

Диденко Сергей Владимирович

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ
СОПРОВОЖДЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

05.13.11 — математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных
сетей

А в т о р е ф е р а т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Работа выполнена в Томском политехническом университете.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
В. К. Погребной.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В. П. Бондаренко,
кандидат технических наук
В. П. Комагоров.

Ведущая организация: Институт динамики систем и теории управления
(ИДСТУ) СО РАН, г. Иркутск.

Защита диссертации состоится «22» декабря 2004 г. в 15:00 ч. в ауд. 214 на заседании диссертационного совета Д 212.269.06 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская 84, институт «Кибернетический центр» ТПУ в 15.00.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского 53.

Автореферат разослан «___» _____ 2004 г.

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

М.А. Сонькин

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Передача оперативной информации о местоположении и техническом состоянии транспортных средств и оперативных подвижных групп в диспетчерский центр управления (ДЦ), а также мониторинг оперативной обстановки территории – являются актуальными задачами для предприятий с распределенной структурой, таких как предприятия лесного хозяйства, службы геологоразведки, предприятия авиалесоохраны, службы ГО и ЧС, военные комиссариаты.

Среди задач сопровождения транспортных средств особое место занимает вопрос повышения эффективности использования воздушных судов для обнаружения и тушения лесных пожаров. Только по данным Главного управления природных ресурсов по Читинской области за 1999 – 2004 года зафиксировано 8470 пожаров, а пройденная этими пожарами общая площадь составляет 1204 тыс. га, из которой 84% - это лесные массивы!

Одним из вариантов повышения эффективности процесса авианаблюдения за пожаром – является использование аппаратно-программных средств сопровождения подвижных объектов. При этом становится возможным определение местоположения воздушного судна, формирование контура распространения лесного пожара, а также оперативная передача этой информации в диспетчерский центр лесхоза.

В настоящее время широкое распространение получила интегрированная система с пакетной передачи данных «ПОТОК». За последние 5 лет было внедрено в России и ближнем зарубежье около 40 систем «ПОТОК» различного назначения с общим количеством объектов около 1000.

Система связи и передачи данных «ПОТОК», обеспечивающая пакетную передачу информации как по радиоканалу, так и по другим каналам связи, в своем развитии прошла несколько этапов: 1) аппаратно-программная реализация режимов пакетной передачи данных по КВ, УКВ радиоканалам; 2) обеспечение автоматической ретрансляции сообщений через специальные узлы связи; 3) аппаратно-программная реализация режимов пакетной передачи данных с использованием различных каналов связи (телефонный, телеграфный, спутниковые каналы систем «ГОНЕЦ» и «ГлобалСтар»); 4) интеграция с геоинформационными системами (ГИС).

Проведенный анализ существующих решений и готовых систем сопровождения подвижных объектов (ССПО) показал целесообразность разработки для системы «ПОТОК» собственных аппаратно-программных средств сопровождения подвижных объектов.

Разработка таких средств позволяет расширить функциональные возможности интегрированной системы с пакетной передачей данных, в том числе решить несколько задач: 1) передача точных координат подвижных объектов в ДЦ, оперативное отображение текущего местоположения и маршрутов движения объектов на электронной карте ГИС; 3) передача пространственных данных об оперативной обстановке на территории; 4) передача информации с датчиков контроля технического состояния подвижного объекта; 5) визуализация, хранение и анализ принимаемой от подвижных объектов информации.

Таким образом, обеспечивается решение актуальной задачи повышения эффективности авианаблюдений за пожарами и контроля над местоположением транспортных средств. При этом выполняются: оперативная регистрация места возгорания, фиксирование точного географического контура пожара и передача этой информации в диспетчерский центр лесхоза непосредственно с борта воздушного судна, вместе с регистрационной информацией об обнаруженном пожаре.

Цель работы. Целью диссертационной работы является создание специальных алгоритмов и программных средств обработки навигационной информации, обеспечивающих на основе теоретических исследований реализацию функций сопровождения подвижных объектов, путем повышения эффективности процессов сбора и обработки данных о местоположении и маршрутах подвижных объектов.

Для реализации поставленной цели предложено решение следующих задач:

- Разработка структуры программного обеспечения (ПО) ССПО, обеспечивающей в реальном масштабе времени взаимодействие информационно-телекоммуникационной системы «ПОТОК» и ГИС.
- Создание и формализованное описание способа сжатия навигационной информации, разработка алгоритмов прямого и обратного преобразования.
- Решение задачи оптимизации процесса передачи навигационных данных от подвижных объектов в ДЦ.
- Разработка специального ПО ДЦ с функциями оперативного представления информации о местоположении подвижных объектов и маршрутах их движения средствами ГИС в реальном масштабе времени.
- Апробация разработанного алгоритмического и ПО в составе различных вариантов системы «ПОТОК».

Методы исследования. При проведении исследований и разработке алгоритмического и ПО с целью решения поставленных в диссертационной работе задач использованы методы теории алгоритмов, теории кодирования, теории расписаний и комбинаторного анализа, теории реляционных баз данных, теории объектно-ориентированного проектирования и программирования.

Научную новизну полученных в работе результатов составляют:

1. Оригинальная структура программного обеспечения системы сопровождения подвижных объектов, обеспечивающая в реальном масштабе времени интерфейс между системой пакетной передачи данных и ГИС, а также возможности программного обеспечения по расширяемости, масштабируемости и адаптируемости.
2. Алгоритм пакетного кодирования навигационной информации, позволяющий добиться уменьшения объема хранимых и передаваемых данных, путем сочетания параметрического преобразования навигационного пакета и эффекта дельта-кодирования.
3. Способ оптимального упорядочения заданий на передачу навигационной информации от подвижных объектов в диспетчерский центр, позволяющий формировать очередь из заданий, отвечающую критерию минимальной длительности ожидания системы, учитывая динамику параметров пакетного кодирования.

Практическая ценность результатов работы.

