

На правах рукописи

СТРОТОВ Валерий Викторович



**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ
ВИДЕОСЛЕЖЕНИЯ**

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

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Рязань 2009

Работа выполнена в ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Алпатов Борис Алексеевич

Официальные оппоненты доктор технических наук, доцент
Клочко Владимир Константинович
кандидат технических наук
Худыш Александр Ильич

Ведущая организация: ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», г. Москва

Защита состоится **28 октября 2009 г.** в **12 часов** на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 в ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу:

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

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

Автореферат разослан « 17 » сентября 2009 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 в таких задачах, 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. Из характерных черт систем данного класса можно выделить, в первую очередь, необходимость работы в реальном масштабе времени. Также эти системы должны функционировать в полуавтономном режиме, требуя от оператора минимума действий и предоставляя ему информацию в наиболее удобной форме.

При разработке бортовых систем видеослежения возникает целый класс задач, связанных с проблемами обнаружения, выделения и сопровождения объектов, находящихся в поле зрения датчика изображений. Примерами таких объектов могут служить различные летательные аппараты, автотранспорт, суда, люди и т.п. При этом поле зрения видеодатчика подвижно, а априорная информация о характеристиках объектов обычно довольно скудна и в лучшем случае включает в себя лишь приблизительные размеры объектов и характер их перемещения.

Между тем видеодатчик, расположенный на корпусе мобильного носителя, перемещается в пространстве вместе с носителем, помимо того, его ориентацию в пространстве можно изменять с помощью устройства позиционирования. Зачастую датчик изображения испытывает воздействие вибраций различной природы. Из-за влияния перечисленных факторов формируемые им изображения подвергаются геометрическим преобразованиям. Они затрудняют, а иногда делают совершенно невозможным решение многих таких задач, как обнаружение движущихся объектов, разделение и параметризация сопровождаемых объектов, расположенных близко друг к другу, анализ траекторий сопровождаемых объектов. Вдобавок геометрические искажения, вызванные вибрациями корпуса носителя, существенно усложняют работу оператора системы, в связи с чем возникает задача стабилизации наблюдаемого изображения.

Говоря о геометрических деформациях, вызванных движением видеодатчика, следует отметить, что иногда существует возможность оценить их вид и параметры, используя показания приборов носителя видеодатчика. В случае отсутствия или недостаточной точности измерительных устройств используются методы оценки параметров преобразований на основе анализа изображений видеопоследовательности. Вычислив оценки параметров

преобразований, можно компенсировать их влияние. Также для уменьшения влияния такого рода искажений применяются гиросtabilизированные платформы и подвесы.

Таким образом, существует актуальная проблема стабилизации наблюдаемого изображения на основе оценки параметров геометрических преобразований изображений в бортовых системах видеослежения.

Степень разработанности темы

Вопросам оценки параметров динамических изображений уделяется достаточно много внимания в отечественной и зарубежной литературе. Значительный вклад в разработку методов и алгоритмов оценки параметров динамических изображений внесли работы таких учёных, как Б.А. Алпатов, В.К. Баклицкий, А.М. Бочкарев, В.Г. Лабунец, Е.П. Путятин, А.Г. Ташлинский, С. Crane, Q. Pham, W. Pratt, S. Wang. Несмотря на большое количество работ по данной тематике, анализ литературы показал, что не в полной мере использованы возможности для повышения качества решения рассматриваемых задач.

В ряде работ рассматривается задача стабилизации изображения в случае присутствия случайных смещений. Широко освещены задачи выделения, обнаружения и сопровождения объектов в системах с неподвижным видеодатчиком. Также рассматриваются вопросы, связанные с решением отдельных задач в системах видеослежения с подвижным датчиком, в частности задач выделения и сопровождения объектов. Однако в данных работах недостаточно внимания уделено проблеме оценки параметров геометрических искажений, являющейся базовой для решения основных задач в системе видеослежения с подвижным датчиком видеоизображений.

Таким образом, **цель диссертации** состоит в разработке алгоритмов оценивания параметров геометрических преобразований изображений, разработке на их основе алгоритмов электронной стабилизации изображений и модификаций известных алгоритмов измерения положения объектов на изображении в бортовых системах видеослежения.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **основные задачи**:

- анализ существующих методов оценки геометрических преобразований изображений;
- разработка модели формирования изображений с учётом параметрических геометрических искажений;
- разработка алгоритма оценки параметров геометрических преобразований изображений, вызванных движением датчика;
- синтез алгоритма выбора опорных участков для задачи оценки параметров геометрических преобразований изображений;
- разработка алгоритма электронной стабилизации выдаваемых оператору изображений в системах с подвижным видеодатчиком при наличии вибраций;

- исследование эффективности использования результатов оценки параметров геометрических преобразований изображений в алгоритмах выделения и сопровождения объектов в системах с подвижным видеодатчиком;
- экспериментальные исследования разработанных алгоритмов.

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней впервые сформулированы и решены задачи оценивания параметров геометрических преобразований и электронной стабилизации изображений на основе выбора и замены по предложенным критериям опорных участков с последующим определением их положения в последовательности изображений в системах видеослежения с подвижным видеодатчиком. Эффективность разработанных подходов получила экспериментальное подтверждение.

Методы исследования

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

Моделирование и экспериментальные исследования выполнялись на реальных и синтезированных видеосюжетах.

Реализация и внедрение

Разработанные в диссертации алгоритмы и программное обеспечение были использованы при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в Рязанском государственном радиотехническом университете по заказу Министерства образования и науки РФ, Федерального агентства по образованию и Федерального агентства по науке и инновациям (НИР 6-03Г, НИР 14-03Г, НИР 26-03Г, НИР 7-04, НИР 9-05Г, НИР 2-06Г, НИР 17-08), при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в Рязанском государственном радиотехническом университете по заказу Российского фонда фундаментальных исследований (НИР 35-06Г), при выполнении работ, проводимых в Рязанском государственном радиотехническом университете по заказу ФГУП «Государственный Рязанский приборный завод» (НИР 3-00, НИР 1-03, НИР 1-04, НИР 7-05, НИР 7-06, НИР 5-07, НИР 1-08), при выполнении НИОКР, проводимых ФГУП «Государственный Рязанский приборный завод» по заказу ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» (шифр составной части ОКР «ТОР-Т») в рамках работы по созданию вертолёта МИ-28Н, что подтверждается актами внедрения.

