

Основные направления развития визуальных супервычислений

П.А.Васёв, Д.В.Манаков, А.Н.Шинкевич

На основе теоретических исследований визуальных супервычислений [1,2] в работе рассмотрена проблема перехода от специализированных систем визуализации к более широкому классу задач. Дана оценка влияния супервычислений на графический конвейер (фильтрация, как часть конвейера, возможные схемы распараллеливания). Упомянуты решения частного характера, ведущие к расширению функциональности и повышению эффективности. Перечислены Российские центры визуальных супервычислений. В заключение обозначена одна из новых постановок: “создание грид-сервисов для автоматизированной интеграции инженерных пакетов и интерактивных средств визуализации в грид.”

1. Введение

В настоящее время можно говорить о формировании новой предметной области – визуальных супервычислений [3], находящейся на этапе выработки терминологии и идеологии, создания модельных и прототипных систем. Данная область должна предоставить технологии, нацеленные на поддержку визуализации в супервычислениях. Хотелось бы рассмотреть основные тенденции, существующие в научном сообществе, обратив особое внимание на программные, а не аппаратные решения. Развитие многоядерных компьютеров, персональных кластеров, где видеоплата подключена к общей шине, могут сильно повлиять на существующие технологии программирования.

Практически в любой работе по этой теме говорится о возрастании роли визуализации в параллельных и распределенных вычислениях. Как причину, отмечают увеличение объема и усложнение структуры данных. Это скорее следствие развития техники. Главное, что параллельные вычисления нарушают последовательный цикл разработки программ. Не случайно в определении алгоритма выделяют входные и выходные данные, в параллельной реализации они нуждаются в постоянной декомпозиции, распределении, перераспределении и сборке. Можно приспособиться, адаптироваться к существующей ситуации, выделив параллельную часть (решателей) и последовательную (пред- и постобработку) или развить, создавая новые технологии (интерактивную on-line визуализацию, параллельную фильтрацию данных). В целом адаптация, на наш взгляд, это негативная тенденция, а развитие – позитивная, но и приспособившись можно найти интересные решения. В любом случае выбор должен оставаться за конечным пользователем с учетом особенностей решаемой задачи, то есть универсальная система визуализации параллельных вычислений должна содержать всю цепочку от off-line визуализации до полноценной интерактивности, включение и выключение параллельного рендеринга, применение фильтрации, многообразие видов отображения.

2. Унификация

Разделение систем визуализации на универсальные, унифицированные и специализированные [4] применимо и для супервычислений, но определяется не столько классом решаемых задач, а методами реализации по двум основным направлениям: способы организации программного интерфейса и применение графических библиотек.

1) Организация интерфейса.

- Вычислительные среды.

Это подход предлагает полностью новый способ написания параллельных программ. Программисту предлагается каркас, являющийся логичной и законченной моделью параллельных вычислений. В таком каркасе уже реализованы общие операции – считывание

исходных данных, предварительная обработка сеток, передача данных между узлами, запись сеток в различных форматах, визуализация.

Считается, что после освоения новой парадигмы и получения опыта в создании счетных модулей, взаимодействующих со средой по специальным интерфейсам, проблема написания вычислительных программ для программиста упростится [5].

- Сервисы промежуточного уровня.

В некотором смысле это облегченный вариант «вычислительной среды», и вместо полной модели вычислений программисту предлагается набор сервисов, упрощающих взаимодействие между модулями программы и работу с данными – чтение, запись, передачу. Например, программа считывает участок сетки не напрямую из файла, а делает запрос к сервису промежуточного уровня, который реализует считывание данных в определенном формате и организует передачу. В данный сервис включается также и система визуализации, либо интерфейсы для связывания со сторонними разработками.

Помимо выполнения рутинных операций по чтению-записи сеток, другая основная цель сервисов промежуточного уровня – заменить обычный режим взаимодействия различных компонент системы через промежуточные файлы, на сетевые обмены. Такова, например, основная идея системы Hercules.

- Интеграция с параллельными программами.

