

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УЛЬЯНОВСКИЙ ИНСТИТУТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ИМЕНИ
ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ Б.П.БУГАЕВА»,**

**Факультет летной эксплуатации и управления воздушным движением
Кафедра естественнонаучных дисциплин**

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СЛЕЖЕНИЯ ЗА ДВИЖЕНИЕМ
ВОЗДУШНОГО СУДНА НА АЭРОДРОМЕ**

Артемов Вячеслав Михайлович

**Направление 6 - Обеспечение безопасности при осуществлении полетов
воздушных судов**

Форма обучения – очная

Направление подготовки (специальность): 25.05.05-Эксплуатация воздушных
судов и организация воздушного движения

Специализация: 25.05.05_01 - организация летной работы

5 курс, учебная группа П-16-2

Научный руководитель - Самохина Светлана Сергеевна, кандидат
педагогических наук, доцент, профессор РАЕ

г. Ульяновск, Россия
2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.Разработка дублирующих бортовых систем слежения за движением воздушного судна в районе аэродрома с помощью технического зрения.....	5
2.Разработка алгоритма по «Захвату» ВПП.....	8
3.Разработка алгоритма по контролю движения ВС по ВПП.....	11
4.Аппаратная реализация системы технического зрения.....	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	18
ПРИЛОЖЕНИЯ	19

ВВЕДЕНИЕ

Современные цифровые технологии находят широкое применение в авиационных системах [1-4].

Цифровизация позволяет осуществлять автоматизированный сбор и ускоренную обработку информации, создавать с использованием искусственного интеллекта дублирующие системы, сокращать монотонные операции в деятельности пилота воздушного судна. Эти средства позволят обеспечить более высокий уровень безопасности полетов, что является одной из главных задач в гражданской авиации.

Недостаточность информации для экипажа воздушного судна, когда требуется распознать начало нештатной ситуации на этапе руления, взлета или посадки в непосредственной близости от земли, может стать предпосылкой авиационных происшествий. Известны авиационные происшествия, когда пилоты селились не на ту полосу; имели место катастрофы из-за постороннего объекта на ВПП, плохой видимости.

В настоящее время совершенствуются системы автоматической инструментальной посадки по приборам: ILS, GPS (+SBAS, +GBAS, +RAIM). Разрабатывается экспериментальная система C2Land, которая использует GPS для управления полетом в сочетании с улучшенной зрительной системой навигации для посадки. Имеются разработки с наземным вариантом размещения оборудования для контроля движения воздушного судна при посадке и движению по ВПП [5-7]. Однако, инструментальные системы дороги, требуют сложного оборудования, имеют ряд технических недостатков.

Таким образом, **актуальной** проблемой в авиации является обеспечение безопасности полетов на этапе руления, взлета, посадки, особенно в сложных метеоусловиях, с помощью систем технического (машинного) зрения [8,9].

В эксплуатации сложной авиационной техники, аэропортах малой авиации, на учебных аэродромах все больше требуется наличие интеллектуальных автоматизированных информационно-управляющих и следящих систем, которые могут снизить информационную нагрузку экипажа ВС и повысить осведомленность экипажа о состоянии технических систем на этапах взлета и посадки. Это означает, что требуется разработка комплексов "улучшенного видения" EVS (Enhanced Flight Vision Systems) и систем синтезированного видения ESVS (Enhanced and Synthetic Vision Systems).

Именно поэтому с точки зрения системы управления безопасностью полетов (СУБП) возникает необходимость упреждающего моделирования рисков [3]. Эксплуатационную безопасность можно обеспечить с помощью интеллектуальной информационной поддержки через применение машинного

зрения. Это означает, что необходима разработка математических моделей и методов обработки оптической информации для автоматизированных систем, обеспечивающих технологическую безопасность полетов при эксплуатации воздушных судов.

Цель проекта: разработать программное обеспечение для системы технического зрения на воздушном судне, которая обеспечит слежение за движением ВС на аэродроме (руление, движение по ВПП на этапе взлета и посадки), оповещение экипажа об особенностях движения и выдачу рекомендаций по корректировке движения для снижения потенциальных рисков и обеспечения условий для безопасности полетов.

Задачи:

1. Выявить системные ограничения и недостатки существующих систем слежения за движением воздушного судна по аэродрому, инструментального захода на посадку ВС
2. Разработать алгоритмы автоматизированного контроля движения воздушного судна по рулежной дорожке, взлетно-посадочной полосе, идентификации взлётно-посадочной полосы на предпосадочной прямой.
3. Создать базу шаблонов идентифицируемых объектов изображения.
4. Исследовать возможность компьютерного слежения за воздушным судном при движении по аэродрому на этапе руления, при взлете и посадке.
5. Апробировать программное обеспечение в ходе учебных полетов на самолетах первоначального обучения для создания дублирующей системы на основе методов компьютерного зрения с целью обеспечения более высокого уровня безопасности полетов.

Потенциальными потребителями систем технического зрения в качестве дублирующих информационных систем для экипажа могут стать авиакомпания. Подобные системы будут востребованы учебными заведениями авиационного профиля при выполнении учебных полетов, так как их помощь начинающим пилотам снизит риски из-за недостатка опыта.

Результаты работы представлялись на конкурсе инженерных работ студентов и молодых специалистов «Будущее авиации-2020 (ПАО «ОАК»); конкурсе НИР молодых ученых учебных заведений гражданской авиации РФ, получили высокую оценку.

Работа соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники Российской Федерации - Транспортные и космические системы»; тематическая область «Интеллектуальные транспортные системы» (раздел: Разработка моделей, методов и систем ситуационного управления транспортными потоками и транспортными средствами).

