

*На правах рукописи*



**МУРАТОВ Евгений Рашитович**

**АЛГОРИТМЫ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
В СИСТЕМАХ КОМБИНИРОВАННОГО ВИДЕНИЯ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

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

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань 2013

Работа выполнена на кафедре электронных вычислительных машин  
ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический  
университет» (ФГБОУ ВПО «РГРТУ»).

**Научный  
руководитель:**

**Никифоров Михаил Борисович**  
кандидат технических наук, доцент  
каф. ЭВМ ФГБОУ ВПО «РГРТУ»

**Официальные  
оппоненты:**

**Бехтин Юрий Станиславович**  
доктор технических наук, профессор  
каф. АИТУ ФГБОУ ВПО «РГРТУ»

**Новиков Михаил Владимирович**  
кандидат технических наук, главный  
конструктор бортовых информационных  
комплексов ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»,  
г. Москва

**Ведущая  
организация:**

**ФГБОУ ВПО «Московский  
государственный технический  
университет радиотехники, электроники  
и автоматики»**

Защита диссертации состоится «20» декабря 2013 года  
в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.01  
в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический  
университет» по адресу:

**390005, ул. Гагарина, д. 59/1.**

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

Автореферат разослан « 14 » ноября 2013 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд.техн.наук, доцент



**В.Н. Пржегорлинский**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Совмещение изображений в настоящее время является весьма актуальной задачей. Оно применяется во многих областях науки и техники. Это картография, дистанционное зондирование Земли, многоспектральные системы технического зрения (СТЗ) летательных аппаратов (ЛА) и зрение робототехнических систем. В современной авионике техническое зрение решает такие актуальные задачи, как корреляционно-экстремальная навигация, обнаружение и сопровождение целей, визуализация изображения за кабиной пространства и др.

Анализ публикаций в области теории и практики совмещения изображений позволяет говорить о существовании ряда проблем, связанных с обработкой изображений различной физической природы. Они обусловлены неоднородностью формы представления, различными форматами хранения и обработки, различной природой возможных искажений. Сложность задачи существенно возрастает в связи с необходимостью ее решения в режиме реального времени на борту ЛА.

В данной работе рассматривается предварительная обработка разнородных изображений – от видеокамеры и виртуальной модели местности (ВММ) – с целью их последующего совмещения в системах комбинированного видения.

Предварительная обработка (в нашем случае подготовка изображений и их некорреляционное совмещение) заключается в последовательном выполнении ряда процедур:

- перевод цветных изображений в градации серого;
- контрастирование яркостного диапазона;
- устранение шумовой составляющей;
- выделение границ объектов на изображениях;
- фрагментное представление изображений с последующей их пороговой фильтрацией;
- утоньшение границ;
- аппроксимация границ прямолинейными элементами;
- переход к векторному описанию результатов аппроксимации;
- совмещение и визуализация.

От эффективности выполнения этих процедур зависят качество совмещения и возможность работы СТЗ в реальном времени, что в значительной степени определяет безопасность полетов летательных аппаратов.

**Степень разработанности темы.** Исследованию научных вопросов, связанных с обработкой изображений, посвящены работы известных отечественных и зарубежных ученых. Большой вклад в развитие научных исследований в этой области внесли: Алпатов Б.А., Визильтер Ю.В., Джанджгава Г.И., Евтушенко Ю.Г., Еремеев В.В., Желтов С.Ю., Злобин В.К., Сергеев В.В., Сойфер В.А. и другие. Значительное внимание этой проблеме уделяют и зарубежные ученые: Башков Е., Блейхут Р., Понс Ж., Прэтт У., Форсайт Д., Фукунага К.

Многие работы этих ученых, которые посвящены совмещению изображений и связаны с картографией и дистанционным зондированием Земли, зачастую не решают задачи совмещения изображений в реальном времени. Разработчики авиационных систем технического зрения сходятся во мнении, что жесткие требования по точности алгоритмов совмещения, их вычислительной сложности, необходимости аппаратной реализации в ПЛИС вызывают определенные трудности при проектировании СТЗ. Однако до сих пор не существует универсального алгоритма, который мог бы обеспечить для всех областей применения требуемую эффективность. Поэтому при разработке и модификации существующих алгоритмов необходимо учитывать специфику предметной области, реальные характеристики ТВ изображений, полученных камерами ЛА в процессе полета, и ВММ. Главным недостатком известных методов и алгоритмов является сложность их реализации на борту ЛА в реальном времени.

