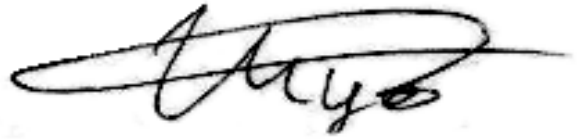


На правах рукописи



ШУБИН Никита Юрьевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРЕНИЯ
КООРДИНАТ ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ БОРТОВЫХ
СИСТЕМ АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка
информации (технические системы)»

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Рязань 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Алпатов Борис Алексеевич

Официальные оппоненты Кузнецов Алексей Евгеньевич,
доктор технических наук, профессор,
НИИ «Фотон» при ФГБОУ ВПО «РГРТУ»,
г. Рязань, зам. директора

Тишкин Роман Валентинович,
кандидат технических наук,
филиал ФГУП «ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс" -
"ОКБ "Спектр"», г. Рязань, начальник отдела
разработки и внедрения информационного и
программного обеспечения

Ведущая организация: ОАО «НПО «Орион», г. Москва

Защита состоится **20 февраля 2013 г.** в **12** часов на заседании
диссертационного совета Д 212.211.01 в ФГБОУ ВПО «Рязанский
государственный радиотехнический университет» по адресу:

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, ауд. 235.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Автореферат разослан 16 января 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Системы обработки и анализа видеoinформации всё более интенсивно применяются в различных областях человеческой деятельности. Наиболее широкое распространение они получили при решении таких задач, как навигация, космический мониторинг Земли, контроль качества и количества производимой продукции, обеспечение безопасности различных объектов, передача и хранение видеоданных, медицинские и военные приложения.

Одним из направлений при создании систем анализа и обработки видеoinформации является разработка бортовых систем видеослежения, которые предназначены для установки на мобильных носителях, таких как самолёты, вертолёты, корабли, автомобили или танки (рис. 1).

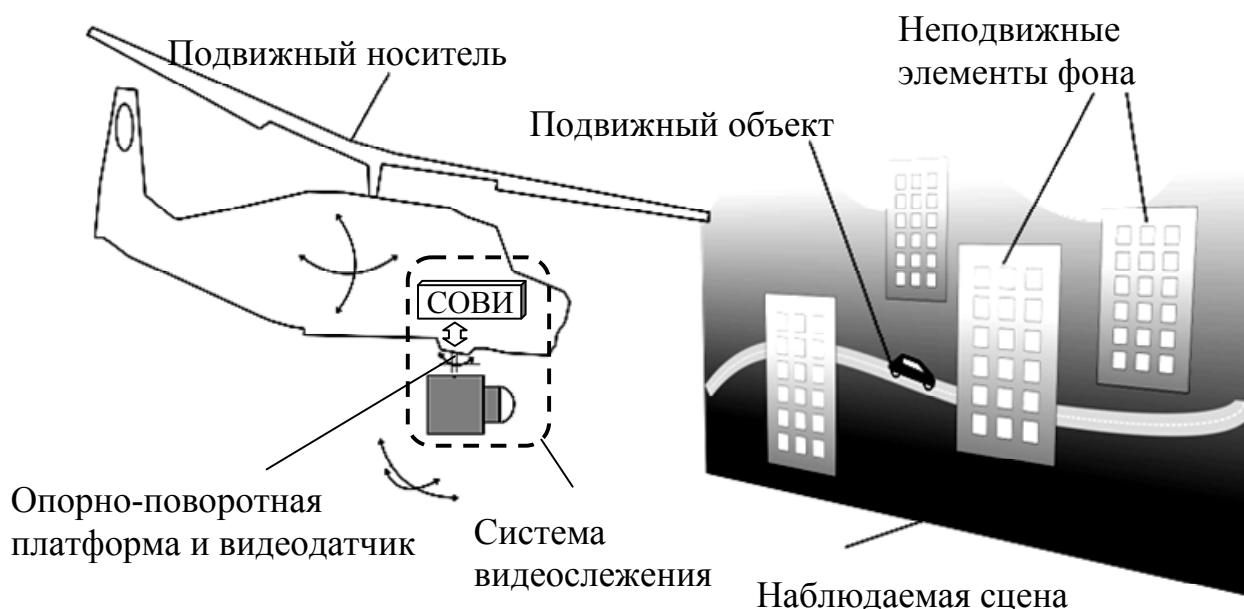


Рисунок 1 – Система видеослежения, расположенная на борту подвижного носителя

Из характерных черт систем данного класса можно выделить, в первую очередь, необходимость работы в реальном времени. Также эти системы должны функционировать в полуавтономном режиме, требуя от оператора минимума действий и предоставляя ему информацию в наиболее удобной форме.

На рис. 2 изображена обобщённая структурная схема построения системы видеослежения реального времени с видеодатчиком ВД, системой обработки видеoinформации СОВИ и опорно-поворотной платформой, задающей ориентацию ВД относительно носителя. Видеопоследовательность поступает с выхода ВД на вход СОВИ, в которой происходит обработка видеоизображений, в том числе получение информации для управления приводами опорно-

поворотной платформы. На этот блок также поступают команды от оператора системы, в результате чего формируются сигналы управления для изменения углов поворота видеодатчика. Параллельно с этим на устройство отображения информации поступает обработанная видеопоследовательность, а также дополнительная информация, предназначенная для оператора.

При разработке бортовых систем видеослежения возникает целый ряд задач, связанных с обнаружением, выделением и слежением за объектами, находящимися в поле зрения датчика изображений. Примерами таких объектов могут служить различные летательные аппараты, автотранспорт, суда или люди. Существует большое количество алгоритмов и методов измерения координат объектов, используемых в системах видеослежения, работающих при определённых фоноцелевых обстановках. Однако не создано универсальных подходов к решению задачи измерения координат объектов. Большинство описанных в литературе подходов (методы на основе сопоставления с эталоном, методы статистической сегментации, методы на основе пространственной и пространственно-временной фильтрации) эффективно применяются в работе с объектами малого и среднего размеров. В то же время проблема измерения параметров протяжённых объектов, имеющих размеры, сопоставимые с размерами самого изображения, практически не освещена. Вычислительная сложность большинства известных методов, таких как методы на основе сопоставления с эталоном, возрастает с ростом размеров объекта интереса в кадре. Применение методов статистической сегментации затруднено в связи с высокой сложностью текстуры как фона, так и объекта. Сильные ракурсные искажения изображений фона и объекта в условиях подвижного носителя видеодатчика делают неприменимыми большинство алгоритмов на основе пространственной и пространственно-временной фильтрации.

