

На правах рукописи



Филатов Иван Юрьевич

**АЛГОРИТМЫ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
ОТ БОРТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
НА ОСНОВЕ ЛОГИКИ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 05.13.11 - "Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2006

Работа выполнена на кафедре вычислительной и прикладной математики
ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Каширин Игорь Юрьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
директор НИИ «Фотон» при РГРТУ
Еремеев Виктор Владимирович

кандидат технических наук, начальник
отдела прикладных приложений
департамента информационных технологий
ЗАО «РТЦ» филиал «РТЦ-Рязань»
Новиков Геннадий Александрович

Ведущая организация: **ОАО «Корпорация «Фазотрон НИИР»**
НИИ «Рассвет», г. Рязань

Защита состоится « 20 » октября 2006 г. в 12 часов на заседании
диссертационного совета Д212.211.01 в ГОУВПО «Рязанский государственный
радиотехнический университет» по адресу:
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

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

Автореферат разослан « 15 » июня 2006 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета Д212.211.01

кандидат технических наук, доцент



В.Н. Пржегорлинский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы Развитие технических возможностей и внедрение последних научных разработок в бортовые системы навигации открывают новые возможности и ставят всё более сложные задачи перед человеком или экипажем, управляющим подвижным объектом. Бортовые средства навигации пополняются новыми источниками информации, существующие источники усовершенствуются. Однако, это усовершенствование доходит до определённого предела, преодоление которого на сегодняшний день является весьма сложной или практически невыполнимой задачей. В первую очередь это относится к качеству информации. В виду этого происходит перенос требований к качеству представления информации от аппаратной базы к алгоритмам и методам её обработки.

В результате, на основе существующей технической базы возникает необходимость разрабатывать алгоритмы и методы комплексирования информации, повышающие информативность бортовых систем навигации в целом и позволяющие более наглядно представлять информацию от различных источников. Основными задачами систем подобного класса являются: обработка и совмещение видеоинформации и прочих данных, обеспечение безопасности передвижения в различных условиях, определение собственного местоположения в отсутствие спутниковой информации, повышение надёжности и точности выполнения поставленных задач при перемещении объекта управления с большой скоростью.

В связи с этим, задача максимально эффективного использования всей имеющейся на борту летательного аппарата (ЛА) информации для представления окружающей обстановки с использованием интеллектуальных методов, является актуальной. Под представлением окружающей обстановки здесь следует понимать позиционирование и идентификацию объектов, находящихся вокруг ЛА.

Наибольший вклад в теоретические исследования в указанном направлении был сделан такими учёными как: Пospelов Д.А., Васильев В.И., Горелик А.Л., Давыдов П.С., Скрипкин В.А., Дуда Р., Харт П., Кузин Л.Т., Перегудов Ф.И., Темников Ф.Е., Ту Дж., Гонсалес Р., Уинстон П., Фу К., Найт К., Бадер Ф. и др.

Практические разработки, выполнены такими авторами как: Ричард Г. Хоффман, Колодько Г.Н., Ключко В.К., Мойбенко В.И., Самарин О. Ф., Курилкин В.В., Ерофеев А.А., Долгов А.Н., Жидков В.Н., Ким Н.В., Красильщиков М.Н., Ушимура К., Гротчева Е, Гарридо Р., Гонсалес Е., Сбродов В.В., Свиридов В.П., Давыдов В.Г., Башкиров Л.Г., Холл Д., Кровли Дж. Л., Кревецкий А.В. и др.

К недостаткам существующих систем можно отнести недостаточное использование или отсутствие в них современных интеллектуальных методов анализа и обработки информации.

Существующие системы комплексирования информации ставят повышенные требования к качеству исходных данных, от которого напрямую зависят результаты работы систем.

В реальных системах совмещения графической информации происходит прямое наложение разноспектральных изображений без проведения внутреннего анализа их структуры и представляемой ими информации, что в некоторых случаях приводит к невозможности такого совмещения.

Разработчики существующих систем комплексирования информации необоснованно пренебрегают известными результатами ситуационного анализа, хорошо зарекомендовавшими себя в теории управления.

При выполнении работы осуществляется попытка преодолеть эти недостатки, создать и применить наиболее адекватный математический аппарат для исследования, проектирования и эксплуатации интеллектуальных систем комплексирования навигационной информации (ИСКНИ), разработать новую архитектуру систем такого класса с использованием средств искусственного интеллекта, а также применить конкретные практические проектные решения при программировании ИСКНИ.

Оригинальной методикой совмещения информации об окружающей обстановке, полученной из различных источников информации, находящихся на борту ЛА, до сих пор не встречавшейся ни в отечественных, ни в зарубежных системах подобного класса, является предлагаемая в работе методика комплексирования информации на основе ситуационного анализа, универсальных алгебр, нечёткой логики и теории унификации.

Методика позволит произвести анализ радиолокационной и картографической информации: выделить объекты на радиолокационном изображении, определить их координаты и характеристики, идентифицировать объекты в соответствии с имеющейся базой знаний, основанной на нечёткой логике.

Цель работы и задачи исследования Целью диссертационной работы является исследование и разработка эффективного инструментария для описания окружающей обстановки вокруг ЛА, позиционирования, классификации и идентификации окружающих его объектов, определения собственных координат ЛА, с помощью которого можно облегчить возложенные на человека задачи по принятию важных управленческих решений при оценке изменяющейся во времени ситуации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи.

1. Осуществить анализ предметной области и выбрать из числа существующих наиболее подходящие методики, с помощью которых можно добиться желаемых результатов, выявить возможность и разработать способы их модификации и адаптации к условиям решаемой задачи.

2. Разработать математический аппарат и программное обеспечение для выделения объектов на изображении и определения их статистических и физических характеристик.

3. Формализовать предметную область с целью её адекватного и эффективного описания и проанализировать окружающую обстановку вокруг ЛА.

4. Спроектировать алгебру описания свойств объектов, на основе которой появилась бы возможность идентифицировать объекты, выделенные при анализе данных от бортовых источников информации ЛА.

5. Определить структуру и содержание базы знаний с применением теорий графов и нечётких множеств, позволяющую идентифицировать объекты.

6. Разработать алгоритмы позиционирования и идентификации объектов.

Методы исследования Исследование, проведённое при выполнении работы, осуществлялось на основе теории вероятностей, теории множеств, теории универсальных алгебр, теории нечётких множеств, теории графов, методов структурного и объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна

1. В диссертации предложена оригинальная методика описания пространственных ситуаций окружающей обстановки для ЛА и прикладная алгебраическая система для формализации предметной области.

2. Разработан эффективный базовый алгоритм унификации термов описания пространственных ситуаций с целью определения координат летательного аппарата и позиционирования окружающих его объектов в условиях автономной навигации.

3. Спроектирована алгебра описания свойств объекта, на основе которой появляется реальная возможность идентификации объектов, выделенных при анализе данных от бортовых источников информации ЛА.

4. Составлен новый алгоритм унификации термов, полученных с помощью алгебры описания свойств объекта, позволяющий максимально эффективно идентифицировать объекты, выделенные при анализе данных от бортовых источников информации.

5. Разработана технология проектирования интеллектуальных систем комплексирования навигационной информации, обладающих высокой функциональностью и малой критичностью к качеству исходных данных.

