

Стереовизуализация научных и медицинских объемных данных трассировкой лучей в реальном времени

Николай И. Гаврилов, Александра А. Белокаменская
факультет Вычислительной Математики и Кибернетики
Нижегородский государственный университет, Н.Новгород, Россия
gavrilov86@gmail.com; aab04@yandex.ru

Аннотация

Предложен метод ускорения прохода пустых вокселей, заключающийся в использовании двухуровневой иерархии текстур: помимо основного массива, 512^3 , в GPU загружается двухканальная текстура $16 \times 16 \times 16$. Каждому элементу этой текстуры соответствует свой блок $32 \times 32 \times 32$ исходных данных. Текстура хранит минимальное и максимальное значения данных соответствующего блока. Предлагаемый метод ускорения алгоритма позволяет добиться качественной стереовизуализации мультиобъемов в реальном времени. Построена программа Stereo Multi-Volume Viewer (SMV), реализующая стерео рендеринг мультиобъемных данных в реальном времени на лучших бытовых моделях GPU. Выполнено сравнение производительности реализации на GLSL и на OpenCL.

Ключевые слова: GPGPU, Multi-Volume Rendering, прямой объёмный рендеринг, медицинская визуализация, иерархия 3D текстур

ВВЕДЕНИЕ

В научной визуализации часто приходится иметь дело со скалярными полями данных, заданными в трехмерном пространстве. Данные могут быть получены самыми различными способами: численный эксперимент, сканирование с помощью магнитного резонанса, компьютерная томография (КТ), сканирование с помощью ультразвука. Например, результатом КТ является множество слоёв, т.е. двумерных массивов данных, которые вместе образуют трехмерное скалярное поле. Объем данных эксперимента значителен. Например, объем одного исследования в медицинской томографии, обычно равен 0.1-1ГБ. Обеспечение реального времени визуализации означает вывод на экран порядка 25 и более кадров в секунду.

Метод прямого объёмного рендеринга методом обратной трассировки лучей с 90-х годов прошлого века позиционирует себя как эффективный инструмент для визуального анализа объёмных данных. Разработаны и доведены до широкой научной общественности [1] подходы, позволяющие решать задачи объёмного рендеринга в реальном времени на основе параллельных вычислений и высокопроизводительной вычислительной техники. Эффективно решаются в интерактивном режиме задачи сегментации объема [2]. Развитие GPU как вычислительных устройств в последние годы дало этому направлению новый значительный импульс и позволило говорить о многообъемном рендеринге в реальном времени [3-5]. Стереовизуализация научных данных достаточно давно культивируется в бостонском университете (<http://scv.bu.edu>), но не вошла пока в широкую практику в медицине.

МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В медицине томограммы хранятся в специальном формате данных DICOM, а для визуализации томограмм используют так называемые DICOM-визуализаторы. Довольно большая часть их общедоступна, в том числе: eFilm, MicroDicom, OsiriX, Onis-Viewer, 3DimViewer, RadiAnt и отечественный (www.multivox.ru) MultiVox DICOM Viewer. Все эти Viewer-ы обеспечивают визуализацию томограммы в виде классических полутоновых изображений 2D-проекций и сечений объёмного скалярного поля. Большинство Viewer-ов обеспечивают также возможность визуализации 3D-моделей томограммы, используя чаще всего простые модификации прямого объёмного рендеринга (Рис.1).



Рис.1. Пример 3D-визуализации в eFilm

Наилучшего качества и информативности объёмного рендеринга позволяет достичь метод обратной трассировки лучей. С помощью этого метода можно визуализировать данные как набор изоповерхностей или в виде тумана, или и то и другое вместе. У изоповерхностей и тумана можно варьировать прозрачность и цвет. В научном эксперименте и дорогих профессиональных системах можно встретить примеры мультиобъемного рендеринга, к которому пока не предъявляют требования реального времени (Рис.2).

