

ВОЗМОЖНОСТИ 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Белосохов Д. Е.^{1,2}, Бобков А. Е.^{1,2}, Леонов А. В.¹

¹ *Институт физико-технической информатики, г. Протвино Московской обл.*

² *Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный Московской обл.*

Аннотация

Развитие доступных технических и программных средств стереоскопического отображения информации открывает новые возможности представления научных данных. Стереоскопическая 3D-визуализация позволяет эффективно анализировать большие массивы данных, а также наглядно представлять результаты научных исследований. В статье представлены результаты разработки открытого программного обеспечения для визуализации сейсмических данных и глубинных структур на «виртуальном глобусе» в стереоскопическом режиме. Представлены примеры стереоскопической 3D-визуализации различных сейсмических и геофизических данных: каталога сейсмических событий Курило-Камчатской дуги; микросейсмической активности в районе Долины гейзеров и др.

Введение

История применения компьютеров для визуализации научных данных насчитывает не менее 20 лет. В 1962 году американский математик Ричард Хемминг сформулировал свой знаменитый афоризм: «The purpose of computing is insight, not numbers», то есть: «Целью вычислений являются не числа, а понимание (постижение, проникновение в суть, интуиция, инсайт)» [11]. Этот девиз и сегодня определяет суть научной визуализации. Конкретные формы компьютерной визуализации неоднократно менялись за это время вслед за развитием технических средств.

Следует отметить также знаковый отчет Национального научного фонда США (National Science Foundation, NSF) «Визуализация в научных вычислениях» [15], который был опубликован в 1987 году отдельным выпуском журнала «Computer Graphics». Этот отчет обратил внимание научной общественности на катастрофический рост объемов информации, которую необходимо обрабатывать для поддержания научно-технического прогресса, и важность интерактивной визуализации больших массивов данных. Эти выводы не потеряли своей актуальности и сегодня.

В процессе развития визуализации как научной дисциплины было осознано, что человек тем лучше проникает в суть исследуемого явления, чем более полно он может «погрузиться» в модель исследуемого явления и чем более естественно для него организована манипуляция данными в этой модели. Так сформировалась технология виртуальной реальности (virtual reality), или виртуального окружения (virtual environment), активное развитие которой можно проследить с 1980-х годов.

В России развитием технологий научной визуализации и «виртуальной реальности» с начала 1990-х годов занимается Институт физико-технической информатики (ИФТИ, г. Протвино) и кафедра системной интеграции и менеджмента МФТИ (СИМ МФТИ) под руководством д.ф.-м.н., проф. С. В. Клименко [3, 4, 5 и др.]. Неоценимую поддержку развитию этого направления в России в течение многих лет оказывает РФФИ.

Одно из популярных определений гласит, что «виртуальная реальность – это синтезированное компьютером, интерактивное, трехмерное окружение, в которое погружен человек». Это определение выделяет три основных характеристики виртуальной реальности. Во-первых, виртуальная реальность представляет собой трехмерную сцену (модель), сформированную компьютером. Во-вторых, виртуальная реальность интерактивна: взаимодействие системы с пользователем происходит в удобной, естественной для человека форме в режиме реального времени. В-третьих, пользователь погружен в виртуальную реальность, то есть, восприятие человеком реального мира в виртуальной реальности частично или полностью блокируется.

Техническая реализация «виртуальной реальности» менялась вслед за развитием компьютеров и средств отображения. На смену экспериментальным приложениям 1980-х пришли сложные программно-аппаратные комплексы 1990-х для военных, промышленных и исследовательских задач. К рубежу тысячелетий сформировался устойчивый образ «системы виртуальной реальности» как штучной, дорогостоящей стереоскопической установки для узкоспециального применения. Однако с 2000-х годов рост производительности бытовых компьютеров – и особенно графических процессоров

– обеспечил неуклонную миграцию технологий виртуальной реальности к экономичным, массовым, общедоступным приложениям.

