

На правах рукописи

**Казбеков Борис Валентинович**

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ  
С БОРТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Специальность 05.11.16

«Информационно-измерительные и управляющие системы (авиационная,  
ракетно-космическая техника и кораблестроение)»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2013 г.

Работа выполнена на кафедре «Информационные технологии» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент **Максимов Николай Анатольевич**

Официальные оппоненты: **Мальцев Георгий Николаевич**, Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Космических радиотехнических систем Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского;

**Василейский Александр Сергеевич**, кандидат физико-математических наук, руководитель Центра внедрения космических технологий ОАО «НИИАС»

Ведущая организация: **Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт точных приборов»** (ОАО «НИИ ТП», 127490, г. Москва, ул. Декабристов, владение 51)

Защита состоится «14» октября 2013 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета Д 212.125.11 в ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАИ.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 года.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, просьба направлять по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.125.11,  
кандидат технических наук, доцент

Горбачев Ю.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Одним из целевых направлений создания систем сбора и обработки видеоинформации является разработка бортовых систем видеослежения, предназначенных для обработки данных, поступающих с подвижных объектов, таких как самолёты, вертолёт, корабли, автомобили или танки. При решении таких задач, необходимо разработать и реализовать такой алгоритм поиска событий интереса, в результате выполнения которого они будут автоматически найдены и проанализированы. Стоит отметить, что, зачастую, обработку данных нужно производить в реальном времени. В этой ситуации время, отведённое на поиск событий, ограничено и напрямую зависит от скорости и объёма поступающих данных. Это приводит к требованиям повышения производительности бортовых компьютеров и снижения вычислительной сложности алгоритма. Бортовые системы видеослежения должны функционировать в полуавтономном, автономном и автоматическом режимах, требуя от оператора минимум действий и предоставляя ему необходимую информацию в наиболее удобной форме.

За последние десять лет было разработано достаточно большое число методов и алгоритмов обработки видеоданных. Созданы и успешно функционируют различные системы анализа видеоматериалов: система «Hawk-Eye» – программно-аппаратный комплекс, моделирующий траекторию спортивного снаряда; система «Стрелка» стационарный радарный комплекс контроля дорожного трафика и регистрации нарушений; компьютерная система видеонализа (КСВА) «Бастион-Номер» – предназначена для считывания государственных регистрационных знаков (номеров) движущихся транспортных средств и их автоматического поиска по базам данных; детектор движения «IVA» (Intelligent Video Analysis) – система интеллектуального видеонаблюдения и анализа данных; система обработки видеоизображений «Охотник» – система автоматического обнаружения и сопровождения подвижных целей и многие другие. Но, к сожалению, алгоритмы, отлично работающие в одних условиях, совершенно непригодны для других.

При создании и автоматизации бортовых систем видеослежения, использующихся на беспилотных летательных аппаратах (БЛА), необходимо учитывать влияние помех различной природы. Данные условия

функционирования порождают ряд задач, связанных с трудностями обнаружения, разделения и параметризации сопровождаемых объектов, расположенных близко друг к другу, анализом траекторий сопровождаемых объектов, находящихся в поле зрения датчика изображений.

Существует ещё ряд причин, которые делают актуальным процесс автоматизации анализа видеопотока, получаемого с бортовой камеры БЛА: ограничения по дальности полёта БЛА каналом связи при дистанционной обработке данных оператором и существенная временная задержка в режиме постобработки данных.

Ещё одной важной особенностью задачи обработки информации, получаемой с датчиков, расположенных на борту БЛА, с целью идентификации объектов, находящихся на изображении, является отсутствие для исследуемых реальных ситуаций или объектов сколько-нибудь адекватных математических моделей, на базе которых можно было бы вести расчёты и получать количественные или качественные выводы.

Подводя итог вышесказанному, следует отметить, что, хотя и имеется большое количество разработанных алгоритмов анализа видеоданных, рассматриваемая область всё ещё является плохо исследованной. Таким образом, актуальность темы диссертации обусловлена недостаточной проработкой и большой практической значимостью вопросов анализа видеопотока, получаемого с бортовой видеокамеры БЛА.

**Объектом исследования** являются системы компьютерного зрения: системы видеонаблюдения, системы управления процессами и системы взаимодействия.

**Предметом исследования** являются методы и алгоритмы поиска подвижного объекта на видеоизображении с его последующей идентификацией.

**Областью исследования** являются информационно-измерительные и управляющие системы авиационной техники.

**Целью диссертационного исследования** является разработка системы поиска и идентификации подвижных наземных объектов (ПНО) в видеопотоке, получаемом с бортовой видеокамеры БЛА. Для достижения вышеуказанной цели в работе поставлены и решены следующие научно-технические задачи:

- анализ существующих алгоритмов обнаружения, сопровождения и идентификации подвижных объектов;

- формализация условий работы разрабатываемой системы;
- разработка математического обеспечения и проблемно-ориентированного программного обеспечения, позволяющего определять и идентифицировать подвижные наземные объекты в видеопотоке, получаемом с бортовой видеокамеры БЛА;
- анализ совместной обработки данных, полученных в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах.

При исследовании **использовались методы** математического моделирования, компьютерного зрения, математическая статистика и теория вероятностей.