Практическая ценность работы Результаты работы являются основой для проектирования систем позиционирования, классификации и идентификации объектов. Используемые в диссертации формализм и методы позволяют на основе алгоритма описания пространственных ситуаций создавать модели предметной области, являющиеся основой оценки окружающей обстановки.

Разработанная методология и технологические средства могут быть приняты за основу при создании новых перспективных интеллектуальных систем комплексирования навигационной информации.

На основе результатов диссертационной работы появляется реальная возможность повысить эффективность обработки и анализа бортовой

навигационной информации ЛА, сократить трудозатраты экипажа ЛА, уменьшить ошибки человека при реализации важных решений, принимаемых в сложной изменяющейся окружающей обстановке, и создать условия для их адекватного и своевременного принятия.

Реализация и внедрение результатов работы Результаты диссертации нашли отражение в реальной программе COINS_lv (Complexing Information System light version), предназначенной для позиционирования и идентификации объектов на основе анализа радиолокационной и картографической информации.

Результаты исследования внедрены в деятельность ФГУП «Государственный рязанский приборный завод» по созданию программного обеспечения для разрабатываемых навигационных устройств.

Теоретические результаты диссертационной работы нашли применение в учебном процессе Рязанского государственного радиотехнического университета при подготовке специалистов по специальностям 220400 и 351400.

Положения, выносимые на защиту

Разработанная методика описания пространственных ситуаций окружающей обстановки вокруг летательного аппарата на основе псевдофизической пространственной логики является эффективным инструментом оценки текущей полётной ситуации.

Спроектированная алгебраическая система позволяет составить термы описания пространственных ситуаций для дальнейшего позиционирования и идентификации объектов.

Составленный базовый алгоритм унификации термов описания пространственных ситуаций даёт возможность определения координат летательного аппарата и позиционирования окружающих его объектов в условиях автономной навигации.

Разработанные алгебра описания свойств объекта и алгоритм унификации термов описания объектов позволяют осуществить идентификацию объектов, выделенных при анализе данных от бортовых источников информации ЛА.

Апробация работы Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях: на 12-й и 14-й Международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2004 и 2005 гг.); на 10-й ежегодной международной научно-технической конференции студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика" (Москва, 2004 г.); на Международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2005 г.); на 11-й Международной открытой научной конференции "Современные проблемы информатизации" (Воронеж, 2006 г.); на 13-й Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам (Санкт-Петербург, 2006 г.).

Публикации Самостоятельно и в соавторстве по теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 2 статьи, 7 тезисов докладов на

международных научно-технических конференциях, получено 2 свидетельства об отраслевой регистрации разработок в отраслевом фонде алгоритмов и программ.

Структура и объём работы Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и шести приложений. Основной текст работы содержит 165 страниц, 29 рисунков, 17 таблиц. Список литературы состоит из 131 наименования. Приложения выполнены на 33 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается обоснование актуальности темы работы, сформулированы цели и задачи исследования, кратко излагается содержание диссертации и положений, выносимых на защиту.

Первая глава посвящена обоснованию темы диссертации. В главе определяются основные цели и задачи разработки и анализа интеллектуальных алгоритмов совместной обработки бортовой информации. Приводится обзор теоретических и практических работ в области совмещения и обработки данных от бортовых источников информации ЛА, вводятся основные понятия и определения. Приводится краткая классификация навигационных систем. Выявлены недостатки существующих технических средств и методов совмещения информации от бортовых источников ЛА, намечены пути и способы их преодоления.

Во второй главе сформулированы цель и задачи проектирования интеллектуальных алгоритмов позиционирования и идентификации объектов. Определена математическая основа для вычисления основных характеристик объектов. Разработана методика описания и формализации пространственных ситуаций окружающей обстановки, спроектирован базовый алгоритм унификации для позиционирования объектов. Произведён анализ и выбор структуры базы знаний для классификации объектов. Произведена формализация качественного описания объектов и описание алгоритма унификации с базой знаний.

Выполненный анализ существующих разработок и методов совмещения данных от бортовых источников информации ЛА показал, что одним из их существенных недостатков является то, что совмещение графической информации ведётся путём наложения изображений. Это не всегда возможно в случае использования источников информации, которые формируют изображения в различных системах координат, и их преобразование к одной системе невозможно в силу отсутствия необходимых дополнительных данных. Кроме того, такой подход делает весьма затруднительным объединение всей информации от различных источников одновременно на одном изображении в силу перегруженности последнего информацией. Использование когнитивной графики в сочетании с визуализацией электронных карт местности позволит избежать этого недостатка.

Для того, чтобы производить анализ радиолокационной информации, необходимо выделить объекты на радиолокационном изображении (РЛИ). Для

решения задачи выделения объектов на изображении по пороговому значению яркости предлагается использовать известные методы поиска на деревьях вариантов в пространстве состояний – поиск в глубину или поиск в ширину. Целесообразность использования этих методов обуславливается тем, что отсутствует какая-либо априорная вспомогательная информация.

Задаче анализа классификации и идентификации объектов посвящено множество научных и практических разработок, однако, они не претендуют на универсальность. Для каждого конкретного случая необходимо производить отдельное исследование на предмет соответствия той или иной методики поставленной задаче.

В ходе исследований установлено, что не признаковая структура, находящаяся в центре внимания специалистов по распознаванию образов, а ситуативное положение того или иного факта или объекта определяют его интерпретацию у человека, которая дополняется оценкой типичности ситуации.

Ситуацией предлагается считать взаимное расположение объектов друг относительно друга, информация о которых доступна как из электронных карт местности (ЭКМ), так и из РЛИ.

Для формализации описания пространственных отношений между объектами предложено использовать аппарат универсальных алгебр. Предлагается ввести алгебраическую модель (АМ): отношения пространственной логики – $R = \{ R_{\rightarrow}, R_{\nearrow}, R_{\uparrow}, R_{\nwarrow}, R_{\leftarrow}, R_{\swarrow}, R_{\downarrow}, R_{\searrow}, R_v, R_{об}, R_{б}, R_{нн}, R_d, R_{од}, R_{оод} \}$, представляют собой бинарные отношения направления и расстояния ($\rightarrow$ – справа, $\nearrow$ – впереди и справа, $\uparrow$ – впереди, $\nwarrow$ – впереди и слева, $\leftarrow$ – слева, $\swarrow$ – сзади и слева, $\downarrow$ – сзади, $\searrow$ – сзади и справа, в – вплотную, об – очень близко, б – близко, нн – не далеко, не близко, д – далеко, од – очень далеко, оод – очень-очень далеко); носитель алгебры М – множество объектов выделенных на РЛИ и ЭКМ с координатами - $Obj(x; y)$. АМ можно записать в следующем виде:

$$A = \langle M, \{R_{\rightarrow}, R_{\nearrow}, R_{\uparrow}, R_{\nwarrow}, R_{\leftarrow}, R_{\swarrow}, R_{\downarrow}, R_{\searrow}, R_v, R_{об}, R_{б}, R_{нн}, R_d, R_{од}, R_{оод}\} \rangle$$

Семантика отношений будет выглядеть следующим образом.

1) Отношения направления.