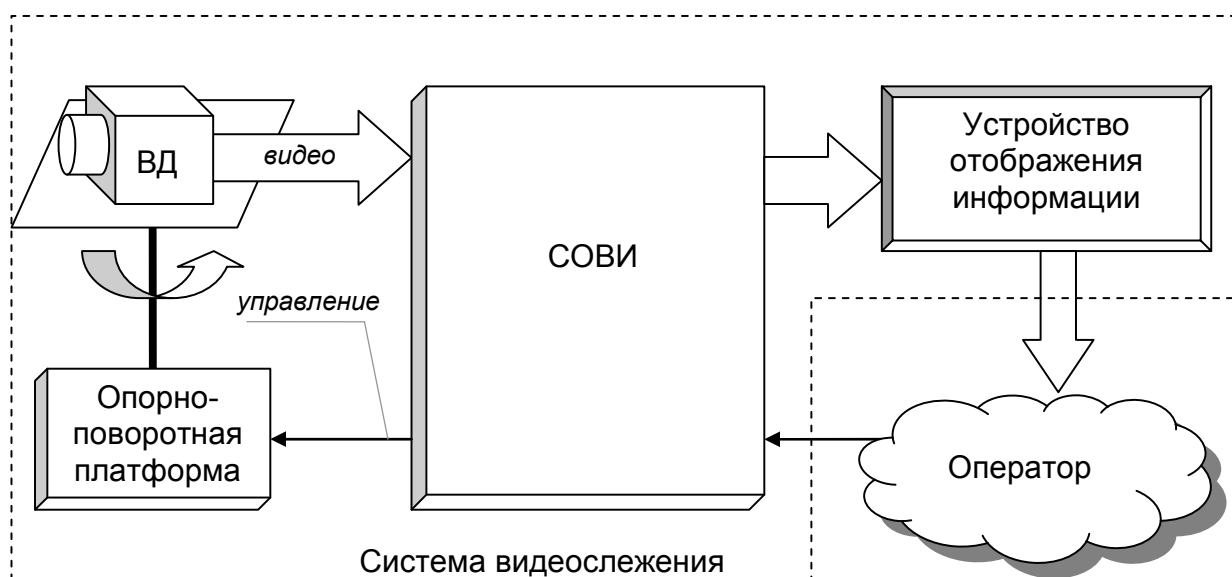


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема системы видеослежения

Таким образом, существует актуальная проблема измерения координат протяжённых объектов в бортовых системах видеослежения.

Степень разработанности темы

Вопросам оценки параметров объектов на динамических изображениях уделяется достаточно много внимания в отечественной и зарубежной литературе. Значительный вклад в разработку методов и алгоритмов оценки параметров объектов на динамических изображениях внесли работы таких отечественных и зарубежных учёных, как Б.А. Алпатов, Д.Б. Волегов, В.В. Гусев, Д.В. Юрин, Ю.В. Визильтер, А.В. Желтов, С. Crane, Q. Pham, W. Pratt, S.Wang и др. Несмотря на большое количество работ по данной тематике, анализ литературы показал, что возможности для повышения качества решения рассматриваемых задач использованы не в полной мере.

В ряде работ рассматривается задача оценки параметров объектов, размеры которых сопоставимы с размерами изображения, в том числе в условиях подвижности датчика. Но эти работы обычно отличает слишком узкая направленность применения: либо строго определённый тип объектов, либо ограничения на изменение таких параметров объекта, как его форма, размер и тип геометрических искажений, которым объект подвергается с течением времени. Однако класс протяжённых объектов является достаточно обширным. Изображения объектов подобного рода могут значительно менять свою форму и размеры в процессе наблюдения с подвижного носителя.

Таким образом, **цель диссертации** состоит в разработке алгоритмов измерения координат протяжённых объектов на изображении и исследовании их работы в бортовых системах видеослежения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **основные подзадачи**:

- анализ существующих методов измерения координат объектов на изображении;
- разработка алгоритма измерения координат протяжённых неподвижных объектов;
- разработка алгоритма измерения координат протяжённых подвижных объектов;
- экспериментальные исследования эффективности разработанных алгоритмов.

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней разработано *модифицированное* преобразование Радона, позволяющее более качественно решать задачи обнаружения прямолинейных границ объектов на изображении. Также в ней предложено использовать признак изменения яркости пикселя с течением времени в байесовском классификаторе, используемом для генерации маски объекта в алгоритме на основе сопоставления с эталоном и использования маски. Эффективность разработанных подходов получила экспериментальное подтверждение.

Методы исследования

Теоретические исследования в настоящей работе выполнены на основе методов теории статистических решений, теории вероятностей, функционального анализа.

Моделирование и экспериментальные исследования предлагаемых алгоритмов выполнялись на реальных и синтезированных видеосюжетах.

Достоверность результатов и выводов диссертации подтверждается корректным использованием математического аппарата, результатами моделирования и экспериментальными исследованиями.

Реализация

Разработанные в диссертации модели и алгоритмы были использованы при выполнении ряда научно-исследовательских работ, проводимых в Рязанском государственном радиотехническом университете по заказам ОАО «Государственный Рязанский приборный завод» и по заказам Министерства образования и науки РФ, что подтверждается актами внедрения. По результатам диссертации была подана заявка на патент «Способ обработки сигналов для обнаружения прямолинейных границ объектов, наблюдаемых на изображении».

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на следующих конференциях:

– 15-й и 16-й международных научно-технических конференциях «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань – 2008, 2010);

– 13-й, 14-й и 16-й всероссийских конференциях «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании» (Рязань – 2008, 2009, 2011);

– 12-й и 14-й международных научно-технических конференциях «Цифровая обработка сигналов и ее применения» (Москва – 2010, 2012);

– всероссийской научной конференции молодых учёных «Наука, технологии, инновации» (Новосибирск – 2008);

– 8-й международной конференции «Авиация и космонавтика» (Москва – 2009);

– всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Актуальные проблемы развития нано-, микро- и оптоэлектроники» (Рязань – 2010);

– 21-й международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон'2011» (Москва – 2011).

