

На правах рукописи

КОНКИН Юрий Валериевич

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КООРДИНАТ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА  
НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ  
И КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Специальности: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы);  
05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань 2007

Работа выполнена в Рязанском государственном радиотехническом университете

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Костров Борис Васильевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Нечаев Геннадий Иванович**

кандидат технических наук  
**Гусев Сергей Игоревич**

Ведущая организация: **ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР» -  
НИИ «Рассвет»**

Защита диссертации состоится **«26» декабря 2007 г. в 12 часов** на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: **390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета.

Автореферат разослан «    » ноября 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.211.01  
к.т.н., доцент

**Пржегорлинский В.Н.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Актуальность данной диссертационной работы связана с общим ходом и тенденциями развития авионики пятого поколения. Резкое повышение сложности и числа решаемых задач, наличие маневренного, информационного и огневого противодействия со стороны противника во многих случаях снижает возможность эффективного выполнения боевого задания при том уровне инструментального, информационного и системного обеспечения, который имел место в авиационных комплексах 80-х годов. Стало очевидным, что увеличение точности вывода летательного аппарата (ЛА) в заданную точку, повышение безопасности полета, обеспечение требуемого уровня боевой эффективности невозможно без комплексного подхода к использованию всех возможных информационных средств.

Появилась необходимость в четкой информационной, индикационной и алгоритмической увязке всех этапов обеспечения жизнедеятельности ЛА с учетом эргономических требований к бортовым системам, накладываемых наличием человека, являющегося главным в процессе управления на всех режимах полета. В этой связи существенное значение приобрела помощь летчику и его разгрузка от вычислительных и многих двигательных операций, т.е. автоматизация процессов пилотирования и управления в условиях ограниченной видимости.

Задача автоматизации требует комплексного подхода к ее решению. Только в этом случае может быть достигнут максимальный результат в увеличении эффективности применения ЛА, способного выполнять задачи во многих районах мира, в дневное и ночное время, при неблагоприятной погоде, в различных условиях окружающей среды.

Данная диссертационная работа посвящена созданию системы определения координат местоположения ЛА, для которых могут быть заранее неизвестны маршруты полетов. К таким ЛА можно отнести вертолет и беспилотный летательный аппарат (БПЛА). Такая система может являться одним из средств коррекции навигационных параметров, получаемых от инерциальных навигационных систем (ИНС). Это позволит при пропадании информации от спутниковой навигационной системы (СНС) обеспечить автоматическую коррекцию текущих координат (широты  $\varphi$ , долготы  $\lambda$ ) на основе методов корреляционно-экстремальной навигации, где в качестве текущей информации используется радиолокационное изображение (РЛИ) в режиме обзора земной поверхности, а в качестве эталонной – особым образом подготовленная модель РЛИ на базе цифровой карты местности (ЦКМ). Помехозащищенность СНС не достаточно высока, и в случае затенения или отказа СНС корреляционно-экстремальная система навига-

ции (КЭСН) хотя и с меньшей точностью, но может надежно обеспечивать коррекцию счисления координат.

В рамках данной работы рассматривается система определения координат на основе совместной обработки радиолокационной и картографической информации, адаптированная к особому виду представления эталонного изображения, которое формируется из ЦКМ. Важную роль в решении проблемы приведения радиолокационной и картографической информации к сравнимому виду играет использование моделей РЛИ, сформированных по ЦКМ, причем таких, которые максимально соответствуют реальному изображению для его наилучшего корреляционного совмещения с текущим РЛИ. Разработаны новые алгоритмы предварительной обработки РЛИ, направленные на выделение радиолокационно-контрастных объектов на фоне подстилающей поверхности, которые позволяют максимально приблизить РЛИ к виду, сопоставимому с картографическим изображением.

**Степень разработанности темы.** Задача определения координат ЛА на основе совмещения текущего изображения (ТИ) внешнего геофизического поля с эталонным изображением (ЭИ), полученным заранее, известна как задача построения КЭСН. Большой вклад в развитие такого рода систем внесли отечественные ученые Медведев Г.А., Тарасенко В.П., Белоглазов И.Н., Красовский А.А., Чигин Г.П., Алексеев В.И., Козубовский С.Ф., Баклицкий В.К., Юрьев А.Н., Бочкарев А.М.

В настоящее время разработано много КЭСН по геофизическим полям, в качестве которых могут использоваться оптическое, радиолокационное, радиотепловое, магнитное, гравитационное, а также поле рельефа местности. Основным недостатком подобных систем является то, что для построения ЭИ поля широко используется предварительное картографирование по маршруту полета. Отсутствие возможности определить заранее все возможные маршруты полета ЛА затрудняет практическое использование КЭСН.

Поэтому в данной диссертационной работе рассматривается технология определения координат с помощью КЭСН по полю радиолокационного контраста, в которой ЭИ формируется на основе моделирования РЛИ по ЦКМ. Такой подход является более эффективным и оперативным по сравнению с предварительным радиолокационным картографированием.

Известны попытки создания систем совмещения радиолокационной и картографической информации (патент RU 2231082 С2). Однако в данных системах не решалась задача определения географических координат летательного аппарата, а выполнялось только совместное отображение РЛИ на фоне ЦКМ.

Основное содержание настоящей диссертации составляет разработка технологий, алгоритмов и программного обеспечения системы опреде-

ления координат на основе совмещения РЛИ и модели РЛИ, полученной по ЦКМ.

