С.А. Пожар как наиболее вероятная чрезвычайная ситуация в городской среде / С.А. Кравченко // Безопасность городской среды: материалы Межвузовской студенческой научной конференции, Омск, 29 ноября 2013 г. / Омский государственный институт сервиса. – Омск, 2013. – С. 17–19. – EDN: TJRYCN.
4. Яровой, В.Ю. Об особенностях программного обеспечения для средств восстановления видимости звена газодымозащитной службы в задымленной среде / В.Ю. Яровой, Г.Ю. Шамсудинов, В.В. Морозов // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 8 (128). – С. 848–858. – EDN: SCSEPM.
5. Zhang, J. LOAM: Lidar odometry and mapping in real-time / J. Zhang, S. Singh // Robotics: Science and Systems: proc. of X Intern. scientific conf., Berkeley, USA, July 12–16, 2014. – USA, Berkeley, University of California, 2014. – 9 p. – DOI: 10.15607/RSS.2014.X.007.
6. Xue, G. Research on underground coal mine map construction method based on LeGO-LOAM improved algorithm / G. Xue, R. Li, Sh. Liu, J. Wei // Energies. – 2022. – Vol. 15, No. 17. – Article 6256, 17 p. – DOI: 10.3390/en15176256. – EDN: PXAKZC.
7. Meng, X. An improved LIO-SAM algorithm by integrating image information for dynamic and unstructured environments / X. Meng, X. Chen, Sh. Chen [et al.] // Measurement Science and Technology. – 2024. – Vol. 35, No. 9. – Article 096313. – DOI: 10.1088/1361-6501/ad56b1. – EDN: QEEEEYD.
8. Qin, X. SUMA: A partial materialization-based scalable query answering in OWL 2 DL / X. Qin, X. Zhang, M.Q. Yasin [et al.] // Data Science and Engineering. – 2021. – Vol. 6, No. 2. – P. 229–245. – DOI: 10.1007/s41019-020-00150-0. – EDN: HERMAO.
9. van Manen B.R., Sluiter V., Mersha A.Y. FirebotSLAM: Thermal SLAM to increase situational awareness in smoke-filled environments / van Manen B.R., Sluiter V., Mersha A.Y. // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 17. – Article 7611, 25 p. – DOI: 10.3390/s23177611.
10. Zhang, J. 4DRT-SLAM: Robust SLAM in smoke environments using 4D radar and thermal camera based on dense deep learnt features / J. Zhang, R. Xiao, H. Li [et al.] // Proc. of «2023 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)», Penang, Malaysia, June 9–12, 2023. – IEEE, 2023. – P. 19–24. – DOI: 10.1109/CIS-RAM55796.2023.10370026.
11. Dai, Y. Grey Wolf resampling-based Rao-Blackwellized particle filter for mobile robot simultaneous localization and mapping / Y. Dai, M. Zhao // Journal of Robotics. – 2021. – Vol. 2021. – Article 4978984, 9 p. – DOI: 10.1155/2021/4978984. – EDN: EMSUBA.
12. Khan, A. Vision guided robotic inspection for parts in manufacturing and remanufacturing industry / A. Khan, C. Mineo, G. Dobie [et al.] // Journal of Remanufacturing. – 2021. – Vol. 11, No. 1. – P. 49–70. – DOI: 10.1007/s13243-020-00091-x. – EDN: VLCMYB.
13. Cai, X. TrinitySLAM: On-board real-time event-image fusion SLAM system for drones / X. Cai, J. Xu, K. Deng [et al.] // ACM Transactions on Sensor Networks. – 2024. – Vol. 20, No. 6. – Article 121, 22 p. – DOI: 10.1145/3696420. – EDN: TWVDCE.

