

ПАКЕТ ПРОГРАММ ЛОГОС. МЕТОДЫ ГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

*А. Л. Потехин, В. А. Никитин, И. В. Логинов, М. Г. Кузнецов,
А. И. Лопаткин, В. В. Жирнов, П. В. Черенков, А. В. Ломтев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Развитие наукоемких отраслей промышленности: авиации, автомобилестроения, нефте- и газодобычи, атомной энергетики – сегодня немислимо без проведения компьютерного моделирования. С целью решения этой важной для страны задачи проводятся ОКР по теме «Разработка технологий проектирования и имитационного моделирования для суперЭВМ на основе базового программного обеспечения».

В рамках данного проекта необходимо создать замкнутый цикл «Препроцессор => Моделирующий код => Средства анализа и визуализации» для всех типов моделируемых задач. С точки зрения пользователя, конечная цель – создание единой оболочки пакета программ ЛОГОС, обеспечивающего построение сеток и расчет начальных значений величин на них, задание всех необходимых параметров моделирования, запуск и мониторинг проведения расчета, анализ полученных результатов. С целью обеспечения проекта средствами графического анализа в ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ развивается параллельная система постобработки ScientificView [1], сегодня как отдельное приложение, а в ближайшей перспективе как основной модуль постобработки в составе пакета программ ЛОГОС.

Развитие ScientificView ведется по ряду основных направлений:

- **Поддержка файловых форматов.** Современные пакеты инженерного анализа практически на всех этапах моделирования способны использовать различные файловые форматы, в т. ч. форматы сторонних программных продуктов. Это позволяет, во-первых, использовать для разных типов физических процессов наиболее подходящее представление данных; во-вторых, провести подготовку данных по одному продукту, моделирование по второму и анализ данных в третьем. Это означает, что системы визуализации, работающие на завершающем этапе, должны поддерживать необходимый набор файловых форматов.

- **Развитие функционала по обработке данных.** В данном направлении создаются методы графического контроля, в частности, алгоритмы фильтрации данных. Проводится развитие средств числового анализа – построение графиков, расчет производных сеточных величин, поиск интегральных и экстремальных характеристик.

- **Развитие интерфейса пользователя.** С целью уменьшения трудозатрат пользователя при про-

ведении анализа необходимо создать эргономичный интерфейс программы, с гибкими настройками, возможностью управления поведением системы в динамике и высокой степенью интерактивности.

- **Обработка данных в параллельном режиме.** Моделирование поведения таких сложных систем, как авиационный двигатель или автомобиль требует существенных аппаратных ресурсов и часто возможно только на суперкомпьютерах в параллельном режиме. Быстрая полноценная постобработка такого моделирования, ввиду большого объема обрабатываемых данных, также возможна только в параллельном режиме. Это означает, что существенная часть алгоритмов систем визуализации должна быть распараллелена.

Причины развития

Анализ различных систем визуализации (ParaView, LS-PrePost, Star-CD и т. д.) показал, что, ввиду специфики параллельных ЭВМ и методик математического отделения РФЯЦ-ВНИИЭФ, имеющиеся аналоги по отдельности не могут удовлетворить всех потребностей пользователей отделения. Необходима система, которая содержит совокупный функционал представленных программ и возможность реализации новых алгоритмов.

По этим и другим причинам была начата разработка собственной графической системы постобработки ScientificView, которая позволяет быстро и с наименьшими затратами внедрять специфические, сложные алгоритмы, предназначенные для графической и числовой обработки данных.

Поддержка особенностей представления данных в файловых форматах

Наиболее широко при решении задач инженерного анализа применяются два типа топологии нерегулярных сеток:

- конечно-элементная, часто используемая, например, при моделировании прочности и НДС (формат d3plot от LS-DYNA). В таком случае сетки состоят из конечного числа типов элементов (как правило, их не более 20);

- конечно-объемная, используемая, в частности, в задачах аэродинамики и тепломассопереноса (например, форматы Ensignt от Ensignt Gold и ngeom от StarCD). Сетки с такой топологией могут состоять из произвольных многогранников.

