



**Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН,
Москва**

Вычислительный эксперимент с алгоритмами параллельной декомпозиции больших сеток

**Е.Н. Головченко, Е.Ю. Дорофеева,
М.В. Якобовский, В.А. Гасилов**

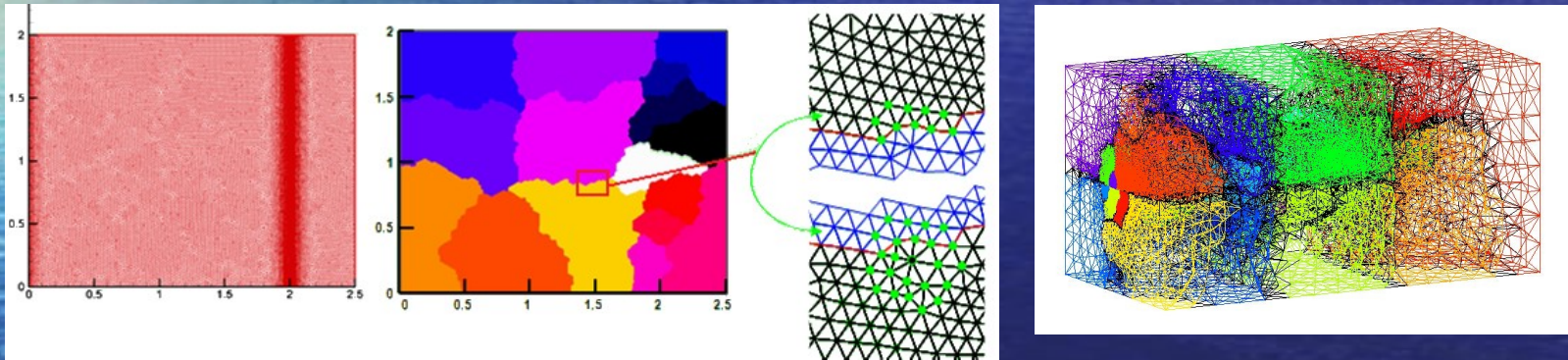
ge03@imamod.ru

Декомпозиция

- численное решение сеточных задач механики сплошных сред, электродинамики и др. на распределенных вычислительных системах



Геометрический параллелизм



Эффективность загрузки процессоров

равномерность
распределения сетки
по процессорам

минимизация
объема передач
данных между
процессорами

сбалансированное
разбиение сетки



разбиение
графа на
домены

Стандартная модель разбиения графа

$$G = (V, E)$$

- выравнивание суммарного веса вершин в доменах
- минимизация суммарного веса разрезанных ребер

