



На правах рукописи

Шкуратов Антон Викторович

**АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА
ЛЕСОПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2011

Работа выполнена на кафедре информатики и проектирования систем
Института кибернетики ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Сонькин Михаил Аркадьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Спицын Владимир Григорьевич

доктор физико-математических наук, профессор
Белов Владимир Васильевич

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт космических исследований РАН,
г. Москва

Защита состоится «22» декабря 2011 г. в 15:00 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.06 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84/3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского 55.

Автореферат разослан «21» ноября 2011 г.

И.о. ученого секретаря
совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций,
д.т.н., профессор



П. Цапко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Ежегодно в Российской Федерации происходят тысячи лесных пожаров, приносящие миллиардные убытки государству и грозящие жизни и благополучию населения. Правительство Российской Федерации приняло защиту лесов после событий 2010 г. как одно из приоритетных направлений развития государства.

Одним из ключевых элементов профилактики и ликвидации лесных пожаров является комплексная автоматизация информационных процессов по сбору и обработке лесопожарной информации, оперативной выработке управленческих решений. Эти задачи эффективно решаются информационно-телекоммуникационной системой (ИТС) «Ясень» (получила широкое распространение на территории РФ в 2009-2011 годах), однако мониторинг лесопожарной обстановки обеспечивается только наземными силами территориальных управлений лесного хозяйства.

Из-за большой площади страны, важную роль играет авиационный мониторинг и воздушные суда, позволяющие с наибольшей скоростью и точностью обнаружить пожар, определить его местоположение и вызвать необходимое подкрепление. Эту работу на борту воздушного судна выполняет летчик-наблюдатель. Информация, которой он обладает, является важной для выполнения мероприятий по тушению лесного пожара.

При мониторинге лесопожарной обстановки летчик-наблюдатель сталкивается с рядом трудностей: навигация по бумажным картам, необходимость вести подробную запись о происшествиях в бортжурнал, поддерживать радиосвязь с локальными диспетчерскими центрами.

Таким образом, работа летчика-наблюдателя является важной, ответственной и вместе с тем – неавтоматизированной. Она сопряжена с использованием большого количества инструментов, некоторые из которых морально устарели и неэффективны. Среди существующих устройств обеспечения навигации и передачи навигационной информации с борта воздушного судна в диспетчерский центр не найдено объединяющего эти функции и возможность редактирования информации летчика-наблюдателя в одном аппаратно-программном комплексе.

является не только актуальной экономической задачей, направленной на сокращение количества лесных пожаров и выгоревшей площади, но и важной социальной задачей, обеспечивающей безопасность населения. В решении этих задач определяющее значение имеет комплексное использование современных информационных технологий на основе сетей ЭВМ и телекоммуникаций.

Научные основы моделирования движения воздушных судов, заложены в трудах российских и зарубежных ученых: Котик М.Г., Аржаников И.С., Котельников Г.И., Браверман А.С., Вайнтрауб А.П., Ю. П. Гуськов, Л. И. Выскребенцев, Ю. А. Паленов, Wiesel W.E., Phillips W. F., Pratt R. W. и другие.

Цель работы

Исследование, разработка и внедрение математического и программного обеспечения информационно-телекоммуникационной системы, обеспечивающей формирование, обработку и передачу информации с борта воздушного судна в диспетчерский центр органа мониторинга лесопожарной обстановки региона (района, лесничества), с целью повышения оперативности и достоверности переданной информации, а также обеспечения информационного взаимодействия воздушного судна с наземными подразделениями.

Задачи для достижения поставленной цели.

1. Анализ существующей технологии работы летчика-наблюдателя и порядка информационного взаимодействия с наземными силами мониторинга лесопожарной обстановки.

2. Анализ существующих подходов обеспечения навигации и передачи навигационной и производственной информации с борта воздушного судна в диспетчерские центры структур лесного хозяйства.

3. Выработка предложений по построению информационно-телекоммуникационной системы, обеспечивающей формирование, обработку и передачу информации с борта воздушного судна в диспетчерский центр органа мониторинга лесопожарной обстановки региона (района, лесничества).

4. Исследование и разработка алгоритма записи трека воздушного судна с заданной точностью и позволяющего сократить объем навигационной информации.

5. Исследование и разработка способов передачи навигационной и производственной информации с борта воздушного судна в наземные диспетчерские центры, обеспечивающих работу с существующими программными средствами федерального и регионального уровня.

6. Разработка структуры программного обеспечения бортового комплекса мониторинга лесопожарной обстановки.

7. Реализация разработанных алгоритмов и структуры программного обеспечения бортового комплекса подвижного объекта (БКПО), в качестве подсистемы информационно-телекоммуникационной системы «Ясень».

Методы исследования

При проведении исследований и разработке алгоритмического и программного обеспечения с целью решения поставленных в диссертационной работе задач использованы теории информации, алгоритмов, графов, системного анализа, кодирования, реляционных баз данных, объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Предложена новая технология информационного взаимодействия программного обеспечения бортовых комплексов мониторинга лесопожарной

обстановки (одного и более) с программным обеспечением стационарных диспетчерских центров (одного и более) в реальном масштабе времени.

2. Разработан новый способ межмодульного взаимодействия для программного обеспечения бортовых комплексов мониторинга лесопожарной обстановки, за счет дополнительной буферизации и оперативного восстановления промежуточных данных при аппаратных сбоях.

3. Модифицирован алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера для фильтрации навигационной информации, отличающийся от известного введением блока предварительного анализа и преобразования входных параметров, что позволяет, в частности, сократить вычислительную сложность до двух раз.

4. Разработан новый алгоритм «блочно-фрагментированной» передачи траектории движения воздушного судна по каналам связи, обеспечивающий сокращение времени вывода информации (отображения) на электронную карту в диспетчерском центре.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Технология информационного взаимодействия программного обеспечения бортовых комплексов мониторинга лесопожарной обстановки (одного и более) с программным обеспечением стационарных диспетчерских центров (одного и более) является основой распределенного диспетчерского управления при решении задач авиационного мониторинга лесов.

2. Новый способ межмодульного взаимодействия программного обеспечения бортовых комплексов мониторинга лесопожарной обстановки путем формирования и обработки навигационной и производственной информации с возможностью оперативного восстановления промежуточных данных при аппаратных сбоях.

3. Разработанные алгоритмы фильтрации и «блочно-фрагментированной» передачи навигационной информации позволяют эффективно использовать телекоммуникационные и вычислительные ресурсы, в том числе каналов связи, обеспечивают оперативность и равномерность передачи данных.

4. Реализация предложенных в диссертации подходов к построению алгоритмов и программных средств позволяет автоматизировать работу летчика-наблюдателя службы авиационной охраны лесов, повысить достоверность и оперативность передаваемой информации путем интеграции с ИТС «Ясень».

Степень достоверности результатов работы

Обоснованность предложенных автором алгоритмов обеспечивается использованием методов теории информации, теории алгоритмов, теории программирования при постановке и решении поставленных задач. Эффективность реализованных алгоритмов подтверждена также результатами практических экспериментов. Результаты диссертации и созданных программных средств подтверждены положительными актами внедрений.

