

*На правах рукописи*

Карпов Андрей Николаевич

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание степени  
кандидата физико-математических наук

Тула 2006

Работа выполнена в АНО «Научный центр «ГДТ Софтвр Групп»

Научный руководитель

доктор физико-математических наук,  
Зибаров Алексей Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
Галушкин Александр Иванович

кандидат технических наук  
Максимов Федор Александрович

Ведущая организация:

Московский Физико-Технический Институт  
(МФТИ)

Защита состоится 14 декабря 2006 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета № 002.058.01 при институте математического моделирования Российской академии наук по адресу: 125047, Миусская пл. 4а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИММ РАН

Автореферат разослан « 9 » ноября 2006г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат физико-математических наук

Н. Г. Прончева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Несмотря на огромную вычислительную мощность современных компьютеров, существуют задачи, решение которых на обычных ЭВМ занимает неприемлемо долгое время (недели и месяцы). К таким задачам относятся, например, численное моделирование гидродинамических процессов, задачи распознавания образов, оптимизационные задачи с большим числом параметров и т.д.

Время решения подобных задач можно существенно сократить, если использовать для расчётов многопроцессорные ЭВМ. Для того, чтобы в полной мере использовать преимущества, предоставляемые такими ЭВМ, необходимо переработать алгоритмы решения задач с учётом возможности параллельной обработки данных несколькими процессорами одновременно. Не менее важно распределить вычисления таким образом, чтобы каждый процессор использовался наиболее полно, а суммарное время решения задачи стремилось к минимуму.

Другой немаловажной задачей при распределенной обработке данных является достижение хорошей масштабируемости (scalability). Вопросы, возникающие при разработке наращиваемых систем, отвечающих заданным характеристикам, часто выходят на передний план и требуют глубокого изучения и исследований.

Проблемы распараллеливания и распределения вычислений сегодня являются одним из основных и крайне важных аспектов при построении программных комплексов. В последние годы, в связи с развитием многопроцессорных персональных вычислительных систем, задача распараллеливания вычислений получила еще большую значимость.

Актуальность выбранной темы является следствием быстрого развития научных работ, построенных на математическом моделировании процессов с использованием вычислительной техники, а также с анализом данных различной природы, представленных в виде баз данных.

**Цель работы.** Целью настоящей диссертационной работы является разработка и реализация параллельных алгоритмов для различных задач обработки сверхбольшого (более 100 гигабайт) объема данных, обладающих высокой производительностью и хорошей масштабируемостью. В соответствии с поставленной целью работы предполагается решение следующих задач:

- разработка параллельных архитектур пакетов, позволяющих создавать исполняемый код, наиболее эффективный по быстродействию и работе с ресурсами памяти;
- реализация алгоритмов сбора данных с узлов вычислительного комплекса, их преобразования, синхронного сбора, отображения и т.д.;

- обеспечение совместимости с наиболее распространенными операционными системами и графическими форматами;
- создание параллельной системы визуализации результатов расчётов и графического интерфейса пользователя;
- создание системы сохранения и восстановления данных расчёта и конфигурации проекта, способной функционировать на вычислительных комплексах с распределённой памятью;
- создание системы, реализующей динамическое управление расчётом;
- тестирование разработанных алгоритмов при работе на многопроцессорных вычислительных системах с большими объемами памяти и передаваемой информации;
- демонстрация численного моделирования задач прикладного характера в широком диапазоне начальных и граничных условий при помощи разработанной параллельной версии пакета прикладных программ, а также анализа полученных графических изображений и видеороликов.

**Личное участие** автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в разработке методик по декомпозиции процесса разработки параллельного программного обеспечения, реализация алгоритмов динамической балансировки и on-the-fly визуализации на многопроцессорных вычислительных комплексах.

**Практическая значимость.** Разработанные параллельные версии пакетов численного моделирования и система визуализации позволяют существенно упростить и ускорить проведение научных и инженерных исследований. Подход, основанный на численном моделировании, наиболее информативен, доступен для использования большими коллективами и отдельными инженерами и учеными, позволяет получить прямой экономический эффект при разработке, испытаниях и производстве самой разнообразной продукции. Разработанная система визуализации сверхбольшого объема данных дает возможность целиком наблюдать всю картину процесса, моделируемую на компьютере, не ограничиваясь отдельными датчиками или срезами. Система позволяет наблюдать развитие процесса в динамике, что очень важно на многих этапах исследования. Пакеты могут быть применены в различных отраслях науки, техники и производства (авиа-космическая техника, системы вооружений, экология, анализ чрезвычайных ситуаций, оборонное и гражданское применение взрывов, реактивные двигатели и двигатели внутреннего сгорания и т.д.)

