

Модели, методы и инструментальные средства создания, хранения, обработки и анализа пространственно распределенных данных в ГИС*

Ю.Г. Васин

ya.vasinyuri@yandex.ru

Россия, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В работе представлены разработанные эффективные математические модели описания, методы, алгоритмы, программное обеспечение и интеллектуальные геоинформационные технологии обработки, хранения, анализа, распознавания, 3D моделирования и визуализации больших объемов данных ДЗЗ и другой разнородной тематической информации пространственно распределенных данных, включая гиперспектральные, используемые при создании геоинформационных систем.

Ключевые слова: пространственно распределенные данные, модели описания, структуры представления, СУБД, база знаний, адаптивное сжатие, гиперспектральные данные, 3D моделирование, распознавание образов, ГИС

Введение

При разработке и создании интеллектуальных геоинформационных систем, актуальными остаются проблемы, связанные с исследованиями в области проектирования информационно – терминологического обеспечения (ИТО), объектно ориентированных СУБД и баз знаний, поддерживающих модели описания и структуры представления объектов ИТО, с разработкой эффективных методов и алгоритмов адаптивного сжатия lossless и nearlossless широкого спектра изображений ДЗЗ и разнообразной тематической (графической и текстовой) информации, распознавания графических изображений, вычислительной геометрии в задачах анализа пространственно распределенных данных, 3D моделирования и визуализации зданий и сооружений с их внутренней инфраструктурой, подстилающей поверхности и рельефа, естественных явлений и техногенных процессов, 3D навигации в закрытых помещениях при отсутствии GPS сигнала, и др. В работе представлены результаты исследований, связанных с решением вышеперечисленных задач [1-18].

Модели, методы, алгоритмы, технологии

Одной из важных задач при создании информационных технологий создания и анализа ПРД является разработка инфологической модели описания объектов и структуры их представления в ГИС. Приведен анализ существующих моделей описания ПРД и обозначены их недостатки. При этом отмечается, что на начальных этапах развития ГИС и до настоящего времени инфологические модели описания объектов ПРД, в основном, ориентированы на представление и обработку данных

цифровых морских навигационных и топографических карт и планов. Указывается, что современный уровень развития геоинформационных технологий, расширение сферы их применения и класса решаемых задач, диктуют острую необходимость перехода от модели описания и представления объектов цифровых карт местности к бесшовной объектно-ориентированной структурированной топологической модели описания (ООСТМ) инфраструктуры ПРД, в которой основной единицей хранения является не набор цифровых карт разного масштаба, а объекты местности с семантическим, структурированным метрическим описанием, а также широким набором пространственно-логических и топологических внутриобъектных и межобъектных отношений, метаданных и др. Рассмотрены концептуальная модель и структуры представления ООСТМ в базе знаний. Описана разработанная объектно



Рис. 1: Инфологическая модель ПРД

– ориентированная распределенная система управления базами ПРД в «ГИС Терра», реализованная на различных программно – аппаратных платформах с использованием единой модели описания ООСТМ ПРД в формате интегрального файла.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ, проект №16-11-00068. Работа опубликована при финансовой поддержке РФФИ, грант 16-07-20482.

Изложены основные принципы разработки иерархической объектно ориентированной СУБД «ГИС Терра-Плюс» и «ГИС Терра-М». СУБД «ГИС Терра-Плюс» реализована на основе интеграции СУБД «ГИС Терра-Плюс» и СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS. Для мобильных устройств на платформе ОС Андроид создана СУБД «ГИС Терра-М» путем интеграции с СУБД SQL lite. Представлены разработанные модели и структу-