Выступления на международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применения» (2010) и всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (2011) отмечены дипломами.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК для публикации результатов кандидатских диссертаций. Результаты исследований отражены в 18 отчётах о НИР.

Основные результаты, выносимые на защиту:

- модифицированное преобразование Радона;
- алгоритм измерения координат объекта на основе преобразования Радона;
- алгоритм измерения координат объекта на основе оценки его контура;
- алгоритм измерения координат объекта на основе сопоставления с эталоном и использования маски объекта.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (83 источника), изложенных на 180 страницах, содержит 45 рисунков и 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава диссертации является вводной. В ней приведён анализ задач, решаемых системами видеослежения, дано обоснование необходимости оценки параметров протяжённых объектов. Приведён анализ существующих подходов к решению основных задач в системах видеослежения, в том числе задач оценки координат протяжённых объектов. Детально рассмотрена задача оценки координат протяжённых объектов в условиях сильных ракурсных искажений, при неподвижности объектов относительно фона и при их движении. Сформулированы подходы к решению указанных выше задач.

Исходной проблемой, послужившей основой для выполненных в диссертационной работе исследований, является проблема измерения координат движущихся и неподвижных протяжённых объектов на сложном неоднородном фоне в бортовых системах обработки и анализа изображений, предназначенных для установки на таких движущихся носителях, как самолёты, вертолёты, автотранспорт. Обычно речь идёт об измерении координат участков дорог, малоэтажных протяжённых строений или групп строений, взлётно-посадочных полос и прочих крупноразмерных объектов искусственного происхождения.

Использование наиболее распространённых на сегодняшний день алгоритмов измерения координат объектов, как правило, приводит к повышению вычислительных затрат при невысокой точности работы, что негативно сказывается на эффективности решения задач слежения за крупноразмерными объектами. Для аппаратной реализации алгоритмов на основе сопоставления с эталоном требуется высокопроизводительная вычислительная платформа и существенная ёмкость памяти. При наблюдении с летательного аппарата изображение объекта интереса может подвергаться сильным ракурсным искажениям за короткий промежуток времени, что в некоторых случаях приводит к срыву слежения. Протяжённые объекты

зачастую являются сильно неоднородными по яркости. Это затрудняет использование алгоритма байесовской сегментации, так как сегмент, соответствующий объекту, будет «разваливаться» на составляющие, а применение алгоритмов связывания сегментов для столь крупных изображений требует значительных вычислительных затрат. Алгоритм пространственной фильтрации рассчитан преимущественно на малоразмерные объекты. Алгоритмы пространственно-временной фильтрации выделяют только движущиеся относительно фона объекты.

В то же время рассматриваемый класс объектов имеет ярко выраженную отличительную особенность – двумерные изображения объектов могут быть описаны комбинациями примитивов, таких как отрезки прямых. Таким образом, при решении задач выделения и слежения за крупноразмерными объектами на изображении в первую очередь следует обратить внимание на методы на основе анализа структурных элементов изображений. Алгоритмы данного типа в настоящей работе называются алгоритмами структурного анализа.

Поиск структурных элементов на изображении связан с серьёзными вычислительными затратами, и для применения алгоритмов структурного анализа в бортовых системах необходимо выбрать наиболее подходящий тип структурных элементов, обнаружение и измерение параметров которых имеют наименьшую вычислительную сложность при высоких показателях качества.

Одними из наиболее распространённых и легко детектируемых структурных элементов низкого уровня являются прямолинейные отрезки. Среди известных методов в качестве наиболее подходящих для решения задач выделения прямолинейных границ объектов изображения следует отметить методы, использующие преобразование Радона или Хафа. В рамках диссертационного исследования разработан алгоритм, основанный на указанных преобразованиях. Однако использование преобразования Радона или Хафа не позволяет отличить границы, принадлежащие фону, от границ, принадлежащих объекту. Таким образом, движение в разных направлениях границ, принадлежащих фону, и границ, принадлежащих объекту, создаёт трудности в измерении координат. В этом случае следует переключиться на алгоритм, в котором обнаружение прямолинейных границ проводится без использования преобразований Радона и Хафа. Таковым является разработанный в рамках диссертационной работы алгоритм измерения координат объекта на основе оценки его контура. Этот алгоритм более устойчив к перемещениям объекта относительно фона и использует в качестве структурных элементов прямолинейные границы, оконтуривающие объект. Для объектов, имеющих слишком малое количество прямолинейных отрезков, в том числе и на границе с фоном, разработан алгоритм на основе сопоставления с эталоном и использования маски объекта.

Таким образом, решение задачи измерения координат протяжённых объектов можно отобразить в виде блок-схемы на рис. 3.

Во **второй главе** описаны математические модели изображений, используемые при решении поставленных задач. Описаны алгоритмы,

использующие структурный анализ изображений, предназначенные для оценки параметров протяжённых объектов как при наличии сильных ракурсных искажений, так и в отсутствие таковых. Для повышения качества обнаружения прямолинейных границ в рамках диссертационной работы предложено модифицированное преобразование Радона, позволяющее повысить качество обнаружения прямолинейных границ на зашумлённом изображении.

Преобразование Радона для непрерывной двумерной функции $f(x, y)$ определяется выражением:

$$R(s, \alpha) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(s \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha, s \cdot \sin \alpha - z \cdot \cos \alpha) dz, \quad (1)$$

где $R(s, \alpha)$ – результат преобразования; (s, α) – параметры прямой, вдоль которой проводится интегрирование.

