

На правах рукописи



ЕЛЕСИНА Светлана Ивановна

**АЛГОРИТМЫ СОВМЕЩЕНИЯ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

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 2011

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО
«Рязанский государственный радиотехнический университет»

Научный
руководитель: кандидат технических наук, доцент
Никифоров Михаил Борисович

Официальные
оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кузнецов Алексей Евгеньевич

кандидат технических наук, профессор
Жирков Владислав Федорович

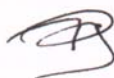
Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Московский
государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики»

Защита диссертации состоится «21» декабря 2011 года
в 10.00 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 « ____ » ноября 2011 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд.техн.наук, доцент



В.Н. Пржегорлинский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Совмещение изображений является актуальным при решении многих практических задач, таких как обработка аэрокосмических снимков, навигация летательных аппаратов (ЛА) и связанная с ней проблема точного вывода ЛА в заданную точку пространства с заданного направления, получение изображений в системах улучшенного и синтезированного видения (Enhanced synthetic vision system – ESVS) окружающего пространства и др.

При решении задач навигации важную роль играют корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС). В них осуществляется сравнение эталонных изображений (ЭИ), хранящихся в бортовой базе данных (ББД), с текущим изображением (ТИ), получаемым от систем технического зрения. Определение координат ЛА и управление его движением по заданной траектории осуществляются в реальном времени.

Именно в КЭНС одновременное обеспечение двух противоречивых требований между ограниченным временем вычислений и высокой вероятностью правильного совмещения изображений вызывает наибольшие трудности. Поэтому КЭНС является важной областью применения разрабатываемых в данной работе алгоритмов.

С учетом событийного характера корреляционного совмещения ТИ и ЭИ рассматриваемая КЭНС относится к классу поисковых.

Особенностью известных работ в этой области является упор на исследования следящих КЭНС, которые разработаны достаточно хорошо и находят реальное применение в системах автоматического слежения за целью, автоматического наведения крылатых ракет и т.п. Поисковые КЭНС разработаны в значительно меньшей степени, на уровне общих идей и алгоритмов, и не доведены до конкретной реализации с учетом требований реального времени.

Среди основных подсистем КЭНС, таких как подсистема предварительной обработки ТИ, вычисления функционала сравнения ЭИ и ТИ, определения экстремума этого функционала, решения прямой геодезической задачи для нахождения координат ЛА по координатам привязки изображений, значительную вычислительную сложность представляет подсистема поиска экстремума функционала сравнения. Даже при наличии современных высокопроизводительных вычислительных средств на борту ЛА при размерности коррелируемых изображений в несколько сотен пикселей возникают значительные трудности с реализацией КЭНС в реальном времени.

Кроме этого, необходимо минимизировать объем ББД для хранения ЭИ за счет обеспечения инвариантности метода совмещения изображений к геометрическим искажениям.

Данная диссертационная работа посвящена исследованию и разработке алгоритмов поиска экстремума функционала сравнения ЭИ и ТИ с учетом способа представления изображений для КЭНС, использующих поле радиолокационного контраста. Основными требованиями к данным алгоритмам являются:

- возможность реализации на борту ЛА в реальном времени;
- обеспечение заданной вероятности правильного совмещения ТИ и ЭИ, то есть заданной вероятности попадания в глобальный экстремум (ГЭ) функционала сравнения;
- обеспечение максимально возможной устойчивости к искажениям.

При разработке алгоритмов поиска ГЭ функционала сравнения ЭИ и ТИ исследовались и учитывались особенности изображений, характерных для бортовых радиолокационных станций (РЛС), работающих в режиме обзора земной поверхности.

В последнее время проводятся широкомасштабные исследования ESVS в авиации с целью повышения безопасности полетов и выполнения посадки. В данных системах реализуется совмещение нескольких изображений для целей улучшенной визуализации окружающего пространства. Разрабатываемые в диссертации алгоритмы позволят повысить эффективность таких систем, так как ключевым требованием в них является высокая вероятность совмещения в реальном времени.

Степень разработанности темы. Большой вклад в развитие научных исследований в этой области внесли отечественные ученые Сойфер В.А., Джанджгава Г.И., Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Сергеев В.В., Злобин В.К., Еремеев В.В., Алпатов Б.А., Евтушенко Ю.Г., Стронгин Р.Г., Сергеев Я.Д., Сухарев А.Г. и др. Однако не существует универсального алгоритма, который для всех областей применения обеспечивал бы требуемую эффективность, поэтому при разработке и модификации алгоритмов необходимо учитывать специфику предметной области, реальные характеристики критериальной функции, полученной в результате совмещения изображений от систем технического зрения ЛА. Главным недостатком известных методов и алгоритмов является сложность их реализации на борту ЛА в реальном времени с необходимой степенью гарантированности нахождения ГЭ и, как следствие, совмещения изображений.