### Положения, выносимые на защиту:

- геометрические методы разбиения счетных областей, динамическая балансировка загрузки процессоров и выборка распределенных данных;

- теоретические методы адаптации программ к архитектуре параллельных вычислительных систем.
- методы сбора и визуализации сверхбольшого объема данных на многопроцессорных вычислительных комплексах;

**Научная новизна** работы заключается в:

- создании механизма динамической балансировки нагрузки на вычислительные узлы, основанного на перераспределении объема обрабатываемых данных;
- создании системы сбора и визуализации сверхбольшого объема данных на выделенном узле;
- построении архитектуры пакета, поддерживающего отображение сверхбольшого объема данных в реальном времени (on-the-fly визуализация);
- разработке и реализации системы динамического сценария расчётов в пакетах численного моделирования.

**Достоверность результатов** подтверждена комплексным тестированием на многопроцессорных вычислительных комплексах с различной архитектурой под операционными системами Windows, Linux, Solaris. Замеры производительности показали хорошую масштабируемость разработанных алгоритмов на многопроцессорных вычислительных комплексах.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались на конференциях:

1. XII Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2003) 30 июня - 5 июля 2003 г., Владимир, Россия.
2. Международная конференция «Четвертые Окуневские чтения», 22-25 июня 2004 г., Санкт-Петербург, Россия.
3. 15-я Международная конференция ГРАФИКОН, 20–24 июня 2005 г., Новосибирск, Россия.
4. 4 Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing, 3-5 June 2003, Chamonix, France.

**Использование результатов.** Разработанные технологии внедрены в научных и промышленных организациях, конструкторских бюро и высших учебных заведениях. Среди них:

- НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова;
- Московский физико-технический институт;

- Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования ТулГУ;
- Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана;
- Конструкторское бюро приборостроения;
- ФГУП ЦНИИ "Буревестник";
- Балтийский государственный технический университет Военмех им. Д.Ф. Устинова;
- ФГУП ГНПП «Сплав»;
- Институт автоматизации проектирования РАН;
- Sandia National Laboratories (США);
- Rheinmetall GmbH (Германия);
- DSO National Laboratories (Сингапур).

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 154 страниц и содержит 77 рисунков и 1 таблицу. Список литературы включает 102 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** говорится об актуальности обработки данных на параллельных вычислительных комплексах. Перечислены основные потребители алгоритмов и аппаратных решений, которым требуется обработка сверхбольших объемов данных. Отмечено, что современная наука, ориентируясь на численный эксперимент, претерпевает качественное изменение в формах и объемах экспериментальной базы.

Так же отмечено, что развитие многопроцессорной вычислительной техники неразрывно связано с разработкой технологий параллельного программирования – как универсальных, так и под конкретную архитектуру суперЭВМ. Использование многопроцессорных систем требует новых подходов к процессу программирования исследовательских комплексов.

Подчеркнуто, что в работе освещены лишь некоторые направления, ориентированные на разрешение проблем в подходах к разработке параллельного программного обеспечения. Основное внимание будет сосредоточено на проблемах создания параллельных алгоритмов численного моделирования (эксперимента) и системах параллельной визуализации.

Говорится о научной визуализации данных, являющейся неотъемлемой частью современного анализа явлений практически в любой отрасли естественных наук.

**Первая глава** диссертации посвящена анализу современного состояния исследуемых вопросов и постановке задачи исследования. Анализ производился по научным, техническим и патентным источникам информации. Рассмотрен вопрос развития параллельной обработки данных и архитектурных изменений аппаратной базы с целью повышения быстродействия. Дается определение понятиям “суперкомпьютер” и “кластерные системы”.

Упомянуты методы использования многопроцессорных систем, виды параллелизма в задачах численного моделирования. Рассмотрена статическая и динамическая балансировка. При решении широкого круга задач математической физики на многопроцессорных системах с помощью сеточных методов, широко используются два подхода для построения параллельных программ. Первый получил название метода геометрического параллелизма, второй – метод коллективного решения. Подавляющее большинство решаемых в настоящее время с помощью методов конечных разностей или конечных элементов задач газовой динамики, микроэлектроники, экологии, и многих других эффективно решаются именно методом геометрического параллелизма. Методом коллективного решения целесообразно пользоваться при построении параллельных алгоритмов решения задач методами Монте-Карло, при проведении серий однотипных расчетов и в ряде других случаев.

Отмечается, что метод геометрического параллелизма является методом статической балансировки загрузки, заранее определяя обрабатываемую каждым процессором часть сетки. Статическая балансировка эффективна при условии, что априорной информации достаточно для предварительного распределения общей вычислительной нагрузки поровну между процессорными узлами. Метод коллективного решения является методом динамической балансировки загрузки. В его рамках перед началом вычислений не известно, какие именно узлы сетки будут обработаны тем или иным процессором. Процессоры получают задания динамически, по мере выполнения уже поступивших, что обеспечивает равномерную загрузку процессорных узлов при наличии большого набора независимых заданий.

