

Разработка параллельного вычислительного комплекса для решения задач газовой динамики на вычислительных системах гибридной архитектуры

Климов М.И.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Меньшов И.С.

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша

При поддержке гранта РФФИ №14-01-31480-мол_а

Вычислительный эксперимент в аэроакустике 2014

Светлогорск, 2014

Вычислительная аэродинамика

Модель

- закон сохранения массы
- закон сохранения энергии
- закон сохранения импульса
- уравнения состояния
- ...

Дискретизация

- метод конечных разностей
- метод конечных объёмов
- метод конечных элементов

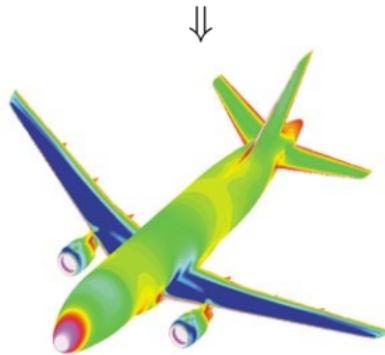


СЛАУ

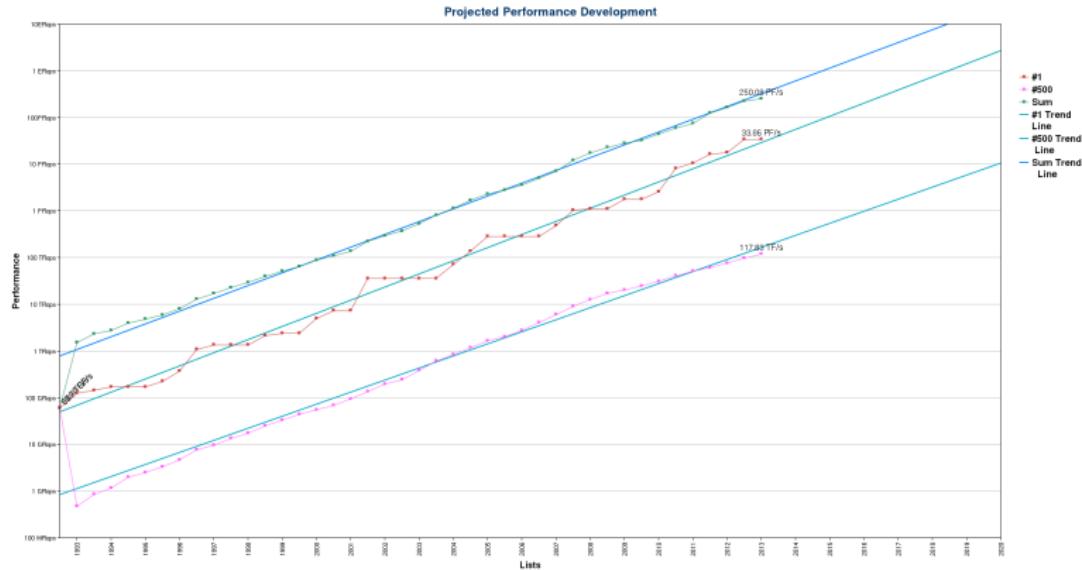
- $\rho = \rho(\vec{x}, t, \dots) \rightarrow \rho_n^m$
- $\vec{v} = \vec{v}(\vec{x}, t, \dots) \rightarrow \vec{v}_n^m$
- ...

Решение СЛАУ

- метод Якоби
- метод BiCG
- метод LU-SGS
- ...



Мотивация



*изображение с сайта www.top500.org

Параллельные технологии

- OpenMP
- CUDA
- OpenCL
- MPI
- pthreads
- ...

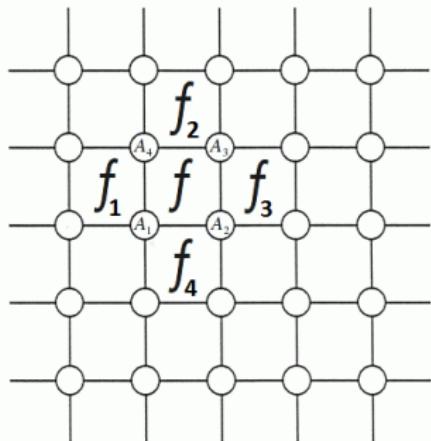
Параллельное программирование — сложно

- поддержка большого количества математических методов и физических моделей
- понятный интерфейс для разработчика решателей
- высокая эффективность
- высокая масштабируемость