Поэтому в данной диссертационной работе исследуются и разрабатываются алгоритмы поиска ГЭ критериальной функции с требуемыми характеристиками трудоемкости и вероятности правильного совмещения двух изображений, т.е. с определенной степенью достоверности нахождения ГЭ за заданное время.

Основное содержание настоящей диссертации составляет разработка алгоритмов поиска ГЭ критериальной функции, формируемой при корреляционном совмещении изображения, полученного от таких систем технического зрения ЛА, как РЛС, и изображений, хранящихся в ББД в виде эталонов.

Цель диссертации состоит в исследовании и разработке алгоритмов поиска ГЭ, реализуемых в КЭНС, использующих радиолокационное изображение подстилающей поверхности, позволяющих в реальном времени обеспечить необходимую достоверность автономного определения координат текущего положения ЛА и максимально возможную устойчивость к искажениям.

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

- разработка множества показателей качества критериальной функции совмещения радиолокационных изображений (РЛИ) с целью учёта их особенностей. Проверка адекватности используемых показателей качества критериальных функций и многокритериальный отбор лучших целевых функций;
- анализ и классификация методов поиска ГЭ критериальной функции. Определение множества показателей качества алгоритмов поиска ГЭ критериальной функции;
- модернизация и разработка алгоритмов поиска ГЭ критериальной функции, обладающих лучшими показателями качества;
- анализ известных и предложенных методов и алгоритмов поиска ГЭ критериальной функции и выбор наиболее эффективных на основе предложенного множества показателей качества алгоритмов совмещения изображений;
- исследование влияния яркостной составляющей шума и геометрических искажений на показатели качества алгоритмов;
- разработка программного стенда для исследования эффективности различных алгоритмов корреляционного совмещения РЛИ.

Научная новизна диссертации заключается в том, что в ней разработаны алгоритмы поиска ГЭ в системах совмещения изображений, применяемых в КЭНС летательных аппаратов на базе РЛС, учитывающие требования реального времени и заданную вероятность правильного совмещения.

На защиту выносятся следующие новые научные результаты:

- методика оценки качества критериальной функции по сформированному множеству показателей качества, на основе которого осуществлены сравнение и отбор критериальных функций;
- методика отбора алгоритмов по предложенному множеству показателей качества, наиболее эффективных для систем совмещения изображений с необходимой вероятностью и трудоёмкостью;

- алгоритмы поиска ГЭ с использованием модернизированного метода деформируемого многогранника;
- стратегии кластеризации области поиска, обеспечивающие уменьшение трудоемкости алгоритмов совмещения изображений;
- результаты исследования влияния яркостной составляющей шума и геометрических искажений на показатели качества алгоритмов.

Практическая ценность работы состоит в том, что в ней:

- предложены алгоритмы корреляционно-экстремального высоконадежного совмещения изображений с целью коррекции текущих координат местоположения ЛА, которые могут быть реализованы в реальном времени на борту;
- разработаны алгоритмы поиска ГЭ, позволяющие сократить объем БД для хранения ЭИ;
- разработаны инструментальные средства для экспериментального исследования и отладки алгоритмов совмещения изображений в КЭНС.

Реализация и внедрение. Диссертация выполнена в Рязанском государственном радиотехническом университете в рамках хозяйственных НИР 4-08, 4-09, 8-09, 2-10.

Результаты диссертационной работы и разработанный программный стенд «Алгоритмы поиска глобального экстремума в системах совмещения изображений» внедрены:

- в Научно-конструкторском центре видеокomпьютерных технологий (НКЦ ВКТ) ФГУП «Государственный Рязанский приборный завод» (концерн «Авиаприборостроение», г. Москва) в виде алгоритмов, реализующих технологию совмещения изображений в КЭНС;
- в учебном процессе 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 14-й международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2005 г.); 14-й всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании» (Рязань, 2009 г.); международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки» (Тамбов, 2011 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 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 также 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 184 страницы, 109 рисунков и 2 таблицы. Список использованных источников включает 79 наименований. В приложении приведены документы о внедрении и практическом использовании результатов диссертации и свидетельство о регистрации электронного ресурса.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе «Технология оценки качества методов поиска глобального экстремума при корреляционно-экстремальном совмещении изображений» сформулированы основные требования к временной сложности и вероятности правильного решения навигационной задачи. Определено множество показателей качества критериальных функций $Q_F = \{g_{F1}, g_{F2}, \dots, g_{FN}\}$, которые разбиты на группы, каждой из которых назначен свой приоритет. Первый (наивысший) приоритет: трудоемкость вычисления целевой функции (ЦФ) T , количество экстремумов K , постоянная Липшица L . Второй приоритет: СКО значений функции $\sigma_{ЦФ}$, СКО экстремумов функции σ_{F^*} , среднее расстояние между ближайшими экстремумами \tilde{d}_{cp} . Третий (низший) приоритет: СКО расстояний между экстремумами функции σ_d , минимальное расстояние между экстремумами d_{min} . Лучшей будет та функция, которая имеет наименьшие показатели, относящиеся к первому приоритету. Чем больше показатели второго и третьего приоритета, тем лучше критериальная функция, так как большой разброс значений ЦФ и большие расстояния между координатами экстремумов облегчают поиск истинного положения ГЭ.

