

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет вычислительной математики и кибернетики

На правах рукописи

Джосан Оксана Васильевна

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ПРОГРАММНЫХ
СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ
ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ МАССИВНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Специальность 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных
машин, комплексов и компьютерных сетей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре автоматизации систем вычислительных комплексов факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,
доцент Попова Нина Николаевна

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН
Воеводин Владимир Валентинович

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
Сенько Олег Валентинович

Ведущая организация: ОАО НИЦЭВТ (Научно-исследовательский центр
электронной вычислительной техники)

Защита диссертации состоится « 4 » декабря 2009 г. в 11.00 часов на заседании диссертационного совета Д 501.001.44 в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, факультет ВМиК, аудитория 685.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета ВМиК МГУ. С текстом автореферата можно ознакомиться на официальном сайте ВМиК МГУ имени М.В. Ломоносова <http://www.cmc.msu.ru> в разделе «Наука» – «Работа диссертационных советов» – «Д 501.001.44».

Автореферат разослан «__» ноября 2009 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

профессор

Н.П. Трифонов

Общая характеристика работы

Актуальность работы.

Работа посвящена исследованию и разработке методов и программных средств визуальной поддержки научных вычислений, проводимых с использованием современных массивно-параллельных вычислительных систем (МПВС).

Теоретические исследования и практические разработки, направленные на поддержку визуализации научных данных, активно ведутся в настоящее время как зарубежными, так и российскими учеными. В общей схеме процесса визуального анализа результатов научных вычислений, проводимых на МПВС, можно выделить следующие основные этапы: накопление данных в процессе расчета; организация хранения и передачи данных на машину пользователя; отображение данных на дисплейных устройствах. В условиях массивного параллелизма визуализация результатов научных вычислений имеет ряд особенностей. Вычислительный эксперимент на МПВС может осуществляться в течение длительного времени. В связи с этим возникает необходимость визуализации результатов расчетов на различных этапах вычислительного эксперимента, в том числе, в динамике выполнения параллельной программы. Получаемый в таких экспериментах объем данных может быть очень большим. Например, в задачах молекулярного моделирования, проводимых на МПВС Blue Gene/P на 2048 процессорах, время одного вычислительного эксперимента составляет порядка 20 часов, а объем получаемых при этом данных составляет 200 гигабайт.

Определим несколько подходов к организации процесса визуализации на МПВС. Самый простой сценарий работы системы визуализации – передача данных с вычислительных узлов на машину пользователя с последующей их обработкой. Недостатком такого подхода является необходимость передачи большого объема данных по сети. Следующий сценарий работы – установка системы визуализации на интерфейсной машине, подключенной высокоскоростным соединением к хранилищу данных. Этот подход более сложный в реализации, но решает проблему передачи данных большого объема по сети. Для проведения длительных вычислительных экспериментов на МПВС важно обеспечить возможность визуализации данных в процессе счета. Для этого должна быть предусмотрена возможность интеграции системы визуализации с процессом вычислений. Для систем, устанавливаемых на интерфейсной машине, такое взаимодействие возможно через промежуточное сохранение данных. Это означает существенную нагрузку на узлы, через которые

происходит коммуникация между интерфейсной машиной и вычислительными узлами, что замедляет процесс расчетов. Наиболее перспективным представляется сценарий, позволяющий осуществлять визуализацию непосредственно на вычислительных узлах.

Важным требованием к системе визуализации для МПВС является построение изображений высокого качества с сохранением большого количества деталей. Для получения высококачественных изображений необходимо использование параллельных методов построения изображений на вычислительных узлах, а так же параллельных методов обработки и сжатия полученных изображений.

Задача исследования и разработки методов и программных средств визуализации результатов научных вычислений для массивно-параллельных вычислительных систем представляется актуальной в настоящее время. Исследование этого вопроса имеет как теоретическую, так и практическую значимость.

Цель диссертации

Целью диссертации является исследование и разработка методов и программных средств для визуальной поддержки высокопроизводительных научных вычислений на массивно-параллельных вычислительных системах.

Из проведенного анализа сценариев работы, особенностей и ограничений современных систем визуализации были сформулированы следующие **задачи** для диссертации:

1. Провести исследование и разработать систему визуализации с учетом особенностей организации МПВС. Система должна обеспечивать возможность визуализации как в процессе работы параллельных прикладных программ, так и после их завершения.
2. Исследовать и разработать метод организации данных в системе визуализации и метод построения изображений для различных типов дисплейных устройств.
3. Провести исследование и разработать параллельные методы обработки изображений для снижения количества временных ресурсов, требуемых для построения изображения.
4. Разработать и реализовать программный комплекс, реализующий предложенную систему и методы визуализации для МПВС. Провести исследование эффективности системы визуализации на данных прикладных задач.