Идея заключается в том, чтобы внедрить в исходный код параллельной программы несколько специальных вызовов функций, которые позволят системе визуализации считывать из оперативной памяти текущие данные программы во время ее выполнения. Эти функции, по сути, служат для передачи подсистеме визуализации информации о структуре и расположении данных в памяти. Таким образом, при счете подсистема визуализации может получить внешний запрос (инициированный пользователем), прочитать данные и отреагировать на него соответствующим образом. Другой вариант применения, когда система производит фильтрацию и сохранение упрощенных данных для последующей визуализации истории счета.

Подход, основанный на интеграции, очень развит. Например, он реализуется в vV3 [6] (параллельной версии стандартного модуля визуализации для систем ANSYS CFD). Нами был реализован аналогичный подход, основанный на публикации данных [7].

2) Применение графических библиотек.

- Перенос, адаптация стандартных графических библиотек на параллельную технику (VTK, ParaView) и создание новых.

Для универсальной системы необходим декодирующий конвейер и, следовательно, не требуется редактирование клиентской части, текст параллельной части, касающийся вызова графических функций, практически идентичен последовательному варианту.

- Независимость от графических библиотек.

Для унификации достаточно вставки функционально-фиксированной последовательности обращения к вычислителю с целью извлечения данных и использования их как параметров графических процедур. Не важно, какая графическая библиотека используется на клиенте (может быть набор стандартных видов отображения), важно предоставление сервисов (чтение данных, фильтрация, взаимодействие).

- Жесткая привязка к библиотеке.

Унификация: создание сервисов промежуточного уровня и обеспечение независимости от графических библиотек – наиболее гибкий подход.

Российское научное сообщество пошло по пути создания специализированных систем с возможностью унификации. Причина этого в том, что визуальные супервычисления еще не выделились в самостоятельную дисциплину, и визуализация рассматривается как вспомогательный инструмент решения важных задач. Не уделяется достаточного внимания проблеме эффективности, не только решаемой задачи, но и разработки самой системы визуального параллельного программирования. Необходимо использовать передовые технологии, как для ускорения разработки создаваемой системы, так и для повышения качества сервисов, предоставляемых пользователю. Возможно применение технологии агентов, предпроцессорной обработки на этапе компиляции, автономных вычислений.

3. Графический конвейер

Супервычисления оказывают значительное влияние на визуализацию. Так, фильтрацию данных стали включать в стандартный графический конвейер: геометрическая обработка и растеризация. Любая из этих трех частей может быть реализована как параллельно, так и последовательно. Следовательно, возможны четыре основных варианта:

1) Все последовательно – соответствует off-line визуализации или постобработке. Стоит отметить вариант off-line визуализации с распараллеливанием, позволяющий применять в дальнейшем те же схемы, но абстрагировавшись от счетного алгоритма, и иметь дело только с его выходными данными. Этот подход требует дополнительного цикла ввода-вывода, в ряде случаев время счета сопоставимо с временем вывода;

2) Все параллельно – полностью параллельный рендеринг. Результирующее изображение (растр) строится удаленно от станции визуализации. Этот подход удобен в следующих случаях: отфильтрованные данные велики для передачи по сети, выбранный вид отображения (алгоритм построения раstra по данным) требует емких вычислений. Среди недостатков: программный рендеринг (без использования аппаратных ускорителей), отсутствие интерактивности (нет возможности непосредственно взаимодействовать с графическими объектами). Чтобы сгладить последний, наиболее существенный недостаток применяют организацию данных со многими разрешениями или мультиразрешение (используется для уровня детализации) и организацию данных, зависящих от точки зрения (например, для вращения объекта);

3) Параллельная фильтрация [7, 8]. Наиболее эффективный подход. Позволяет использовать аппаратные возможности видеокарт. Цель фильтрации – сокращение объема данных. При такой постановке фильтрацию рассматривают, как результат работы параллельного фильтра. Возможность применения интерактивности дает новое качество и позволяет нам определить фильтрацию в рамках теории информации, как интерактивный процесс, целью которого является получение необходимой (интересующей) информации за минимальное время.

Для параллельной фильтрации данных, как приближенного алгоритма, нужна сходимость, которая достигается постановкой задач минимакса. Например, получение максимально возможной информации с минимумом затрат (времени вычисления, взаимодействия, интерпретации ...). Следовательно, операции, которые являются фильтрами, над данными надо выполнять параллельно, минимизировать количество передаваемых данных, применять когнитивную визуализацию.