Показатели качества позволили отобрать критериальные функции для дальнейших исследований – нормированная корреляционная функция (1) и функция среднего модуля разности (2):

$$F(x, y) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1M-1} \sum_{j=0}^{N-1M-1} f_{ЭИ}(i, j) \cdot f_{ТИ}(i+x, j+y)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1M-1} \sum_{j=0}^{N-1M-1} f_{ЭИ}^2(i, j) \times \sum_{i=0}^{N-1M-1} \sum_{j=0}^{N-1M-1} f_{ТИ}^2(i+x, j+y)}}, \quad (1)$$

$$F(x, y) = \frac{1}{NM} \sum_{i=0}^{N-1M-1} \sum_{j=0}^{N-1M-1} |f_{ЭИ}(i, j) - f_{ТИ}(i+x, j+y)|, \quad (2)$$

где $0 \leq x < (K - N)$, $0 \leq y < (L - M)$, $K \times L$ – размер ТИ, $N \times M$ – размер ЭИ, x, y – смещение фрагмента $f_{ЭИ}$ относительно $f_{ТИ}$. Считается, что x и y отсчитываются от левого верхнего угла $f_{ТИ}$, для которого $x = 0$, $y = 0$.

Проведена проверка адекватности выбранных показателей качества на основе анализа влияния степени предобработки ТИ.

Приведена классификация методов оптимизации и для исследований выбраны следующие: поэтапное сканирование, метод мультистарта, генетический алгоритм, метод редукции размерности задачи с использованием разверток типа Пеано-Гильберта и метод деформируемого многогранника (МДМ).

Для оценки эффективности алгоритмов оптимизации введено множество показателей качества метода поиска ГЭ $Q_M = \{g_{M1}, g_{M2}, \dots, g_{MN}\}$, из которого выбраны наиболее значимые: точность ε^* определения координат ГЭ, вероятность нахождения ГЭ и трудоемкость.

В качестве показателей эффективности для алгоритмов поиска ГЭ целесообразно принять пару показателей $(N_{ЦФ}, P)$, где P – вероятность попадания в ГЭ с заданной погрешностью ε^* и $N_{ЦФ}$ – количество вызовов ЦФ, использованное для этого. Каждому i -му методу в пространстве $(N_{ЦФ}, P)$ соответствует уравнение вида $F_i(N_{ЦФ}, P)_{\gamma_i} = 0$, где γ_i является параметром i -го метода, изменение которого позволяет перераспределить соотношения между показателями P и $N_{ЦФ}$. Решение уравнения для различных γ_i называется качественной характеристикой алгоритма (КХА).

При наличии искажений множество показателей качества метода поиска ГЭ примет следующий вид: $Q_M = \{N_{ЦФ}, P, Q_3\}$, где $Q_3 = \{g_{31}, g_{32}, \dots, g_{3N}\}$ – подмножество показателей степени искажений изображений, g_{3i} – величина, обратная отношению сигнал/шум (ОСШ) по яркости, геометрические искажения (поворот, масштаб).

Во второй главе «Исследование и модернизация алгоритмов поиска глобального экстремума критериальных функций» разработаны и модернизированы алгоритмы поиска ГЭ и проведен их сравнительный анализ на основе качественных характеристик алгоритмов в плоскости $(N_{ЦФ}, P)$ без учета искажений, то есть в предположении, что они максимально скомпенсированы предварительной обработкой совмещаемых изображений и приведены к максимально сравнимому виду.

Исследован генетический алгоритм (ГА) и произведена настройка его параметров для решения рассматриваемой прикладной

задачи: длительность эволюции (количество поколений) не менее 20; размер популяции не менее 150; интенсивность (давление) селекции 0,3-0,5; разновидность оператора кроссовера: однородный; вероятность кроссовера P_c более 0,25; разновидность оператора селекции: усечение; вероятность мутации P_m около 0,02.

Разработан модифицированный алгоритм поиска локального экстремума, основанный на методе деформируемого многогранника (ММДМ), который позволяет избавиться от эвристических значений коэффициентов отражения $\alpha=1$, сжатия $\beta=0,5$, растяжения $\gamma=2$, за счет более точного определения направления линии деформации многогранника и анализа поведения критериальной функции на данной линии.

Проведена дальнейшая модификация ММДМ, заключающаяся в увеличении количества вершин многогранника, для того чтобы охватить большее количество значений критериальной функции при выборе направления деформации многогранника и предотвратить его сползание в локальный экстремум (ММДМ-N). На рисунке 1 приведена зависимость вероятности попадания в глобальный экстремум от количества вершин в многограннике. Эффективность алгоритма дополнительно повышается за счет распределения координат вершин многогранника по равномерной сетке.

