

КАЧЕСТВЕННАЯ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ МЕДИЦИНСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОМ VOLUME RAY CASTING

Н.И. Гаврилов, В.Е. Турлапов

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

Графические процессоры (GPU) сегодня широко применяются в научной, и прежде всего медицинской, визуализации. Алгоритмы для GPU становятся всё более сложными по своей структуре и всё более производительными. Как следствие, визуализация становится качественной и быстрой, увеличивается объём визуализируемых данных. В ННГУ им. Н.И. Лобачевского создан комплекс программ для научной и медицинской визуализации, предоставляющий аппарат трехмерной визуализации и исследования томограмм любого типа на рабочий стол каждого врача-клинициста. В работе представлена отечественная реализация технологии 3D-реконструкции томограмм, конкурирующая с реализациями от Fovia и Anatomage. Обсуждаются детали, связанные с качеством и производительностью 3D-реконструкции, приведены результаты вычислительных экспериментов на программном комплексе. Обсуждаются перспективы применения такого комплекса в медицине.

Введение

Томография в целом, и особенно появившаяся в последние годы многосрезовая компьютерная томография (МСКТ), является методикой объемного исследования всего тела человека. Так, длительность МСКТ всего тела с толщиной среза менее 1 мм составляет около 10-15 секунд, а результатом исследования являются от нескольких сотен до нескольких тысяч изображений (<http://www.presidentmed.ru/>).

В 2007 году компанией Toshiba впервые представлены 320-срезовые компьютерные томографы. Они позволяют не только получать изображения, но и дают возможность наблюдать почти что «в реальном» времени физиологические процессы, происходящие в головном мозге и в сердце [1]. Поэтому томография широко применяется сегодня: как скрининговый тест; для диагностики по экстренным показаниям; как средство плановой диагностики; для контроля результатов лечения; для проведения лечебных и диагностических манипуляций, например пункция под контролем компьютерной томографии и т.д. Полученные аксиальные томограммы составляют трехмерный массив данных, позволяющий выполнить любые реконструкции изображений, в том числе многоплоскостные реформации, объемную (и, при необходимости, стерео) визуализацию, виртуальные эндоскопии, делая эту методику наглядной как для врача-диагноста, так для врача-клинициста. Трехмерная реконструкция томограмм может быть также эффективным инструментом обучения в медицинском образовании. Нельзя переоценить возможности совместного использования нескольких томограмм разного типа: рентгеновской компьютерной (КТ), магниторезонансной (МРТ), позитрон-эмиссионной (ПЭТ) и так далее – в диагностике и сопровождении лечения онкологических заболеваний в ядерной медицине.

