

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ВНЕДРЕНИЯ «МАШИННОГО ЗРЕНИЯ» ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ БПЛА

<sup>1</sup>А. Абдукаюмов,

*<sup>1</sup>Профессор Ташкентского государственного транспортного университета,*

*доктор технических наук,*

<sup>2</sup>И. Исматов,

*<sup>2</sup>Магистрант Ташкентского государственного транспортного*

*университета*

**Аннотация** - В статье представлен обзор использования методов визуальной навигации, использующих данные с камер, для повышения эффективности управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), которые становятся всё более популярными в различных сферах, от сельского хозяйства до военных операций. Рассматриваются основные подходы внедрения «машинного зрения» и как наведение, следование по маршруту, мониторинг и навигация по объектам на местности. Описаны преимущества визуальной навигации, такие как независимость от спутниковых систем и обратной связи с пунктом управления, а также вызовы, связанные с её применением в реальных условиях.

Одним из ключевых аспектов эффективного использования БПЛА является разработка модулей генерации искусственных команд, которые позволяют автоматизировать управление этими устройствами. В данной статье мы рассмотрим основные компоненты и технологии, используемые для создания таких модулей, а также их применение и перспективы развития.

**Ключевые слова:** визуальная навигация, машинное зрение, беспилотные летательные аппараты, полётный контроллер.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся неотъемлемой частью вооружённых сил многих стран, играя важную роль в разведке, наблюдении, нанесении ударов по целям и других военных операциях. Одной из ключевых задач для успешного применения БПЛА является обеспечение их автономности и точности навигации, особенно в условиях, когда традиционные спутниковые системы, такие как GPS, могут быть недоступны или нарушены. В этих условиях визуальная навигация представляет собой важный инструмент, позволяющий обеспечить высокую точность и надёжность управления беспилотными системами.

Визуальная навигация, использующая данные с камер и других сенсоров, позволяет БПЛА эффективно ориентироваться в сложных и динамичных условиях боевых действий, где важен каждый момент. В отличие от спутниковых систем, визуальная навигация не зависит от внешних источников сигналов, что делает её критически важной для работы в условиях помех и радиоэлектронной борьбы, которые часто сопровождают военные операции. Такой подход также исключает необходимость в обратной радиосвязи с пунктом управления, что значительно повышает степень автономности и скрытности БПЛА.

Современные технологии машинного зрения, внедряемые в систему визуальной навигации, позволяют БПЛА выполнять задачи, такие как точное следование по маршруту, навигация по объектам на местности, а также наведение на цели с высокой точностью. В условиях военных конфликтов эти возможности особенно ценны, так как обеспечивают эффективное выполнение разведывательных миссий, уничтожение вражеских объектов, а также снижение рисков для операторов и экипажей.

Однако интеграция машинного зрения в систему управления БПЛА сопряжена с рядом технических и практических трудностей. Необходимо решить задачи по синхронизации данных с различных сенсоров, обработке

больших объёмов данных в реальном времени, а также разработка соответствующего программного и аппаратного обеспечения. Все эти сложности требуют разработки эффективных алгоритмов и оптимизации системы управления для работы в условиях высокой неопределённости.

В данной статье рассматриваются основные методы внедрения машинного зрения в систему управления БПЛА, а также трудности, с которыми сталкиваются разработчики при реализации таких систем. Также анализируются ключевые задачи, которые должны быть решены для обеспечения эффективной работы визуальной навигации и достижения высоких показателей автономности, точности и надёжности БПЛА в военных операциях.

## МЕТОДЫ

Внедрение машинного зрения в систему управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) представляет собой многогранный процесс, включающий в себя как аппаратные, так и программные решения. Существует несколько подходов к реализации этой технологии, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества. В этой статье рассматриваются три основных метода внедрения машинного зрения в БПЛА:

### **1. Внедрение специализированных плат, совмещающих задачи полетного контроллера и обработки изображений**

Этот метод включает использование специализированных плат, которые совмещают функции полетного контроллера и обработки изображений. Такие решения обычно предназначены для малых и компактных БПЛА, где важно минимизировать вес и сложность системы. Одна плата выполняет все ключевые задачи, включая управление полетом, обработку видеопотока и распознавание объектов. Эти устройства могут быть оснащены встроенными процессорами или графическими процессорами (GPU), которые позволяют

эффективно обрабатывать изображения с камер в реальном времени, обеспечивая БПЛА необходимой автономностью.

Преимущества этого метода включают сокращение количества компонентов и уменьшение общего веса системы. Однако такие платы ограничены по вычислительным мощностям и часто не имеют достаточного потенциала для модернизации, что может стать препятствием для улучшения функционала в будущем. Также для разработки и интеграции таких решений требуется обширный опыт в области аппаратного и программного обеспечения.