Объект $Obj_1(x_1; y_1)$ находится справа от объекта $Obj_2(x_2; y_2)$, если координата x объекта $Obj_1(x_1; y_1)$ больше координаты x объекта $Obj_2(x_2; y_2)$. Иначе можно записать:

$$Obj_1(x_1; y_1) R_{\rightarrow} Obj_2(x_2; y_2), \text{ если } x_1 > x_2 \text{ и } y_1 = y_2.$$

Объект $Obj_1(x_1; y_1)$ находится сзади и справа от объекта $Obj_2(x_2; y_2)$, если координата x объекта $Obj_1(x_1; y_1)$ больше координаты x объекта $Obj_2(x_2; y_2)$, а координата y объекта $Obj_1(x_1; y_1)$ меньше координаты y объекта $Obj_2(x_2; y_2)$. Иначе можно записать:

$$Obj_1(x_1; y_1) R_{\searrow} Obj_2(x_2; y_2), \text{ если } x_1 > x_2 \text{ и } y_1 < y_2.$$

Аналогично устанавливаются зависимости и для других отношений направления.

Отношения направления обладают свойствами: антирефлексивности, антисимметричности, транзитивности.

2) Отношения расстояния.

Расстояние между объектами предложено рассчитывать как евклидово расстояние между двумя точками на плоскости с заданными координатами:

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}.$$

Объект $\text{Obj}_1(x_1; y_1)$ расположен близко от объекта $\text{Obj}_2(x_2; y_2)$, если евклидово расстояние от объекта $\text{Obj}_1(x_1; y_1)$ до объекта $\text{Obj}_2(x_2; y_2)$ попадает в заданный интервал. Например, $\text{Obj}_1(x_1; y_1) R_b \text{Obj}_2(x_2; y_2)$, если $D \in [1; 10]$ или $\text{Obj}_1(x_1; y_1) R_d \text{Obj}_2(x_2; y_2)$, если $D \in [2801; 4000]$. Аналогично устанавливаются зависимости и для других отношений расстояния.

Отношения расстояния обладают свойствами: антирефлексивности, симметричности.

Композиция отношений определена следующим образом:

$$R_1(a, b) \circ R_2(a, b) = R_{1,2}(a, b).$$

Композиция отношений обладает свойствами антирефлексивности, антисимметричности.

В рамках введённой АМ можно описать ЭКМ следующим образом:

$$(a R_{\nearrow, \text{об}} b); (a R_{\leftarrow, \text{д}} c); \dots; (b R_{\searrow, \text{б}} c); \dots$$

где, a, b, c – константы, соответствующие объектам ЭКМ, которые имеют известные пространственные координаты.

Аналогично для РЛИ составляются наборы из объектов и отношений, которые можно записать так:

$$(x R_{\uparrow, \text{нн}} y); (x R_{\searrow, \text{б}} z); \dots; (y R_{\nwarrow, \text{об}} z); \dots,$$

где, x, y, z – переменные, соответствующие объектам РЛИ, координаты которых необходимо определить.

При составлении термов для РЛИ предложено использовать информацию, полученную от других систем, позволяющих получить какое-либо представление об объектах на РЛИ. В этом случае в построенном терме могут присутствовать не только переменные, но и константы, что внесёт дополнительную ясность и позволит более точно осуществить описание окружающей обстановки.

Вводится универсальная алгебра (УА) $\mathbf{B} = \langle [L]_{\Omega}; \Omega \rangle$, где L – множество, элементами которого являются наборы (тройки вида: $(a R b)$), полученные в АМ $\mathbf{A}$. $[L]_{\Omega}$ – замыкание множества L относительно сигнатуры алгебры. Ω – сигнатура алгебры состоит из единственной бинарной операции «И», обозначим её « $\square$ ». При этом тип УА задаётся множеством $\{\square(2)\}$, т.е. $\Omega = \{\square(2)\}$. Иначе можно сказать, что носителем УА является множество полных ситуаций, описывающих расположение объектов на определённом участке местности по данным от ЭКМ или БРЛС, а операция $\square$ – позволяет объединить все составляющие компоненты (точечные ситуации) полной ситуации.

Семантику операции « $\square$ » можно описать как композицию ситуаций пространственной логики. Операция « $\square$ » обладает свойствами: ассоциативности, коммутативности, идемпотентности. Построенная УА является коммутативной и идемпотентной полугруппой.

В рамках введённой УА **B** можно составить термы, описывающие ЭКМ и РЛИ для определённого участка местности. Для ЭКМ терм будет выглядеть следующим образом:

$$t = (a R_{\nearrow, об} b) \square (a R_{\nwarrow, д} c) \square \dots \square (b R_{\searrow, б} c).$$

Для РЛИ аналогично составляется терм вида:

$$s = (x R_{\nearrow, нн} y) \square (x R_{\searrow, б} z) \square \dots \square (y R_{\nwarrow, об} z).$$

Для решения задачи позиционирования ЛА и окружающих его объектов предложено использовать теорию унификации следующим образом. К термам, формально описывающим окружающую обстановку, применяется алгоритм унификации.

Успешная унификация позволит определить координаты ЛА и окружающих его объектов, информация о которых получена от БРЛС. Вектор подстановок даст дополнительную информацию о том, на каком типе подстилающей поверхности находится тот или иной объект, полученный в результате анализа РЛИ. В диссертационной работе предложен оригинальный алгоритм унификации термов для РЛИ и ЭКМ (рис. 1).

Для формального описания объекта предлагается также использовать аппарат универсальных алгебр. Для этого вводится УА $C = \langle [P]_{\Omega} ; \Omega \rangle$, где P – множество, элементами которого являются свойства объекта, полученные с помощью алгоритма выделения объектов в результате их статистической обработки, а также тип подстилающей поверхности, определённый с помощью алгоритма позиционирования. $[P]_{\Omega}$ – замыкание множества P относительно сигнатуры алгебры. Ω – сигнатура алгебры состоит из единственной бинарной операции «И», обозначим её « $\cdot$ », при этом тип УА задаётся множеством $\{\cdot(2)\}$, т.е. $\Omega = \{\cdot(2)\}$. Иначе можно сказать, что носителем УА является множество доступных свойств объекта, определённым по данным от ЭКМ или БРЛС, а операция « $\cdot$ » – позволяет объединить все свойства одного объекта в один терм, одно описание.

Семантику операции « $\cdot$ », можно описать как композицию различных свойств объекта. Операция « $\cdot$ » обладает свойствами: ассоциативности, коммутативности, идемпотентности. Построенная УА является моноидом.

В рамках введённой УА **C**, можно составить термы вида $a \cdot b \cdot c \cdot \dots \cdot d$ для каждого объекта, выделенного на РЛИ, описывающие его свойства.

Для классификации объектов, предложено спроектировать базу знаний (БЗ), которая будет содержать информацию об имеющихся классах, условиях отнесения объектов к одному из них, а так же возможность перехода объекта из одного класса в другой. Предложено составлять два терма – один для объекта выделенного на РЛИ, а другой для БЗ, которые могут быть унифицированы между собой. Если унификация будет успешной, то можно идентифицировать объект. В диссертационной работе предложен оригинальный алгоритм унификации термов – описаний объектов (рис.2).