**Цель диссертации** состоит в разработке системы определения координат для навигационного комплекса ЛА на основе совместного использования радиолокационной и картографической информации, позволяющей обеспечить увеличение надежности автономного определения навигационных параметров, и повышения эффективности действий экипажа в условиях ограниченной видимости и непредсказуемости маршрута полета.

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

- системный анализ методов определения координат в системах навигации ЛА;
- разработка направлений использования цифровой картографической информации для уточнения координат ЛА;
- разработка алгоритмов предварительной обработки информации, позволяющей повысить надежность корреляционного совмещения РЛИ;
- разработка алгоритмов и технологий использования информационных признаков РЛИ для вычисления географических координат ЛА;
- разработка технологий хранения и доступа к эталонной информации, находящейся на борту ЛА в процессе выполнения полетного задания;
- проектирование программной системы определения координат ЛА, способной функционировать на бортовых вычислительных системах с необходимыми временными характеристиками.

**Научная новизна** диссертации определяется тем, что в ней впервые выполнена разработка системы автономного определения географических координат на основе совместного использования РЛИ от бортовой радиолокационной станции (БРЛС) ЛА и модели РЛИ, полученной с использованием ЦКМ.

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

- технология определения координат ЛА на основе сопоставимых информационных признаков РЛИ, полученного от БРЛС и признаков ЭИ, полученного путем моделирования по ЦКМ, характеристикам БРЛС и навигационным параметрам ЛА;
- алгоритмы фильтрации текущего и эталонного РЛИ, основанные на использовании симметричного оператора с весовыми коэффициентами, обеспечивающие повышение производительности работы бортовых вычислительных систем;
- алгоритмы сегментации текущего и эталонного РЛИ, основанные на использовании градиентного оператора, позволяющие выделять на изображении границы сегментов, и, совместно с фильтрацией обеспечить

выделение на РЛИ информативных участков, повышающих коррелированность текущего и эталонного РЛИ;

- алгоритмы определения признаков РЛИ на основе инвариантных моментов и корреляционного совмещения текущего и эталонного РЛИ, позволяющие повысить производительность работы системы определения координат и надежно исключить ложные результаты совмещения при аномальных ошибках ИНС;

- архитектура бортовой СУБД и алгоритмы поиска эталонной информации по текущим навигационным параметрам с помощью индексов, основанных на бинарных деревьях.

**Практическая ценность работы** состоит в том, что в ней предложены технология, алгоритмы и программная система определения координат местоположения ЛА на основе совмещения текущего и эталонного РЛИ, а также технология получения эталонного РЛИ, путем моделирования по ЦКМ. Программная система позволяет выполнять экспериментальные исследования алгоритмов определения координат в условиях различной местности, которая отражается на ЦКМ, и для различных параметров БРЛС, осуществляющей обзор подстилающей поверхности ЛА.

**Реализация и внедрение.** Диссертация выполнена в Рязанском государственном радиотехническом университете в рамках НИР 4-03, 4-04, 6-05, 3-06.

Результаты диссертационной работы внедрены в Научно-конструкторском центре видеокомпьютерных технологий (НКЦ ВКТ) ФГУП «Государственный рязанский приборный завод» в виде алгоритмов, реализующих информационную технологию определения координат местоположения ЛА.

Разработанные в процессе работы над кандидатской диссертацией программные средства «Система управления базами данных для навигационных комплексов летательных аппаратов» внедрены в учебном процессе кафедры электронных вычислительных машин Рязанского государственного радиотехнического университета и используются студентами направления 230100 специальности «Информатика и вычислительная техника» в курсах «Базы данных», «Офисные и геоинформационные системы» и специальности 090102 «Компьютерная безопасность» в курсе «Системы управления базами данных».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации докладывались на 2-х международных научных конференциях: 14-й международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2005, 2 доклада); 5-ой международной научно-технической конференции «Электроника и информатика 2005» (Москва, 2005, 1 доклад).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 работ: 5 статей, 3 тезиса докладов на международных научно-технических конференциях и одно свидетельство об отраслевой регистрации разработки.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка используемых источников и приложения. Основной текст работы содержит 144 стр., 34 рисунка и 11 таблиц. Список используемых источников на 7 стр. включает 79 наименований. В приложении на 3 стр. приведены документы о внедрении и практическом использовании результатов диссертации и свидетельство об отраслевой регистрации разработки.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*В первой главе был выполнен системный анализ методов определения координат ЛА на основе КЭСН. Проведен анализ возможностей определения координат по рельефометрическим данным и радиолокационному контрасту объектов местности для различных режимов полета ЛА. Разработана технология определения координат на основе совместной обработки радиолокационной и картографической информации для ЛА, с заранее неизвестными маршрутами полетов.*

Анализ методов определения координат на основе корреляционного совмещения изображений показал, что они использовались в КЭСН ЛА, полет которых ограничивался заранее известными множествами маршрутов. Кроме того, в них использовались корреляционные функции, чувствительные к взаимному повороту, сдвигу и изменению масштаба сравниваемых изображений. Для формирования ЭИ в таких КЭСН использовалось предварительное картографирование по маршруту полета, что не всегда может быть выполнено практически.

