

9
На правах рукописи

УДК 621.513.7

БОБКОВ АЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ
АНАЛИЗА ВИДИМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2002

227

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, академик РАЕН
профессор Пулков К.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Девятков Владимир Валентинович,
Институт проблем управления Российской
академии наук

Бобков А.В.
Разработка и исследование
алгоритмов анализа
видимого изображения и их
применение в задачах упра...
Ведущий научный сотрудник

1600069

технических наук,
ов Борис Петрович,
государственный институт
и математики
научно-исследовательский

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

00 мин. на
Московском
Баумана по
ТУ. 613 М

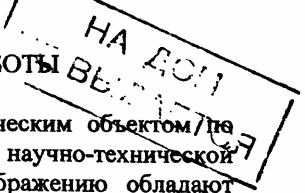
МГТУ им.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1600069

Бобков А.В. Разработка и



Актуальность темы. Задача управления динамическим объектом/на принимаемому им изображению является важной научно-технической проблемой. Системы управления по видимому изображению обладают определенными преимуществами по сравнению с традиционными средствами. Вместе с тем известные практические реализации слишком сложны и не отвечают многим предъявляемым к ним требованиям. Это заставляет искать принципиально иные подходы к разработке систем анализа изображений.

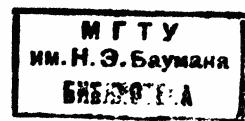
С другой стороны, задача управления динамическим объектом по видимому изображению получает особую актуальность в связи с появлением нового поколения систем управления – интеллектуальных систем. Проблема создания полнофункциональной системы анализа сенсорной информации, прежде всего – видеоинформации, является одной из ключевых проблем для интеллектуальных систем. Данная работа может стать существенным шагом в решении этой проблемы.

Несмотря на то, видимое изображение – наиболее доступный вид сенсорной информации, методика анализа которого исследована наиболее полно, известные методы обработки изображений не могут претендовать на универсальность и простоту технической реализации. Основная причина кроется в самой природе видеоизображения. Видеопоследовательность несет в себе огромное количество данных, обработка которых в реальном масштабе времени на данный момент является нерешенной задачей. Определенные перспективы в решении этой проблемы видятся в отказе от точечного анализа изображения и в переходе к более удобному и компактному представлению изображений в виде набора геометрических примитивов, с одновременным уменьшением объемов входной информации и упрощением алгоритмов ее обработки. Разработке и анализу такого подхода и посвящена эта работа.

С учетом вышесказанного, тема управления по видимому изображению является актуальной, что и обусловило выбор темы «Разработка и исследование алгоритмов анализа видимого изображения и их применение в задачах управления».

Цели и задачи научной работы.

- Проведение сравнительного анализа современных методов анализа изображений,
- Анализ метода сравнения изображений, представленных в виде набора геометрических примитивов, и обоснование выбора представления в виде набора отрезков как наиболее подходящего представления,
- Проведение сравнительного анализа современных методов извлечения отрезков на изображении, разработка метода извлечения отрезков в реальном масштабе времени,



- Разработка и исследование методов сравнения изображений, представленных в виде набора отрезков. Обоснование выбора наиболее подходящего метода,
- Решение задачи определения параметров движения объекта по последовательности изображений на основе выбранного метода.
- Решение задачи определения положения объекта на карте местности на основе разработанного метода. Сравнение полученных характеристик решения с характеристиками существующих аналогов,
- Решение задачи поиска объекта на изображении по его образцу.

Методологическая основа

Теоретической основой исследования являются труды и работы ведущих отечественных и зарубежных ученых в области очувствления интеллектуальных систем – К.А. Пупков, А.М. Корилов, В.П. Тарасенко; в области теории навигационных систем – О.А. Степанов; в области обработки изображения – К.К. Прингл, Дж.М.С. Превитт, Дж.С. Робинсон, А. Розенфилд; Дж.А. Кэнни; в области сегментации изображений – Е.Д. Дэвис, А. Зиссерман; в области распознавания изображений – А.Н. Горбань, Б.К.П. Хорн, Дж. Ли.