**Применение систем SLAM в беспилотных авиационных комплексах
для оценки обстановки при чрезвычайных ситуациях**

Using SLAM systems in unmanned aircraft complexes to assess situation in emergencies

Шамсудинов Глеб Юрьевич

Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России (Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Сибирская пожарно-
спасательная академия Государственной
противопожарной службы Министерства
Российской Федерации по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации
последствий стихийных бедствий»), факультет
инженеров пожарной безопасности, курсант

Адрес: ул. Северная, 1,
662972, Железногорск,
Красноярский край, Россия
Email: gleb.shamsudinov@mail.ru
SPIN-код: 9108-2708

Gleb Yu. Shamsudinov

Siberian Fire and Rescue Academy
of EMERCOM of Russia (Federal State Budget
Educational Establishment of Higher Vocational
Training «The Siberian Fire and Rescue Academy
of State Firefighting Service of the Ministry
of Russian Federation for Civil Defense,
Emergencies and Elimination of Consequences
of Natural Disasters»), Faculty of Fire Safety
Engineers, cadet

Address: Severnaya str., 1,
662972, Zheleznogorsk,
Krasnoyarsk Krai, Russia
Email: gleb.shamsudinov@mail.ru
ORCID: 0009-0005-5736-0327

Яровой Вячеслав Юрьевич

Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, кафедра пожарной тактики
и аварийно-спасательных работ, преподаватель

Адрес: ул. Северная, 1,
662972, Железногорск,
Красноярский край, Россия
Email: yarovoiviacheslav@yandex.ru
SPIN-код: 8454-3940

Vyacheslav Yu. Yarovoy

Siberian Fire and Rescue Academy
of EMERCOM of Russia, Chair of Fire Tactics
and Emergency Rescue Operations, Lecturer

Address: Severnaya str., 1,
662972, Zheleznogorsk,
Krasnoyarsk Krai, Russia
Email: yarovoiviacheslav@yandex.ru
ORCID: 0009-0008-9078-107X

Михайлова Анна Константиновна

кандидат медицинских наук

Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, кафедра пожарной тактики
и аварийно-спасательных работ, доцент

Адрес: ул. Северная, 1,
662972, Железногорск,
Красноярский край, Россия
Email: it@sibpsau.ru
SPIN-код: 1569-4127

Anna K. Mikhaylova

PhD in Medical Sciences

Siberian Fire and Rescue Academy
of EMERCOM of Russia, Chair of Fire Tactics
and Emergency Rescue Operations,
Associate Professor

Address: Severnaya str., 1,
662972, Zheleznogorsk,
Krasnoyarsk Krai, Russia
Email: it@sibpsau.ru
ORCID: 0000-0003-3332-3087

USING SLAM SYSTEMS IN UNMANNED AIRCRAFT COMPLEXES TO ASSESS SITUATION IN EMERGENCIES

Shamsudinov G.Yu., Yarovoy V.Yu., Mikhaylova A.K.

Purpose. To conceptually substantiate and analyze the application of SLAM systems in unmanned aerial vehicles for precise 3D and 4D mapping of objects and terrain in emergency situations to provide timely and accurate information to emergency response managers (ERM).

Methods. A review of existing SLAM architectures, analysis of multi-sensor data fusion methods, comparison of algorithms (LOAM, LeGO-LOAM, LIO-SAM, etc.) based on literature sources and a conceptual evaluation of the results using metrics of mapping accuracy, model resolution, and sustainability to interference.

Findings. Multisensor SLAM systems demonstrating the potential for creating highly accurate 3D models of objects and terrain in extreme conditions were analyzed. It has been established that the use of SLAM for operational mapping in emergency situations allows for increasing the accuracy of information for ERM, reducing the time for making management decisions and minimizing risks during emergency response.

Application field of research. The conceptual conclusions obtained can be used to develop strategies for implementing SLAM systems in unmanned aerial vehicles for monitoring and modeling emergency zones, emergency response radar information systems, and for solving other life safety problems.

Keywords: artificial intelligence, SLAM method, unmanned aerial vehicles, emergency response, innovative technologies.

(The date of submitting: January 27, 2026)