### **Научная новизна работы**

- Разработан алгоритм автоматического выделения ПНО в видеопотоке на основе анализа маски движения, который, в отличие от других алгоритмов, не требует привлечения дополнительной априорной информации об объекте наблюдения.
- Разработана методика определения вектора межкадрового сдвига, сопоставляемых изображений видеопотока.
- Разработан комплексный алгоритм, совместной обработки данных, полученных в видимом и ИК диапазонах, который в отличие от классических методов обработки ИК снимков не использует анализ спектральных характеристик изображений.
- Реализован модернизированный алгоритм идентификации ПНО.
- Получены результаты исследования, подтверждающие возможность реализации разработанного комплекса алгоритмов в реальном времени на бортовых вычислителях.

### **Научные результаты, выносимые на защиту:**

1. Разработанный метод поиска ПНО в видеопотоке, получаемом с бортовой камеры БЛА, основанный на нахождении точечных особенностей изображения;
2. Разработанный метод комплексирования алгоритмов анализа снимков ИК и видимого диапазонов, полученных с борта БЛА, позволяющий уменьшить влияние помех и повысить надёжность работы системы идентификации ПНО с борта БЛА;

### 3. Модифицированный алгоритм идентификации ПНО.

**Практическая ценность работы** состоит в следующем:

- Разработанный алгоритм формирования и анализа маски движения позволяет в автоматическом режиме выделять ПНО в видеопотоке.

- Реализованное проблемно-ориентированное программное обеспечение позволяет решать задачу идентификации ПНО в автоматическом режиме в реальном времени в условиях неполной априорной информации об объектах наблюдения.

- Сформулированы и обоснованы требования к характеристикам системы идентификации ПНО.

- Разработанные алгоритм и программно-ориентированное программное обеспечение были использованы при выполнении НИР шифр "Тест-РИО". Имеется соответствующий акт от ОАО «НИИ ТП».

- Выполненные разработки легли в основу лабораторных работ по предмету «Информационные технологии», использованы при выполнении индивидуальных заданий в курсовом и дипломном проектировании кафедры «Информационные технологии». Имеется соответствующий акт от кафедры «Информационные технологии» МАИ.

- Полученные результаты использовались в НИР по гранту РФФИ проект 09-08-00689-а.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов** подтверждается корректным применением методов математического моделирования, компьютерного зрения, математической статистики и теории вероятностей. Достоверность результатов работы подтверждается моделированием и экспериментальными данными.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и были представлены на XII Международной молодежной научно-практической конференции «Человек и Космос», Днепропетровск, 2010, 10-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика–2011», Москва, 2011, 11-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика–2012», Москва, 2012, II international research and practice conference, Canada, April 17, 2013.

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы представлены в 3-х научно-технических статьях в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, и в 4-х работах других изданий, а также в 3-х отчетах по НИР по гранту РФФИ 09-08-00689-а.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 129 наименований. Общий объем работы 159 машинописных страницы, включая 62 рисунка и 7 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность исследуемой темы, приводятся примеры существующих систем идентификации различного типа, определены цель исследования и задачи, необходимые для ее решения. Показана научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** диссертационной работы рассматриваются основные проблемы теории и практики обработки изображений, сформулирована специфика предметной области. Приводится анализ способов представления изображений и способов сопоставления изображений, основными из которых являются:

- низкоуровневые;
- контурные;
- структурные;
- признаковые.

Выявленные преимущества и недостатки вышеуказанных методов позволили сделать выбор в пользу признаковых методов сопоставления изображений.

Рассмотрев способы представления и сопоставления изображений, был проведен сравнительный анализ существующих методов и алгоритмов обработки видеоданных, была проведена их классификация. В качестве критериев классификации рассматривались следующие параметры:

1. По способу расположения камеры (стационарно и на подвижном носителе);
2. По способу представления данных (функциональные, стохастические, контурные, структурные и признаковые методы);
3. По степени автоматизации (автоматизированные и автоматические);
4. По организации процесса анализа данных (дистанционная обработка оператором, постобработка, сопровождение выбранного объекта и поиск заранее известного объекта).

Среди методов обработки видеопотока, поступающего со стационарно расположенной камеры, были описаны методы, использующие определение межкадровой разности, сравнение с базовым кадром, а также рассмотрены методы, основанные на вероятностных моделях.

Среди методов обработки видеопотока, поступающего с камеры, расположенной на подвижном носителе, были рассмотрены методы, основывающиеся на корреляционном анализе и на принципах слежения за точечными объектами сцены. Описаны принципы работы некоторых детекторов: Lucas-Kanade, Харриса, по минимальным собственным значениям, описаны принципы построения и анализа оптического потока.

В конце главы приводится постановка задачи автоматической идентификации объектов наблюдения на основе комбинированных методов, которая сформулирована следующим образом: в качестве исходных данных задаётся видеопоток, поступающий с бортовой видеокамеры БЛА, в котором фиксируется последовательность событий, происходящих в реальном времени. Искомыми объектами являются ПНО, **необходимо разработать проблемно-ориентированное математическое и программное обеспечение, позволяющее идентифицировать подвижные наземные объекты в видеопотоке, получаемом с бортовой видеокамеры БЛА, в условиях неполной априорной информации об объектах наблюдения.**

Под идентификацией понимается решение следующих подзадач.