Научная новизна исследования

1. Рассмотрены возможные задачи анализа видеоизображения и проведена классификация этих задач, проанализированы существующие методы решения этих задач, и на основе проведенной работы разработана концепция анализа изображения с использованием его представления в виде геометрических примитивов, проведено ее обоснование,

2. Представлен оригинальный алгоритм выделения отрезков на изображении, значительно опережающий существующие аналоги по точности, надежности и быстродействию,

3. Проанализированы возможные методы сопоставления изображений по наборам отрезков, проведено сравнение их характеристик. На основе проделанной работы создан универсальный алгоритм сопоставления изображений по набору отрезков, который может быть использован для решения широкого круга задач анализа изображений в реальном масштабе времени,

4. На основе разработанного алгоритма показано решение задачи определения собственного движения по последовательности изображений,

5. Показано решение задачи автономной навигации ЛА по видимому изображению местности с использованием электронной карты поверхности. Высокие показатели качества разработанной системы позволяют рекомендовать предлагаемый подход для практической реализации.

8. На основе разработанного алгоритма показано решение задачи поиска объекта на изображении, в том числе и для случая одновременного движения как искомого объекта, так и самой камеры.

Реализация результатов работы

На основе разработанного автором программного обеспечения создан универсальный робототехнический стенд для исследования систем визуальной навигации и систем технического зрения, который может быть использован для проведения исследований по оцувствлению интеллектуальных систем управления.

Апробация результатов работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на IV конференции «Навигация и управление движением»(2002 г, Санкт-Петербург), на V международном симпозиуме «Интеллектуальные системы»(2002 г, Калуга), на международной конференции «От истории природы к истории общества и будущему человечества (2001 г, Москва), а также на семинарах «Интеллектуальные системы», регулярно проводимых кафедрой ИУ-1.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 6 научных работ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы. Общий объем 142 страницы, 34 рисунка и одна таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертации, определены объект, предмет, цель и основные задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость.

Первая глава содержит постановку задачи навигации по видимому изображению, анализ существующих подходов к анализу видеоизображений, и обоснование выбора метода сравнения изображений по их представлению в виде набора геометрических примитивов как наиболее перспективного для приложений реального времени.

Анализируется спектр задач, возникающий в задачах ориентации летательных аппаратов по видимому изображению с целью выработки общего подхода к их решению. Для этого производится классификация этих задач и осуществляется анализ современных методов их решения. Показывается, что и задачи определения собственного перемещения, и задачи поиска объекта на изображении могут быть решены едиными методами.

Рассматривается концепция дуализма задач поиска образца и распознавания изображения. Задачи поиска и распознавания объекта в общем случае не могут быть решены отдельно друг от друга, и их неизбежно приходится решать вместе. Один из широко используемых подходов – распознавание объекта по признакам, инвариантным к его положению на

изображении. Его недостаток – невозможность выделения универсальных инвариантных признаков. Поэтому в работе основное внимание уделено другому подходу. Он заключается в вычислении вероятности нахождения искомого объекта для каждой точки кадра. Идея состоит в том, что для подавляющего большинства точек эта вероятность пренебрежимо мала. После отсева таких точек, вполне возможно вычислять вероятности нахождения объекта с достаточной производительностью.

Вырабатывается концепция сравнения изображений по их представлению в виде набора геометрических примитивов и производится ее сравнительный анализ с целью определить достоинства и недостатки такого подхода по сравнению с традиционными методами, и оценить его перспективность. Основным достоинством использования данной концепции является повышение производительности алгоритмов при сохранении высокой точности вычислений и надежности работы. Это позволяет снизить задержки в получении данных либо, соответственно, ослабить требования к аппаратному обеспечению.