Научная новизна.

1. Предложены новые методы организации системы визуализации результатов научных вычислений, учитывающие особенности современных массивно-параллельных

вычислительных систем и обеспечивающие визуализацию данных как в процессе выполнения параллельных прикладных программ, так и после их завершения.

2. Предложены и исследованы новые параллельные алгоритмы обработки изображений и видео для системы визуализации:

- метод адаптивной интерполяции для построения кадра;
- метод улучшения визуального качества построенного изображения;
- метод многопоточного сжатия видео с оптимизацией загрузки процессоров.

3. Разработаны новые методы построения программного комплекса системы визуализации, предложены новые методы организации данных и методы построения изображений для системы визуализации.

Практическая значимость.

Разработан программный комплекс, реализующий систему визуализации научных данных на МПВС в соответствии с предложенным методом организации системы визуализации. Разработанный комплекс реализован для массивно-параллельной вычислительной системы Blue Gene/P.

Исследована применимость разработанного программного комплекса для ряда прикладных задач. Разработанная система может быть использована для визуальной поддержки вычислений, проводимых с использованием МПВС, в различных научных областях. В настоящее время система доступна и используется прикладными пользователями на вычислительной системе Blue Gene/P в МГУ.

Апробация работы и публикации. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

- 3-я Международная конференция «Information systems and grid technologies» (ISGT'2009), Болгария, София, 2009
- 27-я Международная конференция по параллельным вычислениям ParCo 2009, Франция, Лион, 2009
- 3-я Международная конференция «Параллельные вычислительные технологии» (ПАВТ 2009), Россия, Нижний Новгород, 2009
- 6-я и 7-я Международные конференции "Телевидение: передача и обработка изображений", Россия, Санкт-Петербург, 2008 и 2009;
- 15-я и 16-я Международные конференции Графикон, Россия, Новосибирск, 2005 и 2006
- 3-я Всероссийская научно-техническая конференция "Методы и средства

обработки информации" (МСО-2009), Россия, Москва, 2009;

- 10-я и 11-я Всероссийские суперкомпьютерные конференции серии «Научный сервис в сети Интернет», Россия, Новороссийск, 2008 и 2009;
- 3rd and 4th European Ph.D. Schools on Scientific Computing, телеконференции между университетами Ирландии, России, Украины и Китая, 2008 и 2009
- Научная конференция «Тихоновские чтения», Россия, Москва, 2009
- Совместный семинар факультета ВМК МГУ и IBM Zurich Research Laboratory, Россия, Москва, 2009
- Семинар кафедры Автоматизации систем вычислительных комплексов факультета ВМиК МГУ под руководством Королева Л.Н;
- Научно-исследовательский семинар имени М.Р. Шура-Бура;
- Семинар «Обратные задачи математической физики» под руководством Бакушинского А.Б, Тихонравова А.В., Яголы А.Г.;
- Семинар по обработке экспериментальных данных при помощи нейронных сетей и генетических алгоритмов под руководством Королева Л.Н. и Поповой Н.Н.;
- Семинар группы обработки изображений и видео сигналов Московского Исследовательского Центра компании Самсунг Электроникс.

Основные результаты работы изложены в 14-и научных публикациях [1-14]. По тематике диссертации получен 1 патент РФ, подготовлено 5 заявок на патенты РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 131 странице. Список литературы включает 98 наименований. В работе содержится 42 рисунка и 7 таблиц.

Содержание работы

Во **введении** проанализированы тенденции развития систем визуализации результатов научных вычислений для массивно-параллельных вычислительных систем. Рассмотрены наиболее распространенные современные системы визуализации в применении к МПВС. Формулируются цель и задачи диссертации, обосновывается ее актуальность, научная новизна и практическая значимость, кратко излагается основное содержание работы.

В **первой главе** предложен метод организации системы визуализации результатов научных вычислений на массивно-параллельных вычислительных системах. Предложен

метод организации данных в системе визуализации. Исследован и разработан программный комплекс для реализации предложенной системы визуализации.

В разделе 1.1 предложен метод организации системы визуализации для массивно-параллельных вычислительных систем. Предложена иерархическая архитектура системы визуализации, состоящая из трех основных компонент:

- подсистема на интерфейсной машине – ядро системы визуализации
- подсистема, устанавливаемая на вычислительных узлах и осуществляющая построение изображений,
- подсистема на машине пользователя для воспроизведения изображений на дисплее.