- Обнаружение подвижных наземных объектов, находящихся в поле зрения камеры.
- Распознавание обнаруженных объектов производить с точностью до класса: легковой автомобиль, грузовой автомобиль, танк, ракетная установка.

При нахождении подвижного объекта в видеопотоке, необходимо максимизировать вероятность правильного обнаружения объекта, при минимальной частоте ложных тревог, обеспечив величину соотношения числа ошибок I рода к числу ошибок II рода не менее чем 2:1, при условии минимизации суммарного количества ошибок. При этом желательно, найти такие характеристики ПНО, которые в дальнейшем могли бы ускорить процесс его распознавания.

**Во второй главе** описывается разработка методического аппарата обработки видеопотока, приводится обоснование возможности применения комплексирования существующих алгоритмов на основе эвристических

методов. Приводится обобщенная структура разработанного метода обнаружения ПНО в видеопотоке, состоящая из четырех основных этапов. Данная структура представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Обобщенная структура метода обнаружения ПНО

Каждый этап предложенного метода базируется на разработанных или модифицированных методах анализа изображений. Для нахождения величины и направления межкадрового сдвига был проведен сравнительный анализ существующих алгоритмов сопоставления изображений, основанных на признаковых методах. В результате проведенного анализа были выделены основные достоинства и недостатки таких алгоритмов. Среди выявленных недостатков значимыми являются: сложность в реализации, необходимость предварительной фильтрации изображений с целью устранения шумов и относительно высокую вычислительную сложность. К достоинствам признаковых алгоритмов можно отнести возможность формирования инвариантных признаков, которые по своей сути являются концентраторами информации об изображении, малую чувствительность найденных признаков к яркостным и масштабным преобразованиям и возможность осуществлять быстрый поиск среди сформированного набора признаков. В ходе исследования была разработана модификация алгоритма SIFT, основанная на выборе анализируемых точек изображения. Модификация алгоритма SIFT заключается в проведении предварительной сегментации изображения и выделения однородных областей (итеративный алгоритм «Chan-Vase»). Так как особые точки изображения могут находиться только на границах, т.е. в местах резких перепадов яркости, то внутренние точки найденных областей

могут быть удалены из рассмотрения. Таким образом, разработанная модификация позволяет существенно сократить вычислительные затраты при реализации алгоритма SIFT, что компенсирует один из его основных недостатков.

Методики нахождения величины и направления межкадрового сдвига заключается в нахождении точечных особенностей сравниваемых изображений, их сопоставлении и формировании векторного поля соответствий. Каждый вектор этого поля показывает направление и величину смещения найденных точечных особенностей изображения, такие вектора называют частными векторами смещения. В их числе могут присутствовать ложные. Поэтому необходимо провести фильтрацию полученного векторного поля, основанную на идее, что верные вектора должны подчиняться определенной закономерности, а ложные являться некоторыми «выбросами». Таки образом, для определения конечного вектора смещения всего кадра частные вектора усредняются – находится общий вектор смещения: из рассмотрения удаляются те частные вектора, величина которых отличается от общего вектора на определенную величину. Согласно такому же принципу происходит фильтрация по направлению (углу). При формировании реального векторного поля сравниваемых кадров, тяжело визуально определить какие из частных векторов являются «выбросами», поэтому, для наглядности, приведен пример нахождения векторного поля соответствий для кадров, зафиксированных при крупномасштабной съемке на небольшой высоте в момент резкого изменения углов крена и тангажа. На рисунке 2 (а) приведен исходный кадр, на рисунке 2 (б) и (в) – сформированное векторное поле до и после фильтрации соответственно.

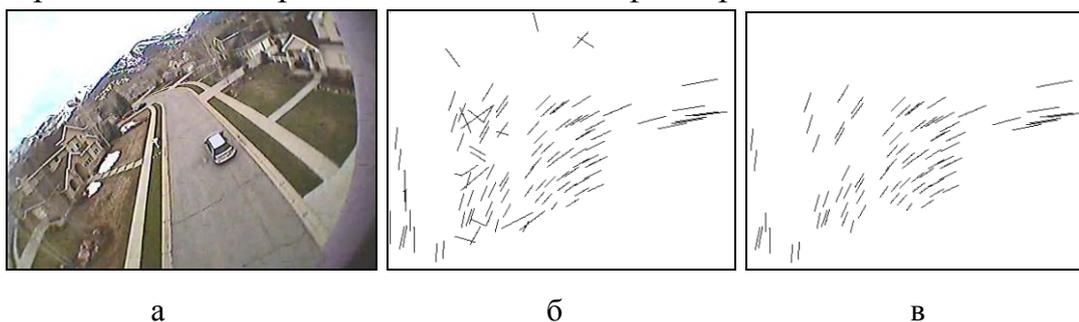


Рис. 2 – Исходный кадр (а) и векторное поле соответствий до (б) и после (в) фильтрации

Стоит также отметить, что для наглядности усреднение анализируемых значений проводилось методом «скользящего окна», а не всего изображения целиком, это позволило выявить локальные закономерности на анализируемом изображении. В реальных условиях фильтрация может

проводиться сразу для всего изображения, так как съемка производится при полетах на большей высоте при большей частоте кадров и результирующие снимки почти не подвержены перспективным искажениям. На рисунке 3 представлена блок-схема предложенного алгоритма фильтрации векторного поля по значению длины.