Не оставлены без внимания проблемы распараллеливания, связанные с решением сложных задач численного моделирования на примере задач горения. Затронуты вопросы эффективности параллельных программ. Дано определение понятию эффективной параллельной программы и перечислены свойства такой программы. Также рассмотрена задача адаптации программ к архитектуре параллельных компьютеров. Уделено внимание проблемам отладки и мониторинга параллельных программ.

В конце главы затронуты вопросы научной визуализации параллельных вычислений. Приведена краткая история развития визуализации, перечислены проблемы визуализации в параллельных вычислениях, а также сложности образного представления абстрактных данных. Обращено внимание на направление исследований, связанных с реализацией средств, обеспечивающих on-the-fly визуализацию параллельных вычислений.

**Во второй главе** описываются подходы создания параллельных алгоритмов и систем визуализации.

В начале главы говорится о моделировании объектов распараллеливания. Моделирование есть методология работы, эффективность которой раскрывается лишь при высокой квалификации специалистов и при их свободном владении современными средствами формализации – логикой и математикой. Отмечено, что специалисты по теории разработки программного обеспечения при описании процесса его создания весьма редко уделяют внимание моделированию. Принимая во внимание, что разработка параллельного программного обеспечения (объекта распараллеливания) на сегодняшний день представляется достаточно сложной, проблема создания теоретических основ его проектирования стоит еще более остро. В рамках моделирования объектов распараллеливания рассмотрены уровни декомпозиции объектов распараллеливания. А затем возможность распараллеливания объектов в алгоритмах численного моделирования.

В работе предложено реализовывать параллельные варианты численных методов на основе геометрического параллелизма. Метод геометрического параллелизма (domain decomposition) является широко известным, и часто используется, что связано как с его простотой и наглядностью, так и с возможностью использования значительного опыта, накопленного в его применении. В основе многих физических задач лежит регулярная геометрическая структура с пространственно ограниченным взаимодействием (например, задачи газовой динамики, гидродинамики, теории поля). Благодаря этой однородности данные могут быть единообразно распределены по сети процессоров таким образом, что каждый из процессоров будет отвечать за определенную область пространства (рис. 1).

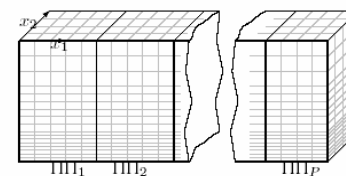


Рис 1. Геометрическое разбиение счетной области.

В главе большое внимание уделено вопросам распределения нагрузки между процессорами. Рассмотрены следующие варианты параллельных систем:

- независимые вычисления одинаковой трудности на гомогенных процессорах;
- независимые вычисления одинаковой трудности на гетерогенных процессорах;
- независимые вычисления различной трудности на гомогенных процессорах;
- независимые вычисления различной трудности на гетерогенных процессорах;
- зависимые вычисления одинаковой трудности на гомогенных процессорах;
- зависимые вычисления одинаковой трудности на гетерогенных процессорах;
- зависимые вычисления различной трудности на гомогенных процессорах;
- зависимые вычисления различной трудности на гетерогенных процессорах.

В главе затронут вопрос разработки архитектуры визуализатора на модульной основе. Также во второй главе рассмотрен ряд механизмов визуализации в реальном времени на параллельных вычислительных комплексах, произведен их сравнительный анализ и сравнение, выделены достоинства и недостатки, а так же четыре основных подхода к их реализации:

1. Визуализация на выделенном узле (рисунок 2). Данные целиком передаются на визуализирующий узел, где и происходит их обработка.

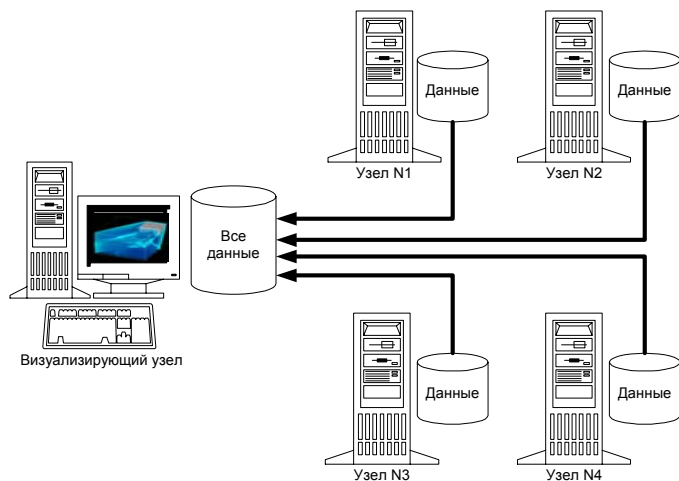


Рис. 2. Визуализация на выделенном узле.

