



ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МНОГОАДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

Ю. А. Силин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье рассматривается проблема обеспечения надежной навигации беспилотных авиационных систем (БАС) при выполнении задач многоадресной доставки грузов в условиях городской среды. Отмечено, что традиционные методы навигации обладают существенными ограничениями при воздействии радиоэлектронных помех, а также в условиях плотной городской застройки. В качестве решения предложен алгоритм навигации БАС, основанный на сопоставлении текущего видеопотока с бортовой камеры со спутниковыми снимками из открытых источников. Описана структура алгоритма, включающая этапы масштабирования изображения, коррекции ориентации, выделения контурных признаков и последующего сравнения со спутниковыми данными. Приведены результаты обработки снимков на примере участка городской среды.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, многоадресная доставка грузов, обработка видеоданных, городская среда, радиоэлектронные помехи.

Для цитирования:

Силин, Ю. А. Применение алгоритмов обработки изображений для повышения надежности навигации беспилотных авиационных систем для многоадресной доставки грузов / Ю. А. Силин // Системный анализ и логистика. – 2026. – № 1(49). – с. 92-97. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-1-92-97.

USING IMAGE PROCESSING ALGORITHMS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS NAVIGATION FOR MULTI-SITE CARGO DELIVERY

Y. A. Silin

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

This article examines the problem of ensuring reliable navigation for unmanned aerial systems (UAS) performing multi-site cargo delivery tasks in urban environments. It is noted that traditional navigation methods have significant limitations when exposed to radio-electronic interference and in dense urban environments. As a solution, a UAS navigation algorithm is proposed based on comparing the current video stream from the onboard camera with satellite imagery from open sources. The algorithm's structure is described, including the stages of image scaling, orientation correction, contour feature extraction, and subsequent comparison with satellite data. The results of image processing are presented using an example of an urban environment.

Keywords: unmanned aerial systems, multi-site cargo delivery, video data processing, urban environment, radio-electronic interference.

For citation:

Silin, Y. A. Using image processing algorithms to improve the reliability of unmanned aircraft systems navigation for multi-site cargo delivery / Y. A. Silin // System analysis and logistics. – 2026. – № 1(49). – p. 92-97. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-1-92-97.

Введение

Применение беспилотных авиационных систем (БАС) для многоадресной доставки грузов в городских условиях позволяет существенно ускорить грузооборот и снизить нагрузку на наземные транспортные системы. БАС способны обеспечить оперативную транспортировку широкого перечня малогабаритных грузов, в том числе предметов первой необходимости, таких как медицинские препараты, фармацевтические и биологические средства [1]. Однако, в современных условиях, даже при соблюдении всех условий и наличия необходимых разрешений, БАС сталкиваются с отказом работы глобальной навигационной системы (ГНСС), а также с отказом систем управления в условиях радиоэлектронных помех. Отказ ГНСС вызван динамической подменой координат GPS и ГЛОНАСС на высоте полета



более 15 м, что делает автономный полёт на дальние расстояния невозможным. Навигация с использованием оптического потока [2] и визуальной одометрии является не эффективной в условиях городской доставки грузов, так как рабочая высота указанных способов навигации не превышает 15 метров и наиболее часто они применяются для более точного позиционирования БАС на небольших высотах, обеспечивая погрешность позиционирования до 10 см. При увеличении высоты полета, БАС переходят на навигацию по GPS, обеспечивая погрешность позиционирования до 3 м. Использование навигации по рельефу местности с использованием датчиков Lidar [3] требует больших вычислительных мощностей, также из-за «шумов», создаваемых зеркальными и матовыми поверхностями, точность позиционирования достаточно низкая и фактическая дальность работы датчиков составляет всего 30-80 м, что делает их применение в городской среде затруднительным.

Помимо описанных недостатков используемых систем навигации, применение ручного управления для периодических корректировок полёта в условиях радиоэлектронных помех также является малоэффективным, поскольку разрешенная мощность работы радиопередатчиков и передатчиков телеметрии в РФ по нормам ГКРЧ и СанПин составляет всего 100 мВ [4], что даже на цифровых, шифрованных протоколах радиосвязи, таких как ELRS, и Crossfire в условиях прямой видимости и чистого эфира составляет до 10 км [5]. Кроме того, при осуществлении полётов в городской среде дальность работы систем радиосвязи даже при прямой видимости будет составлять не более 2 км по причине высокой загрязнённости радиоэфира, поскольку частота 2,4 ГГц используется wi-fi роутерами, Bluetooth-устройствами и другими бытовыми приборами. Всё это может приводить к потере сигнала радиоуправления и телеметрии.