Не случайно один из пионеров технологии виртуальной реальности Ярон Ланье (Jaron Lanier) в середине 2000-х стал консультантом Linden Labs по разработке многопользовательской виртуальной среды Second Life, а также одним из разработчиков бесконтактного интерфейса управления Kinect для игровой приставки Xbox360 компании Microsoft.

Последним препятствием для массового применения технологий «виртуальной реальности» было отсутствие доступных средств стереоскопического отображения. Этот рубеж был взят в 2010 году с появлением бытовых стерео-мониторов и технологии nVidia 3D Vision. Ведущие производители электроники выпустили на рынок бытовые стерео-телевизоры, стерео-видеокамеры и стерео-фотоаппараты, производители компьютерных игр представили компьютерные игры с поддержкой стерео-режима. Выход полнометражных стерео-кинофильмов («Аватар» Джеймса Кэмерона и др.) ознаменовал начало массового использования «стерео» в мире. Слова «стерео» и «3D» с этого времени стали, по сути, синонимами – сегодня любая компьютерная 3D-модель может быть показана в стерео режиме любому заинтересованному пользователю.

Есть все основания полагать, что применение стерео-технологий будет расширяться в ближайшие годы, обеспечивая всё более широкое использование стереоскопического представления информации для различных целей. Эту «революцию экранов» можно сравнить с переходом от чёрно-белого кино к цветному, или от LCD-кинескопов и стандарта «625 строк» – к жидкокристаллическим и плазменным экранам и телевидению высокой чёткости (FullHD). Логика развития мирового потребительского рынка, которая сегодня в значительной степени определяет приоритетные направления технического прогресса, требует внедрения на рынок нового магистрального видео-продукта, единственным реальным претендентом на который сегодня является «стерео».

Для научных организаций это означает повышение доступности стерео-технологий, возможность их широкого использования для научных и образовательных целей. Точно также как развитие рынка компьютерных игр позволило многократно снизить цены на графические процессоры, которые сегодня используются научными коллективами для создания доступных по цене суперкомпьютеров, развитие «массового» стерео-рынка сделает соответствующие технологии широкодоступными для науки и образования.

Для массового рынка основными стерео-продуктами являются полнометражные кинофильмы, телепередачи и компьютерные игры. Для научных и образовательных приложений основной 3D-продукцией будут, по нашему мнению, интерактивные стерео-приложения, в том числе, построенные по принципу совмещения развлечения и образования («edutainment» = «education» + «entertainment»), и короткометражные демонстрационные и обучающие стерео-фильмы [8, 9].

3D-документ как базовая идея научной стерео-визуализации

В основу создания интерактивных стерео-приложений для науки и образования может быть положена концепция 3D-документа, предложенная рядом европейских исследователей в конце 2000-х годов [10, 12, 16]. Принципиальная схема 3D-документа показана на рис. 1.

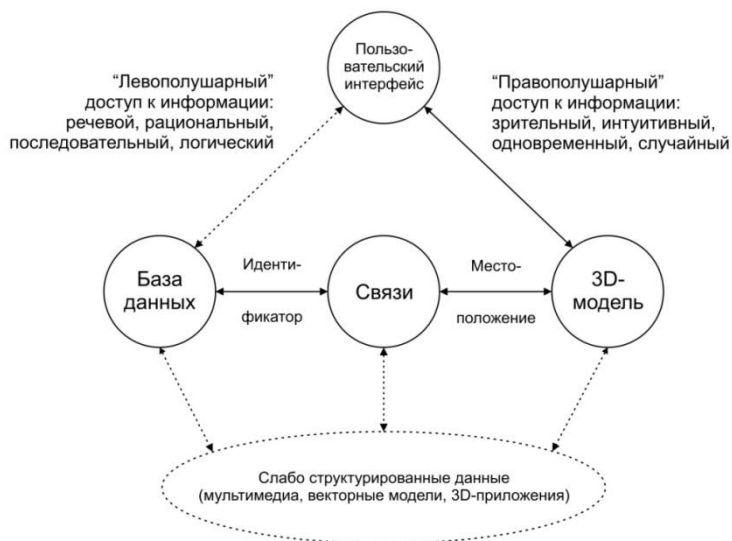


Рис. 1. Принципиальная схема 3D-документа [14].

