

На правах рукописи

Острасть Павел Михайлович

**Алгоритмическое и программное обеспечение
многопользовательской геоинформационной
системы для работы с хранилищем данных**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск-2001

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор Н.Г.Марков

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор А.М.Кориков

Кандидат технических наук, доцент В.П.Комагоров

Ведущая организация:

Институт вычислительной математики и математической
геофизики СО РАН, г. Новосибирск

Защита состоится 4 июля 2001г. в 10 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.

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

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

М.А.Сонькин

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Одной из наиболее сложных проблем, возникающих при решении задач управления крупными территориальными образованиями, такими как города, районы, субъекты федерации или государство в целом, является проблема обеспечения оперативного доступа и анализа данных, описывающих тот или иной аспект жизнедеятельности рассматриваемой территории. Можно отметить следующие причины, обуславливающие сложность данной проблемы.

Во-первых, большие размеры рассматриваемых территориальных образований затрудняют своевременный сбор данных. Во-вторых, большие размеры территорий подразумевают значительные объемы собираемой информации, для эффективного анализа которых необходима разработка соответствующих методов и средств. В-третьих, имеется большое количество территориально распределенных организаций и отдельных граждан, заинтересованных в проведении различных видов анализа таких данных.

Одним из возможных подходов к решению описанной проблемы является разработка интегрированной системы, сочетающей возможности геоинформационных систем (ГИС) по анализу и представлению информации, хранилищ данных (ХД) по хранению информации и возможности Интернет-технологий по предоставлению удаленного доступа к информационным ресурсам.

На сегодняшний день существует ряд систем, интегрирующих возможности ГИС и Интернет-технологий. В качестве примера можно перечислить такие системы как MapXstream и MapXsite фирмы MapInfo Corporation (США), ArcView Internet Map Server и MapObjects IMS фирмы ESRI (США), GeoMedia Web Map фирмы Intergraph (США) и другие. Однако ни одна из упомянутых инструментальных систем не решает описанную проблему в целом, требуются значительные дополнительные усилия по разработке на их основе проблемно-ориентированной Интернет-ГИС (ИГИС). Более того, ни одна из этих систем не учитывает специфику работы с ХД. Таким образом, очевидна актуальность создания на базе современных информационных технологий автоматизированных средств удаленного доступа к архивам данных мониторинга различных сфер жизнедеятельности территориальных образований и анализа этих данных с использованием ГИС.

Исследования и разработки по теме проводились в соответствии с утвержденными планами НИР Кибернетического центра ТПУ в 1997-2001 гг., а также проводились в рамках Государственной НТО «Научные основы создания геоинформационных систем» (№ Гос. регистрации - 01200008656) и в рамках НТП «Научное, научно-методическое, материально-техническое и информационное обеспечение системы образования» Минобразования РФ (подпрограмма «Информационные технологии в образовании», проект № 3347).

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является создание алгоритмического и программного обеспечения (ПО) ИГИС, интегрированной с хранилищем данных и предоставляющей пользователям различной квалификации широкий набор функций по выполнению запросов к

хранилищу и отображению их результатов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи.

1. Создание концепции ИГИС для работы с ХД. В рамках концепции должны быть определены принципы построения пользовательского интерфейса системы, принципы функционального наполнения системы, подходы к интеграции ГИС и хранилищ данных и принципы программной реализации системы.

2. Разработка математического обеспечения ИГИС. Данная задача предполагает разработку методов и алгоритмов функционирования создаваемой системы и исследование их корректности и эффективности.

3. Разработка программного обеспечения ИГИС. Результатом решения данной задачи должны стать программные средства ИГИС, реализующие сформулированную концепцию построения системы и созданные алгоритмы.

Методы исследований. В работе использованы методы математического моделирования, теории алгоритмов, объектно-ориентированного анализа и проектирования.

Научную новизну полученных в работе результатов определяют:

1. Концепция создания ИГИС, включающая принципы интеграции ГИС, Web-технологии и ХД, построения пользовательского интерфейса, функционального наполнения и программной реализации системы.

2. Метод сжатия векторных геоданных, предназначенный для сжатия пространственной информации с целью последующей передачи ее в компьютерных сетях, основанный на устранении избыточности геоданных за счет приведения точности их представления до уровня точности устройства отображения пользователя, а также основанный на устранении избыточности за счет использования рациональной формы представления пространственной информации.

3. Алгоритмы, реализующие предложенный метод сжатия векторных геоданных для случаев точечных, полилинейных и полигональных объектов, и результаты исследования их эффективности.

4. Математические модели параллельного программного обеспечения ГИС-сервера и результаты анализа полученных моделей.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Практически значимыми являются созданные модели, методы, алгоритмы и программные средства ИГИС для удаленного доступа к хранилищу данных и работы с ним. Программные средства серверной части ИГИС функционируют на компьютерах типа IBM PC под управлением операционной системы Windows NT, доступ к системе может осуществляться с помощью любого современного Web-браузера. Объем исходного кода системы составляет более 7000 строк кода на языках Object Pascal, HTML, JavaScript, Java и PL SQL.

Созданные программные средства были использованы для разработки проблемно-ориентированной ИГИС в рамках проекта «ГИС-сервер социально-экономической сферы Томской области». Полученные в ходе выполнения исследований результаты внедрены в Государственном научно-исследовательском институте информационных технологий и

телекоммуникаций «Информика» г. Москва. Программные средства ИГИС были использованы в учебном процессе кафедры Вычислительной техники Томского политехнического университета. Результаты внедрения подтверждены соответствующими актами.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Созданные алгоритмические и программные средства ИГИС для работы с хранилищем данных позволяют эффективно решать задачу удаленного доступа к публичным архивам информации мониторинга различных сфер жизнедеятельности территориальных образований и отображать результаты запросов к ним.

2. Организация параллельного ПО ИГИС для работы с хранилищем данных является корректной и обеспечивает эффективное функционирование системы в целом.