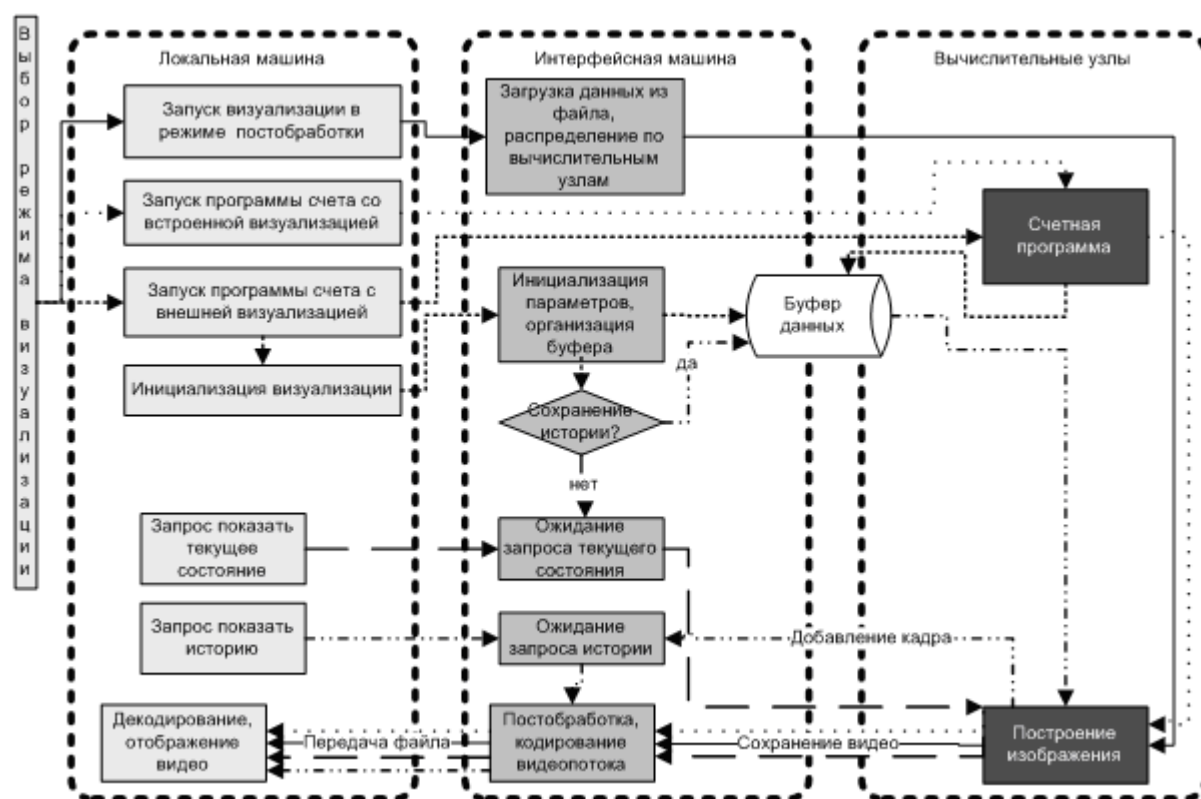


Рис.1 функциональная схема системы визуализации

Особенность предложенной архитектуры заключается в том, что используется возможность параллельных вычислений на различных уровнях МПВС. Визуализация возможна как во время работы прикладной программы, так и после завершения вычислительного эксперимента. В соответствии с разработанной архитектурой предложена иерархическая функциональная схема системы визуализации, основные блоки которой показаны на Рис.1. Различные аспекты предложенного метода организации системы визуализации рассмотрены в работах [1,2,3,4,5,6].

В разделе 1.2 предложен метод организации данных в системе визуализации. Входные данные системы визуализации представляются в одном из стандартных

форматов для хранения результатов научных вычислений (например, .netcdf, .cube, и т.д.). В диссертационной работе предлагается интерпретировать многомерные значения по каждому измерению как характеристику, являющуюся значением точек в некотором объеме в трехмерном евклидовом пространстве. Формируется внутреннее представление данных в системе визуализации. По внутреннему представлению осуществляется построение изображений в форматах для различных типов дисплейных устройств. Для наиболее часто используемых стандартных форматов хранения научных данных предложены модели соответствующих им внутренних представлений в системе визуализации.

В разделе 1.3 исследован и разработан программный комплекс для реализации предложенной системы визуализации. Архитектура разработанного программного комплекса показана на Рис.2. Данные для визуализации могут поступать в систему двумя способами: чтение из файлов с данными завершившихся экспериментов и чтение данных текущих экспериментов. После поступления данных происходит их анализ и определение объектов, которые будут в визуализируемой сцене, и их атрибутов в соответствии с заданными пользователем параметрами. Построение изображения по полученным данным осуществляется на вычислительных узлах. В системе предусмотрена резервная подсистема построения изображений на интерфейсной машине.

