

Алгоритмы динамической балансировки вычислительной нагрузки для многомерных расчетов в методике ТИМ

Т.Н. Половникова, А.А. Воропинов

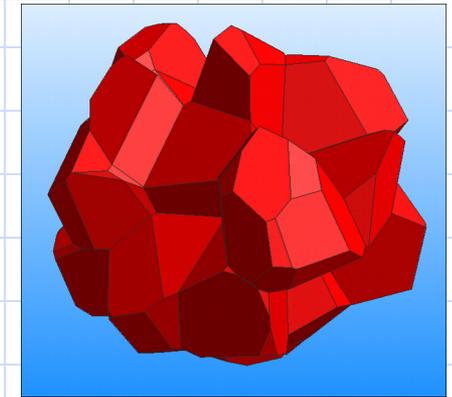
◆ Численное моделирование различных физических процессов на объемных разностных сетках.

◆ Лагранжевая сетка

(вещество движется вместе с сеткой):

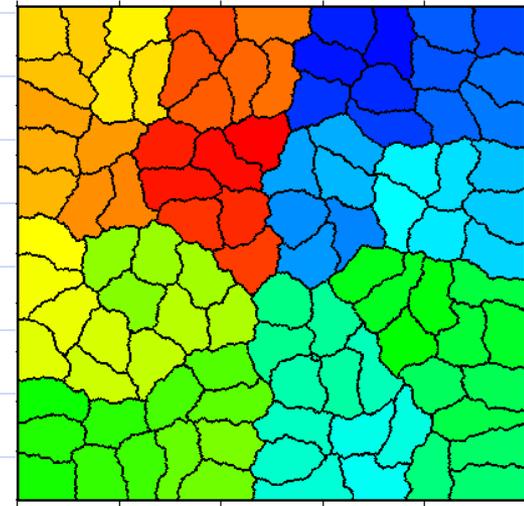
◆ Неструктурированная многогранная сетка с произвольным количеством узлов, в узлах сетки сходится произвольное количество граней.

◆ Ячейки – произвольные не самопересекающиеся многоугольники (в 2D) и многогранники (в 3D), которые не обязательно выпуклые.



Фрагмент сетки

- ◆ Декомпозиция – задача равномерного распределения вычислительной нагрузки между процессами.
- ◆ Дополнительное ограничение: минимальное количество обменов (взаимодействий) между процессами.
- ◆ Декомпозиция рассматривается как разрезание графа на подграфы. Вершина графа соответствует ячейке сетки, а ребро – соседству между ячейками.
- ◆ В качестве исходных данных используется граф, отображающий структуру сетки. Возможно использование различных весов вершин и ребер графа.