1. Разработанные алгоритмы пакетного кодирования и декодирования позволяют в реальном масштабе времени сжимать поток навигационных данных до 9,9 раз. Работоспособность аппаратно-программных средств ССПО обеспечивается в различных режимах, включая режим «Черный ящик» и при временном отсутствии канала связи между ДЦ и подвижными объектами.
2. Разработанный способ оптимизации процесса передачи навигационных данных от подвижных объектов в диспетчерский центр позволяет проектировать и реализовывать эффективные аппаратно-программные средства контроля местоположения подвижных объектов, использующие для связи с подвижными объектами радиоканалы (КВ, УКВ диапазонов), спутниковые и сотовые каналы связи.
3. Предложенная и разработанная модульная структура программного обеспечения ССПО позволяет реализовывать программные средства с масштабируемыми функциональными возможностями по приему, обработке, визуализации и анализу навигационных и пространственных данных.
4. Структура программного обеспечения ССПО обеспечивает взаимодействие интегрированной системы пакетной передачи данных «ПОТОК» и ГИС MapInfo и позволяет:
 - о строить информационные системы, используя единую базу данных предприятия для обработки и хранения производственной информации о подвижных и стационарных объектах;
 - о проектировать информационные системы с возможностью контроля местоположения подвижных объектов одновременно с нескольких рабочих мест в реальном масштабе времени на электронной карте;
 - о использовать средства ГИС для визуализации и пространственного анализа производственных данных предприятия.
5. Предложенный подход к проектированию и разработке программного продукта обеспечил комплексное представление, обработку и анализ навигационных, пространственных и производственных данных.
6. Программное обеспечение ССПО, реализованное в виде наборов программных модулей «Меридиан - ДЦ» и «Меридиан-Подвижный объект», включено в состав интегрированной информационно-телекоммуникационной системы и внедрено на объектах военного комиссариата Ханты-Мансийского автономного округа и лесной службы Главного управления природных ресурсов по Читинской области, а также в учебный процесс на факультете автоматики и вычислительной техники Томского политехнического университета по дисциплинам «Микропроцессорные системы управления» и «Системы реального времени».

Обоснованность и достоверность полученных научных результатов диссертационной работы и созданных программных средств сопровождения подвижных объектов подтверждены положительными результатами внедрений.

Обоснованность применения предложенных автором алгоритмов сжатия и оптимизации процесса передачи навигационной информации от подвижных объектов в диспетчерский центр (ДЦ) подтверждается применением методов теории

расписаний, комбинаторного анализа и теории алгоритмов при постановке и решении поставленных задач. Эффективность алгоритма сжатия навигационной информации подтверждена результатами выполненных практических экспериментов.

Личный вклад.

1. Постановка задач исследования и разработка концепции алгоритмического и программного обеспечения ССПО на базе интегрированной системы пакетной передачи информации «ПОТОК» выполнены автором совместно к.т.н., Сонькиным М. А.
2. Разработка технологии контроля местоположения подвижных объектов на основе принципов пакетной передачи данных выполнена автором совместно с к.т.н., Сонькиным М.А.
3. Анализ и проработка задачи уменьшения объема передаваемой от подвижных объектов в ДЦ информации выполнены автором совместно с В.В. Гринемаером.
4. Разработка способа и алгоритмов пакетного кодирования и декодирования навигационной информации выполнены лично автором.
5. Разработка способа и алгоритма оптимизации процессов передачи навигационной информации от подвижных объектов в ДЦ выполнена лично автором.
6. Реализация алгоритмов декодирования навигационных данных и представления их средствами ГИС выполнена лично автором.
7. Анализ и проработка интерфейса взаимодействия программного обеспечения системы «ПОТОК» и ССПО выполнены автором совместно с Е.И. Печерской.
8. Проектирование и разработка структуры программного обеспечения ССПО, реализация всех программных модулей выполнены лично автором.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Структура программного обеспечения системы сопровождения подвижных объектов является оригинальной и обеспечивает в реальном масштабе времени интерфейс между информационно-телекоммуникационной системой пакетной передачи данных и ГИС.
2. Разработанные алгоритмы пакетного кодирования и декодирования навигационной информации, позволяют уменьшить объем данных, передаваемых по каналам связи от подвижных объектов в ДЦ в 2,5 –9,9 раз.
3. Разработанный алгоритм оптимального упорядочения заданий на передачу навигационных данных от подвижных объектов в ДЦ позволяет формировать очередь из заданий с минимальным суммарным временем ожидания системы.
4. Разработанное программное обеспечение ССПО «Меридиан - ДЦ» и «Меридиан-Подвижный объект», реализованное в виде наборов программных модулей отвечает показателям эффективности и обеспечивает в реальном масштабе времени решение задачи сопровождения подвижных объектов и задачи мониторинга территории.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Третья научно-практическая конференция «Современные средства и системы автоматизации» (г. Томск, компания ЭлеСи, 14-

15 ноября 2002 г.); IEEE—СИБИРСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ И СВЯЗИ (The IEEE-Siberian conference on control and communications) «SIBCON-2003» (г. Томск, 2003 г.); Выездное заседание объединенного ученого совета по управлению интеграционной программы по развитию информационно-телекоммуникационных ресурсов СО РАН. (г. Томск, ТНЦ СО РАН, 4 ноября 2003 г.); Восьмой Российско-Корейский международный симпозиум по науке и технологии (The Eights Korea-Russian International Symposium on Science and Technology) «KORUS 2004» (г. Томск, ТПУ, 26 июня – 3 июля 2004 г.).

Программные средства системы сопровождения подвижных объектов в составе интегрированной системы пакетной передачи данных «ПОТОК» в 2001-2004 г. экспонировались на четырех Межрегиональных, Всероссийских и Международных выставках и удостоены четырех дипломов с золотыми медалями.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных сокращение и определений, списка литературы и шести приложений. Объем диссертации составляет 152 страницы, в том числе 110 страниц основного текста, 33 рисунка, 12 таблиц и 90 наименований литературы.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируется цель и задачи исследования, приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе проведен анализ методов определения местоположения подвижных объектов, которые применяются в существующих системах и комплексах (метод радиопеленгации, навигационного счисления, радионавигации). Приведены общие сведения о системах сопровождения, представленных на российском рынке.

Сделан вывод о том, что применительно к организациям и ведомствам с территориально-распределенной структурой, при построении ССПО очевидными преимуществами обладает метод радионавигации.

На основе проведенного анализа предлагается наиболее приемлемый вариант построения современной системы сопровождения подвижных объектов в составе интегрированной системы передачи информации по радио- и спутниковым каналам связи «ПОТОК». Выделены основные задачи алгоритмического и программного обеспечения ССПО.