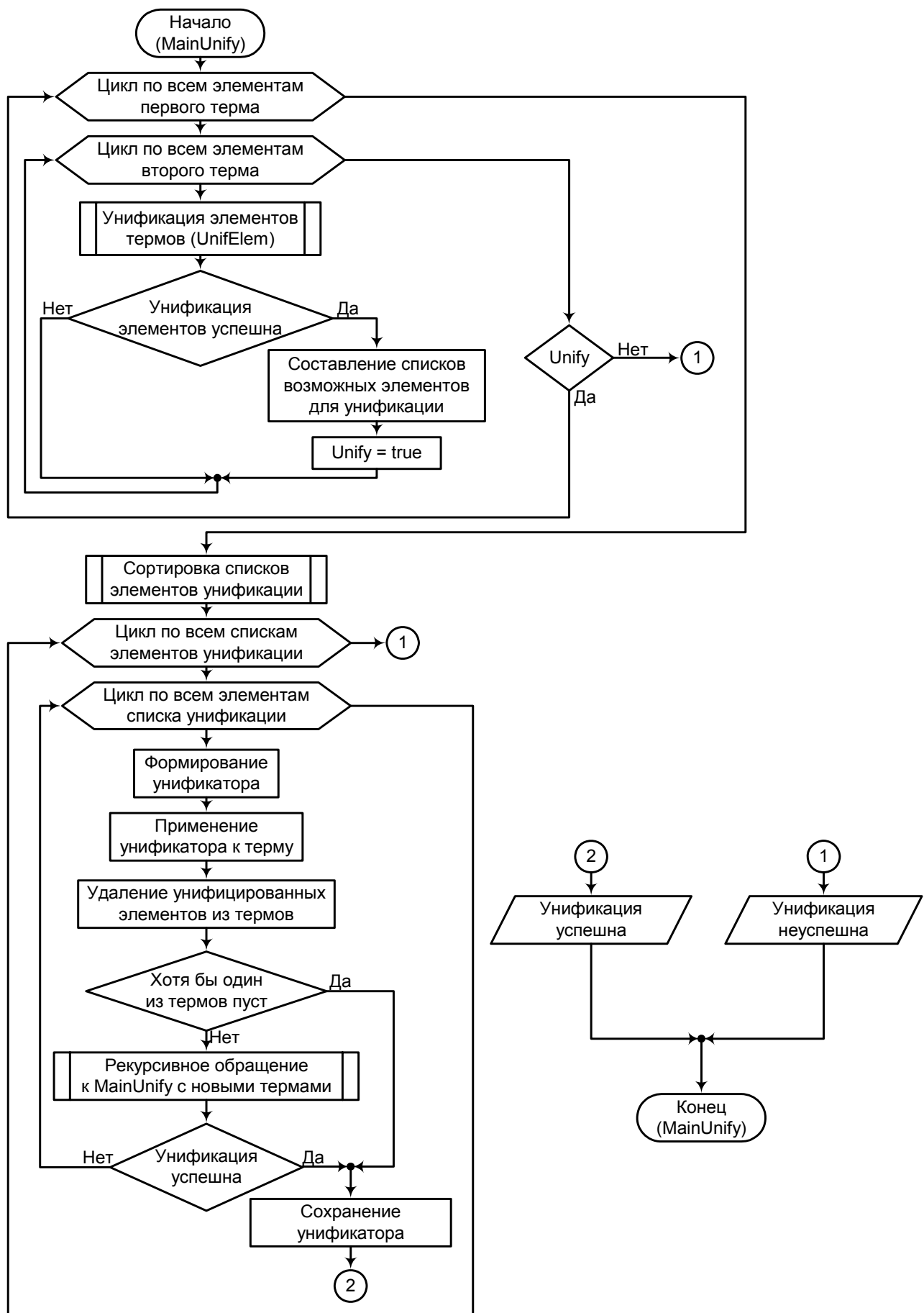


Рис. 1 Схема алгоритма унификации термов для РЛИ и ЭКМ.

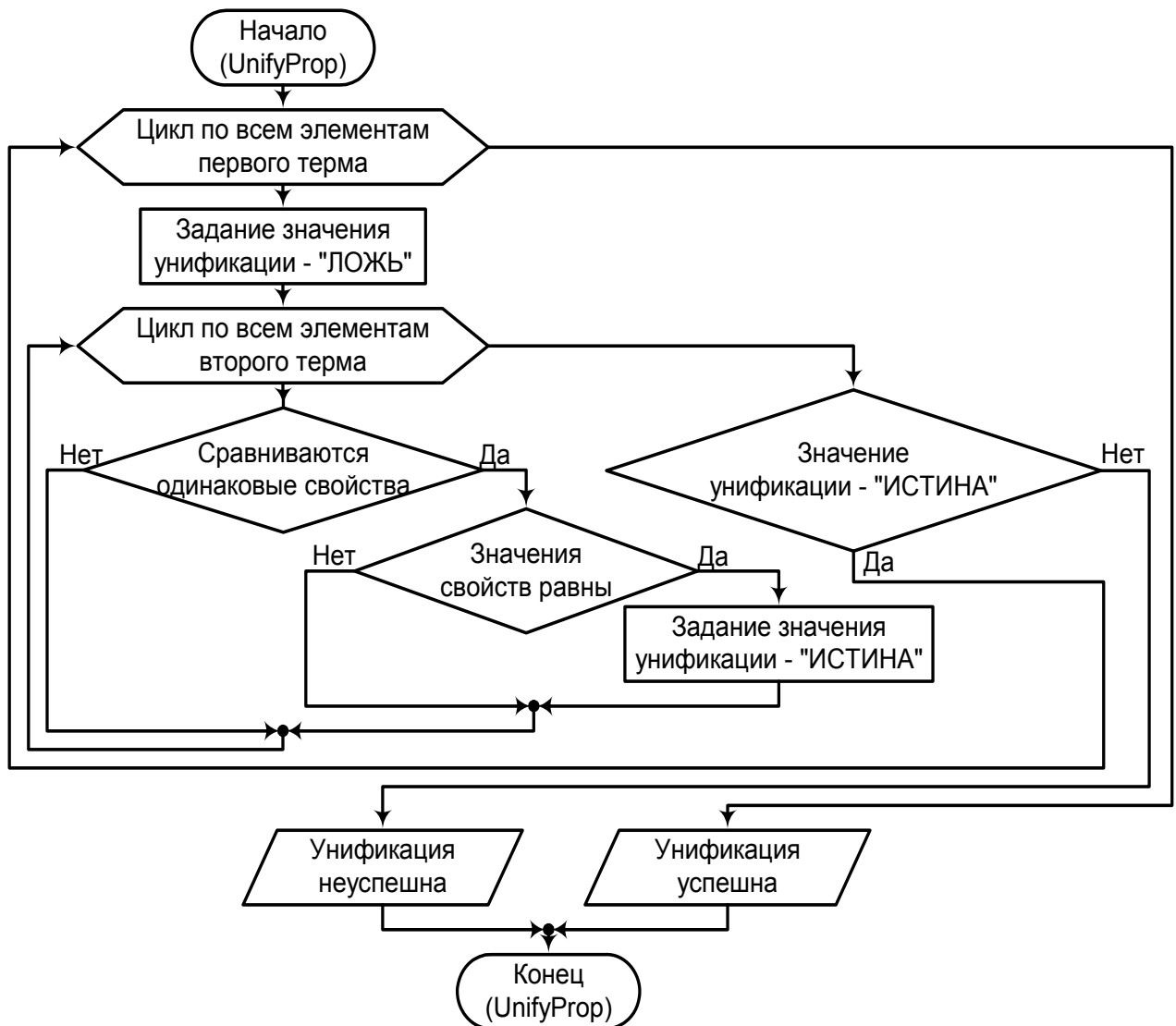


Рис. 2 Схема алгоритма унификации термов – описаний объектов.