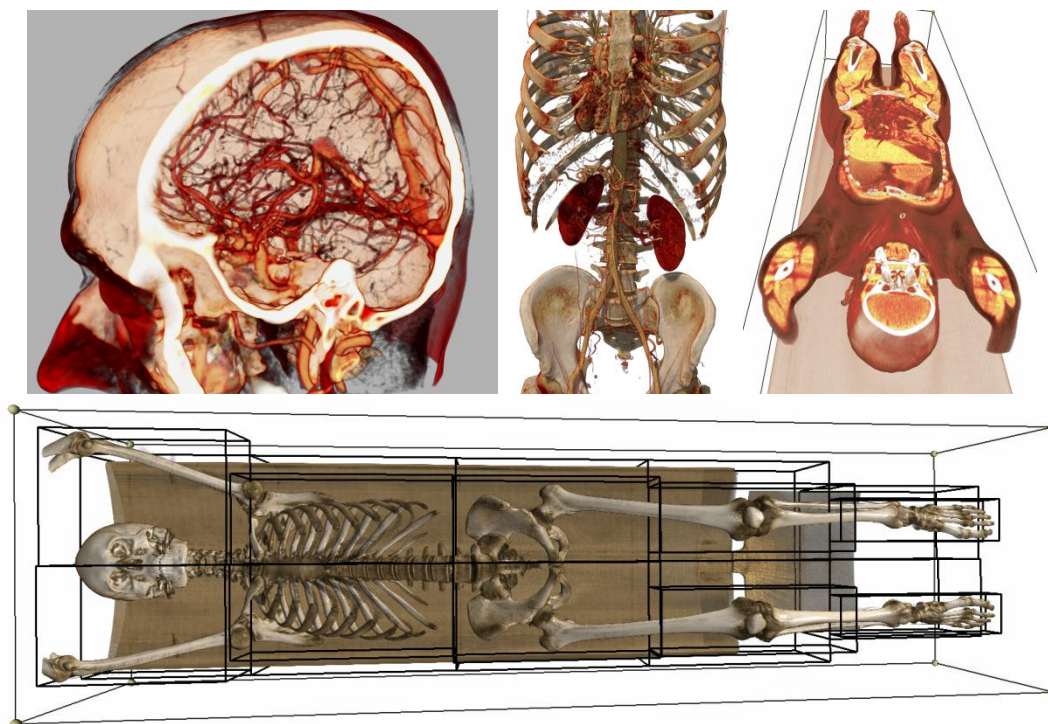


Рис. 1. Примеры трёхмерной реконструкции томограмм через «3D-визуализатор томограмм»

1. Объёмная визуализация в медицине

В направлении мировых тенденций по 3D-реконструкции томограмм в реальном времени и использованию 3D-модели пациента, как основы его медицинской карты, с 2009 года активно работает и Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского [5]. Наибольших успехов в этом направлении достиг проект «3D-визуализатор томограмм», разрабатываемый в составе госконтракта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». Проект направлен на достижение наивысших производительности и качества 3D-реконструкции результатов томографии внутренних органов человека и, на этой основе, на сведение воедино результатов томограмм всех типов в одной трехмерной модели с целью увеличения точности диагностики и качества лечения. Основным конкурентом в этой области является компания Fovia (<http://fovia.com>), мировой лидер в производительности и качестве 3D-реконструкции томограмм.

В результате создан программный комплекс со следующими, интересными для врачей-диагностов и клиницистов, свойствами и характеристиками:

- Реализован алгоритм визуализации, который позволяет добиться реального времени для слияния 3D-визуализации нескольких томограмм, заданных в разных системах координат.
- Реализованы одно- и двухпараметрические функции трансформации, несколько стереорежимов.
- Возможно как одновременное отображение нескольких томограмм разного типа в одном объеме, так и одной томограммы в разных техниках визуализации (более 10 техник, среди них: «рентген», MIP, MinIP, MIDA, DVR и т.д.).
- Поддерживается входной формат DICOM, бинарный формат RAW для 2D-3D-массивов данных.
- Есть возможность отсечения визуализируемой области данных трехмерной сеткой, управляемой пользователем.

Реализован целый ряд приемов улучшения качества визуализации: 1) трикубическая фильтрация данных; 2) накопление кадра во времени; 3) реструктуризация и обработка данных средствами видеокарты; 4) метод адаптивного шага луча [6]; 5) прединтегрированный объёмный рендеринг; 6) метод разбиения шага луча [6, 7].

Преодолено ограничение для GPU на максимальный объем томограммы в 512^3 вокселей. Использование блочного представления данных позволяет обойти это ограничение, а использование блоков разных размеров и покрытие только видимой части данных обеспечивает дополнительный прирост производительности и экономию памяти GPU.



Рис. 2. Тестовые данные: A) hand 244x124x257 (КТ-данные); B) Beetle 832x832x494; C) melanix 512x512x1203 (КТ-данные); D) x-mas 512x512x999 (КТ-ёлки); E) vessels 512³ (MPT сосудов головного мозга)

2. Вычислительные эксперименты

Ниже представлены результаты экспериментов по замеру производительности рендеринга при выборе различных размеров блоков, на которые мы делим массив данных. Мы используем кубические блоки размерами 32, 48, 64, 96, 128 и 256. Для выбранных тестовых массивов данных и видеокарты GeForce GTS 250 оптимальными размерами оказались 64 и 128. Использовано 5 тестовых массивов данных, которые общедоступны в сети Интернет, и три различные техники визуализации: объёмный рендеринг без затенения; объёмный рендеринг с затенением по локальной модели освещения Фонга; объёмный рендеринг без затенения с трикубической выборкой. В данных экспериментах мы перекрываем наши блоки на толщину в два вокселя. Размеры окна вывода: 800x600 пикселей. Шаг луча в алгоритме Ray Casting: 0,34 от длины диагонали вокселя.