1. Разработка дублирующих бортовых систем слежения за движением воздушного судна в районе аэродрома с помощью технического зрения

Анализ авиационных происшествий показывает, что до 75 % от общего числа происшествий происходят на этапе взлета и посадки ВС, особенно в сложных метеорологических условиях.

9 ноября 2018 года произошла авиационная катастрофа в Джорджтауне. Boeing 757-23N авиакомпании FlyJamaica Airways выполнял межконтинентальный рейс OJ256 по маршруту Джорджтаун—Торонто, но вскоре после взлёта частично потерял управление. Лайнер вернулся в аэропорт вылета, но при посадке промахнулся мимо взлётной полосы, протаранил забор и, лишившись правого крыла и стоек шасси, врезался в песочную насыпь в конце ВПП [10].

25.08.2018 в аэропорту Улан-Удэ произошел серьезный инцидент с самолетом A-320 VQ-BGJ, связанный с ошибочной посадкой на нерабочую (строящуюся) ВПП. Светосигнальное оборудование на рабочей и нерабочей ВПП не позволило обеспечить контраст и осложнило действия экипажей ВС при посадке. [11].

15 января 2009 года в аэропорту Уйташ в Махачкале произошло столкновение двух самолётов Ил-76. После выполнения посадки в сложных метеорологических условиях при установленном минимуме погоды (туман, видимость на ВПП 800 м, вертикальная видимость 60 м) при пробеге самолет выкатился на грунт и продолжил движение слева от ВПП 2 и ударил крылом по кабине ожидавший взлёта самолёт [12].

У применяемых в настоящее время наземных средств инструментального захода на посадку ВС имеются эксплуатационные ограничения и недостатки, что увеличивает потенциальные риски для обеспечения безопасности полетов. В частности, для работы ILS помехами являются отраженные от различных объектов в области действия сигналы, искажения может вызвать рельеф местности. При движении по аэропорту имеются ограничения для самолётов, которые могут затенять друг друга, что снижает пропускную способность. Пригодна только для прямых заходов.

По состоянию на 2017 год в России развернута самая крупная в мире сеть ЛККС (станций GBAS), которая осуществляет контроль параметров работы спутниковых группировок ГЛОНАСС и GPS на всей территории страны. Все аэропорты федерального значения обеспечивают точный заход GLS по I категории ИКАО. Однако, системы имеют недостаточную точность

и практически не позволяют производить посадку в условиях низкой видимости (категория II и III).

Эксплуатационную безопасность можно обеспечить с помощью интеллектуальной информационной поддержки через применение машинного зрения. Это означает, что необходима разработка математических моделей и методов обработки оптической информации для автоматизированных систем, обеспечивающих технологическую безопасность полетов при эксплуатации воздушных судов. Причем, следуя рекомендациям СУБП, необходимо проводить оценку упреждающего моделирования рисков [3].

Цифровизация позволяет осуществлять автоматизированный сбор и ускоренную обработку информации, создавать дублирующие системы с использованием искусственного интеллекта, сокращать монотонные операции в деятельности пилота воздушного судна. Эти средства позволят проводить видеоаналитику текущей обстановки при движении воздушного судна в районе аэродрома, ускоренную обработку информации, использовать голосовые помощники для выдачи рекомендаций пилоту при принятии решений.

Имеются сообщения от крупных авиационных корпораций о создании автоматизированных систем взлета и посадки воздушных судов. Инженеры из Мюнхенского и Брауншвейгского технических университетов разработали систему автоматической посадки ВС, которая опирается не на сигналы курсоглиссадной системы, а на данные с камер, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах [7].

Мы предлагаем разработать программное обеспечение для системы технического зрения на воздушном судне, которая обеспечит слежение за движением ВС на аэродроме (руление, движение по ВПП на этапе взлета и посадки), оповещение экипажа об особенностях движения и выдачу с помощью голосовых и визуальных помощников рекомендаций по корректировке движения для снижения потенциальных рисков и обеспечения условий безопасности полетов.

В качестве объекта, на котором предлагается использовать автоматизированную систему улучшенного и синтезированного зрения можно использовать, например, учебные самолеты для первоначальной подготовки будущих пилотов в учебных заведениях гражданской авиации типа Da-40 и Da-42 или другие воздушные суда малой авиации.

Для создания программного обеспечения нами использована библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения OpenCV, которая написана на языке высокого уровня (C/C++) [13]. В ней имеются алгоритмы для интерпретации

изображений, калибровки камеры, анализ перемещения объекта, слежение за объектом и т.д.

Для автоматизации нами выбраны следующие процессы:

- слежение за положением воздушного судна при движении его по рулѐжной дорожке и взлѐтно-посадочной полосе, анализ бокового отклонения ВС от осевой линии, голосовое предупреждение пилотов о недопустимом отклонении при его обнаружении и включение тревожного сигнала оповещения;
- обнаружение и идентификация взлѐтно-посадочной полосы при нахождении воздушного судна на предпосадочной прямой, реализация голосового сообщения пилотам об обнаруженном идентификационном номере ВПП, голосовое предупреждение пилотов о несоответствии обнаруженного и требуемого идентификационного номера ВПП (если это имеет место) и включение тревожного сигнала оповещения.

Обработка изображений, в соответствии с алгоритмами, требует выполнения следующих этапов:

- «захват» ВПП;
- контроль движения ВС по ВПП.

