

# **ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ СТРАТЕГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ**

**Джосан О.В.**

**МГУ имени М.В. Ломоносова**

**ПАВТ \* МГУ \* 2011**

# VOLUME RENDERING

- Метод объемного построения изображений (volume rendering) – это наиболее распространенный подход к визуализации трехмерных данных большого объема, которые получаются в результате крупномасштабного моделирования на суперкомпьютерах.



# МЕТОДЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Существующие алгоритмы традиционно разделяются на три типа по этапу, на котором происходит обмен распределенными данными: `sort-first`, `sort-middle`, `sort-last`.
- Существует ряд программных продуктов, которые поддерживают параллельное построение изображений, в частности можно выделить системы `VisIt` и `ParaView` с ядром параллельного построения изображений `IceT`.
- Однако существующие системы не обеспечивают достаточной скорости работы для построения высококачественных изображений и видео в реальном времени.
- В данной работе рассмотрены только алгоритмы, относящиеся к классу `sort-last`, в которых каждый процессор визуализирует свою часть данных, и далее осуществляется только обмен изображениями для построения итогового изображения.



# АЛГОРИТМЫ КЛАССА SORT-LAST

- Алгоритмы класса sort-last включают в себя два шага: шаг построения изображения (image rendering) и шаг компоновки изображения (image compositing).
- На первом шаге каждый процессор строит свою часть изображения по части данных, которая была получена на нем при вычислениях.
- Затем на втором шаге из полученных изображений формируется итоговая картинка.
- В данной работе детально проанализированы стратегии, применяемые на шаге компоновки изображения для уменьшения времени работы и объема пересылаемых данных.



# МЕТОДЫ КОМПОНОВКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

- Последовательный (пересылка всех данных на один процессор)
- Использование топологии виртуального дерева (virtual tree) для пересылки, что позволяет сократить общее время пересылки данных.
- Метод бинарных обменов (binary swap). Идея алгоритма заключается в пересылке не целого изображения, а только его части.
- Еще одним принципиальным подходом к организации обменов стал сценарий параллельного конвейера (parallel pipelined).
- Существенная модификация конвейерного алгоритма, названная циклическим разделением (rotate tiling), которая перенаправляет обмены, сокращая количество пересылок.
- В настоящее время алгоритмы компоновки изображений развиваются в двух направлениях: 1) применение гибридных подходов, 2) пересылка только значимых пикселей изображения.



# НЕДОСТАТКИ МЕТОДОВ

- Выбор методов параллельной компоновки изображений достаточно широк.
- Методы с выделением значимых пикселей сталкиваются с проблемой балансировки загрузки, т.к. в этом случае она должна быть динамической, а это означает применение весьма вычислительно сложных алгоритмов.
- Гибридные модели алгоритмов компоновки в большинстве случаев являются статическими и не могут быть динамически адаптированы под конкретную архитектуру или контекст задачи. Интерес представляет анализ обобщенных гибридных моделей и выделение в них параметров, которые в дальнейшем могут быть использованы для динамической адаптации.