## **2. Использование вспомогательных плат для обработки изображений.**

Второй метод предусматривает использование вспомогательного аппаратного обеспечения (обычно представленного одноплатными компьютерами, такими как NVIDIA Jetson, Intel Movidius Neural Compute Stick, Raspberry Pi, Google Coral Dev Board, BeagleBone AI, ODROID-N2/N2+ и другими) для обработки изображений. В этом случае полетный контроллер продолжает выполнять свою основную задачу по управлению полетом, а специализированная плата обрабатывает визуальную информацию с камер и выполняет задачи распознавания объектов и навигации. Видеопоток с камер обрабатывается в реальном времени, а результаты передаются на полетный контроллер, который принимает решения о корректировке траектории полета или выполнении маневров.

Этот метод имеет явное преимущество в плане вычислительных мощностей, поскольку внешняя плата, как правило, оснащена высокопроизводительными процессорами и графическими чипами, что позволяет эффективно решать сложные задачи машинного зрения, такие как распознавание объектов, анализ сцен и планирование маршрутов. Однако использование дополнительной вычислительной платформы увеличивает

размер и массу системы, а также требует настройки обратной связи между полетным контроллером и платой обработки изображений.

### **3. Использование облачных вычислений для обработки изображений**

Третий метод внедрения машинного зрения в БПЛА основан на использовании облачных вычислений для обработки больших объемов данных, получаемых с камер и сенсоров. В этом случае БПЛА передает видеопоток в облачное хранилище или сервер, где данные обрабатываются с использованием мощных вычислительных ресурсов. После обработки результаты анализа, такие как распознавание объектов или карта местности, передаются обратно в систему управления БПЛА, которая корректирует траекторию полета на основе полученной информации.

Этот подход позволяет значительно повысить вычислительную мощность системы, так как облачные серверы могут обрабатывать гораздо большие объемы данных, чем ограниченные вычислительные мощности БПЛА. Однако использование облачных вычислений требует наличия стабильной и высокой скорости связи, что может быть проблемой в условиях боевых действий или при отсутствии надежной связи. Кроме того, существует риск возникновения задержек в передаче данных, что может быть критично в реальном времени.

Внедрение машинного зрения в систему управления БПЛА сталкивается с рядом проблем, связанных как с аппаратной, так и с программной составляющей. Одной из основных трудностей является разработка программного обеспечения (ПО) для специализированных плат, которые совмещают задачи полетного контроллера и обработки изображений. Большинство готовых прошивок для полетных контроллеров, которые поставляются с коммерчески доступными системами, не включают функционала для машинного зрения, что вынуждает разработчиков создавать программное обеспечение с нуля для таких специализированных плат. Эти

платы ограничены по вычислительным мощностям и возможностям модернизации. Для того чтобы адаптировать систему под новые задачи или улучшить алгоритмы, необходимо переписывать прошивку целиком, что добавляет дополнительные сложности в процессе разработки и обновления системы.

Кроме того, такой подход требует от разработчиков обширных знаний в нескольких областях. Необходимо понимать, как особенности разработки аппаратного обеспечения (плат), так и нюансы программирования, включая написание сложных алгоритмов для обработки изображений и распознавания объектов. Дополнительно, для успешной интеграции машинного зрения в управление БПЛА требуется знание аэродинамики и принципов работы беспилотных летательных аппаратов, что делает задачу ещё более сложной.

В случае с вторым методом — использованием специализированных плат для обработки изображений, которые интегрируются с существующими полетными контроллерами — также возникают схожие проблемы. Одной из основных трудностей является необходимость согласования работы полетного контроллера с платой обработки изображений. Разработчики должны не только создавать алгоритмы машинного зрения, но и адаптировать их так, чтобы они могли взаимодействовать с полетным контроллером, преобразуя визуальные данные в команды, понятные этому контроллеру. Этот процесс требует точной настройки системы, а также разработки эффективной обратной связи между полетным контроллером и платой обработки изображений, что в свою очередь повышает функциональность и улучшает качество работы системы в целом.

Таким образом, внедрение машинного зрения в систему управления БПЛА с точки зрения программного обеспечения связано с комплексной задачей, требующей знаний в области аппаратного и программного обеспечения, а также глубокой интеграции различных подсистем для обеспечения корректной работы в реальном времени.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для облегчения интеграции систем машинного зрения в существующие системы управления беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) предлагается архитектурное решение, направленное на упрощение взаимодействия между стандартными полетными контроллерами и модулями обработки видеоизображения. Основная идея заключается во внедрении в систему управления дополнительного модуля — **модуля генерации искусственных команд (МГИК)**, который выполняет функцию посредника между полетным контроллером и системой обработки данных с камеры.