Классический алгоритм корреляционной обработки изображений основан на вычислении функции взаимной корреляции с последующим поиском её максимума:

$$K(p, q) = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f_{ЭИ}(x, y) \cdot f_{ТИ}(x+p, y+q), \quad (1)$$

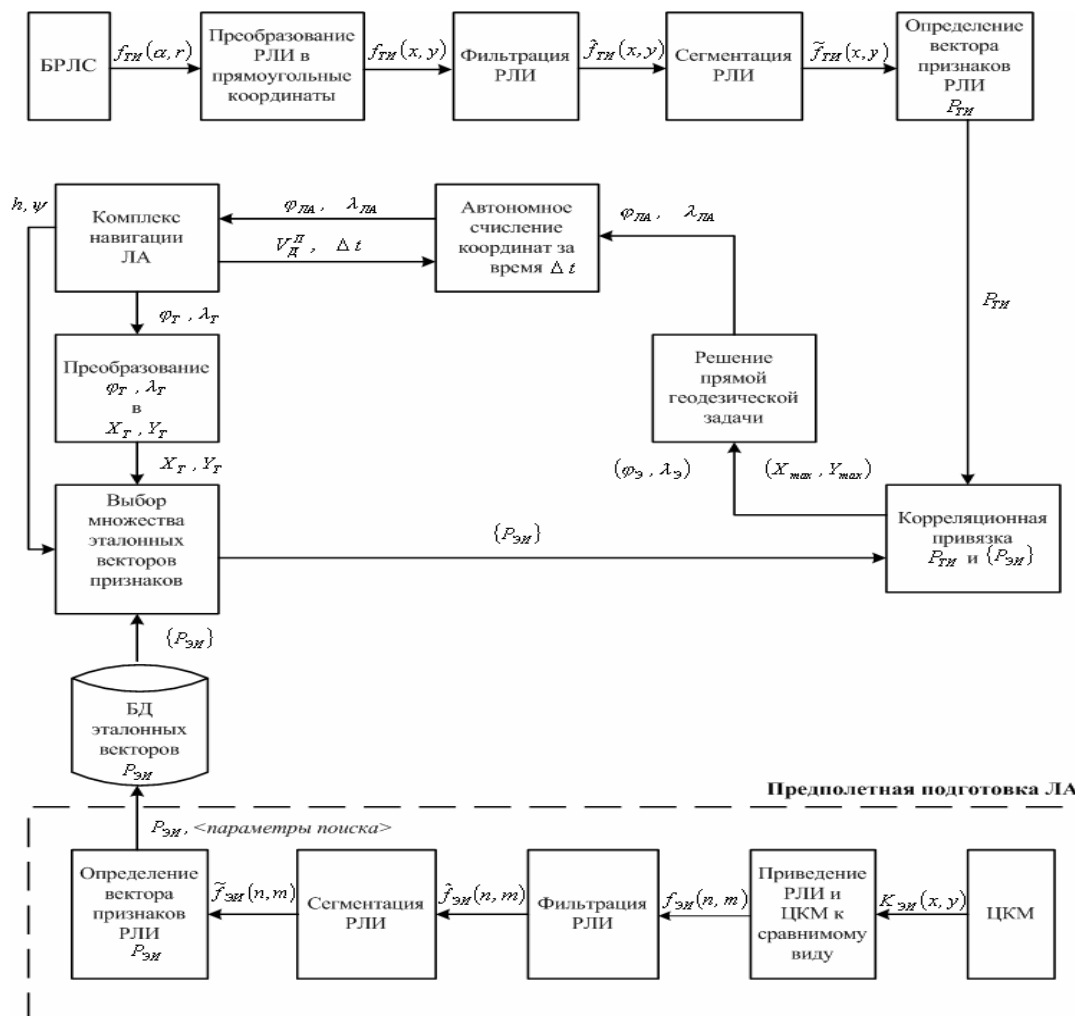
где  $f_{ТИ}(x, y)$ ,  $f_{ЭИ}(n, m)$  - функции яркости ТИ и ЭИ;  $K \times L$ ,  $N \times M$  - размерности ТИ и ЭИ;  $(p, q)$  - смещение фрагмента ЭИ относительно ТИ. В результате анализа работы данного алгоритма установлено, что он чувствителен к взаимным геометрическим искажениям изображений.

Для реализации поставленной цели работы совмещение изображений должно выполняться на основе множества признаков, описывающих ЭИ и ТИ, независимых от возможных маршрутов полёта, высот и углов подхода ЛА к участку коррекции ИНС. Это означает, что множество при-

знаков должно быть инвариантно к взаимному преобразованию сдвига, поворота и изменению масштаба изображений.

В результате анализа возможностей режимов БРЛС установлено, что использование поля радиолокационного контраста в КЭСН является одним из перспективных направлений. Оно эффективно как при больших высотах над относительно ровной местностью, когда рельефометрические системы не обеспечивают заданную точность, так и на малых высотах, где рельефометрические системы создают большие затенения точек профиля высот.

Разработана технологическая схема определения координат ЛА на основе совмещения РЛИ от БРЛС и модели РЛИ, полученной по ЦКМ (рисунок 1). В качестве датчика ТИ используется когерентная БРЛС миллиметрового диапазона волн. БРЛС осуществляет обзор подстилающей поверхности ЛА.