3D-документ – это 3D-модель и связанная с ней информационная система, которая может включать как традиционную базу данных, так и слабо структурированные данные. 3D-модель выступает одновременно как когнитивный объект (визуальный образ, который имеет собственную информационную ценность), и как 3D-интерфейс к информационной системе. Интерфейс может включать также сюжет (сценарий), задающий основные линии взаимодействия пользователя с виртуальным пространством 3D-документа.

Соотношение информационной ценности 3D-модели и связанных с ней данных может быть разным. Если основную информацию несёт 3D-модель, то можно рассматривать 3D-документ как «3D-модель с дополнительным описанием». Если же основной объём информации содержится в связанных данных, то можно рассматривать 3D-документ как «базу данных с интерфейсом на основе 3D-модели». Так или иначе, любая 3D-модель или комплекс моделей, взаимосвязанный с традиционными формами представления информации (базами данных, файловыми системами и т.п.), попадает под определение «3D-документа». Для пользователя естественно воспринимать 3D-документ в стерео режиме, «погружаться» в виртуальное трёхмерное пространство модели, и взаимодействовать с информационной системой «через» 3D-модель.

Любая научная стерео-визуализация опирается на массив исходных данных и связанные с ним (или построенные на его основе) 3D-модели. Поэтому концепция 3D-документа может рассматриваться как идейная основа для стерео-визуализации в науке и образовании.

Применение 3D-визуализации в геологии и геофизике

Развитие методов 3D-документации в той или иной области тесно взаимосвязано с развитием технологий массового автоматизированного построения 3D-моделей объектов исследования. Ряд таких технологий развился стремительно в течение 2000-х годов, что и дало повод для появления термина «3D-документ» как обозначения новой формы организации информационных систем.

Так, развитие технологий дистанционного зондирования земли обеспечило массовое построение точных виртуальных 3D-моделей ландшафта, что наряду с доступными средствами 3D-моделирования зданий и сооружений дало толчок к массовому применению методов неогеографии и 3D-документирования земной поверхности. Развитие технологий лазерного 3D-сканирования обеспечило мощный импульс развитию области «виртуального культурного наследия» (виртуальные музеи, реконструкции археологических и архитектурных объектов), а также 3D-документированию промышленных объектов. Появление массово доступных средств магнитно-резонансной томографии стало основой для развития 3D-документации в медицине.

Аналогичным образом, в промышленной геологии и гидрогеологии построение 3D-моделей месторождений, рудных тел, водоносных горизонтов может опираться на данные о трёхмерном распределении тех или иных параметров, полученные в результате бурения. В геофизике основой для построения 3D-моделей могут служить пространственные данные о сейсмической активности, данные сейсмондирования и сейсмической томографии. Вместе с методами неогеографии (3D-моделями рельефа) это даёт мощный инструмент для наглядной стерео-визуализации как исходных данных, так и объёмных моделей глубинного строения, построенных на их основе.

«Виртуальный глобус» - основа для визуализации данных в науках о земле

Науки о земле оперируют с геопространственными данными, то есть данными, которые имеют привязку к географическим координатам. Основой для 3D-визуализации таких данных является 3D-модель рельефа для соответствующей территории, а в общем случае – 3D-модель земного шара, или «виртуальный глобус». Современные видеокарты позволяют работать с моделью земного шара целиком, обеспечивая интерактивную визуализацию разнообразных данных в едином контексте на «виртуальном глобусе» с требуемым уровнем детализации.

На сегодняшний день, существуют десятки «виртуальных глобусов» и приложений для визуализации данных на их основе, как открытых, так и с закрытым кодом (http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_globe). Все они с технической точки зрения решают похожие задачи: динамическую подгрузку и выгрузку спутникового покрытия и данных о рельефе, интерактивный рендеринг и отбрасывание невидимых объектов при отрисовке сцены, переход к локальным координатам при приближении виртуальной камеры к поверхности земли, учёт высоты рельефа при отображении данных и т. д.