Последовательные пакеты декомпозиции сеток

METIS, Jostle, Scotch, Chaco, Party

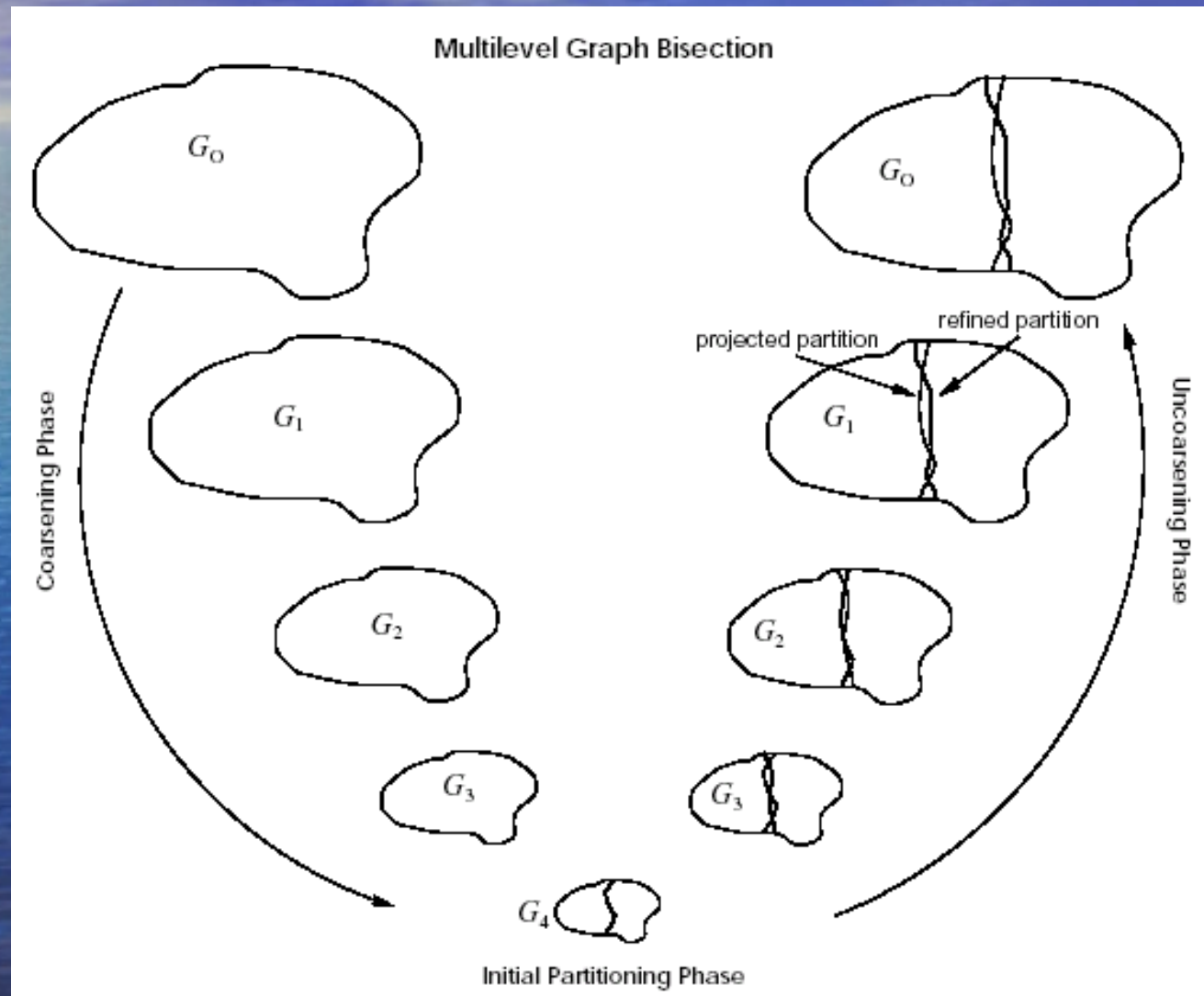
Параллельные пакеты декомпозиции сеток

ParMETIS, Jostle, PT-Scotch, Zoltan

Область исследования

- нерегулярные сетки, содержащие до 10^9 вершин

Иерархический алгоритм декомпозиции графов



Недостатки алгоритмов декомпозиции графов, реализованных в существующих пакетах

- образование несвязных доменов
- формирование сильно несбалансированных разбиений

(ParMETIS: числа вершин в доменах могут отличаться в 2 раза)

Инкрементный алгоритм декомпозиции графов

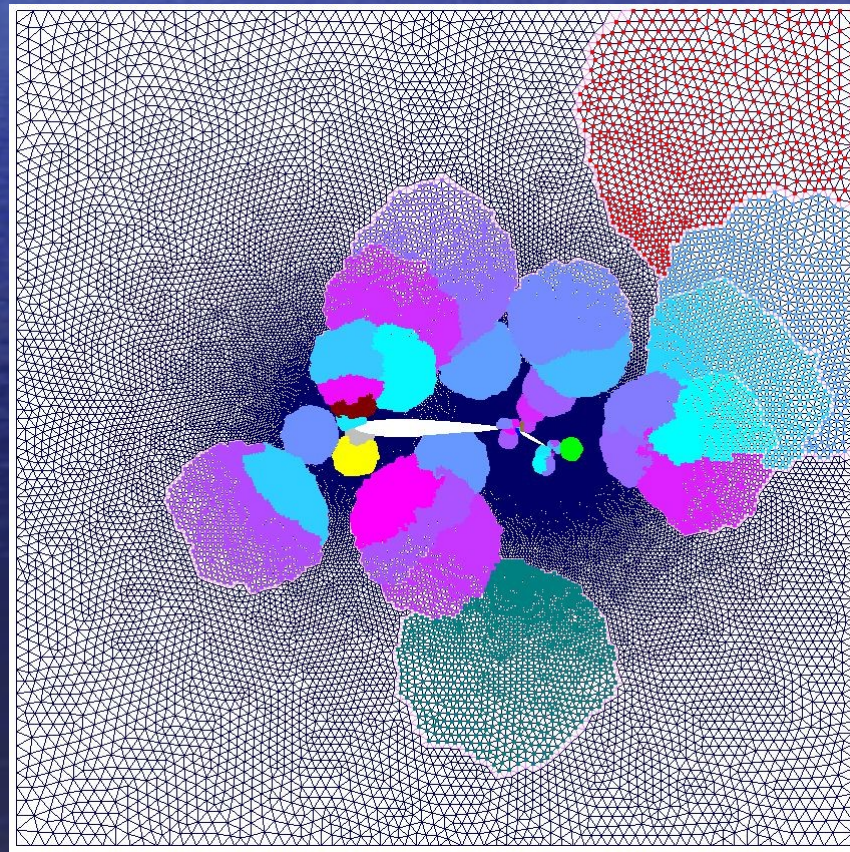
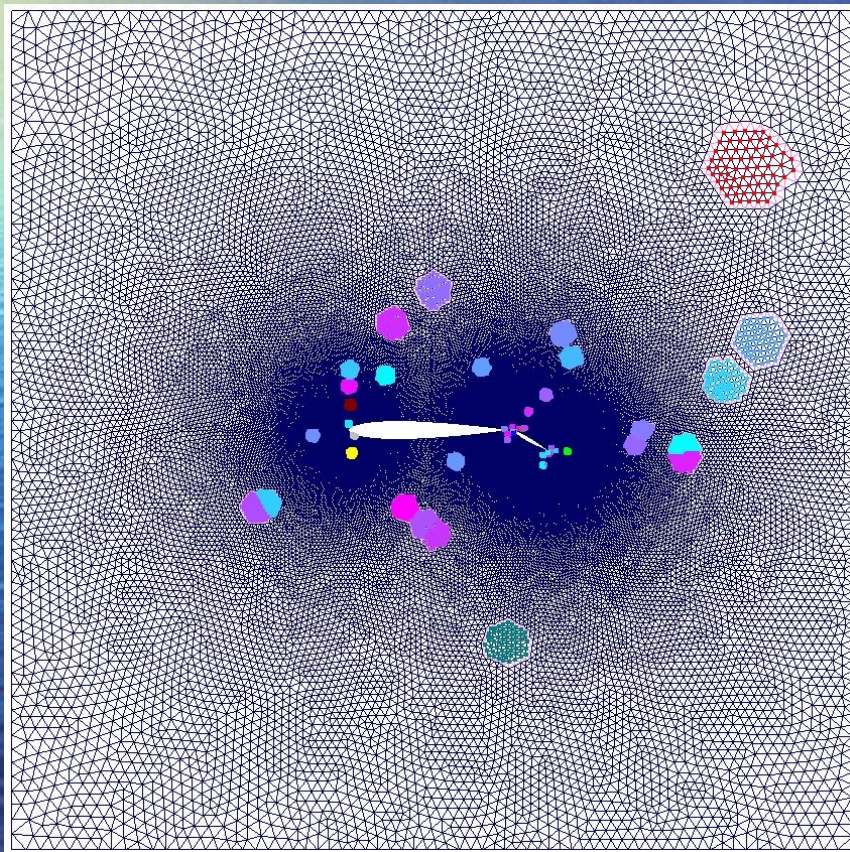
(Якобовский М.В., ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, 2004 г.)