3. Предложенный метод сжатия векторных геоданных и реализующие его алгоритмы позволяют эффективно сжимать пространственную информацию с целью последующей передачи в компьютерных сетях.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: XXXVI Международная научная конференция студентов и аспирантов «Студент и научно-технический прогресс» (г. Новосибирск, 1998 г.), II Российско-Корейский международный симпозиум по науке и технологии «Korus'98» (г. Томск, 1998 г.), First European GIS Education Seminar «EUGISES'98» (Netherlands, Utrecht, 1998.), Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика-98» (г. С-Петербург, 1998 г.), 2nd AGILE Conference on Geographic Information Science (Italy, Rome, 1999), 3^r Historical Cities Sustainable Development: "The GIS as Design and Management Support" HISTOCITY 99 (Italy, Siracusa, 1999), Международная научно-методическая конференция «Телематика-2000» (г. С-Петербург, 2000 г.), 3rd AGILE Conference on Geographic Information Science (Finland, Helsinki, 2000), 4th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology «Korus'2000» (Republic of Korea, Ulsan, 2000), 5th International Symposium On Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development (Brazil, Belo-Horizonte, 2000).

По результатам работы имеется 13 публикаций, в том числе 8 статей.

Личный вклад:

1. Разработка концепции ИГИС выполнена автором совместно с Н.Г. Марковым.

2. Проектирование и программная реализация серверной компоненты ИГИС, за исключением подсистемы хранения и оперирования данными (автор - Бокатый Д.В.), выполнены лично автором.

3. Дизайн и программная реализация пользовательского интерфейса ИГИС выполнены автором совместно с В.П. Ананьиной.

4. Проблемная ориентация созданных программных средств ИГИС в рамках проекта «ГИС-сервер социально-экономической сферы Томской области» выполнялась автором совместно с В.П. Ананьиной и Д.В. Бокатым.

5. Разработка метода и исследование алгоритмов сжатия векторных геоданных выполнены лично автором.

6. Постановка задачи исследования корректности способов организации параллельной обработки информации в ГИС-сервере выполнена автором, при этом разработка моделей и проведение их анализа выполнялись совместно с А.В. Сарайкиным и Е.А. Мирошниченко. Интерпретация результатов исследования проведена автором.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 111 наименований и приложений. Объем основного текста диссертации составляет 107 страниц машинописного текста, иллюстрированного 47 рисунками и 6 таблицами.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы в данном научном направлении, формулируются цель и задачи исследования, показывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов и приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе рассматривается проблема создания автоматизированной системы поддержки удаленного доступа к публичным архивам данных мониторинга различных сфер жизнедеятельности региона и анализа этих данных.

Такая система должна удовлетворять следующим требованиям: доступность широкому кругу территориально распределенных пользователей, доступность пользователям различной квалификации в области компьютерных технологий, возможность работы с большими объемами географически привязанной информации. В рамках данных требований система должна позволять пользователям выполнять разного рода запросы к хранимой информации и отображать результаты их выполнения в виде тематических карт, графиков и таблиц.

С учетом перечисленных требований *предлагается следующий подход к реализации* подобных интегрированных систем: доступ к системе должен осуществляться средствами Web-технологии, с учетом географической привязки хранимой информации система должна обладать функциями ГИС, для загрузки, хранения и обработки информации должна использоваться технология ХД. Поскольку предложенный подход предполагает интеграцию технологий Интернет, ГИС и ХД, выполняется анализ современного состояния исследований и разработок в данной области. Анализ дал следующие результаты.

Предложена классификация ИГИС на основе различных классификационных признаков. На основе формата представления пространственной информации, используемого при ее передаче между клиентом и сервером, можно выделить ИГИС использующие растровый или векторный формат. На основе набора геоинформационных функций можно выделить системы, реализующие следующие группы функций: навигационно-поисковые, аналитические, функции редактирования. По области применения ИГИС можно разделить на справочные и корпоративные системы.

Рассмотрены основные аспекты программной реализации ИГИС, такие как способы расширения функций Web-сервера, варианты структуры системы и распределение геоинформационных функций между различными компонентами системы.

В соответствии с предложенными классификационными признаками вы-

полнен аналитический обзор ряда существующих коммерческих программных продуктов и исследовательских систем. В частности были рассмотрены следующие зарубежные коммерческие системы: MapXtream и MapXsite фирмы MapInfo Corporation (США), ArcView Internet Map Server и MapObjects IMS фирмы ESRI (США), GeoMedia Web Map фирмы Intergraph (США), MapGuide фирмы Autodesk (США), отечественные коммерческие системы: Baikonur GIS Toolkit фирмы Epsilon Technologies, InterMapBase фирмы Ками-Север и другие.

Анализ проблемы интеграции ГИС и Интернет позволил сделать вывод о том, что на сегодняшний день не существует программного продукта, позволяющего в целом решить задачу удаленной работы с публичным архивом данных мониторинга различных сфер жизнедеятельности региона. Хотя существующие инструментальные ИГИС предлагают фундамент для создания систем такого рода, собственно разработка проблемно-ориентированной системы на его основе потребует значительных усилий.

С учетом данного вывода делается заключение об актуальности разработки ИГИС для работы с хранилищем данных, и формулируются цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе излагается концепция создания ИГИС для работы с хранилищем данных.

На основе результатов, полученных в первой главе, предлагается концепция создания системы, охватывающая следующие основные моменты: подходы к интеграции ГИС и ХД, принципы структурной организации пользовательского интерфейса системы и его функционального наполнения, принципы программной реализации системы. В качестве *подхода к интеграции* технологий ГИС и ХД предлагается подход, основанный на введении в ХД пространственного измерения, связи членов пространственного измерения с объектами электронной географической карты и на представлении результатов запросов к ХД в виде тематических карт.