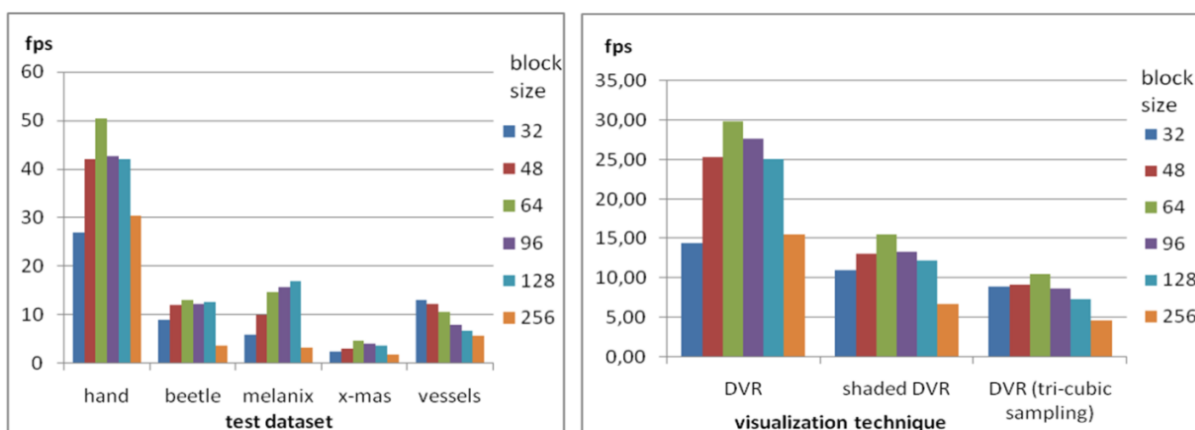


Рис. 3. Производительность рендеринга при различных разбиениях данных

С ростом производительности GPU меняются подходы к оптимизации алгоритмов визуализации. Поэтому нами был исследован и реализован популярный прединтегрированный рендеринг и предложен самостоятельно разработанный метод разбиения ша-

га для постклассификационной модели визуализации. Наш метод показал себя столь же эффективным в устранении артефактов, как и прединтегрированный рендеринг. Применяя основные подходы к оптимизации рендеринга блочных данных, сегодня можно добиться интерактивной и высококачественной объёмной визуализации томограмм размером порядка 2 Гб. Результаты экспериментов показали высокую производительность рендеринга таких данных для видеокарты GeForce GTX 580 3Gb и его готовность к использованию для виртуального анатомического стола [6,7].

Благодаря стратегиям устранения артефактов рендеринга качество интерактивной визуализации стало эквивалентным качеству CPU-реализации от компании Fovia. Итоговые вычислительные эксперименты показали, что производительность созданного программного обеспечения и качество 3D-визуализации томограмм находятся на уровне и выше лучших мировых образцов и достаточны для эксплуатации 3D-визуализатора на рабочем месте врача-клинициста, обеспеченном вычислительной техникой среднего класса. На базе данного ПО могут быть созданы такие образовательные системы и сервисы в области медицины и биологии, как «виртуальный анатомический стол» фирмы Anatomage (www.anatimage.com).

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт № 02.740.11.0839 и гранта Президента РФ № НШ-1960.2012.9

Литература

1. Johns Hopkins Medicine (Hospital) news – [http://www.hopkinsmedicine.org/Press_releases/2007/11_26_07.html].
2. Charette R.N. Visualizing Electronic Health Records With "Google-Earth for the Body" (IBM researchers develop 3-D visualization tool for electronic health records) Jan.2008 (<http://spectrum.ieee.org/biomedical/diagnostics/visualizing-electronic-health-records-with-googleearth-for-the-body>).
3. IBM Research, Smarter Planet. Thy-Mors hospital uses three-dimensional models of human anatomy to help speed diagnoses and treatments. Published on 10-Dec-2009 / Validated on 26 Sep 2011 (http://www-01.ibm.com/software/success/cssdb.nsf/CS/LMCM-7YKVEJ?OpenDocument&Site=default&cty=en_us).
4. Charette R.N. Using Avatars to Understand Adverse Drug Reactions / March 06, 2012 (<http://spectrum.ieee.org/riskfactor/biomedical/diagnostics/using-avatars-to-understand-adverse-drug-reactions/>).
5. Сайт межфакультетской лаборатории компьютерной графики ННГУ им. Н.И. Лобачевского – [<http://graph-unn.ru>], видеоматериалы – [<http://www.youtube.com/user/ngavrilov86>].
6. Гаврилов Н.И., Турлапов В.Е. Подходы к оптимизации GPU-алгоритма volume raycasting для применения в составе виртуального анатомического стола // Научная визуализация. 2012. Кв.2. Т.4. №2. С.21-56.
7. Nikolay Gavrilov, Vadim Turlapov. Advanced GPU-based Ray Casting for Bricked Dataset // Proc. of SIGGRAPH'2012, 5-9 Aug 2012.