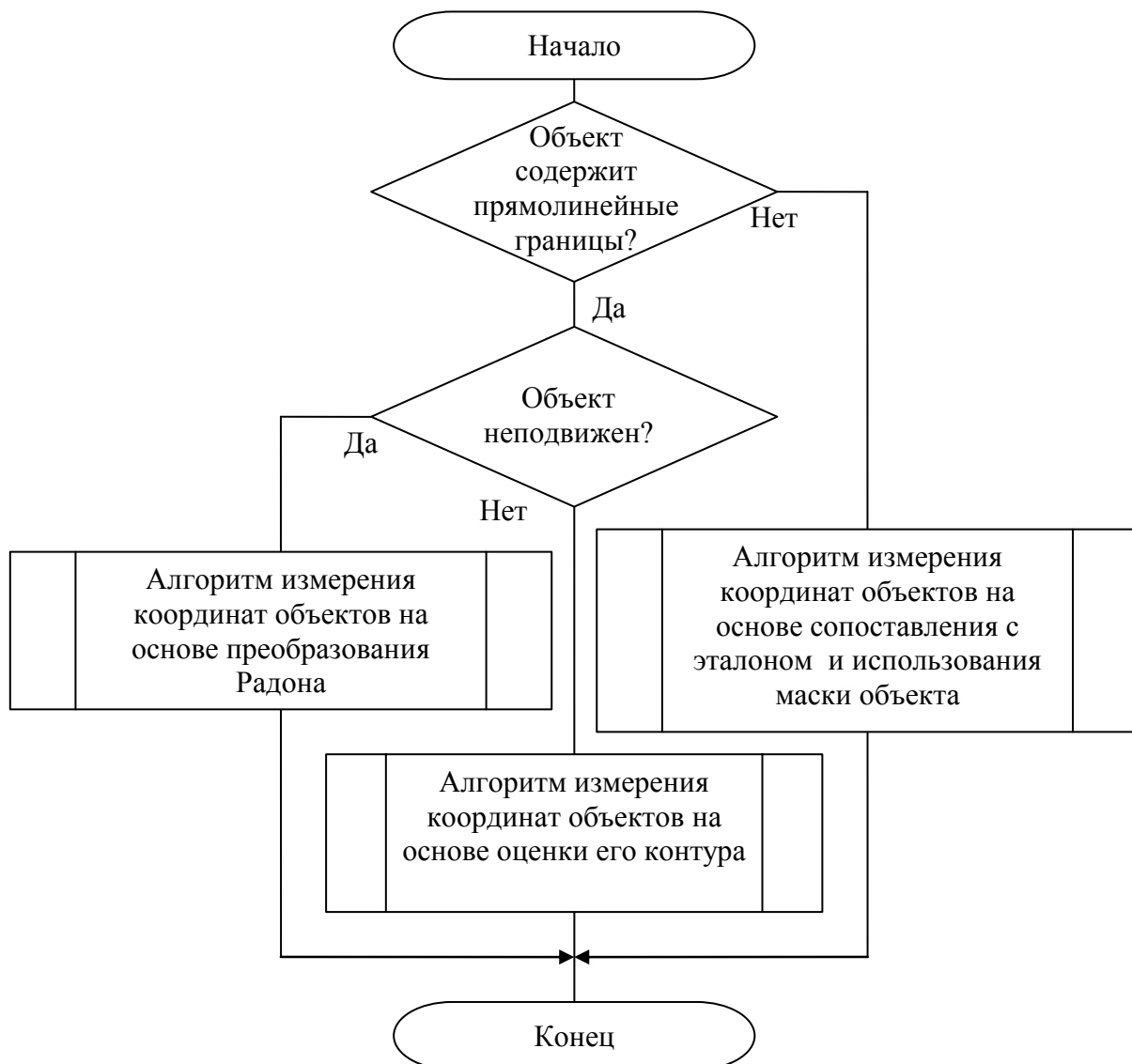


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма решения задачи измерения координат протяжённых объектов в системах видеослежения

Разработанный в рамках диссертации алгоритм измерения координат объектов на основе преобразования Радона использует предположение о том, что присутствие ярко выраженного локального максимума в точке (s, α) преобразования Радона обычно соответствует одному или нескольким светлым отрезкам, лежащим на прямой с параметрами (s, α) на исходном изображении. Положение объекта представлено в виде описанного вокруг объекта прямоугольника и на первом кадре задаётся вручную. На всех последующих кадрах алгоритм измеряет координаты объекта, основываясь на оценках перемещений прямолинейных границ внутри области интереса кадра. Область интереса имеет форму прямоугольника с центром в точке, где был обнаружен объект на предыдущем кадре. В соответствии с разработанным алгоритмом процедура обработки очередного кадра состоит из следующих этапов (рис. 4):

- 1) модифицированное преобразование Радона от области интереса исходного изображения (рис. 4, а) ибо обычное преобразование Радона от модуля градиента яркости области интереса исходного изображения (рис. 4, б);
- 2) поиск локальных максимумов результата обычного либо модифицированного преобразования Радона (рис. 4, в);
- 3) поиск взаимного соответствия полученных максимумов на текущем и предыдущем кадрах;
- 4) оценка сдвига изображения в области интереса;
- 5) сдвиг области интереса и оцениваемого положения объекта.