Для реализации рассмотренного подхода требуется решить две задачи: разработать метод, переводящий растровое изображение в набор отрезков, и метод сопоставления изображений, представленных в виде набора отрезков. Оба метода должны работать в реальном масштабе времени и обеспечивать достаточную надежность и точность вычислений.

Вторая глава посвящена задаче выделения линий и отрезков на изображении. Она содержит критический анализ современных методов быстрой векторизации, основанных на обобщенном преобразовании Хука (Hough), с позиции соотношения производительности и точности. На основе анализа разрабатывается оригинальный метод, позволяющий добиться на порядок большей точности при сохранении производительности.

Глава 2 посвящена задаче извлечения линий на изображении.

Для извлечения линий требуется два этапа: выделение точек контура и определение параметров линий, проходящих через эти точки.

Первая задача является достаточно подробно изученной и решается при помощи последовательного применения соответствующих фильтров. В данной работе интерес представляет задача выбора фильтров с необходимыми свойствами и настройка их параметров, позволяющая добиться приемлемого качества выделения контура и высокой производительности.

Одно из возможных решений заключается в последовательном применении дифференцирующего фильтра, фильтра уменьшения толщины границ и фильтра отсекающего ложных точек. В качестве дифференцирующего фильтра использовался фильтр Собела с размером маски 3x3. В качестве фильтра уменьшения толщины границ использовалась модифицированная схема фильтра Кэнни (Canny). Для отсекающего ложных точек использован блочный бинаризатор. Настройка параметров осуществлялась на основе

экспериментальных данных. В ходе экспериментов было также показано, что разработанная схема позволяет успешно обрабатывать изображения с достаточно низким качеством.

Вторая задача заключается в определении параметров линий, проходящих через найденные точки контура. Для этого используется метод, основанный на преобразовании Хука. Это единственный известный метод, обеспечивающий достаточную скорость выделения линий. Суть метода состоит в следующем. Каждой точке контура (x, y) можно поставить в соответствие набор чисел (ρ, φ) таких, что:

$$\rho = x \sin \varphi + y \cos \varphi.$$

Тогда любой точке (ρ, φ) будет отвечать некоторая прямая $y = f_{\rho, \varphi}(x)$, а любой точке (x, y) – некоторая линия $\rho = g_{x, y}(\varphi)$. Если набор точек (x_i, y_i) принадлежат одной прямой, то все линии $\rho = g_{x_i, y_i}(\varphi)$ пересекутся в одной точке (ρ^*, φ^*) , а уравнение этой прямой – $\rho^* = x \sin \varphi^* + y \cos \varphi^*$ (здесь ρ и φ играют роль длины и угла наклона нормали к прямой). Таким образом, метод сводится к поиску точек (ρ^*, φ^*) , в которых пересекутся наибольшее количество линий $\rho = g_{x_i, y_i}(\varphi)$.

Из-за дискретной природы самого изображения и пространства параметров возникает ряд проблем, затрудняющий использование преобразования Хука. Во-первых, на сегодняшний день неизвестно преобразование, позволяющее получить равномерное распределение линий в пространстве параметров (проблема Брауна). Во-вторых, прямыми в геометрическом смысле, на ортогональном дискретном изображении являются лишь горизонтальные, вертикальные и диагональные линии. Точки линий с другим углом наклона лежат на разных геометрических прямых. Происходит *расщепление* линий, которое выражается в неравномерном размытии максимума в пространстве параметров. И, наконец, третья проблема связана с точностью параметризации прямых. Точность вычисления параметров зависит от положения линии на изображении и для ряда областей достигает неприемлемых значений. При этом уменьшение шага дискретизации приводит, как ни странно, к уменьшению точности из-за вышеописанного расщепления линий.

Классический метод повышения точности связан с переходом к обобщенному преобразованию Хука, который, по сути, оперирует с параметрами отрезков, а не прямых. Это позволяет достичь желаемой точности, однако пространство параметров из двухмерного превращается в четырехмерное, что влечет за собой чрезмерные вычислительные затраты.