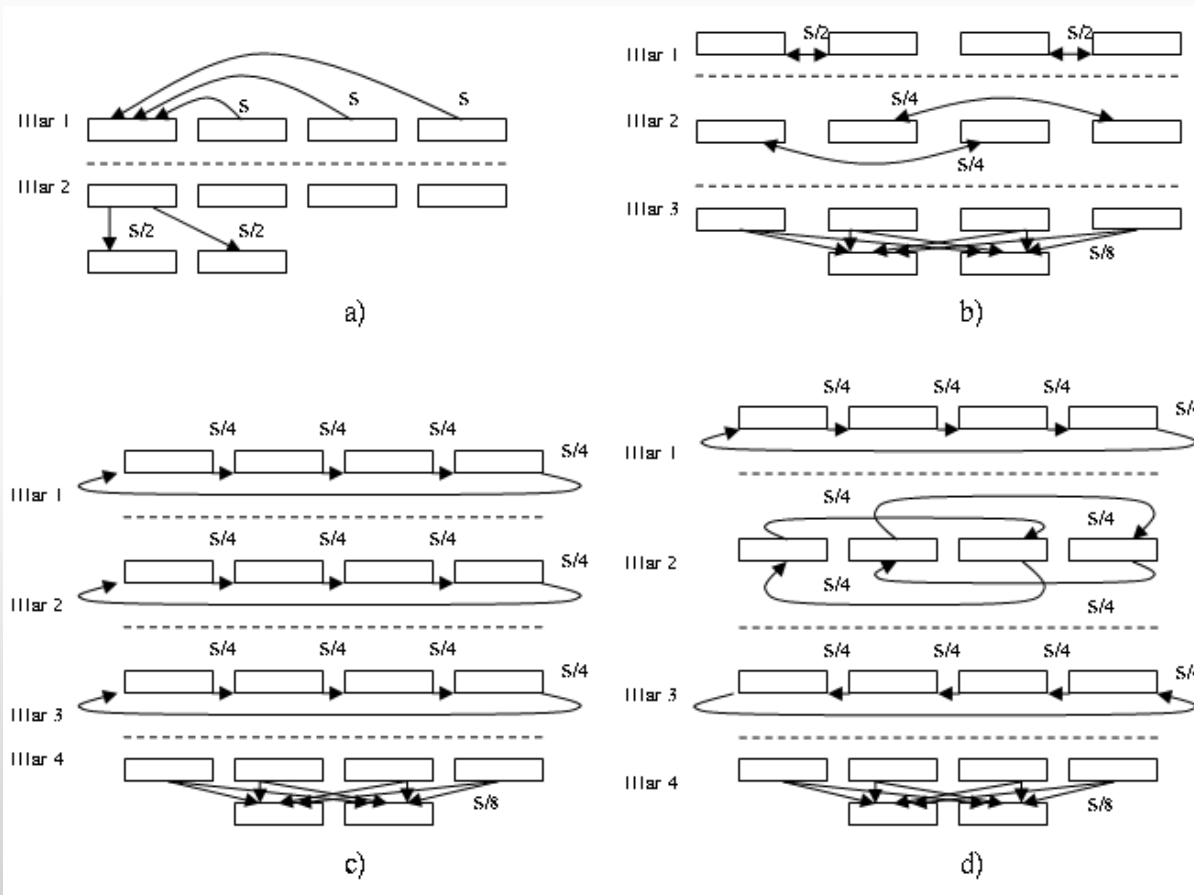


# ЗАДАЧА

- В данной работе рассмотрены теоретические и экспериментальные оценки вычислительной сложности различных методов компоновки изображения при параллельном построении.
- Оценки проводятся с учетом необходимости отображения на **мультидисплейном комплексе**, соответственно учитываю возможность совмещения компоновки изображения и распределения изображения между отображающими устройствами.



# МЕТОДЫ КОМПОНОВКИ ПРИ МУЛЬТИДИСПЛЕЙНОСТИ





# ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО МЕТОДА

- Пусть итоговое изображение, которое необходимо построить, имеет размер  $X \times Y$  пикселей. Соответственно площадь этого изображения  $S$  пикселей ( $S = X * Y$ ).  $N$  - количество процессоров, используемых для построения изображения.  $V_{\text{вх}}$  и  $V_{\text{исх}}$  – количество пикселей, которое может быть получено/отправлено процессоров в секунду (пропускная способность). Пусть  $V_{\text{вх}} = V_{\text{исх}} = V$ . Пусть мультидисплейный комплекс состоит из решетки  $p \times q$  дисплеев. Общее количество дисплеев –  $M = p * q$ . Пусть выполнено условие  $M < N$ .
- $V_{\text{SS}} = S * (N - 1) + S = S * N$
- $T_{\text{SS}} = S * N / V$



# ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ДЛЯ МЕТОДА БИНАРНЫХ ОБМЕНОВ И КОНВЕЙЕРНОГО МЕТОДА

$$T_{BS}' = \sum_{i=1}^{\log_2 N} \frac{S}{B * 2^i} = \frac{S}{B} \left( 1 - \frac{1}{N} \right); \quad V_{BS}' = \sum_{i=1}^{\log_2 N} \frac{S}{2^i} = S \left( 1 - \frac{1}{N} \right);$$

$$T_{BS} = \frac{S}{B} \left( 1 - \frac{1}{N} \right) + \frac{S}{BM} = \frac{S}{B} \left( 1 - \frac{1}{N} + \frac{1}{M} \right);$$

$$V_{BS} = S \left( 1 - \frac{1}{N} + \frac{1}{M} \right);$$

Оценки получены обобщением результата работы [1] для случая отображения на мультидисплейном комплексе

[1] Lin C.F., Liao S.K., Chung Y.C.