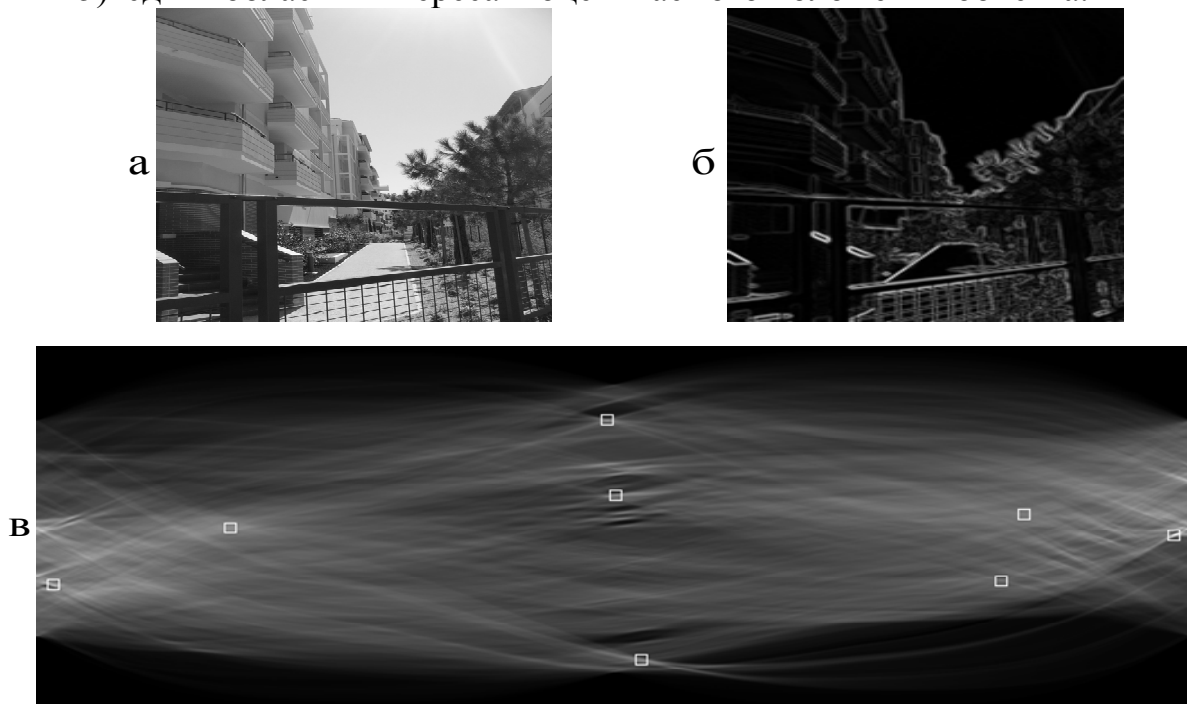


Рисунок 4 – Пример обнаружения прямолинейных границ в зоне поиска объекта. а – исходное изображение; б – модуль градиента яркости исходного изображения; в – результат преобразования Радона от модуля градиента яркости исходного изображения с отмеченными локальными максимумами, соответствующими найденным прямолинейным границам

Зона поиска объекта в текущем кадре берётся как увеличенная в K раз по ширине и высоте область положения объекта (оценённого самим алгоритмом либо указанного оператором) на предыдущем кадре. При этом рекомендуется задавать K в пределах $[1,2; 1,5]$. Результат модифицированного преобразования Радона от полученной области изображения используется для составления списка координат (s, α) найденных экстремумов. На последнем этапе осуществляется переход от выделенных прямолинейных границ в зоне поиска объекта к координатам самого объекта на исходном изображении.

Большинство описанных в литературе алгоритмов, использующих преобразование Радона, учитывают величину перепада яркости на границе объекта и фона, игнорируя направление этого перепада. Однако очевидно, что ориентация градиента в области границы двух объектов различной яркости будет близка к ориентации перпендикуляра к самой границе. С целью повышения качественных характеристик выделения прямолинейных границ объектов в диссертации предложено модифицированное преобразование Радона, которое может быть выражено через взвешенную сумму трёх обычных преобразований Радона:

$$\begin{aligned}
 R'(s, \alpha) = & \cos^2 \alpha \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right)^2 \Bigg|_{\substack{x=s \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha \\ y=s \cdot \sin \alpha - z \cdot \cos \alpha}} \cdot dz + \\
 & + \sin 2\alpha \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \cdot \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \Bigg|_{\substack{x=s \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha \\ y=s \cdot \sin \alpha - z \cdot \cos \alpha}} \cdot dz + \\
 & + \sin^2 \alpha \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)^2 \Bigg|_{\substack{x=s \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha \\ y=s \cdot \sin \alpha - z \cdot \cos \alpha}} \cdot dz.
 \end{aligned} \tag{2}$$

В данном случае в качестве $f(x, y)$ выступает оригинальное изображение, а не обработанное алгоритмом выделения границ. Экспериментальные исследования показывают эффективность модифицированного преобразования Радона в условиях действия аддитивного некоррелированного шума на изображение.

В условиях подвижного относительно фона объекта интереса более предпочтительным является алгоритм измерения координат объекта на основе оценки его контура. Целеуказанием для алгоритма является последовательность координат угловых точек объекта интереса на изображении, из которых составляется замкнутый контур объекта. Оценка контура объекта на очередном кадре осуществляется в три этапа (рис. 5):

1. разбиение контура (рис. 5, а), полученного на предыдущем шаге или путём целеуказания, на отрезки (рис. 5, б);
2. слежение за каждым из отрезков на изображении в отдельности (рис. 5, в);
3. объединение отрезков в контур (рис. 5, г).

Первый этап необходим для генерации списков координат начал и концов направленных отрезков, последовательно передаваемых на алгоритм слежения за прямолинейными границами объектов. Далее оценивается новое положение

каждого отрезка на очередном изображении. Для восстановления контура объекта по координатам отрезков используется алгоритм объединения отрезков в замкнутый контур.

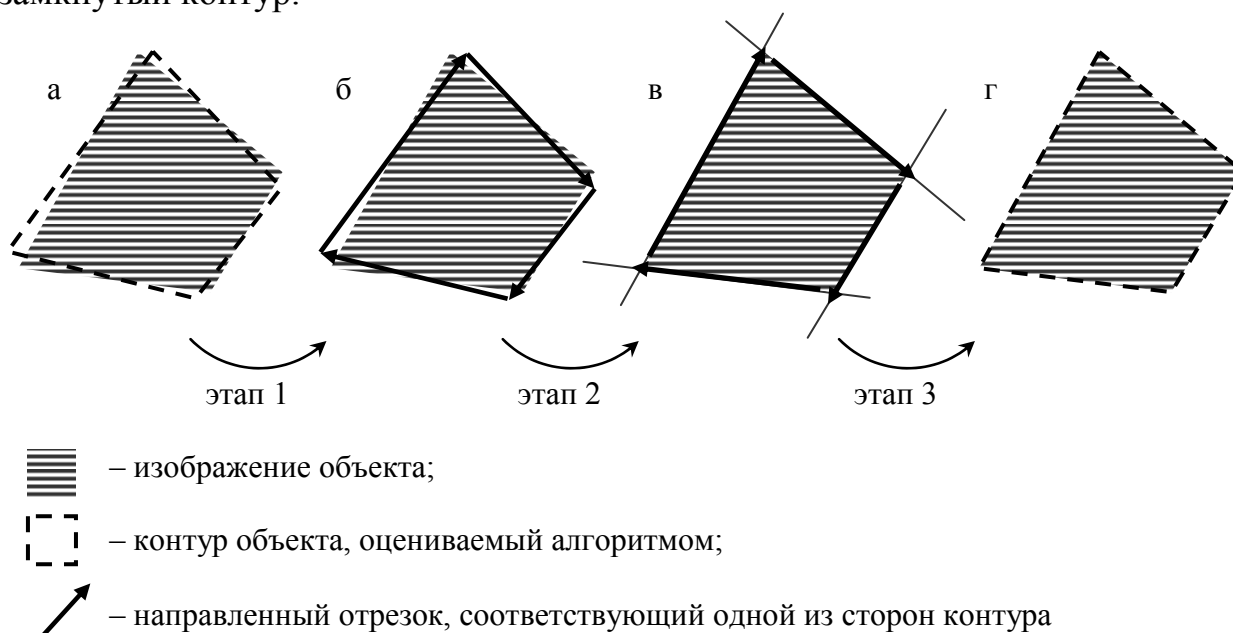


Рисунок 5 – Этапы работы алгоритма слежения за контурами объектов: а – текущее изображение объекта и его контур на предыдущем кадре; б – контур разбит на направленные отрезки; в – обновлённое положение отрезков на текущем кадре; г – контур, состоящий из отрезков

Третья глава посвящена алгоритму измерения координат объектов на основе сопоставления с эталоном и использования маски объекта. Рассмотрена задача генерации маски объекта в условиях его перемещения относительно фона на изображении. Предложен способ улучшения байесовского классификатора при его совместном использовании с алгоритмом на основе сопоставления с эталоном.

