

На правах рукописи



Бобков Александр Евгеньевич

**ИНТЕРАКТИВНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ 3D-ДАНЫХ  
НА ВИРТУАЛЬНОМ ГЛОБУСЕ  
В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

05.01.01 – Инженерная геометрия и компьютерная графика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Нижний Новгород - 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

**Научный руководитель**

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник  
Афанасьев Валерий Олегович

**Официальные оппоненты:**

Косяков Сергей Витальевич,  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет», заведующий кафедрой  
программного обеспечения компьютерных систем

Бондарев Александр Евгеньевич  
кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», ведущий научный сотрудник

**Ведущая организация:**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского»

Защита состоится «19» ноября 2013 года в 15-00 на заседании диссертационного совета Д 212.162.09 при ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д. 65, корпус 5, ауд. 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Автореферат разослан «17» октября 2013 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
кандидат педагогических наук, доцент

Жилина Н.Д.

## **Общая характеристика работы**

Развитие виртуальных глобусов началось около 10 лет назад. Под виртуальным глобусом понимается трехмерная модель планеты Земля, воссозданная с определенной точностью по спутниковым данным, с интерактивным программным обеспечением, которое позволяет работать с трехмерной моделью Земли, рассматривать её на любых масштабах и визуализировать данные (объекты, модели) с привязкой к географическим координатам. Первые глобусы позволяли просматривать высокодетализированные спутниковые снимки, наложенные на трехмерный рельеф. Последние годы растет интерес к использованию виртуальных глобусов для более практических задач визуализации и анализа различных типов данных на глобусе. Во-первых, появились спутниковые данные высокого разрешения, цифровая модель рельефа почти всей Земли в свободном доступе (SRTM). Во-вторых, широкое распространение получил интернет, что позволило хранить большие объемы спутниковых данных на удаленных серверах. Видеокарты позволили интерактивно отображать трехмерный рельеф, высокодетализированную спутниковую подложку и дополнительные эффекты вроде атмосферного рассеяния. Основные области применения: геоинформационные системы (ГИС), системы автоматизированного проектирования и исследования процессов, компьютерные игры и т.п.

Таким образом, виртуальный глобус является мощным инструментом для специалистов разных областей, которым требуется визуализация данных в географическом контексте. Виртуальный глобус может стать единой платформой для визуализации всех типов данных с географической привязкой. Для этого необходимо разрабатывать методы визуализации указанных данных, методы взаимодействия и управления данными в трехмерном пространстве.

В отечественной науке существенный вклад в развитие теоретических основ и практических решений в области геометрического моделирования и визуализации внесен научными школами Бондарева А.Е., Васина Ю.Г., Галактионова В.А., Дебелова В.А., Денискина Ю.И., Долговесова Б.С., Желтова С.Ю., Журкина И.Г., Кеткова Ю.Л., Кучуганова В.Н., Никитина И.Н., Роткова С.И., Сурина А.И., Толока А.В., Турлапова В.Е., Утробина В.А. и ряда других исследователей.

Актуальность работы обусловлена тем, что, не смотря на существование в настоящее время большого количество реализаций различных алгоритмов генерации и визуализации виртуального глобуса (включая атмосферу), визуализации 3D-данных на глобусе (3D-модели, векторные наложения на рельеф) и др., пока остаются нерешёнными задачи визуализации полупрозрачной поверхности на глобусе, визуализации облаков точек и объемных данных на глобусе, необходимые для создания программных систем визуализации научных данных (в частности, подземных геофизических данных), данных лазерного сканирования и других видов данных, которые появляются в настоящее время как следствие использования новых методов и аппаратуры зондирования.

**Цель диссертационной работ** состоит в создании алгоритмического и программного обеспечения формирования и визуализации пространственной географической информации.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- разработать способ визуализации глобуса с полупрозрачной поверхностью с возможностью как надземного, так и подземного просмотра;
- разработать алгоритмы визуализации облаков точек и объемных данных с учетом особенностей виртуального глобуса и виртуального окружения;
- разработать программный комплекс для стереоскопической визуализации данных на виртуальном глобусе, проектирования, конструирования в общегеографическом контексте.

**Научная новизна:**

1. Разработан новый способ визуализации виртуального глобуса, который позволяет, благодаря полупрозрачной поверхности, визуализировать 3D-объекты под поверхностью глобуса и обеспечить отсутствие графических артефактов, связанных с полупрозрачностью, и возможность как надземного, так и подземного просмотра.

2. Разработан новый алгоритм визуализации облаков точек, характерной особенностью которого является использование географических координат, возможность работы с облаками точек любого

размера и динамическая фильтрация точек на графическом процессоре по заданным критериям.

3. Разработан новый алгоритм визуализации объемных данных на виртуальном глобусе, который работает с данными в географической системе координат и при визуализации учитывает форму глобуса.

