

Высокопроизводительное решение задач научной и медицинской визуализации на графических процессорах



28 Высокопроизводительное решение задач научной и медицинской визуализации на графических процессорах

Графические процессоры (GPU) играют сегодня все большую роль в высокопроизводительных вычислениях общего назначения. Одна из областей, для которых GPU открыли новые перспективы — это научная и, прежде всего, медицинская визуализация. В ННГУ им. Н.И. Лобачевского создан комплекс программ для научной и медицинской визуализации, способный предоставить аппарат трехмерной визуализации и исследования томограмм любого типа на рабочий стол каждого врача-клинициста. Рабочее название комплекса — InVols. Он использует межплатформенные решения для программирования массивно-параллельных вычислений на графических процессорах и может стать основой инфраструктуры для мощных вычислительных кластеров.

АВТОРЫ:

В.Е. Турлапов – докт. тех. наук, профессор кафедры МОЭВМ, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,

e-mail: vadim.turlapov@cs.vmk.unn.ru

Н.И. Гаврилов – аспирант кафедры МОЭВМ, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,

e-mail: gavrilov86@gmail.com

Введение

Исходными данными для визуализации и исследования в медицинской томографии и научной визуализации часто являются трехмерные скалярные поля данных, которые представляют результаты эксперимента; результаты компьютерной (КТ), магнито-резонансной (МРТ), позитронно-эмиссионной (ПЭТ) и др. томографий. Например, результатом КТ является множество двумерных слоев, которые вместе и образуют трехмерное скалярное поле. Объем данных эксперимента значителен и, например, объем одного исследования в КТ обычно равен 0,25–1 Гб. Данные медицинских томограмм хранятся в специальном формате DICOM, а для их визуализации используют так называемые DICOM-визуализаторы. Довольно большая часть визуализаторов общедоступна, в том числе eFilm, MicroDicom, OsiriX, Onis-Viewer, RadiAnt и отечественный MultiVox DICOM Viewer (режим доступа: www.multivox.ru). Все эти программы обеспечивают визуализацию томограммы в виде классических полутоновых изображений 2D-проекций и сечений. Большинство визуализаторов обеспечивают также возможность 3D-визуализации томограммы, используя чаще всего простые модификации метода объемной визуализации (DVR). Многие подобные программы используют сегодня графические процессоры. Однако наш комплекс, также используя графические процессоры, отличается от аналогов высоким качеством визуализации в реальном времени, возможностью одновременной 3D-визуализации нескольких томограмм разных типов, заданных в разных системах координат, а также богатым инструментарием способов визуализации и сопутствующих исследований. Интересно, что качественная визуализация трехмерных сцен в таких сложных и прогрессивных системах моделирования, как Autodesk 3D Studio MAX и Autodesk Maya до настоящего времени выполняется только на центральных процессорах.

Реализация объемной визуализации на графических процессорах в InVols

Интерфейс программного комплекса InVols показан на рисунке 1. На сайте ведущего автора комплекса (режим доступа: <http://hgavrilov.ru/invols/>) доступны скриншоты, документация и загрузка открытой версии программного обеспечения. Алгоритмы трассировки лучей, обработки изображений и объемных данных реализованы на межплатформенном языке высокого уровня для прямого программирования графических процессоров GLSL, благодаря чему могут работать на видеокартах (GPU) любого производителя. Для организации

графического интерфейса используется библиотека wxWidgets. Рабочая версия системы выполнена в среде MS Visual Studio 2008. В качестве структуры хранения пространственных массивов данных на GPU принята 3D-текстура, аналогичная 3D-массиву действительных чисел. Разрешенный размер такой текстуры сегодня ограничен величиной 512x512x512 (128 миллионов значений). В ходе работы адаптированы и реализованы оптимизационные подходы, основанные на раннем завершении луча и пропуске пустых областей [1]. Качество визуализации может быть дополнительно повышено пользователем за счет включения аккумуляции кадров, а также за счет трикубической интерполяции при выборке из данных [2] (рис. 2) вместо традиционной трилинейной. Реализован целый ряд различных техник визуализации, полезных для диагностики (рис. 3): прямая объемная визуализация без освещения в модификации [3, 4], прямая объемная визуализация с локальным освещением, проекция максимальной интенсивности (MIP) [5], техника полупрозрачных изоповерхностей и другие, а также двумерные функции трансформации значений исходных данных в цвет и прозрачность.