В данной диссертационной работе исследуются и разрабатываются алгоритмы предварительной обработки изображений с целью нахождения информативных признаков для последующего предварительного совмещения изображения, формируемого телекамерой и ракурсов ВММ. Разрабатываются варианты визуализации результатов совмещения на индикаторах пилота ЛА с целью повышения его осведомленности о закабинной обстановке.

**Цель диссертации** состоит в разработке алгоритмов, повышающих эффективность совмещения изображений, с целью улучшения условий пилотирования ЛА в сложной метеорологической и географической обстановке.

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

- получение информативных признаков на изображениях;
- разработка методики фильтрации неинформативных объектов на изображении;
- получение информативных признаков от ракурса ВММ, построенного по навигационным данным;
- разработка процедур автоматического выбора значений ключевых параметров разрабатываемых алгоритмов;

- разработка алгоритмов предварительного совмещения изображений;
- сокращение вычислительной сложности предобработки за счет использования вспомогательной информации от ВММ;
- разработка программного стенда для исследования эффективности различных алгоритмов предварительной обработки и совмещения изображений.

**Научная новизна** диссертации заключается в том, что в ней разработаны алгоритмы, позволяющие решать задачи предобработки и предварительного совмещения изображений в режиме реального времени.

**На защиту выносятся** следующие новые научные результаты:

- алгоритм выделения границ и фильтрации малозначимых объектов;
- алгоритмы представления границ в векторном описании;
- алгоритмы, позволяющие сократить объем информативных признаков, необходимых для последующего совмещения изображений;
- алгоритм фрагментации, позволяющий существенно снизить трудоемкость алгоритмов обработки изображений;
- алгоритмы, выполняющие предварительное совмещение изображений от видеокамеры и ракурсов ВММ.

**Практическая ценность работы** состоит в том, что в ней:

- разработан алгоритм выявления характерных признаков на изображении и представления их в векторном описании;
- разработаны алгоритмы сокращения количества признаков с целью ускорения работы процедур последующего совмещения;
- предложены некорреляционные алгоритмы предварительного совмещения реальных изображений с ракурсами ВММ, выполняемые в реальном времени;
- предложены варианты представления результата совмещения на индикаторе пилота с целью повышения его информированности о каabinной обстановке;
- разработан программный стенд для экспериментального исследования и отладки алгоритмов предобработки и предварительного совмещения изображений с ракурсами ВММ.

**Реализация и внедрение.** Результаты научных исследований, полученные при работе над диссертацией, использованы при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в РГРТУ: НИР № 3-12, НИР № 29-12, НИР № 3-13, НИР № 4-13.

Результаты диссертационной работы и разработанный программный стенд внедрены в Научно-конструкторском центре видеокомпьютерных технологий (НКЦ ВКТ) ОАО «Государственный Рязанский приборный завод» в виде алгоритмов, реализующих технологии предварительной обработки и предварительного совмещения изображений в системах комбинированного видения (combined vision system CVS) ЛА.

Результаты исследований и программный стенд «Обработка и совмещение изображений в реальном времени», разработанный в кандидатской диссертации, внедрены в учебный процесс кафедры электронных вычислительных машин Рязанского государственного радиотехнического университета и используются студентами-магистрантами направления 230100 «Информатика и вычислительная техника» в курсе «Методы и алгоритмы обработки и анализа изображений».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации докладывались на 7 научно-технических конференциях, в том числе:

- 6 Международная научно-техническая конференция «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». Рязань, РГРТУ. 2013;
- 17 Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» «КомТех-2013», Таганрог, ЮФУ. 2013;
- научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления – 2013». Москва, ИКИ РАН. 2013,
- 3 межвузовская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Новые технологии в учебном процессе и производстве». Рязань, МГОУ РИ, 2005.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них три – в журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Зарегистрирован программный ресурс в Объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование» (ОФЭРНИО). Результаты диссертации отражены в четырех отчетах о НИР, выполненных в Рязанском государственном радиотехническом университете.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Основной текст работы содержит 176 страниц, 60 рисунков и 15 таблиц. Список использованных источников включает 80 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**В первой главе** «Исследование методов предобработки изображений в задачах их совмещения с цифровыми моделями местности» сформулированы основные требования к точности и содержимому цифровых карт местности (ЦКМ) и форматам их хранения с позиций использования ЦКМ для формирования ВММ и ее последующего совмещения с телевизионным изображением. По результатам анализа исходных данных от ТВ камер и ВММ сделан вывод о характере признаков, пригодных для совмещения изображений, полученных в условиях ограниченной видимости и сезонно-климатических изменений, с ракурсами ВММ. Установлено, что в качестве таких признаков должны выступать характеристики границ объектов, выделенных на подстилающей поверхности Земли, такие как прямолинейные участки (отрезки) границ объектов, характер их наклона на изображении, длина и углы между такими отрезками.

Для достижения поставленной цели проведено исследование применимости методов выделения границ для решения задач последующей векторизации и совмещения изображений в вычислителе на борту ЛА. По результатам исследований выбрана группа градиентных операторов, для каждого из которых произведены оценки:

- чувствительности оператора к ориентации линии яркостного перепада относительно горизонтальной оси по формуле

$$\alpha(\Theta) = \frac{h(i, j|\Theta)}{h(i, j|\Theta = 0)}, \text{ где } h(i, j|\Theta) - \text{значение градиента на линии перепада яркости, расположенной под углом } \Theta \text{ к оси } O_x$$

в точке с координатами  $i, j$ ;  $h(i, j|\Theta = 0)$  – значение градиента на линии перепада яркости, параллельной оси  $O_x$  в точке с координатами  $i, j$ ;

- степени эффективности оператора при вычислении градиента на расстоянии  $d$  от линии перепада по формуле

$$\beta(d) = \frac{h(i, j|d)}{h(i, j|d = 0)};$$

- отношения сигнал-шум для масочных операторов по формуле

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} a_{ij}}{\sigma \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}},$$

- где  $\sigma^2$  – дисперсия белого шума на входе,  $n$  – порядок матрицы  $A = (a_{ij})$  (маски градиентного оператора),  $a_{ij}$  – значения

элемента маски в ячейке  $(i, j)$ ,  $s_{ij}$  – значение тестового полезного сигнала в ячейке  $(i, j)$  текущего кадра.

По результатам оценки выбрана группа масочных операторов, которые составили основу для детекторов границ.

С целью повышения эффективности алгоритмов последующего совмещения признаки, полученные детекторами границ, должны быть представлены в векторном описании. Для получения признаков предложена технология предварительной обработки ТВ и ВММ изображений, состоящая из нескольких последовательно применяемых алгоритмов.

Проведены исследования применимости известных методов и алгоритмов предварительной обработки и нахождения признаков, используемых для совмещения изображений, к задаче совмещения ТВ и ВММ изображений с учетом реального времени.

На основании исследований сделан вывод о возможности применения некоторых методов в составе технологии предварительной обработки изображений, намечены критерии совершенствования отдельных методов и определен круг алгоритмов, требующих разработки.

**Во второй главе** «Разработка алгоритмов предобработки изображений для последующего совмещения» разработаны комплекс алгоритмов и технология получения информативных признаков в виде векторного описания границ объектов, являющихся ключевыми для последующего совмещения. В главе предложены алгоритмы, существенно снижающие временную сложность предварительной обработки в CVS ЛА. Предложена методика автоматического выбора ключевых параметров для разработанных алгоритмов фильтрации информативных признаков. В качестве ключевых параметров выступают значение яркости, являющееся пороговым для фильтрации результата, представленного детектором границ, и число пикселей в составе фигуры на изображении, позволяющее считать ее малоинформативной. Алгоритм их нахождения заключается в выполнении следующих действий:

- 1) результат, полученный детектором границ, инвертируется;
- 2) для диапазона значений  $[0..247]$  гистограммы распределения

яркости оператором  $\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{28}(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)$  оценивается наклон кривой, огибающей эту гистограмму;

- 3) если результат оценки соответствует значению, заданному для определенного метода [например, для метода Собеля с двумя масками  $3 \times 3$  это значение составляет 1 (точка А на рисунке 1, а)], то зна-

чение гистограммы, при котором была получена эта оценка, считается порогом яркостной фильтрации;

4) вычисляется гистограмма распределения количества пикселей (рисунок 1, б) в образованных фигурах, разделенных между собой пикселями с яркостью 255;

5) фильтрации подлежат все фигуры с количеством пикселей меньше некоторого автоматически вычисленного по гистограмме значения (рисунок 1,б).