Формулируются *принципы структурной организации пользовательского интерфейса и его функционального наполнения*, предполагающие наличие нескольких версий интерфейса пользователя, предназначенных для удовлетворения информационных потребностей следующих основных групп пользователей проектируемой системы: «читателей», «опытных пользователей» и «экспертов».

С учетом описанного подхода к интеграции ГИС и ХД и необходимого набора функций определяются *принципы программной реализации* системы. Данные принципы затрагивают оптимизацию клиент-серверного взаимодействия с учетом структур передаваемой информации, выбор эффективных алгоритмов передачи геоданных и выбор базовых программных средств для реализации системы.

Третья глава посвящена разработке алгоритмического обеспечения в рамках предложенной концепции ИГИС. Рассматриваются алгоритмы параллельной обработки запросов пользователей, алгоритмы сжатия векторных геоданных и приводится анализ их корректности и эффективности.

Для повышения эффективности функционирования описываемой в

данной работе системы, было принято решение о реализации ее на принципах параллельной обработки запросов. Таким образом, данная система может быть отнесена к классу параллельного ПО (ППО). При создании ППО в дополнение к традиционным ошибкам программирования возникает новый класс ошибок, связанных с аспектами взаимодействия параллельно функционирующих компонентов ПО. Одним из подходов, позволяющих выявлять ошибки такого рода на этапе проектирования ППО, является использование формальных моделей параллельных вычислений. Математические модели такого рода позволяют анализировать корректность структуры ППО, а так же проводить имитационное моделирование. Моделирование может служить не только средством анализа структуры и свойств разрабатываемого ППО, но и одним из средств проектирования.

Для анализа корректности организации ППО ГИС-сервера на этапе его проектирования было принято решение использовать математический аппарат PS-сетей, созданный в лаборатории ГИС Томского политехнического университета. Под ГИС-сервером далее будем понимать серверную компоненту ИГИС. Структуру параллельных процессов ГИС-сервера можно описать следующим образом. Для каждого подключившегося к системе пользователя создается сеанс работы, в рамках которого он может вызывать различные функции ИГИС. Каждый сеанс логически независим от остальных и имеет уникальный идентификатор. Отдельный пользователь может открыть сразу несколько сеансов. Число сеансов, одновременно существующих в рамках ГИС-сервера, ограничено. Все сеансы хранятся в глобальном для ГИС-сервера списке сеансов. С точки зрения организации параллельных процессов системы, список сеансов является совместно используемым ресурсом, поэтому доступ к нему *эксклюзивен*, т.е. в каждый момент времени со списком может работать только один процесс.

Существует два основных типа запросов, обработка которых ГИС-сервером выполняется по-разному: запрос на создание нового сеанса и запрос к одному из существующих сеансов.

Распознавание этих двух типов запросов происходит по наличию (второй тип запроса) или отсутствию (первый тип запроса) в запросе уникального идентификатора сеанса. Запросы на создание сеанса обрабатываются следующим образом. Если на текущий момент времени достигнуто максимальное число сеансов, то пользователю возвращается соответствующее сообщение об ошибке и обработка запроса прекращается. В противном случае создается новый сеанс работы пользователя, и запрос перенаправляется на этот сеанс. Новый сеанс добавляется в список сеансов ГИС-сервера.

При поступлении запроса второго типа, сначала выполняется поиск соответствующего сеанса в списке сеансов. При этом список блокируется на время выполнения поиска и освобождается сразу после его завершения. Если необходимый сеанс не найден, то пользователю возвращается соответствующее сообщение об ошибке и обработка запроса прекращается. Если сеанс найден, то запрос передается ему для содержательной обработки. Обработка каждого запроса пользователя происходит в отдельном потоке исполнения.

Уничтожение сеанса выполняется служебным потоком исполнения ГИС-сервера. Данный поток регулярно активизируется и выполняет поиск сеансов, для которых промежутки времени (таймаут), в течение которого отсутствовали запросы, превышает некоторое заданное значение. Сеансы, удовлетворяющие этому условию, удаляются из системы. На время выполнения операций поиска и удаления доступ к списку сеансов блокируется для всех потоков кроме служебного. Данное решение обусловлено тем, что в рамках Web-технологии в общем случае невозможно определить момент отключения пользователя от сервера.

На потоки исполнения ГИС-сервера накладываются следующие ограничения:

- запросы для одного и того же сеанса обрабатываются последовательно; для запросов к различным сеансам допускается параллельная обработка;
- в любой момент времени со списком сеансов ГИС-сервера работает только один поток;
- служебный поток не должен удалять сеансы, обработка запросов которых еще не завершена.

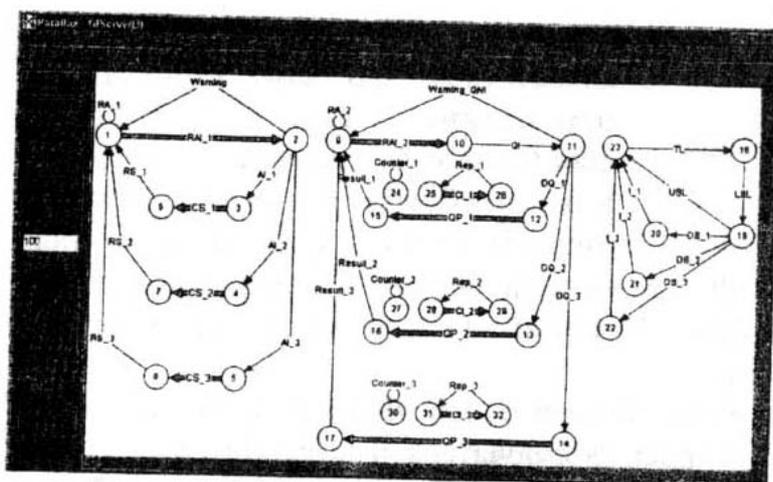


Рис. 1. Пример PS-сети, моделирующей работу ГИС-сервера при максимальном числе сеансов, равном трем

Для решения поставленной задачи был разработан ряд моделей в виде PS-сетей для различных конфигураций ГИС-сервера. В качестве изменяемых параметров выступали максимальное число сеансов и различные временные характеристики отдельных процессов ППО ИГИС. На рис. 1 приведена одна из полученных PS-сетей. Данная PS-сеть является моделью ГИС-сервера, настроенного для обработки не более трех сеансов.