Разработанный ММДМ показал более высокую эффективность на ТИ без предварительной обработки и на изображениях с меньшей степенью обработки по сравнению с другими методами. В результате получен метод поиска ГЭ с вероятностью попадания в ГЭ до 0,98. На рисунке 2 приведено сравнение эффективности ММДМ-N и ГА.

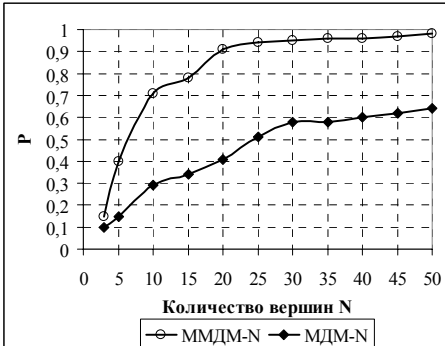


Рисунок 1

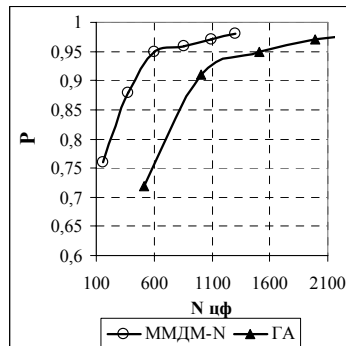


Рисунок 2

Исследован метод мултистарта, где в качестве локальных методов использовались МДМ и ММДМ. Получено соотношение (3), позволяющее сравнить эффективность использования двух локальных

методов поиска ГЭ, которые имеют различные соотношения показателей КХА ($N_{ЦФ}, P$) при использовании их в данном методе:

$$\frac{\ln(1-p_1)}{\ln(1-p_2)} < \frac{t_1}{t_2}, \quad (3)$$

где p_i – вероятности нахождения ГЭ в i -м локальном методе; t_i – трудоемкость i -го локального метода. При выполнении заданного соотношения лучшим будет ММДМ. Соотношение (3) также позволяет определить минимальное допустимое значение p_2 при известных p_1 , t_1 и t_2 , которое обеспечивает преимущество второго метода перед

первым:

$$p_2 > 1 - e^{-\frac{t_2 \ln(1-p_1)}{t_1}}.$$

Анализ результатов исследований различных методов локального поиска при использовании концепции мультистарта показал, что наилучшие характеристики в координатах число вычислений ЦФ и вероятность попаданий в ГЭ имеют менее эффективные по вероятности, но более простые по реализации локальные методы.

Исследован многомерный обобщенный алгоритм поиска ГЭ с редукцией размерности области поиска с помощью разверток типа Пеано-Гильберта и с последующим применением одномерного алгоритма глобального поиска. В координатах ($N_{ЦФ}, P$) данный метод показал худший результат по сравнению с другими методами поиска ГЭ, поэтому не рекомендован для систем совмещения изображений исследуемой предметной области.

Предложена методика повышения эффективности алгоритмов поиска ГЭ за счет кластеризации области поиска и определен локальный метод уточнения ГЭ на втором этапе.

Кластер – это область в зоне поиска ГЭ, где значение функции вычисляется только один раз. Для кластеров, имеющих форму квадрата с длиной стороны, равной a , его размер определяется параметром $r = (a - 1)/2$.

Исходя из того, что для надёжного выделения ГЭ должно быть не менее двух отсчетов значений ЦФ на интервале \tilde{d}_{cp} , с учётом ортогональности сторон кластера $a \leq \tilde{d}_{cp} \sqrt{2}/2$. Таким образом, допустимый размер кластера определяется как $r \leq \tilde{d}_{cp} \sqrt{2}/4$.

Стратегии использования кластера:

– использование только точных попаданий в координаты предыдущих вычислений функции, то есть непосредственное использование массива предыдущих вычислений, при этом $r = 0$;

– интерполяция значений функции внутри кластера размером $r > 0$.

Интерполяция осуществляется для точек, которые являются общими для нескольких кластеров, с учетом весового влияния их центров.

При увеличении размера кластера происходит огрубление истинной корреляционной картины. В связи с этим после нахождения ГЭ с использованием кластерной стратегии необходимо осуществить дополнительный, второй этап. На нём значения корреляционной функции в некоторой окрестности найденного экстремума должны быть вычислены без использования массива, с тем чтобы найти истинный ГЭ, который в общем случае может и отличаться от найденного на первом шаге.

Использование идеи устранения повторных вычислений ЦФ при попадании поискового метода в одни и те же точки позволяет в 2-3 раза уменьшить количество вычислений ЦФ.