На интерфейсной машине происходит постобработка полученных изображений для улучшения их визуального качества и их сжатие перед передачей на локальную машину пользователя. Функциональность осуществляется параллельно с использованием многоядерности интерфейсной машины. На локальной машине пользователя осуществляется декодирование изображений, их масштабирование и отображение на дисплейное устройство.

Пользователю предоставляется следующие режимы работы системы визуализации:

- Визуализация в режиме постобработки.
- Визуализации через файлы во время работы прикладной программы.
- Библиотека функций визуализации для вызова в прикладной программе.

В разделе 1.4 описаны основные результаты главы.

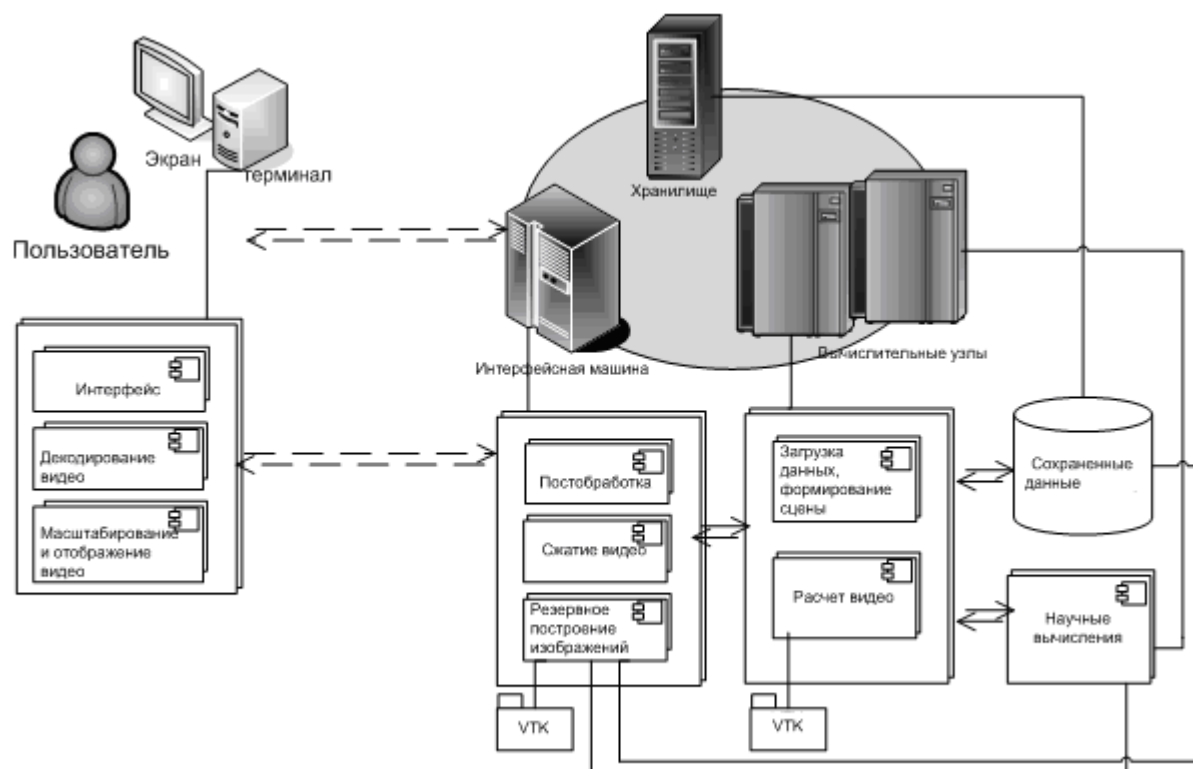


Рис.2 Архитектура программного комплекса системы визуализации для МПВС

Во второй главе предложены методы для системы визуализации результатов научных вычислений, в частности методы построения изображений на многопроцессорном вычислителе, методы обработки и сжатия видео для передачи его на машину пользователя.

В **разделе 2.1** предложен параллельный метод построения изображений, основанный на методе объемного построения изображений библиотеки VTK¹. Предложены методы построения карты глубины, стерео и многовидовых изображений, анаглифных изображений, изображений для мультidisплейных комплексов. На Рис.3 представлена схема работы алгоритма построения изображений в различных форматах.

В **разделе 2.2** предложен новый метод многопоточного сжатия изображений и видео. Предложенный метод основан на блочном кодировании изображений или кадров видео последовательности. Предложен быстрый алгоритм оценки визуальной сложности блоков изображения, позволяющий априори оценить временные затраты на кодирование блока и осуществить разбиение блоков изображения по процессорам в зависимости от этого времени для минимизации общего времени сжатия. Для каждого блока подбирается оптимальный способ его кодирования в зависимости от посчитанной визуальной сложности.