Фильтрация, как интерактивный процесс, нацелена на получение необходимого результата с помощью визуального анализа за минимальное время, в первую очередь за счет минимизации передаваемой информации. Следовательно, эта технология востребована для двух классов задач: при визуализации данных большого объема и в задачах, требующих активного взаимодействия пользователя и системы в процессе визуального анализа. Для первого класса можно рассмотреть следующую задачу минимакса: применение множественного вида отображения, с одной стороны, обеспечивающего целостное восприятие, но не точно, с другой – детально (более точно), но не всей информации (применение уровня детализации).

Фильтрация – наиболее эффективный подход, использующий как интерактивность, так и генерацию проблемно-ориентированного метафайла, и параллельное применение алгоритмов фильтрации данных.

Можно выделить большое количество фильтров: децимация, многомерные проекции, сечение плоскостью, а также фильтры, ориентированные на конкретную задачу и модель визуализации. Поэтому можно определить две основные задачи: общее описание применения фильтров или технология фильтрации, а также разработка фильтров для конкретных задач

4) Фильтрация и геометрическая обработка выполняются параллельно. Позволяет параллельно произвести триангуляцию и удалить невидимые примитивы. Этот подход сопоставим по эффективности с предыдущим, хотя в частных случаях можно добиться значительного ускорения. Для невыпуклого тела невидимая часть поверхности может составлять больше 50%, но при вращении объекта необходима подкачка недостающих примитивов. Алгоритм триангуляции достаточно сложный, то есть его имеет смысл распараллелить. Количество вершин имеет меньший размер, чем список треугольников. Для

структурированных данных целесообразней пересчитать координаты на рабочей станции, чем их передать целиком (для прямоугольной сетки вместо трехмерного массива достаточно передать одну вершину и шаг). В связи с этим в интерактивном режиме возникает задача не только минимизации данных, но и балансировки вычислений на сервере и клиенте.

Существуют попытки выделить в самостоятельные подходы естественные места разрыва графического конвейера, связанные с преобразованием координат. Можно рассмотреть и другие, более детальные схемы, так, в программируемом пиксельном конвейере выделяют вычисление освещенности и наложение текстур, но оправдано ли их выделение в отдельные схемы распараллеливания конвейера визуализации?

Вышеприведенная классификация аналогична разделению подходов по тому, какие данные передаются клиенту [1]:

- проблемно-ориентированный подход (отфильтрованные математические данные) – соответствует параллельной фильтрации данных;
- аппаратно-независимый (графические примитивы) – фильтрация и геометрическая обработка выполняются параллельно;
- аппаратно-зависимый (коды устройства, видеокарты). В настоящее время применяется, только для передачи растра - полностью параллельный рендеринг.

Также стоит отметить применение модели клиент-сервер и популярность протокола SOAP.

4. Решения частного характера

– Методологическое единство визуализации для параллельных и распределенных вычислений, в последнем случае желательно соответствие стандартам Грид-систем: OGSA (Open Grid Services Architecture) или WSRF (совместимость с Globus).

– Большое значение имеет визуализация сеток, в том числе и в составе инженерных пакетов.

– Применение аппаратных ускорителей для реализации целого ряда графических алгоритмов.

– Технологии виртуальной реальности дают новое качество в восприятии информации за счёт большей реалистичности.

– Сжатие и децимация данных ввода-вывода.

– Применение иерархического связного графа, k-дерева для реструктуризации данных обеспечивает быстрый доступ к нужной информации, балансировку загрузки.

– Автоматическое выделение особенностей, например, области сгущения сетки.

– Организация совместной работы (разделение по дисплеям, по данным).

– Предвидение. Во время визуального анализа вычислительные процессоры простаивают, если предугадать какие данные понадобятся пользователю на следующем шаге, то эти процессоры можно загрузить счетом.

5. Центры визуальных супервычислений

В этом разделе перечислены организации, в которых ведутся разработки систем онлайн-визуализации, либо интерактивных систем с применением высокопроизводительных ресурсов.