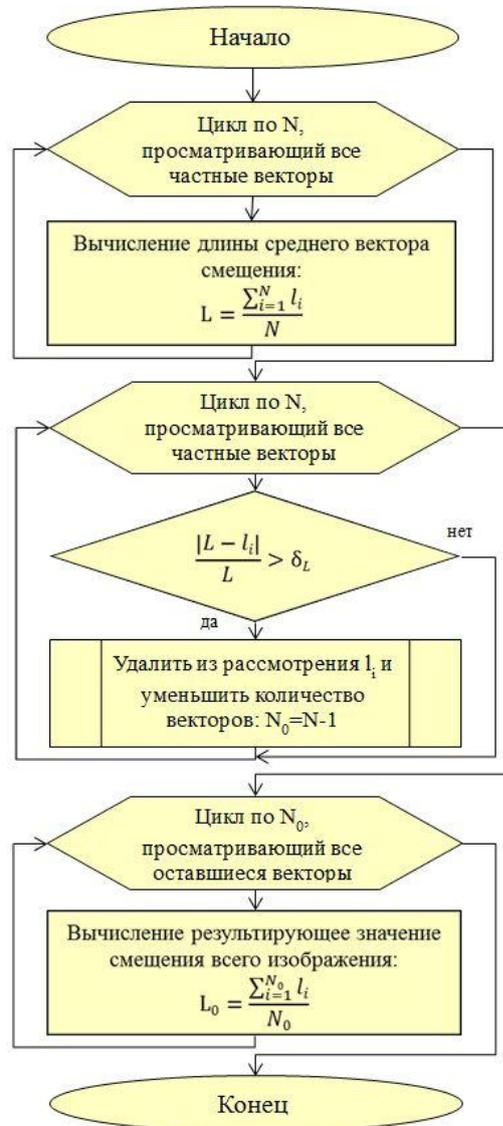


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма фильтрации векторного поля по значению длины

Результатом усреднения частных векторов уже после фильтрации и является величина конечного смещения кадра. Таким образом, определяется направление и величина межкадрового сдвига пары кадров.

На этапе совмещения изображений необходимо произвести сопоставление перекрывающихся частей кадров. Идея метода заключается в том, что неподвижные точки фона перейдут от одного кадра к другому без

значительных смещений, а точки, принадлежащие ПНО, сместятся заметно больше преобладающего фона. Для анализа смещений точек производится переход от точечного анализа к сегментному, т.е. сопоставляются найденные на этапе предобработки сегменты изображений. Каждый сегмент представляет собой некую однородную область, все точки которой имеют близкое значение яркости. Совершенно очевидно, что сам объект, если он отличим от подстилающей поверхности, будет являться одним из выделенных сегментов, так называемым «пятном движения».

Таким образом, смещение сегментов, охватывающих фон, будет отличаться от сегментов, охватывающих ПНО. Произведя совмещение сравниваемых кадров, формируется маска движения, посредством пороговой фильтрации, которая представляет собой бинарное изображение, единицы которого соответствуют предполагаемым ПНО, а нули – подстилающей поверхности. На рисунке 4 представлены сравниваемые кадры и результат формирования маски движения.

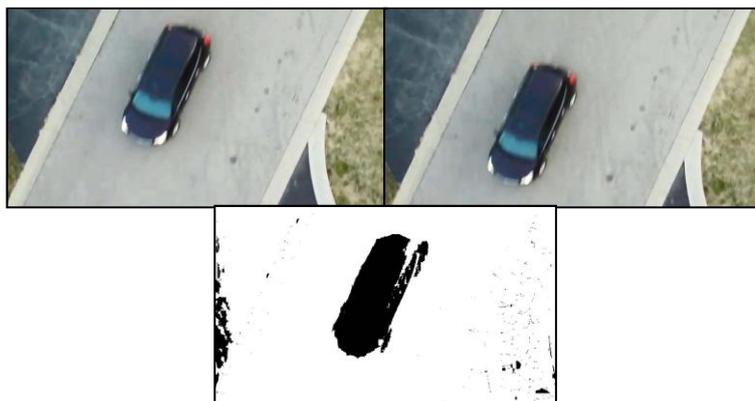


Рис. 4 – Маска движения

Определение подвижных объектов на сравниваемых кадрах предполагает выполнение этапов восстановления элементов маски движения и ее анализ. На этапе восстановления для всего изображения маски движения последовательно выполняются следующие морфологические операции: дилатация –  $A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$ , где  $z | (\hat{B})_z$  – операция центрального отражения множества  $B$  относительно начала координат, сдвинутое в точку  $z$ ; замыкание –  $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$ , где  $\ominus$  – эрозия; заполнение области и выделение связной компоненты определяются схожими выражениями

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad (1)$$

$$X_k = (X_{k-1} \oplus B) \cap A \quad (2),$$

$$X_0 = p \text{ и } k = 1, 2, 3, \dots$$

где  $A^c$  – множество элементов, не содержащихся в  $A$ . Заполнение области множества  $A$ , начиная с заданной внутренней точки  $p$  этой области, определяется выражением (1). Нахождение связной компоненты в множестве  $A$ , начиная с заданной точки  $p$  внутри этого множества, определяется выражением (2). Данные операции останавливаются на  $k$ -ом шаге итерации, когда  $X_k = X_{k-1}$ .