¹Dutra, M., Rodrigues, P., Giraldi, G., Schulze, B. Distributed visualization using VTK in Grid Environments. Pros. conf. Seventh IEEE International Symposium on Cluster Computing and Grid (CCGrid'07), 2007



Рис.3 Блок-схема основных этапов построения изображений

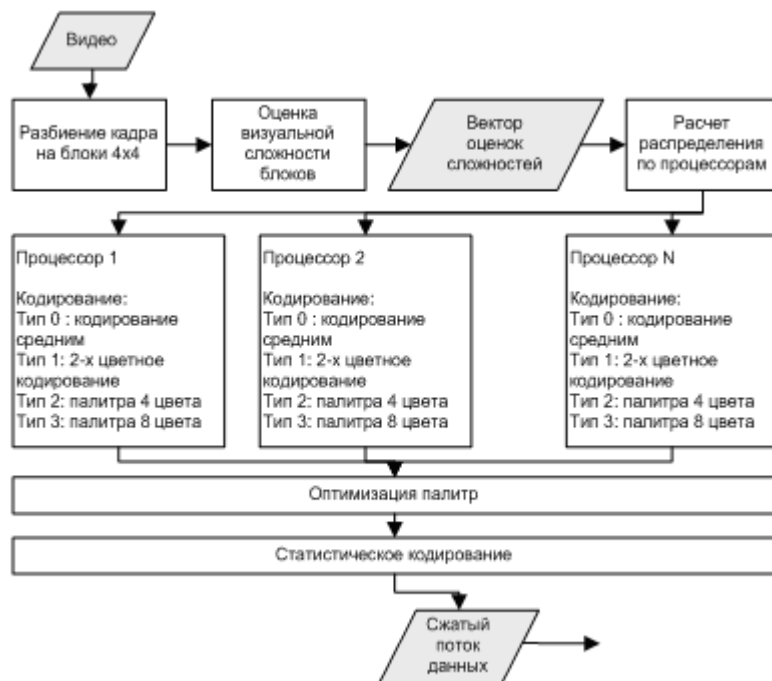


Рис.4 Блок-схема основных этапов алгоритма сжатия видео

Блок-схема алгоритма кодирования показана Рис.4. Оценка визуальной сложности блоков F осуществляется следующим образом:

$$F = \frac{\sigma}{12} \left(\frac{D_x}{4} + \frac{D_y}{4} + \frac{D_{d1}}{3} + \frac{D_{d2}}{3} \right) + \frac{\sigma}{2} \sum_{T \in \{Y, C, Cr\}} (A_T + B_T)$$

где σ - это дисперсия, D_x, D_y, D_{d1}, D_{d2} характеризуют направления и интенсивность границ в блоке, A_T, B_T - частотные характеристики блока. Для сокращения времени вычислений предложен метод оптимального распределения блоков

по вычислительным процессорам, основанный на оценке визуальной сложности блока. Предложено на каждом из процессоров осуществлять кодирование блоков с помощью четырех методов кодирования: кодирование средним, двухцветное кодирование с помощью среднего и дисперсии, с помощью 4-х цветной палитры, с помощью 8-х цветной палитры. Предложен метод построения оптимальной палитры для блока, основанный на минимизации количества нулевых интервалов в гистограмме блока. Предложенный метод кодирования описан в работах [7,11].

В разделе 2.3 предложен метод интерполяции для системы визуализации. Он используется для решения двух задач:

1. Интерполяция данных при построении изображений.
2. Увеличение разрешения изображений после построения, чтобы сократить время построения изображения.

В применении к системе визуализации необходим метод интерполяции с малой вычислительной сложностью и высоким визуальным качеством, сохраняющим детали изображения. Предложен специализированный метод интерполяции, основанный на вейвлетах и триангуляции, позволяющий сохранять визуальные особенности изображений, получаемых при научной визуализации. Алгоритм состоит из двух шагов:

1. Определяется тип интерполяции для пикселя;
2. Проводится интерполяция значений пикселей с учетом выбранного типа.

Тип интерполяции определяется из оценки направления и интенсивности границ в окрестности пикселя и частотной характеристики окрестности пикселя $I_T(j,j)$, которая определяется следующим образом:

$$w(T, k, l) = I_T(i+k, j+l) - \frac{1}{2} \sum_{h \in \{-1,1\}} I_T(i+k, j+l+h) + \frac{1}{2} \sum_{h \in \{-1,1\}} I_T(i+k+h, j+l) +$$

$$\frac{1}{4} \sum_{h \in \{-1,1\}} I_T(i+k-1, j+l+h) + \frac{1}{4} \sum_{h \in \{-1,1\}} I_T(i+k+1, j+l+h)$$

$$W_{HH} = \max_{T \in \{R, G, B\}} \max_{\substack{k=-1..1 \\ l=-1..1}} |w(T, k, l)|$$

где (i,j) – координаты текущего пикселя, T – значение цветового канала.