Система технического зрения должна проводить анализ видеоизображений. Для создания и тестирования работы алгоритма в первую очередь было необходимо создать базу (библиотеку) шаблонов идентифицируемых объектов изображения. В настоящее время нами частично создана база идентифицируемых объектов на основе видеоизображений в цветовом пространстве BGR, полученных с камер, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах. Разработанная программа (алгоритмы) позволяет находить контуры предметов и выделять область для анализа изображения. Для этого использовались фотографии ВПП из интернет-ресурсов, видеоматериалы реальных взлетов и посадок магистральных ВС, перемещения ВС по ВПП, видеозаписи с учебных полетов курсантов Ульяновского института гражданской авиации. Отрабатываются алгоритмы автоматической идентификации номера ВПП, движения по рулѐжной дорожке и взлетно-посадочной полосе, поиска и идентификации опорных плоских объектов.

К настоящему времени создана компьютерная программа по:

- устойчивому захвату и обработке видеопотока изображения осевой линии рулѐжной дорожки и взлѐтно-посадочной полосы, а также идентификации составляющих её элементов;

- предварительной обработке кадров полученного изображения по фильтрации от внешних шумов и помех, сглаживанию фильтром Гаусса, определению контуров элементов разметки по методу Кенни;
- определению направления осевой линии;
- определению бокового отклонения курсовой линии ВС от осевой линии.

Работа алгоритмов осуществляется поэтапно и представлена на рисунках.

2. Разработка алгоритма по «Захвату» ВПП

- Захват видео с видеокамеры (рисунок 1)



Рисунок 1– Изображение с камеры

- Считывание каждого 3-го кадра
- Преобразование реального изображения в черно-белое (градации серого), применение фильтра Гаусса;
- Применение фильтра Собеля;
- применение морфологического преобразования Dilate — растягивание

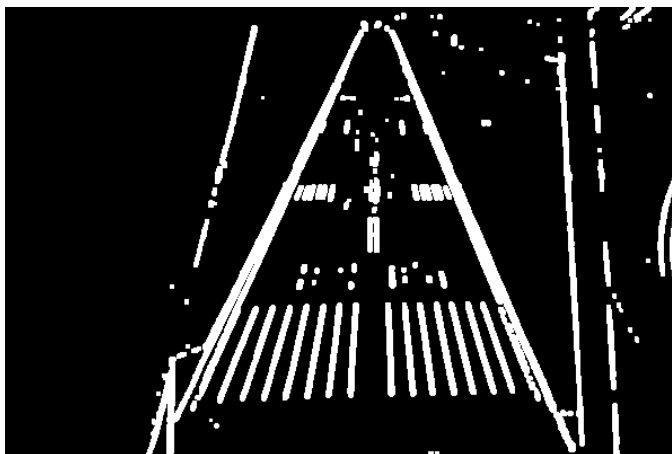


Рисунок 2 – Результат первичной обработки

- установление порога, преобразование в бинарное изображение

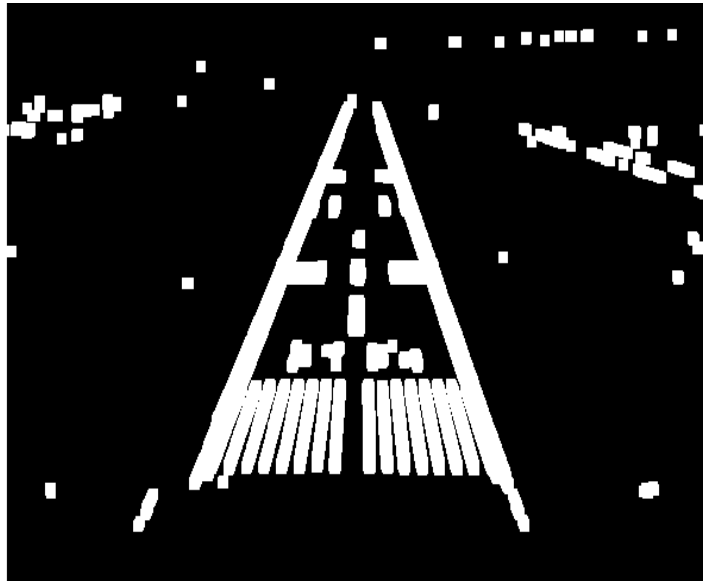


Рисунок 3– Итоговое бинарное изображение

- поиск линий на изображении
- поиск крайних точек, для построения итогового прямоугольника (отслеживание ВПП)



Рисунок 4–Результат работы алгоритма

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 5.