ИММ РАН. Система управление пакетом, тетраэдральная сетка, декомпозиция графов, фильтр – изоповерхность, сжатие редукцией (децимация треугольников), пересчет части данных на клиенте (вместо передачи), Tecplot [10].

ИФТИ. Распределенная система визуализации ИВС, усиленная реальность, замена транспортировки растра на транспортировку вектора состояния объекта, организация совместной работы, иерархическая система описаний фрагментов поверхности, редукция и реконструкция состояния, протокол транспортировки состояния - «Аванго» [11].

ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Параллельный рендеринг (построение фотореалистичных изображений) [12]. Постобработка (Редактор Архива), фильтр – сечение плоскостью [13]. Базовая графическая библиотека MVC-100 – точка отсчета.

GDT Software Group. On-line визуализация, параллельный рендеринг, о преимуществе визуализации с предварительной обработкой (фильтрацией) данных на счётных узлах [14].

ИПМ УрО РАН. Open CASCADE (CORBA), граф подсеток, перемещение сеточного объекта с созданием некоторых (или всех) его свойств заново, параллельное построение сетки (сокращение ввода), фильтры: поверхность подобласти, структура подсетки [15, 16].

ННГАСУ: Алгоритмы удаления невидимых линий, библиотека подключаемых модулей, передаются графические примитивы [17].

СПбГПУ, ТвГТУ. Вычислительная кластерная система с распараллеливанием расчетов, LEONARDO – постобработка, разработка CSV (Cluster Simulation Visualization) – параллельный рендеринг, протокол SOAP [18].

РФЯЦ-ВНИИЭФ: Параллельный рендеринг. Визуализаторы ZOOM, EFR-VIEWER, 3D-РНД [19].

ИАПУ ДВО РАН. Параллельный воксельный рендеринг [20].

6. Заключение

О возрастании роли визуализации свидетельствуют и новые постановки задач, в которых стоит отметить усиление значения когнитивной функции визуализации, особенно при работе с данными большого объема, и появление функции интеграции, например, слияние грид-технологий и инженерных пакетов через визуальные супервычисления.

Обозначим одну из постановок: “создание грид-сервисов для автоматизированной интеграции инженерных пакетов и интерактивных средств визуализации в грид.”

Объектом исследования являются аппаратные и программные возможности распределенных сред для поддержки визуализации сеток.

Цель работы — предоставление интерактивных визуальных технологий, обеспечивающих визуализацию расчетных сеток, применяемых в инженерных пакетах, в том числе создание грид-сервисов для on-line визуализации и распределенной фильтрации данных большого объема.

Можно выделить два основных этапа.

1) Off-line визуализация распределенных данных большого объема (параллельная фильтрация данных на этапе постобработки). Цель: анализ возможностей технологических средств грид, выбор оптимальных технологий. В частности, предполагается: визуализация трехмерных сеток различного формата и распределения, разработка технологии параллельной (распределенной) фильтрации данных, включающей параллельный, транспортный и визуальный модули (реализация параллельных фильтров, транспортной подсистемы на основе стандартов SOAP и GridBeans, множественного вида отображения, применение аппаратных возможностей).

2) On-line визуализация примера задачи в инженерных пакетах.

Литература

1. Д. В. Манаков Анализ параллельных визуальных технологий // Вычислительные технологии Том 12, N1, 2007, С 45-59.
2. Авербух В.Л., Байдалин А.Ю., Васёв П.А., Горбашевский Д.Ю., Исмагилов Д.Р., Казанцев А.Ю., Манаков Д.В., Шинкевич А.Н. Проблемы разработки средств визуализации для супервычислений // Труды международной научной конференции ПаВТ'2007, Челябинск, 29 января - 2 февраля, 2007, Т. 2, С. 201-209.
3. K. Brodli, J. Brooke, M. Chen, D. Chisnall, A. Fewings, C. Hughes, N. W. John, M. W. Jones, M. Riding and N. Roard, Visual Supercomputing - Technologies, Applications and Challenges, Eurographics 2004, STAR Reports, P. 37-68.
4. Averbukh V.L. The Specialized Systems of Scientific Visualization // AIP Conference Proceedings (ZABABAKHIN SCIENTIFIC TALKS - 2005: International Conference on High Energy Density Physics). August 3, 2006. Volume 849, P. 481-486