Теоретическая значимость работы

Предложенные автором алгоритмы и подходы к автоматизации службы авиационной охраны лесов от пожаров развивают существующие подходы к организации программного обеспечения систем мониторинга и диспетчерского управления подвижными объектами.

Практическая ценность результатов работы

Разработанные в диссертации математические и программные средства вошли в состав информационно-телекоммуникационной системы бортовой комплекс подвижного объекта «Ясень-БКПО», внедренной в промышленную эксплуатацию для автоматизации работы летчика-наблюдателя в лесных структурах Московской, Новосибирской, Свердловской областей и Ханты-Мансийского автономного округа. «Ясень-БКПО» обеспечивает эффективное проведение работ по мониторингу лесопожарной обстановки: повышение точности определения местоположения пожара, сокращение времени между обнаружением пожара и передачей информации в диспетчерский центр за счет автоматической передачи информации по каналам связи.

Практическая ценность работы подтверждается актами внедрения.

Автор выражает благодарность специалистам ООО «ИНКОМ» (г. Томск) за помощь при внедрении результатов диссертационных исследований.

Личный вклад

1. Постановка задач исследования и разработка концепции алгоритмического и программного обеспечения выполнена совместно с к.т.н., М.А. Сонькиным.

2. Разработка структуры программного обеспечения и разбиение его на функциональные модули выполнена автором совместно с А.С. Миньковым.

3. Разработка способов передачи данных в комбинированных сетях с поддержкой ретрансляции выполнена лично автором.

4. Разработка алгоритма фильтрации навигационных данных, учитывающего физическую модель движения воздушного судна, выполнена лично автором.

5. Разработка алгоритма «блочно-фрагментированной» передачи навигационной информации на основе динамической выборки данных выполнена лично автором.

6. Разработка параметрического подхода к формированию и передаче данных от подвижных объектов выполнена автором совместно с Д.М. Сонькиным, А.С. Миньковым.

7. Разработка алгоритма динамической пакетизации навигационной, системной и производственной информации на основе дельта-кодирования и бинарного преобразования выполнена автором совместно с Д.М. Сонькиным, Ф.В. Саврасовым.

8. Разработка программного обеспечения, в том числе модулей управления каналами связи, фильтрации навигационной информации, «блочно-фрагментированной» передачи и упаковки навигационной информации выполнена лично автором.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (г. Томск, 2008 г.);
- Актуальные вопросы технических наук: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Пермь, июль 2011 г.);
- IV Ежегодная международная научно-практическая конференция «Перспективы развития информационных технологий» - Новосибирск;
- III Международная научно-практическая конференция «Современное состояние естественных и технических наук» - Москва;
- Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные системы для труднодоступных и подвижных объектов» (г. Томск, 2010 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертаций, 7 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертация включает: введение, четыре главы, заключение, список литературы из 108 наименований и 6 приложений. Объем диссертации составляет 166 страницы, в том числе 136 страниц основного текста, 56 рисунков, 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, приводятся цель, основные положения, выносимые на защиту, задачи и методы исследования, формулируется научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приводятся результаты внедрения, а также сведения о публикациях, апробации работы, объеме и структуре диссертации.

В первой главе обосновывается важность авиационного патрулирования, на основе официальной статистической информации, рассматривается технология работы лётчика-наблюдателя, как непосредственного участника авиационного мониторинга, на ее основе выявлены задачи программного обеспечения комплекса мониторинга лесопожарной обстановки. На основе анализа существующих подходов обеспечения навигации и передачи навигационной и производственной информации с борта воздушного судна в диспетчерский центр сделаны предложения по построению информационно-телекоммуникационной системы, обеспечивающей формирование, обработку и передачу информации с борта воздушного судна в диспетчерский центр органа мониторинга лесопожарной обстановки региона.

На основе анализа технологии работы летчика-наблюдателя выделены задачи информационно-телекоммуникационных комплексов: задачи получения информации, в том числе указаний, до и в процессе полета, задачи обработки информации, в том числе производственной, задачи передачи информации по каналам связи.

Рассмотрены технические решения ряда смежных областей: авиационные спутниковые навигаторы, пилотажно-навигационные комплексы, бортовые навигационные комплексы, система *ADS-B*, Глонасс/*GPS* трекеры. Анализ показал, что все существующие решения, кроме трекеров, в основном, ориентированы на задачи навигации воздушного судна и отметки на карте произвольной точки. Передача информации в них отсутствует. Трекеры ориентированы только на передачу навигационной информации и не имеют внешнего интерфейса. Таким образом, ни одно из решений не учитывает в полной мере специфику авиационного мониторинга лесопожарной обстановки.

Результатом анализа стали предложения по созданию программного обеспечения бортового комплекса мониторинга лесопожарной обстановки, объединяющего геоинформационную систему и прием данных со спутникового навигационного приемника для возможности навигации, передачу и получение навигационной и производственной информации из диспетчерского центра, в том числе для возможности отслеживания передвижения воздушного судна.

Во второй главе производится анализ текущей технологии информационного взаимодействия воздушного судна и диспетчерских центров, предлагается новая технология на основе единого информационного пространства и объединения информационных ресурсов воздушных судов и диспетчерских центров. Рассматривается физическая модель движения воздушного судна, особенности фиксации координат навигационным приемником и приводится описание алгоритма фильтрации навигационной информации. Описан алгоритм «блочной-фрагментированной» передачи навигационной информации на основе динамической выборки данных. Приведено описание комбинированной сети для передачи данных с борта воздушного судна в центральный и локальные диспетчерские центры.

Участники обмена при мониторинге лесопожарной обстановки: центральный диспетчерский центр, воздушные суда, авиаотделения и лесничества (наземные региональные силы тушения лесных пожаров). Существующая технология радиосвязи при мониторинге лесопожарной обстановки по принципу «вызов-ответ немедленно» включает: диспетчерский центр – авиаотделения; авиаотделение – воздушное судно; авиаотделения – пожарные группы на пожаре; воздушное судно – пожарные группы на пожаре; локальная радиосеть на пожаре, радиосвязь внутри пожарных групп.

Также предусмотрена прямая радиосвязь лесничеств с воздушным судном, при невозможности – предусмотрена дополнительная схема: воздушное судно – авиаотделение – диспетчерский центр – лесничество. Однако на практике, из-за некачественной радиосвязи, при патрулировании соблюдать такую схему чаще всего невозможно. Кроме того, чем больше

площадь субъекта, тем радиосвязь хуже. Также причиной ошибок при передаче может быть человеческий фактор.

Предлагается новая технология информационного взаимодействия бортового комплекса мониторинга лесопожарной обстановки и наземных диспетчерских центров, которая базируется на иерархической информационной инфраструктуре с централизованным управлением, новым порядком информационного взаимодействия и объединения информационных ресурсов бортовых комплексов воздушных судов и наземных комплексов мониторинга лесопожарной обстановки.

Новая иерархическая информационная инфраструктура: данные передаются с борта в диспетчерский центр, оборудованный качественным оборудованием канала связи, после чего ретранслируется нужному абоненту по более устойчивому каналу (например, *Internet*), если это необходимо. В случае если инициатором передачи является лесничество, то информация сначала передается в диспетчерский центр, откуда по определенному каналу связи передается на борт воздушного судна. Таким образом, бортовые комплексы воздушных судов организуют распределенную базу данных, где диспетчерским центром осуществляется централизованное управление.