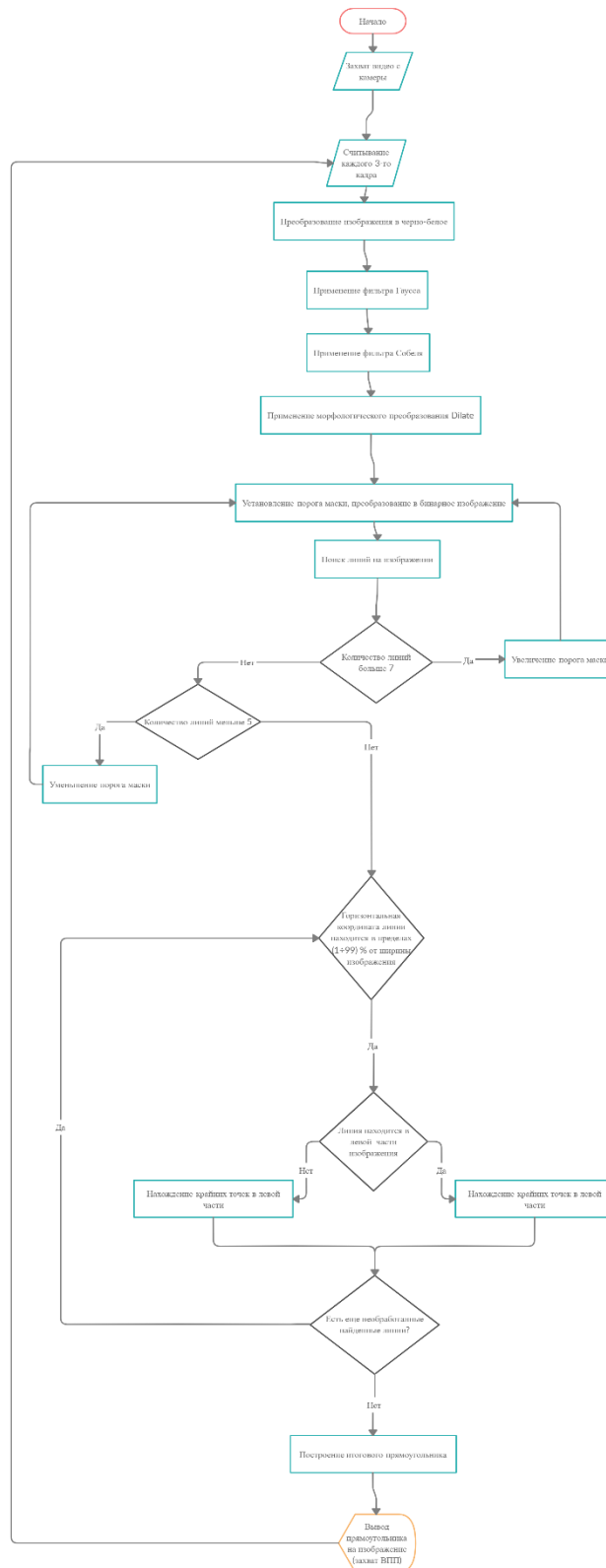


Рисунок 5

Программный код представлен в ПРИЛОЖЕНИИ 1.

Представленный алгоритм может обрабатывать видеопоток, находить и определять ВПП на предпосадочной прямой. Ограничения алгоритма: осевая линия должна находиться в центре изображения (небольшие отклонения допускаются); хорошие погодные условия (видимость и ветер), т.к. при сильном ветре будет угол скольжения или крен, что повлияет на работу алгоритма. В перспективе реально усовершенствовать алгоритм и сделать его инвариантным к положению воздушного судна, а также реализовать работу в плохих погодных условиях, улучшить эффективность работы алгоритма и точность определения ВПП.