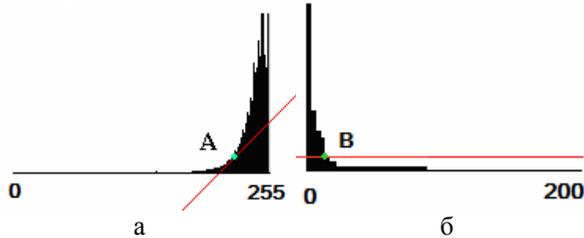


Рисунок 1 – Оценка пороговых значений по гистограммам:  
а – яркости; б – количества пикселей в фигурах

Модификация алгоритма детектирования границ на основе градиентных операторов позволила сократить количество информативных признаков на 60-80%. Алгоритм контрастирования разработан для коррекции яркости отдельных блоков изображения с целью увеличения чувствительности детектора границ. Разработан алгоритм получения параметрического описания фрагментов изображения, позволяющий сократить временные затраты алгоритмов обработки.

Предложенная модификация позволила осуществить фильтрацию яркостного шума и неинформативных объектов.

Результат работы модифицированного детектора границ, по сравнению с классическим (рисунок 2, а), представлен на рисунке 2, б.

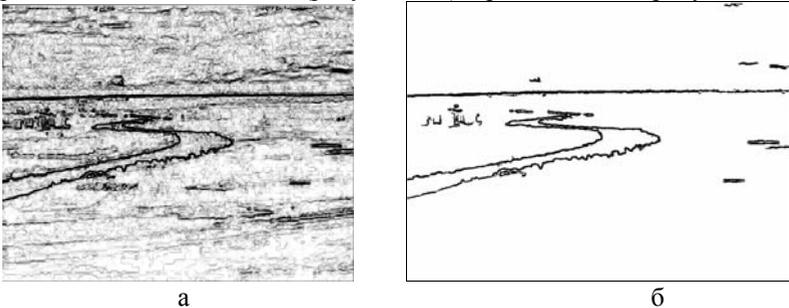


Рисунок 2 – Результат работы детектора границ:  
а – классический градиентный метод; б – модифицированный метод

С целью получения векторного описания границ объектов разработан алгоритм утоньшения линий. Он использует информацию о фрагментах изображений для корректировки направления поиска очередной точки линии. При этом учитывается направление смещения на предыдущем шаге.

Разработан алгоритм векторизации для нахождения угловых точек по наклонам элементарных отрезков, аппроксимирующих линии в пиксельном пространстве.

Разработан алгоритм спрямления серии коротких отрезков одним длинным за счет анализа положения отрезков внутри допустимого туннеля направленности. Алгоритм спрямления сокращает количество информативных признаков дополнительно на 20-40%. Предложенный подход упрощает процедуру последующего совмещения.

Для обеспечения возможности применения алгоритмов в бортовом вычислителе разработаны промежуточные и конечные форматы хранения и представления данных, пригодные для применения при параллельных вычислениях.

Технология предварительной обработки, совмещения и визуализации представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Технология предварительной обработки изображений

**В третьей главе** «Применение векторного описания границ объектов для предварительного совмещения и визуализации» разработаны алгоритмы некорреляционного совмещения изображений.

Предложен алгоритм нахождения зоны неопределенности для ТВ изображения (зоны, в которой может находиться ВММ изображения). Формирование зоны неопределенности с учетом ошибок сводится к следующему:

1. По заданным значениям ошибок  $\Delta\theta$ ,  $\Delta\psi$ ,  $\Delta\gamma$  формируем матрицы вращения  $T_{\Delta\theta}$ ,  $T_{\Delta\psi}$ ,  $T_{\Delta\gamma}$  в плоскостях тангажа, курса и крена

соответственно. Например,  $T_{\Delta\theta} = \begin{pmatrix} \cos \Delta\theta & 0 & \sin \Delta\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \Delta\theta & 0 & \cos \Delta\theta \end{pmatrix}$ . Затем нахо-

дим их произведение – матрицу  $T(\Delta\gamma, \Delta\theta, \Delta\psi) = T_{\Delta\gamma} \cdot T_{\Delta\theta} \cdot T_{\Delta\psi}$ .