В работе представлена альтернативная схема, позволяющая выделять отрезки с использованием $2x$ -мерного пространства параметров. При этом достигается и высокая точность, и высокая производительность. Идея заключается в том, что реальный отрезок на изображении можно однозначно идентифицировать всего по двум параметрам (например, по параметрам проходящей через него прямой). Этого недостаточно, чтобы однозначно

задать отрезок, однако достаточно, чтобы отличить один отрезок от другого. Функция распределения точек отрезка становится двухмерной и зависит только от параметров соответствующей линии. Координаты концов отрезков при этом обрабатываются отдельно, и они тоже являются функциями тех же параметров.

Для реализации метода в пространстве параметров прямых строится массив счетчиков $C[\rho, \varphi]$. Каждый счетчик накапливает число точек, содержащихся в прямой с параметрами (ρ, φ) . Помимо этого, вводятся четыре массива координат концов отрезков той же размерности. Теперь для каждой точки (x, y) , давшей отклик (ρ, φ) , проверяется, является ли она новым концом отрезка, и при необходимости осуществляется необходимая коррекция.

По окончании просмотра всех точек контура ищутся максимальные значения в массиве счетчиков $C[\rho^*, \varphi^*]$, которые соответствуют наиболее существенным отрезкам, а координаты концов найденных отрезков переносятся в список.

Такой подход позволяет решить все сформулированные выше проблемы. Теперь отрезки будут заданы координатами своих концов, обеспечивая точность вычислений и равную точность по всем областям распределения. При этом пространство параметров остается двумерным, что обеспечивает высокую производительность предложенного метода.

Заключительные разделы главы посвящены практической реализации метода, анализу его подстроечных параметров, определению точности и быстродействия метода. Производится экспериментальное определение показателей качества алгоритма и их сравнение с рассчитанными теоретически. Особое внимание уделено анализу производительности алгоритма. Определено, что время обработки кадра 128×128 точек для системы производительностью 100 MIPS требует порядка 0,03 секунды, при этом извлекается до 70 отрезков с максимальной ошибкой положения конца в 2 точки. Минимальная длина линейного объекта, допускающая аппроксимацию отрезком, составляет 8 точек, минимальный радиус дуги – 6 точек.

В конце главы делается вывод о том, что предложенный алгоритм обладает более высокими характеристиками по точности, производительности и надежности, чем известные методы подобного класса, и может быть использован для решения поставленных задач анализа изображения в реальном масштабе времени.

Третья глава посвящена разработке и исследованию методов определения смещения текущего изображения относительно опорного. Производится анализ возможных методов сопоставления изображений по их представлению в виде набора отрезков. Проводится сравнение методов с позиций производительности, точности и надежности, и обосновывается выбор метода сопоставления пар отрезков как наиболее оптимального по соотношению названных характеристик. На основе выбранного метода

осуществляется решение задачи определения собственного движения объекта по принимаемой им последовательности изображений.

Существующие методы сопоставления отрезков, например, основанные на байесовском подходе или винеровской фильтрации, не обладают достаточной производительностью для их использования в системах реального времени. Это заставляет искать решение в классе методов, основанных на преобразовании Хука. Идея состоит в преобразовании соответствующих геометрических объектов в функцию плотности распределения в пространстве сдвигов. Каждая пара соответствующих объектов текущего и опорного изображения порождает в пространстве сдвигов некоторую кривую (или точку). После рассмотрения всех пар объектов, пространство сдвигов будет содержать функцию, пропорциональную функции распределения, и ее максимум отвечает наиболее вероятным параметрам сдвига.

В работе показано, что классический подход – преобразование Хука над отдельными отрезками – обладает крайне низкой надежностью (хотя и отвечает требованиям по быстродействию). Анализ причин низкой надежности показывает, что следует рассматривать те геометрические объекты, которые порождают в пространстве преобразований точку, а не линию (то есть по ним можно однозначно определить искомый сдвиг изображений).