Задача сбора и передачи навигационной информации от подвижных объектов в ДЦ. Первое – аппаратные и программные средства подвижного объекта должны обеспечивать эффективное сжатие навигационной информации с целью минимизации объема данных, передаваемых от подвижных объектов в ДЦ. Второе – необходимо обеспечить передачу сжатых навигационных данных от подвижных объектов в ДЦ в реальном масштабе времени.

Задача обработки и визуализации навигационных и пространственных данных. Эффективность процесса сопровождения подвижных объектов определяется не только эффективностью процесса сбора и передачи навигационных данных от подвижных объектов в ДЦ, но также оперативностью, удобством и информативностью представления принимаемых данных на экране компьютера

диспетчера ССПО. Реализацию данных функций предложено осуществить при помощи ГИС.

Сделан вывод, что, реализация задач диссертационного исследования позволит повысить эффективность обработки навигационной информации и процессов передачи данных от подвижных объектов в ДЦ.

Вторая глава посвящена разработке способов оптимизации процессов сбора и передачи навигационных данных от подвижных объектов в ДЦ.

Решается задача уменьшения объема навигационной информации. В качестве её решения предложен способ пакетного кодирования навигационной информации, поступающей от спутниковых навигационных приёмников по протоколу NMEA-0183.

Способ пакетного кодирования навигационных данных. В основу способа положены – принцип пакетной обработки входного потока данных; принцип дельта-кодирования и принцип преобразования входных пакетов из ASCII-символьного вида в бинарное представление.

Принцип пакетно-параметрической обработки входного потока данных – из поступающих от навигационного приемника сообщений сначала полностью формируется пакет необходимых параметров навигационных данных, и только после этого производится преобразование каждого параметра и кодирование навигационного пакета в сжатый блок.

Принцип дельта-кодирования – при кодировании нового пакета данных, кодируются только значения изменений его параметров относительно предыдущего.

Изменения значений параметров T (время), X (долгота), Y (широта), H (высота над уровнем моря), S (скорость), C (направление) предыдущего и нового пакетов навигационных данных незначительны и носят линейный характер. Линейный характер зависимости блоков информации входящего потока позволяет применить принцип дельта-кодирования как наиболее эффективный метод сжатия данных такого рода.

Принцип преобразования входного пакета из ASCII-символьного вида в бинарное представление заключается в уменьшении объема данных за счет избавления от избыточности символьного кодирования.

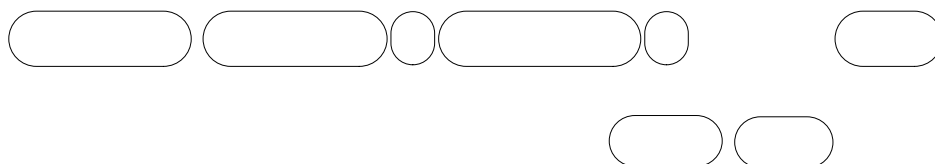


Рис. 1. Пример сообщений входного потока навигационных данных

Анализ поступающих от спутникового приемника данных показал, что значения его параметров содержат излишнюю точность, которой можно пренебречь. После удаления «лишней» информации значения параметров T , X , Y , H , S и C принимают, например следующий вид (рис. 2.).

--	--	--	--	--	--	--	--

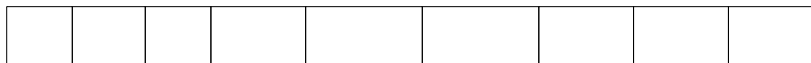
Рис. 2. Пример пакета навигационных данных без избыточной информации.

Обозначим его как *NavPack* и назовем «навигационным пакетом».

Преобразование навигационного пакета.

Вводятся понятия дельта-блок – навигационный пакет, полученный в результате дельта-кодирования и ASCII-бинарного преобразования и навигационный блок (*NavBlock*) – последовательность дельта-блоков во главе с «опорным» навигационным пакетом, преобразованным в бинарный вид.

Структура памяти «опорного» навигационного пакета – *PackF*.



Структура памяти занимаемой одним дельта-блоком – *PackD*.



После всех преобразований dY и dX могут занимать 1 или 2 байта. Это будет зависеть от величины значений разницы параметров X и Y «предыдущего» и «нового» навигационных пакетов.

Введем обозначения:

○ T_{gps} – частота фиксирования местоположения (период выборок «нового» навигационного блока);

○ P_{gps} – формат -блока (0 – полный (*full*), 1 – без высоты (*mid*), 2 – без высоты, курса и скорости (*short*)).

Действие 1 – Формирование служебной части (поля FP , SG , SS и dSS).

Служебная часть *PackF* - структура, состоящая из трех полей длиной по одному байту, в которой содержится информация о частоте фиксирования собственного местоположения подвижных объектов, о формате навигационного блока и некоторая дополнительная информация, необходимая для дальнейшего декодирования. Служебная часть *PackD* - байт dSS . Байт FP , содержит количество дельта-блоков, закодированных на данный момент. Увеличивается по мере обработки «нового» навигационного блока. Байт SG содержит значение переменных T_{gps} и P_{gps} .

Действие 2 - Упаковка времени (параметр T). Данное действие выполняется только для *PackF*, для пакетов *PackD* параметр T не кодируется, а значение времени для каждого i -ого дельта-блока может быть вычислено как $dT = T_f + i * T_{gps}$, где T_f – время, закодированное в «опорном» навигационном пакете.

Действие 3 - Упаковка координат (параметры Y и X , dY и dX). До преобразования параметр Y в символьном виде занимает 9 байт, параметр X – 10. После преобразования, параметры Y и X кодируются в поля длиной по 3 байта. Для дельта-блоков кодируются только изменения значений этих параметров вычисленные, как $dY = Y^{новое} - Y^{старое}$ и $dX = X^{новое} - X^{старое}$ в поля, длиной по одному байту.

Действие 4 - Упаковка скорости (параметр S или dS). Действие 5 - Упаковка курса (параметр C или dC). Действие 6 - Упаковка высоты (параметр H или dH). Значение этих параметров для «опорного» навигационного пакета кодируются в двухбайтовое слово, для дельта-блока – в один байт.

На рис. 3. представлен универсальный формат навигационного блока. Пунктирной линией показаны параметры, которые могут присутствовать или отсутствовать в блоке, в зависимости от значения параметра P_{gps} .