Порядок информационного взаимодействия включает: свободные запросы информации, доступные при любом режиме (подготовки и проведения полета), и строгую очередность передачи информации при выполнении полета.

Свободные запросы включают возможность запросить и передать в диспетчерский центр как неструктурированную информацию (текстовые сообщения, файлы, фотографии, план полетов и т.д.), так и структурированную (о пожарах, метеоинформация). Инициатором также может выступить и диспетчерский центр.

Строгая очередность передачи при проведении полета включает передачу специальных сообщений, информирующих о начале полета, о процессе полета (навигационная информация, события, статус системы), о завершении полета, и получение воздушным судном информации о текущей лесопожарной обстановке. Специальные сообщения (навигационные события) о ходе мониторинга и состоянии системы должны посылаться в соответствующие моменты времени для обеспечения достоверности формируемых треков и производственной информации.

Для объединения информационных ресурсов воздушных и наземных стационарных комплексов применяется единое информационное пространство, в том числе единство классификаторов (справочников), на основе ИТС «Ясень», единство протоколов передачи навигационной и производственной информации.

Производится объединение информационных ресурсов стационарных комплексов и каждого из воздушных судов, проводящих мониторинг. Условно разделим информационные ресурсы воздушного судна на типы: навигационная информация (координаты, пользовательские метки и т.д.), производственная информация (пожары) и статусная информация (заряд батареи, уровень

сигнала, температура и т.д.). Сопоставление типа информации и абонентов, заинтересованных в информации представлено на рис. 1.

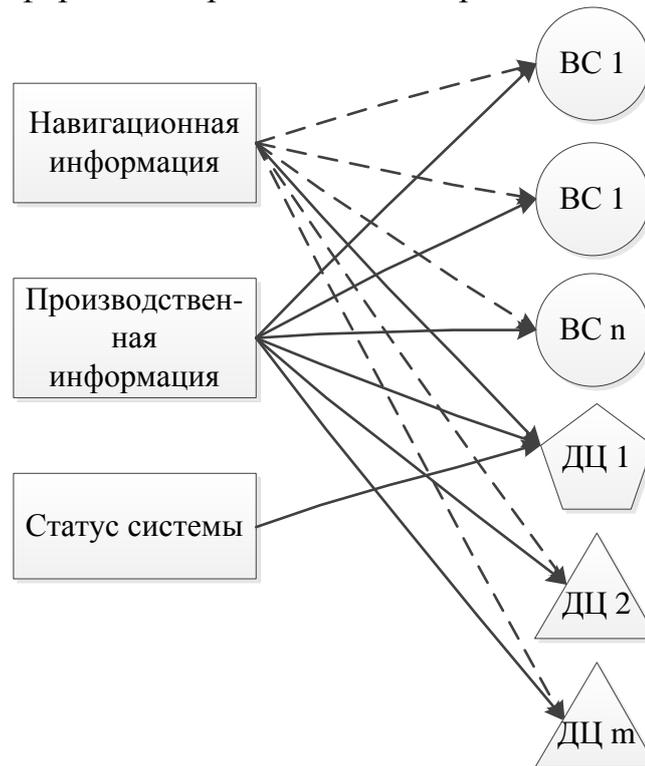


Рис. 1. Сопоставление типов информации и заинтересованных абонентов

На рис. 1 n воздушных судов и m диспетчерских центров, где первый является главным, осуществляющим централизованное управление. Сплошными линиями обозначено обязательное получение всей информации этого типа, пунктирными – получение оперативной (за некоторый настраиваемый период актуальности) информации. Для того чтобы организовать обмен информацией по указанным направлениям, необходима передача данных в диспетчерский центр, где она обрабатывается и составляется информация об оперативной обстановке.

Таким образом, предложенная технология информационного взаимодействия является новой и применяется для класса систем с единым коммутационно-диспетчерским и локальными диспетчерскими центрами, подвижными объектами, распределенной базой данных, связью между абонентами по принципу каждый-с-каждым по различным каналам связи. И, в частности, может служить основой для организации распределенного диспетчерского управления.

Для фиксации навигационной информации используется навигационный приемник, передающий навигационную информацию с частотой от 1 до 5 Гц. При 5 часовом полете получим 18 тыс. точек, что является избыточным. Необходимо провести переход $F(t) \rightarrow f(t) \rightarrow f^*(t)$, где $F(t)$ – истинная функция перемещения объекта, $f(t)$ – функция перемещения, интерполированная навигационным приемником, $f^*(t)$ – новая интерполированная функция, которая удовлетворяет $R(t) = |f(t) - f^*(t)| \leq \varepsilon, t \in [t_0, t_n]$, t_0 – время фиксации первой точки; t_n – время фиксации крайней точки в треке; ε – некоторая указанная

точность, причем переход должен быть осуществлен в процессе получения информации.

Для решения задачи упрощения набора навигационной информации используют алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера, который позволяет значительно сократить набор навигационных точек с заданной точностью. Однако этот алгоритм работает с готовым набором точек. Также существуют алгоритмы для записи и фильтрации трека передвижения наземного мобильного объекта для последующей передачи: в этих алгоритмах точка передается в случае, если объект сдвинулся на определенное расстояние, изменил курс на определенный градус, либо с него не передавались данные определенное количество времени. Эти алгоритмы рассчитаны на резкое изменение курса движения подвижного объекта и плохо подходят для воздушных судов.

Предлагается модифицированный алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера, который за счет предварительного анализа и модификации данных ускоряет его работу в реальном масштабе времени.

Улучшение 1: в оригинальном алгоритме необходимо иметь весь набор точек для проведения упрощения; в модифицированном алгоритме: поступающие точки формируют временный буфер до тех пор, пока какая-то не будет зафиксирована. После этого из буфера удаляются все точки, полученные ранее фиксированной, включительно.

Улучшение 2: для упрощения вычисления отклонения точки можно использовать известную информацию о курсе в данной точке (передается навигационным приемником) и плоскую геометрию.

Рассмотрим улучшение 2, рис. 2. Введем два понятия:

Навигационная точка – точка, координаты которой получены со спутникового навигационного приемника.

Фиксированная навигационная точка – навигационная точка, которая прошла фильтрацию и будет в выходном массиве точек.