Апробация работы

- Основные результаты работы докладывались на следующих конференциях:
- 10-й – 15-й международных научно-технических конференциях «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2001–2007 гг.);
 - 11-й, 12-й всероссийских конференциях «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании» (Рязань, 2006 – 2007 гг.);
 - 8-й и 10-й международных научно-технических конференциях «Цифровая обработка сигналов и ее применения» (Москва, 2006, 2008 гг.);
 - 4-й и 5-й международных научно-технических конференциях «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика» (Рязань, 2003, 2007 гг.);

- 4-й международной конференции «Телевидение: передача и обработка изображений» (Санкт-Петербург, 2005 г.);
- всероссийском научно-практическом семинаре «Сети и системы связи» (Рязань, 2005 г.);
- 32-й всероссийской научно-практической конференции "Сети, системы связи и телекоммуникации" (Рязань, 2007 г.);
- 1-й конференции МАА-РАКЦ "Космос для человечества" (Королёв, 2008 г.);
- 2-й всероссийской научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB» (Москва, 2004 г.);
- международной научно-технической конференции «Современная радиоэлектроника в ретроспективе идей В.А. Котельникова» (Москва, 2003 г.);
- всероссийской дистанционной научно-технической конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии» (Москва, 2003 г.);
- всероссийской научно-технической конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии» – два доклада (Сочи, 2004 г.);

Выступления на всероссийском научно-практическом семинаре «Сети и системы связи» (2005 г.) и на 11-й всероссийской конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании» (2006 г.) отмечены дипломами.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 26 работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК для публикации результатов кандидатских диссертаций. Результаты исследований отражены в 13 отчётах о НИР. Получено положительное решение о выдаче патента на изобретение.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (91 источник), изложенных на 179 страницах, содержит 51 рисунок и 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации даны качественный анализ рассматриваемых проблем, обзор и анализ существующих подходов к решению задач оценки параметров геометрических преобразований изображений, электронной стабилизации и оценки координат объектов на изображении. Приведены описания моделей изображений, наблюдаемых в системах видеослежения.

Исходной проблемой, послужившей основой для выполненных в диссертационной работе исследований, является проблема электронной стабилизации изображений в бортовой системе видеослежения, схема которой приведена на рисунке 1. Система оснащена видеодатчиком (ВД) со светочувствительной матрицей ТВ-диапазона размером 768×576 пикселей, с частотой кадровой развёртки 25 Гц и малым углом зрения (не более 4°), расположенным на двухкоординатном устройстве позиционирования видеодатчика (УПВД). Сигнал видеодатчика поступает на систему обработки

видеоинформации (СОВИ), решающую задачи обнаружения, выделения и слежения за объектами на наблюдаемом изображении.

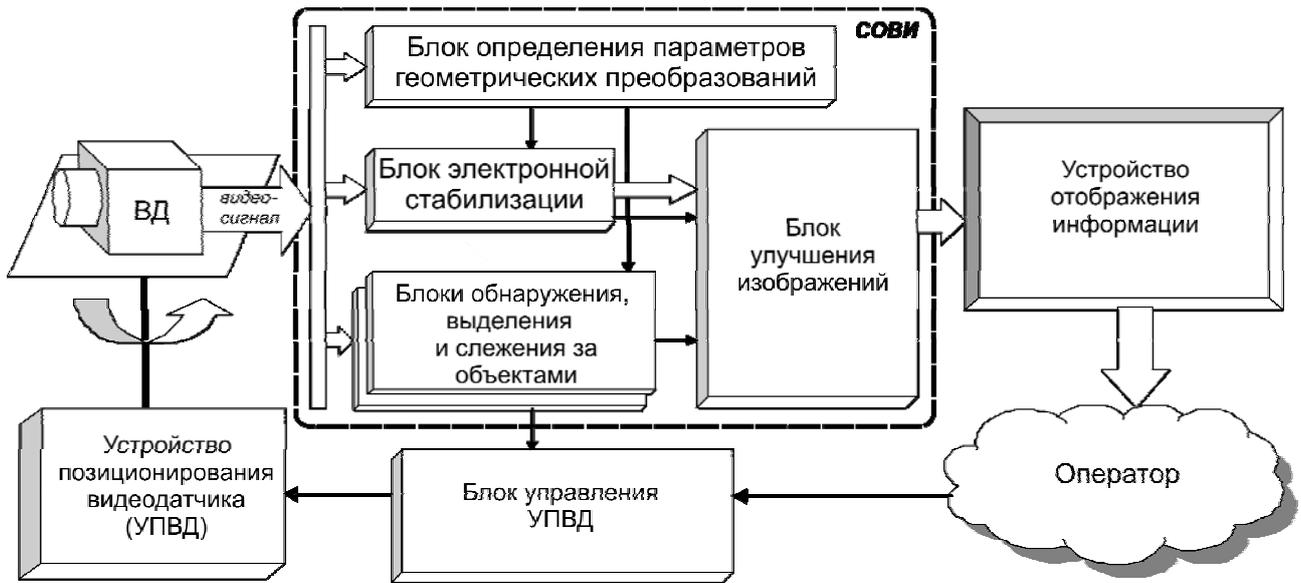


Рисунок 1 – Структура бортовой системы видеослежения

Под стабилизацией в данной работе понимается компенсация неуправляемых перемещений поля зрения ВД без внесения искажений в управляемые перемещения поля зрения видеодатчика. При этом управляемыми перемещениями поля зрения ВД будем считать такие, которые вызваны действиями оператора системы, управляющими сигналами СОВИ или движением носителя системы. Остальные перемещения будем считать неуправляемыми.

Часто системы видеослежения оснащаются УПВД с механической или гироскопической стабилизацией ВД, которые, однако, не всегда позволяют подавить нежелательные перемещения поля зрения ВД. Следовательно, в таких системах также необходимо выполнять электронную стабилизацию, т.е. стабилизацию наблюдаемых изображений, выполняемую средствами СОВИ по информации, содержащейся в наблюдаемой видеопоследовательности. Для решения данной задачи необходимо знать параметры геометрических преобразований наблюдаемых изображений, оценивание которых можно рассматривать как отдельную задачу. Результаты решения данной задачи можно использовать для решения других задач СОВИ, таких как выделение и сопровождение объектов.