REFERENCES

1. Shirokov G.S., Satsuk I.V. Primeneniye foto i video s"yemki s ispol'zovaniyem BAS v tselyakh resheniya zadach MCHS Rossii [Application of photo and video shooting using UAS to solve the problems of the EMERCOM of Russia]. *Proc. of VI All-Russian scientific-practical conf. «Molodye uchenye v reshenii aktual'nykh problem bezopasnosti»*, Zheleznogorsk, May 24, 2024. Zheleznogorsk: Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, 2024. Pp. 293–297. (rus). EDN: LLSMVR.
2. Xu X., Zhang L., Yang J., Cao C., Wang W., Ran Y., Tan Z., Luo M. A review of multi-sensor fusion slam systems based on 3D LIDAR. *Remote Sensing*, 2022. Vol. 14, No. 12. Article 2835. DOI: 10.3390/rs14122835.
3. Kravchenko S.A. Pozhar kak naibolee veroyatnaya chrezvychaynaya situatsiya v gorodskoy srede [Fire as the most likely emergency situation in urban environment]. *Proc. of Interuniversity student scientific conf. «Bezopasnost' gorodskoy sredy»*, Omsk, November 29, 2013. Omsk State Institute of Service. Omsk, 2013. Pp. 17–19. EDN: TJRYCN.
4. Yarovoy V.Yu., Shamsudinov G.Yu., Morozov V.V. Ob osobennostyakh programmnoy obespecheniya dlya sredstv vosstanovleniya vidimosti zvena gazodymozashchitnoy sluzhby v zadymlennoy srede [On the peculiarities of software for means of restoring the visibility of the gas smoke protection service link in a smoke-filled environment]. *Engineering Journal of Don*, 2025. No. 8 (128). Pp. 848–858. EDN: SCSEPM.
5. Zhang J., Singh S. LOAM: Lidar odometry and mapping in real-time. *Proc. of X Intern. scientific conf. «Robotics: Science and systems»*, Berkeley, USA, July 12–16, 2014. USA, Berkeley, University of California, 2014. 9 p. DOI: 10.15607/RSS.2014.X.007.
6. Xue G., Li R., Liu Sh., Wei J. Research on underground coal mine map construction method based on LeGO-LOAM improved algorithm. *Energies*, 2022. Vol. 15, No. 17. Article 6256, 17 p. DOI: 10.3390/en15176256. EDN: PXAKZC.
7. Meng X., Chen X., Chen Sh., Fang Y., Fan H., Luo J., Wu Yu., Sun B. An improved LIO-SAM algorithm by integrating image information for dynamic and unstructured environments. *Measurement Science and Technology*, 2024. Vol. 35, No. 9. Article 096313. DOI: 10.1088/1361-6501/ad56b1. EDN: QEEYD.
8. Qin X., Zhang X., Yasin M.Q., Wang Sh., Feng Zh., Xiao G. SUMA: A partial materialization-based scalable query answering in OWL 2 DL. *Data Science and Engineering*, 2021. Vol. 6, No. 2. Pp. 229–245. DOI: 10.1007/s41019-020-00150-0. EDN: HERMAO.

9. van Manen B.R., Sluiter V., Mersha A.Y. FirebotSLAM: Thermal SLAM to increase situational awareness in smoke-filled environments. *Sensors*, 2023. Vol. 23, No. 17. Article 7611, 25 p. DOI: 10.3390/s23177611.
10. Zhang J., Xiao R., Li H., Liu Y., Suo X., Hong C., Lin Z., Wang D. 4DRT-SLAM: Robust SLAM in smoke environments using 4D radar and thermal camera based on dense deep learnt features. *Proc. of «2023 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)»*, Penang, Malaysia, June 9–12, 2023. IEEE, 2023. Pp. 19–24. DOI: 10.1109/CIS-RAM55796.2023.10370026.
11. Dai Y., Zhao M. Grey Wolf resampling-based Rao-Blackwellized particle filter for mobile robot simultaneous localization and mapping. *Journal of Robotics*, 2021. Vol. 2021. Article 4978984, 9 p. DOI: 10.1155/2021/4978984. EDN: EMSUBA.
12. Khan A., Mineo C., Dobie G., Macleod Ch., Pierce G. Vision guided robotic inspection for parts in manufacturing and remanufacturing industry. *Journal of Remanufacturing*, 2021. Vol. 11, No. 1. P. 49–70. DOI: 10.1007/s13243-020-00091-x. EDN: VLCMYB.
13. Cai X., Xu J., Deng K., Lan H., Wu Yu., ZhuGe X., Yang Zh. TrinitySLAM: On-board real-time event-image fusion SLAM system for drones. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2024. Vol. 20, No. 6. Article 121, 22 p. DOI: 10.1145/3696420. EDN: TWVDCE.

Copyright © 2026 Shamsudinov G.Yu., Yarovoy V.Yu., Mikhaylova A.K.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.