Формальный анализ созданных моделей позволил установить, что в целом предложенная структура ППО ИГИС является корректной. В системе отсутствуют тупиковые ситуации при взаимодействии различных процессов, захват совместно используемых ресурсов отдельными процессами происходит на минимальные периоды времени.

Тем не менее, по результатам анализа была выявлена необходимость уточнения дисциплины удаления «устаревших» сеансов в ППО ИГИС. При определенном сочетании условий функционирования системы могла возникнуть ситуация, когда служебный поток удаляет сеанс, выполняющий в данный момент обработку запроса.

На основе анализа результатов моделирования было принято решение расширить дисциплину удаления «устаревших» сеансов таким образом, чтобы учитывалось количество запросов, поступивших на обработку для каждого сеанса. Правила функционирования служебного потока были изменены таким образом, чтобы он не удалял сеансы, для которых число поступивших запросов не равно нулю.

Последующий анализ моделей, учитывающих внесенные в проект изменения, подтвердил их корректность.

На основе результатов моделирования была разработана структура процессов и потоков в ГИС-сервере (рис. 2), а также алгоритмы исполнения последних.

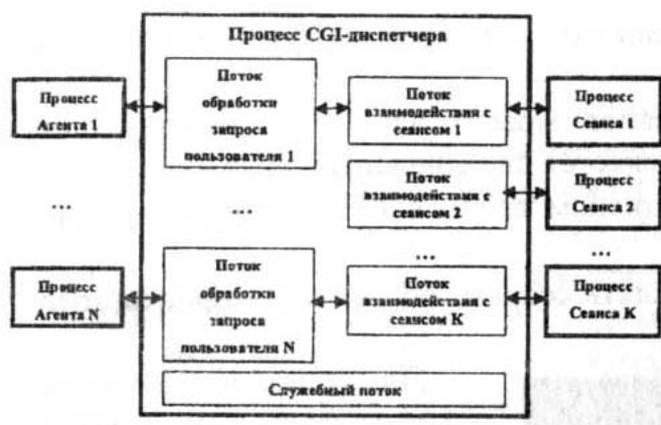


Рис. 2. Схема процессов и потоков исполнения в ГИС-сервере

Потоки исполнения и процессы ГИС-сервера имеют следующее назначение.

Процесс Агента (ПА). Данный процесс порождается Web-сервером для выполнения программного кода *Агента* в соответствии с требованиями протокола CGI. Выполнение каждого экземпляра CGI-приложения в отдельном процессе является главным недостатком протокола CGI, так как порождение процесса представляет собой дорогую операцию с точки зрения потребления системных ресурсов.

В созданной системе указанный недостаток смягчается тем, что *Агент* выполняет минимальный набор функций, т.е. имеет небольшой размер и потребляет минимум системных ресурсов. Для обработки каждого запроса пользователя порождается отдельный экземпляр ПА.

Поток обработки запроса пользователя (ПОЗ). Функцией рассматриваемого потока является передача запроса пользователя и результатов его обработки между ПА и соответствующим процессом исполнения *Сеанса*. Поток взаимодействия с *Сеансом* играет при этом вспомогательную роль.

Поток взаимодействия с сеансом (ПЕС). Назначением данного потока является выполнение ограниченных по времени вызовов СОМ-интерфейса *Сеанса*. Необходимость реализации вызовов такого рода обусловлена следующими причинами:

- для обеспечения устойчивости системы к сбоям нужно иметь возможность прервать выполнение затянувшегося, т.е. потенциально «сбойного» или «зависшего» вызова;
- СОМ-технология не имеет стандартных средств для решения этой задачи.

Служебный поток (СП). Данный поток предназначен для удаления из

системы *Сеансов*, к которым не было обращений в течение заданного периода времени. Дело в том, что в рамках Web-технологии, используемой для построения пользовательского интерфейса ИГИС, в общем случае невозможно определить момент прекращения работы пользователя с системой. Таким образом, окончание сеанса можно определять только косвенно, по отсутствию обращений в течение длительного периода времени.

Процесс сеанса (ПС). В контексте данного процесса происходит выполнение программного кода компонента *Сеанс*. Процесс порождается *CGI-диспетчером* при подключении очередного пользователя к ИГИС. Таким образом, каждый экземпляр *Сеанса* выполняется в отдельном процессе, что позволяет в случае ошибок удалять «сбойный» *Сеанс*, не оказывая влияния на работу системы в целом. Процесс уничтожается служебным потоком при отсутствии к нему обращений в течение заданного времени.

Далее, в третьей главе формулируется проблема сжатия векторных геоданных для передачи ее в компьютерных сетях и предлагается метод ее решения. Суть метода заключается в устранении избыточности передаваемых геоданных за счет приведения точности их представления до уровня точности устройства отображения (монитора) пользователя, а также в устранении избыточности за счет использования более рациональной формы представления векторных геоданных.

На основе предложенного метода разработан алгоритм сжатия (АС) векторных геоданных (АСВГ) для точечных объектов. Укрупненная схема этого алгоритма приведена на рис. 3. Рассмотрим шаги алгоритма более подробно. На шаге 1 алгоритма выполняется сортировка точек таким образом, чтобы получить последовательность, в которой соседние точки были бы расположены как можно ближе друг к другу географически.

На шаге 2 выполняется переход к относительной форме представления координат. Относительная форма представления подразумевает, что точки описываются не абсолютными координатами, а смещением относительно предыдущей точки в последовательности, полученной на первом шаге алгоритма.

Шаг 3 - уменьшение разрядности, подразумевает уменьшение точности представления координат до минимального уровня, достаточного для формирования растрового представления геоданных заданного размера, равного размеру области отображения геоданных на мониторе пользователя.