ScientificView поддерживает оба типа топологии в форматах ЕФР1/2/3, развиваемых в ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ для высокопараллельного доступа к сеточным данным, а также в форматах сторонних программ: в форматах семейства VTK, d3plot, ngeom/usg, cgns. При обработке данных учитывается дополнительное распределение ячеек по подгруппам (в зависимости от формата это могут быть «части», «детали» и «граничные условия»), имеется возможность быстрого редактирования списка отображаемых подгрупп (рис. 1) и учет видимых подгрупп при проведении дальнейшей фильтрации.

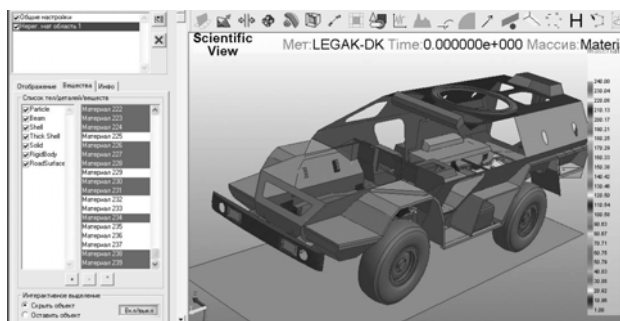


Рис. 1. Управление списком отображаемых подгрупп

Как правило, при постобработке важен как анализ модели на конкретный момент времени, так и анализ ее изменения в динамике. Для всех поддерживаемых типов форматов ScientificView позволяет осуществлять быстрый переход к данным на вы-

бранный момент времени. Если к результатам моделирования на один момент времени были применены алгоритмы обработки, они автоматически применяются к результатам моделирования на другой момент времени.

Методы графической обработки данных

Основная идея графической обработки данных в ScientificView, как и во многих других системах визуализации, – это применение различных алгоритмов, видоизменяющих и фильтрующих исходные данные и отображающих их в виде изображений. Сегодня в ScientificView реализовано 23 алгоритма, которые можно применять независимо или комбинировать между собой, применяя один алгоритм к результатам работы другого.

В системе реализованы стандартные для пост-процессоров алгоритмы обработки: построение сечений, изоповерхностей и векторных полей. Также достаточно часто и практически для всех типов обрабатываемых физических процессов используются алгоритмы, проводящие скрытие части ячеек по некоторому пространственному критерию:

- скрытие полупространства, заданного сферой, плоскостью, цилиндром и т. д. (рис. 2, вверху слева);
- скрытие тех ячеек, значение величины в которых не попало в заданный пользователем интервал (рис. 2, вверху справа);
- скрытие части модели, попавшей/не попавшей в заданный пользователем интерактивный контур (рис. 2, внизу).