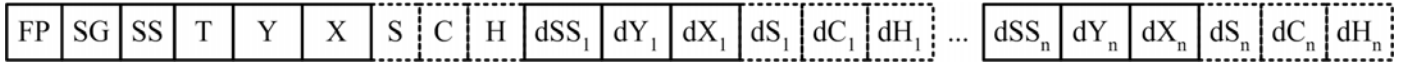


Рис 3. Универсальный формат навигационного блока (*NavBlock*).

Понятие 1. $Len(a)$ – длина блока навигационных данных a в байтах. $Len(a) = f(T, Y, y, X, x, H, S, C)$.

Длина навигационного блока в зависимости от P_{gps} рассчитывается как:

При $P_{gps} = 0$ – полный формат пакета (*full*):

$$Len(NavBlock^{full}) = Len(PackF^{full}) + \sum_{i=1}^{FP} Len(PackD_i^{full}) \quad (1)$$

При $P_{gps} = 1$ – средний формат (без высоты) (*mid*):

$$Len(NavBlock^{mid}) = Len(PackF^{mid}) + \sum_{i=1}^{FP} Len(PackD_i^{mid}) \quad (2)$$

При $P_{gps} = 2$ – минимальный формат (без высоты, скорости и курса) (*short*):

$$Len(NavBlock^{short}) = Len(PackF^{short}) + \sum_{i=1}^{FP} Len(PackD_i^{short}) \quad (3)$$

Где $Len(PackF)$ и $Len(PackD)$ – длина «опорного» навигационного пакета и дельта-блока, соответствующего формата.

В результате поочередного преобразования всех параметров навигационного пакета и периодического кодирования нового пакета в навигационный блок формируется *NavBlock* заданной длины. Способ обеспечивает кодирование входного потока навигационных данных в реальном масштабе времени и с допустимым уровнем потери информации.

Задача оптимизации процесса передачи навигационной информации от подвижных объектов в ДЦ.

Цель. Необходимо распределить временные ресурсы работы канала связи ДЦ – подвижные объекты таким образом, чтобы общая длительность ожидания (простоя) системы была минимальной.

Понятие 2. Задание – сеанс связи между ДЦ и подвижным объектом, во время которого производится передача блока навигационной информации от подвижного объекта в ДЦ.

Приводится краткая классификация поступающих в систему заданий по *длительности* и по *приоритету*. Задания с *одинаковой длительностью* – это задания на передачу от подвижного объекта данных только о его текущем местоположении, с *разной длительностью* – задания на передачу от подвижных объектов навигационных блоков с информацией о маршруте его движения и текущем местоположении в сжатом виде. *Без приоритета* – задание для объекта с

нулевым приоритетом в системе. Приоритет каждому подвижному объекту задает диспетчер. Максимальное значение приоритета не ограничено.

Вводятся обозначения:

- 1) x – номер подвижного объекта: $x = \overline{1, X}$, где X – общее количество подвижных объектов в системе;
- 2) n – количество заданий поступивших в систему за определенное время (в неупорядоченном списке);
- 3) $n | 1$ – задача упорядочения, где 1 – означает, что все n заданий должны выполняться одним устройством. В нашей задаче роль исполнительного устройства выполняет канал связи между ДЦ и подвижными объектами;
- 4) s_i^x – задание, поступившее в систему от абонента x , где i – порядковый номер задания в списке.
- 5) r_i – время начала i -ого задания (с этим временем задание поступает в систему);
- 6) a_i – длительность i -ого задания (время, необходимое для его выполнения);
- 7) d_i – плановый срок выполнения i -го задания: $d_i = r_i + a_i$;
- 8) p_i – приоритет i -ого задания в системе. Может принимать любое значение из множества натуральных чисел;
- 9) dt_i – период готовности i -ого задания в системе – время формирования навигационного блока *NavBlock*. Расчет dt_i производится по формуле:

$$dt_i = \frac{(Len^x(NavBlock) - Len^x(PackF))}{Len^x(PackD)} \cdot T_{gps}^x;$$

- 10) $r_i^{новое}$ – новое время начала i -ого задания. Расчет $r_i^{новое}$ производится по формуле: $r_i^{новое} = r_i + k \cdot dt_i$, где k – некоторое целое число;
- 11) $w_{i,i+1}$ – интервал времени между окончанием i -ого и началом $i+1$ -ого заданий;
- 12) W_n – общая длительность ожидания системы при выполнении n заданий.

Определим задание как $s_i^x = f(r_i, a_i, p_i, dt_i)$.

Целевая функция:

$$W_n = \sum_{i=1}^{n-1} w_{i,i+1} \rightarrow \min$$

Для минимизации W_n необходимо и достаточно минимизировать каждое из значений $w_{i,i+1}$, $i = 1, \dots, n-1$.

Ограничения:

Задания в системе должны выполняться по убыванию приоритетов.

$$p_i \geq p_{i+1}, \text{ для } i = 1, \dots, n-1. \quad (4)$$

Задания не должны пересекаться по времени (условие совместности).

$$d_i \leq r_j \text{ или } d_j \leq r_i. \quad (5)$$

Задание для абонента x не должно выполняться раньше, чем будет сформирован на подвижном объекте новый *NavBlock*.

$$r_i^x \geq d_{(предыдущее)}^x + dt_i^x, \quad (6)$$

где $d_{(предыдущее)}^x$ – время окончания задания для абонента x , во время которого был собран предыдущий навигационный блок.

Так как два задания для одного подвижного объекта должны выполняться системой через определенный период времени (период опроса подвижного объекта) то, пока не выполнилось предыдущее задание для данного подвижного объекта, инициализировать новое задание и учитывать его при формировании очереди – нет смысла. Следовательно, количество одновременно поступающих в систему заданий можно ограничить сверху количеством подвижных объектов в системе. Таким образом, сформулированная задача упорядочения является задачей теории расписаний со статическим характером поступления заданий в систему.

Способ оптимального упорядочения заданий.

Предлагаемый способ позволяет получить упорядочение конечного числа заданий для подвижных объектов на передачу навигационной информации в ДЦ, оптимальное, с точки зрения *минимизации общей длительности ожидания системы*, с учетом ряда ограничений.

Действие 1. Минимизация r_i на $k \cdot dt_i$ для каждого задания, с учетом ограничения (6).

Действие 2. Сортировка списка заданий по убыванию приоритетов.

Действие 3. Сортировка списка заданий по возрастанию плановых сроков.