- формирование связных доменов

Инкрементный алгоритм декомпозиции графов

(Якобовский М.В., ИПМ им. М.В.Келдыша РАН)

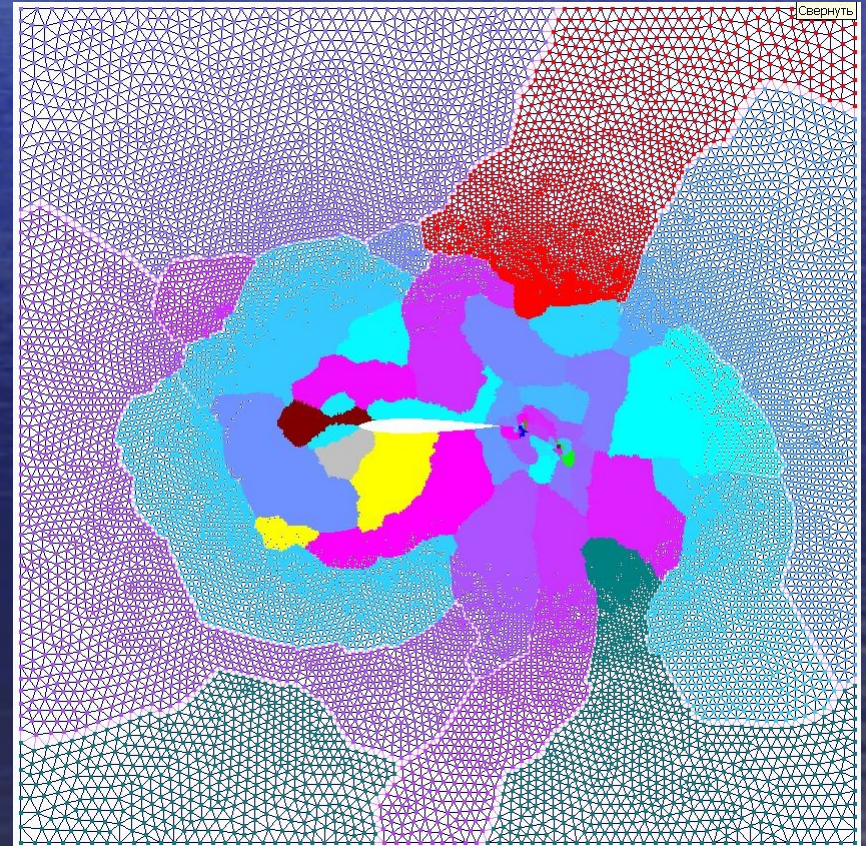
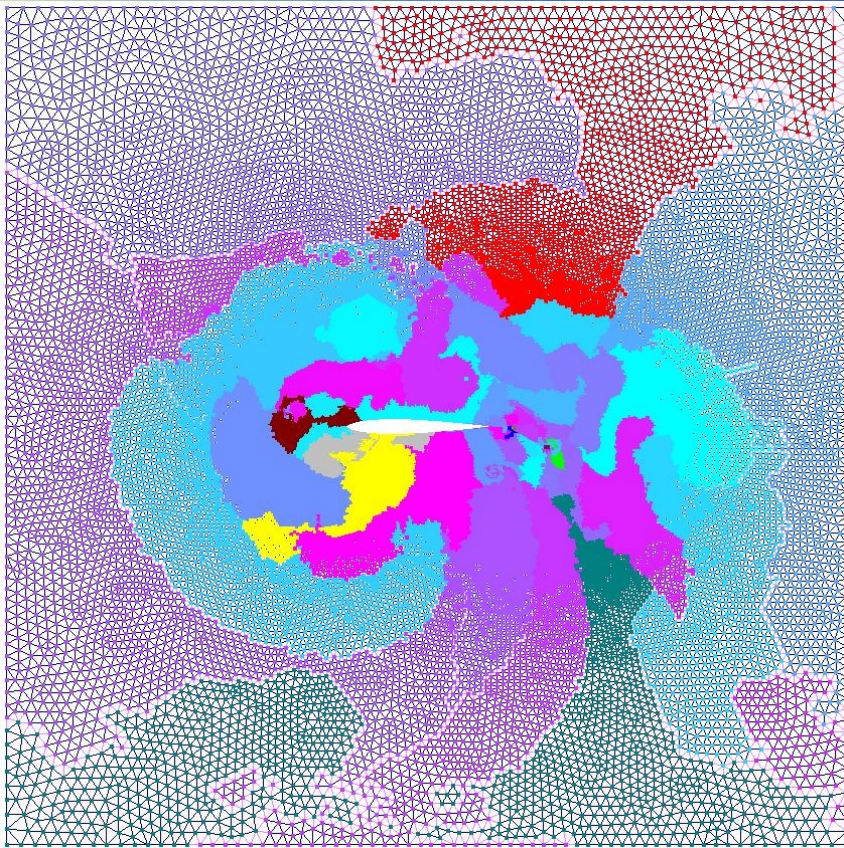
- инкрементный рост доменов