Одно из широко известных приложений с виртуальным глобусом – Google Earth. Однако Google Earth имеет ряд недостатков, которые не позволяют сегодня использовать его для стерео-визуализации в науках о земле: не поддерживается отображение объектов под поверхностью земли;

не поддерживается пользовательская детализация данных о рельефе; не поддерживается отображение в стерео режиме. Поскольку исходный код Google Earth закрыт и написание плагинов к нему не поддерживается, обойти эти недостатки на сегодняшний день невозможно.

Виртуальные глобусы, как и любые графические приложения, обычно опираются на один из двух графических интерфейсов – DirectX или OpenGL. DirectX позволяет писать приложения только под Windows, в то время как OpenGL является кросс-платформенным интерфейсом и поддерживается также на Unix- и Mac-платформах.

В Институте физико-технической информатики ведётся разработка своего кросс-платформенного «виртуального глобуса» и основанных на нём интерактивных приложений для стерео-визуализации геопространственных данных [1, 2]. Разработка ведётся под OpenGL на базе открытого программного обеспечения OpenSceneGraph (<http://www.openscenegraph.org/>), osgEarth (<http://osgearth.org/>), AvangoNG (<http://www.avango.org/>). Это приложение может использоваться, в том числе, для стерео-визуализации сейсмических данных.

Примеры стерео-визуализации сейсмических данных на «виртуальном глобусе»

Разработка средств стерео-визуализации сейсмических данных и глубинных структур была мотивирована задачами развития проекта «Виртуальная Долина гейзеров» (грант РФФИ 10-07-00407-а) [13], а именно – необходимостью стерео-визуализации данных по локальной сейсмичности [6] и микросейсмическому зондированию [7] района Долины гейзеров. В процессе разработки было создано универсальное кросс-платформенное приложение, позволяющее визуализировать в моно- или стерео-режиме произвольные наборы данных о землетрясениях, полученные с общедоступных каталогов КФ ГС РАН (<http://emsd.iks.ru/ts/all.php>) или Геологической службы США (USGS) (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>).

На рис. 2-5 приведены примеры визуализации сейсмических данных с помощью разработанного приложения: локальная сейсмичность района Долины гейзеров по данным 2008-2009 гг; катастрофические события в Японии в марте 2011 года; каталог сейсмических событий Курило-Камчатской дуги за 1962-2010 гг. Энергетика событий отображается размером и цветом сфер (на чёрно-белых иллюстрациях дифференциация по цвету не видна).

На момент написания статьи, приложение обладает следующей функциональностью: выбор исходного файла данных в формате *.txt, выбор режима визуализации (статический для отображения одновременно всех событий, динамический для анимации событий во времени), настройки динамического режима (скорость анимации, «время жизни» события), настройки визуализации (выбор размера сфер, включение подписей к событиям, выбор единиц измерения энергии событий – класс или магнитуда), фильтрация событий (по времени, по мощности). Возможно наложение сеток координат и глубин с выбором шага, а также вывод на экран «текущей даты» анимации.

Приложение можно использовать для визуального анализа распределения событий в моно- и стереоскопическом режиме, оценки масштаба и структуры «облака» событий и его взаимосвязи с другими подземными и поверхностными структурами. Приложение может использоваться для создания иллюстраций и демонстрационных стерео-фильмов.