Основным отличием предлагаемого алгоритма от большинства алгоритмов на основе сопоставления с эталоном является то, что при измерении координат объекта на текущем видеокadre учитываются только пиксели, принадлежащие объекту на эталонном изображении, для чего используется модифицированная критериальная функция вида:

$$F_n(\alpha, \beta) = \sum_{(i,j) \in H} (l_n(i + \alpha, j + \beta) - h_n(i, j))^2 q_n(i, j), (\alpha, \beta) \in L, \quad (3)$$

где L – множество точек наблюдаемого изображения, H – множество точек эталонного изображения, $l_n(i, j)$ – наблюдаемое изображение на n -м кадре, $h_n(i, j)$ – эталонное изображение на n -м кадре, $q_n(i, j)$ – полутоновая или бинарная маска выделения объекта на эталонном изображении на n -м кадре ($0 < q_n(i, j) < 1$).

Обновление эталонного изображения производится с помощью экспоненциального сглаживания в соответствии со следующим выражением:

$$h_n(i, j) = k_n h_{n-1}(i, j) + (1 - k_n) h_{n-1}^*(i, j), (i, j) \in H, \quad (4)$$

где $h_n(i, j)$, $h_{n-1}(i, j)$ – эталонные изображения объекта, используемые для поиска объекта соответственно в n -м и $n-1$ -м кадрах; k_h – эмпирически подбираемый коэффициент ($0 < k_h < 1$); $h_{n-1}^*(i, j)$ – выделенная на $n-1$ -м кадре область изображения, содержащая объект.

Алгоритм формирования маски q_n объекта на эталонном изображении основан на методе байесовской классификации. В качестве априорной информации для формирования маски используются координаты описываемого вокруг объекта прямоугольника на предыдущем кадре. Область изображения внутри такого прямоугольника называется окном (рис. 6). Вычисляемые гистограммы признаков пикселей, принадлежащие окну и рамке, являются оценками плотностей распределения признаков пикселей объекта и фона соответственно.

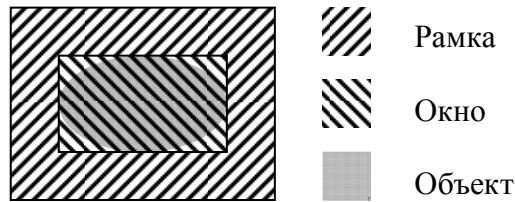


Рисунок 6 – Пример размещения рамки и окна относительно объекта

При равенстве стоимостей ошибок классификации, связанных с ошибками первого и второго рода, элемент изображения с вектором признаков Z , имеющий равные априорные вероятности принадлежности объекту и фону, будет классифицирован как относящийся к объекту, если соблюдается следующее условие:

$$q_n^*(i, j) > 0; \quad q_n^*(i, j) = \hat{P}(Z(i, j) / O) - \hat{P}(Z(i, j) / P), \quad (5)$$

где $\hat{P}(Z / P)$ и $\hat{P}(Z / O)$ – оценки плотностей распределения вектора признаков Z в точках, принадлежащих рамке и окну соответственно.

Полутоновая маска вычисляется согласно выражению:

$$q_n(i, j) = \frac{q_n^*(i, j) - \min_{(i, j) \in H} q_n^*(i, j)}{\max_{(i, j) \in H} q_n^*(i, j) - \min_{(i, j) \in H} q_n^*(i, j)}, \quad (6)$$

где $q_n^*(i, j)$ – полутоновая маска объекта на n -м кадре, $Z(i, j)$ – вектор признаков для точки (i, j) эталонного изображения. Выражение (6) используется для приведения области значения маски $q_n^*(i, j)$ в интервал $[0; 1]$.

Наиболее часто в алгоритме на основе байесовской сегментации в качестве признаков используются яркость и модуль градиента яркости:

$$\begin{aligned} z_n^a(i, j) &= h_n(i, j), \\ z_n^r(i, j) &= |\nabla h_n(i, j)|, \end{aligned} \quad (7)$$

где $z_n^a(i, j)$ – признак яркости элемента (i, j) на n -м кадре, $z_n^r(i, j)$ – признак модуля градиента яркости элемента (i, j) .

В рассматриваемом алгоритме для генерации маски предлагается ввести ещё один признак, называемый сглаженной изменчивостью. Она вычисляется в соответствии с выражениями:

$$z_n^{u*}(i, j) = |h_n(i, j) - h_n^*(i, j)|, \quad (8)$$

$$z_n^u(i, j) = k_h^* z_{n-1}^u(i, j) + (1 - k_h^*) z_n^{u*}(i, j), \quad (i, j) \in H,$$

где $z_n^{u*}(i, j)$ – изменчивость элемента (i, j) на n -м кадре, $z_n^u(i, j)$ и $z_{n-1}^u(i, j)$ – признаки сглаженной изменчивости яркости элемента (i, j) на n -м и $n-1$ -м кадрах соответственно, k_h^* – эмпирически подбираемый коэффициент сглаживания (обычно $0 < k_h^* < 1$).

В **четвёртой главе** приведены результаты экспериментальных исследований алгоритмов, рассмотренных в предыдущих главах, дано описание программного комплекса для проведения экспериментов. Рассмотрены вопросы реализации алгоритмов измерения координат протяжённых объектов в бортовых системах видеослежения.

Для проведения экспериментов разработана программная модель замкнутой системы слежения за объектами, изображённая на рис. 7. В неё входят: модуль генерации изображений наблюдаемой сцены, модуль формирования яркостных искажений (присущих видеодатчикам), модели исполнительного механизма и регулятора. Желаемым положением объекта в кадре обычно является центр изображения.