2. Последовательная визуализация на выделенном узле (рисунок 3). Второй подход является разновидностью первого. В этом случае данные с узлов передаются на визуализирующий узел не все сразу, а добавляются в очередь. Визуализирующий узел осуществляет визуализацию по частям и далее формирует общее изображение

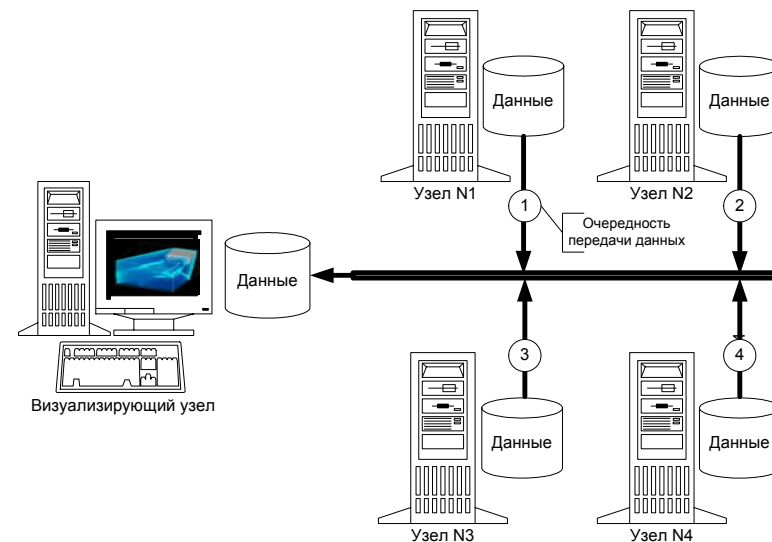


Рис. 3. Последовательная визуализация на выделенном узле

3. Визуализация на счетных узлах (рисунок 4). При третьем подходе каждый счётный узел осуществляет визуализацию своей собственной части данных, а затем части изображения передаются на визуализирующий узел, где они объединяются в единое изображение.

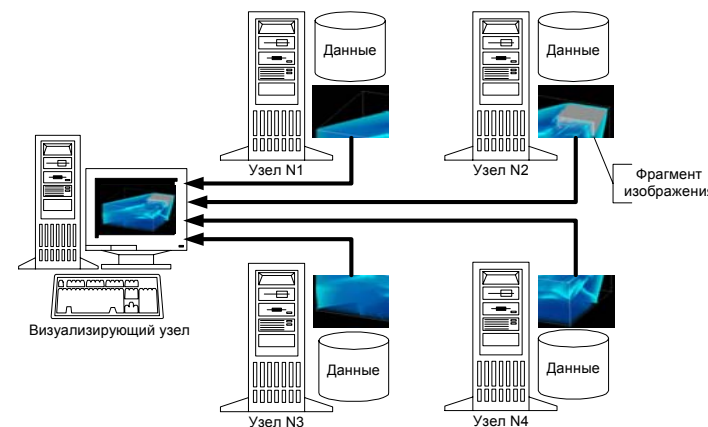


Рис. 4. Визуализация на счётных узлах

4. Визуализация с предварительной обработкой данных на счётных узлах (рисунок 5). Часть проблем, связанных с большими объемами данных при визуализации, можно решить за счет подхода, заключающегося в рассылке на вычислительные узлы, где размещены данные, некоторых общих правил их обработки, например,

правил выборки из распределенного массива. Тогда объем пересылаемой информации резко уменьшается.

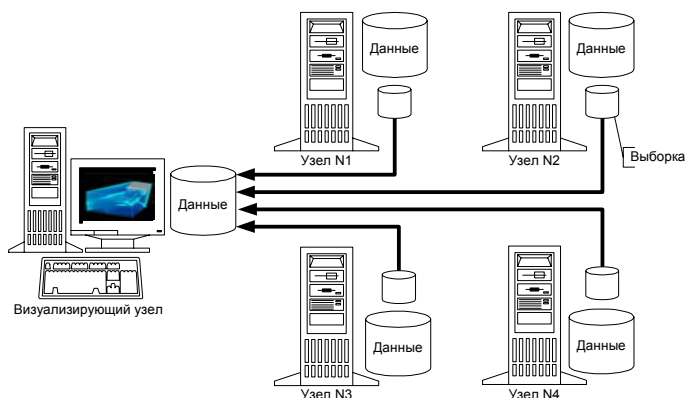


Рис. 5. Визуализация с предобработкой на счётных узлах.

При рассмотрении и анализе предлагаемых методов говорится о ряде критериев, по которым производится оценка их сильных и слабых сторон. К таким критериям относятся:

- максимально возможный объем визуализируемых данных;
- затраты связанные с передачей информации на сервер визуализации;
- производительность;
- затраты времени при вынужденных ожиданиях;
- сложность и надежность алгоритма визуализации;
- объем дополнительно затраченной памяти для осуществления визуализации и т.д.

В третьей главе рассмотрены принципиальные проблемы, связанные с реализацией параллельной версии пакетов программ численного моделирования и предложены пути их решения, описаны механизмы распределения данных на вычислительных узлах, процесс их обработки, сбора, синхронизации.