Теорема Джексона, гласит: «Расписание, минимизирующее максимум временного смещения и максимум запаздывания работ в системе $n \mid 1$, таково, что работы выполняются в порядке возрастания плановых сроков d_i ».

Действие 4. Формирование очереди заданий.

На данном этапе задача является оптимизационной задачей о выборе заявок, которая может быть решена методом динамического программирования или методом, построенным по принципу «жадного выбора».

Жадный алгоритм работает гораздо быстрее алгоритма динамического программирования, и для нашей задачи он дает оптимальное решение.

Если действовать по принципу «жадного выбора», то для нашей задачи мы получим набор из максимально-возможного количества совместных заданий, несовместные при этом игнорируются.

Действие 5. Приведение заданий, не удовлетворяющих условиям совместности (5), к совместному виду путем увеличения r_i на величину, кратную dt_i , $r_i = r_i^{\text{новое}}$.

Далее действия 4 и 5 чередуются до полного упорядочения списка заданий.

Графически процесс оптимального упорядочения списка заданий описанным способом представлен на рис. 4

Третья глава посвящена разработке и анализу алгоритма пакетного кодирования и алгоритма оптимального упорядочения заданий. Приводятся блок-схемы и пошаговые описания алгоритмов, результаты анализа.

Алгоритм пакетного кодирования. Входными данными для алгоритма кодирования являются:

- о V_{gps} – объем навигационного блока (в байтах): $V_{gps} = 2_i$, для $i = 5, \dots, 10$;
- о T_{gps} – период выборки нового навигационного пакета;
- о P_{gps} – формат навигационного блока.

Входящим потоком информации являются навигационные пакеты, поступающие с периодом T_{gps} от спутникового навигационного приемника.

Работа алгоритма заключается в пошаговой обработке вновь поступившего навигационного пакета $NavPack$, в ходе которой происходит преобразование его в $PackF$ или $PackD$ способом пакетного кодирования и записью в $NavBlock$. Алгоритм

начинает свою работу с появлением первого навигационного пакета и заканчивает её по завершению формирования навигационного блока объемом V_{gps} . Результатом нормального завершения работы алгоритма кодирования будет навигационный блок объемом V_{gps} , содержащий навигационные пакеты вида $PackF$ и $PackD$.

Алгоритм упорядочения заданий на передачу навигационной информации от подвижных объектов в ДЦ.

Входными данными для алгоритма являются:

- 1) X – количество подвижных объектов в системе.
- 2) p^x – приоритет объекта x в системе.
- 3) t^x – период опроса объекта x в системе (максимальное время между сеансами связи с объектом x).
- 4) T_{gps}^x – период фиксирования собственного местоположения объектом x .
- 5) V_{gps}^x – объем навигационного блока, для объекта x .
- 6) P_{gps}^x – тип навигационного блока, для объекта x .

Зная V_{gps}^x и скорость передачи данных по каналу связи можно рассчитать a^x –

длительность задания s^x : $a^x = \frac{V_{gps}^x + Q}{\gamma}$, где Q – объем служебной части пакета данных, формируемой подсистемой приема/передачи данных, а γ – скорость передачи данных по каналу связи.

В момент поступления в систему задания s^x , зная a^x , можно рассчитать плановый срок его выполнения $d^x = r^x + a^x$.

Алгоритм начинает свою работу при записи в неупорядоченный список первого задания.

После записи задания s^x в оптимальное упорядочение, алгоритм записывает в неупорядоченный список новое задание для абонента x (если включен режим сопровождения), предварительно минимизировав r_i^x . Таким образом, входной список заданий постоянно пополняется, но количество заданий, одновременно находящихся в списке, не превосходит количества подвижных объектов.

Алгоритм заканчивает свою работу после полного упорядочения всего списка заданий в очередь способом, описанным в главе 2.

Результатом работы алгоритма в каждый момент времени является, очередь, содержащая задания с минимальными временными зазорами.

Анализ эффективности разработанных алгоритмов и заложенных в их основу принципов проводился по таким показателям как: вычислительная сложность; эффективность решения поставленной задачи; возможность адаптации способа или алгоритма для решения смежных задач.

Вычислительная сложность алгоритма пакетного кодирования – линейна, $O(n)$ и зависит только от частоты поступления на вход нового навигационного пакета. Практическим путем было определено значение максимальной загрузки центрального процессора контроллера ВИП-М в различных режимах работы алгоритма пакетного кодирования. Эксперименты показали, что даже при минимальном периоде кодирования нового навигационного пакета (1 раз в секунду) загрузка процессора ВИП-М составляет 45% от общей производительности (в режиме без кодирования данных загрузка процессора составляет 30%).