- векторная форма определяющих уравнений дивергентного типа

$$\frac{\partial \vec{Q}}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{F} = \vec{H}$$

- сеточные методы
- связи первого уровня
- численные методы — итерационные, не требующие обращений глобальной матрицы



- получение вектора состояния расчетной ячейки
- получение геометрии расчетной ячейки
- сохранение вектора состояния расчетной ячейки
- . . . для соседних ячеек

Уровни

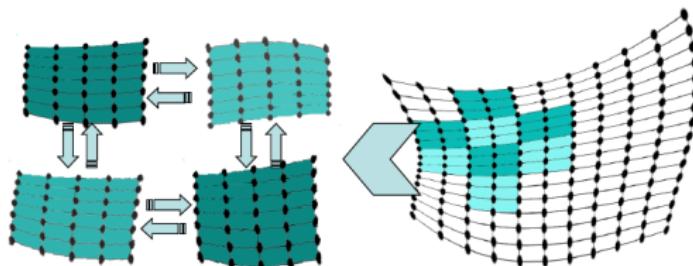
- 1 Межузловой параллелизм**
на уровне декомпозиции области.
- 2 Поэлементный параллелизм**
многопоточная параллелизация внутри узла.

1-й уровень параллелизма

Технологии

обмен сообщениями (MPI)

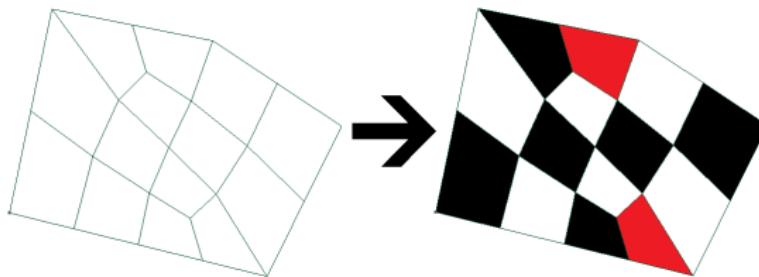
Каждый вычислительный объект (узел, ядро, видеокарта)
производит расчет в собственной отдельной подобласти



Технологии

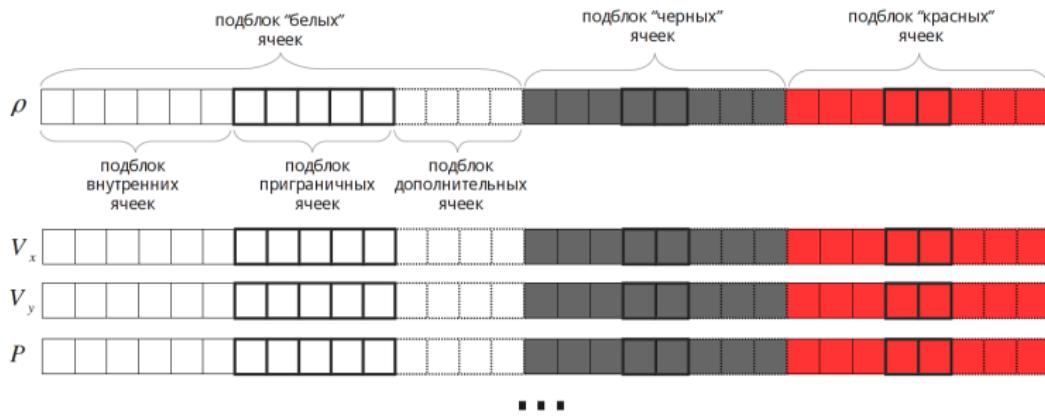
- CUDA
- OpenMP
- Intel Cilk Plus
- phtreads

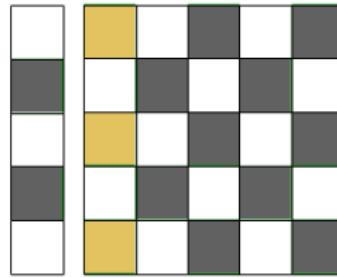
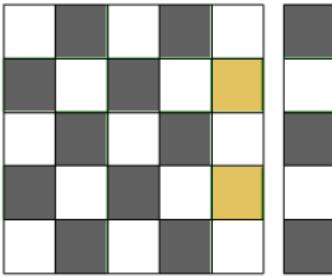
Основная идея — раскраска сетки для избежания коллизий при многопоточности