A rotate-tiling image compositing method for sort-last parallel volume rendering systems on distributed memory multicomputers

// Journal of Information Science and Engineering, pp.643-664, 2004.



# ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ДЛЯ МЕТОДА ЦИКЛИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

$$V_{RT} = S \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{\log_2 N} \left( 1 - \frac{1}{N} \right)^{i-1} * \frac{1}{2^{i-1}} - \frac{1}{N} + \frac{1}{M} \right);$$

$$T_{RT} = \frac{S}{B} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{\log_2 N} \left( 1 - \frac{1}{N} \right)^{i-1} * \frac{1}{2^{i-1}} - \frac{1}{N} + \frac{1}{M} \right);$$

Оценки получены обобщением результата работы [1] для случая отображения на мультidisплейном комплексе

[1] Lin C.F., Liao S.K., Chung Y.C.

A rotate-tiling image compositing method for sort-last parallel volume rendering systems on distributed memory multicomputers

// Journal of Information Science and Engineering, pp.643-664, 2004.

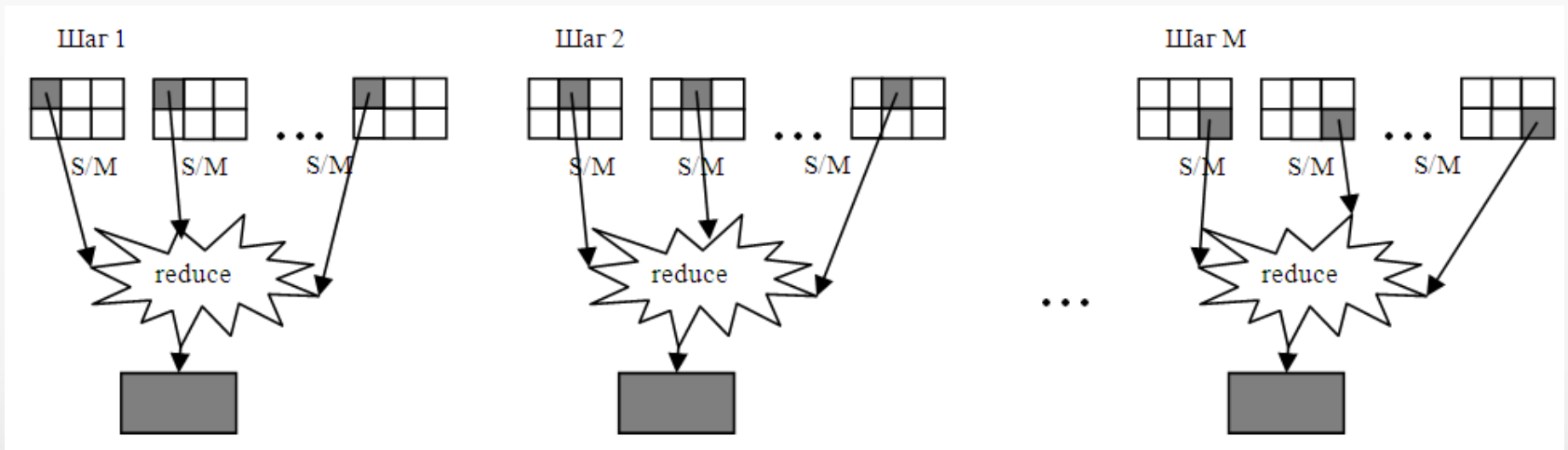


# ОПИСАНИЕ ГИБРИДНОЙ СТРАТЕГИИ СБОРКИ ДЛЯ МУЛЬТИДИСПЛЕЙНОГО КОМПЛЕКСА

- Стратегия гибридной сборки представляет собой объединение шагов компоновки изображения и распределения итогового изображения по процессорам для отображения на мультидисплейном комплексе.
- Возможно применение различных алгоритмов компоновки изображения при таком подходе. Однако различные стратегии будут давать различный результат при исполнении программы на различных параллельных архитектурах. Это связано с тем, что аппаратно не обеспечивается одинаковая скорость при коммуникации между различными процессорами.
- Для эффективной реализации параллельной компоновки изображения и его распределения возможно использование коллективных операций MPI, в частности операции reduce.