В работе рассматриваются следующие геометрические объекты: углы, пары близкорасположенных отрезков и полосы.

Под углом понимается пара отрезков с парой близкорасположенных концов. Такое описание угла позволяет достичь большей точности определения вершины угла, даже если эта вершина на изображении невидима или размыта. Зная координаты вершин соответствующих углов на опорном и текущем изображении, можно однозначно определить вектор сдвига. Сравнивая все возможные углы на паре изображений и накапливая векторы сдвигов, получим функцию распределения вероятности сдвига, максимум которой соответствует наиболее вероятному сдвигу. Достоинство такого метода – высокая точность вычисления элементарных векторов сдвига. Вместе с тем для ряда изображений могут возникнуть проблемы, связанные с отсутствием явно выраженных углов.

Другой, более надежный подход, связан с использованием пар отрезков. Если одна пара соответствующих отрезков на опорном и текущем изображении дает целый возможных набор векторов сдвига, то две такие пары позволяют получить единственное значение. Таким образом, перебирая все соответствующие пары отрезков опорного и текущего кадра и вычисляя для каждых двух пар элементарный сдвиг, снова получаем функцию распределения вероятности сдвига, максимум которой соответствует наиболее вероятному сдвигу. Достоинство метода – полная независимость от характера изображения. Вместе с тем алгоритм из-за своей избыточности требует значительно больше вычислительных операций.

Третий подход, работающий с полосами, был направлен на радикальное повышение быстродействия. Он заключается в отдельном вычислении компонент вектора сдвига, ортогональных линиям выбранного направления (такие линии обычно являются контурами полос на изображении). Функция распределения становится для заданного направления одномерной, обеспечивая высокую производительность вычислений. Вместе с тем метод является несколько менее точным и менее надежным.

Для сравнения методов, помимо теоретических соображений, проводится серия экспериментов над различными классами изображений, отличающихся по типу и качеству. Полученные результаты позволяют сказать, что сравнение пар линий обладает большей надежностью и меньшим быстродействием, сравнение полос – меньшей надежностью и большим быстродействием. Метод сравнения по углам занимает промежуточное положение.

В конце главы делается вывод о целесообразности использования метода сравнения пар отрезков из-за его высокой надежности при сохранении приемлемого быстродействия.

Четвертая глава посвящена решению задачи определения положения объекта на основе сравнения видимого изображения с картой местности. В данной главе осуществляется также выбор параметров алгоритма, дающих наименьшую погрешность определения положения. Приводятся экспериментальные данные, характеризующие соотношение производительности, надежности и точности полученного метода. Производится сравнение этих характеристик с характеристиками известных технических систем.

Рассмотрены существующие системы навигации, широко используемые для навигации космических и летательных аппаратов, определено место и роль автоматической визуальной навигации среди них. Основное достоинство систем визуальной навигации заключается в малой динамической погрешности, надежности и независимости от внешних источников информации, а также в пассивности системы. Определены требования, предъявляемые к разрабатываемой системе – прежде всего по быстродействию, точности, надежности и способности обрабатывать низкокачественные и малосодержательные изображения.

Решается задача о выборе вычислительной схемы и параметров алгоритма, обеспечивающих требуемое соотношение быстродействия и точности. В качестве базового решения задачи берется алгоритм сопоставления изображений, описанный в предыдущей главе, и затем адаптируется к новым условиям задачи. Задача ориентации по карте характеризуется тем, что размер одного из сравниваемого изображений – карты – значительно превосходит образец – кадр – как по размеру, так и по своему качеству, поскольку векторизация карты может быть осуществлена

заблаговременно с использованием более сложных методов. Были добавлены эвристики, позволяющие сократить перебор и/или повысить точность вычислений. Эвристики основаны на более точной идентификации отрезков, описывающих кадр изображения и карту, а также на анализе взаимного расположения отрезков. Это позволило значительно повысить как производительность, так и надежность полученного алгоритма по сравнению с базовым.