Структура памяти

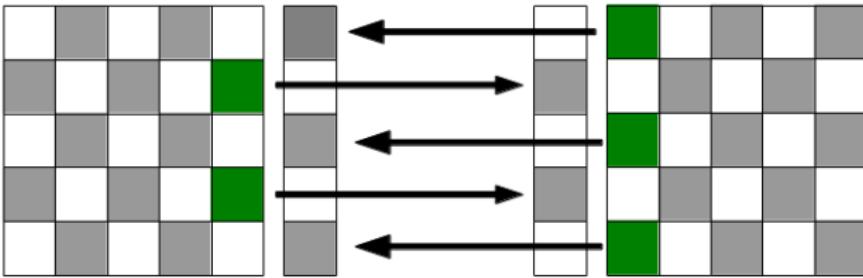
Структурное распределение памяти:





Шаг 1

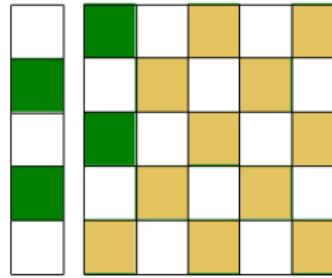
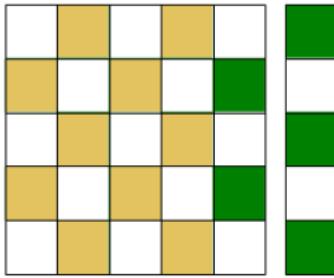
Расчет по границе выбранного цвета



Шаг 2

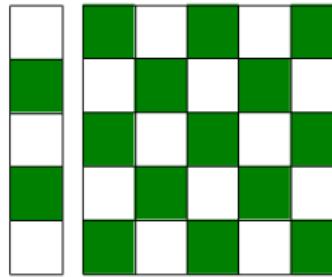
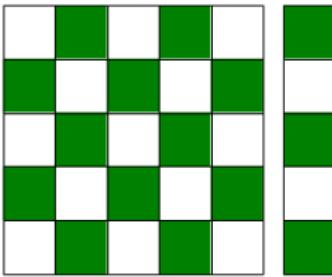
Асинхронная передача граничных ячеек

