

На правах рукописи

Шелагурова Марина Сергеевна

**СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СИНТЕЗИРОВАННОГО ВИДЕНИЯ ДЛЯ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка
информации (в технических системах)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2015

Работа выполнена в АО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»

Научный руководитель: **Чарышев Шамиль Фаттахович**,
доктор технических наук, профессор ,
главный конструктор АО «РПКБ»

Официальные оппоненты: **Чернодаров Александр Владимирович**,
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник ООО
«НаукаСофт»

Кулабухов Владимир Сергеевич,
кандидат технических наук, доцент,
главный конструктор ОАО МНПК
«АВИОНИКА»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский
авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»

Защита диссертации состоится «08» декабря 2015 г. в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.141.02 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, Госпитальный переулок, дом 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, 2-я Бауманская ул., д.5., стр. 1.

Автореферат разослан «__»_____ 2015 г.

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



Муратов Игорь Валентинович

Актуальность работы. Для повышения безопасности полетов летательных аппаратов (ЛА) в плохих условиях видимости, особенно на этапах взлета, посадки, а также при маловысотном полете предложено использовать системы синтезированного видения (ССВ). Эти системы представляют собой комплекс аппаратных и программных средств для вывода на дисплей 3D-изображения соответствующего внешнего топографического участка, наблюдаемого из кабины пилота. Внедрение на борту летательного аппарата подобных систем требует решение ряда проблем. Для синтеза корректных трехмерных изображений необходимо повысить точность навигационных параметров.

Отсутствие единого представления о трехмерном изображении закабинного пространства на борту различных летательных аппаратов приводит к разунификации методов обучения летного состава и субъективным требованиям к качеству отображения бортовых электронных карт. Поэтому необходимо разработать и применять на борту воздушных судов единую форму отображения закабинной обстановки.

Частота обновления информации в системах синтезированного видения согласно международным стандартам должна быть на уровне не менее 15 Гц. Для достижения такого результата необходимо разработать структуру записи информации, оптимизированную для программной реализации, и сформировать требования к самой вычислительной среде.

В настоящее время разработка систем синтезированного видения активно ведется по всему миру: в Канаде, во Франции, Израиле, Польше. Лидером в этой области является США. Однако разрабатываемые системы имеют ряд существенных недостатков. Эти недостатки связаны с качеством выводимых изображений, отсутствием объектового состава (ОС) и аэронавигационной информации (АНИ), что ухудшает восприятие трехмерных сцен и снижает ситуационную осведомленность экипажа.

Кроме этого отсутствие описания форматов данных приводит к трудностям получения бортовой информации. Совмещение информационных слоев цифровой картографической информации (ЦКИ), АНИ и ОС в бортовых вычислительных системах приводит к необходимости создания бортовых баз данных (ЦКИ, АНИ и ОС) в единой системе координат.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы - разработка и исследование методов и алгоритмов обеспечения режима синтезированного видения с использованием цифровой ЦКИ, АНИ, а также данных об ОС.

В настоящее время для реализации в бортовых комплексах ЛА режима синтезированного видения недостаточно исследованы и формализованы методы и алгоритмы отображения рельефа местности. Кроме того, отсутствуют принципы построения многофункциональной вычислительной среды, хранящей и обрабатывающей ЦКИ, АНИ и ОС. Практически не проработаны вопросы обработки исходной информации с дальнейшей конвертацией в бортовой формат. Поэтому при исследовании методов и средств обеспечения режима синтезированного видения в бортовых комплексах ЛА необходимо решить следующие задачи:

- Анализ методов отображения рельефа местности в существующих системах

синтезированного видения.

- Разработка и исследование методов и алгоритмов режима синтезированного видения, удовлетворяющих требованиям и возможностям бортовых систем обработки информации.
- Разработка алгоритмов отображения объектового состава для повышения ситуационной осведомленности экипажа.
- Исследование методов оценки вектора состояния летательного аппарата.
- Формирование требований к бортовым базам цифровой картографической, аэронавигационной, включая базы данных (БД) объектового состава.
- Разработка конверторов для преобразования исходных баз данных в бортовой формат.
- Практическая реализация методов и алгоритмов синтезированного видения в бортовых комплексах летательных аппаратов, оценка быстродействия предложенных алгоритмов в сочетании с требованиями к аппаратным средствам.
- Исследование возможности оперативного предоставления данных конечным пользователям.

Научная новизна

1. Предложен метод отображения рельефа местности в бортовых вычислительных системах на основе комплексного использования гипсометрической окраски с линейной интерполяцией цветов полигонов рельефа, матрицы освещенности, специально подготовленной текстуры со встроенной пунктирной сеткой.
2. Предложен новый метод покрытия полигонов рельефа местности на основе использования высотно-текстурной окраски пикселей изображения.
3. Разработан перспективный алгоритм подготовки текстур для бортовой реализации на основе реальных фотоснимков местности.
4. Разработаны новые алгоритмы вывода картографической и аэронавигационной информации об объектовом составе точечной, площадной, линейной локализации для повышения ситуационной осведомленности.
5. Предложен метод оценки вектора состояния летательного аппарата в пространстве на основе корреляционно-экстремальной обработки изображений от датчиков технического зрения (ДТЗ) и картографической информации.
6. Разработаны новые алгоритмы подготовки унифицированной и оптимизированной для программной реализации бортовой базы данных режима синтезированного видения.
7. Исследованы и сформированы требования к вычислительной среде, обеспечивающей реализацию режима синтезированного видения на борту летательного аппарата.