В диссертации приведены математические модели наблюдаемых изображений в бортовых системах видеослежения. Движение носителя и работа УПВД приводят к возникновению сложных геометрических преобразований изображений, зависящих от трёхмерной структуры наблюдаемой сцены и от характера движения ВД. За основу принята следующая модель изображения:

$$l_n(x, y) = g(T_n(x, y))(1 - r_n(x, y)) + h_n(x, y)r_n(x, y) + \xi_n(x, y), \quad (1)$$

где $l_n(x, y)$ – изображение, наблюдаемое в момент времени t_n , $g(x, y)$ – изображение фона, $T_n(x, y)$ – оператор параметрического геометрического

преобразования изображения, $h_n(x, y)$ – преобразованное изображение объектов, $r_n(x, y)$ – бинарная маска, определяющая положение объектов, $\xi_n(x, y)$ – аддитивный шум датчика. При указанных выше условиях наблюдения можно принять, что на ограниченном временном интервале геометрические преобразования наблюдаемого изображения являются преобразованиями смещения

$$T(x, y) = (x - v_x, y - v_y) \quad (2)$$

либо евклидовыми преобразованиями вида

$$T(x, y) = (x \cos \varphi + y \sin \varphi - v_x, -x \sin \varphi + y \cos \varphi - v_y), \quad (3)$$

где v_x, v_y – смещения изображения по горизонтали и по вертикали, φ – угол поворота изображения вокруг его центральной точки. Именно эти типы преобразований, вызванные движением ВД, рассматриваются в диссертации. В работе показано, что в тех режимах работы системы, когда необходимо выполнять электронную стабилизацию изображений (режимы обзора и захвата цели), с достаточной степенью определённости можно считать, что изображение подвергается только преобразованию сдвига, причём итоговый сдвиг может быть представлен в виде:

$$T_n(x, y) = T_{упр_n}(x, y) + T_{вibr_n}(x, y) + T_{шум_n}(x, y), \quad (4)$$

где $T_{упр_n}(x, y)$ – управляемые смещения изображения, на ограниченном временном интервале аппроксимируемые полиномом 2-го порядка; $T_{вibr_n}(x, y)$ – неслучайные неуправляемые смещения изображения, носящие полигармонический характер с основной частотой γ_n , лежащей в диапазоне от 4 до 10 Гц и зависящей от режима работы двигателя; $T_{шум_n}(x, y)$ – случайные неуправляемые смещения.

Таким образом, основным результатом первой главы являются обоснование принятых к дальнейшему рассмотрению моделей изображений, наблюдаемых в бортовых системах видеослежения с подвижным видеодатчиком, с учётом возникающих геометрических преобразований.

Вторая глава диссертации посвящена решению задачи оценки параметров геометрических преобразований наблюдаемых изображений в бортовых системах видеослежения.

Разработан алгоритм оценки параметров преобразования изображения текущего кадра относительно некоторого предшествующего изображения, которое считается наблюдаемым без преобразований. Его суть состоит в выборе на исходном изображении $M_{эт}$ опорных участков, $(M_{эт} - 1)$ из которых принимаются в качестве основных, а один играет роль дополнительного. По изменению положения основных опорных участков производится оценка параметров геометрических преобразований. Дополнительный участок предназначен для возможной замены основного

опорного участка, вносящего наибольший вклад в ошибку оценки параметров преобразований изображений.

Предложено несколько подходов к выбору опорных участков. Данные подходы различаются количеством анализируемых участков на изображении текущего кадра. Простейший подход предполагает выбор произвольного участка, находящегося в так называемой зоне выбора. Данная зона формируется с учётом заданных отступов $p_{от}$ от краёв изображения, положения других опорных участков, а также априорной информации о положении движущихся объектов в кадре, если таковая имеется. Более сложные подходы предполагают анализ опорных участков с точки зрения выбранного критерия, причём количество анализируемых участков может изменяться в зависимости от имеющихся вычислительных ресурсов.

Оценка положения опорных участков на изображении наблюдаемого кадра производится с помощью корреляционно-экстремальных методов. Координаты m -го опорного участка с эталонным изображением w_m могут быть найдены как:

$$(\tilde{i}_m(n), \tilde{j}_m(n)) = \arg \min_{(i,j) \in W_m(n)} \{F_{\text{крит}}(i, j)\} \quad (5)$$

$$F_{\text{крит}}(i, j) = \sum_{\alpha=1}^{A_m} \sum_{\beta=1}^{B_m} \left| l_n \left(i + \alpha - \frac{A_m}{2}, j + \beta - \frac{B_m}{2} \right) - w_m(\alpha, \beta, n) \right|.$$

Здесь $W_m(n)$ – зона поиска m -го участка в кадре n ; A_m, B_m – размеры m -го участка, полагаемые чётными. Зона поиска представляет собой прямоугольную область, а её положение зависит от положения опорного участка в предыдущем кадре. Очевидно, что вычисление координат по выражению (5) производится с точностью до целого пикселя. Субпиксельное уточнение измерений координат опорных участков может быть получено параболическим интерполированием критериальной функции $F_{\text{крит}}$ в ближайшей окрестности точки минимума.

Оценка параметров преобразований вида (3) производится в несколько этапов. На первом этапе составляется выражение, связывающее координаты центров опорных участков в текущем и предыдущем кадрах:

$$\begin{cases} \tilde{i}_m(n) = \tilde{i}_m(n-1) \cdot \cos \Delta\varphi(n) + \tilde{j}_m(n-1) \cdot \sin \Delta\varphi(n) - \Delta v_x(n); \\ \tilde{j}_m(n) = -\tilde{i}_m(n-1) \cdot \sin \Delta\varphi(n) + \tilde{j}_m(n-1) \cdot \cos \Delta\varphi(n) - \Delta v_y(n); \\ m = \overline{1, M_{\text{эт}}}. \end{cases} \quad (6)$$

Данное выражение представляет собой переопределённую систему линейных $(2M_{\text{эт}} \times 4)$ уравнений относительно вектора, зависящего от параметров межкадрового преобразования $T = [\cos(\Delta\varphi(n)) \sin(\Delta\varphi(n)) \Delta v_x \Delta v_y]^T$, где $\Delta v_x(n) = v_x(n) - v_x(n-1)$, $\Delta v_y(n) = v_y(n) - v_y(n-1)$, $\Delta\varphi(n) = \varphi(n) - \varphi(n-1)$. Для неё возможно нахождение псевдорешения \tilde{T} , которое обеспечит минимум

среднего квадрата элементов вектора невязки $D = [d_1, d_2, \dots, d_{2M_{\text{ЭТ}}}]^T$. Элементы вектора \tilde{T} будут являться предварительными оценками параметров межкадрового преобразования.