Таким образом, для решения задачи многоадресной доставки грузов, обеспечивающей безопасность автономного полета в городской среде, недостаточно использования классических систем навигации. Необходимо использование систем, обеспечивающих интеграцию интеллектуальных алгоритмов обработки и анализа видеопотока с дрона, позволяющих продолжать полет при условии возможного отказа систем навигации или подмены координат дрона. Для решения обозначенной проблемы предлагается альтернативный способ для осуществления навигации БАС в городской среде на основе алгоритма сопоставления видеопотока беспилотной системы со спутниковыми данными, полученными из открытых источников. В базе сервиса Яндекс карты данные имеют высокое качество съёмки и постоянно обновляются, что делает их наиболее подходящими для указанного алгоритма. Кроме того, сервис может предоставить доступ по API, что позволит работать напрямую с сервисом и обрабатывать данные спутниковой съёмки в автоматическом режиме [6].

Для обеспечения точности навигации необходимо использовать датчики, не подверженные влиянию радиоэлектронных помех, такие как барометр, служащий для определения высоты полета относительно разности давления воздуха и магнитометр, который используется в качестве электронного компаса для определения направления полёта.

Таким образом алгоритм получения и обработки данных имеет следующий вид (рис. 1): бортовая камера, ориентированная вертикально вниз, передает текущий видеокادر участка города на микрокомпьютер БАС. Барометр фиксирует высоту полета, и исходя из полученного значения, изображение масштабируется. Магнитометр определяет текущий курс БАС, после чего изображение поворачивается на соответствующий угол, чтобы его ориентация совпала с ориентацией спутниковых снимков. Подготовленное изображение обрабатывается методом выделения границ объектов, в результате чего остаются только контуры зданий, дорог и других элементов ландшафта, что снижает влияние цветовых и световых искажений. Полученное контурное изображение сравнивается с фрагментами спутниковой карты, которые были заранее обработаны тем же методом и имеют точную географическую привязку; по наилучшему совпадению определяются текущие координаты БАС.

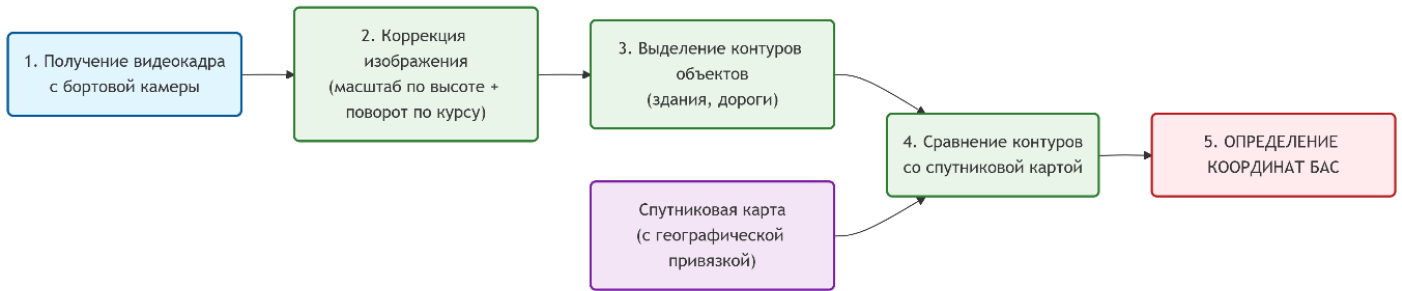


Рис. 1. Алгоритм получения и обработки данных

В качестве участка для исследования был выбран участок Калининского района, характерный типовой городской застройкой. На рисунке 2 представлены спутниковые снимки данной местности, имеющие строго вертикальный вид сверху и точную географическую привязку. На рисунке 3 приведены снимки, полученных с борта БАС в процессе полета. Важно отметить, что изображения с дрона (рис. 3) обладают рядом отличий, затрудняющих их прямое сопоставление со спутниковыми снимками, поскольку они имеют ярко выраженную перспективу, вследствие чего пропорции объектов и расстояния между ними искажаются по мере удаления от центра кадра, а также оптика камеры вносит собственные искажения. Кроме того, ракурс съемки зависит от текущего крена и тангажа БАС, которые в условиях полета могут отклоняться от строго вертикального положения. В связи с этим прямое сравнение снимков невозможно и требуется переход к методам сопоставления, инвариантным к проекционным искажениям. Наиболее перспективным представляется сравнение по ключевым точкам – выделение характерных элементов ландшафта (углы зданий, перекрестки, границы крыш), которые сохраняют свое взаимное расположение независимо от угла съемки и типа проекции.