сетка вокруг крыла самолета с закрылком

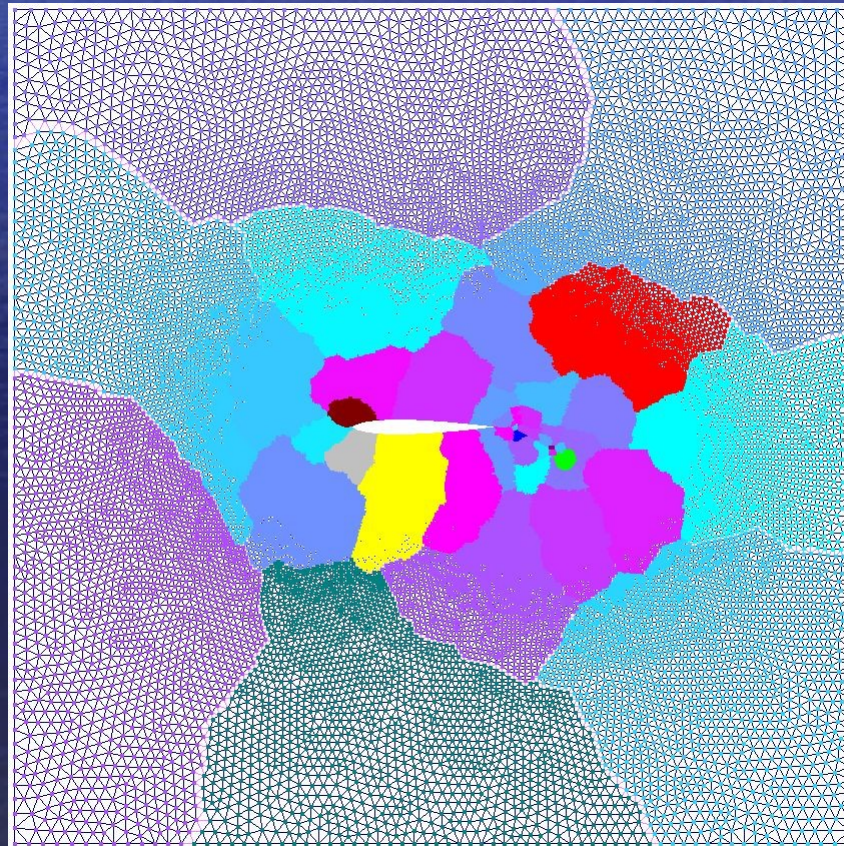
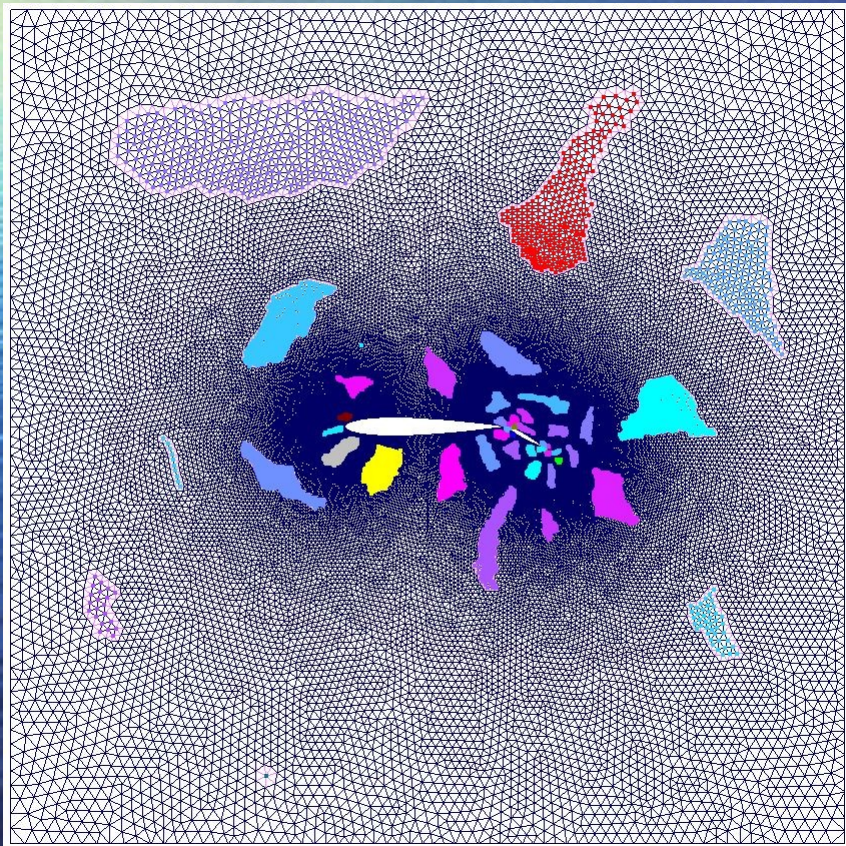
Инкрементный алгоритм

- диффузное перераспределение вершин между доменами
- локальное уточнение доменов



Инкрементный алгоритм

- проверка качества доменов
- освобождение части вершин плохих доменов
- результирующее разбиение



Инкрементный алгоритм декомпозиции графов: Отличия

- не основывается на иерархическом подходе
- наиболее близки алгоритм пузырькового роста и диффузионные алгоритмы
- алгоритм пузырькового роста не гарантирует получение сбалансированного разбиения
- отличие от диффузионных алгоритмов: освобождение части вершин плохих доменов и последующий рост доменов
- новый критерий оценки качества доменов (связность оболочек)

Цели

- робастные алгоритмы, позволяющие разбивать нерегулярные сетки, содержащие до 10^9 вершин
- получение сбалансированных разбиений
- связные домены
- минимизация веса разрезанных ребер

Комплекс программ параллельной декомпозиции сеток GRIDSPIDERPAR

- параллельный алгоритм геометрической декомпозиции сеток
- параллельный инкрементный алгоритм декомпозиции графов