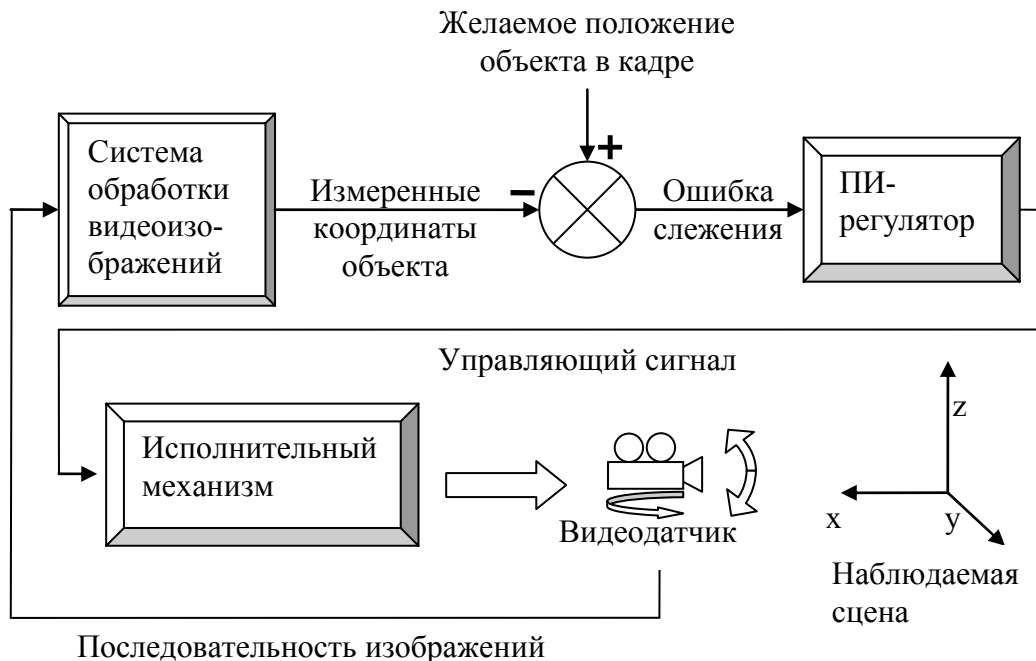


Рисунок 7 – Модель замкнутой системы слежения за объектами

Для оценки эффективности того или иного алгоритма измерения координат объектов использовались так называемые количественные характеристики работоспособности (КХР). В зависимости от степени

совпадения реального и измеренного положений объекта КХР принимала значение в интервале $[0; 1]$ (допустимо обозначение $[0\%; 100\%]$). Значение 1 соответствует полной идентичности измеренного положения объекта с реальным.

В экспериментальных исследованиях алгоритма измерения координат объектов на основе преобразования Радона сравнивались обычное и модифицированное преобразования Радона в условиях искажения изображения аддитивным шумом. Результаты сравнения приведены на рис. 8. Из него видно, что в условиях значительного аддитивного шума на изображении использование модифицированного преобразования Радона вместо обычного преобразования Радона повышает значение КХР алгоритма оценки координат объектов с прямолинейными границами приблизительно на 40 %.

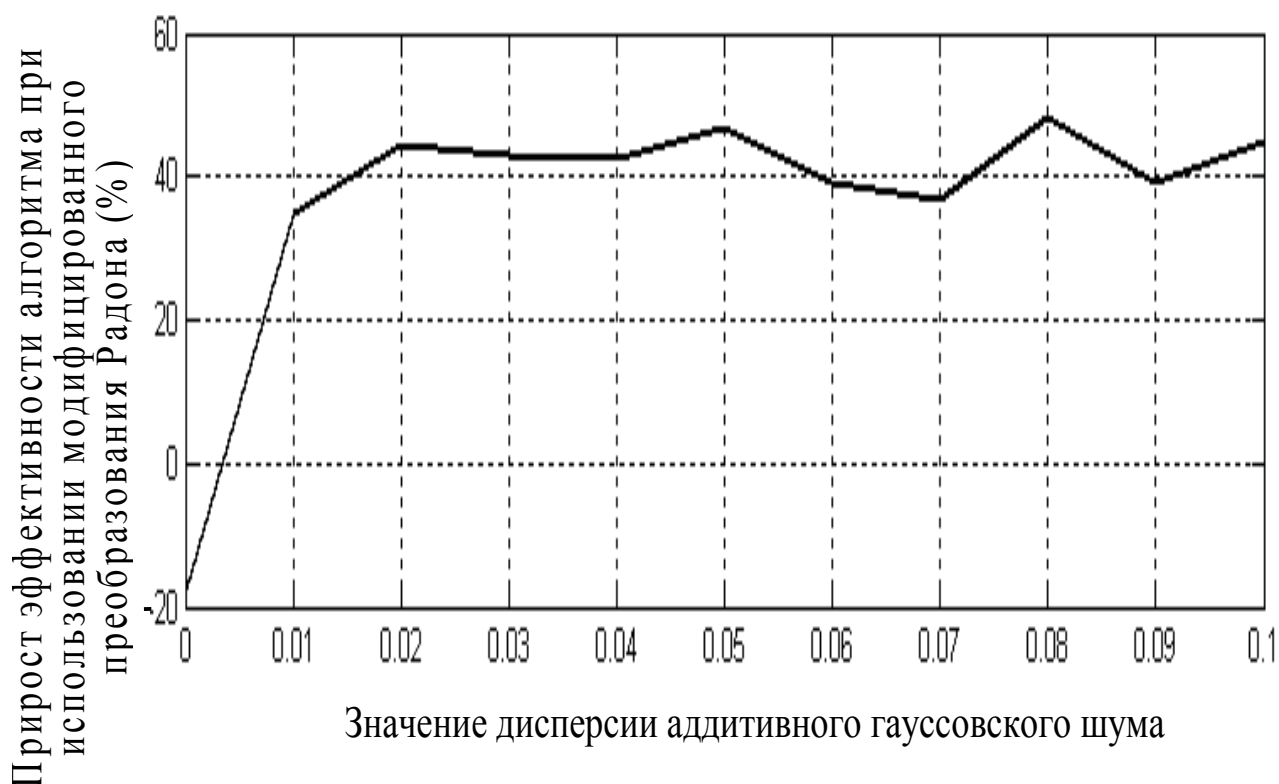


Рисунок 8 – Прирост среднего значения КХР алгоритма при использовании модифицированного преобразования Радона вместо обычного в процентах при разных значениях дисперсии аддитивного шума на изображении

Алгоритм измерения координат объекта на основе оценки его контура сравнивался с алгоритмом на основе байесовской сегментации. Значения КХР алгоритмов для четырёх видеосюжетов приведены в таблице.