2. Пересчитываем по формуле  $X_M^{(1)} = T(\Delta\gamma, \Delta\theta, \Delta\psi) \cdot X_M$  координаты точек  $A_1, A_0, A_2, C_1, C_0, C_2, B_1, B_0, B_2$  в основании пирамиды изображения (рис.4).

3. Находим проекции точек  $A_1, A_0, A_2, C_1, C_0, C_2, B_1, B_0, B_2$  на плоскость  $z = -(h + \Delta h)$  Земли с учетом ошибок положения  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta h$  и угловых ошибок  $\Delta\theta$ ,  $\Delta\psi$ ,  $\Delta\gamma$  по формулам:

$$x_M^{(2)} = \Delta x + \frac{-(h + \Delta h)}{z_M^{(1)}} \cdot x_M^{(1)}, \quad y_M^{(2)} = \Delta y + \frac{-(h + \Delta h)}{z_M^{(1)}} \cdot y_M^{(1)},$$

где  $M$  – одна из точек  $A_1, A_0, A_2, C_1, C_0, C_2, B_1, B_0, B_2$ .

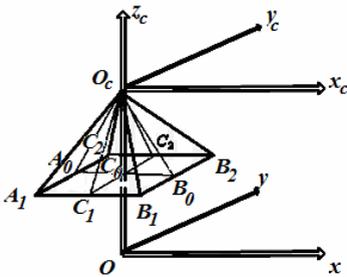


Рисунок 4 – Пирамида изображения

Размеры и положение зоны неопределенности для линии горизонта, синтезированной по ВММ, используются в алгоритме нахождения линии горизонта на ТВ изображении как коэффициенты уравнения прямой  $y = ax + b$ .

1. Вычисляем оценки  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$  коэффициентов  $a$  и  $b$  прямой  $y = ax + b$ , применяя метод наименьших квадратов к массиву координат пикселей, принадлежащих линии горизонта  $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$ .

2. Находим координаты точки  $B(x_b, y_b)$  пересечения перпендикуляра, опущенного на линию вычисленного горизонта по центру ширины изображения  $W$  (рисунок 5), по формуле  $x_b = \frac{W}{2}$ ,  $y_b = b \cdot x_b + \hat{a}$ .

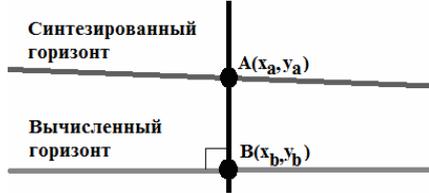


Рисунок 5 – Нахождение расстояния между синтезированной и вычисленной линиями горизонта

3. Находится точку  $A(x_a, y_a)$  пересечения этого перпендикуляра с линией синтезированного горизонта.

4. Поправку к крену вычисляем как  $\Delta\gamma = \gamma - \arctg(a)$ , к тангажу  $-\Delta\theta = \theta - \frac{H_A \cdot \Delta H}{I_H}$ , где  $\gamma$  – угол крена, а  $\theta$  – угол тангажа по навигационным данным.  $H_A$  – угол зрения телекамеры в вертикальной плоскости,  $I_H$  – высота изображения в пикселях,  $\Delta H$  – разность по высоте в пикселях между синтезированной по ВММ и вычисленной линией горизонта:  $\Delta H = Z \cdot \text{sign}(y_b - y_a) \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$ , где  $Z$  – коэффициент учета положения Земли на изображении ( $Z=+1$  – небо над плоскостью Земли,  $Z=-1$  – небо под плоскостью Земли).

Предложен алгоритм оценки достоверности найденной линии горизонта:

1. Вычисляется расстояние от всех вершин отрезков, участвующих в формировании уравнения линии горизонта, предложенным выше алгоритмом.

2. Если одно и более полученных в пункте 1 таких расстояний превышает порог  $\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{M}{2} \cos(0,05)\right)^2 + \left(\frac{M}{2} \sin(0,05)\right)^2}$ , то полученное уравнение не следует считать уравнением линии горизонта. Значение  $M$  выбирается как половина ширины кадра.