Практическая значимость работы

1. Разработанная структура базы авиа-данных позволила создать покрытие всего Земного шара, таким образом, обеспечив непрерывный и целостный поток информации во время работы системы синтезированного видения.
2. Разработанная структура базы данных универсальна, поэтому может быть использована как в бортовых, так и в наземных комплексах и геосервисах.

3. Структура БД, а также форматы записи информации оптимизированы для программной реализации, что позволяет обеспечивать частоту обновления кадров 15 Гц согласно международному стандарту DO-317.
4. Программно-математическое обеспечение (ПМО) синтезированного видения, разработанное на основе предложенных методов и алгоритмов, обладает универсальностью и кроссплатформенностью, что позволяет использовать его для всех типов летательных аппаратов.
5. ПМО вывода трехмерных сцен синтезирует эргономичные изображения, позволяющие летчику лучше ориентироваться в пространстве в плохих условиях видимости, что подтверждено соответствующими актами.
6. Предложенный метод оценки вектора состояния летательного аппарата позволяет скорректировать параметры навигационной системы для вывода актуальных изображений закабинного пространства.
7. На основе разработанной методики определения характеристик аппаратных средств для реализации режима синтезированного видения сформированы требования к вычислительной среде.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие новые положения и результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Методы формирования рельефа местности в бортовых вычислительных системах.
2. Алгоритм подготовки текстур на основе реальных фотоснимков местности для использования при заливке полигонов рельефа.
3. Новые алгоритмы вывода картографической и аэронавигационной информации об ОС точечной, площадной, линейной локализации, направленные на улучшение ситуационной осведомленности экипажа.
4. Метод оценки вектора состояния ЛА в пространстве на основе экстремально-корреляционной обработки изображений от датчиков технического зрения и картографической информации.
5. Структуры, системы координат и форматы записи бортовой базы данных системы синтезированного видения.
6. Способ оценки быстродействия разработанного программного обеспечения на реальных бортовых вычислителях и формирование требований к вычислительной среде системы синтезированного видения.

Внедрение результатов работы. На основании результатов исследований, отраженных в диссертационной работе, разработано программно-математическое обеспечение синтезированного видения, которое реализовано, что подтверждено соответствующими актами:

- в интегрированной авиационной системе синтезированного и улучшенного видения 2-ой генерации (ИАССУВ 2G) разработки ОАО «Научно-конструкторское бюро вычислительных систем» (ОАО «НКБВС»);
- в бортовой графической станции (БГС-5) и многофункциональном индикаторе МФИ-10ВМ разработки АО «РПКБ»
- на стенде прототипирования кабины магистрального самолета 21 века (МС-21) в ФГУП ГосНИИАС;

ПМО системы синтезированного видения было применено для реализации режима маловысотного полета в ходе опытно-конструкторской работы по созданию бортового радиоэлектронного оборудования вертолета Ми-28Н и его модернизированной версии, что подтверждено соответствующими актами. ПМО системы синтезированного видения реализовано в модели наземного комплекса подготовки полетных данных.

Апробация результатов диссертации. Результаты работы докладывались автором и одобрены на V Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления (Пос. Домбай, 2010), на XII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам (Санкт-Петербург, 2010), на конференции молодых ученых и специалистов Московского отделения Международной общественной организации «Академия навигации и управления движением» (Москва, 2010), на XXXIV Академических чтениях по космонавтике (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2010), на Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2010, 2011), на Международной научно-технической конференции «Системные проблемы надёжности, качества, информационно-телекоммуникационных и электронных технологий в управлении инновационными проектами (Сочи, 2010, 2013), на Международной специализированной конференции и выставке «ИНТЕРАЭРОКОМ», «Аэропорты региональных и местных воздушных линий» (Санкт-Петербург, 2011), на Всероссийской научно-технической конференции «Моделирование авиационных систем» (ФГУП ГосНИИАС, Москва, 2011, 2012), на Международной конференции «Космическая съемка - на пике высоких технологий» (Домодедово, 2010, 2011, 2012), на Международном Форуме «Интеграция геопространства - будущее информационных технологий» (Домодедово, 2013), на Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского» (Москва, 2014).

Публикации по работе. Основные теоретические положения и практические результаты работы опубликованы в 28-и статьях и докладах, в том числе в 9-ти изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, общим объемом 4.2 п.л., защищены 3-мя патентами РФ на изобретения и авторским свидетельством, изложены в 6-и научно-технических отчетах по темам научно-исследовательских работ.