Следующим этапом алгоритма является уточнение оценок. Для этого составляется новая система уравнений, отличная от системы (6) тем, что в ней отсутствуют строки, соответствующие опорным участкам q , для которых $|d_{2q-1}| + |d_{2q}| < d_{\text{порога}} (q = \overline{1, M_{\text{ЭТ}}})$, и дополнительному опорному участку. Из псевдорешения \tilde{T}' данной системы находятся оценки значений параметров межкадровых преобразований и оценки значений $\tilde{v}_x(n)$, $\tilde{v}_y(n)$, $\tilde{\varphi}(n)$.

Опорный участок с номером q_{max} , где $q_{\text{max}} = \arg \max_q (|d_{2q-1}| + |d_{2q}|)$, заменяется на дополнительный опорный участок. Таким образом, в результате работы алгоритма происходит постепенное отбрасывание непригодных или малопригодных опорных участков, что способствует улучшению эффективности его работы.

Определение параметров преобразования (2), когда $\varphi(n) \equiv 0$, осуществляется аналогично. При этом, естественно, используются упрощённые выражения. Так, предварительная оценка межкадрового сдвига изображения принимается равной медиане сдвигов опорных участков, а элементы вектора невязки вычисляются как разности предварительной оценки смещения изображения и смещений каждого опорного участка.

Условием полного перезапуска алгоритма является превышение евклидовой нормой $\|D\|$ вектора невязки новой системы уравнений заранее заданного порогового значения $D_{\text{порога}}$. Перезахват основного опорного участка производится в случае, если он перемещается в точку, расположенную на расстоянии менее $r_{\text{от}}$ от края изображения. Дополнительный опорный участок перезахватывается на каждом кадре.

Для того чтобы синтезировать критерий выбора, в работе проведён анализ причин, вызывающих ошибки определения координат опорных участков на наблюдаемом изображении. Он показал, что аддитивный шум видеодатчика вносит наиболее заметные ошибки в измерения координат участка, причём величина данных ошибок зависит от свойств самого участка. Поэтому рассмотрена задача определения положения некоторого участка с непрерывным изображением $s(x, y)$ на непрерывном изображении вида:

$$z_s(x, y) = \begin{cases} s(x - \alpha_0, y - \beta_0) + \xi(x, y) & \text{при } (x - \alpha_0, y - \beta_0) \in S(\alpha_0, \beta_0); \\ \xi(x, y) & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (7)$$

где S – множество точек участка $s(x, y)$. Переход к такой постановке задачи позволяет избежать влияния прочих факторов, вызывающих ошибки оценки положения участков на изображении. В работе показано, что с учётом принятых допущений, а также с учётом дискретной природы наблюдаемых

изображений наилучшим с точки зрения минимума влияния аддитивного шума будет опорный участок, расположенный в точке, где выполняется условие:

$$\frac{1}{\sum_{(i,j) \in S(\alpha_0, \beta_0)} (\Delta_i l_n(i, j))^2} + \frac{1}{\sum_{(i,j) \in S(\alpha_0, \beta_0)} (\Delta_j l_n(i, j))^2} \xrightarrow{\alpha_0, \beta_0} \min. \quad (8)$$

Здесь запись вида $\Delta_i l_n(i, j)$ означает операцию численного дифференцирования изображения $l_n(i, j)$ по координате i . На качественном уровне выражение (8) показывает, что наилучшим опорным участком будет тот, у которого выше неравномерность яркости. Примеры участков, выбираемых по критерию (8) в центральной зоне изображений, приведены на рисунке 2.

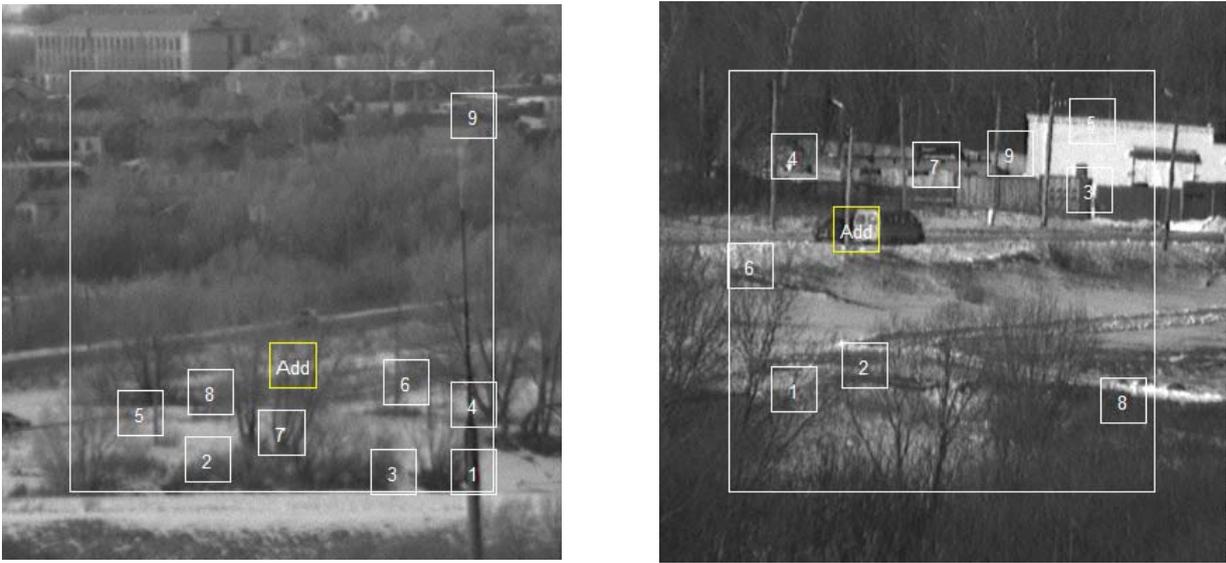


Рисунок 2 – Примеры опорных участков, выбираемых на изображении по предложенному критерию

Разработаны две модификации алгоритма оценки параметров геометрических преобразований для работы в сложных условиях. К таким условиям, во-первых, можно отнести наличие в системе видеодатчика с чересстрочным типом развёртки, а во-вторых, расположение видеодатчика в непосредственной близости от оружейных систем носителя.