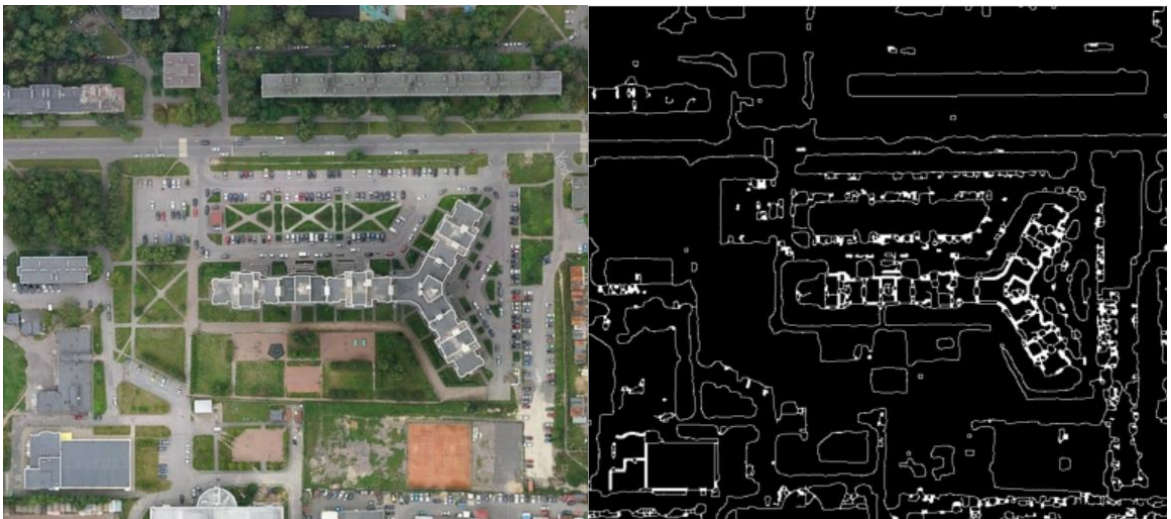


Рис. 2. Спутниковый снимок до обработки методом выделения контуров и после

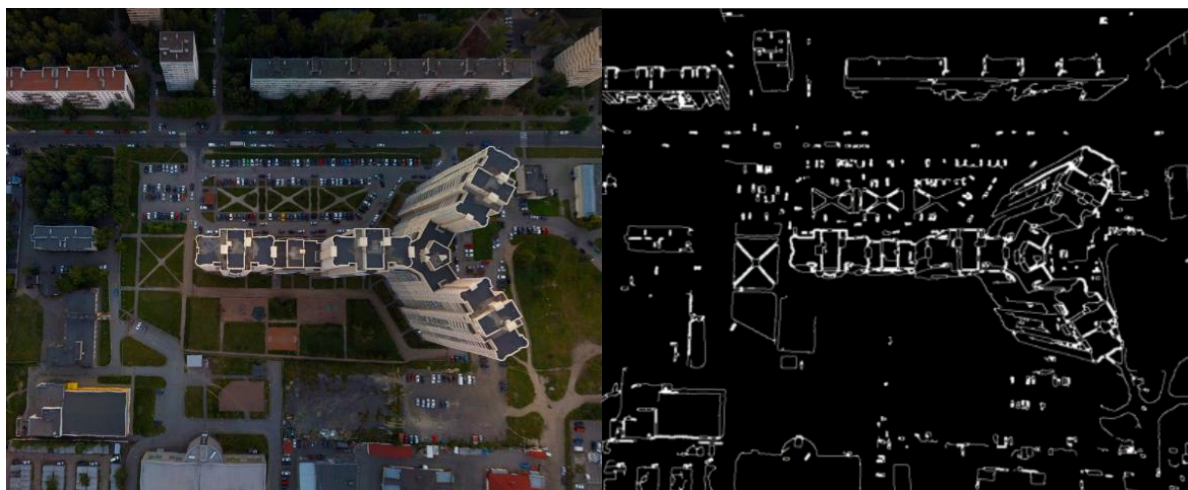


Рис. 3. Снимок камеры БАС до обработки методом выделения контуров и после

На представленных выше изображениях показан результат обработки исходных снимков методом выделения контуров. Данный метод является наименее ресурсоемким с вычислительной точки зрения, однако его применение сопряжено с определенными погрешностями при идентификации объектов. Для повышения точности сопоставления изображений целесообразно введение дополнительных этапов фильтрации. В частности, может быть применена цветовая фильтрация, направленная на исключение малозначимых элементов, либо использована нейросетевая модель для сегментации изображений с выделением только крыш зданий как наиболее стабильных и информативных ориентиров.