Личный вклад автора

- Исследование методов отображения рельефа местности и предложение методов, учитывающих статистические свойства поверхности, с применением методов повышения эргономичности изображения;
- Разработка новых алгоритмов вывода картографической и аэронавигационной информации об объектовом составе точечной, площадной, линейной локализации для повышения ситуационной осведомленности;
- Разработка форматов бортовой записи цифровой картографической, аэронавигационной информации, объектового состава и алгоритмов конвертеров преобразований исходных данных в бортовой вид;
- Разработка бортовой базы данных цифровой картографической,

аэронавигационной информации, объектового состава с предложением инструмента удобного и оперативного доступа к этим данным.

- Разработка методики расчета параметров вычислительной среды для реализации режима синтезированного видения.
- Организация и проведение экспериментальных исследований разработанных методов и алгоритмов, в том числе натурных испытаний.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов по главам, общих выводов, списка литературы и источников, приложения. Работа содержит 223 страницы текста, включающего 93 рисунка и 30 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, определены цель и задачи исследования, изложены основные научные результаты, выносимые на защиту, отражены практическая ценность и реализация результатов, а также определены структура и содержание работы.

В первой главе представлена общепринятая структура системы синтезированного видения и указаны ее недостатки. В связи с этим предложена модифицированная структура, предполагающая наличие не только бортового комплекса, но и наземного комплекса подготовки полетных данных (НКППД), на который возлагается большой объем задач по обработке информации (Рис.1).

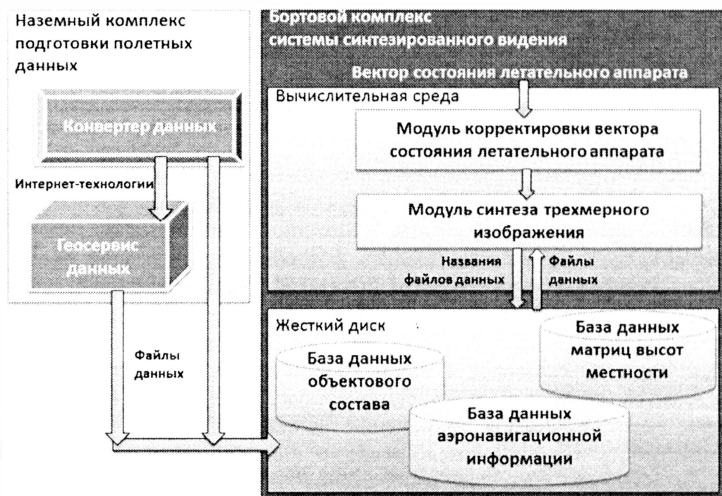


Рис.1.

Модифицированная структура ССВ

Наземная часть состоит из двух основных блоков - это комплекс программных средств для конвертации исходных данных в бортовой вид и геосервис для общедоступного и оперативного способа предоставления информации посредством интернет-технологий. В бортовом комплексе системы синтезированного видения дополнительно введен блок обработки вектора состояния летательного аппарата с целью корректировки навигационных

параметров. Поскольку существующие системы синтезированного видения формируют на экране дисплея только рельеф местности без объектового состава и аэронавигационной информации, то в общую базу данных дополнительно введены два раздела, описывающие недостающие слои информации.

Проведен анализ методов отображения трехмерного рельефа местности. Существуют два основных метода синтеза подстилающей поверхности. Согласно первому методу каждому пикселу изображения назначается цвет по гипсометрической шкале в зависимости от высоты в этой точке. Данный метод имеет существенный недостаток, связанный с появлением эффекта статичности изображения на ровных участках пролетаемой местности. Для второго метода применяются текстуры для покрытия 3D-полигонов рельефа. Этот метод не дает летчику представления о высотной составляющей пролетаемой местности.

Предложен новый метод, основанный на комплексном использовании гипсометрической окраски, специально подготовленной текстуры и матрицы освещенности. Его отличительная особенность заключается в следующем. На основе практических экспериментов и эргономической оценки полученных результатов сформирована гипсометрическая шкала, состоящая из восьми основных компонентов. Разработана мелкозернистая текстура с нанесенными штрих-пунктирными линиями, образующими сетку поверхности для устранения эффекта статичности изображения. Для увеличения реалистичности изображения, а именно для формирования игры света и тени, созданы матрицы освещенности, которые рассчитываются с учетом вектора нормали к поверхности и вектора направления источника. Изображения, получаемые данным методом, дают летчикам представление о высотной составляющей окружающего закабинного пространства. Но отсутствие объектового состава приводит к ухудшению ситуационной осведомленности экипажа.

В связи с этим исследован метод отображения рельефа местности, в основе которого лежит покрытие полигонов 3D-рельефа реальными фотоснимками. Но существует проблема получения исходной информации, а именно актуализированных ортонормированных фотоснимков с высокой разрешающей способностью, точной географической привязкой и без каких либо искажений.

Разработан новый метод отображения рельефа местности. Для данного метода сформирована высотно-текстурная шкала, которая содержит текстуры основных типов поверхности, а именно воды, земли, лесного массива, горной породы и снега, а также выбраны соответствующие данным типам поверхности интервалы высот. Благодаря применению шейдерных технологий, специальных программ, работающих непосредственно с видеопамятью и поддерживаемых аппаратно, каждому пикселу изображения присваивается своя текстура в зависимости от высоты. При реализации данного метода получают изображения, повторяющие свойства поверхности, однако отсутствует объектовая составляющая трехмерного пространства.