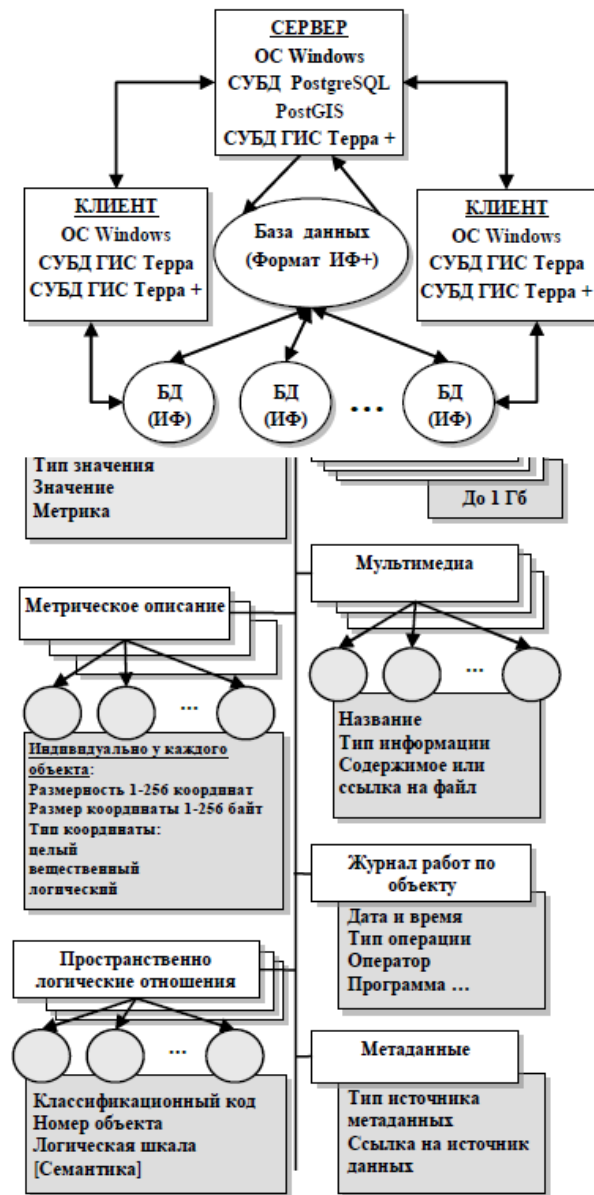


Рис. 2: Структура объекта в формате интегрального файла (ГИС Терра Plus)

ры представления объектов ПРД в формате интегрального файла, а так же архитектура и принципиальные схемы баз данных указанных выше СУБД.

Отмечены основные особенности разработанных СУБД и представлены результаты их тестирования. Для решения востребованных задач, связан-

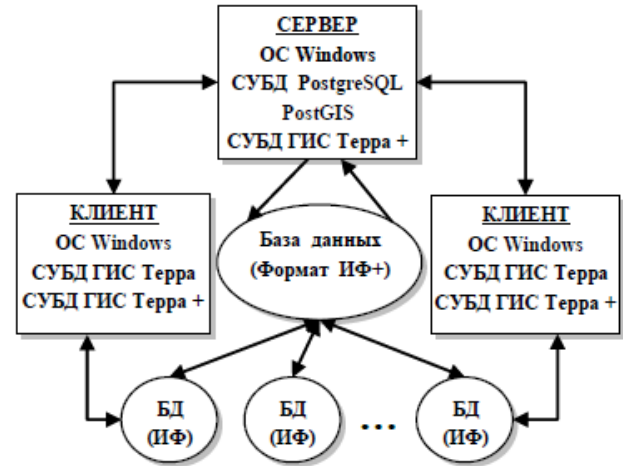


Рис. 3: Архитектура СУБД ГИС Терра Plus

ных с распознаванием графических изображений, разработан и экспериментально апробирован метод и алгоритм повышения достоверности распознавания изображений на базе корреляционно-экстремального контурного метода (КЭКМ). Пример ошибочного распознавания по КЭКМ букв “ш” и “щ” при использовании средне квадратичного критерия: С этой целью в алгоритм была введена

ащЕН

двухкритериальная оценка сходства как по среднеквадратичному критерию при сравнении с эталонами объектов, так и по расстоянию Хаусдорфа между исходным и восстановленным контурными описаниями объектов. Нахождение Хаусдорфового расстояния в вычислительном плане является сложной задачей. Предложено эффективное решение этой задачи на основе вспомогательных описаний контуров объекта и эталона, зафиксированных в момент получения оценки сходства по средне квадратичному критерию. Приводится описание способов распараллеливания алгоритма распознавания КЭКМ с самообучением и с двухуровневой оценкой сходства. Распараллеливание осуществлялось на двух уровнях – на первом при вычислении оценки сходства контуров объектов по среднеквадратичному критерию в решающем правиле распознавания и на втором, при вычислении оценки сходства по расстоянию Хаусдорфа между исходным и восстановленным контурами объектов. При этом при распараллеливании алгорит-