# ОПИСАНИЕ ГИБРИДНОЙ СТРАТЕГИИ СБОРКИ ДЛЯ МУЛЬТИДИСПЛЕЙНОГО КОМПЛЕКСА



- **Утверждение:** использование MPI-операции reduce для компоновки изображения для заданной параллельной архитектуры более эффективно (компоновка в среднем выполняется за меньшее время), чем использование любого регулярного алгоритма компоновки.

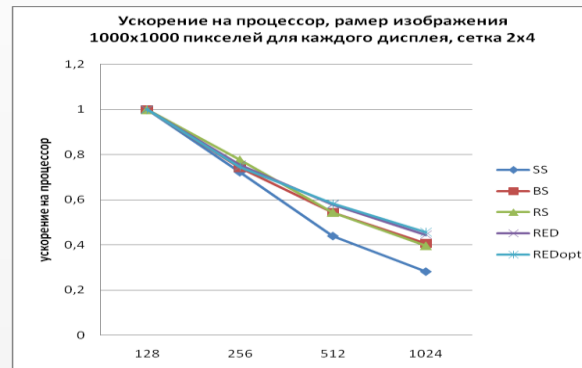
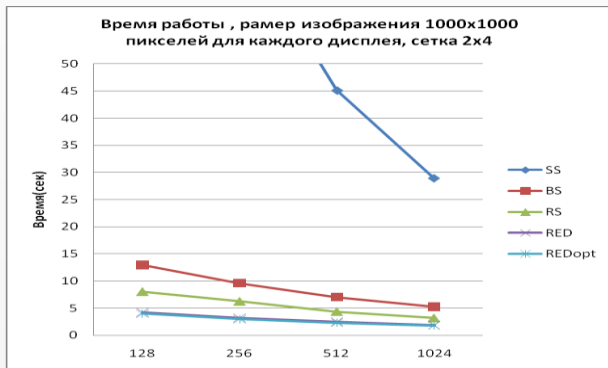


# ЭКСПЕРИМЕНТ

- Эксперимент проводился на суперкомпьютере Blue Gene/P МГУ. Получения экспериментальных оценок эффективности выполнения была использована реализация 5 методов:
  - последовательный (SS)
  - бинарных обменов (BS)
  - конвейерный метод (RS)
  - метод на основе reduce-вызовов (RED)
  - метод на основе reduce-вызовов с использованием оптимизации по данным (REDopt)
- Эксперимент проводился для визуализации данных молекулярной динамики для молекул с порядком атомов  $10^5$ . Однако в эксперименте оценивалось только время выполнения и эффективность компоновки изображения, поэтому входными данными алгоритма можно считать изображения в S пикселей, полученные на каждом процессоре, по данным, которые у него были.
- Проведены следующие эксперименты:
  - анализ времени выполнения на различном количестве процессоров при фиксированном размере изображения и фиксированной сетке мультидисплейного комплекса;
  - анализ времени выполнения при изменяющемся размере изображения;
  - анализ времени выполнения при изменяющейся сетке мультидисплейного комплекса.
- В экспериментах использовалось 128, 256, 512, 1024 процессора. Размер изображения менялся от 2000x2000, 1000x1000, 500x500 для каждого дисплея из мультидисплейного комплекса. Сетки мультидисплейного комплекса брались размером 2x2, 2x4 и 4x4.



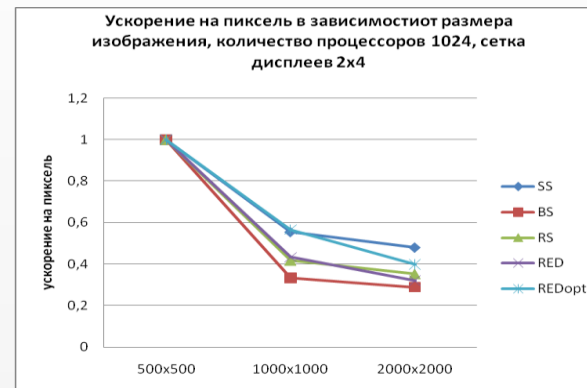
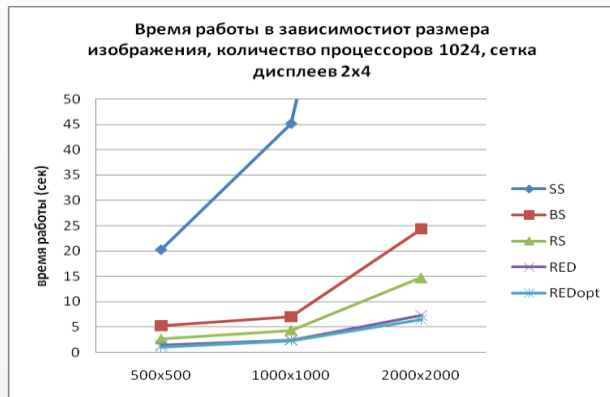
# РЕЗУЛЬТАТЫ