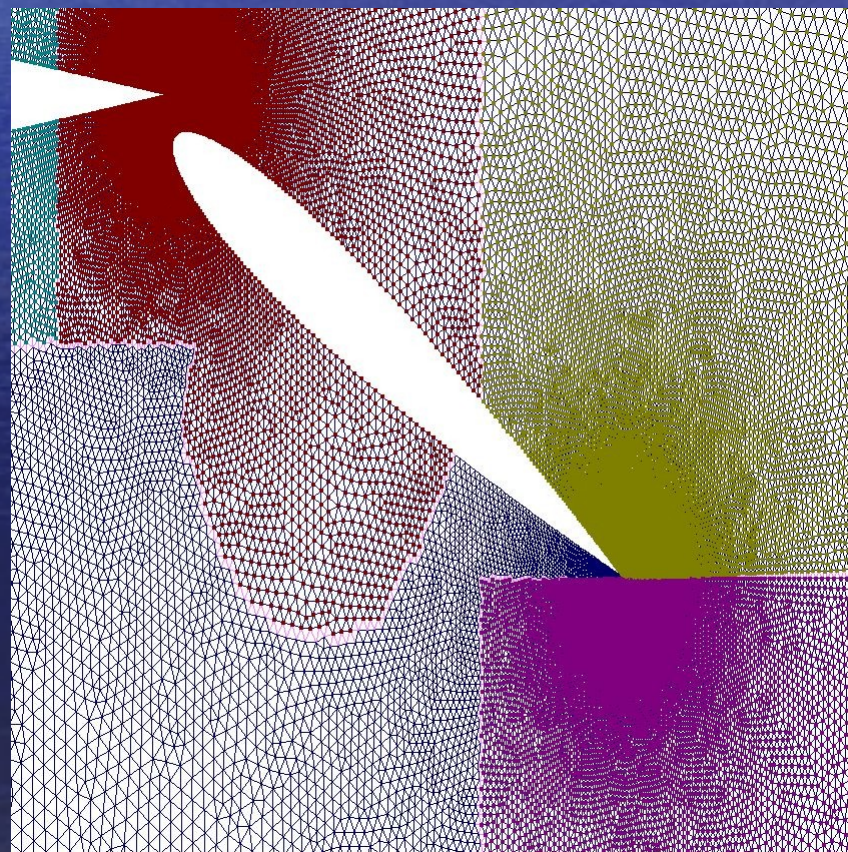
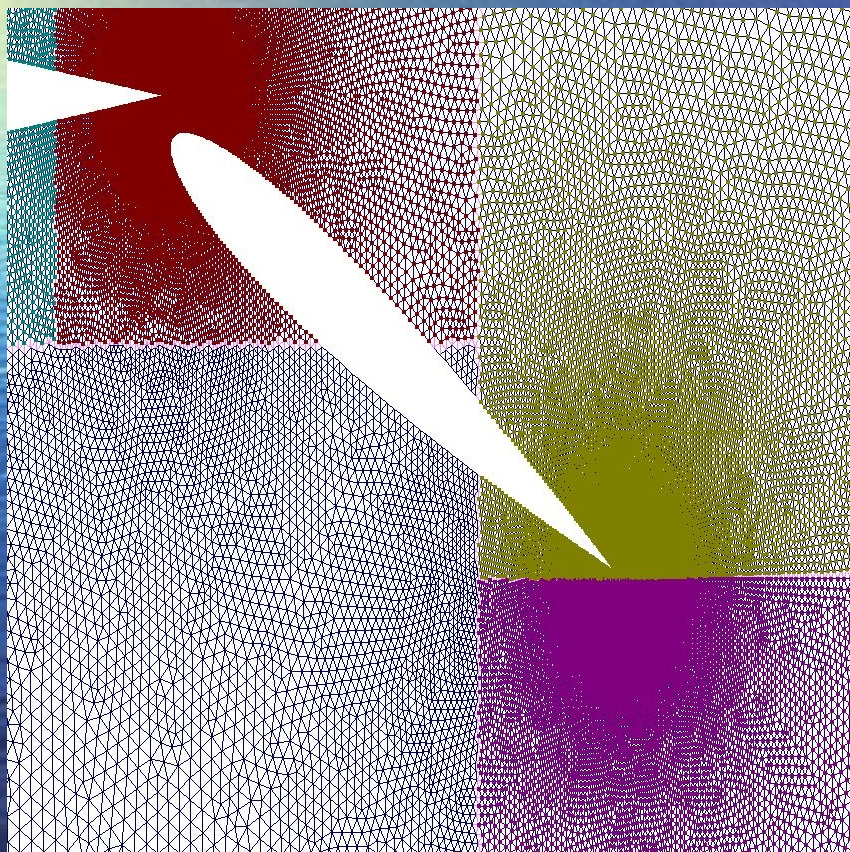
при считывании данных используется библиотека распределенного хранения и обработки тетраэдральных сеток (Суков С.А., ИПМ им. М.В.Келдыша РАН)

используется распределенная сортировка данных (<http://lira.imamod.ru/FondProgramm/Sort/>)