Если значение параметра W_{HH} выше порогового, то в области применяется бикубическая интерполяции, которая позволяет сохранить частотные характеристики области, иначе предложено использовать интерполяцию третьего порядка, где коэффициенты кривой интерполяции определяются в соответствии с типом триангуляции, определяемым из направления и интенсивности границ в области.

В разделе 2.4 для системы визуализации предложен метод улучшения

визуального качества изображений, который осуществляет сглаживание ступенчатых границ, получаемых при построении изображения. Предложен быстрый алгоритм поиска и сглаживания таких границ, который может быть эффективно распараллелен. В работе предложена математическая модель распределения цветов для областей изображения со ступенчатыми границами. В соответствии с этой моделью предложены необходимые и достаточные условия, позволяющие выделить такие области на изображении. Распараллеливание осуществляется путем разделения изображения на полосы и раздельной обработки частей изображения на процессорах. Предложенный метод описан в работах [9,10,12].

В разделе 2.5 описаны основные результаты главы.

Предложенная система визуализации была реализована для массивно-параллельной вычислительной системы Blue Gene/P. В третьей главе анализируется эффективность разработанной системы визуализации на ряде прикладных задач, решаемых на вычислителе Blue Gene /P: задаче молекулярной динамики, задаче моделирования коммуникаций в сетях 3D-тор, задаче распознавания лиц.

В разделе 3.1 описан **Эксперимент 1** «Визуализация молекулярной динамики». Эксперимент был проведен на данных, получаемых при моделировании молекулярных переключателей. Моделирование выполнялось с использованием кода CPMD. Общий объем данных эксперимента составил около 200Gb. Время, требующееся для проведения одного эксперимента, составляет около 20 часов.

Визуализация данных проводилась как в режиме постобработки, так и в режиме совмещения со счетом, что позволило существенно ускорить процесс подбора оптимальных параметров для решения задачи моделирования переключения. Предложенная система визуализации позволила ускорить эксперимент за счет отображения динамики переходов одновременно с характеристиками изменения электронной плотности. Это достигается за счет предусмотренной в системе визуализации возможности отображать несколько структур данных разной природы одновременно. Подробно эксперимент описан в работе [6].

Использование предложенной системы визуализации оказалось существенно удобнее используемых ранее инструментов визуализации, т.к. позволило осуществить интеграцию программы счета и программы визуализации на Blue Gene/P. Это позволило отказаться от сохранения и передачи большого объема информации, которая требовалась ранее, а это в свою очередь существенно ускорило эксперимент и оптимизацию параметров модели.

На этом примере показана масштабируемость полученного решения. Получено четырехкратное уменьшение времени построения изображения за счет применения алгоритма интерполяции. Достигнуто десятикратное сжатие изображений при сохранении качества без визуальных потерь.

В разделе 3.2 описан Эксперимент 2 «Визуализация результатов моделирования коммуникационной сети с топологией 3D-тор». Рассмотрены вычислительные эксперименты для маршрутизации пакетов в сети с топологией 3D-тор 8x8x8 и сбора статистики равномерности загрузки процессоров, соединенных сетью 3D-тор. В качестве основного теста использовался тест «равномерный случайный трафик», который моделирует коммуникационный шаблон теста GUPS.

Для проведения эксперимента требовалось визуализировать данные в трехмерном представлении, при этом необходимо было осуществлять визуализацию загрузки в процессе эксперимента с использованием разработанных библиотечных функций. Использование визуализации, встроенной в программу счета, позволило существенно сократить объем сохраняемой информации и уменьшить шумы в эксперименте. Применение предложенной системы визуализации в задаче описано в работе [14].

В разделе 3.3 описан Эксперимент 3 «Визуализация в задаче поиска собственных лиц в биометрии». В задаче построения собственных лиц для распознавания лица решается подзадача построения собственных фильтров, получаемых в результате самоорганизации на базе данных изображений лиц. Объем данных для каждого изображения в базе данных около 50Mb. Общий объем данных составляет 50Gb. Задача подробно описана в работах [8,13].

Визуализация осуществлялась в режиме постобработки. Основное требование к системе визуализации было сохранение деталей изображений, т.к. получаемые значения имели различную частотную характеристику, и анализ именно высокочастотных компонент представлял интерес. В этом случае эффективным оказалось использование предложенного алгоритма интерполяции, который хорошо восстанавливает высокочастотные области изображений. Предложенный алгоритм сжатия, осуществляя кодирование без визуальных потерь, позволил сохранять мелкие детали изображений при сжатии видео и передаче его на локальную машину пользователя. Использование разработанной системы визуализации для решения рассмотренной задачи позволило осуществить трехмерную визуализацию для этого эксперимента, а также использовать расширенный диапазон представления.