#### **Практическая значимость.**

Результаты работы были использованы для создания интерактивного научно-популярного приложения «Виртуальная Долина гейзеров», которое было внедрено и используется в музее Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника.

Результаты работы были использованы для реалистичной визуализации горнолыжных трасс для горнолыжного тренажера в Московском физико-техническом институте. Диссертант является соавтором статьи по горнолыжному тренажеру, которая была доложена на конференции Cyberworlds 2011 и получила награду Best Paper Award.

Результаты работы также внедрены в Институте проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Всероссийском научно-исследовательском институте по эксплуатации атомных электростанций, Институте истории естествознания и техники Российской академии наук, Институте физико-технической информатики.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Способ визуализации виртуального глобуса с полупрозрачной поверхностью рельефа, который обеспечивает как надземный, так и подземный просмотр геометрических объектов под поверхностью глобуса и устраняет графические артефакты, вызванные перекрытием слоев рельефа и вспомогательной геометрии.

2. Алгоритм визуализации облаков точек на глобусе с уровнями детализации, учетом формы глобуса, контролем плотности точек на экране и фильтрации по заданным критериям на графическом процессоре.

3. Алгоритм визуализации объемных данных, заданных в географической системе координат и учитывающий форму глобуса.

**Достоверность** изложенных в работе результатов обеспечивается корректным применением аппарата компьютерной геометрии и графики, подтверждена экспериментальным тестированием алгоритмов и программ, результатами опытной эксплуатации разработанных программных средств.

### **Апробация работы.**

Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях: международных конференциях MEDIAS 2010, MEDIAS 2011, MEDIAS 2012 (г. Лимассол, Республика Кипр), Графикон 2010 (г. Санкт-Петербург), Графикон 2012 (г. Москва), «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i» (2011, г. Москва), на 53й научной конференции МФТИ (2010, г. Долгопрудный), на 54-й научной конференции МФТИ (2011, г. Долгопрудный), на 3-й научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» (2011, г. Петропавловск-Камчатский).

Результаты работы демонстрируются посетителям Постоянно действующей выставки достижений РАН. В августе 2012 результаты работы были представлены участникам 33-й Генеральной ассамблеи Европейской сейсмологической комиссии и были высоко оценены ими.

Работа велась в том числе в рамках грантов РФФИ 12-07-31043 мол\_а, 10-07-00407-а.

**Публикации.** Основные результаты по теме диссертации изложены в 12 научных работах, 4 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав, основных результатов и выводов, заключения, приложений, словаря терминов, библиографии. Общий объем диссертации 143 страницы, включая 70 рисунков, библиографический список из 144 наименований на 12 страницах, 4 приложения.

### **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи, раскрыты научная новизна и практическая значимость, представлены выносимые на защиту научные положения, кратко изложено содержание работы по главам.

**В первой главе** представлен обзор современных методов, применяемых для построения и визуализации виртуальных глобусов и географической визуализации.

Приводятся источники данных, которые можно использовать для построения виртуального глобуса: спутниковые снимки, цифровые модели

рельефа, источники векторных данных. Приводятся основные форматы хранения и протоколы передачи геоданных. Делается обзор и сравнение подходов к генерации трехмерного рельефа: регулярные, нерегулярные сетки, *geometry clipmap*, уровни детализации, квадродерево. Рассматриваются их модификации для случая глобуса и варианты разбиения поверхности глобуса на плитки.

Рассматриваются технические сложности и особенности визуализации виртуального глобуса: точность координат типа *float*, которая приводит к эффекту дрожания (*jittering*); падение разрешающей способности буфера глубины из-за большого разброса между ближней и дальней плоскостями отсечения; учет эллипсоидной формы Земли; необходимость работы с большими объемами данных дистанционного зондирования Земли.

Вводятся основные понятия, связанные с виртуальным глобусом: системы координат, эллипсоид, датум, геоцентрическая и геодезическая нормали.

Делается вывод о том, что при переносе алгоритмов визуализации из обычного рельефа на виртуальный глобус необходимо учитывать, что нормаль к поверхности уже не является константой и отличается от точки к точке.

Геодезическая нормаль вычисляется по формуле:

$$m = \left( \frac{x_S}{a^2}, \frac{y_S}{b^2}, \frac{z_S}{c^2} \right),$$
$$n_S = \frac{m}{\|m\|},$$

где  $n_S$  – вектор нормали,  $m$  – вспомогательный вектор,  $(a, b, c)$  – радиусы эллипсоида,  $(x_S, y_S, z_S)$  – точка на поверхности эллипсоида.

**Вторая глава** посвящена технологиям визуализации и различным режимам рендеринга глобуса. В ней предложен способ визуализации глобуса с полупрозрачной поверхностью (рис. 1).

В зависимости от потребностей отрасли науки, в которой используется виртуальный глобус, дерево плиток рельефа можно отображать на экране по-разному: модифицировать саму геометрию (растяжение по высоте), раскрашивать с помощью палитры цветов (по высоте, по крутизне склона рельефа и т.д.), смешивать несколько текстур, модифицировать цвет текстуры (учитывать освещение, атмосферное рассеяние).