**Рис.1. Модуль генерации искусственных команд**

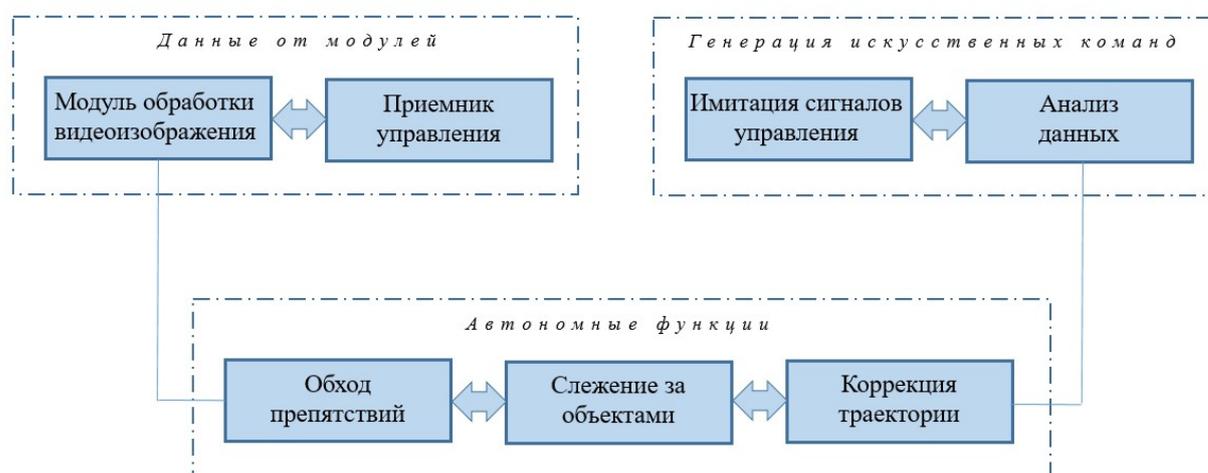
**МГИК** получает данные как от модуля обработки видеоизображения, так и от приемника управления. В случае потери связи с наземным пунктом управления или по специальной команде с этого пункта, модуль начинает генерировать искусственные команды, которые имитируют сигналы управления. Эти команды формируются на основе анализа данных, поступающих с модуля обработки видеоизображения, и передаются на полетный контроллер для реализации автономных функций, таких как обход препятствий, слежение за объектами или коррекция траектории (Рис.2).

Теперь рассмотрим работы МГИК для БПЛА.

1. Данные от модулей:

- Модуль обработки видеоизображения: Этот модуль анализирует видео, поступающее с камер БПЛА, для распознавания объектов, определения расстояний до них и оценки ситуации в окружающей среде. На основе этих данных МГИК может принимать решения о том, как действовать дальше.

- Приемник управления: Приемник получает команды от наземного пункта управления. В случае потери связи или по специальной команде, МГИК берет на себя управление БПЛА.



**Рис.2. Пояснение к работе МГИК**

2. Генерация искусственных команд:

- Имитация сигналов управления: При отсутствии связи с наземным пунктом управления МГИК генерирует команды, которые имитируют стандартные сигналы управления. Это позволяет БПЛА продолжать выполнять задачи, не теряя контроль.

- Анализ данных: Генерация команд основывается на анализе данных с модуля обработки видеоизображения. Например, если БПЛА обнаруживает препятствие, он может сгенерировать команду для изменения траектории полета.

### 3. Автономные функции:

- **Обход препятствий:** Используя данные о местности и объектах, БПЛА может автоматически изменять маршрут, чтобы избежать столкновения.

- **Слежение за объектами:** МГИК может управлять движением БПЛА так, чтобы он следовал за движущимися объектами, что полезно в различных сценариях, таких как мониторинг или охота.

- **Коррекция траектории:** Если БПЛА отклоняется от заданного курса из-за внешних факторов (ветер, турбулентность), система может автоматически корректировать его траекторию.

Модуль генерации искусственных команд (МГИК) представляет собой важный компонент в системе управления БПЛА, обеспечивая автономность и безопасность полетов. Развитие технологий обработки данных и алгоритмов ИИ будет способствовать улучшению функциональности таких систем, что откроет новые возможности для применения беспилотников в различных областях.