Предложен механизм динамической балансировки, обеспечивающий по возможности равномерную загрузку счетных узлов. Алгоритм балансировки основан на изменении объема обрабатываемых данных на процессорах. Критерием перераспределения служит статистика, накапливаемая на каждом узле в процессе численного моделирования.

Рассмотрим в качестве примера задачу численного моделирования движения тела в газе. Ранее был предложен способ распараллеливания таких алгоритмов моделирования, основанный на вертикальном разбиении счетных областей.

2-х мерной счетной области в случае 4-х процессоров будет выглядеть, как показано на рисунке 6.

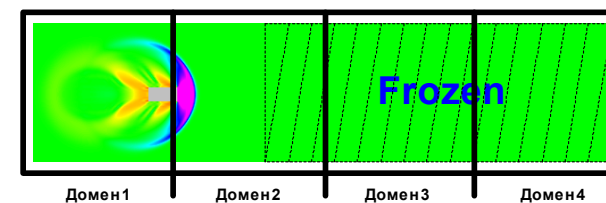


Рис 6. Простое разбиение счетной области.

Но такое разбиение далеко от оптимального варианта. Большую часть расчетной области занимает несчитаемая область (frozen), так как ударная волна расположена в левой части. В результате 3-ий и 4-ый процессор практически полностью простаивают. Исходя из статистики загруженности процессоров, мы можем переразбить счетную область с целью сравнять нагрузку на счетных узлах (рисунок 7).

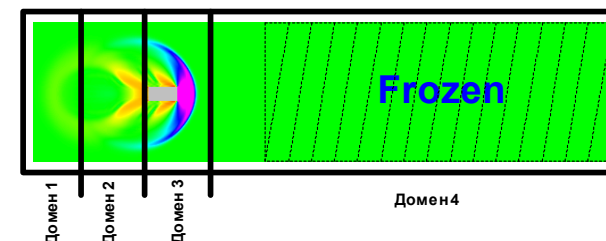


Рис. 7. Оптимальное разбиение с точки зрения производительности.

Кроме того, следует учитывать наличие свободной памяти, доступной каждому процессору. С учетом этого оптимальное распределение может выглядеть, как показано на рисунке 8.

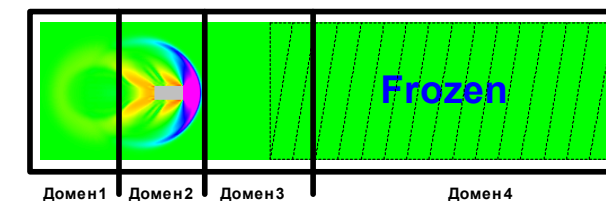


Рис. 8. Оптимальное разбиение с учетом доступного объема памяти.

Балансировка загрузки процессоров позволяет существенно повысить производительность программы на МВС (многопроцессорная вычислительная система), особенно в случае неоднородных кластерных систем. Кроме того, этот подход позволяет учесть и предотвратить потери производительности в случае

снижения производительности отдельных узлов из-за параллельного запуска задач другого пользователя.

В главе рассмотрена разработка выбранной схемы визуализации на параллельных вычислительных комплексах, описана система рассылки сообщений на счетные узлы кластера о запросе на выборку данных. Рассмотрен механизм выборки на счетных узлах, и последовательность сбора с них полученных результатов на визуализирующий узел, приведен ряд схем, наглядно описывающих происходящие процессы на счетных узлах. Например, выбор ячеек при прореживании данных на различных узлах (рисунок 9).

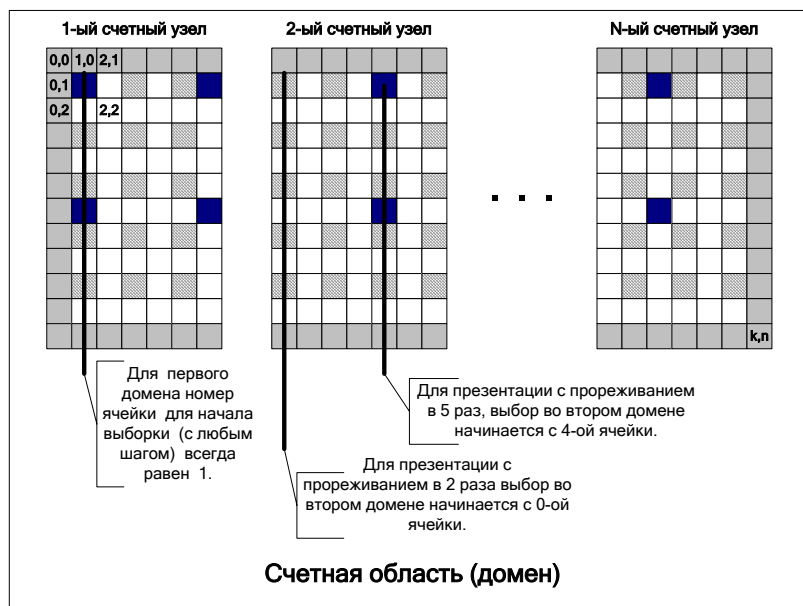


Рис. 9. Выборка прореженных данных со счетных узлов (двумерный случай).