Предложен алгоритм некорреляционного совмещения в плоскости крена при отсутствии линии горизонта, в основе которого лежит статистический анализ углов наклона отрезков из векторного описания

одного и второго изображений. Для этого находятся математическое ожидание и дисперсия углов наклона первого и второго изображения, отличающихся не более чем на заданную величину.

В результате такого анализа находится угол  $\delta$ , на который необходимо повернуть второе изображение для совмещения его с первым. Алгоритм носит итерационный характер и повторяется до тех пор, пока на очередной итерации не выполнится условие  $\delta \leq \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - требуемая точность совмещения, например  $\varepsilon = 0.000175$  рад ( $0,01^\circ$ ).

Исходным углом поворота одного изображения относительно другого будем считать  $\Delta = \sum_n \delta_n$ , где  $n$  – номер итерации.

Предложены варианты визуализации результата совмещения.

**В четвертой главе** «Программный стенд для исследования и апробации алгоритмов предобработки и совмещения» на основе функциональных требований разработано программное обеспечение, позволяющее комбинировать последовательность применения алгоритмов с целью исследования и получения результатов конечной и промежуточной стадий предварительной обработки видеопоследовательностей, полученных от ТВ камер летательных аппаратов. Программный стенд позволяет выполнять анализ и контроль автоматического выбора ключевых параметров алгоритмов предварительной обработки и производить предварительное совмещение по тангажу и крену ТВ и ВММ изображения как в ручном (для анализа и исследований), так и в автоматическом режимах с использованием различных способов визуализации.

Программный стенд (рисунок 6) состоит из нескольких взаимосвязанных модулей:

- управления видеопоследовательностью;
- получения ТВ кадра;
- получения ракурса ВММ;
- предварительного совмещения;
- визуализации результатов;
- интерфейсного модуля, осуществляющего управление последовательностью предварительной обработки.

Разработана методика проведения экспериментов с использованием программного стенда. Приведено обоснование статистической состоятельности объема проводимых испытаний. Показано, что общее число проведения тестовых испытаний (2000 – 10000) является обоснованным и достаточным для утверждения состоятельности результатов испытаний.

Приведены оценки ключевых характеристик разработанных алгоритмов по отдельности и комплекса алгоритмов, работающих как единое целое.

Экспериментальные исследования проводились на программном стенде «Обработка и совмещение изображений в реальном времени», выполняемом под управлением ОС Windows7 32bit, на платформе:

CPU AMD Phenom II 3.0 ГГц;

ОЗУ 2 Гб, с типом памяти DDR2;

видеоадаптер AMD HD7870 с объемом памяти 2 Гб;

видеопоследовательность обрабатывается кодеком h-264.

Стендом обрабатывались видеопоследовательности от ТВ камер и навигационные параметры. Размерность кадра видеопоследовательностей 704x576 и 800x600, частота смены кадров составляла 25 Гц.

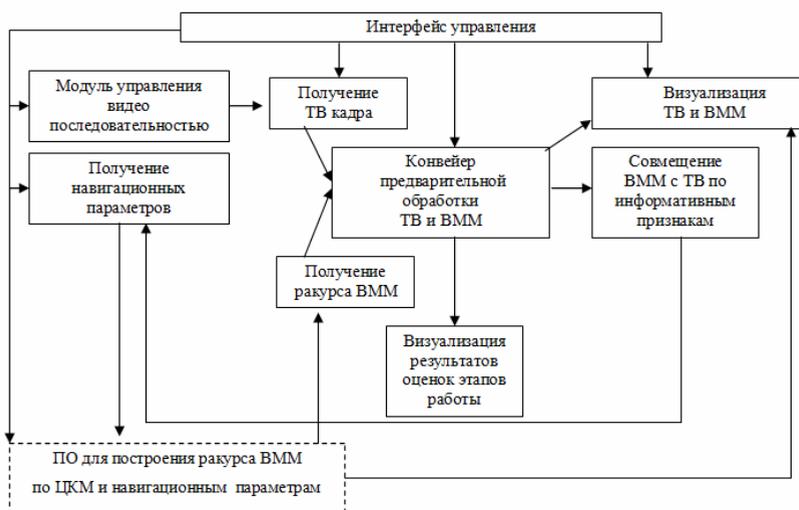


Рисунок 6 – Структура программного стенда

Оценка трудоемкости основных этапов получена по результатам обработки 2000 кадров реального видеоряда съемки полетов на малой высоте и заходов на посадку. В качестве детектора границ использовались модифицированные градиентные операторы, построенные на основе операторов Собеля и Превитта. Результаты оценки и сравнения временных затрат алгоритмов приведены на рисунке 7.