Следующая задача, которая была решена в диссертационной работе - это разработка алгоритмов вывода объектового состава для повышения ситуационной осведомленности экипажа. Объектовый состав представлен объектами картографической и аэронавигационной обстановки.

Точечные объекты картографической информации можно представить полным описанием геометрической формы. Тогда их синтезированное отображение будет соответствовать реальным данным. Для случаев, когда подобную полную информацию не удастся сформировать, разработана Библиотека 3D-условных примитивов, классификатор объектов и файл примитивов точечного ОС.

Для отображения площадных и линейных объектов разработан новый алгоритм, основу которого составляет использование в качестве исходной информации цифровых векторных карт. Карты предварительно фильтруются путем выделения основных слоев: гидрография, растительный покров, дорожная сеть, населенные пункты. Далее формируются текстуры с применением технологии MIP-mapping и сжатием массива цветов.

В ходе исследований аэронавигационной информации предложена концепция, согласно которой выводится не вся информация, содержащаяся в файлах аэронавигационных данных, а только та, которая необходима экипажу. К такой информации относятся точечные объекты, типа: аэроузлы, радиомаяки, радиостанции. К площадным – запретные зоны, ограничительные районы и контролируемые воздушные пространства. Для объектов аэронавигационной информации разработана Библиотека условных примитивов, файл классификатора и файл примитивов.

Исследования данных о взлетно-посадочных полосах (ВПП) показали, что их неправильное отображение может ввести в заблуждение экипаж и привести к трагическим последствиям. Поэтому для отображения важно, чтобы исходные данные о ВПП были достоверны и полностью описывали ее геометрию и высоту.

Во второй главе разработана система записи бортовых данных, таких как матрицы высот местности (MBM), фотоснимки местности, объектовый состав точечной локализации, объектовый состав площадной и линейной локализации, аэронавигационная информация, взлетно-посадочные полосы, эталонная информация.

Основу построения трехмерного рельефа местности составляют матрицы высот. В настоящее время существует множество различных форматов, описывающих поверхность Земного шара. Среди наиболее известных такие форматы как DEM, DTED. Однако они имеют ряд недостатков. В силу того, что Земля имеет форму шара, ее необходимо разбивать на зоны. Существующие форматы не описывают полярные зоны, неполярные зоны не состыкованы на краях для задач трехмерной визуализации.

В диссертации разработана новая структура базы данных матриц высот местности, которая описывает все зоны, включая полярные. Неполярные зоны формируются таким образом, что в пределах зоны отношения дискретов записи по долготе высот рельефа для соседних зон кратны значению «2», что позволяет синтезировать трехмерные изображения на стыках зон без искажений.

В силу того, что каждая зона описывает достаточно большую поверхность Земного шара, необходимо разбивать ее на небольшие фрагменты. Исследование уже существующих форматов представления матриц высот местности показал, что целесообразно каждую зону делить на файлы, покрывающие площадь размером 30 минут по долготе и 20 минут по широте в соответствии с разграфкой

номенклатурных листов векторного формата цифровых карт рельефа масштаба 1:100000. При этом для обеспечения работы бортовых вычислителей системы синтезированного видения в реальном масштабе времени показана необходимость деления файлов матриц высот местности на небольшие кадры, подгружаемые в оперативную память. Таким образом, БД МВМ представляет собой набор файлов, покрывающих одинаковую площадь, с именами, указывающие привязку файла в географической системе координат, и уникальным расширением.

Для фотоснимков местности предложено использовать такую же структуру БД, как и для МВМ, с подобными названиями файлов и уникальным расширением. Поскольку на борту летательного аппарата использовать исходные данные невозможно в силу неоптимальной записи информации, то необходим этап подготовки текстур из реальных фотоснимков местности. Преобразование информации происходит в наземном комплексе подготовки полетных данных. Алгоритм конвертации данных заключается в разбиении фототекстур на кадры, соответствующие кадрам МВМ, с последующим применением технологии MIP-mapping и сжатием массива цветов.

Для отображения точечного ОС на борту ЛА необходимо, чтобы описательные характеристики объектов были оптимизированы и представлены единым форматом для всего объектового состава. Поэтому была разработана бортовая структура файла для объектового состава. При этом для отображения в бортовом ПМО 3D-точечного объектового состава необходимо создать БД ОС. Предложено создавать файлы, охватывающие площадь размером, равным файлам МВМ с ОС, контрольная точка которых входит в данные границы, с названиями аналогичными МВМ и с уникальным расширением.

Преобразование площадной и линейной информации из векторных цифровых карт в текстуры происходит в НКППД. Растровые файлы с объектами линейной и площадной локализации образуют БД аналогично БД фотоснимков местности с такими же названиями файлов и с уникальным расширением.

В ходе диссертационных исследований изучена структура файла аэронавигационной информации формата ARINC 424 и разработана оптимизированная для программной реализации бортовая структура записи АНИ. Кроме этого, предложены уникальные расширения и названия бортовым файлам АНИ для дальнейшего удобного поиска этой информации.