На Рис.5 показаны примеры использования предложенной системы визуализации.

В разделе 3.4 описаны основные результаты главы.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

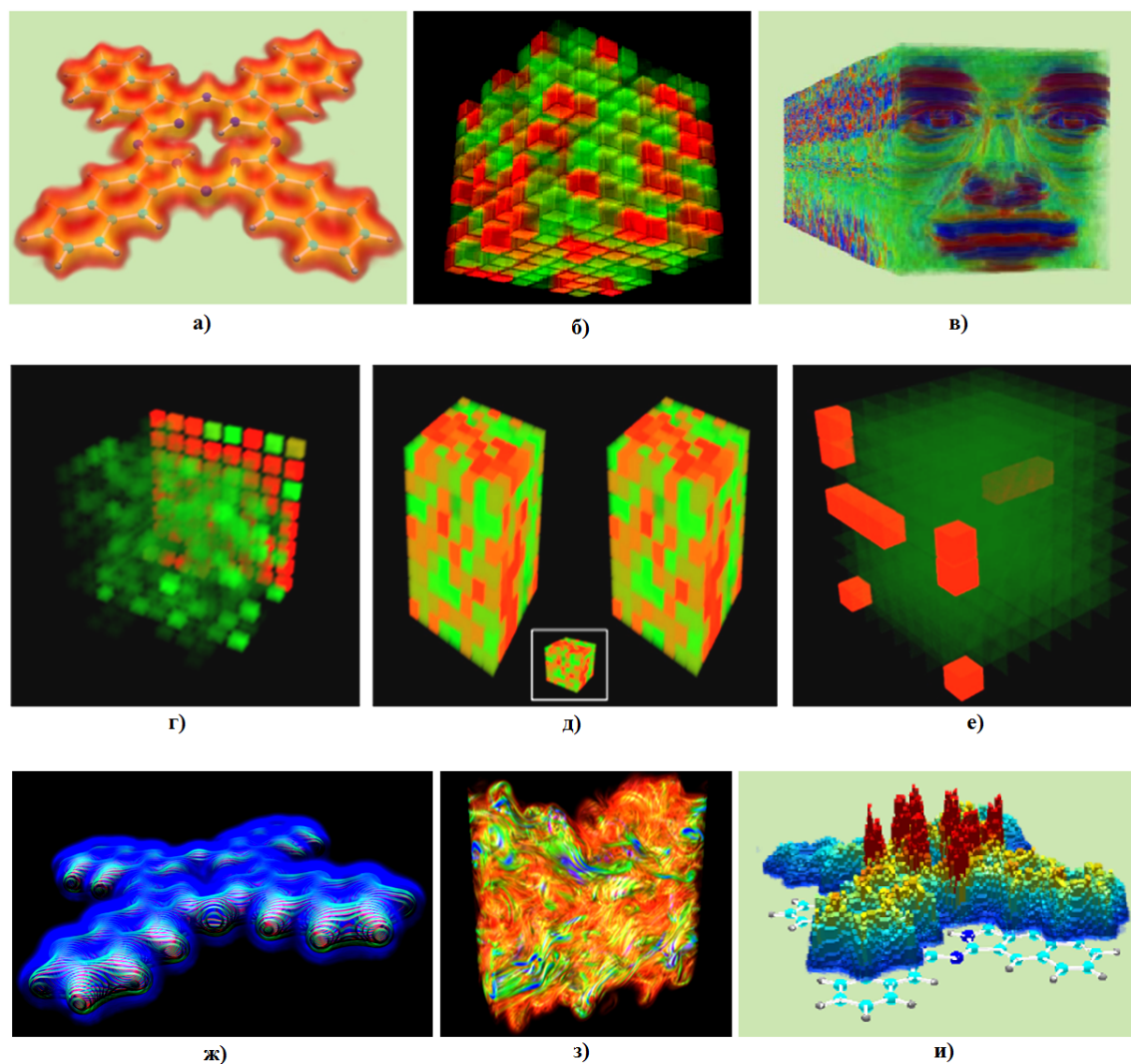


Рис.5 Примеры использования предложенной системы визуализации: а) визуализация молекулярной динамики: структура молекулы и изоповерхностей б) визуализация моделирования коммуникационной сети: загрузка процессоров в решетке 3D-тор 8x8x8; в) визуализация для задачи биометрии; г) визуализация моделирования коммуникационной сети: инициализация модели; д) визуализация моделирования коммуникационной сети: пример стерео изображения; е) визуализация моделирования коммуникационной сети: маршрутизация пакетов; ж) визуализация молекулярной динамики: изолинии в электронной плотности; з) визуализация турбулентного горения; и) визуализация молекулярной динамики: значения электронной плотности на срезе.