В случае чересстрочной развёртки на наблюдаемых изображениях возникают искажения, вызывающие значительные ошибки определения координат опорных участков. Известные методы компенсации эффектов чересстрочной развёртки предполагают увеличение каждого поля изображения до размера целого кадра. Предложен алгоритм вычисления сдвига полей изображения на основе опорных участков половинного размера, составленных из чётных и нечётных исходных опорных участков. Решение о расположении опорных участков половинного размера в полях изображения принимается на основе анализа значений минимумов критериальных функций.

В случае когда оружейные системы носителя и датчик видеоизображений бортовой системы видеослежения расположены в непосредственной близости друг от друга, последний во время выстрела подвержен сильному влиянию таких факторов, как ударная волна выстрела и заслонение поля зрения, что

вызывает временное пропадание или сильное искажение информации. Предложен алгоритм детектирования таких ситуаций на основе анализа гистограмм изображений соседних кадров, в необходимые моменты приостанавливающий и возобновляющий работу алгоритма оценки параметров евклидовых преобразований. При этом в момент приостановки запоминаются изображения опорных участков, а в момент возобновления работы на основе запомненных изображений, уменьшаемых в r раз, и уменьшенного в то же количество раз изображения текущего кадра принимается решение о возможности немедленного старта алгоритма без выбора новых опорных участков.

Таким образом, основным результатом второй главы является разработка алгоритмов оценивания преобразований смещения и поворота в последовательности изображений на основе выбора и замены опорных участков, пригодных для работы в сложных условиях, таких как наличие на изображении искажений, вызванных чересстрочной развёрткой видеодатчика, и временное пропадание или значительное искажение видеoinформации.

Третья глава диссертации посвящена разработке и исследованию алгоритмов, решающих различные задачи в системах видеослежения на основе информации о геометрических искажениях изображения текущего кадра.

Разработан алгоритм электронной стабилизации изображений в системах видеослежения с подвижным управляемым датчиком. Он ориентирован на подавление случайных и неслучайных неуправляемых перемещений изображения с внесением минимальных изменений в управляемые перемещения. Данный алгоритм выполняется в два шага. На первом шаге производятся оценка параметров и компенсация полигармонической помехи. На втором шаге при условии, что оператор системы не управляет положением видеодатчика, производится подавление случайных сдвигов изображений применением временной фильтрации, причём порядок фильтра выбирается равным двум исходя из модели управляемых преобразований.

Оценка параметров полигармонической помехи начинается с оценки основной частоты γ_n , которая выполняется по следующему алгоритму.

1. Находится предварительная оценка $\tilde{\gamma}_n$ отдельно по каждой из координатных осей изображения на основе анализа амплитудных спектров последовательностей оценок смещений изображений кадров.
2. Производится уточнение оценок основной частоты по каждой оси. Схема алгоритма уточнения оценок приведена на рисунке 3. Количество рассматриваемых частот γ_p , выбираемых в окрестности предварительной оценки $\tilde{\gamma}_n$, определяется требуемой точностью нахождения частоты основной гармоники γ_n .
3. На основе утверждения о зависимости основной частоты γ_n от режима работы двигателя носителя производится усреднение значений частот основной гармоники по обеим осям с последующей временной фильтрацией полученного значения фильтром первого порядка.

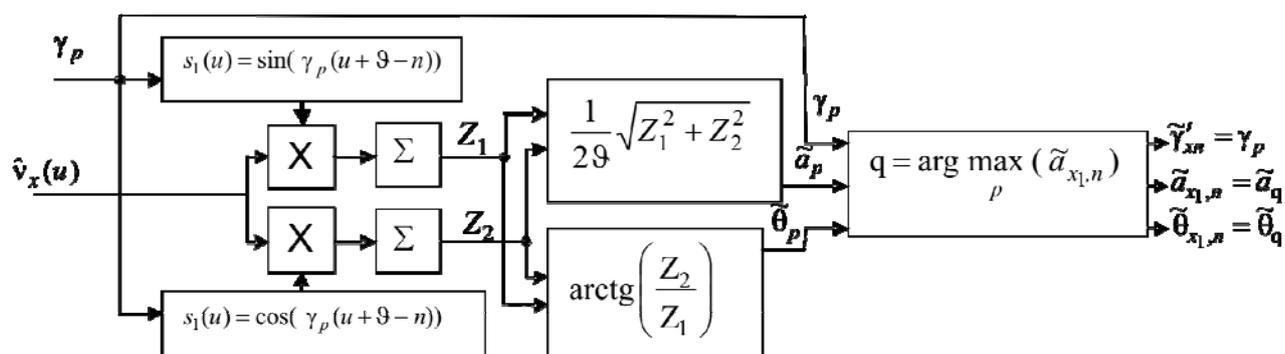


Рисунок 3 – Структурная схема алгоритма уточнения значения основной частоты

После получения значения γ_n основной частоты измеряются значения амплитуд и фаз как основной, так и кратных ей высших гармоник. Компенсация полигармонической помехи производится вычитанием из последовательностей оценок сдвигов изображений по соответствующим координатным осям сумм синусоидальных сигналов с полученными параметрами.

В диссертации предложены модификации двух известных из литературы алгоритмов определения координат объектов на изображении.

Первый из них предназначен для определения координат объектов с изменяющимся эталонным изображением при движущемся ВД. Он основан на известном алгоритме определения положения объектов при движущемся фоне, включающем в себя одновременное определение сдвигов и оценку изображений объекта и фона в ближайшей окрестности объекта за счёт оптимизации единой критериальной функции, а также последующую классификацию точек рассматриваемой окрестности на точки объекта и фона. Предлагаемая модификация предполагает использование имеющейся оценки сдвига фона для оценивания его изображения, что позволяет, во-первых, увеличить скорость работы алгоритма, а во-вторых, повысить точность вычисления сдвига фонового изображения в окрестности объектов, двигающихся по достаточно равномерному фону.