Последним этапом в алгоритме определения ПНО является анализ сформированной маски движения, состоящий из трех шагов, его структурная схема приведена на рисунке 4.



Рис. 4 – Структурная схема анализа маски движения

Также во второй главе описан разработанный метод совместного анализа изображений видимого и ИК диапазонов. Метод комплексирования алгоритмов заключается в следующем. При обработке двух кадров на этапе анализа маски движения с целью выявления сигнала от ПНО предлагается учесть результаты анализа ИК снимка, проанализировав на ИК снимке однородные области, то есть те области, в которых объекты имеют одинаковую яркость. Обычно методы анализа ИК снимков основаны на спектральных характеристиках, то есть оценивают конкретные значения яркости и, в зависимости от области применения, используют те или иные алгоритмы распознавания объектов.

Предложенный метод обработки ИК снимков принципиально отличается от традиционного подхода тем, что области, имеющие «однородные» характеристики определяются, как области описания точечных особенностей изображения. ИК снимок обрабатывается алгоритмом поиска точечных особенностей SIFT и выбираются только те точки, чьи характеристики превосходят пороговое значение. При описании этих точек описывается локальная область, для которой эта точка является

уникальной, следовательно, таким образом, определяются области, имеющие свою специфическую особенность.

На ИК снимках подвижные объекты значительно отличаются от подстилающей поверхности, поэтому сам объект и будет являться локальной областью. Помимо ПНО на ИК снимках будут выделены области, являющиеся неподвижными объектами или элементами фона, но главным результатом будет определение местоположения именно подвижных объектов. Результат работы алгоритма SIFT для ИК снимка представлен на рисунке 5.



Рис. 5 – Обработка ИК снимка алгоритмом SIFT

На этапе анализа маски движения, найденные группы пикселей сопоставляются с областями, найденными на ИК снимках. При их соответствии группа пикселей относится к ПНО. То есть промежуточные данные анализа снимков видимого диапазона сверяются с данными анализа снимков ИК диапазона. При этом вычисление точечных особенностей происходит только в тех областях ИК снимка, которым соответствуют проверяемые области изображения видимого диапазона, т.е. при анализе ИК снимка участвуют лишь те области изображения, в которых предположительно находится подвижный объект. Тем самым удается избежать повторной обработки целиком всего изображения, что существенно сокращает вычислительные операции. Стоит также отметить, что на этапе совместного анализа ИК изображений и изображений видимого диапазона определение типа объекта не производится, а устанавливается факт движения наземного объекта. На рисунке 6 представлена блок-схема разработанного алгоритма.



Рис. 6 – Блок-схема комплексного алгоритма анализа снимков ИК и видимого диапазонов

**Третья глава** посвящена непосредственному описанию разработанного комплексного алгоритма идентификации ПНО с борта БЛА и всех частных алгоритмов, входящих в его состав, а также определению и описанию параметров функционирования всех частных алгоритмов. В диссертационной работе приводится подробное описание каждого из определяемых параметров, а здесь будут описаны лишь наиболее значимые.

Одним из таких параметров является порядок выбора пары сравниваемых кадров. В ходе исследования были проведены эксперименты, позволившие установить зависимость среднего количества ложных

срабатываний от порядка выбора кадров. На рисунке 7 представлена полученная зависимость.

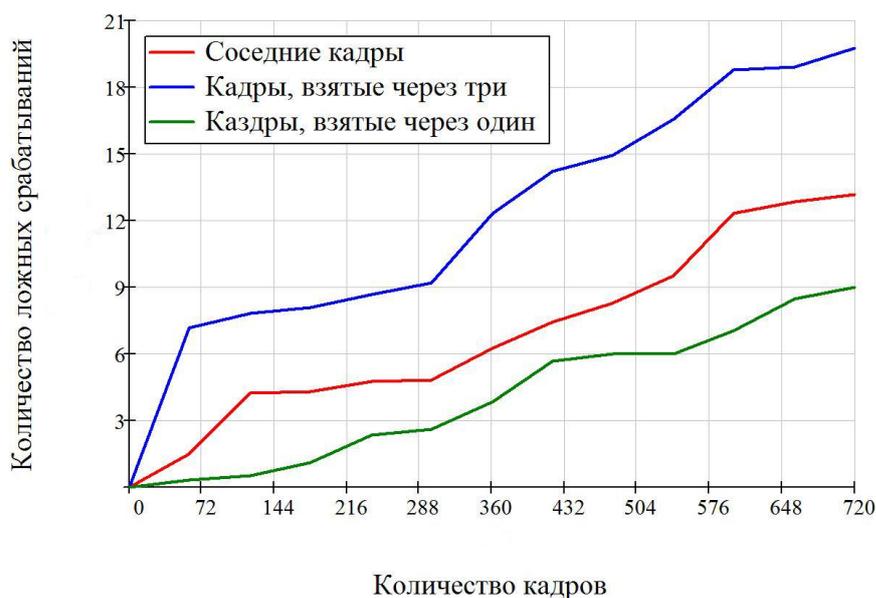


Рис. 7 – Влияние выбора сравниваемых кадров на количество ложных срабатываний

В разработанном алгоритме при сопоставлении двух кадров последовательности, будут выбираться кадры, взятые через один. В случае необходимости уточнения результатов, возможен анализ соседних кадров.