Основные результаты работы

1. Предложена и исследована функциональная схема системы визуализации результатов научных расчетов для массивно-параллельных вычислительных систем. Система предоставляет возможность выполнения визуализации как в процессе работы параллельных прикладных программ, так и после их завершения. Система поддерживает работу с данными большого объема, обеспечивает построение высококачественных изображений.

2. Разработана структура программного комплекса, предложены методы организации данных и методы построения изображений для системы визуализации, учитывающие особенности организации массивно-параллельных вычислительных систем.

3. Предложены и исследованы новые параллельные методы обработки изображений и видео для системы визуализации: метод адаптивной интерполяции для построения кадра; метод улучшения визуального качества построенного изображения; метод многопоточного сжатия видео с оптимизацией загрузки процессоров.

4. Реализована система визуализации для массивно-параллельной системы Blue Gene/P. Исследована эффективность разработанных параллельных алгоритмов на примере решения задачи моделирования молекулярных переключателей, задачи моделирования коммуникационной сети и задачи распознавания лиц. Предложенные параллельные алгоритмы позволили в среднем в четыре раза сократить время построения изображения и получить без потери визуального качества десятикратное сжатие видеопоследовательности для рассмотренных примеров.

Публикации

- [1] Dzhosan O.V., Popova N.N., Korzh A.A. Hierarchical Visualization System for High Performance Computing // pros. conf. ParCo 2009, France, Lyon, 2009
- [2] Джосан О.В., Попова Н.Н. Параллельная визуализация для высокопроизводительной системы обработки данных на суперкомпьютере BlueGene /Р // тезисы конференции «Методы и средства обработки информации», Россия, Москва, 2009
- [3] Джосан О.В., Попова Н.Н. Система визуальной поддержки высокопроизводительных вычислений // тезисы конференции «Научный сервис в сети Интернет», Россия, Новороссийск, 2008
- [4] Джосан О.В. О визуализации научных данных для высокопроизводительных параллельных приложений // тезисы конференции ПАВТ 2009, Россия, Нижний Новгород, 2009
- [5] Джосан О.В., Попова Н.Н., Мурынин А.Б. Метод визуализации многомерных динамических данных на многопроцессорных комплексах // журнал "Вестник компьютерных и информационных технологий", №8, 2009, сс.8-12
- [6] Джосан О.В., Попова Н.Н., Шумкин Г.Н. Методы визуальной поддержки для задач молекулярного моделирования на суперкомпьютере Blue Gene /Р // тезисы конференции «Научный сервис в сети Интернет», Россия, Новороссийск, 2009
- [7] Мишуровский М.Н., Джосан О.В., Рычагов М.Н. Способ компактного представления цветных цифровых изображений, предназначенный для применения в системах цифровой обработки видеосигналов в реальном времени // тезисы конференции «Телевидение: передача и обработка изображений», Россия, С.-Петербург, 2009
- [8] Базанов П.В., Джосан О.В. Выделение информативных признаков на изображении лица в задаче идентификации человека // Сибирский журнал вычислительной математики, том. 9, №3, 2006, с. 207-214
- [9] Джосан О.В. Мурынин А.Б. Метод улучшения границ на изображении // журнал «Труды ИСА РАН: динамика неоднородных систем», том 29(1), № 11, 2007, сс. 211-218
- [10] Джосан О.В. Метод коррекции ступенчатых границ на изображении // тезисы конференции «Телевидение: передача и обработка изображений», Россия, Санкт-Петербург, 2008
- [11] Джосан О.В., Мишуровский М.Н. Анализ методов сжатия цифровых цветных изображений без визуальных потерь // тезисы конференции «Телевидение: передача и обработка изображений», Россия, Санкт-Петербург, 2008
- [12] Джосан О.В., Воробьев Е.В. Способ определения и сглаживания краев на

телевизионном изображении // патент RU 2336564, приоритет 2007.01.19, опубликован 20.10.2008, бюл. № 29

[13] Базанов П.В., Джосан О.В. Методы выделения черт лица в задаче распознавания лиц // тезисы конференции Графикон-2005, Россия, Новосибирск, 2005

[14] Корж А.А., Джосан О.В. Организация коммуникационной сети для транспетафлопсных суперкомпьютеров // журнал «Труды ИСА РАН: динамика неоднородных систем», том 32(3), 2008, сс. 267-274