Второй предложенный алгоритм предназначен для выделения и оценки координат объектов по признаку движения. Он основан на известном алгоритме выделения точек движущихся объектов, состоящем в вычислении разности между изображением текущего кадра и оценкой фонового изображения. При этом оценка фонового изображения производится на основе так называемого одноэталонного алгоритма оценки параметров сдвига и поворота, базирующегося на анализе центрального участка изображения размером не менее 256×256 пикселей. Предлагаемая модификация предполагает, как и в случае предыдущего алгоритма, вычисление оценки фона на основе полученной информации о параметрах преобразований фонового изображения. Это позволяет значительно уменьшить требования к аппаратным ресурсам СОВИ, так как отпадает необходимость в обработке значительных участков изображений и использовании таких сложных операций, как двумерные спектральные преобразования. Также многоэталонный подход к оценке

параметров преобразований позволяет повысить точность в тех случаях, когда наиболее контрастные участки расположены вне центральной зоны изображений.

Таким образом, основным результатом третьей главы являются разработка алгоритма электронной стабилизации изображения, ориентированного на подавление неуправляемых сдвигов изображений с внесением незначительного искажения в управляемые сдвиги изображений, а также модификация алгоритмов оценки положения объектов с изменяющимся эталонным изображением и движущихся объектов на изображении, использующих информацию об оценке параметров преобразований фоновых изображений.

В четвёртой главе диссертации приведены результаты исследований предложенных в работе алгоритмов оценки параметров геометрических преобразований, электронной стабилизации и оценки положения объектов на изображении, а также даны рекомендации для реализации разработанных алгоритмов в бортовых системах видеослежения.

Приведено описание программного комплекса, разработанного в среде Matlab 7, предназначенного для проведения статистических исследований предлагаемых в работе алгоритмов. Комплекс позволяет создавать сценарии исследований, определяющие списки обрабатываемых видеопоследовательностей, порядок и параметры вызова исследуемых алгоритмов.

Представлены результаты исследования алгоритма определения параметров преобразований сдвига и поворота изображения и его модификаций, позволяющие сделать следующие выводы.

1. Точность определения параметров преобразований изображений с использованием предложенного многоэталонного алгоритма растёт с увеличением размеров опорных участков и их количества. При размерах участков не менее 32×32 пикселя и количестве опорных участков не менее 9 рассматриваемый алгоритм превосходит по точности одноэталонный алгоритм определения параметров преобразований с размером опорного участка 256×256 пикселей при одновременном уменьшении количества требуемых вычислительных операций более чем в два раза.
2. Алгоритм обеспечивает требуемую точность, если максимальный угол поворота не превышает 45° , отношение сигнал/шум на изображении не менее 5 и суммарная площадь присутствующих на изображении объектов не превышает 4,6 процента от общей площади кадра.
3. Приведённый в работе способ выбора опорных участков значительно влияет на точность оценки параметров преобразований. СКО ошибки уменьшается на величину от 3 до 80 процентов при использовании процедуры отбора опорных участков по выбранному критерию. При этом использование синтезированного в диссертации критерия позволяет в подавляющем большинстве случаев достичь несколько лучшей точности по сравнению с известным из литературы критерием максимума дисперсии яркости исследуемого участка.

4. Предложенный в диссертации алгоритм определения параметров сдвига в условиях чересстрочной развёртки позволяет успешно компенсировать её негативные эффекты, причём суммарное СКО ошибки определения параметров сдвига в $1,1 \div 2,5$ раза меньше, чем при использовании подхода с интерполяцией полей изображения.
5. Алгоритм определения параметров преобразований в условиях кратковременного заслонения поля зрения позволяет производить остановку и возобновление работы без перезапуска в случае, когда смещение изображения за время заслонения вдоль каждой оси не превышает $\frac{1}{3}$ размера изображения вдоль той же оси.

Приведены результаты исследований разработанного алгоритма электронной стабилизации изображений в бортовых системах видеослежения, в том числе в сравнении с известными программными системами стабилизации видеоизображений Deshacker и VideoStabilizer, позволяющие сделать следующие выводы.

1. Предложенный алгоритм позволяет эффективно подавлять как случайные помехи, так и неслучайные помехи, имеющие полигармоническую природу в реальном времени.
2. Эффективность подавления полигармонической помехи определяется точностью оценки основной частоты.
3. Задержка в обработке управляющих сигналов при частоте поступления кадров 25 Гц при использовании информации о наличии управляющих сигналов не превышает 80 мс, в то время как в других рассмотренных системах стабилизации величина задержки достигала 0,5 с.

На рисунке 4 показан результат работы алгоритма электронной стабилизации для натурной видеопоследовательности. Из данного рисунка видно, что погрешность определения управляемого перемещения не превышает 1 пикселя.

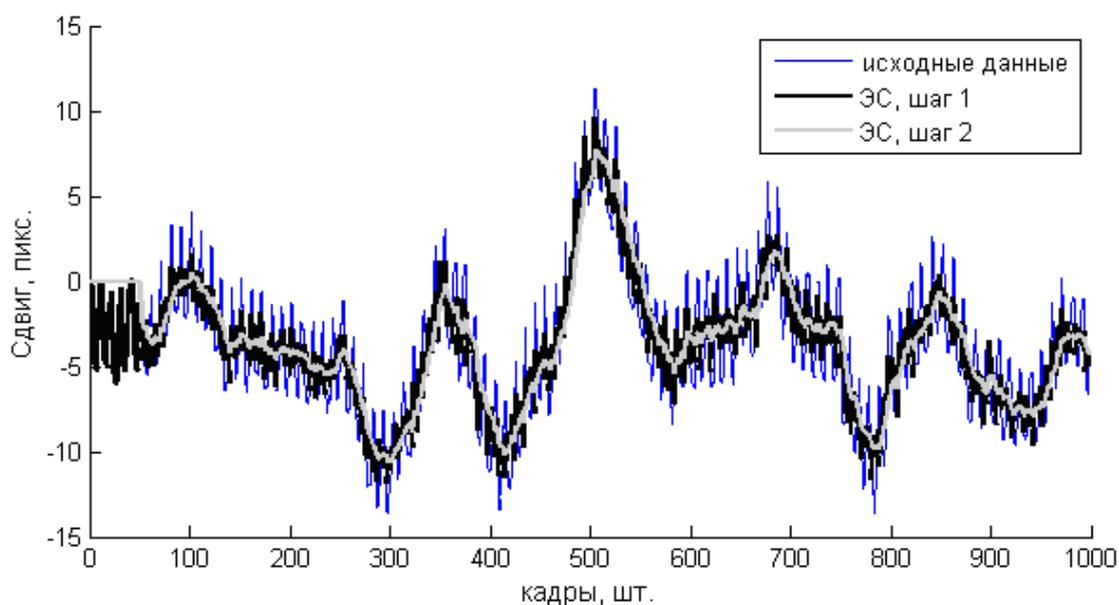


Рисунок 4 – Результат работы алгоритма электронной стабилизации для натурной видеопоследовательности

В работе представлены результаты исследования модифицированного алгоритма определения координат объектов с изменяющимся эталонным изображением. Показано, что предлагаемый в работе алгоритм в подавляющем большинстве случаев превосходит по точности модифицируемый исходный алгоритм, основанный на одновременном определении смещений объекта и фона, причём суммарное СКО определения координат объектов уменьшается на $3\div 25\%$.