**Рисунок 1 - Технологическая схема определения координат ЛА**

Определено, что для реализации данной технологической схемы необходимо решить следующие задачи:



- разработать алгоритмы фильтрации шумов РЛИ;
- разработать алгоритмы сегментации РЛИ с целью выделения наиболее информативных участков. Такими участками в КЭСН по полю радиолокационного контраста являются границы радиолокационно-контрастных объектов на фоне подстилающей поверхности;
- разработать алгоритмы получения по данным ЦКМ и параметрам БРЛС модели эталонного РЛИ для заданного участка местности с целью приведения РЛИ и ЦКМ к сравнимому виду;
- разработать алгоритмы определения вектора признаков РЛИ, инвариантных к сдвигу, повороту и изменению масштаба изображения, обладающего малой размерностью;
- разработать алгоритмы поиска вектора признаков, описывающего ЭИ, среди заранее сформированного множества векторов. Поиск должен осуществляться по географическим координатам местоположения ( $\varphi_T$  – широта,  $\lambda_T$  – долгота), текущей высоте  $h$  и курсу  $\psi$  от комплекса навигации ЛА. Следовательно, ЭИ должно описываться не только вектором признаков, инвариантных к сдвигу, повороту и изменению масштаба, но и данными, необходимыми для поиска ЭИ по известным навигационным параметрам. Таким образом, необходимо решить задачу как хранения структурированной информации в базе данных (БД), так и задачу доступа к этой информации. Наиболее эффективно данные задачи решаются с помощью системы управления базами данных (СУБД);
- разработать алгоритмы корреляционного совмещения РЛИ и модели РЛИ на основе выделенных признаков. Необходимо определить критерий надежности корреляционного совмещения;
- разработать алгоритмы расчета географических координат ЛА в случае успешной корреляционной привязки ТИ и ЭИ на основе решения прямой геодезической задачи (ПГЗ);
- оценить точность определения географических координат и быстродействие работы системы.

*Во второй главе разработаны алгоритмы фильтрации и сегментации текущего и эталонного РЛИ и технология получения ЭИ на основе моделирования РЛИ по ЦКМ, параметрам БРЛС и координатам местоположения ЛА.*

Алгоритм фильтрации разработан для РЛИ, представленного функцией яркости  $f(x, y)$  размерности  $x = \overline{1, K}$ ,  $y = \overline{1, L}$  при наличии аддитивного шума вида:

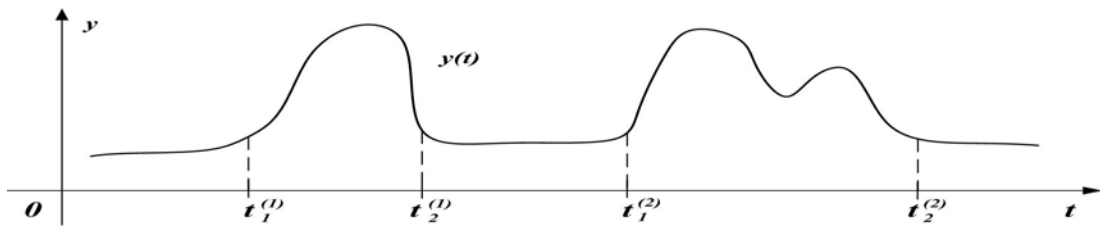
$$f(x, y) = f_T(x, y) + \xi(x, y), \quad (2)$$

где  $f_T$  - точное значение функции яркости,  $\xi$  - некоррелированный случайный шум.

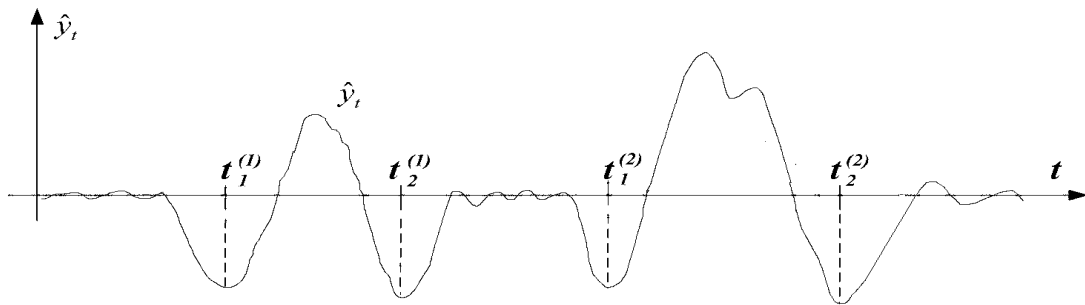
Для снижения уровня шума предлагается обрабатывать РЛИ по строкам или столбцам с помощью симметричных операторов специального вида с весовыми коэффициентами:

$$\alpha = \left\{ \underbrace{-\frac{1}{2m}, \dots, -\frac{1}{2m}}_m, 0, \dots, 0, \underbrace{\frac{1}{2k+1}, \dots, \frac{1}{2k+1}}_{2k+1}, 0, \dots, 0, \underbrace{-\frac{1}{2m}, \dots, -\frac{1}{2m}}_m \right\} \quad (3)$$

Данный оператор преобразует исходный радиолокационный сигнал (рисунок 2) в промежуточную форму сигнала с нулевым математическим ожиданием и значением функции яркости в области фона  $f(x, y) \approx 0$  (рисунок 3).



**Рисунок 2 – Строка исходного радиолокационного сигнала**



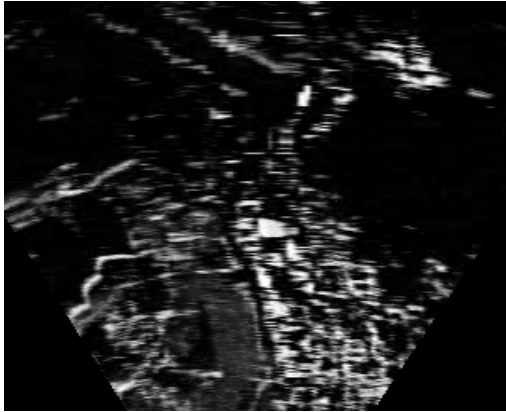
**Рисунок 3 – Обработанный радиолокационный сигнал**

На рисунках 2 и 3  $t_1^{(1)}$ ,  $t_2^{(1)}$  – координаты начала и конца области с повышенными значениями функции яркости  $f(x, y)$ . Аналогично,  $t_1^{(2)}$ ,  $t_2^{(2)}$  – координаты начала и конца другой области с повышенными значениями функции яркости. Границам полезного сигнала соответствуют локальные минимумы преобразованного сигнала.