Базу знаний предложено представить в виде ориентированного графа $G(V, E)$:

$$G(V, E) = \langle V; E \rangle, \quad V \neq \emptyset, \quad E \subset V \times V \ \& \ \forall e \in E : |e| = 2.$$

Здесь e – ребро графа, соединяющее вершины $v_1 \in V$ и $v_2 \in V$. Множество вершин V – это множество классов, к которым может быть отнесён анализируемый объект. Каждая вершина характеризуется набором определённых значений свойств, которому ставится в соответствие нечёткое множество, определяющее вероятность отнесения объекта с таким набором свойств к одному из известных классов объектов. Множество ориентированных рёбер E – множество допустимых переходов из класса в класс, в случае если в связи с изменившейся ситуацией необходимо пересмотреть ранее осуществлённую идентификацию.

В результате применения ориентированных графов появляется возможность контролировать процесс идентификации объектов, что делает в целом разрабатываемую систему более универсальной, гибкой и, вместе с тем, адаптируемой к условиям решаемой задачи. Графически пример построения такого графа можно представить рисунком 3.

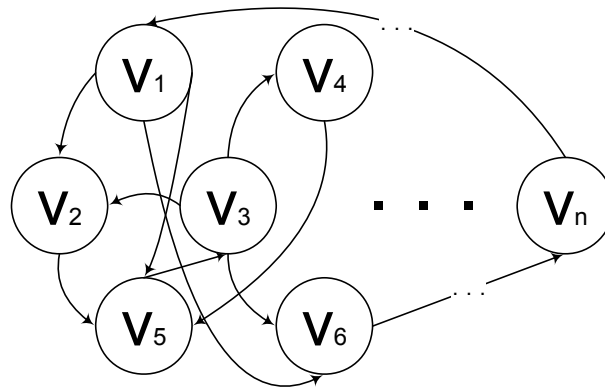


Рис. 3 Оргграф – БЗ

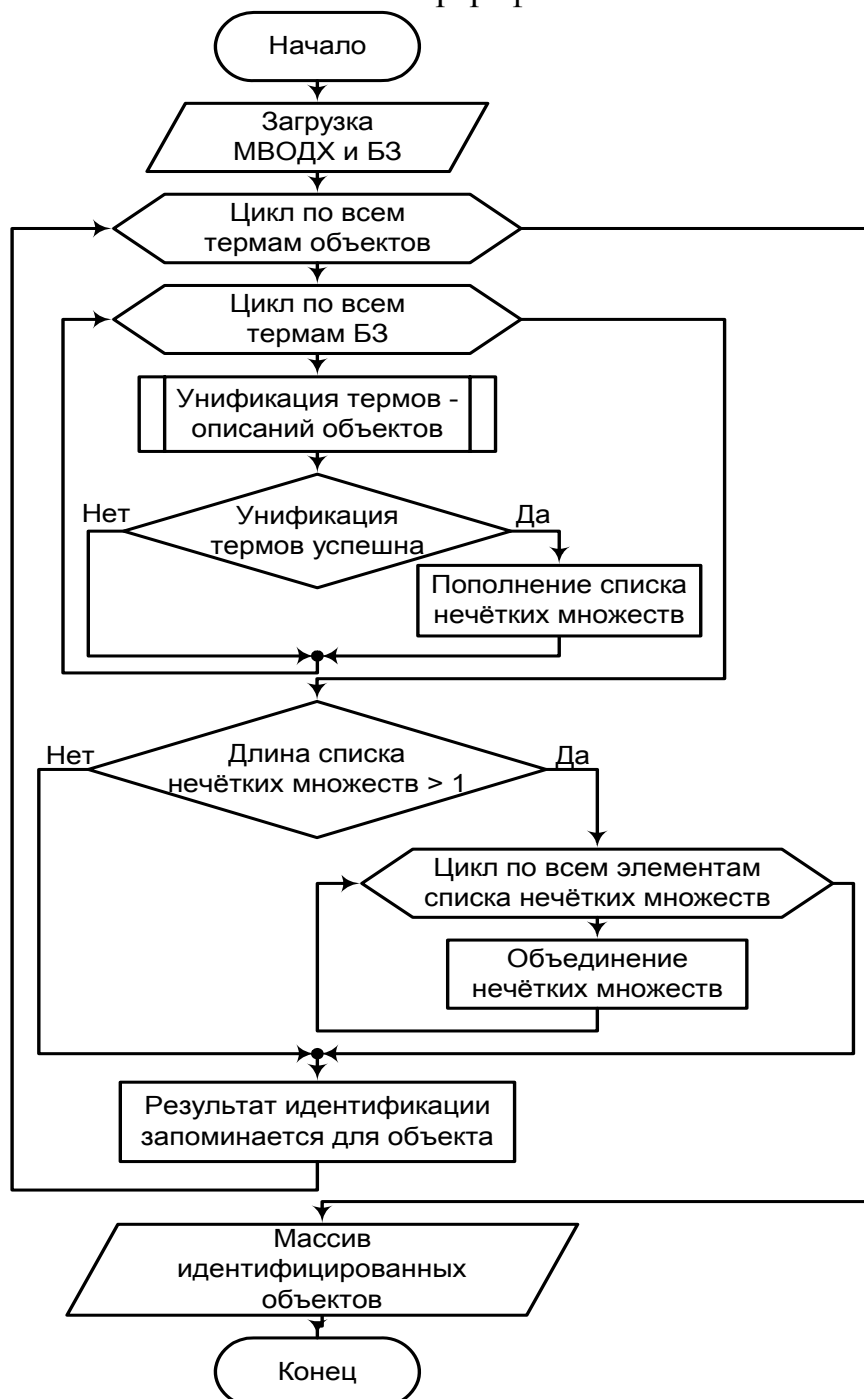


Рис. 4 Алгоритм идентификации объектов

В том случае, если терм для объекта РЛИ успешно унифицировался с несколькими терминами БЗ, выполняется объединение нечётких множеств соответствующих тем вершинам БЗ, для которых унификация прошла успешно. Объединять нечёткие множества предлагается с использованием вероятностного подхода.

$$\underline{A_k} \cup \underline{A_l} \Rightarrow \mu_{\underline{A_k} \cup \underline{A_l}}(u_i) = \mu_{A_k}(u_i) + \mu_{A_l}(u_i) - \mu_{A_k}(u_i) \cdot \mu_{A_l}(u_i).$$

Общий вид алгоритма идентификации объектов можно представить рисунком 4.

Третья глава посвящена вопросам методики проектирования интеллектуальных систем комплексирования навигационной информации (ИСКНИ). В ней также разработана базовая архитектура такого класса систем. Описаны основные составляющие интеллектуальных систем комплексирования навигационной информации и определены особенности проектирования каждой составляющей. Приведены общие примеры функционирования систем подобного класса.

Разработанную в рамках диссертационной работы общую базовую схему ИСКНИ можно представить рисунком 5.