Параллельный инкрементный алгоритм

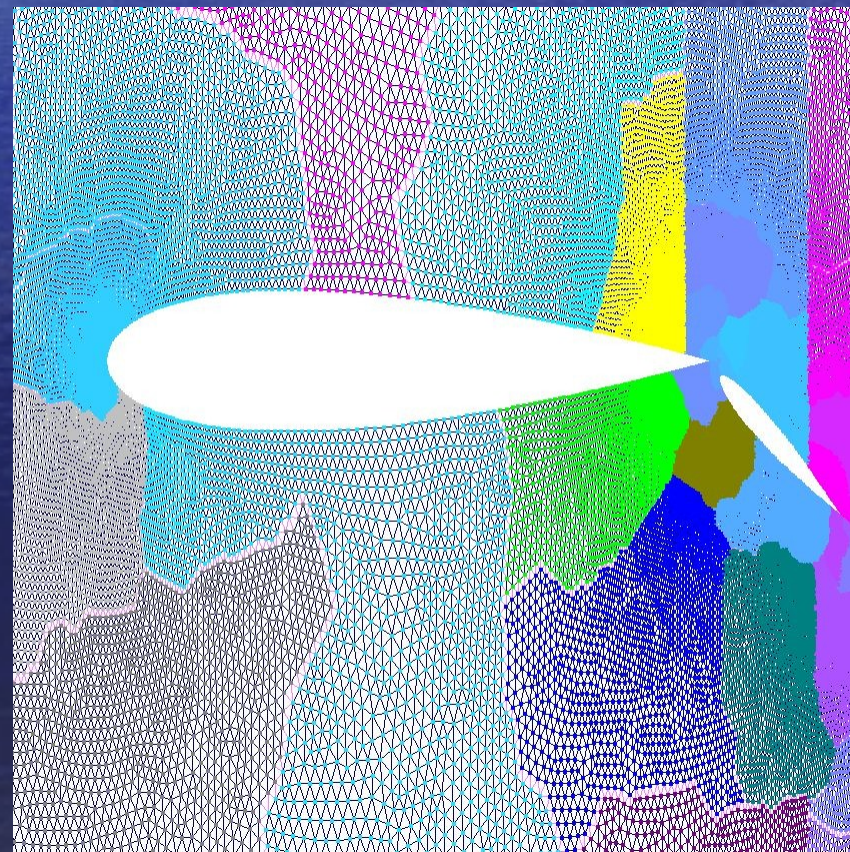
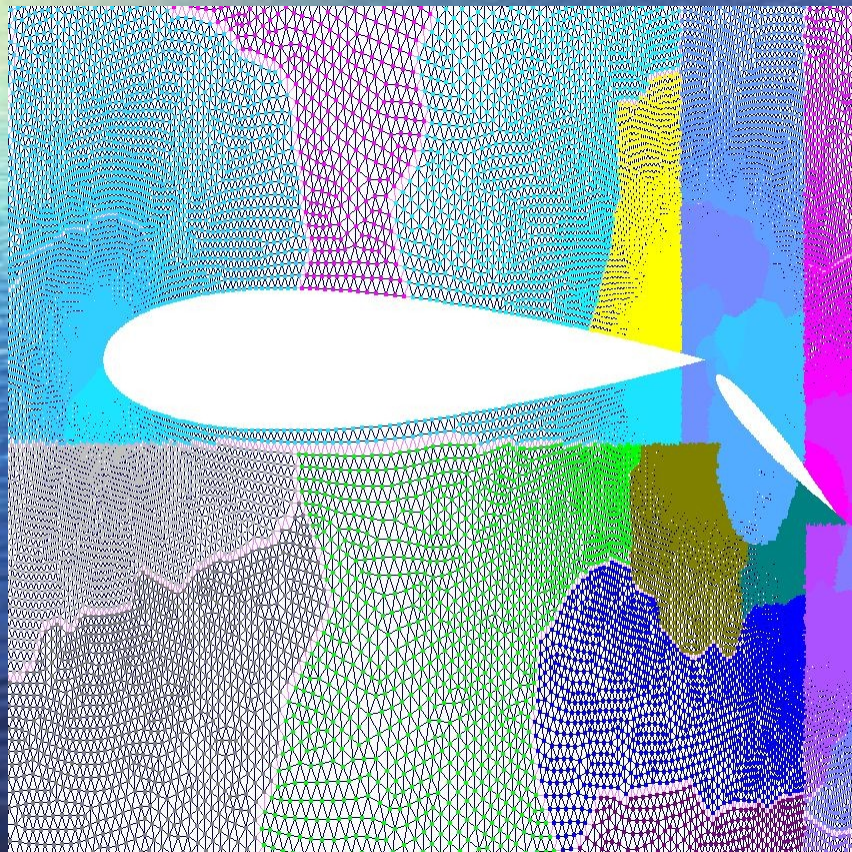
- геометрическое разбиение сетки по процессорам
- перераспределение малых блоков вершин

сетка вокруг крыла самолета с закрылком



Параллельный инкрементный алгоритм

- локальное разбиение
- сбор плохих групп доменов и их повторное разбиение



Параллельный инкрементный алгоритм декомпозиции графов:

Отличия

- выделение групп плохих доменов и отдельная работа с ними
- минимизация суммарного веса разрезанных ребер при росте доменов
- изменен критерий качества: при оценке качества доменов учитываются также количество плохих доменов и суммарный вес разрезанных ребер

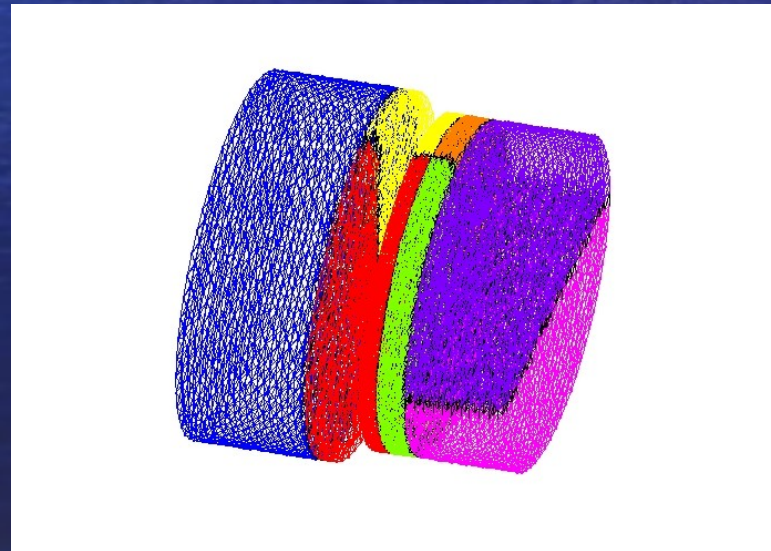
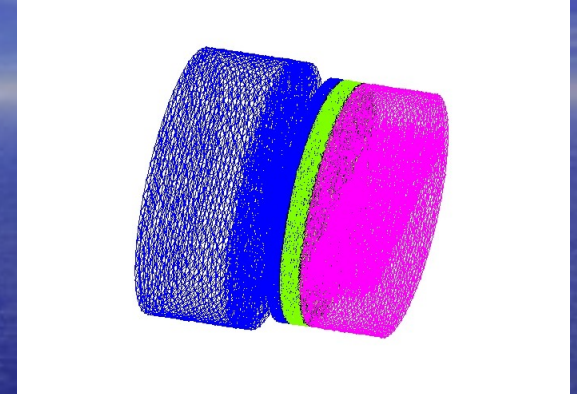
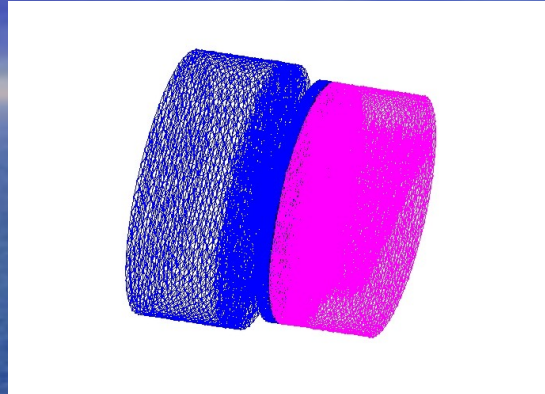
Параллельный инкрементный алгоритм декомпозиции графов:

Достоинства

- формирование связных доменов
- сбалансированность разбиений лучше, чем разбиений, получаемых другими методами декомпозиции графов

Параллельный алгоритм геометрической декомпозиции сеток

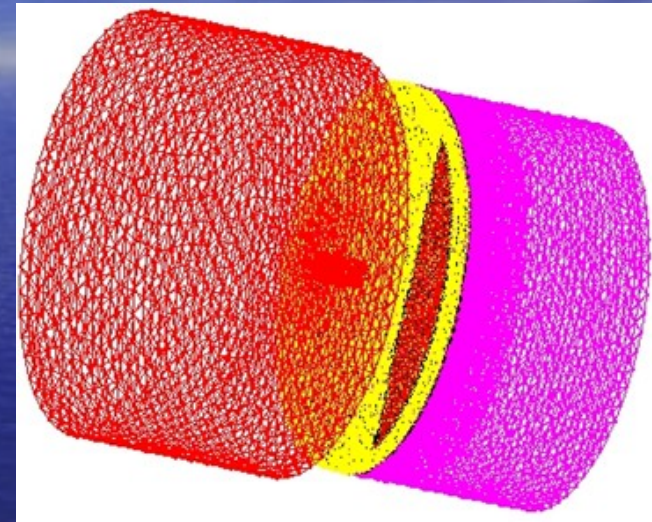
- рекурсивная
координатная
бисекция



используется распределенная сортировка
(<http://lira.imamod.ru/FondProgramm/Sort/>)

Параллельный алгоритм геометрической декомпозиции сеток: Отличия

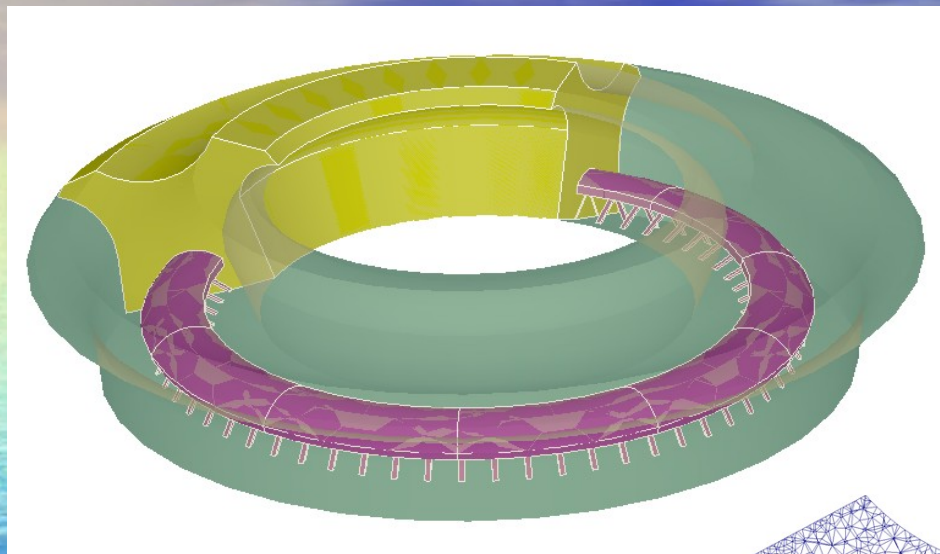
- секущая плоскость (медиана) разрезается также по остальным координатам
- в локальной рекурсивной бисекции сортируются только координаты вершин вблизи медианы



Достоинство

- разница числа вершин в доменах не превышает единицу

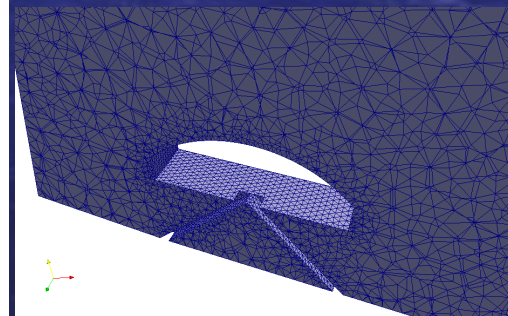
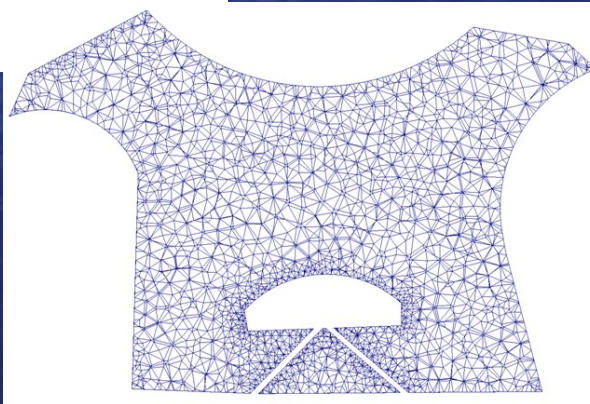
Расчетная сетка 1 - дивертор токамака (divertor)