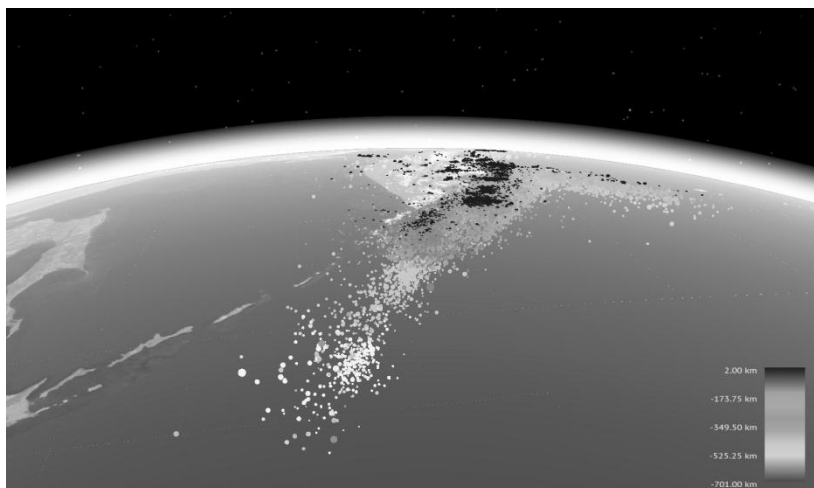


Рис. 1. Пример полупрозрачной поверхности глобуса с 3D данными эпицентров землетрясений в камчатском регионе за 50 лет до 700 км по глубине (по данным КФ ГС РАН)

Для просмотра подземных объектов (например, в геофизике) необходимо сделать поверхность глобуса полупрозрачной. Традиционный подход к прозрачности в случае глобуса приводит к ряду графических артефактов, связанных с порядком рендеринга разных объектов: просвечивают «юбки» плиток рельефа, просвечивает атмосфера, подземные объекты у дальней и ближней сторон глобуса визуально смешиваются.

Предлагается способ визуализации глобуса, который устраняет эти артефакты с помощью двухпроходного рендеринга:

- строится концентрическая сфера внутри глобуса, которая должна закрыть объекты у дальней стороны глобуса;
- строятся подземные объекты;
- производится отрисовка глобуса с отключенной записью в буфер цвета (при этом заполняется буфер глубины);
- производится отрисовка глобуса второй раз с записью в буфер цвета при условии, что глубина фрагмента равна глубине, сохраненной в буфере глубины. Дополнительно формируется маска в буфере трафарета;
- рисуются звезды, Солнце, Луна и атмосфера с отключенным тестом глубины, но с отсечением по маске в буфере трафарета;
- строятся все остальные объекты сцены.

Последовательность шагов представлена на рис. 2.