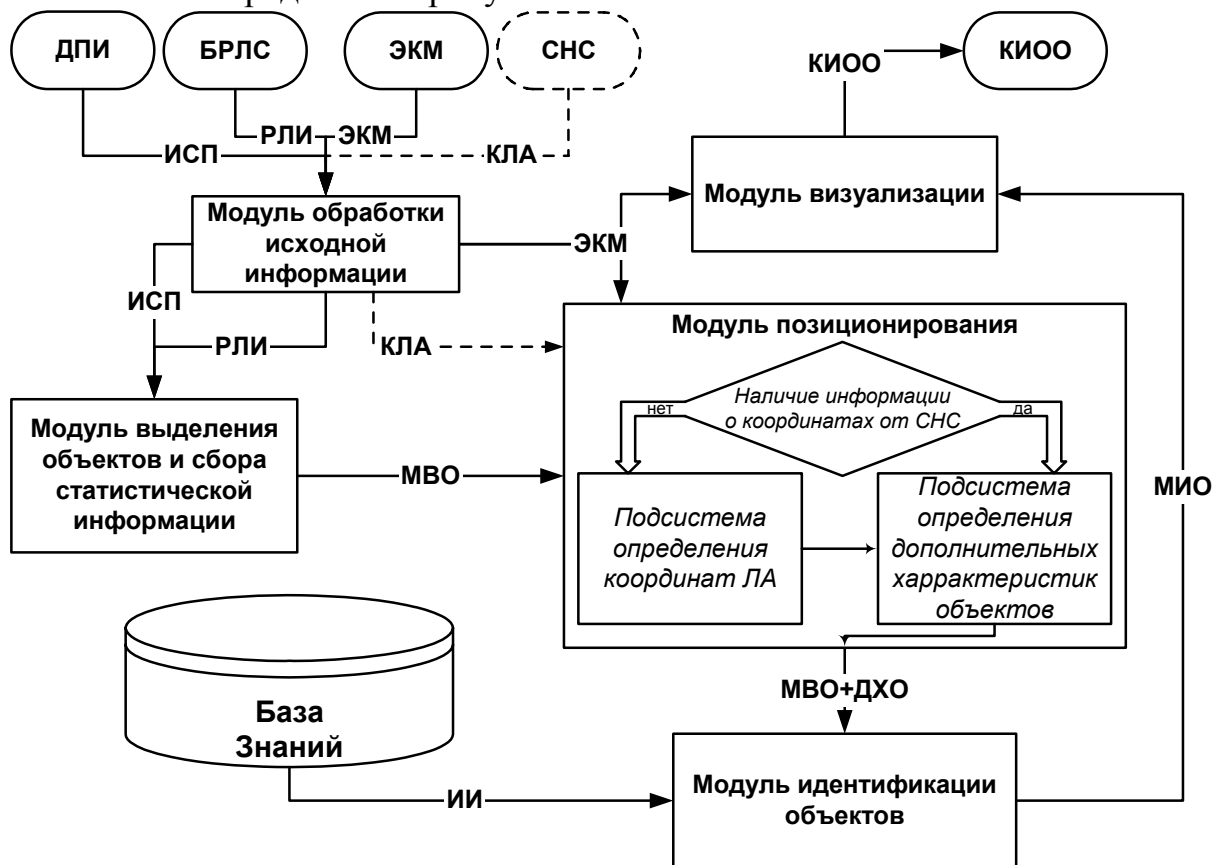


Рис. 5 Базовая архитектура ИСКНИ

Сокращения, приведённые на рисунке 5, обозначают следующее:

ДПИ - дополнительная полётная информация;

БРЛС - бортовая радиолокационная станция;

ЭКМ - электронные карты местности;

СНС - спутниковая навигационная система;

КИОО	- комплексное изображение окружающей обстановки;
ИСП	- информация о состоянии полёта;
РЛИ	- радиолокационное изображение;
КЛА	- координаты ЛА;
МВО	- массив выделенных объектов;
МИО	- массив идентифицированных объектов;
ДХО	- дополнительные характеристики объектов;
ИИ	- идентифицирующая информация.

Для определения типа подстилающей поверхности предложено находить соответствие между объектами РЛИ и ЭКМ или их принадлежность по координатам. Если объект на ЭКМ точечный, то выполняется простая проверка координат. Если объект линейный, то поиск соответствия предложено вести с использованием канонического уравнения прямой следующим образом:

$$\text{Если } (y_i \leq y_0 < y_{i+1}) \vee (y_{i+1} < y_0 \leq y_i), \text{ то } X_{[k]} = \frac{y_0 - y_i}{y_{i+1} - y_i} (x_{i+1} - x_i) + x_i;$$

где x_0, y_0 – координаты объекта выделенного на РЛИ, x_i, y_i – координаты точки задающей объект ЭКМ, $X_{[k]}$ – элемент массива X точек пересечения по оси абсцисс объектов РЛИ и ЭКМ, $k = 1..m$, m – количество точек пересечения объектов РЛИ и ЭКМ по оси абсцисс, $i = 1..n-1$, n – количество точек, определяющих объект ЭКМ.

Если $X_{[k]} = x_0, k = 1..m$, то пересечение существует.

Если объект площадной, то поиск соответствия предложено вести следующим образом:

$$\text{Если } (y_i \leq y_0 < y_{i+1}) \vee (y_{i+1} < y_0 \leq y_i), \text{ то } X_{[k]} = \frac{y_0 - y_i}{y_{i+1} - y_i} (x_{i+1} - x_i) + x_i;$$

$$\text{Если } (x_i \leq x_0 < x_{i+1}) \vee (x_{i+1} < x_0 \leq x_i), \text{ то } Y_{[l]} = \frac{x_0 - x_i}{x_{i+1} - x_i} (y_{i+1} - y_i) + y_i;$$

где $Y_{[l]}$ – элемент массива Y точек пересечения по оси ординат объектов РЛИ и ЭКМ, $l = 1..h$, h – количество точек пересечения объектов РЛИ и ЭКМ по оси ординат.

После этого выполняется сортировка массивов X и Y .

Вывод о принадлежности объекта, выделенного на РЛИ, объекту ЭКМ зависит от истинности следующего выражения:

$$(X_{[k]} \leq x_0 \leq X_{[k+1]}) \& (Y_{[l]} \leq y_0 \leq Y_{[l+1]}).$$

Перевод координат объектов на РЛИ в пикселях в прямоугольную систему координат в метрах предложено производить по формулам:

$$t = \begin{cases} \frac{\pi}{2}, & \text{если } x = x_0; \\ \arctg\left(\frac{y_0 - y}{x - x_0}\right), & \text{если } x > x_0; \\ \pi + \arctg\left(\frac{y_0 - y}{x - x_0}\right), & \text{если } x < x_0; \end{cases}$$

$$R = \begin{cases} y_0 - y, & \text{если } \sin(t) = 0; \\ \frac{y_0 - y}{\sin(t)}, & \text{если } \sin(t) \neq 0; \end{cases}$$