На шаге 4 выполняется сжатие полученных данных с помощью одного из универсальных методов, таких как метод Хаффмана или LZW.

Рассмотренный алгоритм предназначен для обработки точечных пространственных объектов. Его невозможно использовать для сжатия полигональных и полилинейных объектов, поскольку в этом случае важен



Рис. 3. Укрупненная схема алгоритма сжатия точечных геоданных

порядок следования отдельных узлов объектов. Таким образом, необходима модификация рассматриваемого алгоритма, учитывающая особенности полилинейных и полигональных объектов.

Модификация сводится к изменению шага 2 исходного алгоритма. В этом случае перевод координат вершин в относительную форму выполняется в два этапа. На первом этапе выделяются начальные вершины всех объектов и их координаты переводятся в относительную форму аналогично тому, как это делается в исходном алгоритме. На втором этапе осуществляется перевод в относительную форму координат остальных вершин каждого объекта в отдельности. При этом перевод осуществляется на основе исходного порядка следования вершин полилинии или полигона.

Далее приводятся результаты анализа эффективности алгоритмов, реализующих метод сжатия векторных геоданных. Анализ проводился по двум направлениям. Во-первых, поскольку шаги 1 и 4 алгоритма на рис. 3 допускают различные способы реализации, выполнялся поиск наиболее эффективного варианта. Во-вторых, исследовалась эффективность АСВГ по сравнению с АС, основанным на универсальном методе сжатия, при работе с векторными пространственными данными.

Анализ результатов исследований показал, что наиболее эффективной реализацией АСВГ (рис. 3) является реализация, использующая кривую Гильберта на шаге 1 и универсальный метод сжатия Хаффмана на шаге 4. На рис. 4 и 5 приведены нормированные значения коэффициентов сжатия тестовых наборов геоданных, полученные при использовании универсального АС и АСВГ для точечных объектов, полилиний и полигонов. Здесь под коэффициентом сжатия подразумевается отношение исходного объема данных, к объему, полученному в результате сжатия. Нормирование выполнялось на коэффициент сжатия, полученный при использовании универсального АС, в качестве которого был выбран алгоритм, реализованный в программе Zip.

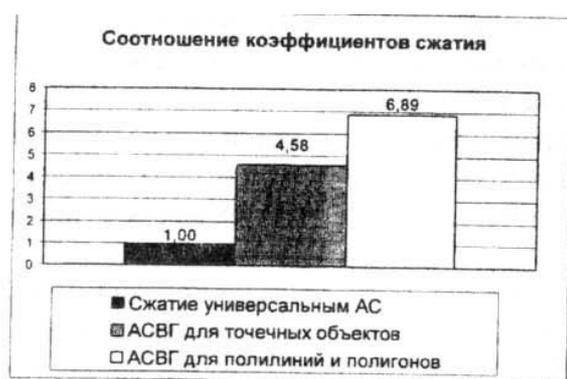


Рис. 4 Нормированные значения коэффициентов сжатия тестовых геоданных, полученные при использовании различных методов

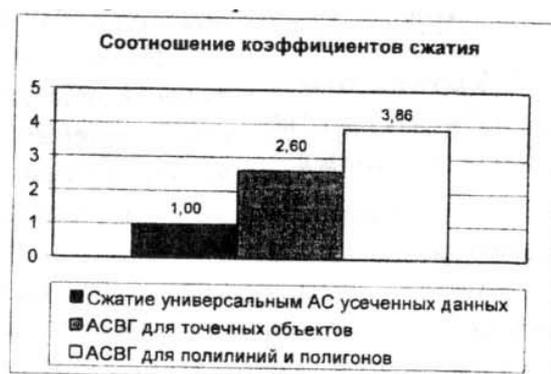


Рис. 5 Нормированные значения коэффициентов сжатия тестовых геоданных, полученные при использовании различных методов с учетом усечения разрядности

На основе результатов исследования сделан вывод о том, что предложенный метод более эффективен по сравнению с универсальными методами сжатия при работе с векторными пространственными данными.

В главе четыре описываются детали программной реализации созданной системы. Структура ее программных средств приведена на рис. 6. Основными

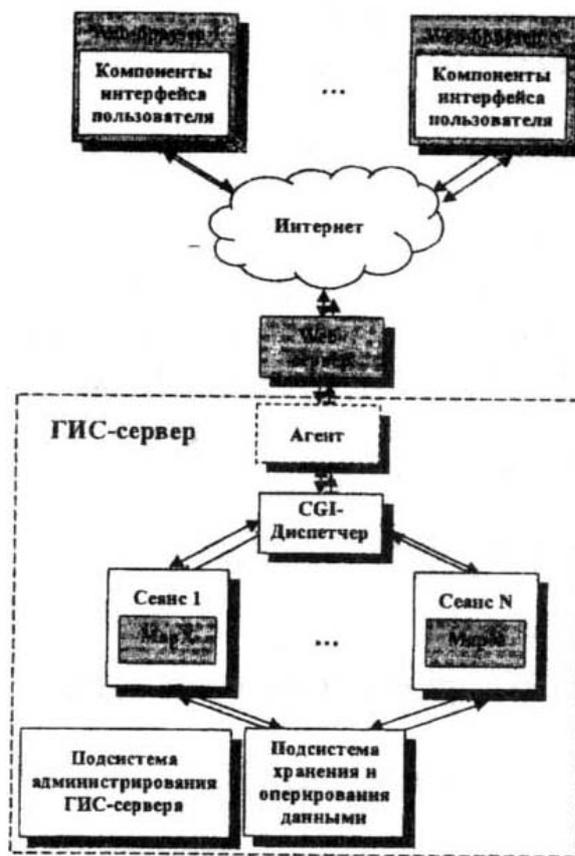


Рис. 6 Структура программных средств ИГИС

компонентами ИГИС являются: *Web-браузер*, *Web-сервер* и *ГИС-сервер*, в состав которого входят *Агент*, *CGI-Диспетчер*, *Сеанс*, *подсистема хранения и оперирования данными*, *подсистема администрирования ГИС-сервера*. Рассмотрим перечисленные компоненты более подробно.