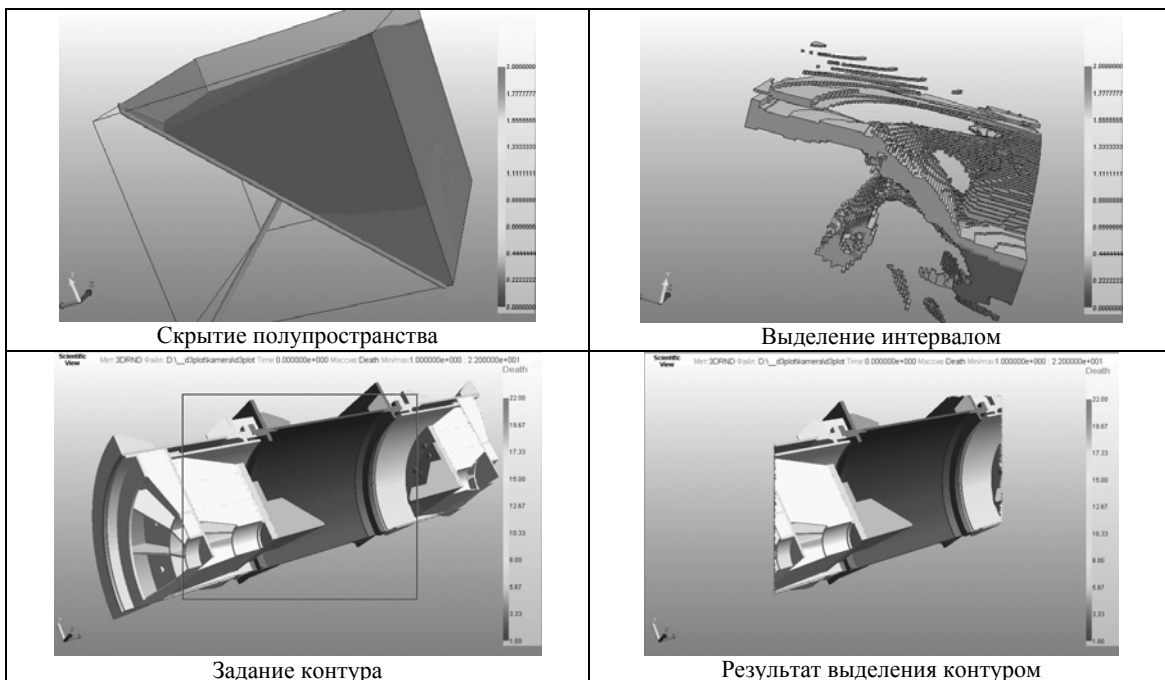


Рис. 2. Скрытие части модели по различным критериям

В ScientificView также реализовано несколько алгоритмов для построения графиков. Один из них строит график изменения выбранных пользователем величин вдоль заданного отрезка. Второй проводит построение графиков изменения величин в выбранных ячейках или узлах сетки от времени. Третий строит график изменения величины вдоль пространственной кривой, полученной на предыдущих этапах графической обработки. Для всех трех алгоритмов полученные данные можно выводить непосредственно в контексте отображения вместе с отображаемой моделью (рис. 3) либо в отдельном окне, либо сохранить в файл и обработать во внешних программах, например в MS Excel.

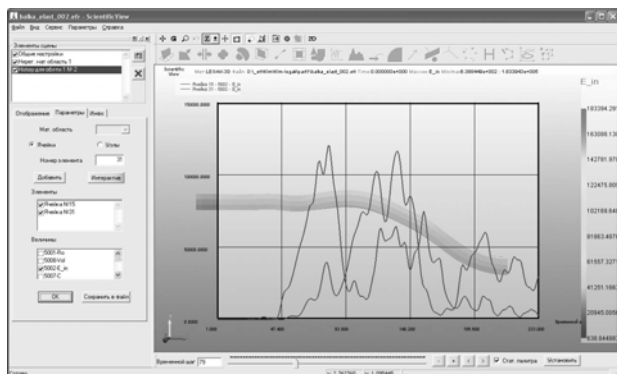


Рис. 3. Отображение графиков вместе с исходной моделью

Реализовано также несколько алгоритмов для отображения дополнительных объектов – координатных шкал вокруг объекта, простейших геометрических фигур. Имеется возможность «клонировать» отображаемые объекты с отражением, переносом, поворотом и растяжением вдоль осей.

Для большинства алгоритмов задание параметров возможно как через соответствующие пользовательские диалоги, так и интерактивно, путем манипуляций со специальными объектами, отображаемыми в контексте отображения.

Числовой анализ данных

Часто только графических средств анализа данных недостаточно, в таких случаях возможно применение алгоритмов, выдающих результат работы в числовом виде. В ScientificView к таким возможностям относятся:

- выдача числовых значений величин по выбранным пользователям ячейкам и/или узлам сетки;
- интерполяция данных, заданных в центрах ячеек, на узлы сетки;
- формирование новых массивов, распределенных на сетке, по predetermined формулам и через «калькулятор», в котором можно использовать значения массивов в сочетании с простейшими арифметическими операциями. Полученные в результате калькуляции и интерполяции данные можно

использовать для отображения и дальнейшей фильтрации;

- поиск сумм, средних значений, минимумов и максимумов массивов, заданных на всей сетке либо на ее выделенной части;
- вычисление расстояний, углов и других характеристик между выбранными ячейками или узлами сеток.

Обработка данных большого объема

Система постобработки ScientificView работает в трех режимах:

- скалярный – приложение запускается под Windows и способно обрабатывать данные, находящиеся на ПЭВМ пользователя;
- клиент-сервер – серверная сторона запускается на суперЭВМ и в параллельном режиме проводит чтение и обработку данных, находящихся в файловой системе данной суперЭВМ; клиентская сторона работает на ПЭВМ пользователя, обеспечивает отображение полученных данных и работу пользовательского интерфейса;
- параллельный рендеринг – в дополнение к процедурам чтения и обработки данных в параллельном режиме работают процедуры формирования изображения.