**Таблица 1. Основные преимущества и недостатки МГИК**

Преимущества		
1.	Автоматизация процессов	Снижение времени, затрачиваемого на выполнение рутинных задач, благодаря автоматическому созданию команд; Возможность продолжать выполнение задач без непосредственного контроля оператора; Увеличение времени полета и выполнения задач за счет автономных функций.
2.	Увеличение продуктивности	Позволяет пользователям сосредоточиться на более сложных и творческих задачах, освобождая их от необходимости вручную вводить команды
3.	Снижение ошибок	Автоматическая генерация может уменьшить вероятность ошибок, связанных с ручным вводом, особенно в сложных командах;

		Уменьшение риска аварий благодаря автоматизированным функциям обхода препятствий и коррекции траектории; Система должна уметь справляться с неожиданными ситуациями и ошибками в данных.
4.	Персонализация	Модуль может адаптироваться к предпочтениям пользователя, предлагая более релевантные и подходящие команды.
5.	Обучение на основе данных	Системы могут улучшать качество генерируемых команд, анализируя предыдущие взаимодействия и предпочтения пользователей.
6.	Улучшение пользовательского опыта	Интерактивные и интуитивные интерфейсы могут сделать взаимодействие с системой более удобным и приятным
<b>Недостатки</b>		
1.	Сложность разработки	Создание эффективного модуля требует значительных усилий, включая проектирование, программирование и тестирование; Необходимость в высококачественных алгоритмах для анализа данных и принятия решений в реальном времени.
2.	Проблемы с пониманием контекста	Модуль может неправильно интерпретировать запросы пользователей, что приводит к генерации неуместных или некорректных команд.
3.	Зависимость от данных	Для успешной работы требуется большое количество качественных данных для обучения, что может быть трудно обеспечить.
4.	Безопасность	Неправильная генерация команд может привести к уязвимостям в системе или нежелательным действиям
5.	Потребность в постоянной поддержке	Модуль нуждается в регулярных обновлениях и оптимизации для поддержания актуальности и эффективности

6.	Недостаток доверия пользователей	Пользователи могут не доверять автоматизированным системам, особенно если они сталкиваются с ошибками или непредсказуемыми результатами
7.	Ограниченная интерпретация	Модуль может не всегда правильно обрабатывать сложные или многозначные запросы, что может снижать его полезность

Модуль генерации искусственных команд предлагает множество преимуществ, включая автоматизацию и повышение продуктивности, но также сталкивается с рядом вызовов, таких как сложности в разработке и необходимость обеспечения безопасности. Важно учитывать этические вопросы, связанные с автономными системами, особенно в военных и гражданских приложениях. Успех такого модуля зависит от тщательной проработки всех аспектов его функционирования:

**Преимущества предложенной модульной архитектуры:**

- 1. Упрощение разработки программного обеспечения:** МГИК разгружает полетный контроллер, так как обработка данных с камеры и генерация управляющих сигналов происходят на уровне промежуточного модуля. Это уменьшает сложность интеграции новых функций в прошивку полетного контроллера.
- 2. Модернизационный потенциал:** За счет разделения функций между модулями становится проще обновлять и модернизировать отдельные компоненты системы — как модуль обработки видеоизображения, так и полетный контроллер, без необходимости значительных изменений в общей архитектуре.
- 3. Универсальность:** Предложенный подход обеспечивает более универсальное решение, которое позволяет подключать различные модули обработки изображения и использовать существующие полетные контроллеры без кардинальных изменений их прошивки.

Внедрение такой архитектуры позволит значительно сократить время и трудозатраты на разработку систем визуальной навигации для БПЛА, повысить их функциональность и надежность, а также расширить спектр применения машинного зрения в беспилотных системах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены методы внедрения визуальной навигации в системы управления БПЛА, включая специализированные платы, вспомогательные компьютеры и модульные системы. Предложено решение с использованием модуля генерации искусственных команд (МГИК), что упрощает интеграцию машинного зрения, повышает универсальность и модернизационный потенциал. Технологии визуальной навигации открывают новые возможности для повышения автономности и функциональности БПЛА, особенно в условиях ограничений спутниковой навигации и отсутствия радиосвязи.

Таким образом, модули генерации искусственных команд для управления БПЛА играют ключевую роль в автоматизации процессов и повышении эффективности использования беспилотников. С развитием технологий и интеграцией новых методов, таких как искусственный интеллект, можно ожидать значительных изменений в способах управления БПЛА, что откроет новые горизонты для их применения в различных отраслях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Szeliski, R.** *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2011
2. **Zhou, F., Liu, Z.** "A Survey of Visual Navigation for Autonomous Robots." *Frontiers of Computer Science*, 2019

3. Eshmuradov D. E. et al. The Need To Use Geographic Information Systems In Air Traffic Control //Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT). – 2021. – Т. 12. – №. 7. – С. 1972-1976.
4. D.E. Eshmuradov, A.A. Abdukayumov, B.A. Jumamuratov. Kompozit materiallarning radioshafligini nazorat qiluvchi vositaning metrologik ta'minoti //“Milliy standart” ilmiy-texnik jurnali. – 2024. - № 3. – с. 2-5.
5. Эшмурадов Д. Э. Зональная навигация в Республике Узбекистан //Монография. Т.: ТГТУ. – 2016.