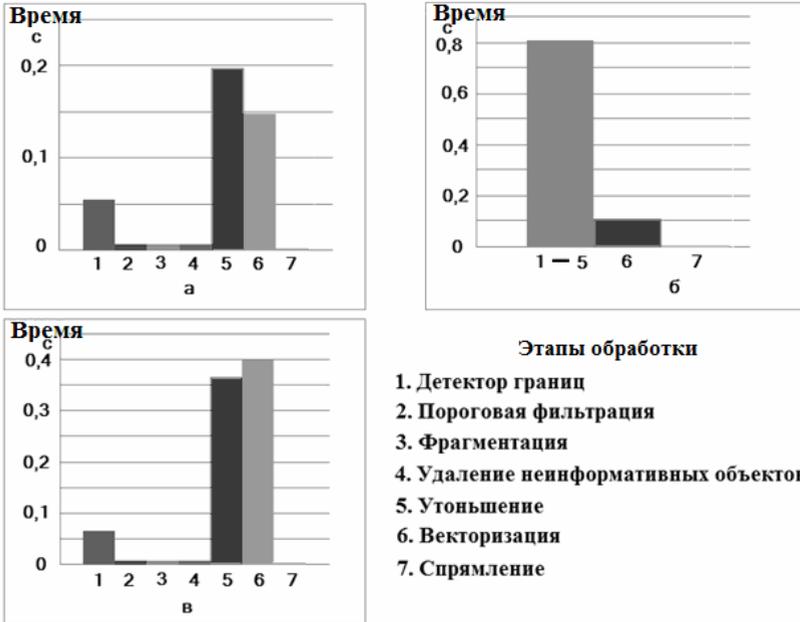


Рисунок 7 – Трудоемкость различных вариантов предобработки: а – с модифицированным детектором границ на основе оператора Собеля с четырьмя масками размером  $3 \times 3$ ; б – с использованием классического метода Кэнни; в – с модифицированным детектором границ на основе оператора Собеля с двумя масками размером  $5 \times 5$

Из приведенных графиков следует (рисунок 8), что предложенные алгоритмы эффективнее последовательности с классическим методом Кэнни в 2,18 - 2,8 раза.

Произведены оценки сокращения временных затрат реализации алгоритмов на GPU и показана эффективность их параллельной реализации.

Сделаны выводы о возможности аппаратной реализации предложенных в работе алгоритмов в ПЛИС, спецпроцессорах и на GPU. Экспериментальные исследования, проведенные в четвертой главе, подтвердили теоретические выводы об эффективности использования разработанных алгоритмов в CVS ЛА.

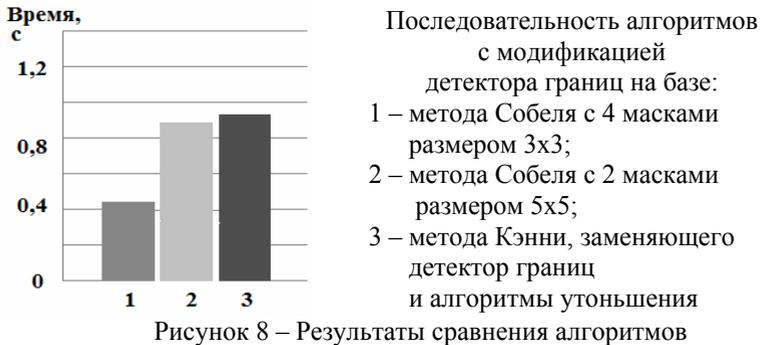


Рисунок 8 – Результаты сравнения алгоритмов

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В представленной диссертационной работе выполнены исследования и разработка алгоритмов предварительной обработки изображений, которые позволяют:

- выявлять множество характерных признаков и выделять из него наиболее существенные с целью ускорения работы алгоритмов совмещения изображений;
- совмещать исходное изображение и ракурс ВММ некорреляционными методами;
- представлять пилоту варианты визуализации результата совмещения.