мов распознавания для достижения равномерного распределения нагрузки между потоками (ядрами) главный поток, учитывая, что сложность основных вычислений распознавания порядка $O(N)$, в каждый момент поступления для распознавания нового объекта определяет какие ядра являются менее загруженными и подает этому ядру на обработку контур объекта с максимальным числом N точек. При оценке расстояния Хаусдорфа, если оценка больше порога, то для вершин многоугольников (контуров), между которыми расстояние превышает пороговое значение, формируется массив прилежающих к ним ребер для уточнения оценки по РХ и осуществляется распараллеливание потока данных сформированного массива точек (ребер). В результате проведения экспериментов был получен выигрыш по времени за счет распараллеливания нового алгоритма линейки в 1,75 при удвоении числа ядер (2 ядра 1,75, 4 ядра 3,05, 8 ядер 5,34 и т. д.). Представлены методы, алгоритмы, информационные технологии и программное обеспечение безошибочного (lossless) и малоискаженного (nearlossless) адаптивного сжатия информации, включая:

- алгоритмы сжатия полутоновых и полноцветных изображений ДЗЗ, основанные на иерархической интерполяции на базе локальных однородных хорошо приспособленных сглаживающих (ЛОХПСФ) и локальных однородных хорошо приспособленных восстанавливающих (ЛОХПВФ) функций с адаптивными процедурами квантования и статистического кодирования ошибок интерполяции на каждом уровне иерархии. Методы обладают низкой вычислительной и емкостной сложностью и высоким коэффициентом сжатия;
- алгоритмы lossless статистического кодирования с двумерным контекстным моделированием (СКДКМ) для сжатия большогоформатных бинарных растровых (графических и текстовых) изображений, а так же полутоновых, цветных индексированных и полноцветных изображений. Данные алгоритмы характеризуются использованием двумерного двоичного контекста определенной графической формы, позволяющей учитывать взаимосвязи между соседними пикселями и отличаются способом ухода на контексты меньших порядков, набором методов улучшения степени сжатия, техникой масштабирования счетчика последнего встреченного символа, методом наследования информации, способом вычисления нового КМП и контекстов меньших порядков с возможностью распараллеливания вычислений[1,2,4].

Полученные в результате экспериментальной апробации коэффициенты сжатия превысили соответствующие коэффициенты наиболее распространенных на Западе алгоритмов (PNG, WinRar, 7Z, и др.). Результаты сравнения приведены в табл. 1.

- алгоритм сжатия (nearlossless) графических изображений на базе КЭКМ распознавания с само-

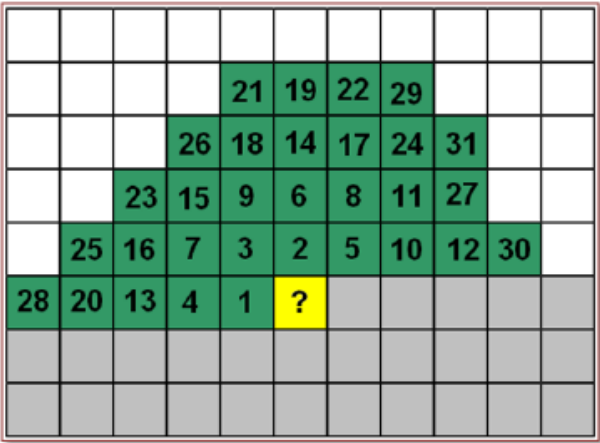


Рис. 4: Пример двумерной контекстной модели

№	Предложенный алгоритм РСТВ	Алгоритм MPD	WinRar	7z	Tiff (G4)	PNG	PPM
1	112.435	63.882	43.355	50.765	64.212	29.853	34.946
2	114.147	63.652	50.156	59.357	66.575	33.543	31.607
3	78.104	36.652	14.456	30.760	35.569	19.926	16.104
4	58.72	32.514	18.314	20.684	32.976	13.335	14.692
5	65.538	35.298	23.964	29.580	35.261	18.107	17.439
6	17.161	5.347	6.705	7.267	4.691	6.061	5.695
7	60.922	15.681	21.415	25.622	19.112	20.411	9.616
8	5.228	3.663	3.719	3.692	1.667	3.135	3.991
9	62.545	44.194	25.490	33.752	33.114	18.119	18.218
10 ППС	87,2	—	—	—	—	—	—

Таблица 1: Сравнение по коэффициенту сжатия результатов статистического кодирования без потерь бинарных изображений с другими алгоритмами