Web-браузер. В роли данного компонента может выступать любой современный *Web-браузер*. Примером таких браузеров являются Netscape Navigator 4.0 и Internet Explorer 4.0 и их более новые версии. Задачей *Web-браузера* является отображение компонентов пользовательского интерфейса. Указанные компоненты представляют собой HTML-документы, формирующие интерфейс пользователя и Java-апплет, осуществляющий отображение пространственной информации, обработанной программой, реализующей АСВГ. *Web-браузер* взаимодействует с *Web-сервером* через протокол HTTP.

Web-сервер, В системе может быть использован любой *Web-сервер*,

поддерживающий протокол CGI. На данный момент *Web-сервер* должен функционировать на программной платформе Win32, хотя существует возможность перехода на другие программные платформы. *Web-сервер* выступает в качестве «точки входа» в систему в сети Интернет. Он выполняет две функции. Во-первых, предоставляет доступ к статическим и редко меняющимся HTML-файлам и файлам данных, используемым при формировании пользовательского интерфейса. Во-вторых, он служит в качестве среды исполнения для *Агента* - CGI-скрипта, через который происходит взаимодействие с *ГИС-сервером*. При поступлении запроса от пользователя *Web-сервер* запускает экземпляр *Агента* и передает ему всю последующую обработку запроса. После обработки запроса экземпляр *Агента* уничтожается.

Агент. Данный компонент системы играет роль посредника между *Web-сервером* и ядром *ГИС-сервера*. *Агент* реализован как CGI-скрипт, что позволяет ему взаимодействовать практически с любым современным *Web-сервером*. Его функции заключаются в передаче запроса от *Web-сервера* к *CGI-диспетчеру* и передаче результатов обработки запроса в обратном направлении.

Взаимодействие *Агента* с *CGI-диспетчером* происходит через протокол TCP/IP.

CGI-диспетчер. Совместно с *Агентом* представляет собой каркас, на котором строится вся система. Он выполняет следующие функции:

- создание *сеансов* при подключении новых пользователей и контроль максимального числа *сеансов*;
- диспетчеризацию запросов от пользователей к соответствующим *сеансам*;
- уничтожение «старых» и «сбойных» *сеансов*.

С точки зрения *CGI-диспетчера*, *Сеанс* представляет СОМ-объект в отдельном процессе, таким образом, взаимодействие с *Сеансом* происходит средствами СОМ-технологии. *CGI-диспетчер* реализован в виде службы Windows NT.

Сеанс. Представляет собой основной компонент системы. *Сеанс* отвечает за выполнение следующих функций:

- динамическая генерация HTML-документов, формирующих пользовательский интерфейс системы;
- разбор и обработка приходящих от пользователя запросов;
- формирование и растеризация электронных карт с помощью библиотеки программ MapInfo MapX;
- сжатие электронных карт в соответствии с предложенным методом сжатия векторных геоданных;
- взаимодействие с подсистемой хранения и оперирования данными, для получения данных, используемых при построении тематических карт.

Сеанс создается *CGI-диспетчером* при подключении к ИГИС нового пользователя и существует до тех пор, пока время ожидания запроса от пользователя не превысит заданного предела или не будет принудительно уничтожен *CGI-диспетчером* в случае программного сбоя.

Подсистема хранения и оперирования данными. Назначением данной подсистемы является поддержание ХД, формирование его структуры, выполнение запросов к ХД и загрузка в него соответствующей информации (актуализация информации). Взаимодействие *Сеанса* с подсистемой хранения и оперирования данными происходит в рамках прикладного интерфейса подсистемы, построенного на базе хранимых процедур СУБД Oracle.

Подсистема администрирования ГИС-сервера. Подсистема служит для задания параметров функционирования *ГИС-сервера*, таких как максимальное число одновременно открытых *сеансов*, таймаут *сеанса* и время ожидания ответа при взаимодействии различных компонентов *ГИС-сервера*.

Общий сценарий работы ИГИС выглядит следующим образом. Пользователь, заинтересованный в получении информации от рассматриваемой системы, запускает *Web-браузер* и вводит в нем адрес начальной HTML-страницы пользовательского интерфейса ИГИС. *Web-браузер* обращается к *Web-серверу* с запросом на загрузку данной страницы. *Web-сервер*, в свою очередь, распознает, что данный запрос относится к *ГИС-серверу*, и перенаправляет запрос *Агенту*, который передает запрос *CGI-диспетчеру*. Проанализировав запрос, *CGI-*

диспетчер определяет, что запрос пришел от нового пользователя и создает для этого пользователя *Сеанс*. Обрабатываемый запрос и все последующие запросы от данного пользователя, проходя по аналогичной рассмотренной выше цепочке, передаются *CGI-диспетчером Сеансу* для обработки. Компонент *Сеанс* разбирает параметры запроса, выполняет необходимые действия и формирует ответ, ожидаемый пользователем. В процессе обработки запроса *Сеанс* может обращаться к подсистеме хранения и оперирования данными для получения необходимой информации.

Результат обработки запроса пользователя, сформированный *Сеансом*, проходит рассмотренную цепочку в обратном порядке, пока не попадает в *Web-браузер* пользователя, который, на основе полученных данных, изменяет пользовательский интерфейс и ожидает новых команд.

Рассмотренная последовательность запросов и ответов повторяется произвольное число раз, до тех пор, пока пользователь не закончит работу с системой. В результате запросы от данного пользователя перестанут поступать к *ГИС-серверу*, и, по истечению определенного периода времени, *CGI-диспетчер* уничтожит *Сеанс*, созданный для этого пользователя.