Особое внимание уделяется экспериментальному определению порогового значения меры сходства двух изображений. На этапе совмещения изображений необходимо оценить, на сколько реальное смещение сцены, зафиксированной на рассматриваемых кадрах, отличается от рассчитанного. Для этого используются данные, полученные на этапе сегментирования, в результате которого на изображениях были выделены однородные области. Один кадр смещается относительно другого на рассчитанную величину смещения и формируется маска движения.

Алгоритм формирования маски движения сравнивает кадры, основываясь на анализе общих однородных областей кадров, полученных при сегментации изображений. Сопоставление происходит на пиксельном уровне по следующему правилу: вычисляется значение разности яркостей  $\rho$  рассматриваемых пикселей:

$$\rho = I_1(x_i, y_j) - I_2(x_i, y_j), \quad (3)$$

где в качестве яркостей  $I_1(x_i, y_j)$  и  $I_2(x_i, y_j)$  берутся средние значения яркости той области, которой принадлежит рассматриваемый пиксель. Затем эта величина участвует в определении степени сходства ( $P$ ) двух пикселей, которое выражается следующей формулой:

$$P = \begin{cases} 0, & \text{если } \frac{\rho - \delta}{\delta} < \Delta \\ 1, & \text{если } \frac{\rho - \delta}{\delta} \geq \Delta \end{cases}, \quad (4)$$

где  $\delta$  – пороговое значение разности;  $\Delta$  – относительное пороговое значение изменения яркости. Относительное пороговое значение изменения яркости вводится для того, чтобы сделать более наглядными графики зависимости количества ошибок от величины  $\Delta$ .

Основной сложностью на данном этапе является определение относительного порогового значения –  $\Delta$ , т.к. оно напрямую влияет на чувствительность результирующего алгоритма к движению. Из формулы 4 видно, что увеличение значения  $\Delta$  ведет к понижению чувствительности системы к движениям, а ее уменьшение к повышению соответственно. Другими словами, увеличив значение  $\Delta$ , уменьшается влияние помех, а после определенного уровня увеличивается количество ошибок II рода. Уменьшение  $\Delta$  приводит к повышению чувствительности и, соответственно, появлению возможности обнаруживать малоподвижные и малоразмерные объекты, но при этом увеличивается количество ошибок I рода. Одно из требований к системе идентификации ПНО с борта БЛА говорит о том, что соотношение числа ошибок I рода к числу ошибок II рода должно быть не менее чем 2:1, при условии минимизации суммарного количества ошибок.

Для определения характера влияния порогового значения  $\Delta$  на результаты работы системы были проведены эксперименты по установлению зависимости числа ошибок I и II рода от порогового значения  $\Delta$ , которые показали, что при значении порога  $\Delta=0,15$  выполняется требование по соотношению ошибок определения ПНО. На рисунке 8 показан совмещенный график ошибок I и II рода (а) – при  $\Delta=0,1$  (б) – при  $\Delta=0,15$ , (в) – при  $\Delta=0,2$ .

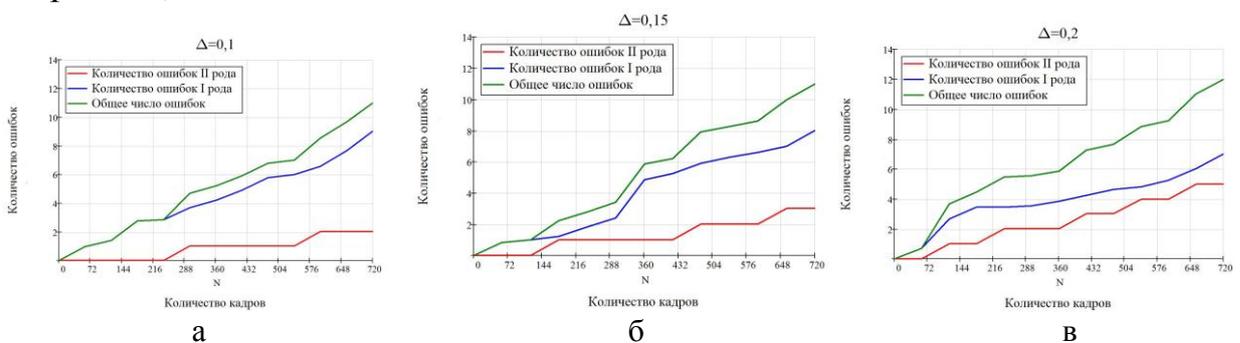


Рис. 8 – Совмещенный график ошибок I и II рода

При функционировании разработанной системы важную роль играет модифицированный алгоритм идентификации. В качестве метода идентификации ПНО был обоснованно выбран метод сравнения с эталонами. В базе данных хранится по 5 снимков ПНО каждого класса, каждый из которых будет являться эталонным изображением объекта своего класса и «сходство» найденного объекта определяется путем сопоставления всех снимков базы данных с текущим изображением. Применение данного метода становится возможным только после вычисления некоторых характеристик найденных объектов, иначе количество операций сопоставления не позволит функционировать системе идентификации в режиме реального времени. Данными характеристиками являются минимальный и максимальный масштабы объекта, направление движения объекта и область движения, в которой объект был зафиксирован.