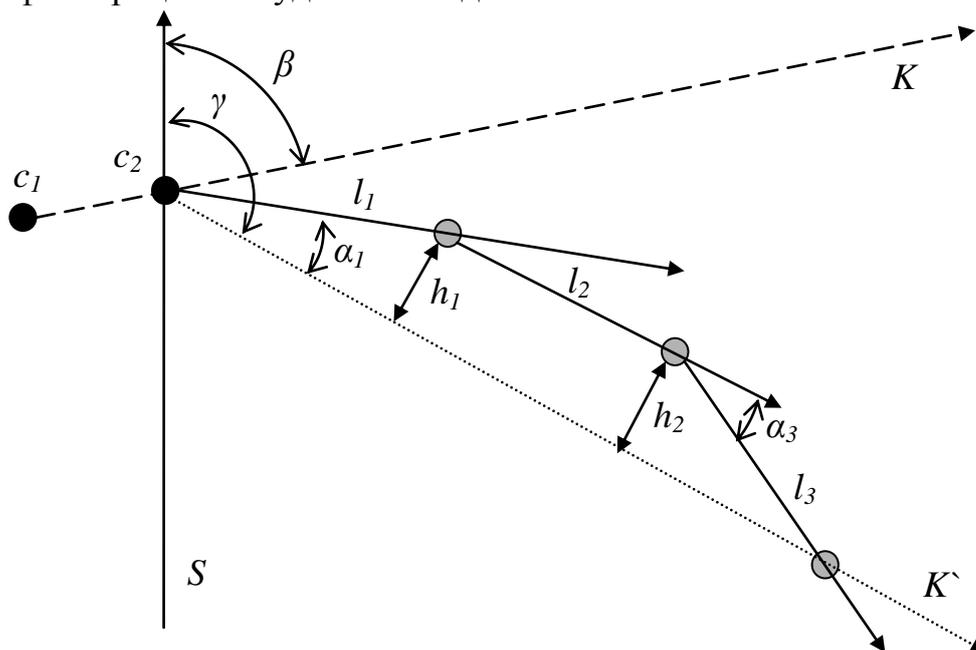


Рис. 2. Расчет максимального отклонения от результирующего курса

Пунктирной линией K отмечен курс в крайней зафиксированной точке. Точечной линией K отмечен курс текущей точки относительно крайней фиксированной, то есть результирующий курс. Сплошной линией S обозначено направление с азимутом 0. Угол β – курс в крайней фиксированной точке. Угол γ – результирующий курс. Угол α_1, α_3 – курсы в нефиксированных точках относительно результирующего курса. Угол α_2 не показан, так как равен нулю. h_1 и h_2 – высоты, опущенные из нефиксированных точек на прямую результирующего курса. l_1, l_2, l_3 – перемещения между нефиксированными точками.

Условие фиксации точки есть $\max(h_1, h_2, \dots, h_n) > \varepsilon$. Здесь ε – точность трека, $\max(h_1, h_2, \dots, h_n)$ – максимальное отклонение от результирующего курса, $h_i = \sum_{j=1}^{j \leq i} l_j \sin \alpha_j$, где h_i – проекция i -й высоты, опущенная из точки дуги на отрезок, соединяющий первую и крайнюю точку дуги.

Предлагаемый алгоритм имеет несколько входных параметров:

α – минимальное фиксируемое расстояние между узлами, служит для уменьшения числа узлов при зависании вертолета над площадкой,

β – максимальная скорость передвижения объекта, служит для исключения «выбросов»; как показывает практика при вычислении скорости перемещения из достоверной точки в «выброшенную», получается значение, значительно превышающее максимально возможную скорость движения ВС,

γ – максимальное ускорение объекта, также служит для исключения выбросов; объект не может менять скорость быстрее определенного значения,

t – максимальное время между текущей и крайней фиксированной точкой, служит для ограничения вычислительной сложности алгоритма; минимум одна точка будет фиксирована за время t .

ε – заданная точность.

Алгоритм фильтрации состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Если точка не достоверна по показаниям приемника, то она не фиксируется – на шаг 8.

Шаг 2. Если объект переместился менее чем на расстояние α , то точка не фиксируется – на шаг 8.

Шаг 3. Если вычисленная скорость смещения от крайней навигационной точки $< \beta$ и значение вычисленного ускорения по модулю $< \gamma$, то – на шаг 4, иначе – на шаг 8.

Шаг 4. Если прошло время $< t$ после крайней фиксированной точки, то на шаг 6.

Шаг 5. Фиксация текущей точки, далее – на шаг 8.

Шаг 6. Если отклонение от результирующего курса меньше ε – на шаг 8.

Шаг 7. Фиксируется предыдущая точка.

Шаг 8. Конец.

Сложность алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера в худшем случае оценивается как $O(n^2)$. Максимальное число проверок предлагаемого алгоритма

– арифметическая прогрессия $n\left(\frac{n+1}{2}\right)$, где n – число точек. Таким образом, сложность оценивается как $O\left(n\left(\frac{n+1}{2}\right)\right)$. При $n \rightarrow \infty$, сложность предлагаемого алгоритма относительно классического в 2 раза меньше.

Навигационная информация не может передаваться постоянно, так как это невозможно с технической точки зрения, либо сопряжено с большими финансовыми затратами. Следовательно, целесообразно передавать информацию по блокам. Правила формирования блоков отражают производственную необходимость получать навигационные данные с определенной частотой (удобнее - периодом). Таким образом, каждый блок должен содержать точки, у которых разница времени фиксации между первой и крайней не превышает некоторого времени T . Вместе с тем, чаще всего блок не может содержать больше, чем N точек и не менее чем 1 точку.

Каждая фиксированная точка c_i формирует множество всех записанных точек текущего трека – S и множество b_i , где b_i – множество точек некоторого блока навигационной информации для передачи, $b_i \in B$. B – множество всех записанных блоков за текущий полет. Точки распределяются по блокам согласно некоторым правилам. Крайний записанный блок содержит в себе оперативные данные.

Когда текущий блок b_n будет заполнен, он становится оперативными данными и должен быть поставлен на передачу вместе с архивной информацией, если она есть. Значение n увеличивается.

Исходя из задач мониторинга лесопожарной обстановки, в диспетчерском центре необходимо иметь информацию о том, какая часть территории осмотрена. Для этого необходимо иметь хотя бы общую информацию о траектории, сформированную до текущего времени. Значение среднеквадратического отклонения времени между точками трека является

показателем равномерности: $\sigma = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\Delta t_i - \bar{\Delta t})^2}$, где k – число пар точек, Δt_i –

разница времени i -й пары, $\bar{\Delta t}$ – среднее время между точками. Идеальным случаем является: $\sigma_{дц} = \sigma_{вс}$, где $\sigma_{дц}$ – среднеквадратичное отклонение времени между точками трека, полученными в диспетчерском центре, $\sigma_{вс}$ – на воздушном судне. Из-за нестабильности каналов передачи в процессе полета $\sigma_{дц} > \sigma_{вс}$.

Для передачи оперативной и архивной навигационной информации на данный момент используется подход: больший приоритет имеют оперативные данные; из архивных данных формируются и передаются блоки определенного размера, содержащие точки в порядке их фиксации или обратном. Этот подход является очевидным и используется при мониторинге автотранспорта. В случае если канал связи неустойчив, то при передаче данных в процессе полета, в диспетчерском центре может получиться «рваный» трек, с детальными данными в одних частях траектории и без данных в других.

Рассмотрим упрощенную модель формирования и передачи навигационной информации.

Фиксация точек навигационным приемником происходит каждую секунду; сформировано n блоков для передачи; число точек в каждом блоке l – одинаково; время между первой и крайней точкой в блоке T – также одинаково.

Будем считать, что передача каждого блока – независимое событие, которое завершается успешно с вероятностью p . Тогда, вероятность передачи m блоков из n за n попыток является биномиальным распределением:

$$P(m, n) = C_m^n p^m q^{n-m}, \quad C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Будем считать, что если не передано ни одной точки, то $k=1$, а Δt равно продолжительности всего периода исследования – nT ; w – количество вариантов передачи, $w = 2^n$.