Расчетный цикл



Шаг 3

Расчет внутренних ячеек

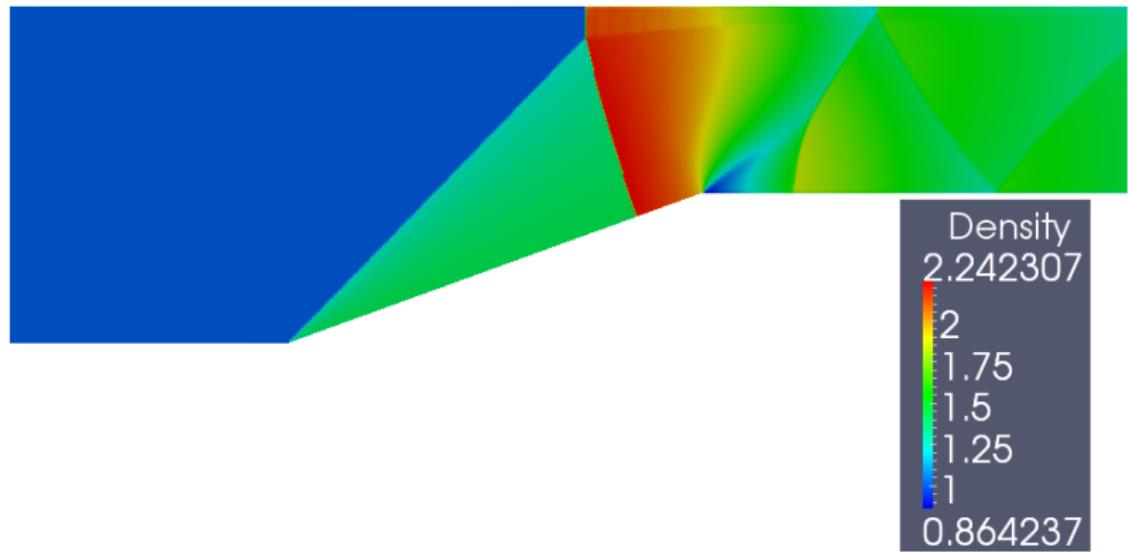


Шаг 4

Выбираем следующий цвет и повторяем Шаг 1-4

Результаты

Обтекание тела сверхзвуковым потоком воздуха



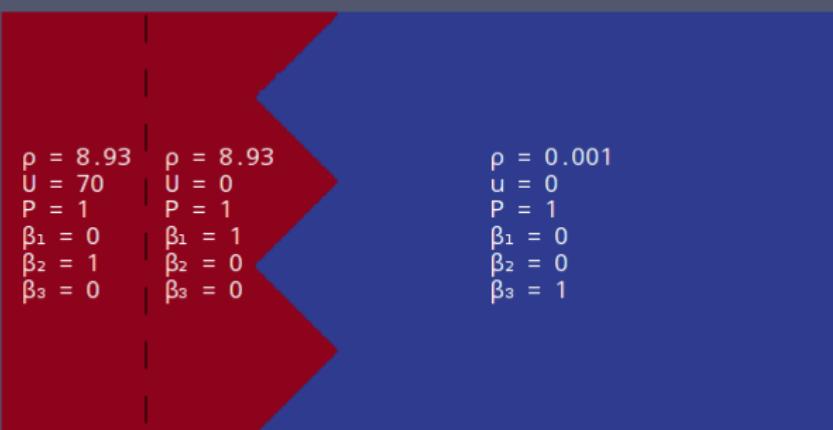
Результаты

Задача о схлопывании пузырька под действием ударной волны.

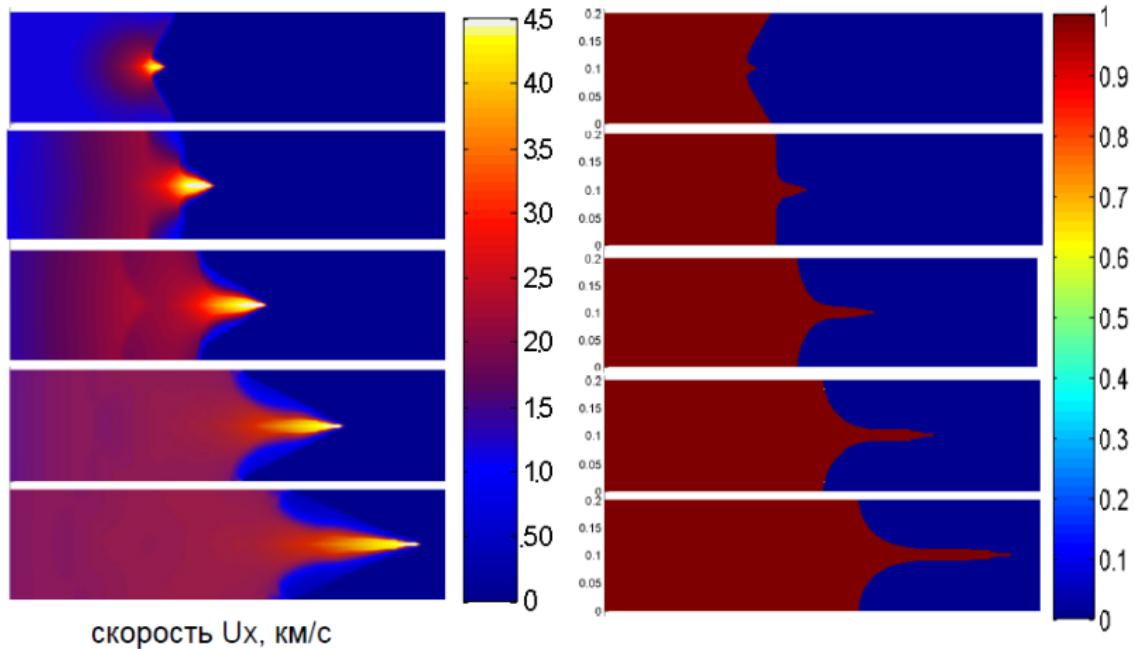
* расчеты проведены во ВНИИА им. Н.Л.Духова

Задача о кумулятивных струях.