3. Разработка алгоритма по контролю движения ВС по ВПП

- Захват видео с камеры



Рисунок 6–Изображение с камеры

- Считывание каждого кадра
- Выделение красного канала



Рисунок 7–Красный канал изображения

- запись в отдельную матрицу тех пикселей, где красного больше, чем 160

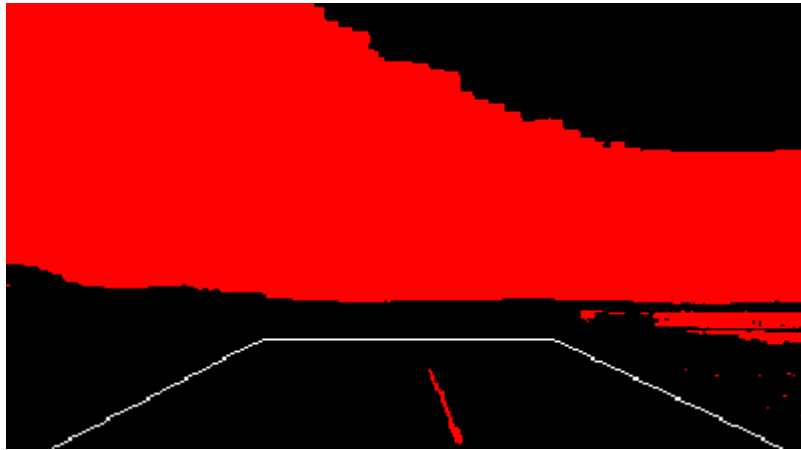


Рисунок 8–Результат обработки красного канала изображения

- Преобразование в HLS

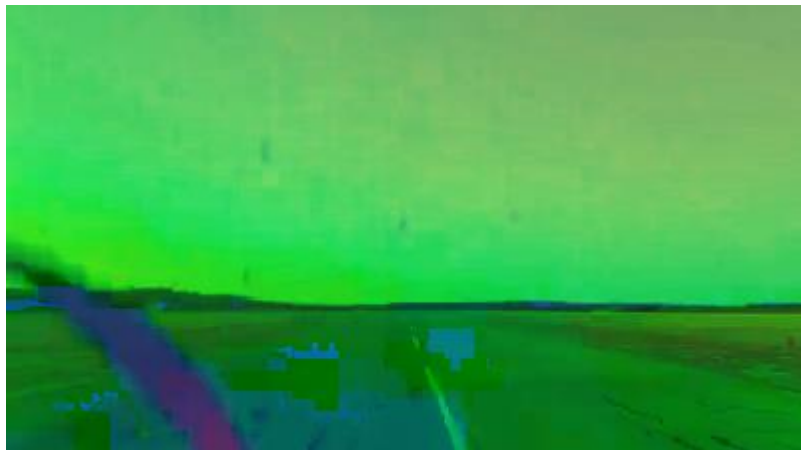


Рисунок 9 – Изображение в формате HLS

- выделение s-канала



Рисунок 10 –S-канала изображения

- запись в отдельную матрицу тех пикселей, где насыщенность больше, чем 160



Рисунок 11–Результат обработки s-канала

- объединение двух матриц

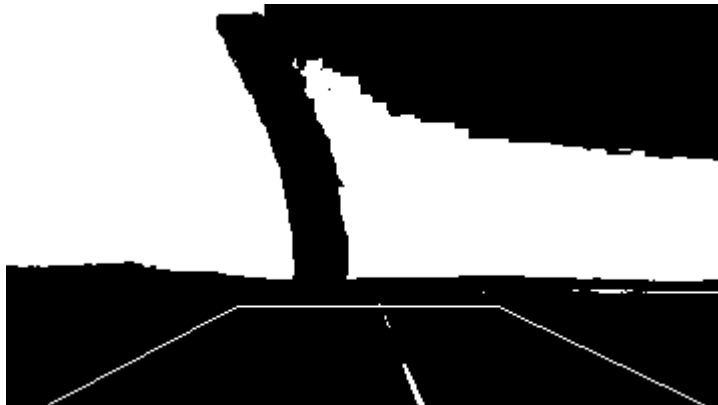


Рисунок 12 – Результат объединения двух матриц

- выделение ROI и создание перспективы
- нахождение самого белого столбца
- построение квадратов для обозначения осевой линии, закрашивание осевой линии
- определение отклонения

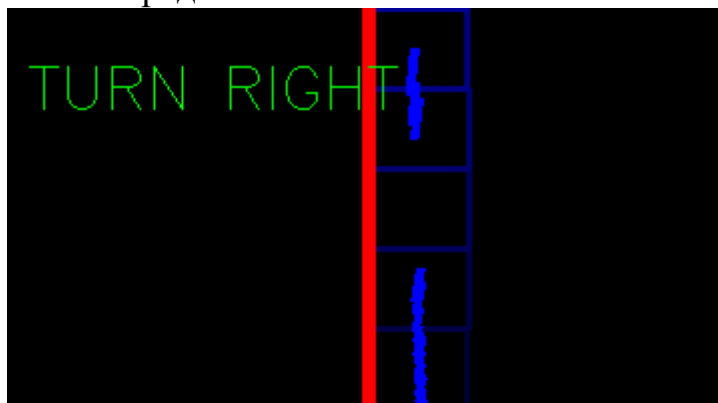


Рисунок 13–Результат объединения двух матриц

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 14.

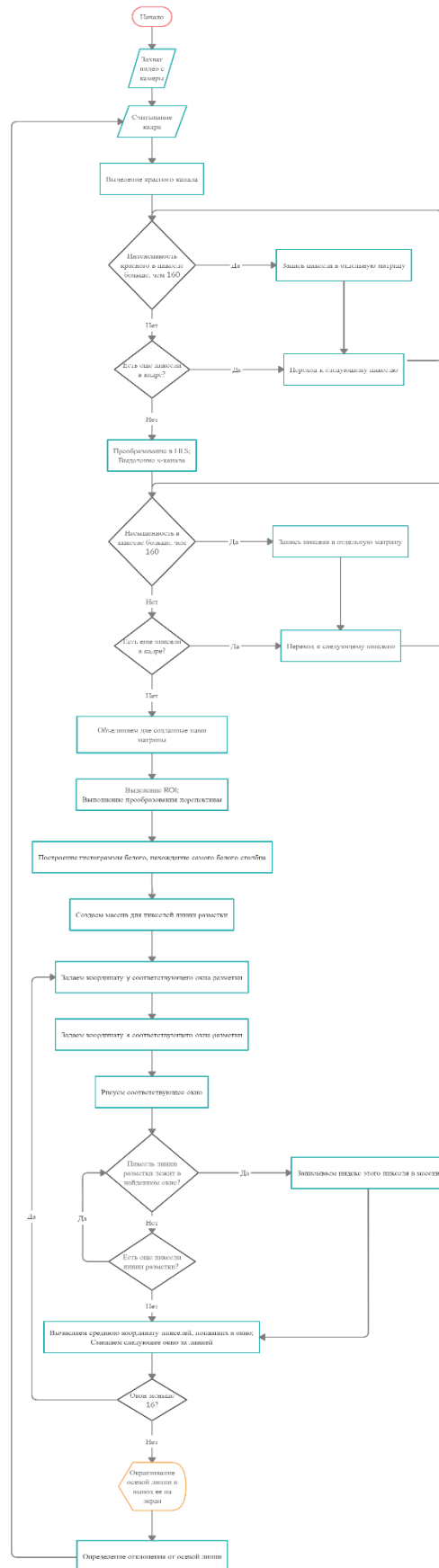


Рисунок 14–Блок-схема алгоритма
Программный код представлен в ПРИЛОЖЕНИИ 2.

Данный алгоритм способен отслеживать осевую линию в пределах ROI (ее можно регулировать), а также определять, куда она отклоняется. Возможна некорректная работа алгоритма, если на ВПП (в пределах ROI) есть посторонние объекты (белого цвета), а также в условиях плохой видимости. В перспективе можно добавить голосовую сигнализацию отклонения ВС от осевой линии; расчет точного отклонения от осевой линии и прогноз возможности безопасного продолжения движения ВС (тренд); голосовое предупреждение пилотов о недопустимом отклонении от осевой линии при его обнаружении; включение тревожного сигнала оповещения.

Разработанные алгоритмы могут встраиваться в другие программные модули для решения задач более высокого уровня. Могут быть использованы в системах технического зрения воздушного и наземного применения, в системах управления полетом беспилотных летательных аппаратов.