На рисунке 3 приведена зависимость вероятности попадания в ГЭ от количества вызовов ЦФ для ММДМ-N при различных размерах кластера. При сканировании на втором этапе (рисунок 3, а) увеличение размера кластера приводит к увеличению количества вызовов ЦФ. Эффективный размер кластера $r = 4$ для данного класса РЛИ. Это обеспечивает снижение количества вызовов ЦФ до 350 при вероятности попадания в ГЭ до 0,98. При использовании МДМ на втором этапе (рисунок 3, б) увеличение размера кластера приводит к уменьшению количества вызовов ЦФ. Но эта тенденция сохраняется при размерах кластера $r \leq 9$, а при $r \geq 10$ количество вызовов ЦФ начинает расти. Однако эффективный размер кластера остается прежним, количество вызовов ЦФ сокращается до 220 при сохранении вероятности попадания в ГЭ.

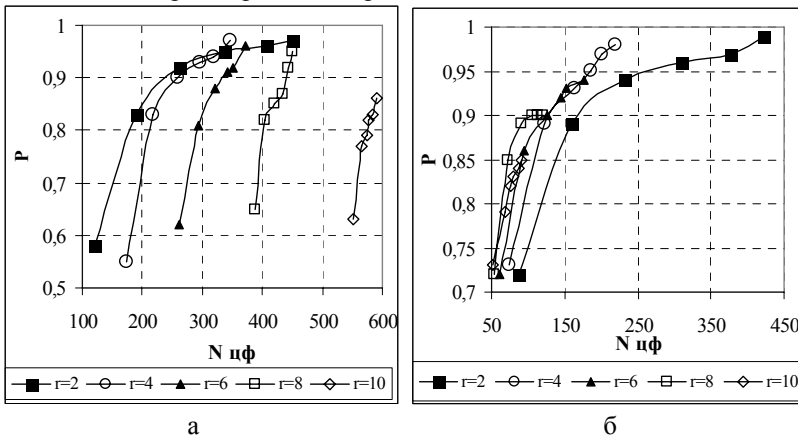


Рисунок 3

Таким образом, при использовании сканирования на втором этапе количество вычислений ЦФ сокращается более чем в 6 раз. Применение МДМ на втором этапе даёт ускорение в 8 раз. При этом сохраняется вероятность попадания в ГЭ на уровне не менее 0,97-0,98. Использование на втором этапе МДМ с возможностью выхода за границы кластера позволяет увеличить надежность нахождения ГЭ.

Аналогичные результаты были получены и при исследовании ГА и мультистарта. Причем у ГА количество вычислений ЦФ сократилось до 200.

На рисунке 4 приведены лучшие КХА всех методов, которые исследованы и модернизированы в этой главе. Данные исследования позволили отобрать наиболее перспективные численные методы с необходимой вероятностью попадания в ГЭ 0,95-0,98 и возможностью реализации в реальном времени на борту ЛА. Ими оказались: ГА, ММДМ-N и мультистарт. Выбранные алгоритмы являются предметом дальнейших исследований на степень устойчивости к яркостным и геометрическим искажениям, которые проведены в следующей главе.

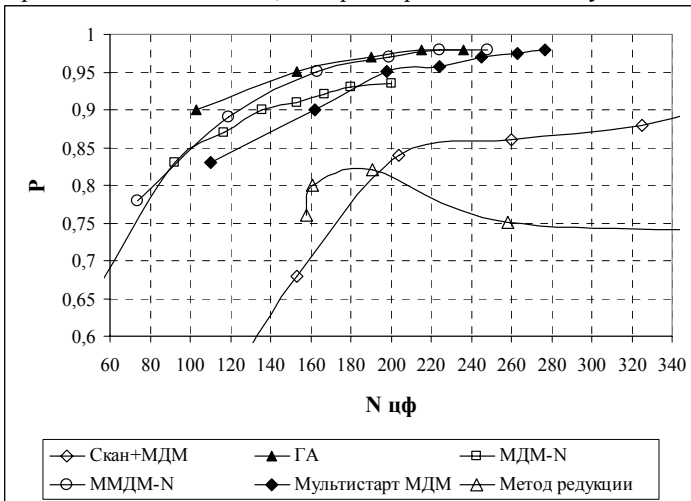


Рисунок 4

Для сопоставления количества вычисления ЦФ $N_{цф}$ с реальным временем решения задачи на борту ЛА проведены оценки выполнения выбранных алгоритмов на процессоре специализированной вычислительной машины, построенной на базе RISC-процессоров R4000 и RM7900, с использованием теста Dhrystone Benchmark. При этом использовался коэффициент сопоставления производительности бортовой машины с производительностью персонального компьютера, на

котором проводились эксперименты. Требованиям реального времени, приведенным в первой главе, с необходимым запасом удовлетворяют два метода: ММДМ-N и ГА.

В третьей главе «Исследование влияния искажений на надежность поиска глобального экстремума» проведены исследования качественных характеристик алгоритмов в пространстве $(N_{ЦФ}, P, Q_3)$, где $Q_3 = \{ОСШ, \varphi, Scale\}$ – вектор искажений ТИ, ОСШ - отношение сигнал/шум яркости, φ - угол поворота ТИ, Scale - коэффициент масштабирования ТИ.