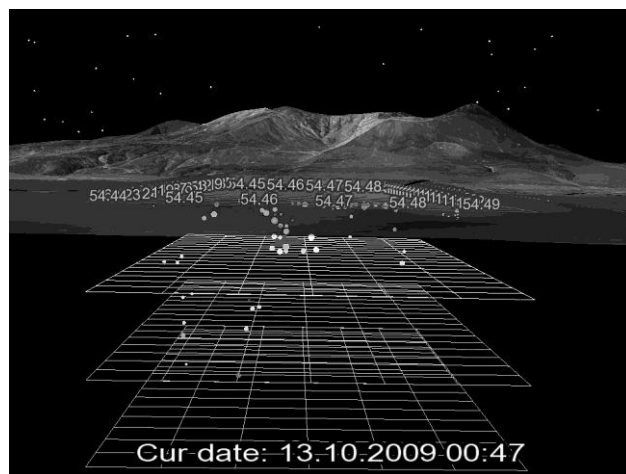
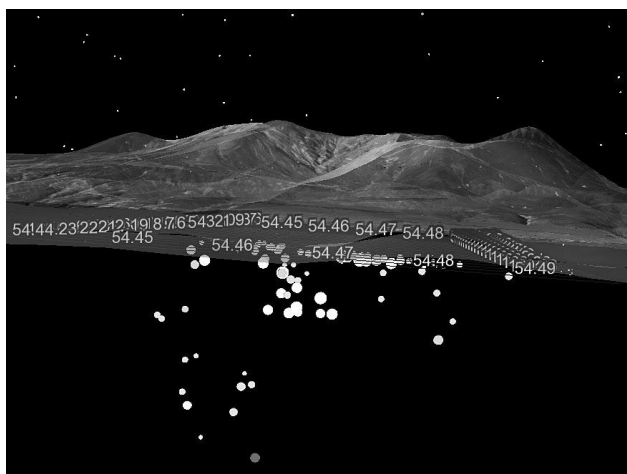


Рис. 2 (слева), 3 (справа). Локальная сейсмичность района Долины гейзеров в 2008-2009 гг (по данным [6]).

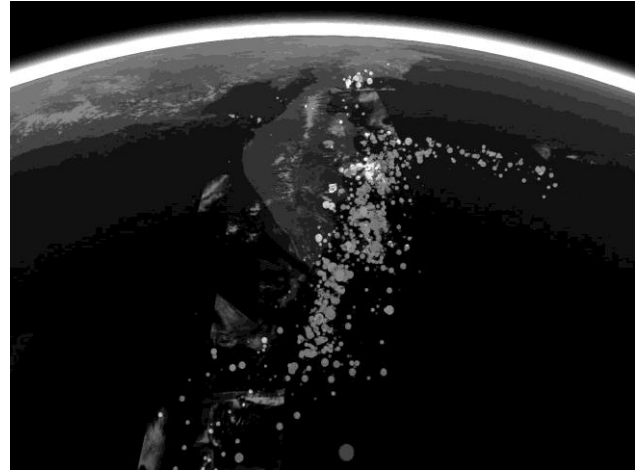
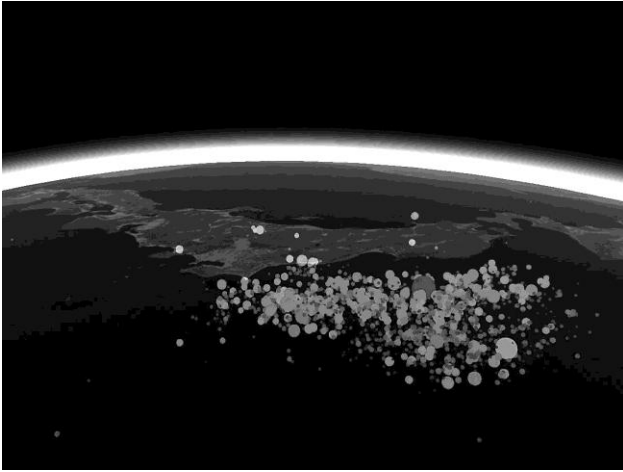


Рис. 4 (слева). «Облако» сейсмических событий, связанных с катастрофическим землетрясением в Японии в марте 2011 г. Показаны все события с 1.03.2011 по 18.04.2011 (по открытым данным с веб-сайта USGS).
Рис. 5 (справа). Визуализация каталога сейсмических событий Курило-Камчатской дуги за 1962-2010 гг (по открытым данным с веб-сайта КФ ГС РАН).