Порядок передачи блоков важен. Назовем вариантом передачи попытку передать каждый i -й блок 1 раз, то есть всего n попыток на n блоков.

Введем матрицу S размерности $w \times n$, где i -я строка – номер варианта передачи, j -я колонка содержит количество групп из j «пустых» блоков, идущих подряд. Под «пустыми» блоками будем понимать непереданные блоки в диспетчерский центр, в результате чего в треке будет «пробел».

Таким образом, математическое ожидание среднеквадратичного отклонения при одноразовой попытке передать все блоки есть

$$M\xi = \sum_{v=1}^w P(m_v, n) \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\Delta t_{vi} - \bar{\Delta t})^2}, \quad \text{где } m_v \text{ – число переданных блоков в } v\text{-м варианте передачи; } P(m_v, n) \text{ – вероятность передачи } m_v \text{ блоков из } n \text{ по одной попытке на каждый; } \Delta t_{vi} \text{ – разница времени в } i\text{-й паре точек при передаче по } v \text{ варианту.}$$

Рассмотрим специфику передачи точек по классическому алгоритму: в случае передачи блока точек выражение $(\Delta t_{vi} - \bar{\Delta t})^2$ для переданных пар точек равно 0, однако если j подряд идущих блоков не переданы, то на этом участке $\Delta t_{vi} = (jl + 1)\bar{\Delta t}$, где l – число точек в блоке; j – число идущих подряд «пустых» блоков. Учитывая эти особенности, математическое ожидание среднеквадратического отклонения при использовании классического алгоритма:

$$M_1\xi = \bar{\Delta t} \sum_{v=1}^w P(m_v, n) \sqrt{\frac{1}{(lm_v - 1)} \sum_{j=1}^n S_{vj} (jl)^2}, \quad (1)$$

где $k = lm_v - 1$; S_{vj} – число групп из j «пустых» блоков в варианте передачи v .

Предлагается новый алгоритм «блочно-фрагментированной» передачи траектории движения. Блоки динамически фрагментируются (изменяется набор и порядок точек в блоках), в зависимости от числа и времени фиксации непереданных точек. Из буфера точек в каждый результирующий блок выбирается каждая i -я, выбранные – удаляются. Затем, если оставшихся архивных точек больше 0, то определяется новое i и делается следующий проход для формирования второго блока, и так далее до тех пор, пока

количество архивных точек не станет равным 0. Рассмотрим специфику такой выборки и математическое ожидание среднеквадратичного отклонения времени между точками. На рис. 3 изображена ситуация передачи 2-х из 5-и блоков.

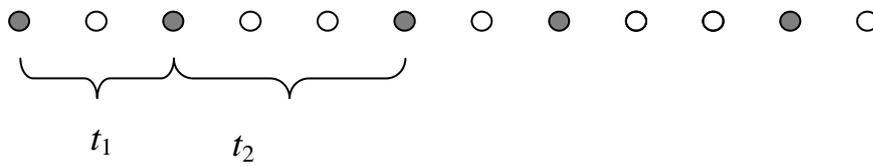


Рис. 3. Передано 2 блока из 5, сформированных новым алгоритмом

Сумма t_1 и t_2 – время между двумя точками в одном блоке. Из рисунка видно, что t_1 и t_2 повторяются l раз, следовательно, для расчета отклонения можно использовать выражение для первых n точек. При использовании предлагаемого алгоритма отклонение также зависит от числа подряд идущих «пустых» блоков. Так $t_2 = (j+1)\Delta t$, где $j=2$, t_1 рассчитывается аналогично, но с $j=1$. Следовательно, математическое ожидание при использовании предлагаемого алгоритма:

$$M_2\xi = \overline{\Delta t} \sum_{v=1}^w P(m_v, n) \sqrt{\frac{1}{(lm_v - 1)} \sum_{j=1}^n S_{vj} j^2 l} . \quad (2)$$

Из сравнения (1) и (2) видно, что математическое ожидание квадратичного отклонения времени между точками предлагаемого алгоритма меньше в \sqrt{l} раз. Следовательно, предлагаемый позволяет передавать более равномерный трек и ускорять вывод общей траектории.

Необходимо рассмотреть недостатки рассмотренной модели: число точек в блоках необязательно равно; время между двумя переданными точками не обязательно равно $\overline{\Delta t}$; блоки передаются в процессе полета с разной вероятностью, а не после его завершения, что придает дополнительную неравномерность. Кроме того, рассматривался вариант одноразовой посылки каждого из блоков, как независимого события, но на практике блоки передаются массово, и, если первый блок посылки передан – велик шанс, что будут отправлены и все остальные.

Но, тем не менее, предложенная модель может быть применимой каждый раз при очередной попытке передачи. Действительно, в этот момент число n – фиксировано; число точек во всех блоках, кроме последнего, равно; вероятность передачи каждого блока в этот момент – p .

Критерий выборки данных: выбираются точки, где время фиксации между крайней выбранной и текущей различается не меньше, чем общая длина архивного трека (время), поделенная на максимальное количество точек в блоке N . Причем если при проходе (при подходе к концу), остается свободных мест в блоке больше, чем необработанных архивных точек, то оставшиеся выбираются в свободные места без проверки.

Входные параметры алгоритма выбора точек: D – массив архивных точек; N – максимальное число точек в блоке; t – вычисленное среднее время между точками в архиве.

Шаг 1. Установить номер текущей точки $i=0$, номер крайней фиксированной точки $f=0$, размерность входного множества $K=size(D)$, количество точек, которые могут быть помещены в архивный блок $F=N-1$, где N – заданная максимальная размерность блока.

Шаг 2. Сохранить точку D_f в выходной массив R .

Шаг 3. Увеличить значение счетчика текущей точки, $i=i+1$.

Шаг 3. Если размерность R стала равной или превысила N или счетчик текущей точки стал равен или больше размерности D – переход на шаг 7. Иначе – на шаг 4.

Шаг 4. Если время между текущей точкой и крайней фиксированной больше t либо не проверенных точек в D меньше, чем свободных мест в архивном блоке, то – на шаг 5. Иначе – на шаг 3.

Шаг 5. Индекс крайней фиксированной точки $f=i$. Число свободных мест в архивном блоке уменьшается на единицу. $F=F-1$.

Шаг 6. Сохранить точку D_f в выходном массиве R . Далее – на шаг 3.

Шаг 7. Конец.

Итоговое число переданных точек, выбранных классическим и предлагаемым алгоритмами, при равных условиях одинаково, но за счет фрагментации блоков, время, необходимое для отображения общей траектории при использовании нового алгоритма – меньше, а равномерность трека – выше.

Вероятность передачи данных зависит как от типа выбранного канала, так и от текущего местоположения. Для обеспечения оперативной передачи необходимо учесть как физическую природу канала связи, так и вероятность сбоя передачи из-за территориального расположения воздушного судна. Также необходимо передать информацию из центрального диспетчерского пункта в остальные точки по каналу Интернет. Таким образом, присутствует комбинация каналов разной физической природы и, следовательно, формируется **комбинированная сеть** передачи данных.