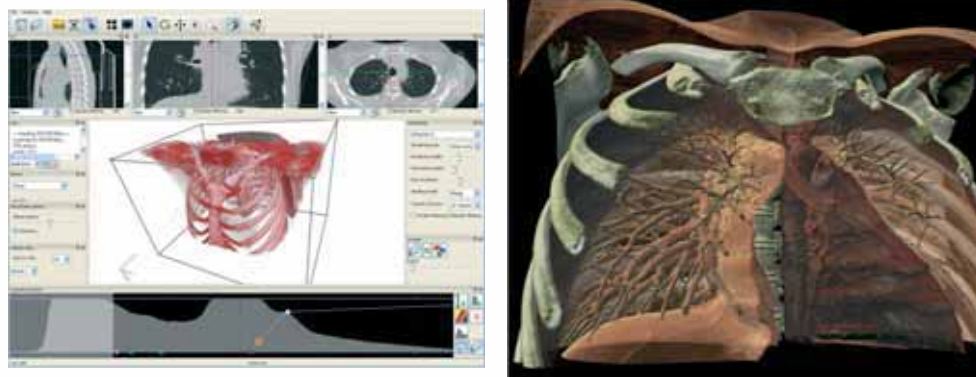


Рис. 1.
а) интерфейс системы InVols; б) визуализация в полноэкранном режиме

Пропуск пустых областей обеспечивает ускорение вычислений и увеличение частоты визуализации кадров (FPS) в три и более раз. Такой же и больший эффект дает реализованный нами алгоритм пропуска данных за пределами произвольной полигональной поверхности (в том числе невыпуклой, заданной сеткой управляемой пользователем, см. срез черепа на рис. 2), ограничивающей наблюдаемый объем [2]. В отсутствие такой поверхности ее роль выполняет отсечение наблюдаемых данных ограничивающим боксом (см. рис. 3. (а), (б)).

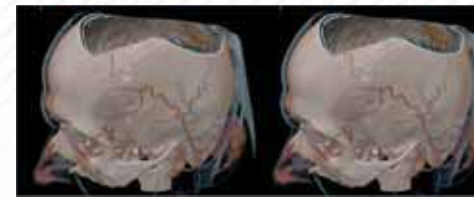


Рис.2.
Визуализация при различных способах выборки из данных: а) трилинейная фильтрация (видны искажения типа «древесные кольца»); б) трикубическая фильтрация (нет искажений)

Реализованы медианный и Гауссовский фильтры предобработки для подавления шума исходных данных. Производительность GPU-алгоритмов обработки данных для фильтра Гаусса и алгоритма ресэмплирования данных, т.е. изменения разрешения данных, в десятки раз выше CPU-реализации.

Реализованы 4 технологии стереовизуализации: а) массовая технология — *анаглиф* (4 типа: серый, цветной, полуцветной, оптимизированный), использующая красно-голубые очки; пассивные поляризационные очки и б) специальный поляризующий монитор (например, Zalman) или в) металлизированный отражающий экран; г) активные затворные очки (например, NVIDIA 3D Vision) и монитор или проектор, имеющий частоту кадров не менее 120 Гц (вывод кадров для правого и левого глаза синхронизован с затворными очками).

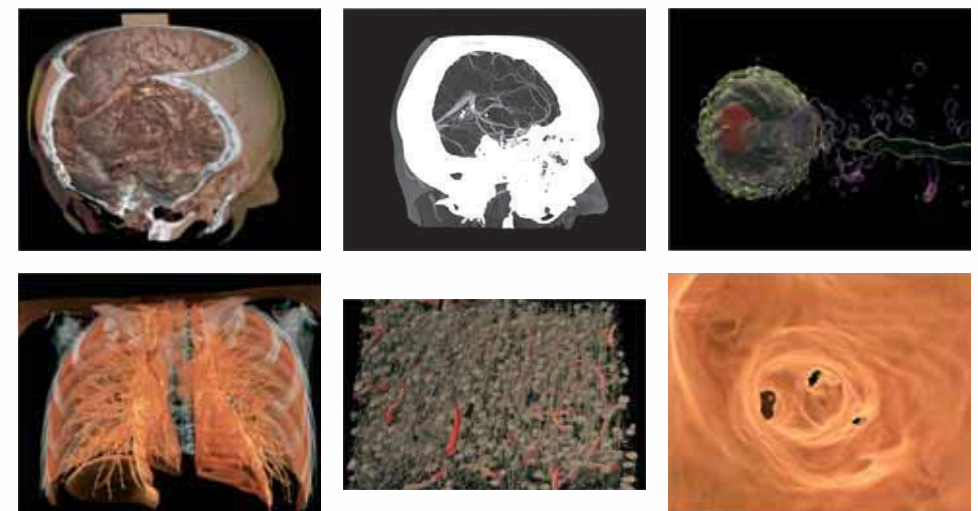


Рис. 3.
Техники визуализации (слева направо, сверху вниз): а) техника sDVR для визуализации данных КТ-томографии сосудов головного мозга; б) техника MIP для тех же данных; в) техника полупрозрачных изоповерхностей для вычислительного эксперимента (взаимодействие лазерного импульса с плазмой); г) техника sDVR для фрагмента гиппокампа мозга мыши, полученного с электронного микроскопа; д) для томограммы легких; е) для внутренней поверхности бронхов

Замеры производительности для различных графических процессоров

Ниже (табл. 1) приведены результаты замера производительности (количество кадров в секунду) для различных методов визуализации на различных графических процессорах (видеокартах). Информация о центральном процессоре не приведена, поскольку CPU не влияет на производительность визуализации.