Заключение

Развитие средств стерео-визуализации научных данных отвечает как современным тенденциям технологического развития средств отображения, так и потребностям академических организаций в поиске новых форм представления своей деятельности. Стерео-демонстрация гео-данных и 3D-моделей может помочь как эффективному представлению научных результатов, так и анализу данных и восприятию больших объёмов геопространственной информации.

Планируется дальнейшее развитие приложения с участием специалистов КФ ГС РАН для визуализации объёмных глубинных структур, построения сечений и проекций 3D-моделей.

Авторы благодарят ИФТИ и РФФИ за поддержку и финансирование работ (гранты 09-07-02100-э_к, 09-07-06042-г, 10-07-00407-а, 10-07-09262-моб_з, 11-07-09215-моб_з, 11-07-00329).

Список литературы

1. Ерёмченко Е. Н. Неогеография: особенности и возможности // Материалы конференции "Неогеография XXI-2008" IX Международного Форума "Высокие технологии XXI века". — Москва, 2008. — С. 170.
2. Ерёмченко Е.Н. Неогеография и Situational Awareness. Материалы конференции "Неогеография XXI-2009" X Международного Форума "Высокие технологии XXI века". — Москва, 2009. — С. 434-436.
3. Клименко С. В., Гебель М. Научная визуализация в виртуальном окружении // Программирование, №4, 1994.
4. Клименко С. В. и др. Труды 1-й международной конференции по системам виртуального окружения на кластерах персональных компьютеров VEonPC 2001. Протвино, ИФТИ, 2001.
5. Клименко С. В., Никитин И. Н., Никитина Л. Д. Аванго – система разработки виртуальных окружений. Москва-Протвино, ИФТИ, 2006. – 252 с. – ISBN 5-88835-017-6.
6. Кугаенко Ю. А. и др. Локальная сейсмичность района Долины Гейзеров по данным полевых наблюдений 2008-2009 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 1. Выпуск № 15. С. 90-99.
7. Кугаенко Ю. А. и др. Глубинная структура района Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии по данным микросейсмического зондирования // Доклады Академии наук. 2010. Том 435. № 1. С. 96–101.
8. Baturin, Y. et al. Virtual space experiments and Lessons from Space // Proc. of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications (ED-MEDIA) 2007, AACE, Chesapeake, VA, P. 4195-4200.
9. Danilicheva, P., Klimenko, S., Baturin, Y., and Serebrov, A. Education in Virtual Worlds: Virtual Storytelling // Proc. of 2009 International Conference on Cyberworlds. IEEE CS CPS. 2009. P. 333-338.
10. Fellner, D. W. et al. Guest Editors' Introduction: 3D documents // IEEE Computer Graphics and Applications. 2007. Vol. 27. No. 4. P. 20-21.
11. Hamming, R. W. Numerical Methods for Scientists and Engineers. McGraw-Hill, 1962.
12. Havemann, S. et al. The Arrigo Showcase Reloaded — towards a sustainable link between 3D and semantics // Journal on Computing and Cultural Heritage. 2009. Vol. 2. Issue 1. P. 1-13.
13. Leonov, A. V. et al. Virtual story in cyberspace: Valley of Geysers, Kamchatka // Proc. of 2010 International Conference on Cyberworlds. IEEE CS CPS. 2010. P. 247-253.
14. Leonov, A. V. et al. 3D Documentation of Natural Heritage for Virtual Environments and Web — Case Study: Valley of Geysers, Kamchatka // Proc. of IADIS International Conference CGVCVIP 2011 (in-press).
15. McCormick, B. H. et al. Visualization in Scientific Computing // Computer Graphics. 1987. Vol. 21. No. 6.
16. Remondino, F. and Rizzi, A. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites — techniques, problems, and examples // Applied Geomatics. 2010. Vol. 2. No. 3. P. 85-100.