4. Аппаратная реализация бортовой дублирующей системы технического зрения

Главным элементом предлагаемого нами бортового комплекса системы технического зрения является сенсор, в качестве которого используется видекамера для формирования цветного изображения в реальном времени при движении воздушного судна по аэродрому (рулежной дорожке, взлетно-посадочной полосе). Требования к видекамере могут варьироваться в зависимости от конкретной задачи. Главное – возможность передачи данных на компьютер для обработки полученного изображения.

Для этих целей могут быть использованы аналоговые камеры. В аналоговых камерах изображение передается от матрицы в аналоговом формате, затем оцифровывается для обработки и снова превращается в аналоговый сигнал для дальнейшей передачи. По коаксиальному кабелю видеосигнал импортируется на монитор и видеорегистратор, который оцифровывает, кодирует и сжимает его для записи.

Аналоговые камеры подойдут для создания сетей видеонаблюдения, так как они имеют малую стоимость, просты в установке и использовании, устойчивы к взломам и не имеют задержек в передаче данных. Если использовать камеры новых стандартов с высоким разрешением изображения, например HDCVI, HD-TVI или AHD, то можно получить хорошее качество изображения, в том числе движущихся и удаленных объектов. Это значит, что подобные камеры отлично подойдут, например, для систем безопасности, для контроля за периметром объекта или для обнаружения вещей, оставленных без присмотра в аэропортах.

Более прогрессивны цифровые сенсоры. В цифровой камере сигнал не преобразуется обратно из цифрового формата в аналоговый для передачи, а отправляется на регистратора непосредственно в оцифрованном виде. При этом перед передачей он может кодироваться и сжиматься (так происходит в IP-камерах) или передаваться несжатым и некодированным (HD-SDI камерах). Системы с цифровыми камерами легко масштабируются, модернизируются и оптимизируются. Они дороже, чем аналоговые, однако, универсальны и могут использоваться для любых задач компьютерного зрения.

Существует возможность применения камер машинного зрения. Такие камеры снимают изображения в высоком разрешении и отправляют их несжатыми на компьютер. Из-за этого получаемые картинки выглядят не так красиво, как с обычных камер, которые их сжимают и сглаживают, но зато в хорошем качестве и с высокой детализацией. Поэтому камеры машинного зрения обычно используются в автоматизации производства или в медицинской сфере, где необходимо видеть всё. Камеры машинного зрения могут иметь разрешение от VGA до 86 Мп для строчно-кадровой или 4К для однострочной развертки — и снимают до 200 кадров в секунду. Однако за счет таких показателей их цена достаточно высокая [14].

Оптические сенсоры (видеокамеры) могут быть устанавливаются на лонжероне крыла (на учебных самолетах DA-40 и Da-42 такого нет). Видеокамеру на самолете DA-40 можно установить на крыле, при этом потребует изменения алгоритма, так как камера смещена, поэтому на результат будут сильно влиять крен и скольжение). На Da-42 и на магистральных самолетах можно установить камеру спереди-снизу. Минимальное количество видеокамер – одна. Но для реализации перспективных задач, описанных выше, потребуется установка как минимум трех камер.

Имеющиеся наземные инструментальные средства контроля посадки и маневрирования по аэродрому дороги, крупногабаритны, требуют высокопрофессионального персонала для обслуживания. Основные финансовые затраты связаны со стоимостью оптических сенсоров (видеокамеры) и работой программистов.

Экономически более выгодны и технологически более просты в реализации системы технического зрения, размещаемые непосредственно на воздушном судне и выполняющие функции дублирующих систем слежения в полете для экипажа воздушного судна.

Внешние риски связаны с разработкой альтернативных систем технического зрения и временными рамками производства, установки и модернизации разработанных систем технического зрения. Внутренние риски

– возможные отказы компонентов системы технического зрения из-за условий эксплуатации; возможность ложной информации при сложных условиях эксплуатации; надежность программного обеспечения при различных эксплуатационных условиях.

Предлагаемая нами система технического зрения компактна, программное обеспечение для ее функционирования допускает модернизацию, замену комплектующих при ремонте, технически реализуема, требует минимальных усилий по ее техническому обслуживанию, значительно дешевле сложных инструментальных систем.

По мере совершенствования программного обеспечения и элементной базы позволит расширить набор функций следящей системы при движении воздушного судна на аэродроме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая значимость результатов проекта состоит в том, что разработаны и апробированы алгоритмы, которые могут быть использованы в дублирующих бортовых системах технического зрения, которые будут обеспечивать безопасность полетов, снижая риски за счет автоматизации предоставления информации и выдачи рекомендаций экипажу ВС для корректного движения воздушного судна по площади маневрирования аэродрома на этапах руления, движения по ВПП при взлете и посадке.

Патентный поиск и анализ литературы показал, что предлагаемое техническое решение имеет признаки новизны [1,5]

В настоящее время частично создана база идентифицируемых объектов на основе видеоизображений в цветовом пространстве BGR. Разработанная программа позволяет находить контуры предметов и выделять область для анализа изображения. Отрабатываются алгоритмы автоматической идентификации номера ВПП, движения по рулежной дорожке и взлетно-посадочной полосе, поиска и идентификации опорных плоских объектов.