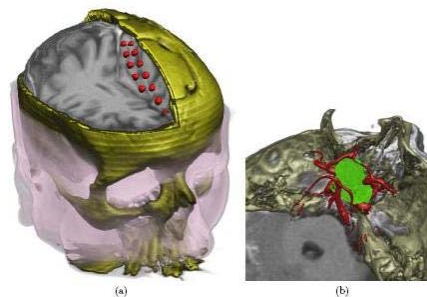


Рис.2. Пример мультиобъемного рендеринга [5]

Высокое качество изображения формирует интерес к использованию стерео-изображений, в которых, также как в прямом рендеринге, используется цвет и прозрачность вокселей.

РЕАЛИЗАЦИЯ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ ДЛЯ СТЕРЕОВИЗУАЛИЗАЦИИ ОБЪЕМОВ НА GPU

Наиболее удобной структурой хранения пространственных массивов данных на GPU является 3D-текстура, аналогичная 3D-массиву действительных чисел. Для CPU удобнее может оказаться иерархическая структура, например, октодереву. Для доступа к элементам дерева процессору необходимо пройти множество ветвлений, что приемлемо для CPU, но убивает производительность для GPU, к тому же, в программах для GPU нет рекурсии. Программа, реализующая трассировку, выполнена в среде MS Visual Studio 2008, как шейдерная программа для GPU, в среде OpenGL и GLSL (шейдерный язык для OpenGL).

Предложен метод ускорения вычислений, заключающийся в использовании иерархии текстур: помимо основного массива, 512x512x512, в GPU загружается меньший массив – двухканальная текстура 16x16x16. В пространстве каждому элементу этой текстуры соответствует свой блок 32x32x32 исходных данных. Текстура хранит минимальное и максимальное значения данных соответствующего блока.

Обращаясь к маленькой текстуре, луч может пропускать «неинтересные» области пространства, двигаясь с большим шагом. Такое решение повышает FPS в среднем в три раза.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Тестовые данные предоставлены ИПФ РАН, а также получены из Интернет-ресурса [1]. Это как результаты численного моделирования в физике, так и результаты КТ.

Ниже представлена производительность в зависимости от размера данных. Эксперимент проводился на видеокарте GeForce 8600 GT.

Объем	128 ³	256 ³	512 ³	512x512x690
FPS	50-60	30-40	8-15	5-10

Благодаря использованию ускоряющей структуры, увеличение размера объёмных данных меньше сказывается на производительности. Качественная визуализация больших массивов данных в реальном времени выделяет созданную программную систему среди многочисленных аналогов. Для сравнения производительности OpenCL и GLSL-шейдеров написаны две программы, реализующие алгоритм без ускоряющей структуры, рисующий одну изоповерхность для плотности 65 (плотность кости) и освещенный туман для данных всего диапазона плотностей. Протестировано на данных размером 256³. Для проведения эксперимента использовался графический ускоритель NVIDIA GeForce 8600GT и