Разработана унифицированная и оптимизированная для программной реализации бортовая структура записи файла ВПП, не зависящая от типа исходной информации. Кроме этого, для отображения в бортовом ПМО ВПП в 3D-пространстве необходимо создать бортовую БД ВПП. Предложено создавать БД ВПП аналогично БД ОС: набор файлов, охватывающих площадь размером, равным файлам МВМ с ВПП, контрольная точка которых входит в данные границы, с идентифицирующим расширением и с именами, аналогичными именам МВМ.

Для формирования актуальных трехмерных сцен в ССВ необходимо на вход модуля генерации изображений закабинного пространства подавать скорректированные навигационные параметры. В диссертационной работе предложен метод оценки вектора состояния летательного аппарата в пространстве на основе корреляционно-экстремальной обработки изображений от датчиков

технического зрения и картографической информации. Отличительной особенностью данного метода является формирование комплексного текущего изображения (ТИ) и эталонного (ЭИ). В общую структуру дополнительно вводятся последовательно соединенные Блок формирования комплексного текущего изображения и Блок пороговой обработки ТИ, а также последовательно соединенные Блок хранения данных и Блок формирования эталонного изображения (Рис.2).



Рис.2.

Структура корреляционно-экстремальной обработки вектора состояния ЛА

Предложено совмещать изображения от датчиков инфракрасного диапазона и видимого методом смешивания цветов пикселей с последующим применением к результирующему изображению алгоритмов сглаживания для устранения эффекта расфокусирования. Кроме этого предложен алгоритм формирования эталонного изображения, основу которого составляет использование двух типов информации: карт векторного формата и фотоснимков местности. Первоначально в НКППД происходит анализ и обработка карт векторного формата и выделяются контура согласно разработанному классификатору информации. Полученная бинарная информация (эталонная) формируется в виде файлов, составляющих БД, аналогичную БД МВМ со своими уникальным расширением и именами. Далее проводится процедура выделения границ на фотоснимках методом Канни. После чего выполняется процедура сравнения контуров карты и полученных границ на фотоснимках. Координаты пикселей границ на фотоснимках в «коридоре» шириной D_{pix} вдоль контуров цифровой карты заносятся в эталонную информацию.

В Главе 3 представлены результаты моделирования предложенной системы информационного обеспечения синтезированного видения.

В разработанной модели наземного комплекса подготовки полетных данных обеспечивается выполнение следующих функций:

- загрузка исходных данных (ЦКИ в формате SXF, АНИ в формате ARINC 424, ОС в формате .xls, ортофотопланы в форматах jpeg, bmp) в БД НКППД;
 - конвертация исходных данных в бортовые форматы;
 - визуализация исходных баз данных в режиме двумерной индикации;
 - визуализация конвертированных данных в режимах 3D-индикации.
- Представлены результаты моделирования следующих методов ССВ:

1. Метод комплексного использования гипсометрической шкалы, специально подготовленной текстуры со встроенной пунктирной сеткой для передачи эффекта движения при полете и матриц освещенности для формирования игры света и тени (Рис. 3).
2. Метод высотно-текстурной окраски пикселей изображения (Рис. 4).
3. Метод покрытия MBM текстурами, подготовленными из реальных фотоснимков местности (Рис. 5).

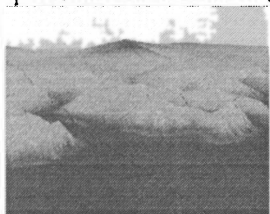


Рис. 3.

Метод комплексного
использования

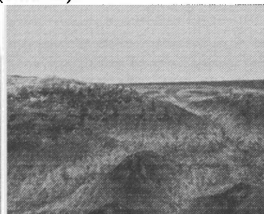


Рис. 4.

Метод высотно-
текстурной шкалы

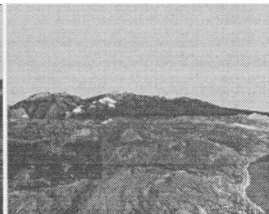


Рис. 5.

Метод покрытия MBM
реальными
фотоснимками местности

Анализ полученных результатов показал, что первый метод отображения закабинного пространства в целом обеспечивает выполнение режима синтезированного видения при уровне нервно-эмоционального напряжения и резервах внимания летчика, соответствующих сложности его работы на этапах взлета, посадки и маловысотного полета, что подтверждено соответствующими актами проведенных эргономических исследований. Данный вид отображения рельефа местности уже применяется как в бортовых, так и в наземных комплексах. Изображения, получаемые данным методом, дают летчикам представление о высотной составляющей окружающего закабинного пространства.

При реализации второго метода получают изображения, повторяющие свойства поверхности, но отсутствует объектовая составляющая трехмерного рельефа. Кроме этого требуется применение шейдерных технологий, которые должны поддерживаться аппаратно. На данный момент аппаратные возможности бортовых графических станций сильно ограничены, поэтому в ближайшее время этот способ может быть применим только на персональных компьютерах в стендах прототипирования или тренажерах.