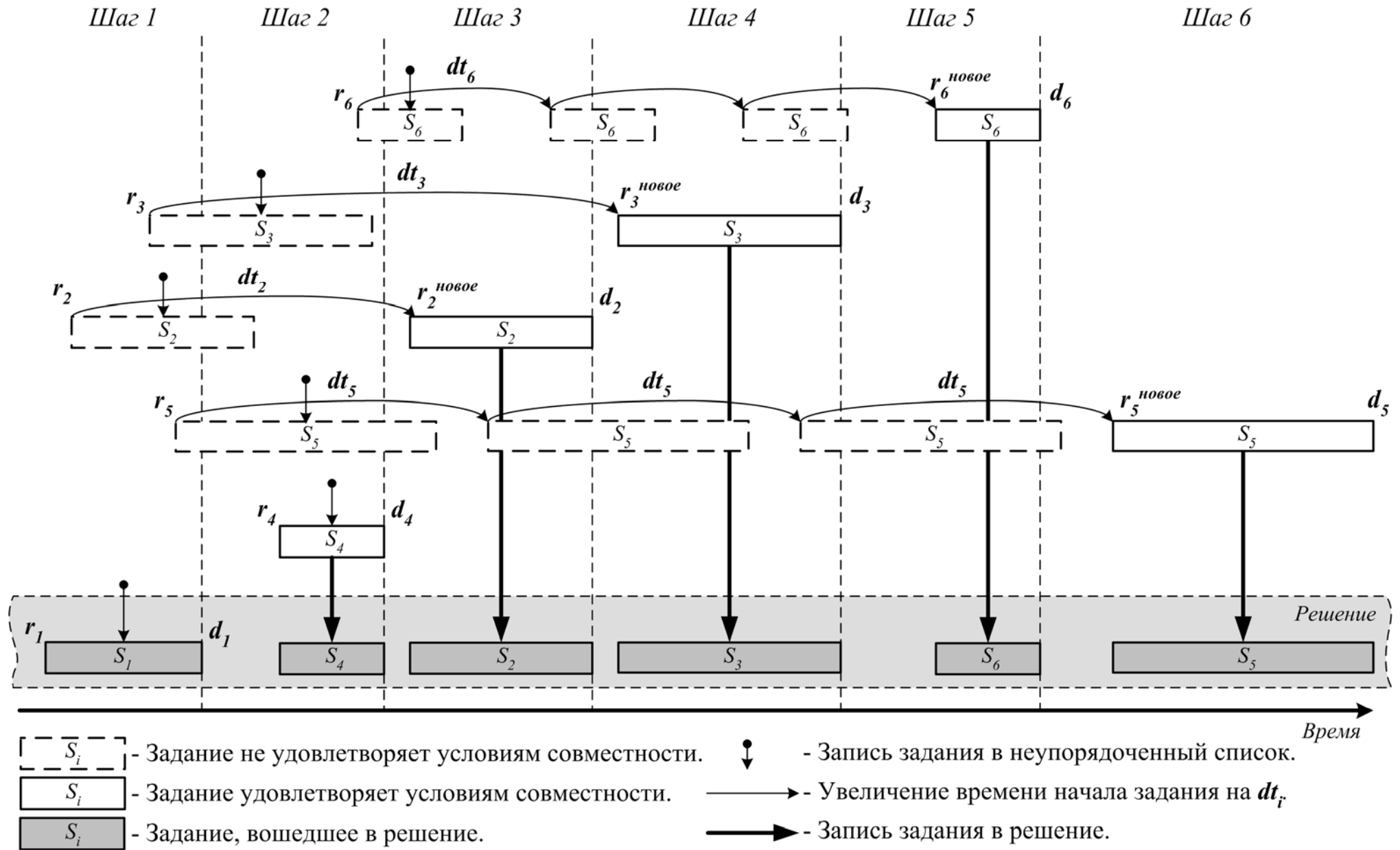


Рис. 4. Процесс формирования очереди заданий способом оптимального упорядочения

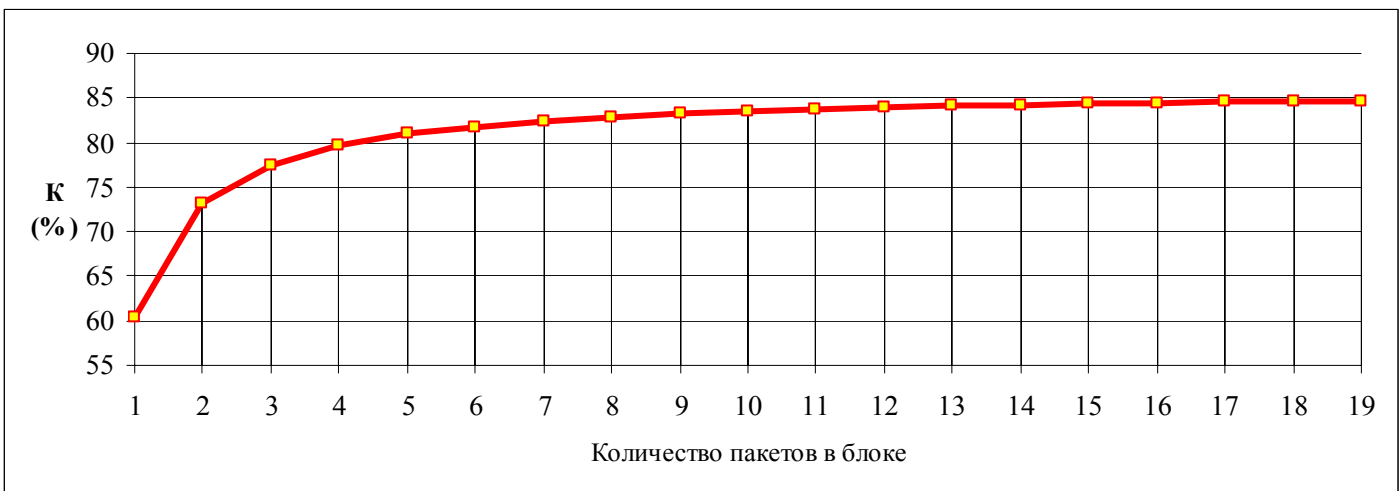
Можно сделать вывод о том, что работа алгоритма кодирования не сказывается на общей производительности ВИП-М, так как еще остается большой резерв вычислительной мощности.

Для оценки *эффективности решения задачи* сжатия навигационной информации, был вычислен коэффициент сжатия данных для нескольких примеров, с различными входными данными. На рис. 5. изображена кривая зависимости K от FP для объекта «Самолет АН-2» при условиях: объеме блока – 128 байт, формат пакета – *full*, максимальное значение $K = 84,7 \%$.

В таблице 1. приведены максимальные значения коэффициентов сжатия для других входных условий.

Таблица 1.

№	Размер блока/количество пакетов	Значение K (%)
1	512 / 100 (формат - <i>mid</i>)	86,216216
2	1024 / 202 (формат - <i>mid</i>)	86,352689
3	256 / 243 (формат - <i>short</i>)	89,890261
4	1024 / 338 (формат - <i>sort</i>)	89,921105

Рис. 5. Зависимость коэффициента сжатия K от количества дельта-блоков

Применение алгоритма пакетного кодирования в ССПО позволяет не только в 9,9 раз сократить объем передаваемых по каналам связи данных, но и обеспечить работу системы в режиме «Чёрный ящик», а также в условиях отсутствия связи между диспетчерским центром и подвижным объектом.

Главным достоинством алгоритма пакетного кодирования по отношению к другим алгоритмам сжатия данных является то, что, учитывая параметры сопровождения, можно рассчитать время формирования навигационного блока, а, следовательно, эффективно спланировать работу подсистемы приема/передачи.

Вычислительная сложность алгоритма оптимального упорядочения складывается из сложности алгоритмов сортировки и перебора заданий и в наихудшем случае может быть выражена как $O(n) + O(n^2) = O(n^2)$ и является квадратичной, в наилучшем случае – линейна.