Приведены результаты исследования модифицированного алгоритма слежения за движущимися объектами. Приведённые на рисунке 5 рабочие характеристики выделения, представляющие собой зависимость частоты правильного выделения точек объектов от частоты ложного выделения точек того же объекта, показывают, что эффективность использования многоэталонного алгоритма (МЭ на рисунке 5) в случае, когда поворот изображения отсутствует или не превышает единиц градусов, выше эффективности использования одноэталонного способа оценки евклидовых преобразований (1Э на рисунке 5).

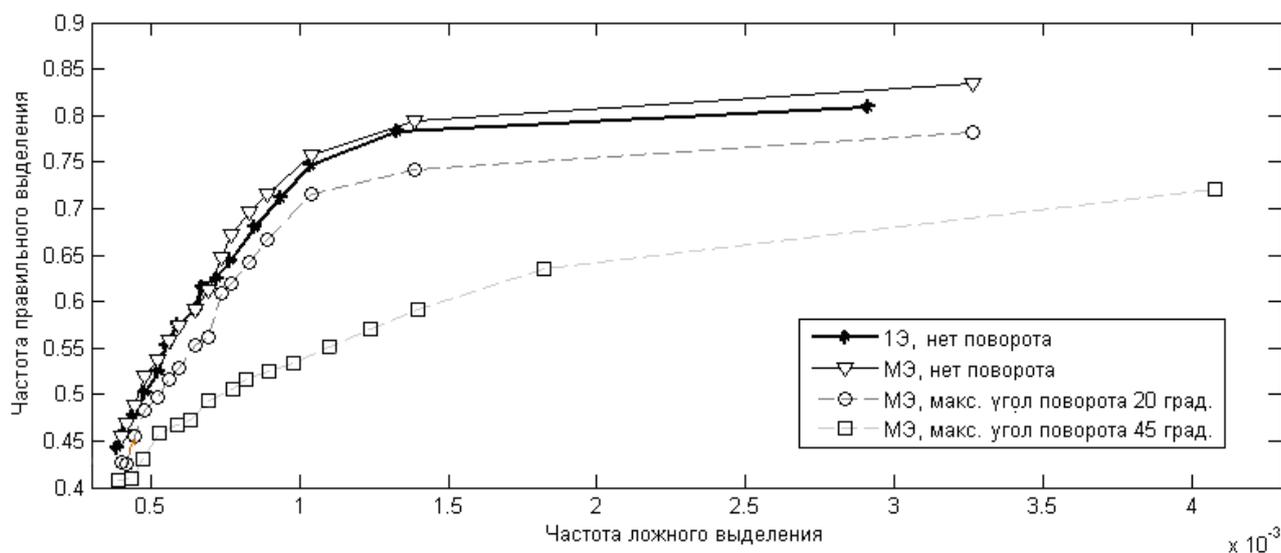


Рисунок 5 – Результаты исследования модифицированного алгоритма выделения точек движущихся объектов

Модифицированный алгоритм выделения точек движущихся объектов остаётся работоспособным при углах поворота изображения до 45 градусов.

В работе показано, что рассмотренные в диссертации алгоритмы могут быть реализованы в системах обработки видеoinформации реального времени, реализуемых на базе современных ПЛИС и сигнальных процессоров, например таких как системы обработки видеоизображений реального времени типа «Охотник».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны модели изображений с подвижным фоном, наблюдаемых в бортовых системах видеослежения. При разработке моделей учтены характер перемещения видеодатчика и параметры фоноцелевой обстановки.
2. Разработаны алгоритмы оценки параметров геометрических преобразований изображений, основанные на оценке межкадрового сдвига нескольких

опорных участков изображений, ориентированные на работу в реальном масштабе времени. Показана возможность функционирования данных алгоритмов в условиях чересстрочного способа формирования изображений и кратковременного пропадания видеоинформации.

3. Разработан эффективный алгоритм выбора и замены опорных участков, позволяющий уменьшить СКО ошибки оценки параметров геометрических преобразований на величину от 3 до 80 %.
4. На основе многоэталонного алгоритма оценки параметров геометрических преобразований разработан алгоритм электронной стабилизации изображений, учитывающий характер вибраций, возникающих при эксплуатации бортовых систем видеослежения. При использовании информации о наличии управляющих сигналов от оператора данный алгоритм вызывает задержку их отработки не более 80 мс.
5. Модифицированы и исследованы алгоритмы оценки координат движущихся и неподвижных объектов по их изменяющимся эталонным изображениям, а также объектов, выделяемых по признаку движения, для случая подвижного датчика изображений, учитывающие полученные оценки геометрических преобразований фонового изображения.
6. Экспериментально подтверждена эффективность предложенных в диссертации алгоритмов. Проведены сравнительные исследования предложенных алгоритмов с известными способами оценок геометрических преобразований изображений, показавшие возможность снижения вычислительных затрат более чем в два раза при том же уровне ошибок определения параметров. Даны рекомендации по реализации предложенных алгоритмов в системах видеослежения.
7. Проведены сравнительные исследования модифицированных алгоритмов оценки координат объектов с известными способами, показавшие уменьшение величин ошибок на 3÷25 %.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Алпатов Б.А., Стротов В.В. Исследование надёжности двух алгоритмов измерения координат объектов в условиях вращения изображения объекта // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 10-й Международной научно-технической конференции. – Рязань, 2001. – С. 209-211.
2. Балашов О.Е., Стротов В.В. Исследование алгоритма оценки параметров искажения сцены // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 11-й Международной научно-технической конференции. – Рязань, 2002. – С. 20-22.
3. Алпатов Б.А., Стротов В.В. Алгоритм электронной стабилизации видеоизображений // Современная радиоэлектроника в ретроспективе идей В.А. Котельникова: тез. докл. Международной конференции. – М.: МЭИ, 2003. – С. 124–125.
4. Алпатов Б.А., Стротов В.В. Алгоритм электронной стабилизации фона для случая линейных сдвигов в последовательности видеоизображений // Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика: тез. докл. 4-й международной конференции. – Рязань, 2003. – С. 322–323.
5. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Бохан К.А., Катаев А.А., Стротов В.В. Методы и алгоритмы обнаружения, распознавания и сопровождения объектов в бортовых