В работе рассмотрены технические характеристики сети и основы ее построения:

1. Сеть предназначена для передачи небольших сообщений (2-4 Кб). Однако на участках, где используется сеть Интернет, максимальный объем сообщения искусственно ограничен 20 Мб.
2. Число абонентов менее 10 тыс.
3. Сообщения поступают неравномерно.
4. В сети используются различные каналы передачи, такие как сотовый, спутниковый, телефонный канал, Интернет.

Для организации работы сети применяется таблица маршрутизации для определения маршрута передачи, концепция коммутации сообщений, введена своя нумерация (числа от 1 до 65536), инвариантная к используемым каналам связи и принципам их адресации.

В диссертации также приведены подходы по определению промежуточных узлов при передаче и борьбы с паразитным трафиком, возникающем при некорректной настройке таблиц маршрутизации.

Для передачи навигационной информации разработана структура пакета с динамическим размером полей, поддерживающая передачу событий и статуса системы. При упаковке используется принцип дельта-кодирования: в опорном блоке находится дата и время начала формирования пакета, служебная информация о навигационных данных и координаты базовой точки. Остальную часть пакета формируют дельта блоки.

Содержимое дельта блока состоит из заголовка подблока, смещения времени относительно предыдущего блока/подблока, смещения координат относительно предыдущего блока/подблока, описания событий произошедших в указанный момент времени, дополнительно присоединенных данных. Этот подход позволяет более эффективно использовать ресурсы канала при передаче навигационной информации.

В третьей главе приводится структура разработанного программного обеспечения, назначение функциональных модулей. Описан интерфейс разработанного программного обеспечения. Приводится способ взаимодействия программных компонент с поддержкой транзакций.

Для программной реализации выбран язык *C#*, СУБД – *MS SQL 2005 Express*. Общее количество строк кода – более 500 тыс. Для разделения системных и прикладных процессов программная реализация разделена на две части: серверную и клиентскую (по технологии тонкого клиента), рис. 4.

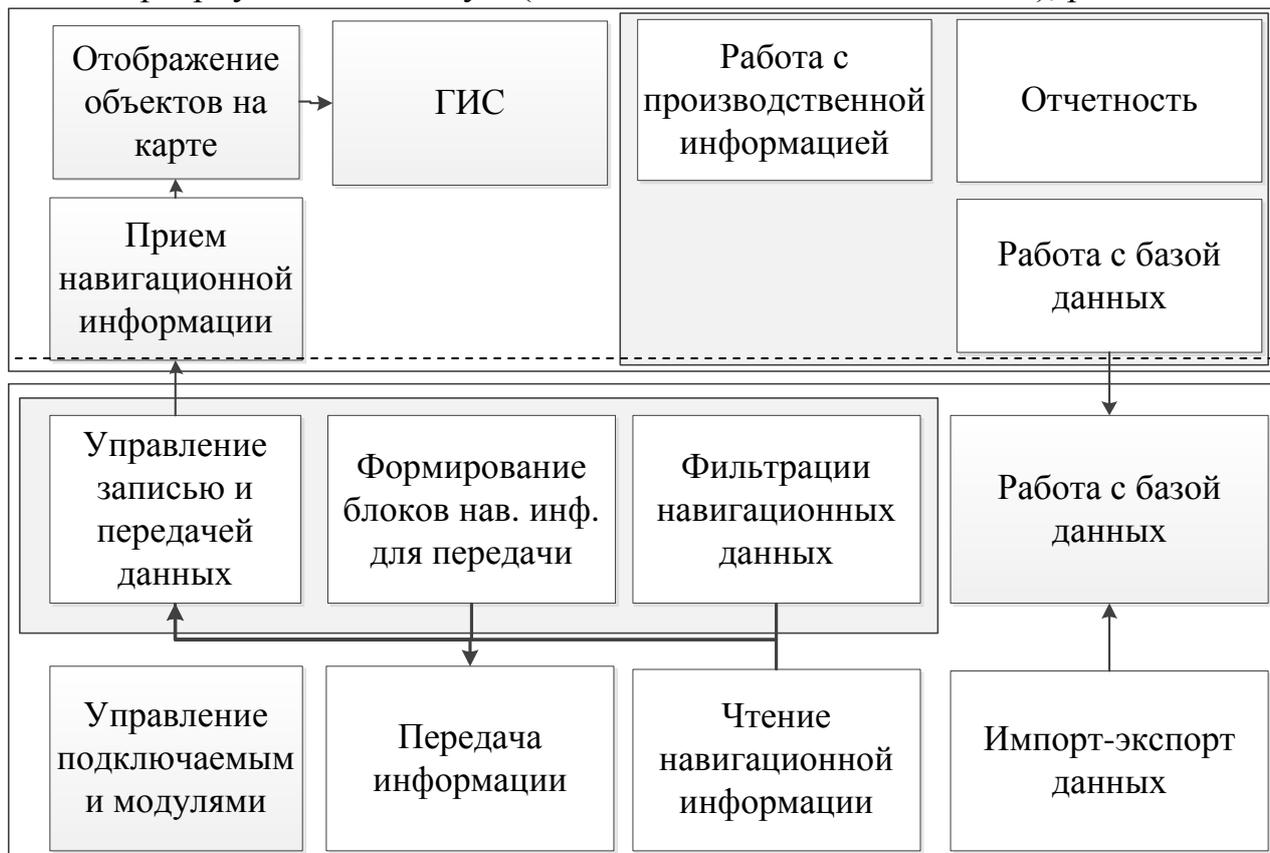


Рис. 4. Структура разработанного программного обеспечения

Предлагается новый подход межмодульного взаимодействия с применением дополнительной буферизации промежуточных данных,

поддержкой транзакций и оперативного восстановления необработанной информации в случае аппаратного сбоя. В предложенной структуре модули получения информации (например, от навигационных приемников или устройств связи) отделены от модулей разбора при помощи специального класса очереди сообщений.

Сообщение – специализированный служебный класс, содержащий информацию о модуле-источнике данных, времени формирования, параметрах обработки и непосредственно данные.

Транзакция – последовательность операций получения и обработки данных. Может включать операции над одним или более сообщениями. Данные хранятся в очереди и дополнительно сохраняются в базу данных до тех пор, пока транзакция полностью не выполнена.

Ветка очереди – именованная подочередь внутри основной. Очередь может содержать неограниченное число веток. Каждое сообщение в очереди зарегистрировано только в одной ветке. Имя ветки формируется при помощи букв русского или латинского алфавита, цифр и служебного символа «\», являющегося разделителем для организации древовидной иерархии по принципу иерархии папок в файловых системах. Ветки с именем «X\Y», «X\Z» считаются вложенными в ветку «X». При запросе данных из ветки «X» будут возвращены данные из этой ветки и всех вложенных ячеек в порядке поступления данных по времени.

Программные модули работы с устройствами получают данные, формируют сообщение и передают его в очередь в ветку с определенным именем. Модули обработки начинают очередную транзакцию и извлекают сообщения из определенных веток. Когда обработка данных завершена, транзакция закрывается и данные удаляются из очереди.