обучением и двухкритериальной оценкой сходства метрического описания контуров эталона на основе оценки среднеквадратической ошибки (СКО) и расстояния по Хаусдорфу (РХ), существенно повышающий точность и достоверность сжатия. При этом список эталонов формируется автоматически методами распознавания при выполнении следующих условий: если выполняются оба условия, то список эталонов не пополняется, в противном случае объект считается не распознанным и на его основе формируется описание нового эталона в списке существующих эталонов. Экспериментальная апробация подтвердила эффективность алгоритма сжатия (Табл. 2). Полученный коэффици-

Изображение	ПГС 1: 30876x23778 (Nк=38538)	ПГС 2: 30000x23227 (Nк=35905)	ПГС 3: 26715x23985 (Nк=46730)
Формат			
str	14158910	11760128	11117412
	A:3794248	A:3000185	A:3067454
kmp	10774528	8345916	10332160
	A:2223766	A:1690917	A:2050779
pcx	18374746	16298901	14509229
	A:5152360	A:3896664	A:4093090
tif	8826631	8314303	7045349
	A:8648620	A:8042824	A:6785323
BDS	369546	411266	411465
IFc	271119	288856	292361

(а)

Фрагмент изображения	ПГС 1: 6411x4951 (Nк=1902)	ПГС 2: 6217x5007 (Nк=1328)	ПГС 3: 6287x4761 (Nк=1716)
Формат			
str	676352	504426	496315
	A: 178599	A: 135191	A: 139671
kmp	499719	364544	472064
	A: 105350	A: 72531	A: 92742
pcx	877886	705538	668238
	A: 244148	A: 177707	A: 187055
tif	424277	358169	358169
	A: 419695	A: 355078	A: 355078
png	337341	252080	261510
djvu	98130	40137	77789
BDS	23364	19469	16103
IFc	18117	14473	12002

(б)

Таблица 2: Сжатие с контролем качества монохромных изображений на основе распознавания КЭЖМ с самообучением - контурная модель. (а) – полное изображение; (б) – фрагмент изображения

ент сжатия более чем в шесть раз превышает коэффициент сжатия известных западных форматов для сжатия nearlossless большеформатных графических изображений; — методы и алгоритмы многоэтапного адаптивного сжатия гиперспектральных данных с большим числом каналов (16–1000

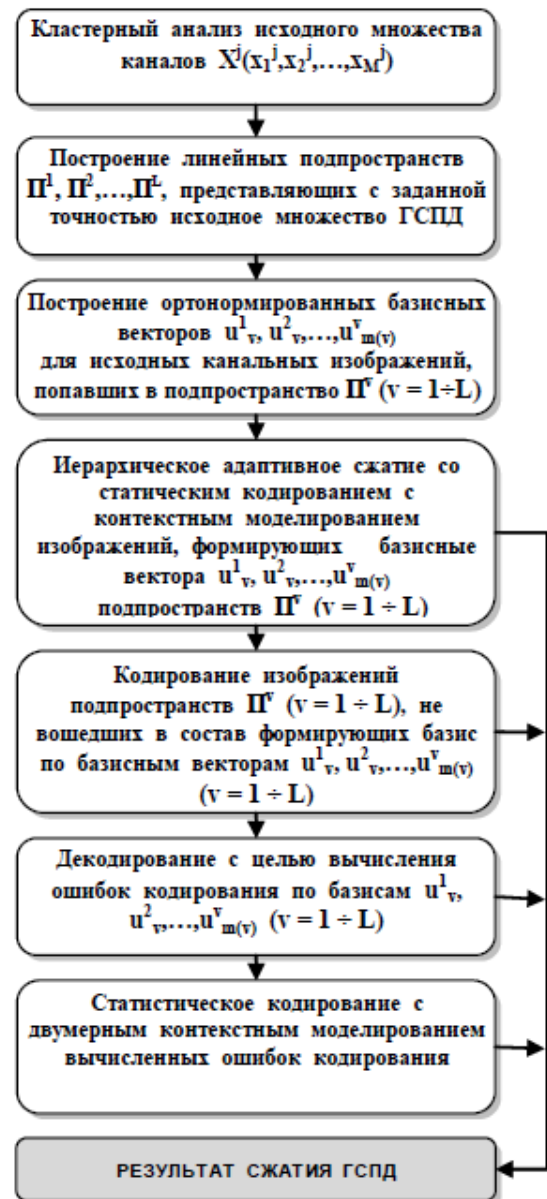


Рис. 5: Технология сжатия гиперспектральных данных, где X_j – j -ый канал (изображение); x_{ij} – значение i -ой компоненты j -го канала ГСПД