- видеоинформационных системах // Информационно-телекоммуникационные технологии: тез. докл. Всероссийской научно-технической дистанционной конференции. – М., 2003. – С. 14.
6. Алпатов Б.А., Стротов В.В. Алгоритм электронной стабилизации фона по опорным участкам в последовательности видеоизображений // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 12-й Международной научно-технической конференции. – Рязань, 2004. – С. 62-64.
 7. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Бохан К.А., Катаев А.А., Стротов В.В. Информационные технологии обнаружения, распознавания и сопровождения объектов в бортовых видеокомпьютерных системах // Информационно-телекоммуникационные технологии: тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции.– Сочи, 2004. – С. 5-6.
 8. Бабаян П.В., Стротов В.В. Методы оценки геометрических преобразований изображения для бортовой видеоинформационной системы // Информационно – телекоммуникационные технологии: тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции. – Сочи, 2004. – С. 7-8.
 9. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Стротов В.В. Сравнительное исследование методов слежения за фоновым изображением для бортовой видеоинформационной системы // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 13-й Международной научно-технической конференции. – Рязань, 2004. – С. 91-92.
 10. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Стротов В.В. Исследование методов слежения за фоновым изображением для бортовой видеоинформационной системы // Тез. докл. всероссийского научно-практического семинара «Сети и системы связи». – Рязань, 2005. – С. 12-13.
 11. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Стротов В.В. Исследование двух методов слежения за фоновым изображением для бортовой видеоинформационной системы // Тез. докл. 4-й международной конференции «Телевидение: передача и обработка изображений». – СПб, 2005. – С. 93-94.
 12. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Стротов В.В. Многоэталонный алгоритм слежения за фоном // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 14-й Международной научно-технической конференции. – Рязань, 2005. – С. 108-109.
 13. Бабаян П.В., Стротов В.В. Оценивание параметров смещения изображения при выделении движущихся объектов // Цифровая обработка сигналов и её применение: тез. докл. 8-й международной конференции. –М., 2005. – С. 375-378.
 14. Стротов В.В. Многоэталонный алгоритм слежения за фоном в последовательности видеоизображений // Новые информационные технологии: тез. докл. XI Всероссийской научно-технической конференции. – Рязань, 2006. – С. 133-134.
 15. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Стротов В.В. Многоэталонный алгоритм оценивания параметров смещения изображения // Тез. докл. 31-й межвузовской научно-практической конференции РВВКУС и РГРТУ. – Рязань, 2006. – С. 5 – 6.
 16. Стротов В.В. Модифицированный многоэталонный алгоритм слежения за фоном в последовательности чересстрочных видеоизображений // Новые информационные технологии: тез. докл. XII Всероссийской научно-технической конференции. – Рязань, 2007. – С. 217-218.
 17. Корепанов С.В., Селяев А.А., Стротов В.В. Корреляционно-экстремальное совмещение полутоновых изображений в условиях их неполного соответствия // Новые информационные технологии: тез. докл. XII Всероссийской научно-технической конференции. – Рязань, 2007. –С. 36-37.
 18. Алпатов Б.А., Стротов В.В. Исследование многоэталонного алгоритма оценивания параметров геометрических преобразований космических изображений // Тезисы докладов 5-й МНТК "К.Э.Циолковский – 150 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика." – Рязань, 2007. – С. 232 – 236.

19. Стротов В.В. Определение параметров геометрического искажения фонового изображения в условиях временного пропадания видеоинформации // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 15-й Международной научно-технической конференции.– Рязань, 2008. – С. 141-142.
20. Селяев А.А., Стротов В.В. Корреляционно-экстремальное совмещение полутоновых изображений в условиях их неполного соответствия // Материалы 32-й Всероссийской научно-практической конференции РВВКУС и РГРТУ "Сети, системы связи и телекоммуникации." – Рязань, 2007. – С.51-53.
21. Стротов В.В. Оценивание параметров смещения изображения при выделении движущихся объектов в сложных условиях наблюдения // Цифровая обработка сигналов и её применение: тез. докл. 10-й международной конференции. – М., 2007. – С. 460-463.
22. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Муравьев В.С., Стротов В.В. Обнаружение и сопровождение объектов в последовательности изображений при наблюдении из космоса // Материалы 1-й конференции МАА-РАКЦ "Космос для человечества." – Королёв, Моск. обл., 2008. – С.175.
23. Бабаян П.В., Стротов В.В. Оценивание параметров геометрических преобразований изображения при выделении движущихся объектов // Обработка информации в автоматических системах: сборник научных трудов. – Рязань, 2006. – С. 17 – 22.
24. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Стротов В.В. Анализ точностных характеристик методов слежения за фоновым изображением для бортовой видеоинформационной системы // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. – № 20. – Рязань, 2007. –С. 3 – 10.
25. Стротов В.В. Оценивание параметров смещения изображения в задачах выделения движущихся объектов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – № 23. – Рязань, 2008. – С. 30 – 37.
26. Стротов В.В. Выбор опорных участков в многоэталонном алгоритме определения параметров геометрических преобразований изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – №28. – Рязань, 2009. – С.93 – 96.
27. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Блохин А.Н., Костяшкин Л.Н., Стротов В.В. "Способ обработки сигналов для определения параметров геометрических искажений фона в последовательности телевизионных изображений". Положительное решение о выдаче патента на изобретение РФ по заявке на изобретение №2008110295 от 7 мая 2009.

СТРОТОВ Валерий Викторович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ
ВИДЕОСЛЕЖЕНИЯ**

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 14.09.2009
Бумага офсетная. Формат бумаги 60×84/16. Гарнитура Таймс
Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд л. 1,0. Тираж 100 экз.
Печать офсетная. Заказ № **491**

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