$$\alpha = K_{\text{ЛА}} - t + \frac{\pi}{2}; \quad d = R \cdot PPM;$$

$$X_{\text{ПМ}} = \begin{cases} X_{\text{ЛА}} - \sqrt{d^2 - h^2}, & \text{если } \alpha = \frac{\pi}{2} \text{ или } \alpha = \frac{3 \cdot \pi}{2}; \\ X_{\text{ЛА}} - \sqrt{d^2 \cdot \cos^2(\alpha) - h^2}, & \text{если } \frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{3 \cdot \pi}{2}; \\ X_{\text{ЛА}} + \sqrt{d^2 \cdot \cos^2(\alpha) - h^2}, & \text{в остальных случаях}; \end{cases}$$

$$Y_{\text{ПМ}} = Y_{\text{ЛА}} + d \cdot \sin(\alpha).$$

Здесь x, y – координаты объекта на РЛИ в пикселях, x_0, y_0 – координаты ЛА на РЛИ в пикселях, t – азимут объекта в относительной системе координат (угол, образованный подвижным радиусом с положительным направлением оси Ox), R – дальность до объекта в пикселях (радиус окружности), $K_{\text{ЛА}}$ – курс ЛА, PPM – коэффициент перевода пикселей в метры, α – азимут объекта в географической системе координат, d – дальность до объекта в метрах, $X_{\text{ПМ}}, Y_{\text{ПМ}}$ – координаты объекта в прямоугольной системе координат в метрах, $X_{\text{ЛА}}, Y_{\text{ЛА}}$ – координаты ЛА в прямоугольной системе координат в метрах, h – высота полёта ЛА.

В том случае, если курс ЛА отличен от направления на север, предложено производить пересчёт координат объектов выделяемых на РЛИ с его учётом по следующим формулам:

$$x' = \sin\left(\alpha - \arctg \frac{y}{x}\right) \cdot \sqrt{x^2 + y^2},$$

$$y' = \cos\left(\alpha - \arctg \frac{y}{x}\right) \cdot \sqrt{x^2 + y^2},$$

где α – угол поворота системы координат, x', y' – координаты точки после трансформации системы координат, x, y – координаты точки до трансформации системы координат.

В четвертой главе на примере программы COINS_lv разработана оригинальная технология проектирования системы позиционирования и идентификации объектов. В технологии используются теоретические результаты предыдущих глав. Приведены оригинальные проектные решения. Описаны основные программно-технические свойства разработанной системы, определены её достоинства и указаны неустранённые недостатки. Приведены примеры функционирования системы и результаты её работы.

При позиционировании и идентификации объектов на РЛИ с помощью разработанной программы COINS_lv можно выделить следующие основные свойства программной системы.

1. Целью работы программы является выделение объектов на РЛИ, позиционирование ЛА и окружающих его объектов, информация о которых получена в результате анализа РЛИ, идентификация этих объектов для описания целостной окружающей обстановки ЛА.

2. Программная система производит анализ РЛИ, задаваемого пользователем. При этом необходим ввод дополнительной информации, описывающей условия полёта ЛА, при которых получено заданное изображение, обеспечивающих нормальное функционирование системы.

3. Предусмотрены различные варианты функционирования программы в зависимости от наличия или отсутствия исходной информации о координатах ЛА, задаваемых пользователем.

4. Предусмотрена возможность отдельного выполнения каждой логически законченной функции программы. По желанию пользователя возможно представление и сохранение промежуточных результатов.

5. Конечный результат представлен в виде комплексного изображения, дающего представление об окружающей обстановке ЛА (рис. 6).

6. По желанию пользователя возможно сохранение результатов выполнения программы в текстовый файл отчёта, содержащего информацию о ходе позиционирования и идентификации объектов.

Основными достоинствами реализованной в рамках диссертационной работы программной системы являются следующие.

- 1) Функциональная возможность позиционирования ЛА в условиях автономной навигации, которая до сих пор не предусмотрена в существующих на сегодняшний день системах.

- 2) Уникальная методика построения описания пространственных ситуаций.

- 3) Достаточная независимость от качества исходных изображений при решении задачи идентификации объектов и при этом достижение высокой валидности результатов анализа.

- 4) Оригинальная система визуализации, позволяющая использовать когнитивную составляющую компьютерной графики.

В заключении приводится обобщение основных результатов диссертационной работы, апробация работы, публикации, внедрение результатов.

В приложениях представлены документы о внедрении результатов диссертации, регистрации программных разработок, а также содержатся дополнительные материалы для более глубокого анализа проблематики работы.

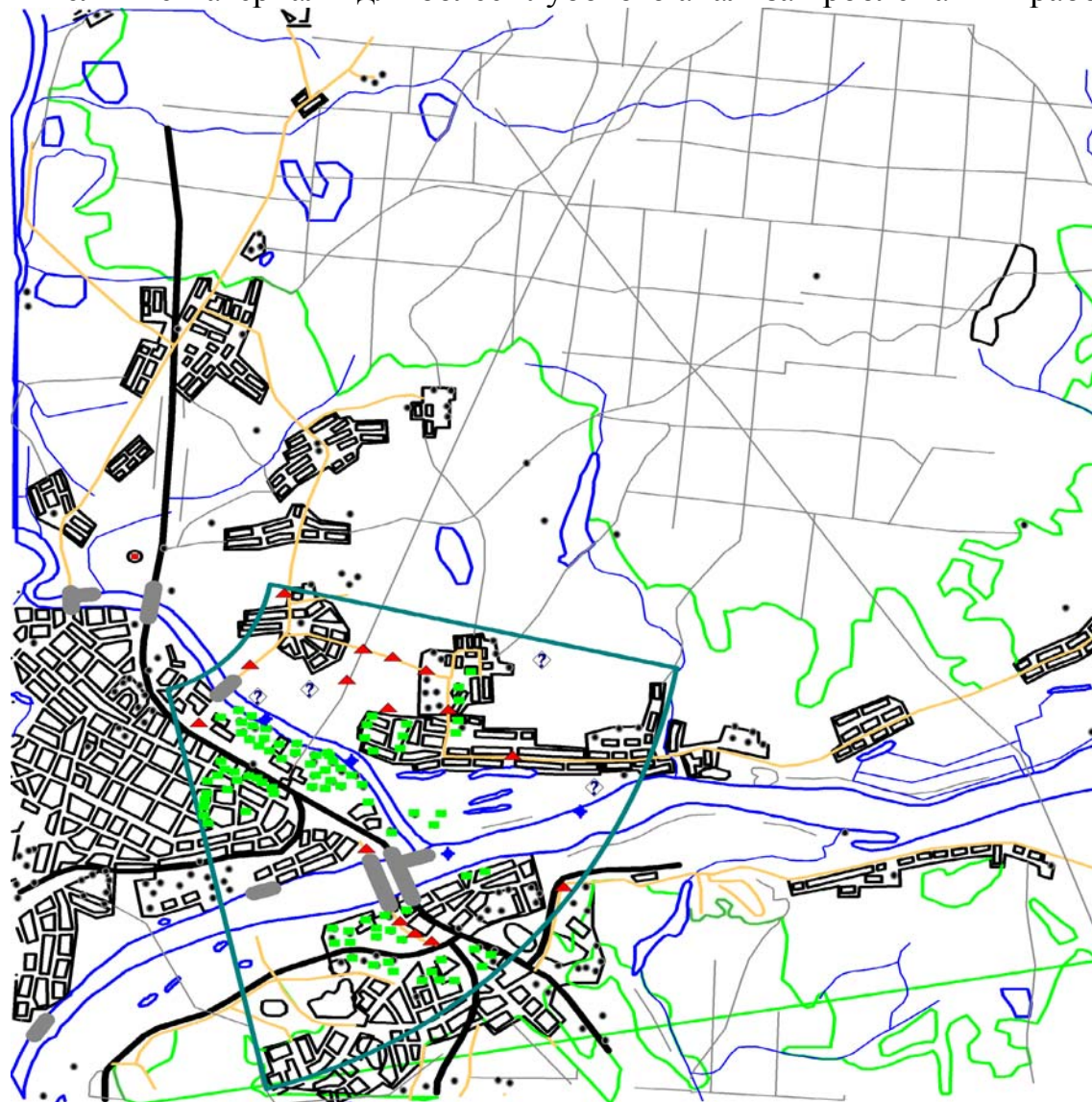


Рис. 6 Результирующее комплексное изображение

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена исследованию и разработке алгоритмов совместной обработки информации от бортовых источников ЛА на основе логики взаимного расположения объектов для современных систем навигации.