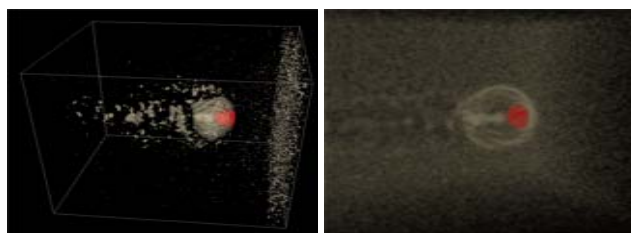


Рис.2. Визуализация взаимодействия двух сред в SMV

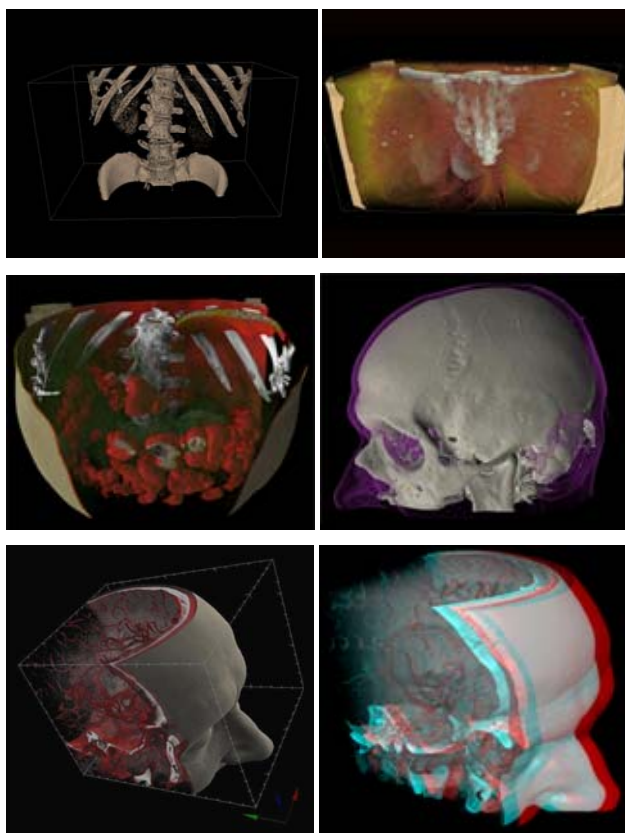


Рис.2. 3D и стерео визуализация в программе SMV

центральный процессор Intel Core2Duo 2,33 GHz. Размер окна визуализации составлял 512x512 точек. Производительность на OpenCL составила 5,6 fps, на GLSL – 10,2 fps. Переход на GPU GeForce GTX 285 | Radeon HD 5870 дает не менее, чем четырехкратный прирост производительности.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Klaus Engel, Markus Hadwiger, Joe M. Kniss, Aaron E. Lefohn, Christof Rezk Salama, Daniel Weiskopf; *Real-Time Volume Graphics, SIGGRAPH-2004*
<http://old.vrvis.at/via/resources/course-volgraphics-2004/>
- [2] Ятченко А.М., Крылов А.С., Гаврилов А.В., Архипов И.В. Построение 3D модели кровеносных сосудов по серии КТ изображений печени / Conf. Proc. of the 19th International Conference on Computer Graphics and Vision “GraphiCon’2009”, Moscow, 2009
- [3] Friedemann Roßler, Eduardo Tejada, Thomas Fangmeier, Thomas Ertl, Markus Knauff, *GPU-based Multi-Volume Rendering for the Visualization of Functional Brain Images*
<http://www.vis.uni-stuttgart.de/ger/research/pub/pub2006/simvis06-roessler.pdf>
- [4] Ralph Brecheisen, Anna Vilanova i Bartroli, Bram Platel, Bart ter Haar Romeny. *Flexible GPU-Based Multi-Volume Ray-Casting* // Technical University of Eindhoven
<http://www.yp.wtb.tue.nl/pdfs/9881.pdf>
- [5] Beyer Johanna. GPU-based Multi-Volume Rendering of Complex Data in Neuroscience and Neurosurgery. - Dissertation/ Vienna University of Technology, okt.2009, 131p

- [6] The scientific computing and imagine institute at the university of Utah
<http://www.sci.utah.edu/download/IV3DDData.html>

Abstract

Stereo-visualization of scientific and medical volume data in real time using the ray tracing

This work presents a method of volume rendering acceleration for GPU based on an empty voxel skipping. The skipping is constructed on the use of two-level hierarchy of textures: the main 3D texture-array (source data, 512^3) and a small two-channel texture $16 \times 16 \times 16$. Every $32 \times 32 \times 32$ block of the main texture corresponds to an element of the small texture. The small texture contains the minimal and maximal values of the block. The proposed method helps to achieve high-quality stereo visualization of multi-volume in real time. The program Stereo Multi-Volume Viewer (SMV) implements stereo rendering multi-volume data in real time on the best popular models of GPUs. The performances of GLSL and OpenCL versions have been compared.

Keywords: GPGPU, Multi-Volume Rendering, direct volume rendering, medical visualization, 3D texture hierarchy.