

# РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОПОВЕРХНОСТЕЙ СКАЛЯРНОГО ПОЛЯ НА БОЛЬШИХ СЕТКАХ

А.К. Кузин, С.Г. Орлов, Н.Н. Шабров

К числу ключевых проблем реализации приложений на высокопроизводительных вычислительных кластерах относятся вопросы анализа результатов моделирования, среди которых важное место отводится процессам построения изоповерхностей. Современный научный или экспериментальный анализ в физике, химии, биотехнологиях претерпевает экспоненциальный рост объемов генерации данных. Моделирование климата, CFD анализ, моделирование в материаловедении, биологии также порождает громадное количество данных, т.к. их масштаб экспоненциально растет при HPC вычислениях. Экспериментальные исследования, моделирование и вычисления повсеместно генерируют петабайты данных. Экзабайты данных в настоящий момент есть часть планового процесса моделирования для большинства научных проектов.

Рост масштабов и сложности моделирования и производимых при этом данных становится ключевым вопросом повестки дня исследователей в области анализа данных и визуализации. Это стимулирует разработку новых подходов анализа данных и визуализации больших объемов данных. Анализ и визуализация становится лимитирующим фактором в понимании экзаскейл данных. Для визуализации объемов данных уровня Petabyte и Exabyte требуются новые технологии визуализации. Требуются новые программные и аппаратные средства.

Важное место среди этих инструментов занимают системы виртуальной реальности типа CAVE (Computer Aided Virtual Environment) с эффектом полного погружения в виртуальный мир исследуемого объекта или физического процесса. В работе обсуждаются результаты построения изоповерхностей на сверхбольших сетках на вычислительных кластерах и визуализации результатов с помощью первой в российских вузах системы виртуальной реальности типа 3-sided CAVE 3D.

Целью работы является создание специализированного программного обеспечения для интерактивного построения и отображения изоповерхностей скалярного поля, заданного на большой нерегулярной сетке тетраэдров. Термин “большая сетка” означает, во-первых, невозможность загрузки такой сетки в оперативную память целиком, во-вторых, как правило, невозможность введения в ней единой нумерации узлов и элементов. Таким образом, сетка конструктивно состоит из доменов, каждый из которых есть нерегулярная сетка в привычном понимании (т.е. нумерованное множество узлов и элементов), плюс интерфейс с соседними доменами. В настоящее время работа ведется с сетками тетраэдров, содержащими до  $10^9$  узлов.

Доменная структура сетки подсказывает принцип для построения параллельного алгоритма создания изоповерхности. Параллельность достигается средствами MPI: построение изоповерхности на домене и ее редуцирование — задача для отдельного MPI процесса. Большое количество доменов в исходной сетке (порядка  $10^3$ ) и механизм динамического управления загрузкой процессов позволяют обеспечить высокий уровень сбалансированности вычислений.

За основу алгоритма редуцирования изоповерхности на домене взят алгоритм, разработанный ИММ РАН [1,2]. Его сильными сторонами являются, во-первых, способность работать с изоповерхностями сложной топологии (например, содержащими самопересечения), во-вторых, невосприимчивость к сжатию с потерями исходных данных. Последний пункт весьма актуален: исходная задача математической физики, как правило, решается в числах двойной точности, что избыточно для целей визуализации результатов. Использование чисел малой точности, во-первых, не влияет на качество получаемого изображения, а во-вторых, уменьшает размер исходных данных и, как следствие, уменьшает время чтения.

Важным развитием данного алгоритма является создание его параллельной версии, что позволяет использовать для построения изоповерхности на домене GPGPU, например, с технологией CUDA.

Для повышения уровня интерактивности представляется полезным постепенное уточнение результирующей изоповерхности с одновременным показом быстро построенного предварительного варианта. Таким образом, пользователь получает возможность почти сразу увидеть результат, который будет постепенно уточняться в процессе просмотра. Для этих целей представляет интерес использование принципов объемного рендеринга (volume rendering) с постепенным уменьшением размеров вокселей (voxel). Видимость того или иного вокселя определяется условием пересечения его искомой изоповерхностью. Такой подход привлекателен возможностью использования результатов текущего шага для построения изоповерхности следующего уровня детализации, т.к. это фактически сводится к делению существующих вокселей. Кроме того, такой подход, по-видимому, допускает высокую степень параллелизма, для чего представляется целесообразным использование GPGPU с технологией CUDA.

Интерактивная визуализация изоповерхностей скалярного поля на больших сетках осуществлялась средствами системы виртуального окружения типа CAVE 3D с тремя просветными экранами, оптической трекинг системой навигации и высокопроизводительным видеокластером на базе процессора Intel Quad Core Xeon.

Авторы доклада благодарят РФФИ за поддержку в части проведенных исследований в рамках гранта № 09-07-12020-офи-м. Авторы также благодарят компанию «Ниагара Компьютерс» за предоставленное компьютерное оборудование на платформе GPU для тестирования программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Krinov P.S., Iakobovski M.V., Muravyov S.V. Large Data Volume Visualization on Distributed Multiprocessor Systems. In: Parallel Computational Fluid Dynamics: Advanced numerical methods software and applications. Proc. of the Parallel CFD 2003 Conference. Moscow, Russia (May 13\_15, 2003). (Ed. By V.Chetverushkin et al.), Elsevier, Amsterdam. \_ 2004. p.433\_438.
2. Кринов П.С., Муравьев С.В., Якобовский М.В. Сжатие и визуализация триангулированных поверхностей // VI-я научная конференция МГТУ “Станкин” “Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ “Станкин” —ИММ РАН”. Программа, сборник докладов. — М.: Янус-К, ИЦ МГТУ “Станкин”. 2003, с. 32-42.