Далее в четвертой главе описываются программные решения, предназначенные для поддержки контекста работы пользователя, улучшения масштабируемости и расширяемости системы, повышение устойчивости системы к сбоям.

Раскрываются принципы программной реализации интерфейса пользователя на основе метода двухступенчатой динамической генерации HTML-документов. Суть метода заключается в последовательном выполнении следующих шагов:

1. динамическая генерация HTML-документов Web-сервером в рамках протокола CGI или аналогичного протокола.
2. динамическая генерация HTML-документов с помощью скриптовых возможностей Web-браузера.

В созданной системе первый этап метода выполняется компонентом *Сеанс*. Обязательным элементом запроса, формируемого *Web-браузером* пользователя, является имя возвращаемого HTML-документа. Запрошенный HTML-документ просматривается *Сеансом* на предмет обнаружения макросов. Макрос является одним из элементов программного интерфейса *ГИС-сервера* и представляет собой символьное имя, не совпадающее с какими-либо другими элементами HTML-документа. Найденные в теле документа макросы заменяются JavaScript-кодом, определяющим данные, соответствующие найденному макросу. После замены всех макросов, HTML-документ передается в *Web-браузер* клиента.

Второй этап метода выполняется *Web-браузером* клиента. *Web-браузер* начинает интерпретировать JavaScript-код, содержащийся в полученном документе, в том числе тот, которым были заменены макросы. Результатом интерпретации является новый HTML-документ, который и представляется пользователю для работы.

Описанный метод имеет следующие достоинства.

1. Независимость пользовательского интерфейса и серверной части. Метод двухступенчатой динамической генерации HTML-документов предполагает наличие четко определенного программный интерфейс. Такой интерфейс, в свою очередь, позволяет независимо изменять реализацию пользовательского интерфейса и серверной части. В случае динамической генерации HTML-документов исключительно средствами сервера, при изменении пользовательского интерфейса может потребоваться изменение серверной части, что является сложной задачей.

2. Минимизация объемов передаваемой информации. Формируемые на первом шаге метода данные занимают значительно меньший объем, чем порожденный на их основе на шаге два HTML-документ, и могут сохраняться и модифицироваться средствами Web-браузера, что уменьшает вероятность повторного обращения к серверу. Кроме того, обрабатывающий данные код клиентской части может быть эффективно кэширован средствами Web-браузера.

Описывается набор функций, доступных в рамках пользовательского интерфейса системы, рассматриваются средства администрирования созданного ПО.

Рассматривается использование созданных программных средств ИГИС на примере разработки проблемно-ориентированной системы в рамках проекта «ГИС-сервер социально-экономической сферы Томской области», выполненного по заказу Государственного научно-исследовательского института информационных технологий и телекоммуникаций «Информика» г. Москва. Приводится описание задачи и полученные результаты. Примеры экранных форм созданной системы приведены на рис. 8 и 9. На рис. 8 приведено *Окно карты* в расширенном интерфейсе. В центре окна расположена *Основная карта*. Слева

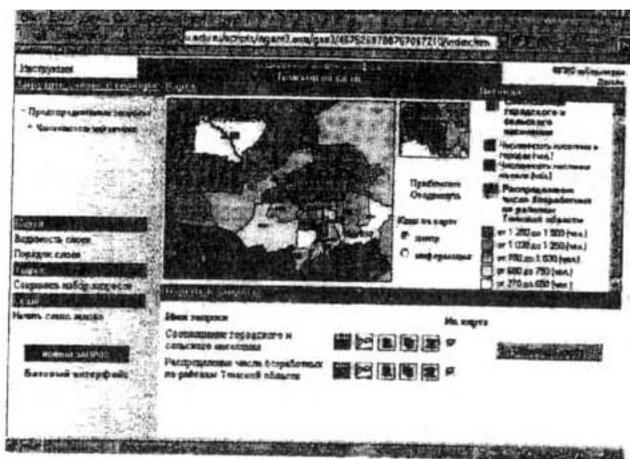


Рис. 7 Представление результатов запроса к системе в виде тематической карты

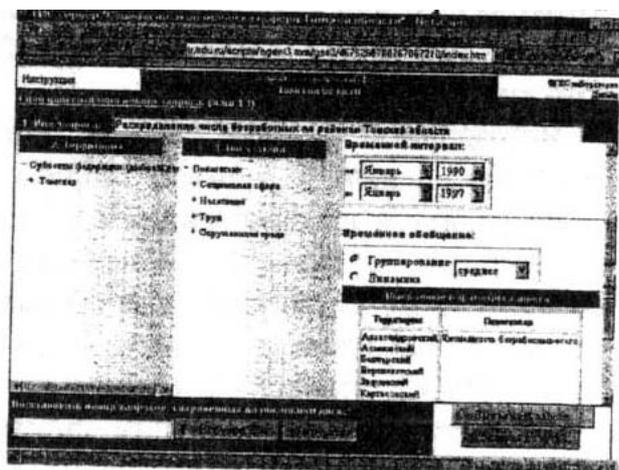


Рис. 8 Окно запроса ИГИС

вверху расположено *Окно predefined запросов*, слева посередине и внизу - *Меню команд*. Справа от *Основной карты* расположены *Навигационная карта*, *Легенда* и некоторые другие элементы управления. Внизу справа расположено *Окно выполненных запросов*. На рис. 9 представлено *Окно запроса ИГИС*. В верхней части окна расположена *Область ввода названия формируе-*

мого запроса. В средней левой части окна расположен иерархический *Список территорий*, соответствующий пространственному измерению хранилища данных. Справа от него находится иерархический *Список показателей*, представляющий собой второе измерение хранилища данных. Третье - временное измерение хранилища данных не представлено в интерфейсе в явном виде. Вместо этого справа от *Списка показателей* идет ряд управляющих элементов, предназначенных для задания временных параметров запроса. Справа внизу расположены *Список выбранных территорий* и *Список выбранных числовых показателей*, которые будут использованы при выполнении текущего запроса. Разработанная система доступна в Интернет по адресу <http://ce.cctpu.edu.ru/gis/>.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

В приложение вынесены акты о внедрении полученных результатов.