Описан ряд возникающих проблем и путей их решения связанных с последующей визуализацией пропорционально уменьшенных тел вместе с прореженными данными, приводятся сведения о процессе получения двумерных и одномерных срезов.

Рассмотрена проблема выборочного сбора данных с узлов с целью детального изучения отдельных фрагментов картины моделируемого процесса или внешних данных для визуализации. Например, интересно подробно рассмотреть

высоту отдельных участков поверхности Земли или отдельные детали образования вихря на угле (рисунок 10, 11).

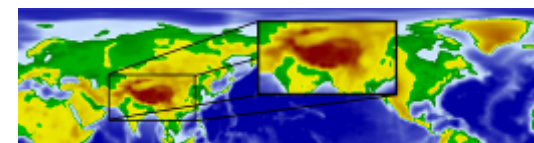


Рис. 10. Распределение высот на поверхности Земли.

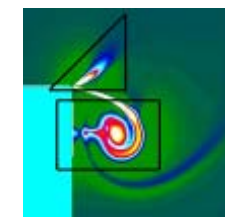


Рис. 11. Образование вихря на угле.

В этом случае требуется другой механизм сбора информации, при котором задействован только ряд вычислительных узлов. Данные выбираются непрореженными, но только в заданных геометрических областях (рисунок 12).

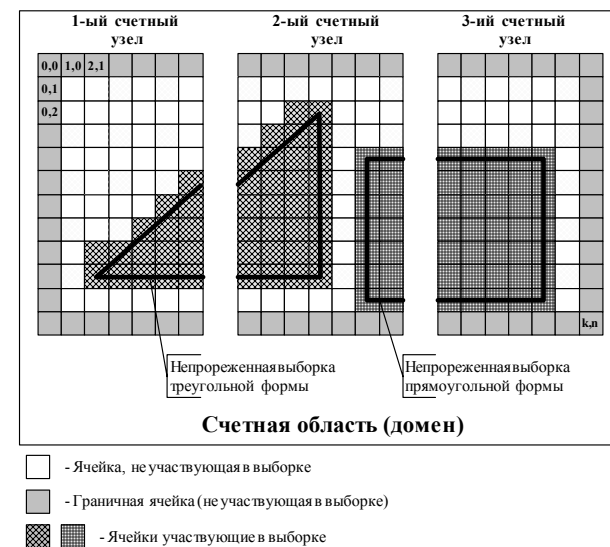


Рис. 12. Выборка непрореженной области данных (двумерный случай).

Кроме того, в главе рассматривается структура подсистемы визуализации с точки зрения преобразований и реорганизацией данных (рисунок 13), описаны ее

функциональные возможности и преимущества в сравнении с другими подобными системами. Визуализатор основан на модульной архитектуре, позволяющей дополнять установленный пакет новыми возможностями при помощи подключения внешних модулей (plug-in). Используя специфичные внешние модули, можно использовать один и тот же пакет для работы с самыми разнообразными данными и в самых различных предметных областях. Внешние модули для визуализатора могут создаваться как разработчиками пакета, так и его пользователями. Применение подобной архитектуры позволило достичь значительной гибкости при комплексной визуализации абстрактных данных.

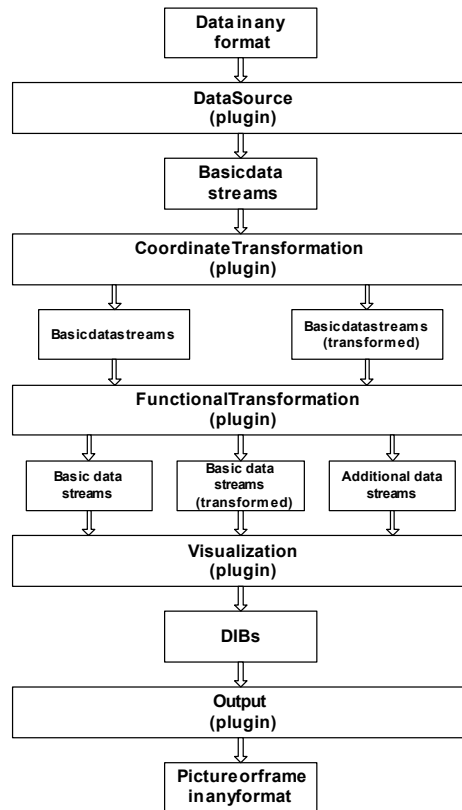


Рис. 13. Последовательность преобразований над собранными данными для визуализации.