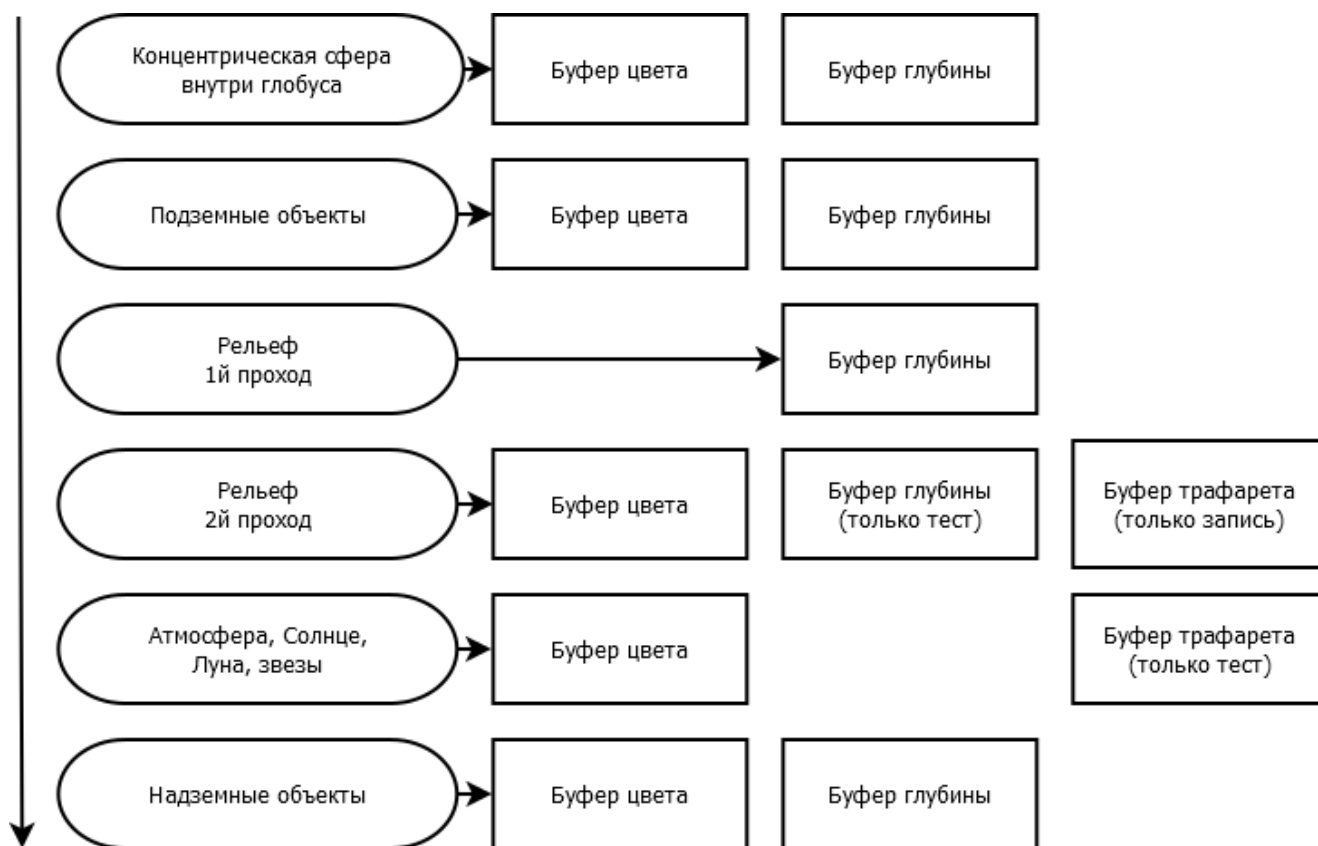


Рис. 2. Предлагаемый порядок рендеринга для полупрозрачного рельефа

При визуализации глобуса важно уменьшить разброс между ближней и дальней плоскостями отсечения. На этот разброс может сильно влиять вспомогательная геометрия для визуализации атмосферы. Поэтому она отрисовывается отдельно после рельефа с отключенной записью в буфер глубины с помощью маски из буфера трафарета.

Дополнительно рассматривается случай, когда камера находится под поверхностью рельефа. В этом случае предложенный способ работает с рядом модификаций: необходимо переключить режим отбрасывания граней поверхности рельефа с обратных на лицевые, отключить отрисовку «юбок» плиток рельефа и атмосферы.

**Третья глава** посвящена визуализации данных на глобусе. Рассматриваются облака точек и объемные данные.

Облака точек – один из самых простых типов данных. Современные видеокарты позволяют рендерить миллионы точек с интерактивной частотой кадров. Однако при обычной визуализации облако точек на экране превращается в «кашу». Использование стереоскопической визуализации позволяет визуально разделить ближние и дальние точки.

Стереовизуализация – мощный инструмент визуального анализа облаков точек.

Один из источников облаков точек – лазерное сканирование. Оно позволяет получать облака для зданий и любых объектов. Каждое такое облако может иметь 50-100 миллионов точек. С помощью лазерного сканирования можно получать облака точек для 3D-моделей целых городов.

Для визуализации таких облаков точек разработан алгоритм, который основан на использовании древовидной структуры данных для изменения детализации видимой части облака точек на экране. Древовидная структура данных является смесью квадродеревьев и октодеревьев. В случае квадродерева вся область рекурсивно разбивается на 4 ячейки. В случае октодерева – на 8 ячеек. Все точки в рамках одной ячейки объединяются в массив вершин и рассматриваются как один геометрический элемент.

Последовательность шагов для построения дерева элементов:

0. Предварительный этап: координаты точек преобразуются из декартовой в географическую систему координат, и точки из всех облаков точек (если их несколько) объединяются в единое облако точек.

1. Вычисление корневого ограничивающего бокса: все точки перебираются для определения минимальных и максимальных значений координат по 3-м осям ( $r_{min}$  и  $r_{max}$ ).

2. Первичное построение дерева: производится рекурсивное разбиение пространства географических координат сначала на 4 ячейки (по долготе и широте), затем на 8 ячеек (дополнительно по разбиению по высоте). Разбиение продолжается пока в каждой ячейке будет не больше чем  $N_1$  точек. В конце этого шага все точки будут находиться в листовых узлах дерева.

3. Перераспределение точек в дереве: точки поднимаются с нижних узлов дерева в верхние (путём случайного выбора), пока в каждом промежуточном узле не станет  $N_2$  точек.

4. Формирование геометрических элементов: вычисляется центр облака точек для каждого узла дерева. Координаты всех точек узла преобразуются из географической в локальную декартову систему координат данного узла. Это позволяет избежать эффекта «дрожания» (*jittering*), связанного с недостаточной точностью типа *float* при работе с виртуальным глобусом. Все точки узла помещаются в массив вершин.