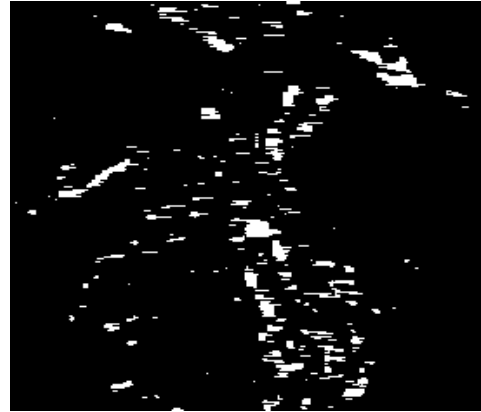
По преобразованному сигналу вычисляется среднеквадратическое отклонение  $\sigma_f$  и формируется пороговое значение  $\Delta = \alpha_f \cdot \sigma_f$ , где  $\alpha_f$  – коэффициент, значение которого устанавливается экспериментально. Наилучшая фильтрация изображения получена при значении коэффициента  $\alpha_f = 2.9$ . Изменение его значения определяет степень фильтрации шума.

Фиксирование полезного сигнала происходит при условии, что одновременно  $|f_{\min}^{(1)}| > \Delta$ ,  $|f_{\min}^{(2)}| > \Delta$  и  $f_{\max} > \Delta$ .

Пример использования симметричного оператора для обработки РЛИ, полученного от БРЛС вертолета представлен на рисунках 4-5.



**Рисунок 4 – Исходное РЛИ**



**Рисунок 5 – Итоговое изображение**

Предлагаемый алгоритм сегментации основан на том, что сглаженные оценки частных производных  $f_x(x, y)$ ,  $f_y(x, y)$  функции яркости РЛИ  $f(x, y)$  находятся в предположении аппроксимируемости в окрестности каждой точки  $(x_0, y_0)$  линейной функцией по каждой переменной:

$$\begin{aligned} f(x_0, y) &= a + by + \varepsilon_y, & y \in U(y_0, \delta), \\ f(x, y_0) &= c + dy + \varepsilon_x, & x \in U(x_0, \delta). \end{aligned} \quad (4)$$

Оценки  $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d}$  коэффициентов линейных моделей (4) найдены методом наименьших квадратов. Сглаженные оценки частных производных представлены следующим образом:

$$\hat{f}_x(x_0, y_0) = \frac{\partial(\hat{c} + \hat{d}x)}{\partial x} = \hat{d}, \quad \hat{f}_y(x_0, y_0) = \frac{\partial(\hat{a} + \hat{b}y)}{\partial y} = \hat{b}. \quad (5)$$

Оценку коэффициентов  $\hat{d}$ ,  $\hat{b}$  можно найти методом наименьших квадратов из условия  $F(a, b) \equiv \sum_{t=1}^k (y_t - (a + bt))^2 \rightarrow \min_{a, b}$ , где  $y_t$  - значение функции яркости  $f(x, y)$  на дискретной сетке, взятые по строке или по столбцу. Из необходимого условия экстремума функции  $F(a, b)$  получаем оценки  $\hat{d}$ ,  $\hat{b}$ . С вычислительной точки зрения оценки  $\hat{d}$  и  $\hat{b}$  находятся аналогично. Для операторов с нечетным числом точек:

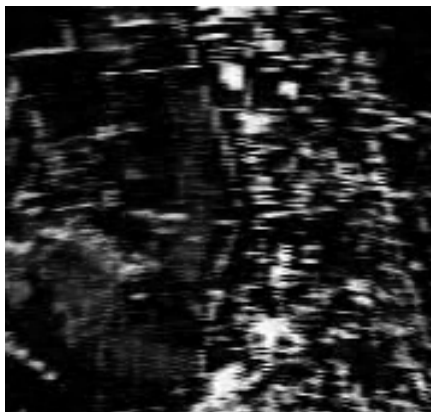
$$\hat{b} = \frac{3}{k(k+1)(2k+1)} (-k, -k+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, k-1, k) \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{2k} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Для операторов с четным числом точек (7):

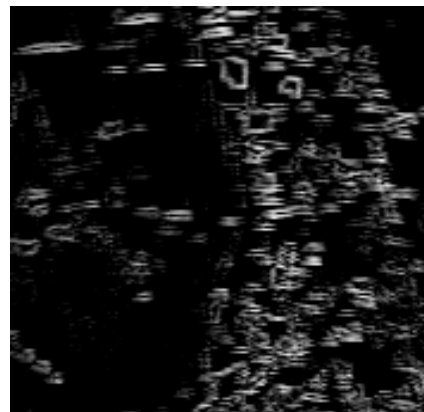
$$\hat{b} = \frac{3}{k(2k-1)(2k+1)} (-(2k-1), -(2k-3), \dots, -2, -1, 1, 2, \dots, (2k-3)(2k-1)) \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{2k} \end{pmatrix}$$

Пример использования предложенного градиентного оператора представлен на рисунках 6-7. Границы областей выделены «тонкими» линиями с устранением эффекта размытия и подавлением шума.