В частности:

- выявлены информативные признаки изображений;
- разработаны алгоритмы выявления характерных признаков на изображении и представления их в векторном описании;
- предложены методы фильтрации малозначимых объектов на изображениях;
- разработаны процедуры автоматического выбора значений ключевых параметров алгоритмов;
- разработаны алгоритмы некорреляционного совмещения ВММ и реальных изображений;
- разработана методика сокращения вычислительной сложности предобработки за счет использования вспомогательной информации от ВММ;
- предложены некорреляционные алгоритмы предварительного совмещения изображений с ВММ, выполняемые в реальном времени;

– разработан программный стенд, позволяющий выполнять исследования эффективности различных алгоритмов предварительной обработки и совмещения реальных изображений с ВММ и отладку программного обеспечения бортовых ЭВМ.

Разработанное алгоритмическое и программное обеспечение и испытательный программный стенд внедрены на промышленном предприятии ОАО «Государственный Рязанский приборный завод», входящем в состав ОАО «Концерн «Радиоэлектронные технологии» (г. Москва), и в учебный процесс кафедры ЭВМ Рязанского государственного радиотехнического университета.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Работы, опубликованные в научных журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий ВАК РФ**

1. Злобин В.К., Костров Б.В., Асаев А.С., Муратов Е. Р. Спектральные методы обработки изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета (Вып. 21). – Рязань, 2007. – С. 3-8.

2. Муратов Е.Р. Совмещение телевизионных изображений и виртуальной модели местности в плоскости крена // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 9. Ч.1.1 – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – С 253-260.

3. Герман Е.В., Муратов Е.Р., Никифоров М.Б. Два подхода к выделению и векторизации контурных линий объектов подстилающей поверхности // Известия ЮФУ №5. - Таганрог, 2013. – С. 56-61.

**Работы, опубликованные в сборниках трудов научно-технических конференций и в межвузовских сборниках**

4. Костров Б.В., Асаев А.С., Муратов Е.Р. Метод фильтрации периодических помех на изображении // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. Рязанского государственного педагогического университета. – Рязань, 2005. – С.36-39.

5. Костров Б.В., Асаев А.С., Муратов Е.Р. Сравнение трудоемкости вычислений спектров изображений Фурье и Уолша // 3-я межвузовская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Новые технологии в учебном процессе и производстве». – Рязань: МГОУ РИ, 2005. – С.33.

6. Костров Б.В., Асаев А.С., Муратов Е.Р. Фильтрация периодических помех на изображении // 14-я международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». – Рязань, 2005. – С.205-206.

7. Костров Б.В., Муратов Е.Р. Особенности распознавания изображений в базе Уолша // Материалы Всероссийской научно-

технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». – Рязань, 2007. – С.81-82.

8. Муратов Е.Р. Выделение характерных особенностей на аэрофотоснимках // VIII международная научно-техническая конференция «Теория и практика современной науки», Т.1. – М., 2012. – С.305-309.

9. Герман Е.В., Муратов Е.Р., Логинов А.А., Никифоров М.Б. Сравнение подходов к векторизации границ объектов, выделенных на изображениях подстилающей поверхности в системах комбинированного видения // 6-я МНТК «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика». – Рязань, 2013. – С. 269-271.

10. Муратов Е.Р. Скелетизация контуров изображений в авиационных системах комбинированного видения // Научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления - 2013». – М.: ИКИ РАН, 2013. – С.158-159.

11. Loginov A.A., Muratov E. R., Nikiforov M.B., Novikov A.I. Image vectorization in real time // European Science and Technology: materials of the IV International research and practice Conference. Munich Germany. – 2013. – Vol. 1. – P. 274-280.

#### **Регистрация электронного ресурса**

Муратов Е.Р. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19613. Программный стенд «Обработка и совмещение изображений в реальном времени». ОФЭРНиО, 31.10.2013 г.

Муратов Евгений Рашитович

**АЛГОРИТМЫ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
В СИСТЕМАХ КОМБИНИРОВАННОГО ВИДЕНИЯ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать .11.13. Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

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

Редакционно-издательский центр РГРТУ.