Для надёжной работы текущего алгоритма, необходимо использовать соответствующую инфраструктуру. В качестве точек приёма, запуска, перезарядки и обслуживания необходимы специальные дронпоинты [7, 8], которые осуществляют приём, выдачу посылок, перезарядку БАС в автоматическом режиме, а также управление БАС в пределах прямой видимости.

Полный процесс осуществления многоадресной доставки в городской среде состоит из следующих этапов:

1. В распределительном пункте груз комплектуется, подготавливается к транспортировке и передаётся в дронпоинт отправления.
2. В дронпоинте в автоматическом режиме заряжается аккумулятор БАС, либо устанавливается сменный и груз помещается в грузовой контейнер. Производится предполётная проверка.
3. БАС осуществляет взлёт из дронпоинта до высоты 100 м. Для позиционирования используются данные с гироскопа и барометра. Дронпоинт при помощи камеры контролирует взлёт и при необходимости отправляет корректировки полёта на БАС по каналу радиосвязи.
4. После достижения высоты 100 м, БАС начинает полёт в сторону дронпоинта назначения ориентируясь на показания барометра и магнитометра. С периодичностью в несколько секунд производится сверка текущего местоположения с расчетным при помощи алгоритма сопоставления видеоданных со спутниковыми снимками и при обнаружении отклонения, в направление полёта вводятся корректировки.
5. При подлёте к дронпоинту назначения БАС осуществляет посадку с использованием компьютерного зрения, а также корректировок, поступающих от дронпоинта по каналу радиосвязи.
6. После посадки груз извлекается из грузового отсека БАС и производится перезарядка, либо замена аккумулятора.



Заключение

В данной статье рассматривается вариант применения системы позиционирования на основе алгоритма сопоставления видеоданных со спутниковыми снимками при осуществлении многоадресной доставки грузов в городской среде при помощи БАС мультироторного типа в условиях сбоя ГНСС и наличия помех в радиоэфире на частотах работ систем радиоуправления. Для реализации данной системы необходимо разработать материально-техническую базу на основе микрокомпьютера, способную обрабатывать изображение с камеры в реальном времени и сопоставлять со спутниковыми снимками. На данный момент наиболее подходящим является микрокомпьютер Raspberry Pi 5, так как имеет достаточную производительность для работы с несложными нейросетевыми моделями, имеет возможность подключения камеры разрешением 64 МП и может работать с протоколом MAVLink для управления БАС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Майоров Н. Н.* Анализ аппаратного обеспечения беспилотной авиационной системы для решения доставки грузов в условиях городской среды / Н. Н. Майоров, Ю. А. Силин // Системный анализ и логистика. – 2025. – № 4(47). – С. 40-48. DOI: 10.31799/2077-5687-2025-4-40-48.
2. *Миллер Б. М.* Навигация БПЛА на основе последовательностей изображений, регистрируемых бортовой видеокамерой / Б. М. Миллер, К. В. Степанян, А. К. Попов, А. Б. Миллер // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 12. – С. 141-154.
3. *Ерин А. А.* Расчет предельно измеряемой дальности лидара на беспилотном летательном аппарате для задач распознавания объектов / А. А. Ерин, А. Д. Хомоненко // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – № 2. – С. 45-59. – DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-45-59.
4. Решение Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 16 мая 2018 г. № 18-45-02 «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия». – Москва: Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 2018. – 9 с.
5. ExpressLRS. Тесты дальности протокола радиосвязи [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.expresslrs.org/info/long-range/> (дата обращения: 01.02.2026).
6. Яндекс. API доступ к Яндекс картам [Электронный ресурс]. – URL: <https://yandex.ru/maps-api/docs> (дата обращения: 01.02.2026)
7. *Вознесенский Е. А.* Практическая реализация автоматизированной беспроводной зарядной станции для беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа / Е. А. Вознесенский // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: сб. статей XXVI Международная научная конференция. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 102-106.
8. *Вознесенский Е. А.* Оптическое определение позиции и ориентации различных объектов в трехмерном пространстве // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXVII Международной научной конференции. – СПб, 2024. – С. 218-224.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Силин Юрий Андреевич

Аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: Foto2001u@mail.ru



INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Silin Yuri Andreevich

Postgraduate student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: Foto2001u@mail.ru

Дата поступления: 16.03.2026
Дата принятия: 17.03.2026