Начальные распределения:

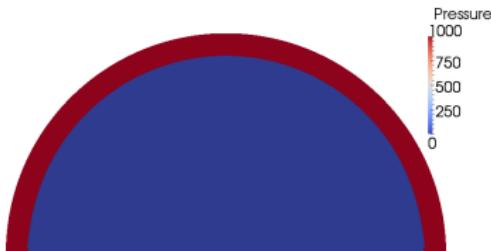
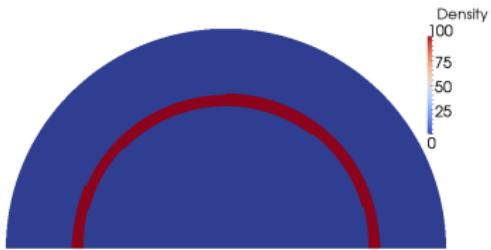


Результаты



Результаты

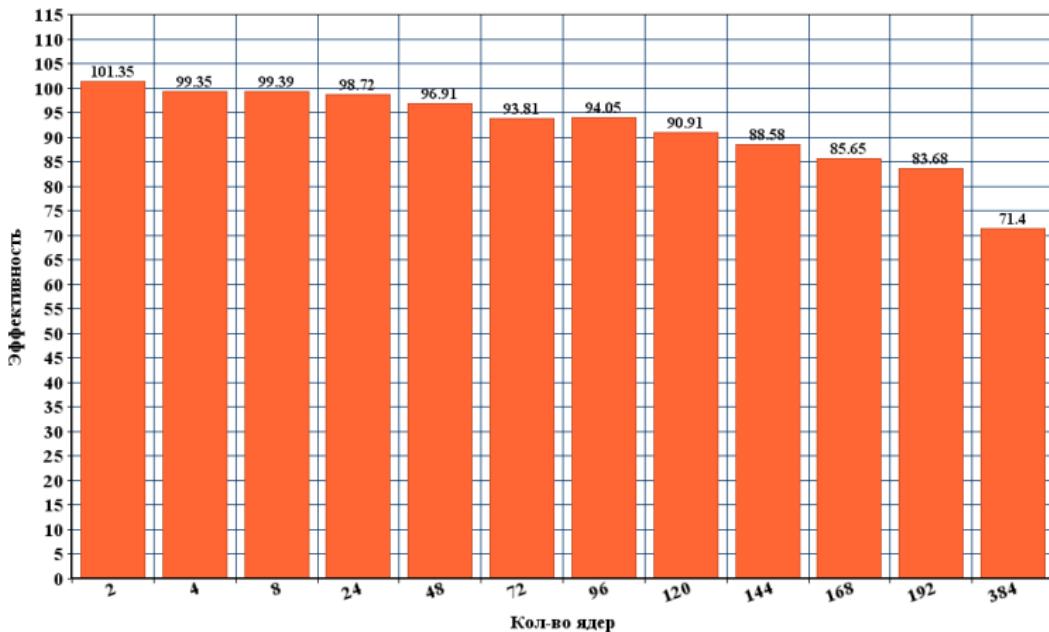
Задача о сжатии сферической оболочки.
Начальные распределения:



Результаты

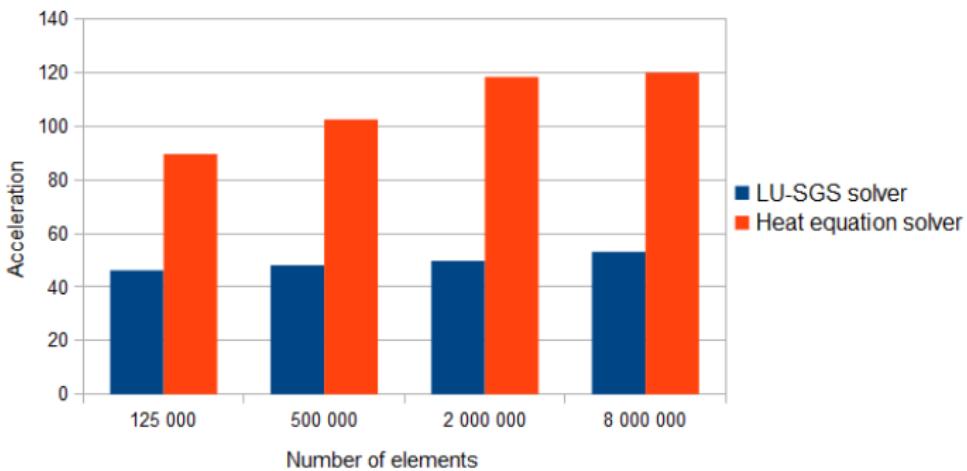
Эффективность

Эффективность



*180 000 элементов

Эффективность



*Nvidia GeForce GTX 480 против 1 ядра Intel Xeon E-1200

- 3D-решатели
- подвижные сетки
- multi-GPU

Спасибо за внимание!