и более). В основу положены методы построения хорошо приспособленных базисных (ХПБ) ортов совокупности линейных подпространств, с заданной точностью описывающих исходное множество изображений гиперспектральных данных, иерархические методы адаптивного сжатия на базе локальных ХПБ, а так же методы статистического кодирования с двумерным контекстным моделированием. Экспериментальная апробация указанной технологии показала высокую эффективность сжатия. Разработанные методы позволяют сжимать гиперспектральные данные как в режиме без потерь, так и в режиме с контролем задаваемой максимальной по координатной ошибки. На рис. 5 представлена

структурная схема технологии сжатия гиперспектральных данных.

В работе дано описание разработанного алгоритмического и программного обеспечения высокоэффективной интеллектуальной геоинформационной технологии ввода и создания электронных цифровых баз данных архивных графических документов на твердой основе. Для эффективной работы с архивными данными необходимо иметь цифровые базы графической тематической информации, которые в настоящее время хранятся в различных ведомствах в виде графических документов (ГД) на твердой основе (бумага, алюминий, фанера и т.д.) или в растровом виде. Существующие технологии оцифровки (создания цифровых наборов баз данных) как в России, так и за рубежом основаны на интерактивном ручном вводе с экрана монитора. В



Рис. 6: Принципиальная схема технологического процесса

отличие от этого разработана и реализована принципиально отличающаяся технология, основанная на активном использовании методов распознавания с самообучением для широкого класса графических объектов и текстовой информации. Методы распознавания с самообучением заложены также и в процесс контроля правильно распознанных объектов, который занимает огромную долю временных затрат в технологии.

Приведено алгоритмическое и программное обеспечение: основных технологических этапов, связанных с решением задач автоматического построения контурной и сегментно – узловой моделей, расщепления слипшихся линейных и дискретных объек-

тов, автоматического построения множества эталонов цифруемых объектов на основе КЭМ, автоматизации на основе кластерного анализа интерактивной процедуры присвоения кодов классификации выделенным эталонам, автоматической сборки (формирования) составных объектов (надписи, отметки глубин и др.), состоящих из последовательности распознанных дискретных объектов (буквы, цифры и др.), контроля качества цифрования на основе 3D- моделирования и визуализации, формирования ОРСТМ и загрузки в СУБД «ГИС Терра-Плюс». Приводится решение задачи сокра-

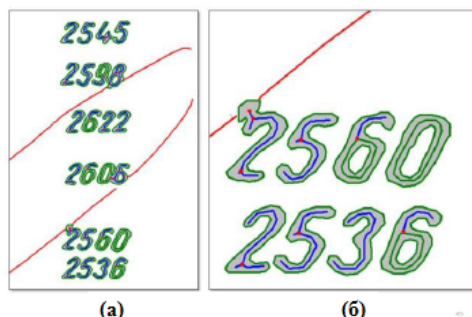


Рис. 7: Расщепление линий и цифр. (а) - фрагмент расщепления линий и цифр; (б) - увеличенный фрагмент расщепления линий и цифр

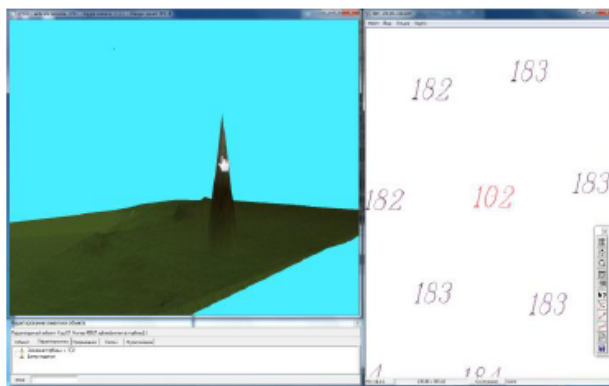


Рис. 8: 3D контроль ошибок

щения временных затрат в процессе интерактивной разметки множества сформированных эталонов за счет их объединения в группы однотипных объектов на основе кластерного анализа.