Для группы связанных пикселей определяются точки, принадлежащие ее контуру, затем для каждой точки вычисляются расстояния до всех оставшихся точек контура и среди полученных длин выбирается наибольшая, именно эта величина и будет являться длиной связанной группы. Стоит отметить, что данная величина не является длиной самого ПНО, а используется лишь для вычисления ориентировочных размеров объекта. Определив все длины связанных групп пикселей, из них выбирается минимальная и максимальная. Направление движения объекта возможно определить сопоставив его перемещения на сравниваемых кадрах. При сравнении используются две ориентации эталона: совпадающая перемещению и диаметрально противоположная ей. В качестве области движения выступает выставленный строб. Эксперименты показали, что полученная модификация алгоритма идентификации объектов путем сопоставления с эталонами, позволяет функционировать системе идентификации в режиме реального времени, при условии заданного уровня качества (число ошибок идентификации). На рисунке 9 представлена блок-схема модифицированного алгоритма идентификации по эталонным изображениям.



Рис. 9 – Блок-схема модифицированного алгоритма идентификации

**В четвертой главе** приводится описание структуры разработанной системы идентификации ПНО с борта БЛА. Сформулированы требования к бортовому вычислителю и съемочной аппаратуре, необходимые для функционирования разработанной автоматической системы идентификации ПНО с борта БЛА.

Также, описаны результаты моделирования и тестирования разработанного программного обеспечения на реальных данных. Произведен расчет вероятности верного обнаружения ПНО, вероятности появления ошибки I рода и II рода). Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов анализа рассматриваемых видеофрагментов

Содержимое фрагмента	Определение ПНО			Идентификация ПНО		
	Кол-во верных обнаружений /вероятность	Кол-во ошибок I рода / вероятность	Кол-во ошибок II рода / вероятность	ПНО обнаружен верно, кол-во /вероятность	ПНО обнаружен неверно	
					Выбран один из существующих классов, кол-во /вероятность	Неизвестный класс объектов, кол-во /вероятность
Нет подвижных объектов	————	9 / 0,01	————	————	0 / 0	9 / 0,03
В кадре один объект	705 / 0,97	11 / 0,02	2 / 0,01	691 / 0,98	3 / 0,01	8 / 0,02
В кадре два объекта	696 / 0,91	11 / 0,02	2 / 0,01	680 / 0,96	4 / 0,01	7 / 0,01
В кадре три и более объектов	690 / 0,89	12 / 0,03	3 / 0,01	650 / 0,91	6 / 0,01	6 / 0,01

Полученные результаты позволяют сделать вывод о работоспособности разработанного экспериментального ПО, основанного на разработанном комплексном алгоритме определения ПНО в видеопотоке, поступающем с бортовой видеокамеры БЛА, и модернизированном алгоритме идентификации, основанном на сопоставлении рассматриваемого объекта с базой эталонов.

Также, проведен сравнительный анализ совместной обработки изображений ИК и видимого диапазонов. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментов

Содержимое фрагмента	Кол-во верных обнаружений /вероятность	Кол-во ошибок I рода / вероятность	Кол-во ошибок II рода / вероятность
Видимый диапазон	705 / 0,95	11 / 0,02	2 / 0,01
Совмещенный анализ ИК и видимого диапазонов	466 / 0,97	5 / 0,01	1 / 0,01

Анализ полученных результатов показал, что применение комплексного алгоритма совместной обработки видеофрагментов полученных в ИК и видимом диапазонах, увеличило вероятность верного обнаружения ПНО и уменьшило вероятность появления ошибки I рода, при такой же вероятности появления ошибки II рода

**В заключении** перечислены **основные результаты работы**, которые сводятся к следующему:

Основные результаты, полученные в диссертации, состоят в следующем:

1. Обоснована возможность использования комплекса частных алгоритмов обработки изображений, без разработки обобщенной математической модели, для решения поставленных задач диссертационного исследования.

2. Разработан метод определения ПНО в видеопотоке, получаемом с бортовой видеокамеры БЛА, основанный на анализе точечных особенностей, получаемых модифицированным алгоритмом SIFT. Предложенный метод, также использует разработанную методику определения вектора межкадрового сдвига.

3. Модифицирован алгоритм идентификации ПНО, основанный на сопоставлении рассматриваемого изображения с эталонами. Предложены методы определения некоторых характеристик анализируемых изображений, позволяющих применять данный алгоритм в режиме реального времени. Этими характеристиками являются ориентация ПНО относительно изображения, диапазон масштабов, необходимых для сопоставления, и области поиска, соответствующие выставленным стробам.

4. Предложена функция, отражающая степень сходства сравниваемых дескрипторов  $S(d', d'')$ , учитывающая в отдельности различия между соответствующими координатами дескрипторов. Экспериментально определены пороговые значения отклонения длины  $\delta_L$  и угла  $\delta_\alpha$  векторов, составляющие 15% и 5% от средних значений длины и углов векторного поля соответствий, необходимые для определения результирующего значения вектора межкадрового сдвига.

5. Получена зависимость числа ошибок I и II рода от значения относительного порога изменения яркости  $\Delta$  на этапе формирования маски движения. Экспериментально установлено значение порога  $\Delta=0,15$ , при котором выполняется установленное требование к отношению числа ошибок

I и II рода. Полученная зависимость позволяет быстро подбирать пороговое значение  $\Delta$  в зависимости от предъявляемых условий функционирования системы.