Разработана технологическая схема синтеза эталонного РЛИ по ЦКМ, формируемой с помощью геоинформационной системы (ГИС) Карта 2005 (рисунок 8). Для каждой точки ЦКМ указывается абсолютная высота рельефа и код материала поверхности в классификации ГИС. Для каждого материала задается коэффициент отражения радиолокационного сигнала в зависимости от угла и частоты облучения. Для построения модели эталонного РЛИ задаются параметры БРЛС и координаты ЛА на карте местности в картографической проекции. Модель РЛИ строится в



**Рисунок 6 -  
Исходное РЛИ**



**Рисунок 7 -  
Результат обработки**

координатах «азимут-дальность» с последующим преобразованием в прямоугольные координаты для выполнения алгоритмов фильтрации и сегментации изображения. Для хранения и использования моделей РЛИ разработан специальный формат представления изображений. Синтез моделей РЛИ должен выполняться на этапе предполетной подготовки ЛА из-за высокой вычислительной сложности алгоритмов.

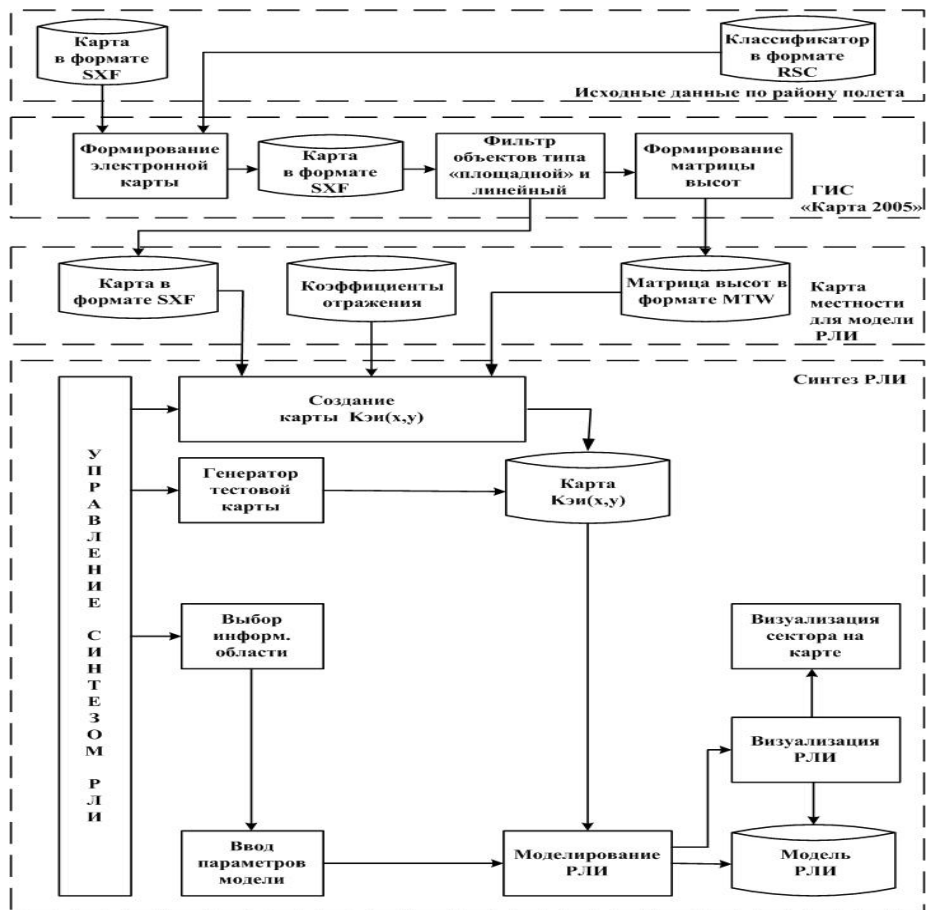
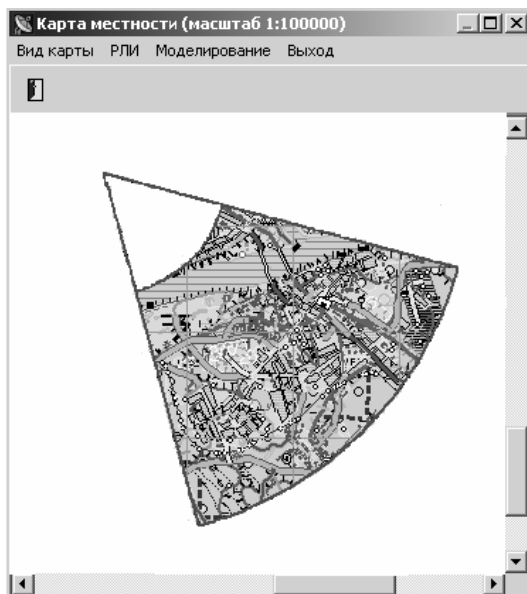
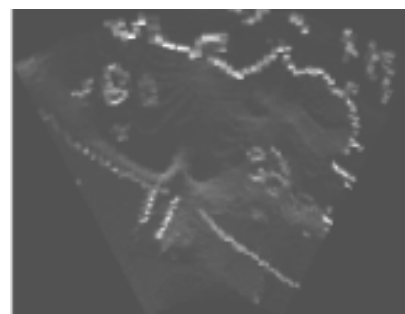


Рисунок 8 – Технологическая схема синтеза эталонного РЛИ

Пример синтеза эталонного РЛИ по ЦКМ приведен на рисунке 9.



а) карта местности



б) модель РЛИ

Рисунок 9 – Модель РЛИ для участка ЦКМ

Разработанные алгоритмы фильтрации, сегментации РЛИ и подготовки эталонного РЛИ реализуют этап предварительной обработки радиолокационной и картографической информации системы определения координат. Алгоритмы и технологии корреляционного совмещения РЛИ разработаны в третьей главе диссертации.