Для решения кластер-анализа эталоны представляются в признаковом пространстве R_n . В качестве компонент c_i^j признакового пространства R_n были использованы оценки близости эталонов E^j с базовым эталоном B при различных циклических заданиях начальной точки описания контура E^j : $c_i^j = \varepsilon_m(E^j, B, s_i = i \cdot \Delta S)$, $\Delta S = S^b/n$, S^b – длина базового контура [11]. Для построения очередного кластера выбирался непомянутый эталон

с наибольшим числом распознанных по нему объектов. Описание c^{k*} этого эталона в признаковом пространстве R_n^* берется в качестве центра кластера. Элементами кластера первого уровня будут эталоны из числа непомеченных, описание которых в пространстве R_n^* с учетом визуальной идентификации удовлетворяет условиям: $\|c^{k*} - c^j\| < \chi^{k*}$, $\|c_i^{k*} - c_i^j\| < \gamma^{k*} \forall i \in \overline{1, n}$. Далее по описаниям в пространстве R_n^* эталонов кластера первого уровня формируются новые центры множеств и определяются эталоны второго уровня, удовлетворяющие тем же условиям и которые не являются элементами множеств, как предыдущего уровня, так и уже ранее сформированных множеств рассматриваемого уровня. Этот процесс заканчивается, если на текущем уровне не будет выделено элементов кластера следующего уровня. В работе описаны способы оценки пороговых величин χ^{k*} и γ^{k*} . В результате для интерактивной идентификации нужно предъявлять не отдельные эталоны, а кластеры, которых в разы меньше, что позволяет существенно снизить временные затраты на создание цифровых документов. Экспериментальная апробация разработанной технологии на реальных большеформатных растровых графических документах (планшеты гидрографической съемки (ПГС)) показала значительное повышение эффективности (в 10–20 раз и более).

Изложены разработанные алгоритмы и программное обеспечение реализации геоинформационно-картографических функций, включая задачи сфероидической геодезии с учетом всех актуальных датумов, проекций и систем координат, задачи обработки данных ДЗЗ и архивных данных, процедурные методы распознавания сложно-структурированных линейных, площадных и совокупностей пространственно-распределенных дискретных объектов большеформатных изображений графических документов, определения и устранения дефектов типа слипания, рассыпания объектов на базе методов вычислительной геометрии и предложенной структурированной модели описания. При этом реализованы: поддержка различных моделей пространственных данных (растровых, векторных 2-D и 3-D моделей); хранение данных; проектирование и ведение баз данных (БД) атрибутивной и метрической информации ГИС; создание базы метаданных; растрово-векторные операции для совместного использования растровой и векторной моделей пространственных данных; операции вычислительной геометрии, в частности, метод от общего к частному. Комплекс функциональных расчетных модулей содержит: различные конверторы входных и результирующих данных; модуль построения эквидистантной линии, отображающей зоны влияния негативных процессов (подтоплений, размывов, оползней и т.п.); модуль определения

координат точек линии, равноудаленной от двух заданных многосвязных линий (граница конкретной сферы ответственности); модуль вычисления площади больших полигонов, как на равноуровненной поверхности, так и с учетом рельефа местности; для обеспечения единого метрического, семантического и атрибутивного пространства решаемых геоэкологических задач обеспечен функционал картографического выделения и сшивки; модуль сегментирования линейных и площадных графических объектов и построения их структурированного описания, программный комплекс геометрических построений и вычислений в геодезической системе, включая локсодромические и ортодромические вычисления. Представлены разра-