В перспективе автоматизированная система может помочь осуществлять автоматическое руление, взлет и посадку в небольших аэропортах, не имеющих систем инструментальной посадки. Разрабатываемая система компьютерного зрения анализируют положение самолета относительно взлетно-посадочной полосы и корректирует его движение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международное консультативно – аналитическое агентство «Безопасность полётов»– Режим доступа: <http://aviasafety.ru/> – Загл. с экрана.
2. Глобальный аэронавигационный план на 2013- 2018 гг : Doc 9750-AN/963. – ИКАО. 2013.
3. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) : Doc 9859.– ИКАО, 2013.
4. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации. Управление безопасностью полётов ICAO – 2-е изд. – Монреаль : ICAO, 2016. Глория, Буэно
5. Герасимов, П.К и др. Способ точной посадки беспилотного летательного аппарата. Международная патентная публикация WO 2017/160192 A1. –2017.
6. Вдовенко, В.С. и др. Способ и система наблюдения за наземным движением подвижных объектов в пределах установленной зоны. Патент РФ RU2521450 C2. 2014.
7. Копиев, Г. Немцы испытали систему визуальной автоматической посадки самолета / Г. Копиев. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/news/2019/07/05/autoland-> Загл. с экрана.
8. Костяшкина, Л.Н. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения ;под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. – М.: Физматлит, 2016. – 240 с.
9. Бондаренко, М.А. Разработка методов и алгоритмов совмещения 2D и 3D информации для авиационных систем улучшенного и синтезированного видения, дисс. канд. тех. наук: 05.13.11. – Москва, 2016. – 113 с.
10. Международное консультативно – аналитическое агентство «Безопасность полётов» – Режим доступа: <https://aviation-safety.net/database/record.php?id=20181109-0> – Загл. с экрана.
11. Западно-сибирское межрегиональное территориальное управление воздушного транспорта федерального агентства воздушного транспорта – Режим доступа: [http://www.sibfana.ru/files/BP_22\(2\).pdf](http://www.sibfana.ru/files/BP_22(2).pdf) –Загл. с экрана.
12. Авиационные происшествия, инциденты и авиакатастрофывоенной авиации в СССР и России– Режим доступа: <http://war.airdisaster.ru/database.php?id=59> – Загл. с экрана.
13. Гарсия. Обработка изображений с помощью OpenCV: моногр. / Глория БуэноГарсия [и др.] – Москва :ДМК Пресс, 2016. – 210 с.
14. SmartCamera – Режим доступа <https://www.ni.com/ru-ru/shop/hardware/products/smart-camera.html> – Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Программный код для реализации алгоритма по «Захвату» ВПП

```
VideoCapture cap("http://192.168.31.80:8080/video");//захват видеос IP-камеры
for(;;){
for(int i=1;i<2;i++){//пропускаем 2 из 3 кадров (для повышения плавности работы)
cap.grab();
}
cap>>img;//выделение каждого 3-го кадра из потока

//первоначальная обработка
cvtColor(img,grayImg,CV_BGR2GRAY);//преобразование в ч/б
//Удаление шумов, применяя фильтр Гаусса
GaussianBlur(grayImg,grayImg
,Size(3,3),0,0,BORDER_DEFAULT);

//основная обработка, применение фильтра Собеля
Sobel(grayImg,grad_x,ddepth,1,0,ksize,scale,delta,BORDER_CONSTANT);

//конвертация обратно в формат CV_8U
convertScaleAbs(grad_x,abs_grad_x);

//применение морфологического преобразования Dilate—растягивание
dilate(abs_grad_x,abs_grad_x,getStructuringElement(MORPH_RECT,Size(3,3)));
изображение формируется из локальных максимумов — т.е. будут увеличиваться
светлые области

threshold(abs_grad_x,abs_grad_x,125.0,255.0,THRESH_BINARY);//установка
порога

//Probabilistic Line Transform-вероятностное преобразование линий
vector<Vec4i> linesP;//will hold the results of the detection-
вектор, куда будут сохраняться результаты детектирования
HoughLinesP(abs_grad_x,linesP,1,CV_PI/180,T_MIN,L_MIN,G_MIN);//run the actual detection
//нахождение оптимального порога для маски
if(linesP.size()==0)continue;
elseif(linesP.size()>7){
B_MIN++;
continue;
}elseif(linesP.size()<5){
if(B_MIN>25)
B_MIN--;
continue;
}
qDebug()<<B_MIN;
//сортировка по линиям по их длине (необязательно)
sort(linesP.begin(),linesP.end(),[](const Vec4i&c1,const Vec4i&c2){
return c1[1]<c2[1];
});
```

```

//проверка находений линий в установленных границах (необязательно)

//поиск крайних точек, для построения итогового прямоугольника (отслеживание
ВПП)

for(size_ti=0;i<linesP.size();i++){
Vec4il=linesP[i];
if((l[0]>img.size().width*0.01)&&(l[2]>img.size().width*0.01)&&(l[0]<img.size().width*0.99)
&&(l[2]<img.size().width*0.99)){

if(l[0]<img.size().width/2){
if(l[1]<=minY){minY=l[1];nX=l[0];}
if(l[3]<=minY){minY=l[3];nX=l[2];}
}else{
if(l[1]<=minY1){minY1=l[1];nX1=l[0];}
if(l[3]<=minY1){minY1=l[3];nX1=l[2];}
}
if(l[0]<minX)minX=l[0];
if(l[2]<minX)minX=l[2];
if(l[0]>maxX)maxX=l[0];
if(l[2]>maxX)maxX=l[2];
if(l[1]>maxY)maxY=l[1];
if(l[3]>maxY)maxY=l[3];

line(img,Point(l[0],l[1]),Point(l[2],l[3]),Scalar(0,255,0),3,LINE_AA);
}
}
tl=Point(nX,minY);
tr=Point(nX1,minY1);
bl=Point(minX,maxY);
br=Point(maxX,maxY);
line(img,tl,tr,Scalar(0,0,255),3,LINE_AA);
line(img,bl,br,Scalar(0,0,255),3,LINE_AA);
line(img,tl,bl,Scalar(0,0,255),3,LINE_AA);
line(img,tr,br,Scalar(0,0,255),3,LINE_AA);
line(img,(tr+tl)/2,(br+bl)/2,Scalar(0,0,255),3,LINE_AA);

