

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ БПЛА

*Бородич А.А., Крень М.А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научные руководители: Алексеев В.Ф. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС,  
Бавбель Е.И. – аспирант кафедры ПИКС*

**Аннотация.** В статье проведен сравнительный анализ современных методов и алгоритмов обработки изображений, используемых в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). Рассмотрены традиционные и новейшие подходы к обработке изображений, такие как методы фильтрации, сегментации, глубокого обучения и гибридные алгоритмы. Проведена оценка эффективности различных методов с учетом таких параметров, как точность, вычислительная сложность и адаптивность к условиям съемки. На основе анализа предложены рекомендации по выбору оптимальных алгоритмов для повышения точности обнаружения и идентификации объектов в задачах БПЛА.

**Ключевые слова:** БПЛА, обработка изображений, алгоритмы, фильтрация, сегментация, глубокое обучение, гибридные алгоритмы.

**Введение.** С развитием технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) существенно возросла их роль в различных сферах, таких как мониторинг окружающей среды, сельское хозяйство, военные операции и поисково-спасательные работы. Одним из ключевых аспектов их эффективного использования является способность точно и быстро обрабатывать визуальную информацию. Обработка изображений, полученных с камер БПЛА, представляет собой сложную задачу, требующую применения современных методов и алгоритмов для повышения точности и надежности анализа данных. В последние годы появились новые алгоритмы и подходы, позволяющие значительно улучшить точность и скорость обработки изображений, а также сделать системы более устойчивыми к внешним условиям, таким как плохая видимость, изменение освещенности и наличие шумов [1-8].

Цель работы заключается в анализе методов обработки изображений, применяемых в БПЛА, с целью оптимизации их применения для решения различных задач, таких как детекция объектов, распознавание и сегментация изображений, а также в разработке рекомендаций по выбору наиболее эффективных подходов в зависимости от условий эксплуатации.

**Основная часть.** Традиционные методы обработки изображений включают фильтрацию и сегментацию, которые позволяют улучшить качество изображений и выделить объекты для дальнейшего анализа. Наиболее распространенными являются фильтры Гаусса и медианный фильтр, которые используются для устранения шумов и улучшения четкости изображений. Для сегментации часто применяются методы, такие как пороговая сегментация и алгоритмы кластеризации, которые разделяют изображение на области с одинаковыми характеристиками. Эти методы остаются актуальными для задач с ограниченными вычислительными ресурсами, где требуется быстрая и относительно простая обработка данных [9].

С развитием искусственного интеллекта глубокое обучение стало основным инструментом для обработки изображений в БПЛА. Алгоритмы, такие как сверточные нейронные сети (CNN), обеспечивают высокую точность в распознавании объектов, даже в сложных условиях съемки. Преимущества глубокого обучения заключаются в его способности адаптироваться к различным условиям съемки, а также в возможности извлечения признаков из изображений, что значительно повышает точность

идентификации объектов. Однако эти методы требуют значительных вычислительных мощностей и часто сопряжены с проблемой высокой вычислительной сложности и потребления энергии, что может ограничивать их использование в реальных условиях [10].

Гибридные алгоритмы сочетают традиционные методы обработки изображений с подходами глубокого обучения, что позволяет объединить преимущества обеих технологий. Например, использование предварительной фильтрации и сегментации для улучшения качества изображения, а затем применение нейронных сетей для более точного распознавания и классификации объектов. Этот подход позволяет существенно снизить вычислительные затраты, одновременно повышая точность и скорость обработки.

Сравнительный анализ проведённых методов показывает, что традиционные алгоритмы обработки изображений наиболее эффективно применяются для решения задач с низкими требованиями к вычислительным ресурсам. К таким задачам относятся фильтрация шума, выделение краев, а также предварительная обработка изображений. Например, использование фильтра Гаусса для сглаживания изображения или алгоритмов детекции краев, идеально подходит для базовой обработки, где высокое качество работы с данными не является критически важным. Такие методы быстро выполняются и требуют минимальных вычислительных мощностей, что делает их идеальными для реализации в условиях ограниченных ресурсов, например, на малых БПЛА с ограниченной вычислительной мощностью.

В свою очередь, методы машинного обучения демонстрируют гораздо более высокую точность в задачах классификации объектов, таких как распознавание лиц или автомобильных номеров [13, 14], и при этом обеспечивают сбалансированное сочетание скорости и производительности. Например, алгоритмы, использующие метод опорных векторов (*SVM*) или случайные леса, могут быть обучены на большом количестве данных и применять полученную модель для классификации новых изображений. Эти методы требуют больше вычислительных ресурсов по сравнению с традиционными подходами, но их производительность достаточно хороша для многих реальных приложений, таких как мониторинг сельскохозяйственных угодий с БПЛА или распознавание объектов на изображениях, полученных с камеры.

Однако, нейросетевые подходы (сверточные нейронные сети, такие как *ResNet*, *VGG* и *YOLO*) обеспечивают наилучшие результаты в сложных задачах, таких как детекция и сегментация объектов в реальном времени [11]. Эти методы могут эффективно справляться с различными условиями освещенности, фоновыми шумами и сложными сценами, что делает их незаменимыми для работы в сложных и динамичных условиях. Например, алгоритм *YOLO (You Only Look Once)* известен своей высокой точностью в реальном времени при обнаружении объектов на видео, что идеально подходит для применения в системах видеонаблюдения или при анализе движущихся объектов с БПЛА [12]. Однако нейросетевые методы требуют гораздо больше вычислительных ресурсов и времени на обучение моделей. В реальных приложениях они часто применяются в сочетании с мощными серверами или специализированными процессорами (например, *GPU*), что делает их более требовательными к аппаратным ресурсам.