*В третьей главе разработаны алгоритмы и технологии использования сопоставимых информационных признаков РЛИ для вычисления координат ЛА.*

Разработан алгоритм формирования признаков РЛИ, инвариантных к повороту, сдвигу и изменению масштаба изображения. Данные признаки формируются на основе метода инвариантных моментов Ну, основанного на выделении статистических закономерностей, описывающих изображение. Двумерными моментами  $(p+q)$ -го порядка совместной плотности вероятности  $p(x, y)$  являются выражения вида:

$$m_{pq} = \iint_D x^p y^q p(x, y) dx dy, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots, \quad (8)$$

где  $D$  - область изображения, для которой вычисляются моменты.

Для описания изображения совместная вероятность  $p(x, y)$  заменяется на функцию яркости изображения  $f(x, y)$ .

Переход к центральным моментам обеспечивает инвариантность двумерных моментов к сдвигу:

$$\mu_{pq} = \iint_D (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy, \quad p, q = 0, 1, 2, \dots, \quad (9)$$

где  $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$ ,  $\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$  координаты центра области  $D$ .

Переход к нормализованным центральным моментам обеспечивает инвариантность относительно масштабирования:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\frac{p+q}{\mu_{00}^2}} \quad (10)$$

Значения функций  $S_1 - S_7$  инвариантны к вращению изображения:

$$\begin{aligned} S_1 &= \eta_{20} + \eta_{02}, \quad S_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2, \\ S_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (\eta_{03} - 3\eta_{21})^2, \quad S_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{03} + \eta_{21})^2, \\ S_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{03} + \eta_{21})^2] + \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{03} + \eta_{21})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{03} + \eta_{21})^2], \\ S_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{03} + \eta_{21})^2 + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{03} + \eta_{21})], \end{aligned}$$

$$S_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{03} + \eta_{21})^2] - \\ - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{21})^2 - (\eta_{03} + \eta_{21})^2]. \quad (11)$$

В качестве меры сходства ЭИ, описываемого вектором признаков  $P_{ЭИ}$  и соответствующей области ТИ, описываемой вектором признаков  $P_{ТИ}$  может быть использована корреляционная функция вида:

$$K(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^7 P_i \bar{P}_i(x, y)}{\left[ \sum_{i=1}^7 P_i^2 \sum_{i=1}^7 \bar{P}_i^2(x, y) \right]^{1/2}}, \quad (12)$$

где  $P_i$  -  $i$ -й момент вектора признаков  $P_{ЭИ}$ ;  $\bar{P}_i(p, q)$  -  $i$ -й момент соответствующей подобласти ТИ, описываемой вектором признаков  $P_{ТИ}$  в положении  $(x, y)$ .

Разработан алгоритм отбраковки ложных результатов совмещений с помощью корреляционной функции на основе инвариантных моментов. По полученным оценкам корреляционной функции  $K(x, y)$  вычисляется среднеквадратическое отклонение  $\sigma_k$  и формируется пороговое значение  $\Delta = \alpha_k \cdot \sigma_k$ , где  $\alpha_k$  - коэффициент, значение которого устанавливается экспериментально. В ходе практических исследований определено оптимальное значение коэффициента  $\alpha_k = 1.2$ . Решение о ложном совмещении принимается при условии:  $K(x_{\max}, y_{\max}) < \Delta$ .

На основе данной корреляционной функции разработан двухэтапный иерархический алгоритм, обеспечивающий повышение производительности корреляционного совмещения. На первом этапе работы алгоритма выполняется вычисление корреляционной функции с шагом по координатным осям больше единицы. На втором этапе в области найденного максимума выполняется повторное вычисление корреляционной функции с шагом, равным 1. Координаты максимума, найденные на втором этапе и являются координатами точки совмещения изображений.

Для выполнения корреляционного совмещения ЭИ и ТИ разработан алгоритм, определяющий попадание в ТИ участка земной поверхности, описываемого векторами признаков, хранящимися в бортовой БД.

Для хранения и поиска ЭИ с целью использования в алгоритмах системы определения координат разработана реляционная СУБД, предназначенная для встраивания в бортовое программное обеспечение ЛА. Для ускорения выбора вектора признаков  $P_{ЭИ}$ , описывающего ЭИ, из множества возможных векторов использованы методы индексирования информации. При этом каждому вектору признаков  $P_{ЭИ}$  необходимо поставить

в соответствие набор параметров, по которым будет осуществляться индексирование и последующий поиск. Для доступа к записям базы данных использован метод индексирования, основанный на двоичных деревьях.

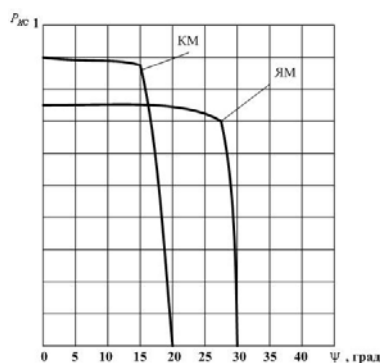
*В четвертой главе рассматривается разработка программной системы определения координат и экспериментальное исследование разработанных алгоритмов.*

Для разработки программного обеспечения системы определения координат ЛА на основе совмещения радиолокационной и картографической информации были использованы методы и средства визуального и объектно-ориентированного программирования. В качестве инструментальных средств разработки был использован язык C++.