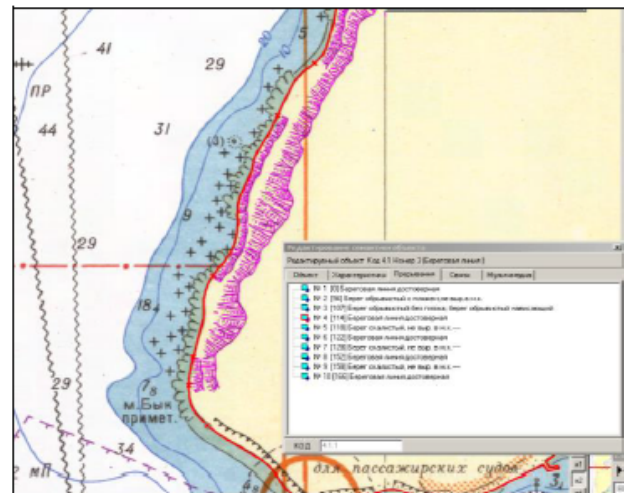


Рис. 9: Автоматическое структурирование береговой линии по близлежащим объектам

ботанные и развитые алгоритмы и реализованное ЭПО 3D моделирования и визуализации поверхности рельефа, зданий и сооружений, естественных явлений и техногенных процессов, а так же подстилающей поверхности по информации, полученной из различных источников: цифровые карты, топографические планы, фото – изображения, и т. д. Для аппроксимации поверхности использовался модифицированный метод триангуляции по набору точек прямого построения. Предложенный подход позволяет существенно сократить вычислительную сложность процесса выбора следующей точки при построении нового треугольника, тем самым оптимизируя процесс моделирования. Разработаны методы и алгоритмы оптимизации процесса визуализации рельефа местности в режиме реального времени. Методы оптимизации основаны на использовании геометрических карт отсечений (geometry clipmaps). Данная технология позволила распараллелить и перевести практически весь вычислительный процесс визуализации с центрального процессора (CPU) на графический (GPU).

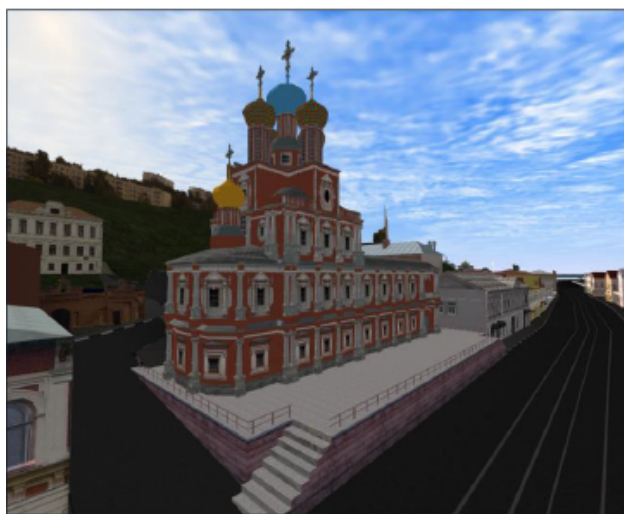


Рис. 10: 3D модель зданий



Рис. 11: 3D модель территории

Разработан алгоритм реалистичной генерации волн на водной поверхности в режиме реального времени. Геометрия волн формируется на основе волновой функции Герстнера. Поскольку алгоритм генерации волн на основе функции Герстнера легко распараллелить, весь вычислительный процесс моделирования волн был перенесен с CPU на GPU с помощью шейдерной технологии. Разработаны алгоритмы визуализации зон затопления при моделировании техногенных и естественных чрезвычайных ситуаций. Выполнена оптимизация процесса визуализации путем распараллеливания алгоритмов и переноса вычислений на GPU. Разработаны алгоритмы визуализации огня, пожаров и облачности на основе системы частиц. Такой подход позволяет максимально распараллелить алгоритм визуализации, тем самым увеличив скорость его работы на многопроцессорных системах. Представлены методы и алгоритмы автономной 3D навигации в закрытых помещениях при отсутствии



Рис. 12: 3D модель рельефа и водной поверхности



Рис. 13: 3D модель зоны затопления

GPS-сигналов, основанные на использовании информации цифровых поэтажных планов зданий и сооружений, данных 3D моделирования – визуализации и компьютерного зрения для автоматических и интерактивных способов коррекции местоположения, определяемого при помощи микромеханических датчиков.

Заключение

Экспериментальная апробация разработанных моделей, методов, алгоритмов и информационных технологий подтвердила их эффективность при обработке реальных наборов разнородных данных больших объемов.