5. Вычисление расстояния видимости узла:

$$d = \frac{\sqrt{\frac{\pi R^2}{M}}}{\alpha_{px}},$$

где  $R$  – радиус ограничивающей сферы,  $M$  – число точек в узле,  $\alpha_{px}$  – угловой размер пикселя экрана.

Если камера находится на расстоянии  $d$  от центра узла, то его необходимо отобразить на экране. Это позволяет контролировать визуальную плотность точек на экране и динамически ее менять.

Для динамического расчета визуальных параметров точек (цвет, размер) на основе атрибутивных данных, а также динамической фильтрации точек на основе заданных критериев генерируется вершинный шейдер.

Пример визуализации облака точек на трехмерном рельефе виртуального глобуса приведен на рис. 3.

Объемные данные представляют собой трехмерную матрицу значений, в ячейках которой записана плотность. Традиционно такие данные получают в медицине методом томографии. Данные содержатся в параллельном параллелепипеде в декартовой системе координат.



Рис. 3. Облако точек лазерного сканирования Денисовой пещеры на Алтае (по данным ИИЕТ РАН)

В случае виртуального глобуса объемные данные описывают характеристики земной коры. Данные получаются в результате

распространение сейсмических волн (сейсмотомография). Отличием является то, что данные находятся в географической системе координат. Для отрисовки их на экране необходимо преобразование в декартову систему координат.

Прямоугольный параллелепипед в географических координат превращается в фигуру сложной формы в декартовых координатах.

Если объем касается небольшой площади территории на глобусе, то можно считать поверхность земли локально плоской и использовать традиционный метод отрисовки.

Но если объем покрывает большую площадь, то необходима модификация метода прямого объемного рендеринга.

Различают прямой объемный рендеринг и алгоритм *Marching cubes*. Прямой объемный рендеринг основан на вычислении количества света, которое попадает в наш глаз в результате прохода через объем. задается передаточная функция (*transfer function*), которая ставит в соответствие плотности цвет (RGB) и прозрачность (A). Для расчета цвета каждого пикселя через равные интервалы вдоль луча считывается значение плотности, преобразуется в цвет и смешивается по следующей формуле.

$$C'_i = A_i C_i + (1 - A_i) C'_{i+1},$$

где  $C_i$  и  $A_i$  – цвет и прозрачность в точке объема  $i$ ,  $C'$  – накопленный цвет. Суммирование ведется от  $n - 1$  до 0.

Предлагается 2-хпроходной алгоритм рендеринга объемных данных на виртуальном глобусе, который является модификацией оригинального алгоритма прямого объемного рендеринга:

- сначала генерируется полигональная поверхность объёма с заданным уровнем приближения к поверхности эллипсоида (рис. 4). Далее эта поверхность отрисовывается в два прохода;
- во время первого прохода происходит отрисовка в текстуру задней части поверхности. Текстура имеет формат *RGB* и содержит числа с плавающей точкой. В текстуру записываются декартовы координаты фрагментов задней части поверхности;
- во время второго прохода отрисовывается уже передняя часть поверхности объёма. Вычисляются декартовы координаты фрагмента, которые являются координатами точки входа луча в объем. Также во фрагментный шейдер передается текстура, полученная во время первого

прохода. Из нее берутся декартовы координаты точки выхода луча из объема;

- зная координаты точки входа луча и точки выхода луча, производится проход вдоль луча с заданным шагом и получение декартовых координаты промежуточных точек;

- декартовы координаты каждой из промежуточных точек преобразуются в географические координаты с помощью формул, которые обеспечивают точность в 1 см для высот меньше 1000 км;

- зная географические координаты, вычисляются текстурные координаты в объеме и задача сводится к оригинальному алгоритму прямого объемного рендеринга.

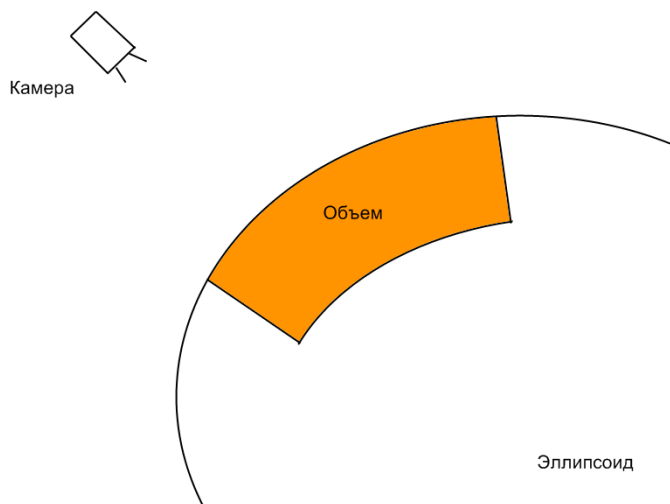


Рис. 4. Схема расположения глобуса и объема

На рис. 5 приведен пример использования объемного рендеринга для данных сейсмотомографии.