В результате выполнения работы получены следующие основные результаты.

1. Приведён обзор и определены недостатки существующих систем получения и совмещения информации об окружающей обстановке ЛА с использованием бортовых средств навигации. Приведена классификация навигационных систем с указанием основных отличий способов получения

информации, выявлены их основные достоинства и недостатки и перспективы их устранения, определен класс рассматриваемых систем навигации.

2. Выполнен анализ существующих методов идентификации объектов, определены перспективные направления их развития и усовершенствования.

3. Разработан математический аппарат выделения объектов на изображении и определения их статистических и физических характеристик.

4. Предложен оригинальный способ формализации предметной области путём введения алгебраической модели пространственной логики. Смоделирована алгебра пространственных ситуаций, позволяющая адекватно и эффективно описывать и анализировать окружающую обстановку ЛА на основе анализа радиолокационной и картографической информации. Определены тип и класс алгебры, исследованы свойства ее операций и свойства отношений соответствующей алгебраической модели. Разработан не имеющий аналогов базовый алгоритм унификации термов описания пространственных ситуаций, с целью определения координат ЛА и позиционирования окружающих его объектов в условиях автономной навигации.

5. Разработана алгебра описания свойств объекта, на основе которой появляется возможность идентификации объектов, выделенных при анализе данных от бортовых источников информации ЛА. Определены тип и класс алгебры, исследованы свойства ее операций.

6. Предложена оригинальная структура базы знаний с применением теорий графов и нечётких множеств, позволяющая эффективно анализировать качественное описание объектов, окружающих ЛА, для определения их принадлежности к классам объектов реального мира. Составлен новый алгоритм унификации термов, полученных с помощью алгебры описания свойств объекта, позволяющий максимально эффективно идентифицировать объекты, выделенные на радиолокационном изображении.

7. Предложена архитектура интеллектуальной системы комплексирования навигационной информации, отражающая назначение, функциональность и взаимодействие всех составляющих элементов системы.

8. Исследована возможность применения и предложен подход к проектированию подсистемы визуализации и представления информации с использованием иллюстративной и когнитивной составляющих компьютерной графики, способствующих эффективному восприятию новых знаний.

9. Приведены основные проектные решения, позволяющие с достаточной эффективностью разрабатывать составляющие систем позиционирования и идентификации объектов с учётом алгоритмов и методов, рассмотренных в теоретической части исследования.

10. Программно реализована система комплексирования информации от бортовых источников ЛА COINS_iv, предназначенная для выделения, позиционирования и идентификации объектов на РЛИ, являющаяся результатом практического применения описанных проектных решений.

11. На примере программы COINS_lv практически подтверждена возможность применения теоретических результатов работы, полученных в диссертации. Рассмотрены достоинства и недостатки реализованной программной системы COINS_lv, определены возможности обобщений, дальнейшего развития идей и методов, использования результатов диссертации в смежных областях.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Filatov I.Yu., Kashirin I.Yu., Syomkin M.A. Positioning and classification of objects by combining radar and cartographic information using methods of artificial intelligence for autonomous navigation systems // 13th Saint Petersburg International Conference On Integrated Navigation Systems, 2006. – СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ "Электроприбор", 2006. – С.173-174.
2. Филатов И.Ю. Использование бортовых радиолокационных станций в современных системах навигации // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докладов 10-й международной науч.-техн. конф. студентов и аспирантов от 2-3 марта 2004г. Т.1. – М.: МЭИ (ТУ), 2004. – С.419-420.
3. Филатов И.Ю. Использование нечётких множеств для классификации объектов в современных системах навигации // Современные проблемы информатизации в моделировании и программировании: Сб. трудов. Вып. 11 (по итогам 11-й международной открытой науч. конф.) / Под ред. д.т.н., проф. О.Я. Кравца. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2006. – С.210-212.
4. Филатов И.Ю. Классификация объектов в задаче совмещения информации от бортовых источников летательного аппарата // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. – Рязань: Рязанская государственная радиотехническая академия, 2005. – С.88-91.
5. Филатов И.Ю. Комплексное использование бортовых и электронных источников информации для построения достоверной окружающей обстановки летательного аппарата // Информатика и прикладная математика: Межвуз. сб. науч. тр. / Отв. ред. И.П. Гиривенко. – Рязань: РГПУ, 2003. – С.88-91.
6. Филатов И.Ю. Позиционирование объектов в инерциальных навигационных системах на основе универсальных алгебр // Современные проблемы информатизации в моделировании и программировании: Сб. трудов. Вып. 11 (по итогам 11-й международной открытой науч. конф.) / Под ред. д.т.н., проф. О.Я. Кравца. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2006. – С.212-214.
7. Филатов И.Ю. Применение ориентированных графов в задаче совместной обработки информации от бортовых источников летательного аппарата // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 14-й Международной науч.-техн. конф. – Рязань: Рязанская государственная радиотехническая академия, 2005. – С.198-199.
8. Филатов И.Ю., Сёмкин М.А. Классификация объектов в задаче комплексирования информации от бортовых источников летательного аппарата

на основе универсальных алгебр // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: Сб. материалов Международной науч.-техн. конф. декабрь 2005 г. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – С.212-215.

9. Филатов И.Ю. Совместная обработка радиолокационной и тепловизионной информации // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 12-й Международной науч.-техн. конф. – Рязань: Рязанская государственная радиотехническая академия, 2004. – С.79-81.

10. Филатов И.Ю. Выделение объектов на радиолокационном изображении с использованием интеллектуальных алгоритмов / Свидетельство об отраслевой регистрации разработки в Отраслевом фонде алгоритмов и программ № 5418. Дата регистрации 23.11.2005.

11. Филатов И.Ю. Сопоставление и анализ радиолокационных изображений и электронных карт местности для бортовых навигационных систем / Свидетельство об отраслевой регистрации разработки в Отраслевом фонде алгоритмов и программ № 5419. Дата регистрации 23.11.2005.

Филатов Иван Юрьевич

**АЛГОРИТМЫ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
ОТ БОРТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА
НА ОСНОВЕ ЛОГИКИ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 07.06.2006 г. Формат бумаги 60×80/16.
Бумага писч. бел. Печать офсетная.
Объем 1,3 печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 16.
Отпечатано на участке оперативной полиграфии ГНУ ВНИМС,
390025, г. Рязань, ул. Щорса, 38/11.