6. Сформулированы требования к бортовому вычислителю и съемочной аппаратуре, необходимые для функционирования разработанной автоматической системы идентификации ПНО с борта БЛА.

7. Полученные результаты обработки реальных данных позволили определить значения вероятностей верного определения ПНО и появления ошибок I и II рода. В среднем, вероятность верного обнаружения ПНО при его попадании в кадр равна 0,9831, а вероятность появления ошибок I и II рода – 0,0152 и 0,0033 соответственно. Вероятность верной идентификации объекта, в случае его верного обнаружения, равна 0,9534. Также полученные результаты обработки реальных данных показали полностью корректную работу разработанного экспериментального ПО и подтвердили возможность функционирования разработанной автоматической системы идентификации ПНО в указанных условиях в режиме реального времени.

8. Разработан комплексный алгоритм обработки изображений видимого и ИК диапазонов, основанный на анализе точечных особенностей изображений. Применение разработанного комплексного алгоритма возможно при наличии соответствующей съемочной аппаратуры на борту БЛА, синхронизированной по времени. Анализ обработки данных с использованием вышеуказанного комплексного алгоритма, подтвердил работоспособность разработанного алгоритма. В результате проведенных экспериментов были получены значения вероятностей верного определения ПНО – 0,9957, появления ошибки I рода – 0,0107 и появления ошибки II рода – 0,003. Данные результаты позволяют сделать вывод об улучшении качества определения ПНО при использовании комплексного алгоритма анализа. Недостатком разработанного ПО является превышение длительности обработки видефрагментов их продолжительности. Это превышение, в среднем, составляет 5%.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ

По материалам диссертации опубликовано 7 статей.

*В изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, опубликовано 3 статьи:*

1. Казбеков Б.В., Максимов Н.А., Пуртов И.С., Синча Д.П. Локализация местоположения БЛА на основе распознавания изображений подстилающей поверхности // Научно-технический вестник Поволжья. — 2011. — №5. — С. 20-26.
2. Казбеков Б.В. Совмещение инфракрасных изображений с изображениями видимого диапазона в задачах идентификации подвижных наземных целей с борта беспилотного летательного аппарата // Электронный журнал «Труды МАИ». — 2013. — № 65. — Режим доступа:  
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=35912>.
3. Казбеков Б.В. Распознавание подвижных наземных объектов с борта БЛА // Научно-технический вестник Поволжья. — 2013. — №2. — С. 120-122.

*В других изданиях 4 статьи:*

4. Казбеков Б.В., Максимов Н.А. Разработка и реализация алгоритма отслеживания подвижных наземных объектов в видеопотоке, получаемом с борта БПЛА // Тезисы докладов XII Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и Космос», Днепропетровск, 2010.
5. Разработка и исследование новых методов поиска визуальной информации в базах данных при принятии решений в перспективных информационно-управляющих системах наблюдений и мониторинга: отчет о НИР по гранту РФФИ, проект 09-08-00689-а / Максимов Н.А., Казбеков Б.В., Новоселов С.В., Осипчук О.К., Проненко В.Д., Синча Д.П. — Москва: Московский авиационный институт (национальный технический университет) (МАИ), 2010. — Режим доступа:  
[http://grant.rfbr.ru/project\\_info.asp](http://grant.rfbr.ru/project_info.asp)
6. Казбеков Б.В. Отслеживание подвижных наземных целей с борта БЛА // Тезисы докладов 10-я Международная конференция «Авиация и космонавтика–2011», Москва, 2011.
7. Разработка и исследование новых методов поиска визуальной информации в базах данных при принятии решений в перспективных информационно-управляющих системах наблюдений и мониторинга:

- отчет о НИР по гранту РФФИ, проект 09-08-00689-а / Максимов Н.А., Казбеков Б.В., Новоселов С.В., Осипчук О.К., Проненко В.Д., Синча Д.П. — Москва: Московский авиационный институт (национальный технический университет) (МАИ), 2011. — Режим доступа: [http://grant.rfbr.ru/project\\_info.asp](http://grant.rfbr.ru/project_info.asp)
8. Казбеков Б.В. Совмещение ИК изображений с изображениями видимого диапазона в задачах идентификации подвижных наземных целей с борта БЛА// Тезисы докладов 11-я Международная конференция «Авиация и космонавтика–2012», Москва, 2012.
  9. Разработка и исследование новых методов поиска визуальной информации в базах данных при принятии решений в перспективных информационно-управляющих системах наблюдений и мониторинга: отчет о НИР по гранту РФФИ, проект 09-08-00689-а / Максимов Н.А., Казбеков Б.В., Новоселов С.В., Осипчук О.К., Проненко В.Д., Синча Д.П. — Москва: Московский авиационный институт (национальный технический университет) (МАИ), 2012. — Режим доступа: [http://grant.rfbr.ru/project\\_info.asp](http://grant.rfbr.ru/project_info.asp)
  10. Kazbekov B.V. Morphological data processing in the tasks comparisons of digital images // II Science, Technology and Higher Education: materials of the II international research and practice conference, Westwood, Canada, April 17. — 2013. — 84-88 p.