5. Tiankai Tu, Hongfeng Yu, Leonardo Ramirez-Guzman, Jacobo Bielak, Omar Ghattas, Kwan-Liu Ma, David R. O'Hallaron, From mesh generation to scientific visualization: an end-to-end approach to parallel supercomputing, // Proceedings of the 2006 ACM/IEEE
6. Robert Haimes, Kirk E. Jordan, A Tractable Approach to Understanding the Results from Large-Scale 3D Transient Simulations, AIAA Paper No. 2001-0918, Reno, NV, Jan. 2001.
7. Васев П.А. Обеспечение обмена данными между параллельной программой и системой визуализации // Супервычисления и математическое моделирование: Тезисы международного семинара. Саров, 2006 ВНИИЭФ-РФЯЦ С. 31.
8. Manakov D., Mukhachev A., Shinkevich A. Visualization of the Distributed Data of Huge Volume. Assembly, Filtration, Sorting. // Proceedings of the 13-th International Conference on Computer Graphics and Vision Graphicon-2003 Moscow, September 5-10, 2003. P. 198-201.
9. Горбашевский Д.Ю., Казанцев А.Ю., Манаков Д.В. Параллельная фильтрация в системе визуализации параллельных вычислений // ГрафиКон'2006, 1-5 июля 2006. Россия. Новосибирск, Академгородок. Труды Конференции. Новосибирск Институт Вычислительной математике и математической геофизике. 2006. С. 333-336.
10. Яковлевский М. В. “Вычислительная среда для моделирования задач механики сплошной среды на высокопроизводительных системах “ Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, Москва, 2006.
11. Алешин А., Афанасьев В., Долговесов Б. и др. Система визуализации индуцированного виртуального окружения для задач исследования космоса: состояние проекта // Труды 14-й Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению Графикон-2004 (Москва, 6-9 сентября 2004). Москва, МГУ, 2004. С. 12-15.
12. Ю.М. Баяковский, В.А. Галактионов. О некоторых фундаментальных проблемах компьютерной (машинной) графики. // Информационные технологии и вычислительные системы', №4, 2004, С. 3-24.
13. Головков С. Л., Воронков А. В. Интерактивный доступ к данным численного эксперимента // Научный сервис в сети Интернет - 2007 Новороссийск, 24-29 сентября, 2007. С. 37-40.
14. Карпов А. Н. Визуализация данных на параллельных вычислительных комплексах // Труды 15-й международной конференции по компьютерной графике и зрению – Графикон-2005, Новосибирск, 20-24 июня, 2005, С. 211-214.
15. Копысов С.П., Пономарев А.Б., Рычков В.Н. Программная среда построения неструктурированных сеток и расчетных моделей для параллельных распределенных вычислений // Труды международной научной конференции ПаВТ'2007, Челябинск, 29 января - 2 февраля, 2007, Т. 2, С.52-64.
16. Копысов С.П., Новиков А.К., Пономарев А.Б. О параллельном построении неструктурированных сеток // Труды международной научной конференции ПаВТ'2007, Челябинск, 29 января - 2 февраля, 2007, Т. 2, С.65-76.
17. С.И. Ротков, П.Ю. Лазарев Архитектура библиотеки параллельных геометрических вычислений с расширяемой функциональностью // Труды 16-й международной конференции по компьютерной графике и зрению – Графикон-2006, Новосибирск, 2006, С. 411-415.
18. М. Е. Балашов, В. Д. Горячев, Д. С. Рыков, Е. М. Смирнов Обработка и визуализация результатов моделирования в вычислительной системе с распараллеливанием // Научный сервис в сети Интернет - 2007 Новороссийск, 24-29 сентября, 2007. С. 40-44.
19. Потехин А. Л., Будников В.И. Интерактивная система визуализации в программе трехмерного расчета начальных данных 3D-РНД. // РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров.
20. Бобков В.А. и др. Анализ эффективности параллельной обработки в алгоритме визуализации с трассировкой лучей // Информационные технологии, №6. 2002. С.50-53..