```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Программный код для реализации алгоритма контроля движения ВС по ВПП

```

cap>>img;//считываниекадраизвидеопотока

split(resized,splitedImg);//разделениеRGBизображенияна3канала
r_channel=splitedImg[2];//выделениекрасногоканала

//записьвотдельнуюматрицутехпикселей,гдекрасногобольше,чем160

```

```

for(int i=0;i<binary.size().height;++i){
for(int j=0;j<binary.size().width;++j){
if(r_channel.at<uchar>(i,j)>160){//200
binary.at<Vec3b>(i,j)[0]=1;
binary.at<Vec3b>(i,j)[1]=1;
binary.at<Vec3b>(i,j)[2]=255;
}
}
}

```

```

//преобразование в HLS формат
cvtColor(resized,hls,CV_BGR2HLS,0);

```

```

//выделение канала
split(hls,splitedImg);
s_channel=splitedImg[2];

```

```

//запись в отдельную матрицу тех пикселей, где насыщенность больше, чем 160
binary1=Mat::zeros(s_channel.size(),CV_8UC3);
for(int i=0;i<binary1.size().height;++i){
for(int j=0;j<binary1.size().width;++j){
if(s_channel.at<uchar>(i,j)>160){//>160>250
binary1.at<Vec3b>(i,j)[0]=1;
binary1.at<Vec3b>(i,j)[1]=1;
binary1.at<Vec3b>(i,j)[2]=255;
}
}
}

```

```

//объединение двух матриц
allBinary=Mat::zeros(binary.size(),CV_8UC3);
for(int i=0;i<allBinary.size().height;++i){
for(int j=0;j<allBinary.size().width;++j){
if(((binary.at<Vec3b>(i,j)[0]==1)&&(binary.at<Vec3b>(i,j)[1]==1)&&(binary.at<Vec3b>(i,j)[2]==255))&&
((binary1.at<Vec3b>(i,j)[0]==1)&&(binary1.at<Vec3b>(i,j)[1]==1)&&(binary1.at<Vec3b>(i,j)[2]==255))){//||->&&
allBinary.at<Vec3b>(i,j)[0]=255;
allBinary.at<Vec3b>(i,j)[1]=255;
allBinary.at<Vec3b>(i,j)[2]=255;
}
}
}

```

```

//выделение ROI и создание перспективы
polyline(allBinaryCopy,src1,true,Scalar(255,255,255));

```

```

dst[0]=Point2f(0,resized.size[0]);
dst[1]=Point2f(resized.size[1],resized.size[0]);
dst[2]=Point2f(resized.size[1],0);

```

```

dst[3]=Point2f(0,0);

warpPerspective(allBinary,warped,getPerspectiveTransform(src,dst),Size(resized.size[1],resized.size[0]),INTER_LINEAR);

//построениегистограммыбелогосвета
histogram.resize(warped.size().width);
for(unsignedinti=0;i<histogram.size();i++){
    histogram[i]=0;
}
for(inti=0;i<int(warped.size().height);++i){
    for(intj=10;j<warped.size().width-10;++j){
        histogram[j]+=warped.at<Vec3b>(i,j)[0]+warped.at<Vec3b>(i,j)[1]+warped.at<Vec3b>(i,j)[2];
    }
}

//нахождениесамогобелогостолбца
preIndexWhitestColumnL=indexWhitestColumnL;
indexWhitestColumnL=max_element(histogram.begin(),histogram.end())-histogram.begin();
if(indexWhitestColumnL==0)
    indexWhitestColumnL=preIndexWhitestColumnL;

//построениеквдратовдляобозначенияосевойлинии,закрашиваниеосевойлинии
for(intwindow=0;window<windows;window++){
    win_y1=warped.size().height-(window+1)*windowsHeight;
    win_y2=warped.size().height-(window)*windowsHeight;

    leftIndX1=xCenterLeftWindow-windowsHalfWidth;
    leftIndX2=xCenterLeftWindow+windowsHalfWidth;

    rectangle(outImg,Point(leftIndX1,win_y1),Point(leftIndX2,win_y2),Scalar(50+window*21,0,0),2);

    for(unsignedinti=0;i<nonzero.size();++i){
        if((nonzero[i].y>=win_y1)&&(nonzero[i].y<=win_y2)&&(nonzero[i].x>=leftIndX1)&&(nonzero[i].x<=leftIndX2)){
            goodLeftInd.push_back(i);
        }
    }
    if(!goodLeftInd.empty()){
        xCenterLeftWindow=0;
        for(unsignedinti=0;i<goodLeftInd.size();++i)
            xCenterLeftWindow+=nonzero[goodLeftInd[i]].x;
        xCenterLeftWindow/=goodLeftInd.size();
    }
}
if(!goodLeftInd.empty()){
    for(unsignedinti=0;i<goodLeftInd.size();++i){
        if(goodLeftInd[i]<nonzero.size())

```

```

outImg.at<Vec3b>(nonzero[goodLeftInd[i]].y,nonzero[goodLeftInd[i]].x)={255,0,0};
}
}

//определениеотклонения
line(outImg,Point(outImg.size().width/2,0),Point(outImg.size().width/2,outImg.size().height),Scalar(0,0,255),5);
if(xCenterLeftWindow>outImg.size().width/2){
rotation="TURNRIGHT";
}elseif(xCenterLeftWindow<outImg.size().width/2){
rotation="TURNLEFT";
}
putText(outImg,rotation,Point(10,50),FONT_ITALIC,1,Scalar(0,250,0));

```