С целью оптимизации работы базового алгоритма был разработан метод более точной идентификации линий кадра и карты на основе использования дополнительной информации – длины отрезков, интенсивности точек границы, взаимном расположении, направлении градиента яркости и некоторых других. Это позволяет уменьшить количество заведомо ложных пар и, соответственно, ложных точек в пространстве параметров сдвига. Это позволяет существенно (от 2 до 5 раз) повысить быстродействие и увеличить надежность работы алгоритма.

Второй момент, важный для оптимизации, связан с изменением порядка перебора отрезков. Для этого использован предварительный анализ взаимного расположения пар линий и их ориентации. Идея заключается в удалении из рассмотрения пар с малым углом пересечения и значительно отдаленных пар. Первые дают низкую точность из-за стремления точки пересечения уйти за пределы кадра, а вторые – из-за влияния геометрических искажений растра. Это позволяет повысить как точность, так и производительность вычислений.

Третий момент заключается в выборе вычислительной схемы из заданного класса алгоритмов с наименьшей величиной трансформированной погрешности. Наибольший вклад в общую ошибку вносят ошибки определения параметров линий, возникающих из-за проблемы Брауна, которые, в свою очередь, через трансформированную погрешность влияют на ошибку определения местоположения.

Трансформированная погрешность уменьшается двумя путями. Один – использование только координатной формы представления отрезков (поскольку концы отрезков имеют на порядок меньшую погрешность по сравнению с параметрами соответствующих линий). Другой путь – перестройка вычислений таким образом, чтобы операции, сильно повышающие трансформированную погрешность (деление, тригонометрические функции и т.д.) выполнялись как можно реже и в последнюю очередь.

Конец четвертой главы посвящен программно-аппаратной реализации разработанного алгоритма и экспериментальному определению его характеристик. Показано, что среднее время обработки одного кадра 128x128 составляет 0,066 сек. при максимальной ошибке 2 точки. Результаты статистического анализа точности алгоритма показаны на рис.1.

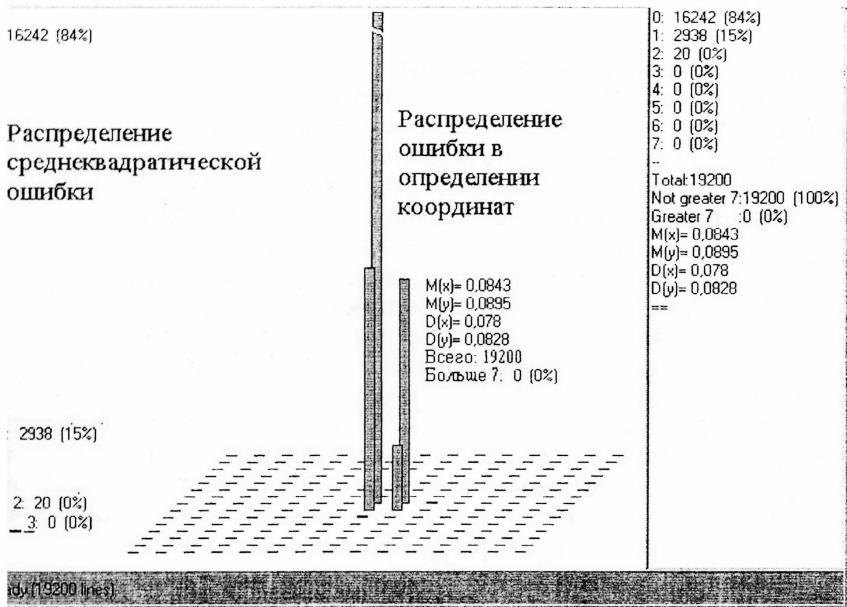


Рис 1. Статистические характеристики алгоритма

На основе анализа полученных характеристик системы делается заключение о том, что разработанная система удовлетворяет всем предъявляемым к ней требованиям и существенно опережает известные аналоги.