- Показан график времени работы методов при изменении количества процессоров. При этом фиксирован размер изображения для каждого дисплея 1000x1000 пикселей и сетка мультидисплейного комплекса: размер 2x4.
- Показано ускорение на процессор в этом же эксперименте. Как видно из графика, полученное решение довольно плохо масштабируемо и дает низкую эффективность при большом количестве процессоров. Однако предложенные методы RED и REDopt более эффективны, чем известные ранее методы.



# РЕЗУЛЬТАТЫ

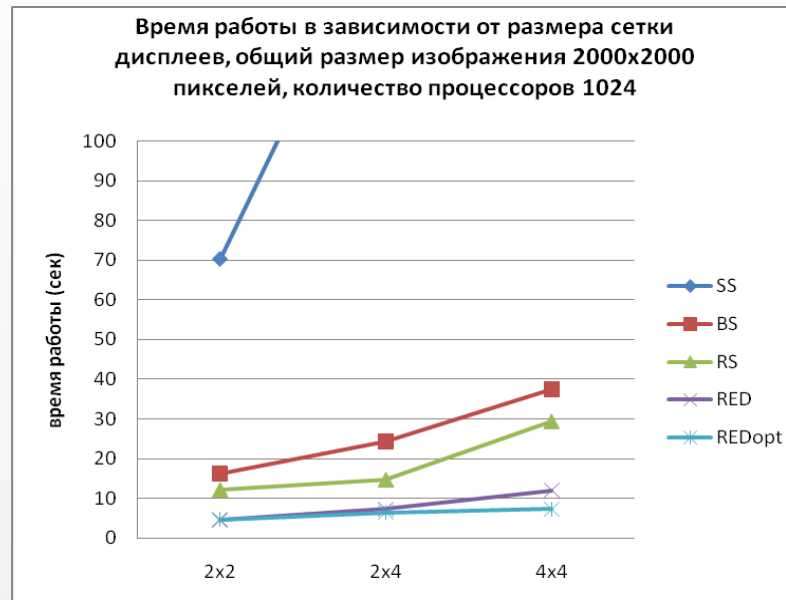


- Показано время работы методов при использовании различного размера изображения для каждого из дисплеев. При этом фиксировано количество процессоров – 1024 и сетка мультидисплейного комплекса 2x4.
- Показано ускорение на пиксель в зависимости от размера изображения. Использование в методе RED оптимизации по данным и сжатия передаваемых данных позволило существенно улучшить показатель по этому параметру.





# РЕЗУЛЬТАТЫ



- Показана зависимость времени работы метода от изменения сетки дисплеев. При этом фиксировано значение размера входного изображения 2000x2000 пикселей и количество используемых процессоров: 1024x1024. Как видно из графика оптимизация по данным позволила уменьшить время работы алгоритма RED на сетке из 16 дисплеев в два раза. Необходимо провести дополнительное исследование на сетке большей размерности и при большем общем размере изображения.



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В работе проведен анализ методов параллельной компоновки изображения при визуализации научных данных большого размера на суперкомпьютерах методом объемного построения изображений.
- Приводится теоретическая оценка сложности методов для случая, когда на выходе получается не одно изображение, а несколько для отображения на мультидисплейном комплексе.
- Предложен гибридный метод компоновки изображения, объединяющий стадии компоновки изображения и распределения изображения между несколькими экранами.
- Предложена оптимизация этого метода, позволяющая сократить размеры передаваемых данных и соответственно общее время работы метода.
- Проведено экспериментальное исследование эффективности предложенного метода и его оптимизации на суперкомпьютере Blue Gene/P.
- В дальнейших исследованиях предполагается совершенствование метода сжатия данных для ускорения работы программы, исследование масштабируемости предложенных методов на суперкомпьютере «Ломоносов» и оптимизация предложенных методов для этого суперкомпьютера.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