В главе описан этап разработки с точки зрения программирования, выбора инструментов для реализации конечного программного продукта. Приводятся инструменты проектирования в рамках объектно-ориентированной технологии и кроссплатформенной реализации, рассматривается использование MPI - стандарта на

программный инструментарий для обеспечения связи между ветвями параллельного приложения. Кратко описан протокол TCP/IP, используемый как транспорт для пересылки данных между вычислительными узлами. В качестве средства создания модульной и расширяемой системы визуализации рассмотрена модель компонентных объектов (COM).

В четвертой главе описываются результаты использования предложенных в работе решений при создании законченных программных комплексов. Делается вывод, что параллельные алгоритмы численного моделирования и схема визуализации с предобработкой на счётных узлах были успешно реализованы в пакете GasDynamicsTool. Пакет рассчитан для работы на многопроцессорных неоднородных вычислительных комплексах, и позволяет осуществлять динамическую визуализацию данных с объёмом, значительно превышающим размер оперативной памяти визуализирующего узла. Пакет обладает хорошими показателями масштабируемости (рисунок 14).

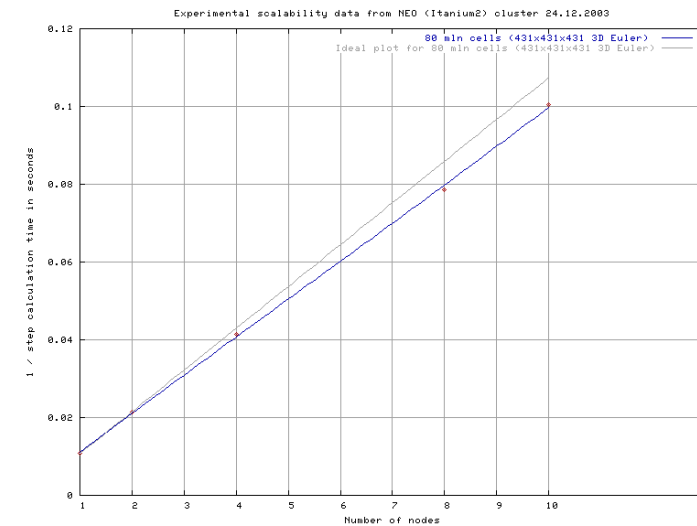


Рис. 14. Ускорение расчета при увеличении числа процессоров.

В главе приведены характеристики разработанного пакета, с точки зрения его масштабируемости и производительности. Перечислены поддерживаемые аппаратные платформы и операционные системы (таблица 1).

Таблица 1. Поддерживаемые программные и аппаратные платформы.

CPU	Operating Systems	Compilers	Communication Hardware	Communication Software	
Intel Pentium (x86 family)	Linux (Red Hat 7.3, 8, 9; Debian 3.0; other modern distributives).	Visual C++ 6	Ethernet	MPICH 1.2.x	
	Windows NT, 2000, XP	Visual C++ .NET	Myrinet	MPICH-GM 1.2.5..12 >	
	Solaris 8	GCC 2.95	SCI	LAM 6.x	
				LAM 7.0	
				PGI C++ 5	SCALI SSP 2.x, 3.x
				Intel C++ 5 (Win)	MP-MPICH 1.2.0
				Intel C++ 6 (Win)	
				Intel C++ 7.1	
Intel C++ 8.1					
AMD Opteron (AMD-64)	SuSE Linux Enterprise Server 8.1	GCC 3.2, 3.3	Myrinet 2000	MPICH 1.2.x	
		PGI C++ 5	Ethernet	MPICH-GM 1.2.5..12 >	
				LAM 6.x	
Sun UltraSPARC 32-bit	Solaris 2.6	Sun Workshop C++ 5	Ethernet	MPICH 1.2.x	
		GCC 2.95		LAM 6.x	
Intel Itanium 2 (IA-64)	Linux Red Hat 7.3	Intel C++ 7	Ethernet	MPICH-GM 1.2.5..12 >	
		Intel C++ 8	Myrinet 2000		
PowerPC G5	Linux	GCC			
	MacOS X 10				

Приводится расчет прохождения оперенного снаряда через дульный тормоз, полученный благодаря использованию предложенных в диссертации идей и методик. Целью данного исследования являлась оценка величины газодинамического воздействия продуктов сгорания метательного заряда, действующего на блок стабилизаторов изделия «Китолов-2М» в момент прохождения его через дульный

тормоз орудия Д-30. Данное исследование представляет собой решение реальной проблемы деформирования блока стабилизаторов после прохождения снаряда через дульный тормоз, возникшей при отработке противотанковой системы «Китолов».