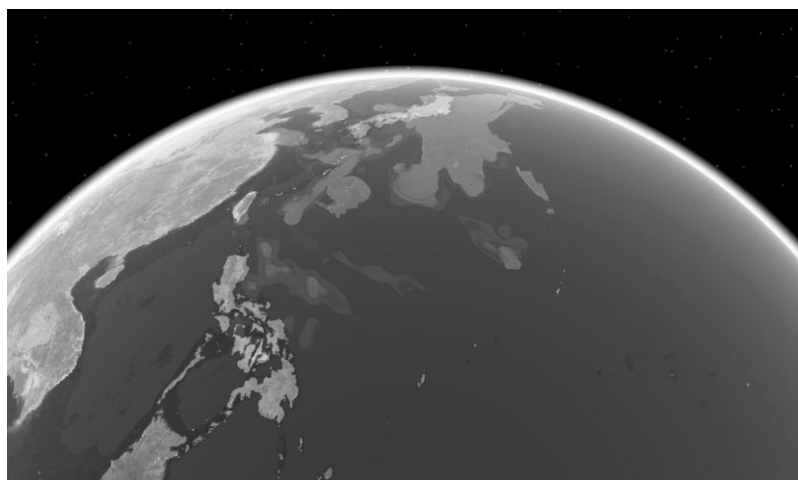


Рис. 5. Визуализация результатов сейсмической томографии в восточной части Евразии, по данным д.г.-м.н. И.Ю. Кулакова (ИНГГ СО РАН)

**Четвертая глава** посвящена способам взаимодействия пользователя с глобусом и данными на глобусе в виртуальном окружении. В ней описан программный комплекс, который реализует эти способы и разработанные алгоритмы визуализации данных из первых трех глав.

Программный комплекс использует в своей работе различные сторонние библиотеки. Диаграмма зависимостей между используемыми библиотеками показана на рис. 6.

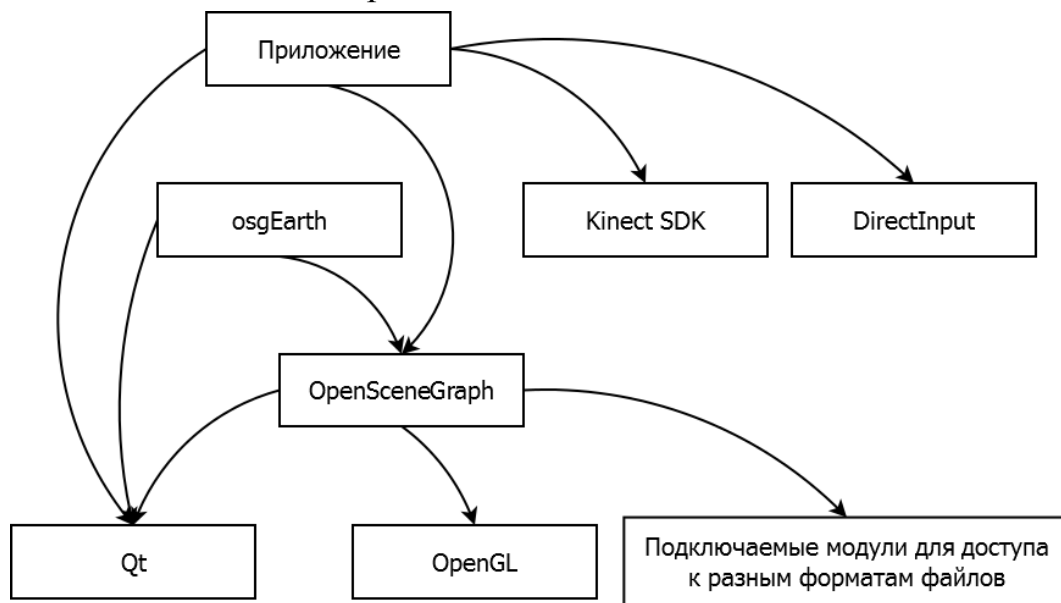


Рис. 6. Схема зависимостей от сторонних библиотек

В основе комплекса лежит графический инструментарий *OpenSceneGraph*, который является надстройкой над *OpenGL*. Генерация плиток рельефа виртуального глобуса осуществляется с помощью инструментария *osgEarth*. Графический интерфейс пользователя реализован с помощью инструментария *Qt*. *Kinect SDK* служит для организации трекинга головы с помощью сенсора *Kinect*. *DirectInput* используется для управления от джойстика.

Программный комплекс использует модульную архитектуру. Имеется ядро, которое отвечает за базовую функциональность: создание каркаса, инициализацию графического окна и графического интерфейса пользователя, управление режимами визуализации глобуса, навигацию по глобусу. Основные классы ядра показаны на рис. 7.