Метод покрытия полигонов рельефа фототекстурами имеет ряд недостатков. Существует проблема получения исходной информации, а именно актуализированных ортонормированных фотоснимков с высокой разрешающей способностью, точной географической привязкой и без каких либо искажений. В результате использования данного способа получают изображения местности, похожие на видеоизображения, получаемые от датчиков технического зрения. Достигнутая реалистичность может ввести в заблуждение экипаж и впоследствии негативно повлиять на восприятие закабинного пространства и безопасность полета. Кроме этого, при совмещении изображений, получаемых от систем синтезированного видения и датчиков технического зрения, комбинированное изображение обладает эффектом «раздвоения». Предложенный способ

нецелесообразен для применения на борту летательных аппаратов, но может использоваться в наземных комплексах.

Проведено программно-математическое обеспечение методов повышения ситуационной осведомленности экипажа:

- за счет отображения объектового состава;
- путем вывода аэронавигационной информации в 3D-пространстве.

Предложен алгоритм формирования объектового состава, который состоит из двух частей. В НКППД происходит конвертация исходной информации в файлы с бортовой структурой записи и размером, равным размеру файлов матриц высот местности с уникальными названиями и расширениями. В бортовом комплексе системы синтезированного видения объекты встраиваются в рельеф местности. Однако для каждого типа объектов существуют особенности алгоритмов отображения.

Особенностью интеграции точечных объектов в рельеф местности является привязка объектов к рельефу, то есть присваивание точкам основания объектов высот из матрицы высот рельефа, и последующее наложение на полигоны объектов текстур (Рис. 6).

Для площадного и линейного ОС используются заранее подготовленные текстуры для наложения на 3D – полигоны рельефа (Рис. 7).

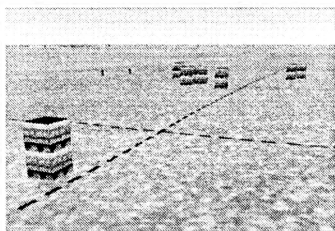


Рис. 6.



Рис. 7.

Отображение точечного ОС

Отображение площадного и линейного ОС

Для АНИ предложена следующая концепция отображения:

- точечной АНИ в виде трехмерных объектов на этапах взлета, посадки ЛА и при маловысотном полете (Рис. 8), в виде знаков-пиктограмм на этапах маршрута (Рис. 9);
- площадной АНИ в виде трехмерных моделей на этапах маршрута (Рис. 10).

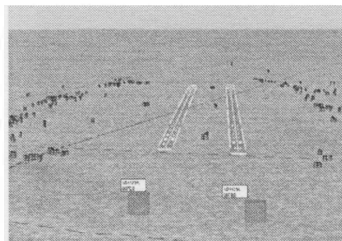


Рис. 8.

Отображение 3D- моделей точечных объектов АНИ

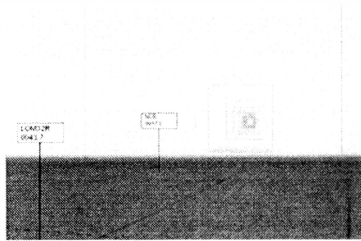


Рис. 9.

Отображение АНИ в виде знаков-пиктограмм



Рис. 10.

Отображение площадных объектов АНИ

При этом все трехмерные модели объекты должны быть прозрачными, чтобы не перекрывать видимость рельефа.

Чтобы исключить рассогласования отображения ВПП и рельефа в пространстве по высоте, точкам рельефа под полосой предложено присваивать значение высот точек полосы. Также происходит наложение специально подготовленной текстуры, повторяющей поверхность реальной полосы, на полигоны ВПП (Рис. 11, 12).

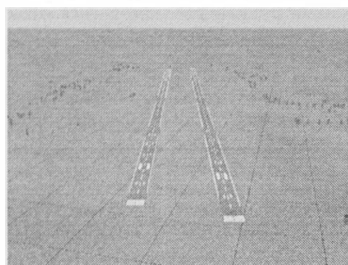


Рис. 11.

Пример отображения ВПП аэродрома
Шереметьево

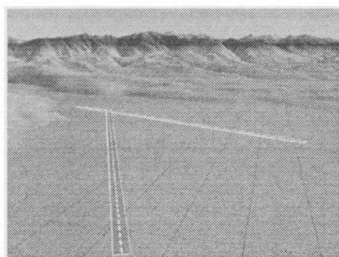


Рис. 12.

Пример отображения ВПП аэродрома
Адлер

Эргономическая оценка полученных результатов показала, что вывод ОС в трехмерном виде помогает экипажу ориентироваться в пространстве, что положительно сказывается на психофизическом состоянии летчика, а, следовательно, приводит к повышению безопасности полета.

Надо отметить, что в диссертационной работе использованы результаты, полученные автором в ходе прикладных научных исследований, проводимых при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки России по соглашению № 14.579.21.0051 от 16.09.2014 г. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57914X0051.

Глава 4 посвящена практической реализации методов и алгоритмов синтезированного видения. Разработанное программно-математическое обеспечение системы синтезированного видения универсально и не зависит от типа аппаратной реализации. Однако для поддержки вывода трехмерных сцен на уровне 15 Гц согласно международному стандарту DO-317 существуют требования к вычислительной среде.