В работе в качестве моделей воздействия помех на изображение использовались гауссовский аддитивный шум и спекл-шум. Данные шумы в обоих случаях влияют на яркостную составляющую ТИ.

Результирующее ТИ определяется как:

$$Im_{ТИ}^*(x, y) = Im_{ТИ}(x, y) + s(x, y),$$

где $Im_{ТИ}(x, y)$ – исходное значение яркости пикселя с координатами (x, y) ; $Im_{ТИ}^*(x, y)$ – зашумленное значение яркости пикселя с координатами (x, y) ; $s(x, y)$ – шумовая составляющая изображения, распределенная по нормальному закону $N(0, \sigma)$.

Для моделирования спекл-шума, характерного для радиолокации, используется распределение χ^2 (распределение Пирсона) при значениях степеней свободы k , равных 2 или 3. Случайная величина G , распределенная по данному закону с числом степеней свободы k ,

определяется как:

$$G = \sum_{i=1}^k Z_i^2,$$

где $Z_i, i = \overline{1, k}$, – случайная величина, соответствующая распределению $N(0, 1)$. Функция плотности распределения случайной величины G :

$$f_{\chi^2(k)}(g) = \frac{1/2}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} g^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{g}{2}}.$$

На рисунке 5 приведен пример РЛИ: а – без шума, б – с аддитивным гауссовским шумом и в – со спекл-шумом при ОСШ=6.

Для определения эффективного метода поиска ГЭ критериальной функции использовалась КХА вида $(N_{ЦФ}, P, ОСШ)$. При этом исследовалась зависимость вероятности нахождения ГЭ ЦФ от количества вычислений ЦФ при различном ОСШ, определяемом как:

$$\text{ОСШ} = \frac{\max[\text{Im}_{\text{ТИ}}(x, y)] - \min[\text{Im}_{\text{ТИ}}(x, y)]}{\sigma[s(x, y)]}$$

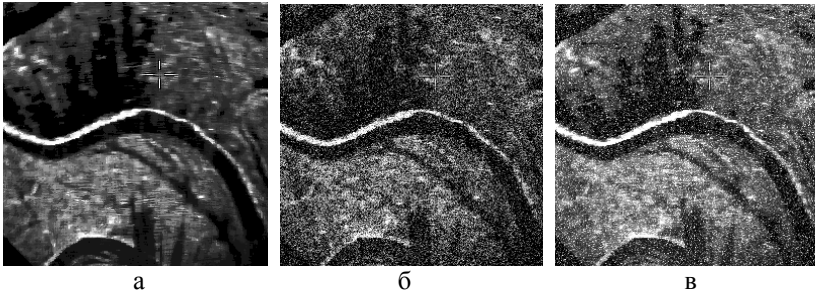


Рисунок 5

Исследуемые алгоритмы более устойчивы к гауссовскому аддитивному шуму. Спекл-шум оказывает большее воздействие на яркостную составляющую текущего изображения.

При $\text{ОСШ} > 4$ ранжирование методов по показателям КХА остается неизменным и сами показатели остаются в допустимых пределах: $P=0,98$ для гауссовского аддитивного шума и $P=0,95$ для спекл-шума. При этом наиболее эффективными методами являются разработанный алгоритм ММДМ-N и генетический алгоритм.

Для исследования устойчивости алгоритмов поиска ГЭ на воздействие геометрических искажений ТИ были определены КХА вида $(N_{\text{ЦФ}}, P, \varphi)$, $(N_{\text{ЦФ}}, P, \text{Scale})$ и $(N_{\text{ЦФ}}, P, \varphi, \text{Scale})$.

Предложенный в работе ММДМ-N оказался более устойчивым к данному виду искажений и обеспечивает заданную вероятность правильного совмещения изображений при угле поворота 2,5 град. (рисунок 6).

КХА вида $(N_{\text{ЦФ}}, P, \text{Scale})$ при $\text{Scale} = 0,95 \dots 1,05$ дают вероятность попадания в ГЭ более 0,95. При этом также лучший результат обеспечивает метод ММДМ-N (рисунок 7).

При исследовании устойчивости алгоритмов поиска ГЭ к произвольным двумерным комплексным искажениям ТИ, где рассматривались два вида преобразований: поворот и масштабирование, была введена нормированная интегральная оценка искажения IE :

$$\text{IE} = \sqrt{\frac{E_{\varphi}^2 + E_{\text{Scale}}^2}{2}},$$

где E_{φ} – нормированная оценка искажения по углу поворота φ ; E_{Scale} – нормированная оценка искажения по коэффициенту масштабирования Scale , которые определяются следующим образом:

$$E_{\varphi} = \frac{|\varphi|}{|\varphi_{\max}|}, \quad E_{\text{Scale}} = \frac{|1 - \text{Scale}|}{|1 - \text{Scale}_{\max}|},$$

где φ_{\max} – максимальный угол поворота при заданной вероятности попадания в ГЭ; Scale_{\max} – максимальный коэффициент масштабирования при заданной вероятности попадания в ГЭ.