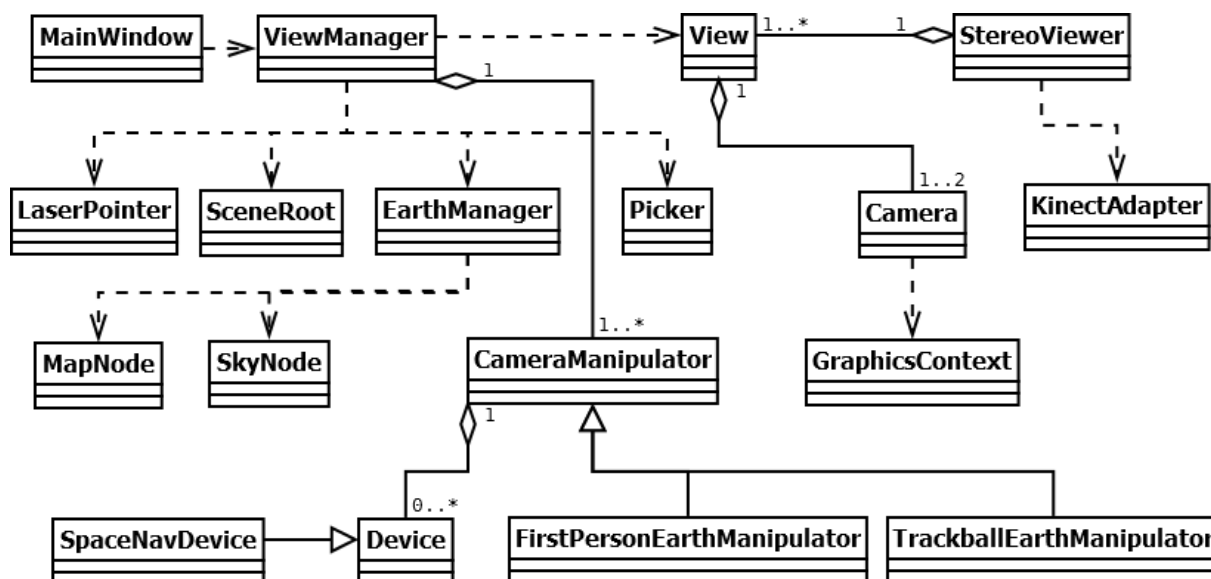


Рис. 7. Основные классы ядра программного комплекса

Каркас программного комплекса задают классы инструментариев OpenSceneGraph, osgEarth и Qt. Эти классы были модифицированы, дополнены и добавлены новые классы. Комплекс позволяет работать с несколькими независимыми трехмерными сценами параллельно. Класс View управляет визуализацией одной трехмерной сценой. Он включает одну или несколько (в случае стерео-режима) виртуальных камер (класс Camera). С каждой камерой связан графический контекст (класс GraphicsContext), в который и происходит отрисовка. Класс StereoViewer хранит все экземпляры View, позволяет их создавать и настраивать стерео-режимы. Для трекинга головы с помощью сенсора Kinect он обращается к классу KinectAdapter.

Класс ViewManager занимается настройкой, высокоуровневым управлением трехмерной сценой и содержит ряд инструментов для работы со сценами. Picker – позволяет взаимодействовать с объектами сцены с помощью инструмента «виртуальная лазерная указка», LaserPointer – рисует луч указки, SceneRoot – настраивает графические эффекты, EarthManager – управляет режимами визуализации глобуса (класс MapNode) и атмосферы (класс SkyNode).

Для навигации используются несколько классов, производных от CameraManipulator. Разные классы реализуют разные режимы навигации. Они могут использовать данные от устройств ввода (класс Device), таких как джойстик SpaceNavigator (класс SpaceNavDevice).

Для управления трехмерной сценой через графический интерфейс используется класс MainWindow, производный от QMainWindow.

Программный комплекс предназначен для визуализации и взаимодействия с 3D-данными на глобусе в виртуальном окружении. В нем реализованы три основных направления:

1. Поддержаны различные стерео-режимы, совместимые с современным оборудованием. Настройки стереоэффекта динамически подстраиваются в зависимости от высоты камер над глобусом, что позволяет воспринимать объем как глобуса целиком из космоса, так и отдельных небольших объектов на поверхности глобуса.

2. Поддержаны различные режимы навигации, которые позволяют в разных задачах по-разному осматривать интересующие 3D-данные на глобусе.

3. Поддержаны различные способы взаимодействия с данными как через графический интерфейс пользователя (с учетом особенностей, возникающих при стереовизуализации), так и с помощью инструмента «виртуальная лазерная указка», который заменяет мышь при работе в стерео-режиме.

Результаты четвертой главы были использованы при разработке горнолыжного тренажера.

**В заключении** приведены основные результаты работы и выводы:

1. Разработан способ визуализации виртуального глобуса с полупрозрачной поверхностью рельефа, который обеспечивает как надземный, так и подземный просмотр геометрических объектов под поверхностью глобуса и устраняет графические артефакты, вызванные перекрытием слоев рельефа и вспомогательной геометрии.