Такой способ взаимодействия программных компонент является универсальным, так как поддерживает передачу любого типа данных через неограниченное число вложенных веток, устойчив к аппаратным сбоям и обеспечивает восстановление необработанных данных в случае технического сбоя оборудования или отключения питания. Так, дополнительно буферизуются: данные со спутникового навигационного приемника, блоки информации, готовой для передачи, блоки информации, полученные по каналам связи.

Модули, реализующие разработанные в рамках диссертации алгоритмы:

- ***GPSPointFilter*** – модуль фильтрации навигационной информации,
- ***ArchiveBlockMaker*** – модуль динамической выборки навигационной информации для передачи,
- ***DataExchangeService*** – модуль управления передачей,
- ***MService*** – модуль очереди сообщений с поддержкой транзакций.

Всего разработано более 50 модулей, интерфейс разработанного программного обеспечения бортового комплекса мониторинга лесопожарной обстановки, рис. 5, включает в себя переключаемые окна, в том числе – ГИС, в правой части – информацию с навигационного приемника и кнопки управления.

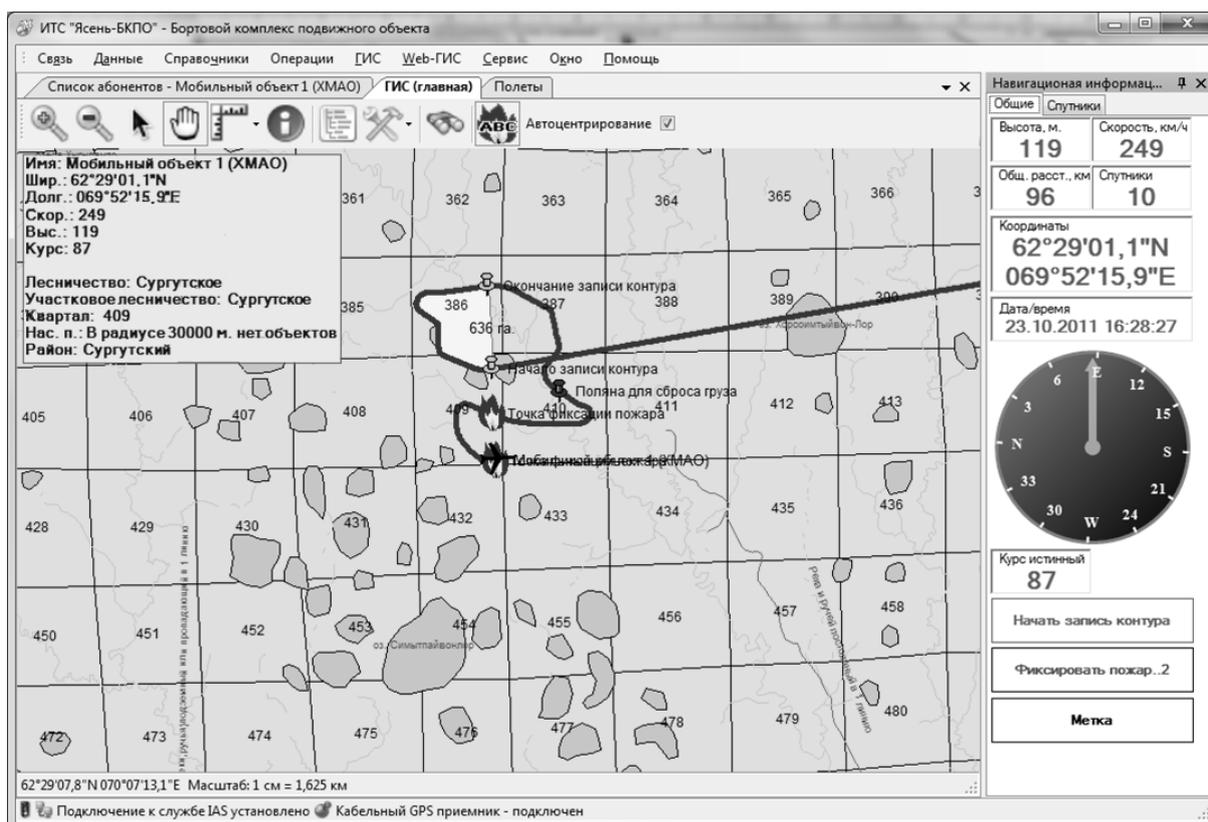


Рис. 5. Интерфейс разработанного программного обеспечения бортового комплекса мониторинга лесопожарной обстановки

Четвертая глава описывает процесс верификации реализованных алгоритмов, приведены результаты исследования эффективности разработанных алгоритмов по таким показателям как вычислительная сложность и эффективность решения задачи. Также проведено сравнение разработанных алгоритмов с классическими.

Результат сравнения модифицированного алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера и оригинального представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение модифицированного алгоритма Рамера-Дугласа-Пекера и оригинального

№	Кол-во тыс. точек до фильтрации	Кол-во точек 1	Кол-во точек 2	Ср. откл. трека 1 М	Ср. откл. трека 2 м	Ср. время 1 мс	Ср. время 2 мс
1	20	1283	1452	8,5	7,8	240	390
2	30	1462	1796	9,3	8,2	360	570
3	23	1379	1633	8,8	8,4	260	400

Колонки с индексом 1 содержат результаты работы предлагаемого алгоритма, с индексом 2 – классического. Приведены значения количества точек после фильтрации, среднее отклонение трека, среднее время фильтрации 20, 23 и 30 тыс. точек. Результаты показали, что скорость работы предлагаемого алгоритма выше на ~38 %; количество генерируемых точек меньше на ~11 %.

Алгоритм «блочно-фрагментированной» передачи навигационной информации проверен с использованием эмуляции в следующих условиях:

передача оперативного блока проходит успешно с вероятностью 25 %, передача архивного блока начинается только если прошла передача основного, и вероятность передачи архивного блока – 33 %. Количество передаваемых точек 1200, максимальный размер блока 64 точки. В результате передачи блоков, сформированных классическим алгоритмом и предлагаемым, в диспетчерском центре формируется набор точек, среднеквадратичное отклонение которого, после каждой передачи, показано на рис. 6.

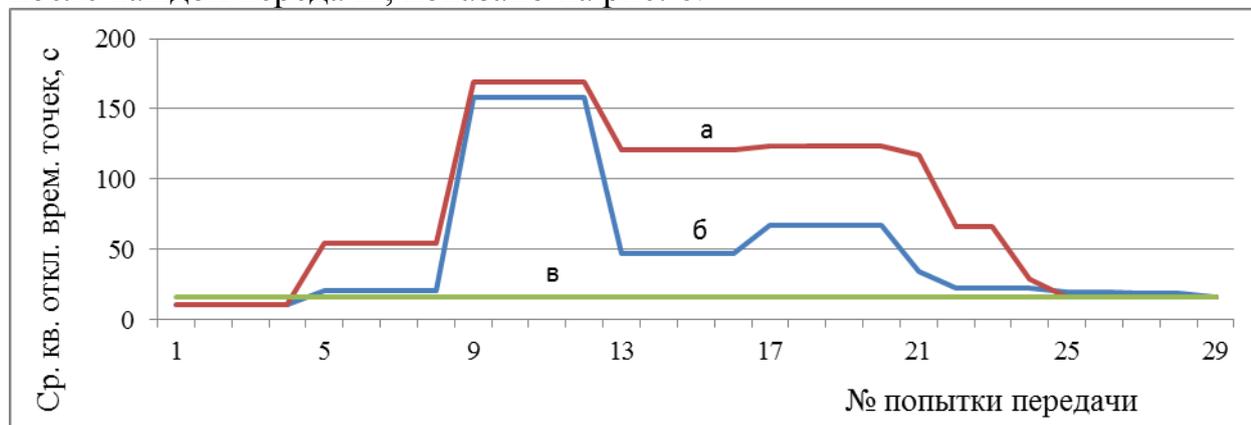


Рис. 6. Среднеквадратичное отклонение времени между точками а) при передаче классическим алгоритмом; б) предлагаемым; в) достоверного трека