За счет распараллеливания алгоритмов последние два режима позволяют увеличить объем обрабатываемых данных и ускорить их обработку. Как правило, серверная часть ScientificView запускается на той же суперЭВМ, что и моделирующий код, что позволяет избавиться от необходимости промежуточного копирования данных. На практике большинство задач большого объема обрабатывается в ScientificView в параллельном режиме. Ниже приведены графики изменения времени загрузки и применения одного из алгоритмов фильтрации для данных, состоящих из 32 млн нерегулярных ячеек, в режиме клиент-сервер (рис. 4).

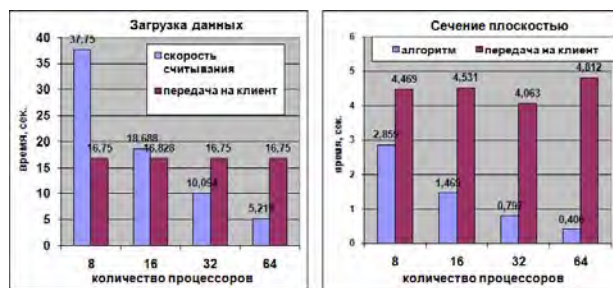


Рис. 4. Изменение времени работы алгоритмов в зависимости от числа используемых процессоров

Видно, что скорость работы алгоритмов почти линейно возрастает с увеличением числа процессоров, однако суммарное время выдачи результата включает время приема передачи данных с сервера на клиент, которое практически не зависит от числа процессоров. В режиме удаленного рендеринга форми-

рование изображения происходит на сервере и передача исходных данных на клиент не проводится [2], поэтому суммарное время выдачи результата на данном тесте практически линейно уменьшается при увеличении числа используемых процессоров.

Сравнение с аналогами

Как правило, при создании новых продуктов разработчики анализируют и сравнивают полученные результаты с уже имеющимися аналогами. В данном случае в качестве аналога для сравнения был взят широко известный параллельный визуализатор ParaView. Сравнение характеристик показало, что при обработке одних и тех же задач ScientificView требует до 10 раз меньше оперативной памяти, что позволяет проводить обработку на меньшем числе процессоров.

Научная новизна и практическая ценность

Научная новизна работы состоит в том, что:

- предложен и реализован оригинальный подход к созданию алгоритмов обработки, позволяющий за счет использования универсальных структур хранения проводить в единой манере реализацию алгоритмов для данных различного характера – двух- и трехмерных, сеточных и бессеточных;

- разработаны алгоритмы построения сечений и изоповерхностей, позволяющие единым образом проводить обработку данных, заданных на регулярных и нерегулярных сетках, без дробления ячеек, составляющих эти сетки;

- предложена и реализована в рамках ScientificView схема распределения вычислительной нагрузки, позволяющая использовать неоднородную аппаратную среду для параллельной части системы – не со всеми узлами многопроцессорной ЭВМ обяза-

тельно прямое соединение ПЭВМ пользователя, нет необходимости в видеокартах на параллельной ЭВМ. Такое решение значительно снижает стоимость оборудования, необходимого для работы системы ScientificView.

Практическая ценность работы состоит в том, что внутренняя архитектура ScientificView позволяет быстро и с наименьшими затратами внедрять специфические, сложные алгоритмы, предназначенные для графической и числовой обработки данных.

Выводы

В настоящий момент в ScientificView реализован базовый набор алгоритмов для постобработки результатов моделирования аэро- и гидродинамики, теплопроводности, прочности. Заложенные в систему возможности по модернизации, имеющийся задел по созданию параллельных алгоритмов позволяют реализовать систему для постобработки рассматриваемых при имитационном моделировании физических процессов.

Литература

1. Потехин А. Л., Логинов И. В., Тарасов В. И. и др. ScientificView – параллельная система постобработки результатов, полученных при численном моделировании физических процессов // Вопросы атомной науки и техники. 2008. Вып. 4. С. 37–45.

2. Потехин А. Л. Методы быстрого формирования изображения в параллельной системе постобработки результатов научных вычислений ScientificView // Сборник трудов XX международной конференции по компьютерной графике и зрению Графикон. 2010. С. 273–279.