Пятая глава посвящена задаче поиска объекта на изображении. Задача часто появляется как в навигационных задачах – следование за объектом, избежание столкновений, захват и сопровождение цели – так и в родственных задачах, напрямую с навигацией не связанных. Цель главы – показать, что разработанный метод, благодаря своей универсальности и широким возможностям, может успешно использоваться для широкого круга задач, например – для поиска объектов на изображении.

Сначала рассматривается задача поиска неподвижного объекта. Показывается, что если вместо карты местности на вход алгоритма подать искомый образец, то на выходе получим координаты его предположительного местоположения на текущем изображении. Это позволяет использовать одну и ту же систему как для навигационных задач, так и для задач поиска объекта.

Далее приводятся результаты экспериментов по определению точности и надежности работы системы, и на основании полученных данных делается вывод о перспективности использования системы для решения рассмотренного класса задач.

Оставшаяся часть главы посвящена задаче поиска движущихся объектов на последовательности изображений. Предложена простая и надежная схема, использующая разработанный алгоритм и разностный детектор движения, позволяющий отслеживать движущиеся объекты в реальном масштабе времени. Схема является более надежной по сравнению с методами анализа оптического потока.

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложении приведено описание робототехнического стенда, созданного в процессе работы над диссертацией, который использовался для проведения экспериментов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Рассмотрены возможные задачи анализа видеоизображения и проведена классификация этих задач, и проанализированы существующие методы их решения,

2. Разработана схема алгоритма анализа изображения с использованием представления изображения в виде геометрических примитивов и проведено ее обоснование,

3. Представлен оригинальный алгоритм выделения отрезков на изображении, значительно опережающий существующие аналоги по точности, надежности и быстродействию,

4. Разработан универсальный алгоритм сопоставления изображений по набору отрезков, который может быть использован для решения широкого круга задач анализа изображений в реальном масштабе времени,

5. На основе разработанного алгоритма показано решение задачи определения собственного движения по последовательности изображений,

6. Рассмотрена задача автономной навигации ЛА по видимому изображению местности с использованием электронной карты поверхности. Высокие показатели качества алгоритма позволяют рекомендовать предлагаемый подход для практической реализации.

7. Рассмотрена задача поиска объекта на изображении, в том числе и для случая одновременного движения как искомого объекта, так и самой камеры.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бобков А.В. Выделение отрезков на изображении в задаче ориентации по визуальной информации // Вестник МГТУ. Приборостроение. – 2002. – №3(48). – С.45-54

2. Бобков А.В. Система ориентации летательного аппарата по видимому изображению местности на основе анализа набора линий // Труды симпозиума INTELS'2002 – Калуга, 2002. – С.225-227

3. А.В. Бобков. Модельный мир: философия наблюдателя. // От истории природы к истории общества и будущему человечества: Материалы международной научной конференции. – Секция «Информатика, экономика, искусственный интеллект»: М., 2002, Часть 2. – Стр.10-14

4. Комарцова Л.Г., Бобков А.В. Нейросетевая экспертная система для выбора параметров локальной вычислительной сети // Нейрокомпьютеры и их применение: Сб. докладов V Всероссийской конференции с международным участием. – М., 1999. – С.248-251

5. Комарцова Л.Г., Бобков А.В. Восстановление функциональной зависимости по эмпирическим данным ассоциативной нейронной сетью. – Методы исследования и проектирования сложных технических систем. // Труды МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 1999. – Вып. 575. – С. 32-39.

6. Авторское свидетельство №2001610324 об официальной регистрации программы для ЭВМ // Нейронмитатор для конструирования, исследования и оптимизации многослойных нейронных структур. / Ю.Н. Кофанов, Л.Г. Комарцова, А.В. Бобков. – Российское агентство по патентам и товарным знакам. – 2001.