Литература

- [1] Borusyak A.V., Vasin Yu.G. Compression algorithm for indexed images with the use of context-based modeling. // Proceedings of the 9th Open German-Russian Workshop on Pattern Recognition and Image Understanding. 2015. <http://kola.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2015/1136/> 8
- [2] Borusyak A.V., Vasin Yu.G., Zherzdev S.V. "Compression of Binary Graphics Using Context

- Simulation" // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol.23, № 2, 2013, pp 207-211.
- [3] Vasin Yu.G. and Zherzdev S.V. Information Techniques for Hierarchical Image Coding // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 13, № 3, 2003, pp. 539–548.
 - [4] Борусяк А.В., Васин Ю.Г. Сжатие индексированных графических изображений с использованием контекстного моделирования // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2014, № 4-1, С. 486-492.
 - [5] Васин Ю.Г., Дмитриев С.А., Кобрин Р.Ю. "Информационно-терминологическое обеспечение банка картографических данных", сб. Научно-техническая информация, г. Москва, ВИНТИ, НТИ, сер.2, 1989г., стр.20-28.
 - [6] Yu.G. Vasin, Yu.V. Yasakov. GIS Terra: A graphic database management system // Pattern recognition and image analysis. 2004. Vol. 14. No. 4. P. 579-586.
 - [7] Васин Ю.Г., Лебедев Л.И., Пучкова О.В. Контурные корреляционно-экстремальные методы обнаружения и совмещения объектов видеоинформации. / Автоматизация обработки сложной графической информации: Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Под ред. Ю.Г. Васина.- Горьков. гос. ун-т, Горький, 1987. С.97-112.
 - [8] Васин Ю.Г., Лебедев Л.И. Задача нахождения согласованных описаний в корреляционно-экстремальных контурных методах распознавания. // Математические методы распознавания образов (ММО-15): 15-ая Всеросс. конф.: Сборник докладов. / М.: Изд-во ООО «МАКС Пресс», 2011. С.342-345.
 - [9] Vasin Yu.G., Lebedev L.I. The problem of obtaining coherent contour descriptions in the calculation of similarity estimates. // 8th Open German-Russian Workshop "Pattern recognition and image understanding" (OGRW-8-2011): Workshop Proceedings. 2011. P. 324-327.
 - [10] Vasin Yu.G., Lebedev L.I. An effective format for representing graphic information // Pattern Recognition and Image Analysis, 2012, Vol. 22, No. 2, pp. 393–398. © Pleiades Publishing, Ltd., 2012.
 - [11] Lebedev L.I., Vasin Yu.G. Optimization of the representation structure and complexity in the development of an intelligent format for graphic images information // Pattern Recognition and Image Analysis, 2014, Vol. 24, No. 4, pp. 530–534. © Pleiades Publishing, Ltd., 2014.
 - [12] Vasin Yu.G, Gromov V.P. Structural analysis of raster images // The 11-th International Conference "Pattern recognition and image analysis: new information technologies" (PRIA-11-2013). September 23-28, 2013. Conference proceedings, Samara: IPSI RAS, 2013. Vol. I. P.338-341.
 - [13] Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, A.A. Egorov, E.A. Kustov, Yu.V. Yasakov, "Autonomous indoor navigation based on 3D modeling" // Proceedings of the 11-th International Conference "Pattern recognition and image analysis: new information technologies" (PRIA-11-2013), 2013, Vol. 2, pp. 476-478.
 - [14] Yu.G. Vasin, Yu.V. Yasakov, "GIS Terra: A graphic database management system" // Pattern recognition and image analysis. 2004. Vol. 14. No. 4. pp. 579-586.
 - [15] Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, T.N. Tomchinskaya, "Development of Interactive Virtual Models of the Urban Landscape of the Historical Center of Nizhni Novgorod" // Pattern Recognition and Image Analysis, 2011, Vol. 21, No. 2, pp. 351–353.
 - [16] Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, R.K. Mukhutdinov, S.V. Muntyan, E.A. Kustov, "Automated 3D modeling and 3D visualization of internal structure objects of buildings and facilities" // Proceedings of the 11-th International Conference "Pattern recognition and image analysis: new information technologies" (PRIA-11-2013), 2013, Vol. 2, pp. 473-475.
 - [17] Vasin Yu. G., T. Sh. Utesheva General - to - specific method in computational geometry problems / - "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies" 2009.-Vol 19, №3, Pp.394 - 410.
 - [18] Васин Ю.Г., Утешева Т.Ш. Методы вычислительной геометрии в решении задачи повышения эффективности обработки данных в ГИС // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Математическое моделирование и оптимальное управление, Нижний Новгород, Изд-во Нижегородского государственного университета им.Н.И. Лобачевского, 2014, вып.4(1), С. 493-498.

Об авторах

Васин Юрий Григорьевич – д.т.н., проф., руководитель Центра информатики и интеллектуальных информационных технологий Института информационных технологий, математики и механики ННГУ им. Н.И. Лобачевского.