Реализация вычислительной среды должна осуществляться на базе следующих высокопроизводительных процессорных модулей:

- центральный унифицированный процессор;
- графический процессор трехмерной графики;

- модулей памяти.

Разработана методика расчета характеристик вычислительной среды. Для определения объема оперативной памяти модуля центрального процессора необходимо провести:

- расчет количества математических операций, выполняемых при синтезе трехмерных сцен;
- расчет размера выделяемой памяти при загрузке данных MBM, ОС для кадров в экране.

Для определения объема видео памяти модуля графического процессора необходимо рассчитать максимальное количество текстур, используемых одновременно в кадрах, попавших в экран.

Для определения объема модулей памяти необходимо произвести расчет размера всей информации, включая базу данных матриц высот местности, объектового состава, аэронавигационной информации

Полученные с помощью разработанной методики результаты приведены в Таблице:

<i>Наименование параметра</i>	<i>Значение</i>
Объем памяти центрального процессора	1 Гб
Объем памяти графического процессора	1 Гб
Объем модуля памяти	512 Гб

Разработанное ПМО ССВ апробировано на следующих аппаратных реализациях (Рис. 13-16):

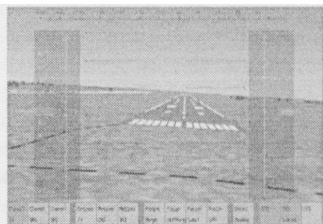


Рис. 13.

Стенд прототипирования кабины МС-21, разработанного по заказу фирмы «Иркут» в ГосНИИАС, частота вывода кадров 60 Гц

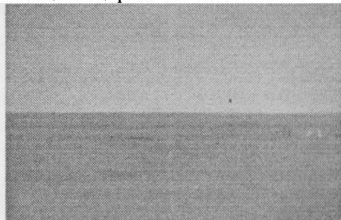


Рис. 14.

ИАССУВ 2G разработки ОАО «НКБ ВС», построенная по технологии ИМА в форм-факторе VPX типоразмера 3U, частота вывода кадров 23 Гц

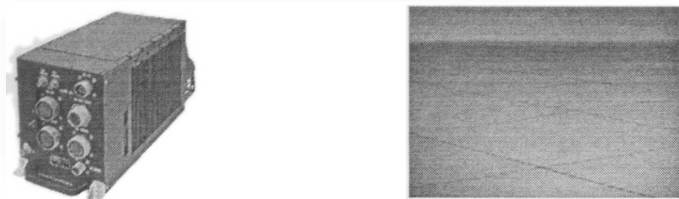


Рис. 15.

БГС-5 разработки АО «РПКБ», частота вывода кадров 20 Гц

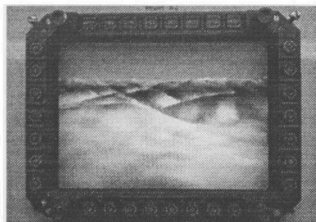


Рис. 16.

Многофункциональный десятидюймовый индикатор МФИ-10ВМ разработки АО «РПКБ», частота вывода кадров 35 Гц

Таким образом, разработанные алгоритмы отображения матрицы рельефа местности, объектового состава, применимы на большинстве современных бортовых графических станциях, в том числе построенных по ИМА-технологии.

В ходе диссертационных исследований проработан вопрос оперативного обеспечения систем синтезированного видения бортовыми данными. Предложено воспользоваться интернет-ресурсами, в частности создать геопортал. В диссертации представлена необходимая структура базы данных геопортала, а также его дизайн и функциональность.

В общих выводах отмечено, что выполненные в диссертационной работе исследования позволили сформировать научно-методические основы системы информационного обеспечения синтезированного видения. Данная система представляет собой полный цикл от загрузки исходных данных картографической и аэронавигационной информации и последующей их конвертации в бортовые форматы до синтеза изображения закабинного пространства в реальных бортовых вычислителях.

Разработана универсальная структура базы данных, описаны форматы записи информации, что позволяет создать общедоступный и оперативный доступ к информации.

Разработанная система синтезированного видения превосходит свои аналоги по качеству формируемых изображений. Благодаря предложенному методу корректировки навигационных параметров синтезированные трехмерные сцены актуальны и корректны. Новые методы покрытия полигонов рельефа позволяют сформировать эргономичные изображения закабинного пространства, положительно влияющие на психофизическое состояние экипажа. Впервые предложены алгоритмы отображения картографической, аэронавигационной

информации об объектовом составе точечной, площадной, линейной локализации в трехмерном пространстве, что позволяет увеличить ситуационную осведомленность экипажа.

Тема и содержание диссертации отражены в следующих основных научных работах.