Размер окна вывода: 1280x1024 (во весь экран);

Тестовые данные: размер 512x512x512, 16-битные;

Длина шага луча: 0,0004 (если принять сторону куба с данными за 1);

Ракурс крупным планом (рис. 4), поэтому общее число шагов всех лучей на кадр оценивается величиной $1280 \cdot 1024 / 0,0004 = 3,2 \cdot 10^9$. Благодаря раннему прекращению движения луча из-за накопления достаточной непрозрачности, это число может быть уменьшено на порядок.

Таблица 1. Производительность визуализации тестовых данных (рис. 4) для разных GPU [кадр/сек]

	DVR + Isos	Isos	MIP	sDVR	DVR	Iso
NVIDIA GeForce 8600 GT	3	4	2	4	4	9
NVIDIA GeForce 9500 GT	4	4	4	5	6	13
NVIDIA GeForce GTS 250	9	10	10	12	12	30
NVIDIA Quadro FX 5600	14	16	19	23	25	63
ATI RADEON HD 4870	18	21	35	38	40	81
ATI RADEON HD 4890	21	25	39	44	49	108

В головке таблицы использованы следующие обозначения методов визуализации:

DVR — прямая объемная визуализация (рендеринг) без локального освещения;

sDVR — прямая объемная визуализация (рендеринг) с локальным освещением;

Isos-множество полупрозрачных изоповерхностей;

DVR + Isos — комбинация DVR и изоповерхностей;

Iso — непрозрачная изоповерхность;

MIP — проекция максимальной интенсивности.

В таблице 1 приведены недорогие модели графических процессоров (кроме профессиональной NVIDIA Quadro FX 5600), начиная с самой нижней модели 2006 года, применимой для данного комплекса.

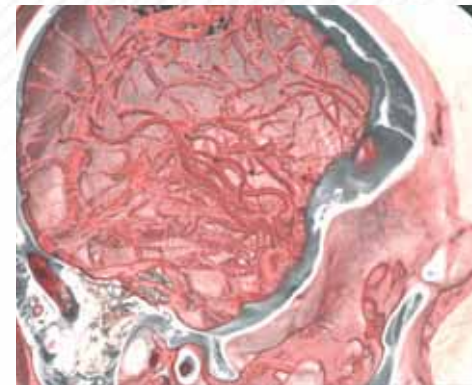


Рис. 4. Тестовые данные (КТ-сосудов головного мозга)

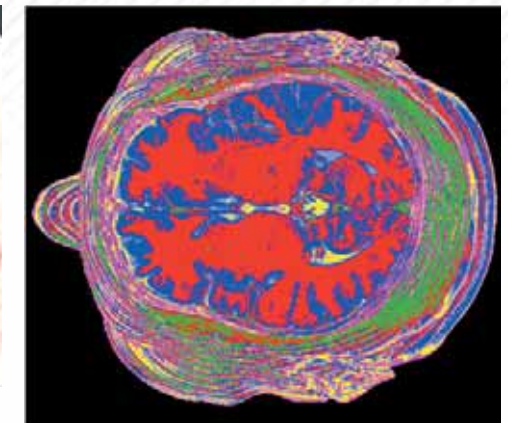


Рис. 5. Пример сегментации слоев томограммы головного мозга в 3D-режиме

В качестве приложений в среде системы можно также решать задачи сегментации томограмм, вычисления объемов, занимаемых выделенными сегментами (рис. 5).

В ближайших планах развития комплекса — твердотельная реконструкция костей и зубов человека по томограмме и печать их на 3D-принтере для стоматологической практики.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт № 02.740.11.0839.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grimm S. et al. Memory Efficient Acceleration Structures and Techniques for CPU-based Volume Raycasting of Large Data Splines // Proceedings of the IEEE Symposium on Volume Visualization and Graphics, 2004. – Pp. 1–8.
2. Daniel R. et al. Efficient GPU-Based Texture Interpolation using Uniform B-Splines // In IEEE Transactions on Journal of Graphics, GPU, & Game Tools. –Vol. 13. – No. 4. – Pp. 61–69.
3. Klaus E. et al. Real-Time Volume Graphics, A.K. Peters, New York.
4. Lundström C. Efficient Medical Volume Visualization: An Approach Based on Domain Knowledge // Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations. – 2007. – 0345-7524 – No. 1125.
5. Geoffrey D., Data explosion: the challenge of multidetector-row CT // In IEEE Transactions on European Journal of Radiology. – 2000. – Vol. 36. – Issue 2. – Pp. 74–80.