**Заключение.** Выбор подходящего метода обработки изображений зависит от конкретных задач и ограничений системы. Традиционные алгоритмы идеально подходят для задач с ограниченными ресурсами и меньшими требованиями к качеству обработки. Методы машинного обучения предоставляют хороший компромисс между точностью и производительностью, что делает их подходящими для широкого спектра приложений. Нейросетевые подходы, несмотря на свою высокую точность, требуют значительных вычислительных мощностей и времени на обучение, что следует учитывать при планировании их использования в реальных условиях эксплуатации БПЛА.

### Список литературы

1. Алексеев, В. Ф. Автономная посадка БПЛА с использованием визуального сервоуправления = *Autonomous UAV landing using visual servo control* / В. Ф. Алексеев, Е. И. Бавбель // *BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics* : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Бозуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 472–479.
2. Алексеев, В. Ф. Оценка облаков точек БПЛА с помощью искусственного интеллекта = *Assessment of UAV point clouds using artificial intelligence* / В. Ф. Алексеев, Е. И. Бавбель // *BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics* : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Бозуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 12–18.
3. Бавбель, Е. И. Использование беспилотных летательных аппаратов для эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями = *Use of unmanned aerial vehicles for epidemiological surveillance of infectious diseases* / Е. И. Бавбель, В. Ф. Алексеев // *Медэлектроника–2024. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии* : сборник научных статей XIV Международной научно-технической конференции, Минск, 5–6 декабря 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.]. – Минск, 2024. – С. 140–143.
4. Бавбель, Е. И. Возможности компьютерного зрения для беспилотных летательных аппаратов / Е. И. Бавбель, В. Ф. Алексеев // *Цифровая среда: технологии и перспективы* : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Брест, 31 октября – 1 ноября 2024 г. / Брестский государственный технический университет ; редкол.: Н. Н. Шалобыта (гл. ред.) [и др.]. – Брест, 2024. – С. 46–51.
5. Бавбель, Е. И. Подходы к проектированию БПЛА с повышенной выносливостью и грузоподъемностью / Е. И. Бавбель, А. А. Бородич, Е. В. Коляда // *Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2023»* : материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 22–24 ноября, 2023 г. : в 2 т. Т 2 / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 60–62.
6. Бавбель, Е. И. Основные задачи при исследовании методов и средств проектирования беспилотных летательных аппаратов / Е. И. Бавбель, А. А. Бородич, Е. В. Коляда // *Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2023»* : материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 22–24 ноября, 2023 г. : в 2 т. Т 2 / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 57–59.
7. Бавбель, Е. И. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов в обеспечении безопасности дорожного движения = *Features of use of unmanned aerial vehicles in ensuring road safety* / Е. И. Бавбель // *Электронные системы и технологии* : сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихачевский [и др.]. – Минск, 2023. – С. 61–63.
8. Бавбель, Е. И. О необходимости применения систем высокоточного позиционирования при построении БПЛА = *On the necessity of application of high-precision positioning systems when building a UAV* / Е. И. Бавбель, А. С. Анискевич // *Электронные системы и технологии* : сборник материалов 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 19–23 апреля 2021 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихачевский [и др.]. – Минск, 2021. – С. 670–672.
9. Ильина, Л. А., Громов, М. О. Алгоритмы сегментации изображений в задачах компьютерного зрения для БПЛА // *Системы управления и автоматизация процессов управления*. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 56–67.
10. Zhang, Z., Liu, Z. Deep Learning for Computer Vision in UAVs: Challenges and Opportunities // *Journal of Aerospace Engineering*. – 2020. – Т. 34, № 5. – С. 410–422.
11. Smolyanskiy, I., Frolov, S. Применение сверточных нейронных сетей для обработки изображений в условиях динамичных сцен // *Механика и автоматизация процессов управления*. – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 22–30.
12. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. – 2016. – С. 779–788.
13. End to end learning for a driving simulator / V. F. Alexeev and others // *Доклады БГУИР*. – 2018. – № 2 (112). – С. 85 – 91.
14. Моделирование и оптимальное проектирование технических систем : учебно-методическое пособие / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун, В. В. Шаталова. – Минск : БГУИР, 2024. – 99 с.

UDC 004.021:621.396

## COMPARATIVE ANALYSIS OF IMAGE PROCESSING METHODS AND ALGORITHMS FOR UAVS

Borodich A.A., Kren M.A.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Alexeev V.F. – Cand. of Sci., assistant professor, associate professor of the department of ICSD,  
Bavbel E.I. – postgraduate student of the DICS department*

**Annotation.** The article presents a comparative analysis of modern image processing methods and algorithms used in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Traditional and cutting-edge approaches to image processing are considered, such as filtering methods, segmentation, deep learning, and hybrid algorithms. The effectiveness of various methods is evaluated based on parameters such as accuracy, computational complexity, and adaptability to shooting conditions. Based on the analysis, recommendations are provided for selecting optimal algorithms to improve object detection and identification accuracy in UAV tasks.

**Keywords:** UAV, image processing, algorithms, filtering, segmentation, deep learning, hybrid algorithms.