Область сложной геометрии

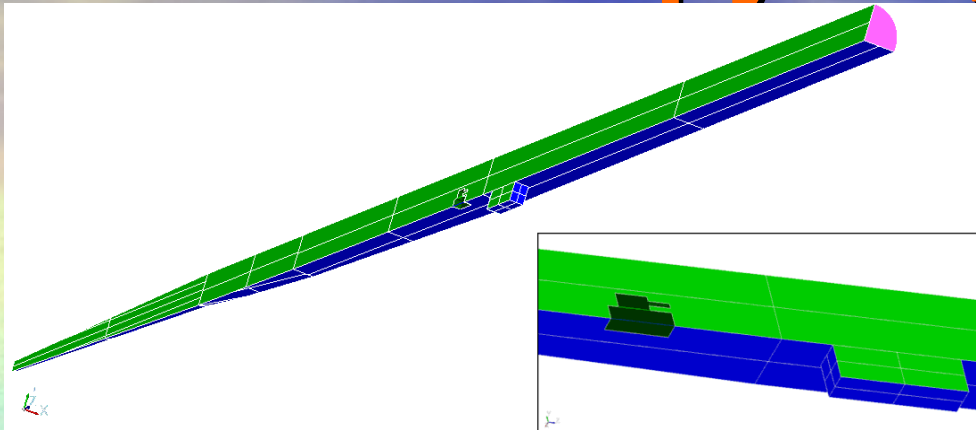
Тетраэдральная сетка
(3 миллиона ячеек)

Сгущение сетки вблизи
мелких объектов



- 256 доменов
- 8 ядер на каждый алгоритм

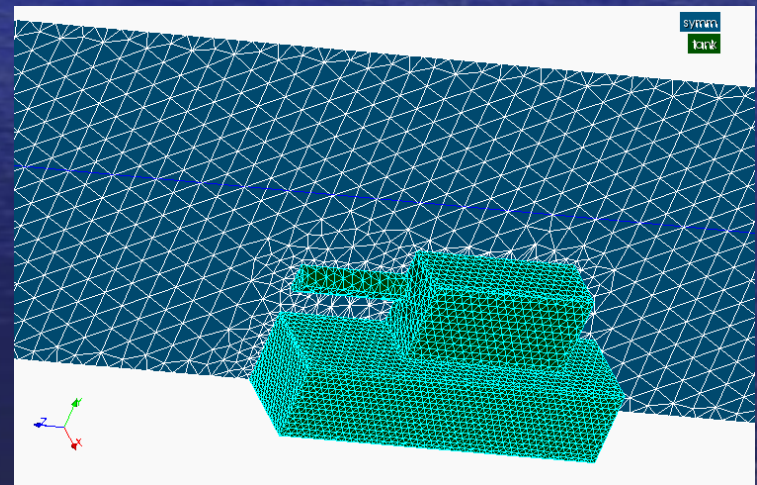
Расчетная сетка 2 - ударная труба (tube)



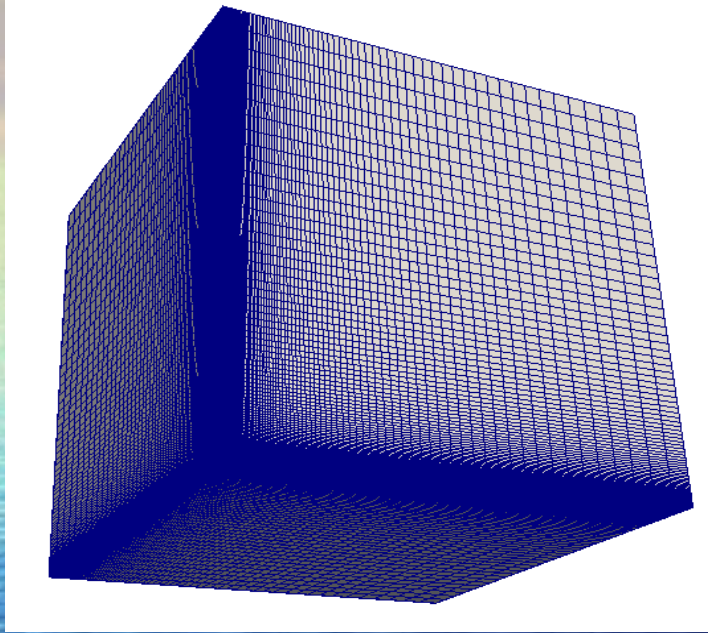
Область сложной геометрии
Разномасштабная модель
Тетраэдральная сетка
(более 25 миллионов ячеек)

Сгущение сетки вблизи
мелких объектов

- 4096 доменов
- 16 ядер на геометрические алгоритмы
- 128 ядер на алгоритмы декомпозиции графов



Расчетные сетки 3 и 4: boom and boomL (приземный взрыв)



Область простой геометрии - куб

Гексаэдральная сетка

61 миллион ячеек для “boom”

116 миллионов ячеек для “boomL”

Параллелепипеды с
различными aspect ratio

boom:

- 4096 доменов
- 32 ядра на геометрические алгоритмы
- 128 ядер на алгоритмы декомпозиции графов

boomL:

- 10080 доменов;
- 64 ядра на геометрические алгоритмы
- 256 ядер на алгоритмы декомпозиции графов

- Для всех расчетных сеток были построены дуальные графы с числом вершин $2.8 \cdot 10^6$ - $1.2 \cdot 10^8$ и числом ребер $2.3 \cdot 10^7$ - $1.0 \cdot 10^9$
- Проведено сравнение разбиений, полученных методами созданного комплекса программ GRIDSPIDERPAR, пакета PARMETIS, пакета ZOLTAN и пакета PT-SCOTCH
- Вычисления производились на кластерах MBC-100K (227,94 TFlop/s), "Ломоносов" (1700 TFlops) и «Helios» (1524.1 TFlop/s)