**В заключении** приведены основные теоретические и практические результаты, полученные в диссертации.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан и протестирован высокоэффективный параллельный код для визуализации сверхбольших массивов данных в режиме on-the-fly. Разработаны и реализованы в виде конечных программных продуктов алгоритмы обработки и визуализации сверхбольших объемов данных для параллельных вычислительных комплексов. Реализован механизм динамической балансировки нагрузки на вычислительные узлы в пакете численного моделирования.
2. Предложены основные принципы управления визуализацией данных, опираясь на которые, исследователь получает адекватную картину изучаемого явления. Реализация этих принципов с использованием современных технологий трехмерной графики, полупрозрачных цветовых шкал и картографии цветов, обеспечивает качественный скачок в компьютерном моделировании.
3. Реализована архитектура взаимодействия разработанной системы обработки информации с параллельными солверами прикладных пакетов численного моделирования физических процессов. Достигнута хорошая масштабируемость, эффективность по быстродействию и работе с ресурсами памяти. Обеспечена совместимость с наиболее распространенными аппаратными платформами, операционными системами и графическими форматами. В частности, применение разработанной системы визуализации в пакете GasDynamicsTool позволило использовать этот пакет для расчета областей размером  $10^9$  ячеек в режиме динамической работы с проектами.

## ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Карпов А.Н., Комаров И.Ю., Константинов П.В., Миронов А.А.. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2003610902 от 14 апреля 2003. Adaptive Grid Expert (AGE).
2. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Карпов А.Н., Комаров И.Ю., Константинов П.В., Миронов А.А., Медведев А.В.. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2003611390 от 9 июня 2003. Gas Dynamics Tool Cluster – Linux (GDT Cluster - Linux).
3. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Карпов А.Н., Комаров И.Ю., Константинов П.В., Миронов А.А., Медведев А.В.. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2003611391 от 9 июня 2003. Gas Dynamics Tool SMP – Solaris x86 (GDT SMP – Solaris x86).
4. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Карпов А.Н., Комаров И.Ю., Константинов П.В., Миронов А.А., Медведев А.В.. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2003611392 от 9 июня 2003. Gas Dynamics Tool SMP – Linux (GDT SMP - Linux).
5. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Карпов А.Н., Комаров И.Ю., Константинов П.В., Миронов А.А., Медведев А.В.. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2003611393 от 9 июня 2003. Gas Dynamics Tool SMP – Windows (GDT SMP - Windows).
6. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Карпов А.Н., Комаров И.Ю., Медведев А.В.. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2005610480 от 21 февраля 2005. Гибридная версия GasDynamicsTool – WinLinX.
7. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Медведев А.В., Карпов А.Н., Комаров И.Ю. Моделирование ударно-волновых газодинамических процессов на многопроцессорных вычислительных комплексах. (Numerical simulation of the shock wave gasdynamics using multiprocessor system)// Сборник материалов, Том I. Четвертая международная школа семинар «Внутрикамерные процессы, горение и газовая динамика дисперсных систем» 28 июня – 03 июля 2004 г., Санкт-Петербург, Россия.
8. Зибаров А.В., Бабаев Д.Б., Миронов А.А., Медведев А.В., Карпов А.Н., Комаров И.Ю., Константинов П.В.. Применение пакета ScientificVR для визуализации результатов трехмерных газодинамических расчетов. // XII Международная конференция по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2003) 30 июня - 5 июля 2003 г., Владимир, Россия

9. Зибаров А.В., Пирумов В.С., Карпов А.Н.. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2005610481 от 21 февраля 2005. СОПР "HOMOS".
10. Dmitry A.Orlov, Alexey V. Zibarov, Andrey N. Karpov, Ilya Yu. Komarov, Vladimir V. Elesin, Evgeny A. Rygkov, Andrey A. Parfilov, Anna V. Antonova. CFD Problems Numerical Simulation and Visualization by means of Parallel Computation System // International conference on parallel computational fluid dynamics 2006 (Parallel CFD 2006), Busan, Korea.
11. Zibarov A.V., Babaev D.B., Kontantinov P.V., Karpov A.N., Komarov I.Ju., Mironov A.A., Medvedev A.V., Shvykin Ju., Judina Ju. V., Kosyakin V.M.. Numerical simulation of the finned projectile pass through two chamber muzzle brake. // 21<sup>st</sup> International Symposium on Ballistics, Adelaide, South Australia, 19-23 April, 2004.
12. Zibarov A.V., Babayev D.B., Mironov A.A., Komarov I.J., Konstantinov P.V., Medvedev A.V. and Karpov A.N. Visualization of Shock Wave Diffraction on 3D Edge // Journal of Visualization, Vol. 6, No. 2 (2003) 94.
13. Zibarov A.V., Babayev D.B., Mironov A.A., Komarov I.J., Konstantinov P.V., Medvedev A.V. and Karpov A.N. Twin Barrel Artillery System Function // Journal of Visualization, Vol. 6, No. 2 (2003) 94.
14. Zibarov, A.V., Karpov, A.N., Medvedev, A.V., Elesin, V.V., Orlov, D.A., Antonova, A.V. Visualization of Stress Distribution in a Solid Part // Journal of Visualization, Vol. 9, No. 2 (2006) 134.