Произведем расчет среднего арифметического взвешенного для σ (используя в качестве веса продолжительность времени с этим значением σ). Для классического алгоритма: $\bar{\sigma}_{кл} = 78,262$ с, для предлагаемого: $\bar{\sigma}_{нов} = 48,644$ с, что на 38 % меньше $\bar{\sigma}_{кл}$.

Как видно, предлагаемый алгоритм позволяет формировать в диспетчерском центре более равномерный трек с меньшим среднеквадратичным отклонением относительно оригинального трека.

Основные результаты работы

1. Разработана новая технология функционирования информационно-телекоммуникационной системы для формирования, обработки и передачи информации с борта воздушного судна в диспетчерский центр.

2. Предложена оригинальная структура программного обеспечения бортового комплекса мониторинга лесопожарной обстановки на основе динамически подключаемых модулей ГИС, управления каналами связи, формирования и передачи навигационной информации.

3. Модифицирован алгоритм Рамера-Дугласа-Пекера для уменьшения объема навигационной информации о траектории движения воздушного судна, передаваемого в реальном времени.

4. Разработан алгоритм «блочно-фрагментированной» передачи навигационных данных в фоновом и оперативном режимах, обеспечивающий сокращение времени вывода информации на электронную карту в диспетчерском центре.

5. Разработана структура пакета навигационной информации для передачи с использованием эффекта дельта-кодирования.

6. Реализовано программное обеспечение бортовой комплекс подвижного объекта «Ясень-БКПО» на языке *C#*, включающее более 50 модулей, в том числе реализующие предложенные в диссертации алгоритмы (*GPSPointFilter*, *ArchiveBlockMaker*, *DataExchangeService*, *MService*), защищенное свидетельством о регистрации программ и внедренное в лесных структурах Московской, Новосибирской, Свердловской областей и Ханты-Мансийского автономного округа

Таким образом, по результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработано бортовое программное обеспечение комплекса мониторинга лесопожарной обстановки. Решена актуальная задача, имеющая существенное значение для повышения эффективности процессов обработки данных в компьютерных сетях.

Публикации по теме диссертации:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Сонькин Д.М., Саврасов Ф.В., Шкуратов А.В., Миньков А.С. Унификация форматов данных при взаимодействии с терминалами подвижных средств // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 5. – С. 198–203.
2. Сонькин М.А., Шкуратов А.В. Алгоритмическое и программное обеспечение бортового комплекса мониторинга лесопожарной обстановки // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 5.

Публикации в других изданиях:

3. Комлев А.Н., Шкуратов А.В. Оптимизация передачи данных лесопожарной обстановки на основе универсального программного интерфейса многоуровневой системы // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск, 26-28 февраля 2008. – Томск: СПб Графикас, 2008. – 2 с.
4. Шкуратов А.В. Состав программного обеспечения для комплекса мониторинга лесопожарной обстановки // Актуальные вопросы технических наук: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Пермь, июль 2011 г.). / Под общ. ред. Г. Д. Ахметовой. – Пермь: Меркурий, 2011. – 6 с.
5. Миньков А.С., Шкуратов А.В. Алгоритм фильтрации потока навигационных данных для записи трека передвижения воздушных судов и последующей передачи // Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции / под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2011. – 7 с.
6. Шкуратов А.В. Алгоритмы передачи производственной информации с подвижных и труднодоступных объектов в комбинированных сетях с ретрансляцией и гарантией доставки // Современное состояние естественных и технических наук: Материалы III Международной научно-практической конференции (28.07.2011). – М.: Издательство «Спутник+», 2011. – 10 с.

7. Шкуратов А.В. Подход к формированию блоков оперативной и архивной навигационной информации для передачи с борта воздушного судна малой авиации // Материалы V-ой Международная научная конференция «Актуальные вопросы современной техники и технологии». – Липецк, 2011. – 4 с.

Свидетельства о регистрации программ:

8. Сонькин М.А., Котельников Р.В., Обухов М.О., Шкуратов А.В., Белов В.В., Комлев А.Н., Печерская Е.И., Семькин С.В., Сонькин Д.М., Антонов В.А. Подсистема мониторинга лесопожарной обстановки на основе аппаратно-программного комплекса контроля местоположения воздушных судов и других подвижных объектов в режиме реального времени // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2007614629. – 2007.
9. Сонькин М.А., Печерская Е.И., Тогидний Р.Л., Добродеева П.С., Назмутдинов Р.Б., Шкуратов А.В., Сонькин Д.М., Миньков А.С. Специальное программное обеспечение аппаратно-программного комплекса визуализации, подготовки и передачи гидрометеорологической информации (АПК-МЕТЕО-К) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2010612830. – 2010.
10. Сонькин М.А., Печерская Е.И., Алыков А.Б., Семькин С.В., Шелестовская Н.Г., Галкин А.В., Пономарев А.А., Миньков А.С., Шкуратов А.В. Информационно-телекоммуникационный комплекс оповещения и связи (П-166 ИТК ОС) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2011614797. – 2011.
11. Сонькин М.А., Печерская Е.И., Комлев А.Н., Шкуратов А.В., Сонькин Д.М., Миньков А.С., Лещик Ю.В., Петров А.С. Программное обеспечение бортового комплекса подвижного объекта для мониторинга лесных пожаров // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2011614798. – 2011.
12. Сонькин М.А., Печерская Е.И., Семькин С.В., Комлев А.Н., Шкуратов А.В., Сонькин Д.М., Миньков А.С., Лещик Ю.В., Петров А.С. Программное обеспечение информационно-телекоммуникационного комплекса мобильной оперативной группы (ПО ИТК МОГ) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2011614799. – 2011.
13. Сонькин М.А., Печерская Е.И., Семькин С.В., Комлев А.Н., Шкуратов А.В., Сонькин Д.М., Миньков А.С., Лещик Ю.В., Петров А.С. Информационно-телекоммуникационная система мониторинга лесопожарной обстановки субъекта РФ (ИТС «Ясень») // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2011614800. – 2011.
14. Сонькин М.А., Печерская Е.И., Тогидний Р.Л., Семькин С.В., Добродеева П.С., Назмутдинов Р.Б., Попов В.А., Никитин А.С., Шкуратов А.В., Миньков А.С. Информационно-телекоммуникационный комплекс оповещения и связи (П-166 ИТК ОС) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, №2011614312. – 2011.