Основные результаты работы

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

1. Сформулирована и проанализирована проблема создания автоматизированной системы поддержки удаленного доступа к публичным архивам данных мониторинга различных сфер жизнедеятельности региона. Предложен подход к решению данной проблемы на основе интеграции технологий ГИС, хранилищ данных и Интернет.

2. Сформулирована концепция создания ИГИС для работы с хранилищем данных, определяющая принципы построения пользовательского интерфейса системы, принципы функционального наполнения системы, подходы к интеграции ГИС и хранилищ данных и принципы программной реализации системы.

3. Разработаны модели параллельного программного обеспечения ИГИС для работы с хранилищем данных на базе аппарата PS-сетей. Выполнен анализ созданных моделей на предмет корректности организации и эффективности моделируемого параллельного программного обеспечения.

4. С учетом анализа результатов моделирования разработаны алгоритмы функционирования ПТЮ ИГИС.

5. Разработан метод сжатия векторных геоданных, предназначенный для сжатия пространственной информации с целью последующей передачи в компьютерных сетях, основанный на устранении избыточности геоданных за счет приведения точности их представления до уровня точности устройства отображения пользователя, а также на устранении избыточности за счет использования более рациональной формы представления пространственной информации.

6. Разработаны алгоритмы, реализующие предложенный метод сжатия векторных геоданных для случаев точечных, полилинейных и полигональных объектов, проведен анализ их эффективности.

7. Создано программное обеспечение ИГИС для работы с хранилищем данных. Программные средства серверной части ИГИС функционируют на компьютерах типа IBM PC в операционной среде Windows NT, доступ к систе-

ме может осуществляться с помощью любого современного Web-браузера. Объем исходного кода системы составляет более 7000 строк кода на языках Object Pascal, HTML, JavaScript, Java и PL SQL.

8. Программное обеспечение ИГИС было использовано при создании проблемно-ориентированной системы в рамках проекта «ГИС-сервер социально-экономической сферы Томской области», выполненного по заказу Государственного научно-исследовательского института информационных технологий и телекоммуникаций «Информика» г. Москва.

9. Созданные программные средства ИГИС внедрены в Государственном научно-исследовательском институте информационных технологий и телекоммуникаций «Информика» г. Москва, а также использованы в учебном процессе кафедры Вычислительной техники Томского политехнического университета. Результаты внедрения подтверждены соответствующими актами.

Основные публикации по теме диссертации

1. Марков Н.Г., Агранович С.И., Острасть П.М. Средства интеграции геоинформационной системы MapInfo с WWW // В кн. Материалы Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-98». - С-Петербург: изд. РНЦКТС ВШ, 1998. - С. 64-65.

2. Бокатый Д.В., Острасть П.М. Интерфейс доступа ГИС MapInfo к пространственной и атрибутивной информации, хранящейся на серверах реляционных баз данных // в кн. Материалы XXXVI Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии. - Новосибирск, изд. Новосибирского гос. ун-та, 1998. - С. 18-19.

3. Markov N.G., Ostrast P.M. Development and use of geo information server of application for GIS-courses teaching // Abstracts First European GIS Education Seminar EUGISES'98 (September 3-6) - The Netherlands, University Utrecht, 1998. - PP. 10-11.

4. Markov N.G., Ostrast P.M. The geoinformation system for WWW // Abstracts the Second Russian - Korean international symposium on science and technology (August, 30 - September, 5). - Tomsk: TPU, 1998. - P. 252.

5. Markov N.G., Ostrast P.M. Distributed Web-based GIS // Abstracts of 2nd AGILE Conference on Geographic Information Science (April 15-17). - Italy, Rome, 1999.-P. 53.

6. Agranovich B., Markov N., Ostrast P. GIS-Technology For Monitoring Of Socio-Economical, Cultural And Ecological Fields Of City //The Proceedings of the 3rd Historical Cities Sustainable Development: "The GIS as Design and Management Support" HISTOCITY 99. - Italy, Siracusa, 1999.-PP. 121-125.

7. Марков Н.Г., Острасть П.М. Интеграция геоинформационных систем и Internet-технологий // Информационные технологии. - 1999 г., №6. - С. 2-9.

8. Agranovich S.J., Markov N.G., Ostrast P.M. Means of Integration of Geoinformation System MapInfo With WWW // Proceedings of K.orus'98 The Second Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. - Russia, Tomsk, 1998. - PP. 277-280.

9. Bokaty D., Markov N., Ostrast P. Decision Making Support GIS for Managing Socio-Economical Sphere of Regions // The Proceedings of 3rd AGILE Conference on Geographic Information Science. - Finland, Helsinki, 2000. - PP. 187-190.

10. Марков Н.Г., Острасть П.М. Многопользовательская ГИС в Интернет для анализа данных о социально-экономическом развитии регионов // Материалы Международной научно-методической конференции Телематика-2000. - [http://risbank.spb.ru /tm2000/](http://risbank.spb.ru/tm2000/).

11. Markov N., Miroshnichenko E., Sarajkin A., Ostrast P. Using PS-NETS for Analysis of Parallel Processes Interaction In Application Server // Proceedings Of The 4th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. - Republic of Korea, Ulsan, 2000. - PP. 75-79.

12. Ananina V.P., Bocaty D.V., Markov N.G., Ostrast P.M. GIS for Environmental Monitoring of Region // Proceedings of The 5th International Symposium On Environmental Geotechnoiogy and Global Sustainable Development. - Brazil, Belo-Horizonte, 2000. - PP. 1-5.

13. Агранович Б.Л., Ананьина В.П., Бокатый Д.В., Марков Н.Г., Острасть П.М. Разработка Интернет-ГИС для организации доступа к хранилищу данных мониторинга социально-экономической сферы регионов // Информационные технологии. - 2000 г., № 11. - С. 21-27.