Таблица – Результаты экспериментальных исследований алгоритма на основе оценки контура объекта

№ сюжета	1	2	3	4
КХР алгоритма на основе оценки контура объекта	0,87	0,41	0,37	0,76
КХР алгоритма на основе байесовской сегментации	0,54	0,08	0,14	0,05

Полученные данные позволяют сделать вывод, что разработанный алгоритм измерения координат объекта на основе оценки его контура способен адаптироваться к изменениям формы и размеров объекта, сохраняет работоспособность в условиях слабых статистических отличий между фоном и объектом, что выгодно отличает его от методов на основе байесовской классификации.

Экспериментальные исследования алгоритма измерения координат объектов на основе сопоставления с эталоном и использования маски объекта проведены на одиннадцати натуральных и трёх искусственных видеосюжетах.

Среднее значение КХР по всем кадрам всех сюжетов для тестируемых алгоритмов составило: 73 % для алгоритма на основе сопоставления с эталоном; 77 % для алгоритма на основе сопоставления с эталоном и использования маски, вычисляемой с признаком изменчивости. Таким образом, можно сделать вывод, что использование маски в алгоритме на основе сопоставления с эталоном позволяет в среднем улучшить качество измерения координат объекта.

В целом результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о целесообразности использования разработанных алгоритмов в системах автоматического слежения за протяжёнными объектами.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан и исследован алгоритм измерения координат протяжённых неподвижных объектов искусственного происхождения, основанный на преобразовании Радона.
2. Разработано и исследовано модифицированное преобразование Радона, позволяющее более качественно обнаруживать прямолинейные границы на изображении. Даны рекомендации по его аппаратной реализации. Показано, что увеличение точности измерения координат объектов при использовании модифицированного преобразования Радона составляет около 40 %.
3. Разработан и исследован алгоритм измерения координат протяжённых движущихся и неподвижных объектов искусственного происхождения, основанный на оценке контура объекта. Показано, что его эффективность в условиях непрерывного изменения размеров и формы объекта интереса приблизительно в 3 раза выше, чем у алгоритма на основе байесовской сегментации.
4. Разработан и исследован алгоритм измерения координат движущихся объектов на основе метода сопоставления с эталоном и использования маски объекта. Вычисление маски объекта выполняется на основе байесовской классификации с модифицированным набором признаков. На выбранном наборе видеосюжетов использование маски в алгоритме на основе сопоставления с эталоном позволило увеличить точность измерения координат на 4 %.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бабаян П.В., Шубин Н.Ю. Компьютерная модель замкнутой системы видеослежения // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: 15-я междунар. науч.-техн. конф. - Рязань, 2008. – С.122-124.
2. Шубин Н.Ю. Разработка библиотеки программных модулей для моделирования замкнутой системы сопровождения объектов // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: 13-я Всероссийская научно-техническая конф. студентов, молодых учёных и специалистов. - Рязань, 2008. – С.112-113.
3. Шубин Н.Ю. Компьютерное моделирование яркостных искажений видеопоследовательности // Наука, технологии, инновации: материалы всероссийской науч. конф. молодых учёных. – Новосибирск, 2008. – С. 55-56.
4. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Шубин Н.Ю. Алгоритм оценки координат объекта на изображении с маскированием эталона // Авиация и космонавтика 2009: 8-я междунар. конф. – М., 2009 – С.116-117.
5. Балашов О.Е., Шубин Н.Ю. Повышение точности сопровождения подвижных объектов в оптико-механических системах // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании: 14-я всеросс. науч.-техн. конф. студентов, молодых учёных и специалистов. – Рязань, 2009. – С.335-337.
6. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Шубин Н.Ю. Повышение точности измерения параметров подвижных объектов в оптико-механических системах // Цифровая обработка сигналов и ее применение: труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова. – М., 2010. Т.2. – С.120-123.
7. Бабаян П.В., Шубин Н.Ю. Выделение прямолинейных границ на основе модифицированного преобразования Радона // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 16-й междунар. науч.-техн. конф. – Рязань, 2010. – С.21-23.
8. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Шубин Н.Ю. Алгоритм измерения координат движущихся объектов в последовательности изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. Вып. 34. - Рязань, 2010. – С. 32–36.
9. Шубин Н.Ю. Системы технического зрения для беспилотных летательных аппаратов //Актуальные проблемы развития нано-, микро- и оптоэлектроники: тезисы докладов Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи. – Рязань, 2010. – С.51-54.
10. Шубин Н.Ю. Системы анализа визуальной информации для беспилотных летательных аппаратов // 1-й региональный итоговый конкурс "У.М.Н.И.К"-2011: тезисы докладов. – Рязань, 2011. – С.29-33.
11. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Шубин Н.Ю. Алгоритм оценки координат объектов на основе преобразования Радона // Цифровая обработка сигналов. – 2011. – №3. – С. 17-20.

12. Шубин Н.Ю., Муравьев В.С., Муравьев С.И. Нейросетевой алгоритм обнаружения малоразмерных объектов на облачных фонах // Графикон'2011: 21-я междунар. конф. по компьютерной графике и зрению. – М., 2011. – С.220.
13. Шубин Н.Ю. Алгоритм отслеживания контура объекта на видеоизображении для оценки его формы // Новые информационные технологии в научных исследованиях: 16-я всеросс. науч.-техн. конф. студентов, молодых учёных и специалистов. – Рязань, 2011.
14. Бабаян П.В., Шубин Н.Ю. Алгоритм оценивания координат объектов на основе отслеживания прямолинейных границ // Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA'2012: тез. докл. 14-й междунар. конф. – М., 2012. – С.330-331.

Шубин Никита Юрьевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРЕНИЯ
КООРДИНАТ ПРОТЯЖЁННЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ БОРТОВЫХ
СИСТЕМ АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ**

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 14.01.2013

Бумага офисная. Формат бумаги 60x84 1/16. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Печать офсетная. Заказ №

Отпечатано в ООО «Интермета»,
390000, Рязань, ул. Семинарская, д.3.