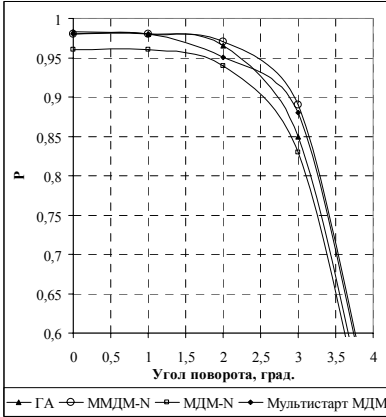


Рисунок 6

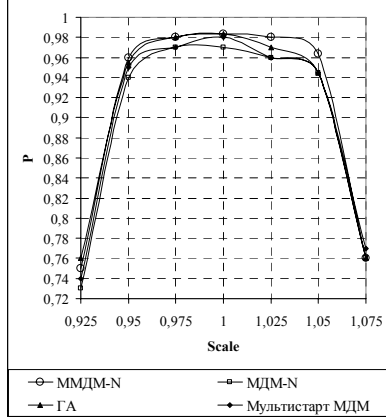


Рисунок 7

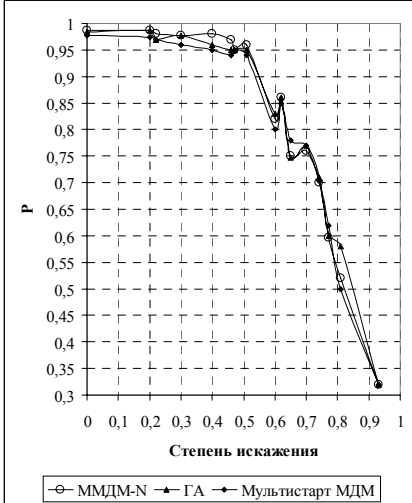


Рисунок 8

На основе полученных зависимостей P от φ и Scale (рисунки 6 и 7) при пороговой вероятности попадания в ГЭ 0,75 имеем $\varphi_{\max} \approx 3,5$ град., $\text{Scale}_{\max} = 0,925$.

На рисунке 8 приведены результаты исследований зависимости вероятности попадания в ГЭ от комплексного искажения.

Все разработанные и исследованные методы при ИЕ от 0 до 0,5 дают вероятность попадания в ГЭ более 0,95. В абсолютных величинах этой оценке соответствуют при равном вкладе искажений по углу поворота и коэффициенту масштабирования $\varphi \approx 1,75$ град. и $\text{Scale} = 0,962$. Причем разработанный алгоритм ММДМ-N дает лучший результат.

Алгоритм ММДМ-N по сравнению с лучшей альтернативой – ГА обеспечивает уменьшение объема ББД для хранения ЭИ более чем в 4 раза в соответствии с соотношением $\frac{\Phi_{\text{ММДМ-N}}}{\Phi_{\text{ГА}}} \times \frac{(1 - \text{Scale}_{\text{ММДМ-N}})}{(1 - \text{Scale}_{\text{ГА}})}$.

В четвертой главе «Проектирование программного стенда для исследования алгоритмов совмещения изображений» на основе функциональных требований разработано программное обеспечение, необходимое для моделирования методов и алгоритмов поиска ГЭ и их теоретико-экспериментальных исследований.

Данный программный стенд состоит из интерфейсного модуля, который взаимодействует с модулями выбора критериальных функций, выбора метода поиска экстремума критериальной функции, графического отображения, геометрических преобразований, модулями определения показателей качества критериальной функции, формирования изображения с шумом, отображения трехмерных графиков и результатов экспериментов.

В четвертой главе также разработана методика проведения экспериментов с использованием программного стенда. Приведено обоснование статистической состоятельности объема проводимых испытаний. Показано, что общее число проведения элементарных опытов (1200 – 10000) является обоснованным и достаточным для оценки вероятности по частоте с доверительной вероятностью $\beta = 0,9$ при достижении частоты событий порядка 0,95-0,98.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложена методика оценки критериальных функций и алгоритмов поиска глобального экстремума, которые позволили осуществить сравнение известных и предложенных алгоритмов и выбрать алгоритмы, которые соответствуют требованиям КЭНС по вероятности и трудоемкости совмещения изображений.

2. Предложен алгоритм поиска глобального экстремума, основанный на методе деформируемого многогранника, который позволил увеличить вероятность попадания в глобальный экстремум за счет анализа поведения критериальной функции на линии деформации многогранника и за счет увеличения количества вершин многогранника. В результате получен метод ММДМ-N поиска ГЭ с вероятностью попадания в ГЭ до 0,98.