Показателем *эффективности решения задачи оптимизации* процесса передачи навигационной информации от подвижных объектов в ДЦ является оптимальность полученного упорядочения заданий относительно критерия минимизации общего времени ожидания системы. Заложенный в основу алгоритма способ оптимального упорядочения позволяет получать на выходе очередь, оптимизированную по этому

критерию. Это достигается за счет предварительной минимизации времен начала заданий, а также за счет применения принципа жадного выбора.

Способность алгоритма к адаптации заключается в том, что алгоритм может быть адаптирован путем определения «фиктивного» задания $s^0(r, a, p)$, которое означает, что в это время система по каналу связи не работает и диспетчер может использовать эту «паузу» для общения с экипажами подвижных объектов. Другой вариант адаптации алгоритма предполагает передачу от подвижных объектов не только информации об их текущем местоположении, но и накопленных и хранящихся в памяти ВИП-М, навигационных блоков с информацией о пройденных ранее маршрутах. Для этого вводятся задания со свободным временем начала, и им присваивается наименьший приоритет

В четвертой главе описывается процесс проектирования и особенности реализации ПО ССПО «Меридиан-ДЦ» и «Меридиан – Подвижный объект».

Определяются функциональные и нефункциональные требования, предъявляемые к ПО ССПО, и определяются функции программных средств. На основе анализа требований и функций разрабатывается модульная структура ПО (рис. 6.), указываются особенности организации взаимодействия ПО ССПО с программными средствами системы «ПОТОК» и подсистемой картографии на базе ГИС MapInfo.

Основными компонентами структуры являются:

- о подсистема взаимодействия с системой «ПОТОК»;
- о подсистема картографии;
- о подсистема импорта/экспорта данных;
- о подсистема поддержки принятия решений.

Приводится описание каждого модуля и подсистемы. Указываются их функции.

При реализации ПО ССПО «Меридиан-ДЦ» были использованы средства разработки и языки программирования Microsoft Visual C++, Microsoft Visual FoxPro и встроенный язык программирования для ГИС MapInfo MapBasic.

Модуль декомпрессии навигационных данных и модуль формирования заданий на передачу навигационной информации от подвижных объектов в ДЦ реализованы в виде динамически подключаемых библиотек (decomp.dll и set_order.dll) в среде разработки Microsoft Visual C++6.0.

Модули подсистемы картографии, модули импорта и экспорта данных, модуль формирования отчетов, модуль интерфейса пользователя и модуль настройки параметров отображения информации реализованы на языке MapBasic.

Связь подсистемы импорта/экспорта данных с единой базой данных организации осуществляется через ODBC механизм или посредством SQL-запросов к БД. Программные модули подсистемы взаимодействия с системой «ПОТОК», а также модуль настройки параметров сопровождения подвижных объектов реализованы в среде разработки Microsoft Visual FoxPro 8.0.

На рис. 7. изображено рабочее окно электронной карты программного обеспечения ССПО с результатами сопровождения самолета «АН-2». Маршрут самолета показан толстой линией. Слева на карте изображены три площадных объекта, которые соответствуют лесным пожарам.



Рис. 6. Структура программного обеспечения ССПО «Меридиан - ДЦ».

После завершения облета «пожара» диспетчеру ССПО автоматически высвечивается значение его площади. Сверху показан открытый пункт меню «GPS», слева – две инструментальные панели «GPS» и «Панель управления слоями». Снизу изображено «плавающее» окно, в котором содержится последняя информация об объекте специального слоя. Все панели и окна со справочной информацией могут быть легко убраны с экрана, освободив окно электронной карты для лучшего анализа обстановки.

Особенностью разработки **пользовательского интерфейса** программного обеспечения «Меридиан-ДЦ» является то, что в отличие от большинства современных ССПО, интерфейс которых сильно «загружен» различного рода табличными данными и формами настройки параметров сопровождения, интерфейс «Меридиан-ДЦ» ориентирован на использование окон электронной карты максимального размера. Это позволяет вести сопровождение подвижных объектов с максимальной степенью детализации картографических данных и с наибольшим охватом территории.

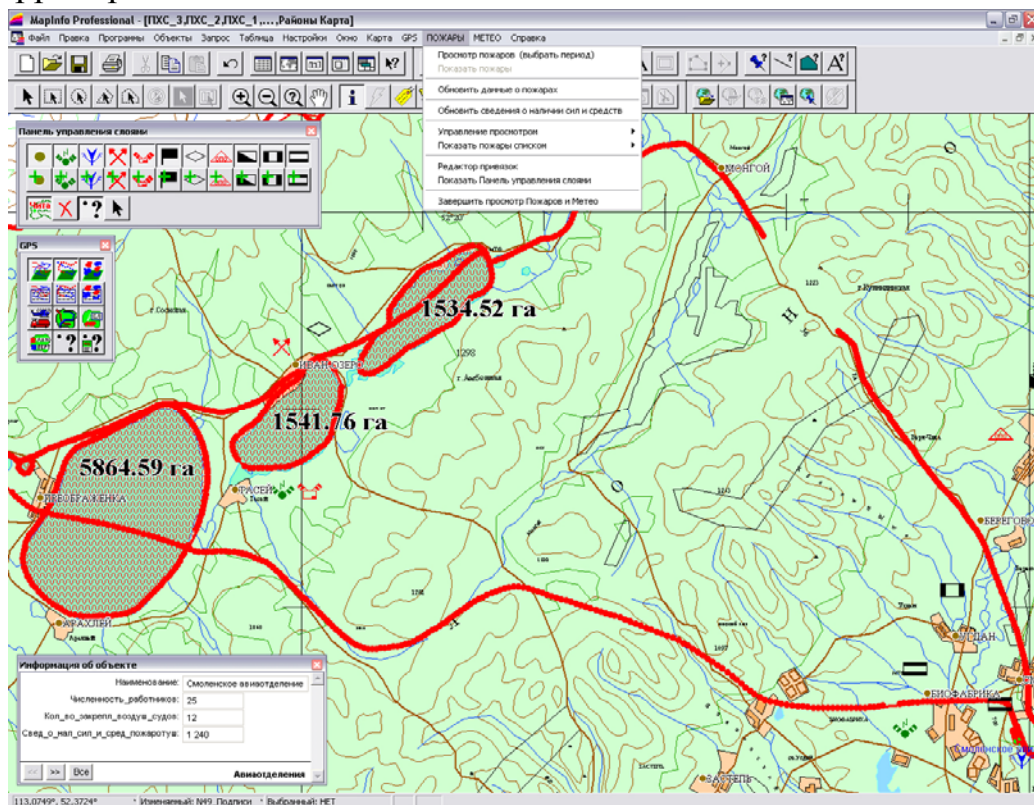


Рис. 7.