Публикации в периодических изданиях ВАК:

1. Шелагурова М.С., Сазонова Т.В. Методы и алгоритмы автоматического распознавания объектов целевой обстановки в бортовых комплексах летательных аппаратов // *Авиакосмическое приборостроение*. 2008. № 11. С. 41 - 44. (0,69/0,34).
2. Шелагурова М.С., Джанджгава Г.И., Сазонова Т.В. Использование картографической информации при распознавании стационарных наземных объектов в беспилотных летательных аппаратах // *Авиакосмическое приборостроение*. 2009. № 9. С. 32 - 37. (0,88/0,44).
3. Комплексное использование цифровой картографической информации для решения задач навигации и индикации на всех этапах полета современных летательных аппаратов/ М.С. Шелагурова [и др.] // *Авиакосмическое приборостроение*. 2011. № 3. С. 11- 20. (1,19/0,59).
4. Инновационные подходы к модернизации информационного поля кабины летательных аппаратов за счет использования авианавигаторов серии «Символ» / М.С. Шелагурова [и др.] // *Авиакосмическое приборостроение*. 2011. № 6. С. 3 - 11. (1,06/0,53).
5. Шелагурова М.С., Сазонова Т.В. Разработка технологии и инструментальных средств по созданию и функционированию геопортала бортовой цифровой картографической и аэронавигационной информации // *Авиакосмическое приборостроение*. 2012. № 2. С. 46 - 49. (0,88/0,44).
6. Шелагурова М.С., Сазонова Т.В., Лещук О.Г. Разработка электронного портфеля летчика // *Авиакосмическое приборостроение*. 2012. № 2. С. 50 - 55. (0,62/0,31).
7. Шелагурова М.С. Исследование методов получения информации о взлетно-посадочных полосах с целью отображения в системах синтезированного видения // *Авиакосмическое приборостроение*. 2014. № 11. С. 12 - 20. (0,56/0,56).
8. Исследование вопросов формирования бортовой базы данных о рельефе земной поверхности / М.С. Шелагурова [и др.] // *Авиакосмическое приборостроение*. 2014. № 11. С. 3 - 11. (0,69/0,34).
9. Шелагурова М.С. Увеличение ситуационной осведомленности экипажа на этапах взлета, посадки, при маловысотном полете за счет формирования объектового состава в системах синтезированного видения // *Авиакосмическое приборостроение*. 2015. № 3. С. 33 - 43. (0,69/0,69).

Патенты и авторские свидетельства:

1. Пат. 2525601 РФ, МПК G01C 23/00. Комплексная корреляционно-экстремальная система / Шелагурова М.С. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Раменское приборостроительное конструкторское бюро". № 2000131736/09 ; заявл. 18.02.2013; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.

2. Пат. 2457438 РФ, МПК G01C 23/00. Авианавигатор / Шелагурова М.С. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Раменское приборостроительное конструкторское бюро". № 2011111947/28 ; заявл. 29.03.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21. – 7 с.
3. Пат. 2558647 РФ, МПК G01C 23/00, G01D 7/00. Навигационный комплекс, использующий естественные и искусственные поля земли / Шелагурова М.С. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Раменское приборостроительное конструкторское бюро". № 2014115181/28 ; заявл. 15.04.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22. – 6 с.
4. А.с. 2011614590 РФ. Программно-математическое обеспечение авианавигатора (ПО-Авианавигатор) / Шелагурова М.С. [и др.] ; правообладатель Открытое акционерное общество "Раменское приборостроительное конструкторское бюро". № 2011612933; опубл. 09.06.2011.

Научно-исследовательские работы (НИР):

1. Разработка технологии и инструментальных средств по созданию и функционированию единого банка бортовой ЦКИ и АНИ: отчет о НИР. Научный руководитель НИР Сазонова Т.В. / Шелагурова М.С. [и др.]. Раменское : АО РПКБ, 2012. 67 с.
2. Разработка прототипов вычислительных и индикационных ИМА-систем КБО 2-й генерации и исследование новых функциональностей и технологии интеграции: отчет №13/0054 о НИР. Научный руководитель НИР Гущеваров М.Ю. / Шелагурова М.С. [и др.]. Раменское : АО РПКБ, 2012. 139 с.
3. Разработка и исследование на стационарных и летных демонстраторах усовершенствованных прототипов образцов комплектующих вычислительных и индикационных систем, а также новых функциональностей, направленных на повышение осведомленности и оптимизацию управления воздушным судном: отчет №8/0043 о НИР. Научный руководитель НИР Гущеваров М.Ю. / Шелагурова М.С. [и др.]. Раменское : АО РПКБ, 2013. 322 с.
4. Разработка и исследование системного и пользовательского программного обеспечения процессорных модулей ИМА-систем для обеспечения новых функциональностей, направленных на повышение осведомленности и оптимизацию управления воздушным судном : отчет №1/36-059 о НИР. Научный руководитель НИР Сазонова Т.В. / Шелагурова М.С. [и др.]. Раменское : АО РПКБ, 2014. 141 с.
5. Проведение исследований по формированию платформы ИМА на базе стандартных взаимозаменяемых модулей малой размерности и низкой стоимости и реализации функциональностей с учетом решений проблем графики в ИМА-системах: отчет №1/20-059 о НИР. Научный руководитель НИР Сазонова Т.В./Шелагурова М.С. [и др.]. Раменское:АО РПКБ, 2014. 183 с.
6. Исследования по созданию кроссплатформенного программного модуля синтезированного видения: отчет №1/068 о НИР. Научный руководитель НИР Сазонова Т.В. / Шелагурова М.С. [и др.]. Раменское : АО РПКБ, 2015. 197 с.