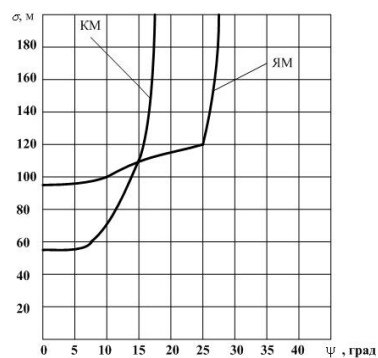
В качестве исходных данных для проведения эксперимента использован набор тестовых РЛИ, полученных от БРЛС при полете вертолета. Полет выполнялся на высотах 100-150 метров со скоростями 80-180 км/ч. БРЛС формировала изображение земной поверхности в режиме "обзор". РЛИ представлены в прямоугольных координатах размером 400×500 пикселей. Для каждого изображения на соответствующем участке карты местности были сформированы ЭИ для разных координат точки визирования. Изображения представлялись в виде функции яркости и в виде бинарных изображений, содержащих контуры объектов с радиолокационным контрастом.

По результатам определения координат были сформированы следующие зависимости:

- зависимость вероятности совмещения от угла поворота изображений (рисунок 10);
- зависимость среднеквадратического отклонения координат (СКО) от угла поворота изображений (рисунок 11).



**Рисунок 10 – Оценка вероятности истинного совмещения**



**Рисунок 11 – Оценка СКО определения координат**

На рисунках использованы обозначения: КМ – график зависимости для контурных моментов, ЯМ – график зависимости для яркостных моментов. Анализ полученных зависимостей показывает, что вероятность



истинного совмещения изображений при использовании контурных моментов выше, чем при использовании яркостных моментов. Вычисление координат местоположения ЛА с помощью корреляционной функции на основе контурных моментов дает более точный результат, чем при использовании яркостных моментов.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Разработана технология определения координат ЛА на основе сопоставимых информационных признаков РЛИ, полученного от БРЛС переднего обзора земной поверхности и признаков ЭИ, полученного путем моделирования РЛИ по ЦКМ, параметрам БРЛС и навигационным параметрам ЛА.

2. Разработаны алгоритмы фильтрации текущего и эталонного РЛИ, основанные на использовании симметричного оператора с весовыми коэффициентами, обеспечивающие выделение на РЛИ полезного сигнала со значительной степенью шумовой фильтрации и с достаточным быстродействием.

3. Разработаны алгоритмы сегментации текущего и эталонного РЛИ, основанные на использовании градиентного оператора, позволяющие выделять на изображении границы сегментов и обеспечивающие коррелированность текущего и эталонного РЛИ.

4. Разработана технология получения ЭИ, основанная на использовании методики моделирования РЛИ по ЦКМ, параметрам БРЛС и положению ЛА в пространстве.

5. Разработан алгоритм корреляционного совмещения текущего и эталонного РЛИ на основе инвариантных моментов. Для данного алгоритма разработаны пути повышения надежности совмещения и производительности.

6. Разработана архитектура бортовой СУБД и алгоритмы доступа к данным на основе бинарных деревьев. Разработана БД ЭИ, позволяющая хранить информацию для работы КЭСН и алгоритмы поиска БД по текущим навигационным параметрам. Для хранения информации о маршруте, содержащем 100 участков коррекции ИНС, в данной БД требуется 15464 килобайта.

7. Выполнена экспериментальная оценка погрешности определения координат с помощью данной системы. Наименьшая возможная погрешность при использовании набора тестовых РЛИ и ЦКМ масштаба 1:100000 составляет 55,9 метров.

8. Разработана программная система определения координат, позволяющая выполнять экспериментальные исследования надежности, точности и быстродействия разработанных алгоритмов.

**ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Конкин Ю.В. Особенности применения электронных карт местности в качестве эталонного изображения для корреляционно-экстремальных систем навигации // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. / Рязан. гос. радиотехн. акад. Рязань, 2005, С. 137-142.

2. Конкин Ю.В., Мызин М.В. Выделение информативных участков радиолокационного изображения с целью его совмещения с электронной топографической картой // Электроника и информатика 2005: Тез. докл. V междунар. науч.-техн. конф. Часть 2. М.: МИЭТ, 2005. С. 84-85.

3. Новиков А.И., Конкин Ю.В., Архипов С.А. Применение операторов с симметричной весовой функцией в задачах обработки радиолокационной информации // Математические методы в научных исследованиях: Межвуз. сб. / Рязан. гос. радиотехн. акад. Рязань, 2006. – С. 46-55.

4. Новиков А.И., Конкин Ю.В., Федорович Я.А. Применение градиентных методов в задачах обработки радиолокационной информации // Математические методы в научных исследованиях: Межвуз. сб. / Рязан. гос. радиотехн. акад. Рязань, 2006. – С. 55-63.

5. Конкин Ю.В., Новиков А.И. Методы выделения границ областей в задачах обработки радиолокационных изображений // 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. 217-218.

6. Б.В. Костров, Ю.В. Конкин Технология совмещения радиолокационных изображений местности // Проектирование и технология электронных средств. 2007. Выпуск №1. С.29-32.

7. Б.В. Костров, Ю.В. Конкин Алгоритмическое обеспечение системы автономной коррекции погрешностей навигационной системы маневренных летательных аппаратов // Цифровая обработка сигналов. 2007. №3. С.37-40.

8. 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.

9. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 8737 Конкин Ю.В. «Программный комплекс для фильтрации и сегментации радиолокационных изображений».

К о н к и н Ю р и й В а л е р и е в и ч

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КООРДИНАТ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА  
НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ  
И КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать . Формат бумаги 60×84 1/16.  
Бумага офисная. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Отпечатано в ЗАО «Колорит »  
г.Рязань, Первомайский проспект, д.37/1.