Программный модуль «Меридиан-Подвижный объект» разработан специально для функционирования непосредственно на подвижном объекте.

Объем программного кода разработанного ПО составил более 10000 строк кода на языке MapBasic, более 4000 строк на Visual C++ и более 5000 на языке Visual FoxPro.

Различные режимы работы ССПО (контроль над местоположением, контроль маршрута, сопровождение в фоновом режиме, «Черный ящик», Фиксирование контура) и их всевозможные сочетания, позволяют решать задачи, связанные с сопровождением легковых и грузовых автомобилей, малых воздушных судов типа АН-2, МИ-2, МИ-8, специальных транспортных средств типа КШМ-142, «Газель», «Соболь», и речных и морских судов; а также решать задачи мониторинга территории, которые требуют обработки различной пространственной и производственной информации.

В **заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.

В **приложения** вынесены заключение и справки о внедрении результатов работы, протокол летных испытаний аппаратно-программного комплекса мониторинга лесопожарной обстановки территории, экранные формы программного обеспечения.

Основные результаты работы

В ходе выполнения диссертационной работы были получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Проведен анализ методов определения местоположения подвижных объектов, а также существующих комплексов и программных средств сопровождения.
2. Предложен вариант построения ССПО на базе единой аппаратно-программной платформы системы «ПОТОК».
3. Сформулированы и поставлены задачи уменьшения объема навигационных данных и оптимизации процесса их передачи от подвижных объектов в ДЦ.
4. Разработан способ пакетного кодирования, обеспечивающий в реальном масштабе времени кодирование входного потока навигационных данных с допустимым уровнем потери информации.
5. Разработан способ оптимального упорядочения заданий на передачу навигационной информации от подвижных объектов в диспетчерский центр, позволяющий формировать очередь из заданий, отвечающую критерию минимальной длительности ожидания системы и учитывающий динамику параметров пакетного кодирования.
6. Разработаны и подробно описаны алгоритмы пакетного кодирования навигационных данных и оптимального упорядочения заданий. Проведен анализ их эффективности по нескольким показателям.
7. На основе анализа требований и функций разработана оригинальная структура программного обеспечения ССПО, обеспечивающая в реальном масштабе времени взаимодействие системы «ПОТОК» и ГИС.
8. Разработан пользовательский интерфейс диспетчера ССПО и реализовано программное обеспечение в виде наборов программных модулей «Меридиан-ДЦ» и «Меридиан Подвижный объект». Программные средства ССПО обеспечивают приём/передачу, обработку, визуализацию и анализ навигационных, пространственных и производственных данных в реальном масштабе времени.
9. Программное обеспечение ССПО включено в состав интегрированной информационно-телекоммуникационной системы «ПОТОК» и внедрено на объектах военного комиссариата Ханты-Мансийского автономного округа и лесной службы Главного управления природных ресурсов по Читинской области, а также используется в учебном процессе на факультете автоматики и вычислительной техники Томского политехнического университета по дисциплинам «Микропроцессорные системы управления» и «Системы реального времени».

Основные публикации по теме диссертации

1. Диденко С.В. Задача оптимизации процесса передачи навигационной информации от подвижных объектов в глобальную сеть данных. // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – №7. – С 130-135.

2. Сонькин М.А., Гринемаер В.В., Печерская Е.И., Лиханов М.Г., Киреев М.В., Диденко С.В. Опыт создания интегрированной системы сбора метеоданных с сети труднодоступных станций на основе спутниковых и радиоканалов // Сборник «Кибернетика и вуз» Выпуск № 30. Издательство ТПУ. 2003, с. 87-95.
3. Сонькин М.А., Диденко С.В. Способ построения аппаратно-программных средств контроля подвижных объектов. // Математическое и программное обеспечение проектирования систем. Выпуск 2. г. Томск, Издательство ТПУ 2002, с. 133-140.
4. Ботыгин И. А., Диденко С. В. Инструментальные средства объектно-ориентированного имитационного моделирования систем пакетной передачи информации. //Управляющие и вычислительные системы. Новые технологии». Материалы межвузовской научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2000. – с. 83 – 84.
5. Сонькин М.А., Диденко С.В. Программные средства оперативного мониторинга обстановки территории и контроля подвижных объектов. // Материалы третьей научно-практической конференции «Современные средства и системы автоматизации – гарантия высокой эффективности производства». – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2003. – с. 71 – 75.
6. Sonkin M.A., Grinemayer V.V., Pecherskaya E.I., Didenko S.V., Pozhenko M.A. The Transfer Information System Basing on the VIP-M Packet Controller as a Mean of Multilevel Distributed Control Systems Construction. //Proceedings of the IEEE-Siberian conference on control and communications (SIBCON-2003), Tomsk. – 2003. – P.77-79.
Сонькин М.А., Гринемаер В.В., Печерская Е.И., Диденко С.В., Поженко М.А.. Система передачи информации на базе пакетного контроллера ВИП-М как средство построения многоуровневых распределенных систем управления. //Материалы IEEE—СИБИРСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ И СВЯЗИ (SIBCON–2003), Томск. – 2003. – с. 77-79.
7. Pozhenko M.A., Didenko S.V. Modeling of the Episodical Wireless Networks with Dynamic Topology. //Proceedings of the IEEE-Siberian conference on control and communications (SIBCON-2003), Tomsk. – 2003. – P.60-63.
Поженко М.А., Диденко С.В. Моделирование эпизодических беспроводных сетей с динамической топологией. //Материалы IEEE—СИБИРСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ И СВЯЗИ (SIBCON–2003), Tomsk. – 2003. – с. 60-63.
8. Pechersky M.S., Didenko S.V. Principles Use of Virtual Machine for Development of Programming Connection Modules with Hardware. // Proceedings of the 8th Korea – Russian International Symposium on Science and Technology (KORUS 2004), Tomsk. – 2004. – Volume 1, P. 136-137.
Печерский М.С., Диденко С.В. Применение принципов виртуальной машины для разработки программных модулей связи с аппаратными средствами. // Материалы восьмого международного российско-корейского симпозиума по науке и технологиям (KORUS 2004), г. Томск. – 2004. – Том 1. с. 136 – 137.