Предложенный способ можно использовать для решения задач реконструкции зданий и сооружений, в которых проектирование осуществляется на основе облака точек. Способ позволяет анализировать расположение проектируемого объекта относительно соседних зданий и окружающего рельефа, учитывать трассировку подземных коммуникаций и т.д.

2. Разработан алгоритм визуализации облаков точек на глобусе с уровнями детализации, учетом особенностей глобуса, контролем плотности точек на экране и фильтрации по заданным критериям на графическом процессоре.



3. Разработан алгоритм визуализации объемных данных, заданных в географической системе координат, который позволяет осуществлять просмотр данных сейсмотомографии, в том числе производить анимацию изменений во времени. Разработанные алгоритмы визуализации объемных данных и полупрозрачной поверхности глобуса могут быть использованы для представления и исследования процессов в земной коре с помощью данных сейсмотомографии для больших территорий. Источником объемных данных может быть также климатическое моделирование.

4. Разработан программный комплекс, который обеспечивает визуализацию виртуального глобуса, данных и 3D-объектов на глобусе, взаимодействие с ними в виртуальном окружении на современном оборудовании. Разработанный программный комплекс может использоваться для организации автоматизированного рабочего места. Он обеспечивает удобную навигацию в трехмерном пространстве виртуального глобуса, стереоскопическую визуализацию с учетом разных масштабов, поддержку графического интерфейса пользователя.

### **Публикации по теме диссертационной работы**

*Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Бобков, А. Е. Интерактивное 3D-приложение «Виртуальная Долина гейзеров»/ А. А. Алейников, А. Е. Бобков, В. А. Дроздин // Компьютерные инструменты в образовании. – 2011. – №. 4. – С. 41–49.

2. Бобков, А. Е. Виртуальное моделирование территории на основе данных дистанционного зондирования/ А. В. Леонов, А. А. Алейников, А.Е.Бобков// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 2. – С. 46–52.

3. Бобков, А. Е. Устройство для тренировки восприятия виртуального пространства на основе адаптивной оптики/ В. П. Алешин, В. О. Афанасьев, А. Е. Бобков // Приборы. – 2012. – № 11. – С. 35–41.

4. Бобков, А. Е. 3D-документирование территории для систем виртуальной реальности/ А. В. Леонов, А. Е.Бобков, Е. Н. Ерёмченко // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 9. – С.13–17.

*Статьи в сборниках научных трудов и сборниках конференций:*

5. Бобков, А. Е. Разработка инструментария для показа стереопрезентаций из файлов в KML-формате/ А. Е. Бобков, И. П. Казанский,

С.В. Клименко // MEDIAS 2010: тр. междунар. науч. конф. – 2010. – С. 41-47.

6. Бобков, А. Е. Разработка инструментария для показа стереопрезентаций из файлов в KML-формате/ А. Е.Бобков, И. П. Казанский, С. В. Клименко // ГрафиКон'2010: тр. 20-й Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению. – СПб., 2010. – С. 285–291.

7. Бобков, А. Е. Возможности 3D-визуализации для эффективного представления результатов научных исследований/ Д.Е. Белосохов, А.Е.Бобков, А. В. Леонов// Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: тр. 3-й науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2011. – С. 347–351.

8. Бобков, А. Е. 3D-реконструкция территории Ленинградской атомной электростанции для задач моделирования чрезвычайных ситуаций/ Р. И. Бакин, А. Е.Бобков, С. В. Клименко // Ситуационные центры и информационно-аналитические системы класса 4i. SC-IAS4i-VRTerro2011: тр. Междунар. науч. конф. – Протвино-М.: Изд-во ИФТИ, 2011. – С.176-184.

9. Бобков, А. Е. Исследование и разработка методов визуализации территорий на виртуальном глобусе/ А. Е. Бобков, С. В. Клименко, А. В. Леонов // MEDIAS 2011: Тр. междунар. науч. конф. – 2011. – С. 33–37.

10. Бобков, А. Визуализация сейсмических данных на виртуальном глобусе/ А. Бобков, А. Леонов, В. Чебров // ГрафиКон'2012: Тр. 22-й Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению. – М., 2012. – С. 163-168.

11. Bobkov, A. Visual 3d perception of the ski course and visibility factors at virtual space/ A. Bobkov and [oth.] // in Proceedings CW2011 International Conference on Cyberworlds. – Banff, Alberta, Canada, 2011. – PP.222-226.

12. Бобков, А. Е. Интерактивная визуализация 3D данных на виртуальном глобусе в стереоскопических системах (по материалам кандидатской диссертации)/ А. Е. Бобков // СРТ2013: тр. Междунар. конф. по физико-технической информатике. – Протвино-М.: Изд-во ИФТИ, 2013. – С. 75–84.