3. Предложены стратегии кластеризации области поиска для повышения эффективности поисковых алгоритмов. Показано, что данный подход позволяет сократить количество вычислений целевой функции в 6-8 раз.

4. Исследованы показатели качественных характеристик алго-

ритмов метода мультистарта, генетического алгоритма и алгоритма поиска глобального экстремума с редукцией размерности области поиска с использованием развертки типа Пеано-Гильберта, МДМ и предложенных модифицированных методов и определено их место в решении задач корреляционно-экстремальной навигации.

5. Исследовано влияние яркостной составляющей гауссовского шума и спекл-шума на показатели качественных характеристик алгоритмов. Показано, что при ОСШ > 4 ранжирование методов по показателям КХА остается неизменным и сами показатели остаются в допустимых пределах.

6. Исследовано влияние геометрических искажений на показатели КХА методов поиска ГЭ. Определены допустимые пороги по углу поворота и масштабу при использовании растрового представления ТИ и ЭИ. Предложенный метод ММДМ-N обеспечивает при вероятности попадания в глобальный экстремум 0,98 уменьшение объема БД для хранения ЭИ более чем в 4 раза по сравнению с другими методами.

7. Разработано инструментальное средство – программный стенд, позволяющий провести моделирование методов и алгоритмов, их теоретико-экспериментальные исследования и отладку программного обеспечения для бортовых ЭВМ.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

1. Елесина С.И., Логинов А.А. Модифицированный метод деформируемого многогранника // Вестник РГРТУ № 4 (Вып. 30). 2009. С. 100-103.

2. Бабаев С.И., Елесина С.И., Костров Б.В. Сравнение модифицированного поискового и генетического алгоритмов нахождения глобального экстремума в интеллектуальных системах навигации // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ОТ. 2010, июль. Вып.1. С. 145-152.

3. Елесина С.И., Зотов В.В., Никифоров М.Б. Повышение эффективности методов глобальной оптимизации на основе кластеризации области поиска // Вестник РГРТУ № 3 (Вып. 37). 2011. С. 38-42.

Работы, опубликованные в сборниках научных трудов международных и всероссийских конференций

4. Конкин Ю.В., Елесина С.И. Система управления базами данных для навигационных комплексов летательных аппаратов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 14-й междунар. науч.-техн. конф. Рязан. гос. радиотехн. акад. Рязань, 2005. С. 240-241.

5. Елесина С.И. О модификации метода деформируемого многогранника для корреляционно-экстремальных навигационных систем // Новые информационные технологии в научных исследованиях и об-

разовании: материалы 14-й всероссийской науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Рязан. гос. радиотехн. ун-т. Рязань, 2009. С. 304-306.

6. Елесина С.И., Логинов А.А., Никифоров М.Б. Влияние аддитивного шума на устойчивость алгоритмов совмещения изображений // Актуальные проблемы науки: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. 30 мая 2011 г.: в 4 частях. Часть 2; М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2011. С.45-47.

Работы, опубликованные в межвузовских сборниках научных трудов

7. Елесина С.И. Исследование особенностей методов глобальной оптимизации в корреляционно-экстремальных навигационных системах // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. Часть 2 / под ред. А.Н. Пылькина. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. С. 30-37.

8. Елесина С.И., Костров Б.В., Логинов А.А. Исследования возможности применения поисковых методов в корреляционно-экстремальных навигационных системах // Информатика и прикладная математика: межвуз. сб. науч. тр. / отв. ред. А.А. Дунаев. М.: Рязан. гос. ун-т им. С.А. Есенина. Рязань, 2009. С. 53-58.

9. Елесина С.И., Костров Б.В., Логинов А.А. Поисковые методы в корреляционно-экстремальных навигационных системах // Программные информационные системы: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. А.Н. Пылькина. Рязань: РГРТУ, 2010. С. 85-90.

10. Елесина С.И., Никифоров М.Б. Исследование устойчивости алгоритмов поиска глобального экстремума в корреляционно-экстремальных навигационных системах // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. А.Н. Пылькина. Рязань: РГРТУ, 2011. С. 129-133.

11. Елесина С.И., Кудряшов С.С. Использование преобразования Радона в корреляционно-экстремальных навигационных системах // Методы и средства обработки и хранения информации: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.К. Злобина. Рязань: РГРТУ, 2010. С.92-100.

12. Елесина С.И., Семушева Е.Е. Исследование генетических алгоритмов в корреляционно-экстремальных навигационных системах // Методы и средства обработки и хранения информации: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.К. Злобина. Рязань: РГРТУ, 2011. С. 51-58.

Регистрация электронного ресурса

13. Елесина С.И. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 17272. Программный стенд «Алгоритмы поиска глобального экстремума в системах совмещения изображений». ОФЭРНиО, 14.07.2011 г.

Е л е с и н а Светлана Ивановна

**АЛГОРИТМЫ СОВМЕЩЕНИЯ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать .11.11. Формат бумаги 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ
Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Редакционно-издательский центр РГРТУ.