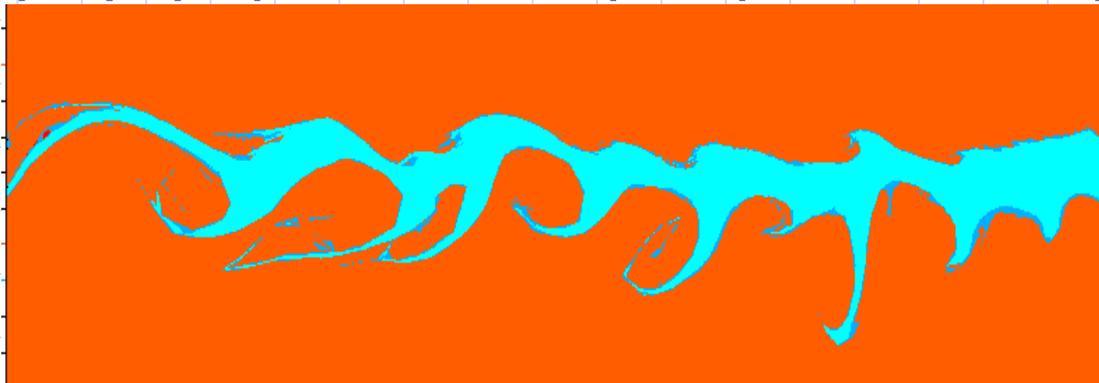


Вариант декомпозиции

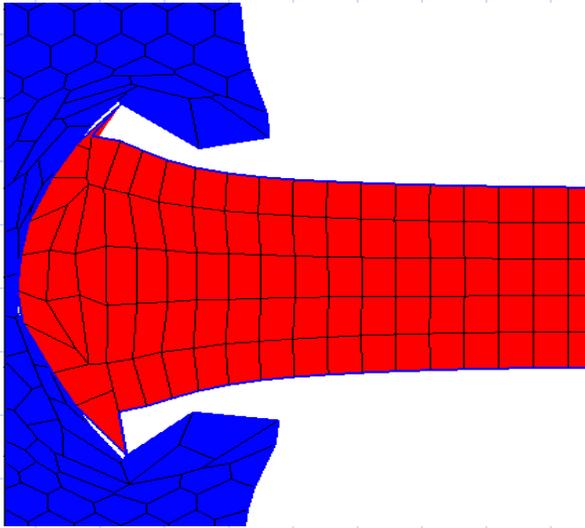
- ◆ 1. Статическая балансировка
(построение декомпозиции на этапе начала счёта, учитывая весовые функции).
- ◆ 2. Квазидинамическая балансировка
(передекомпозиция в процессе счёта, без остановки счёта).
- ◆ 3. Динамическая балансировка
(передача ячеек между параобластями внутри математической области без остановки счёта).
Параобласть – фрагмент счетной области, рассчитывающийся на одном MPI-процессе.

В процессе численного моделирования:

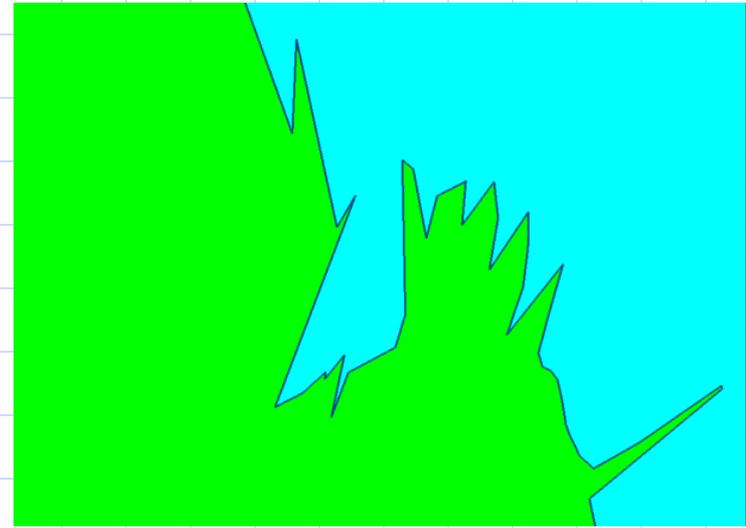
- ◆ объем вычислений для конкретной ячейки может изменяться,
- ◆ на обсчет такой ячейки (или всей параобласти, на которые разбита счетная область) может тратиться больше времени, значит, может появиться разбалансированность по вычислительной нагрузке,
- ◆ могут образовываться струйные и вихревые течения (поэтому будут работать перестройки сетки):



Локально могут утончаться и перебиваться параобласти:



Параобласти могут претерпевать изломы вблизи параллельной границы:



- ◆ Работа различных алгоритмов приводит к ухудшению качества декомпозиции в процессе проведения расчета.
- ◆ Задача алгоритмов динамической балансировки: улучшение качества декомпозиции, полученной как на этапе инициализации, так и в процессе проведения расчета.

Динамическая балансировка

Передача ячеек между параобластями внутри математической области без остановки счёта

- ◆ Передача ячеек между параобластями внутри математической области.

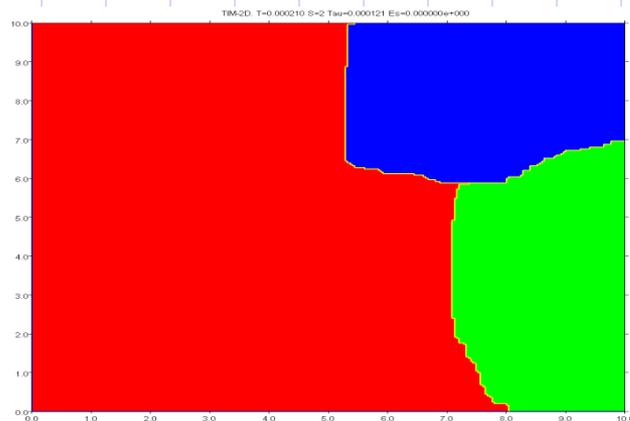
Плюсы:

- ◆ Не требует дорогостоящих операций:
 - Сохранения контрольной точки (разреза),
 - Декомпозиции и формирования новых параобластей,
 - Остановка расчета и перезапуск задачи.

Минусы:

- ◆ Переброска возможна только между параобластями внутри математической области.
- ◆ Невозможно изменение коммуникационного графа.
- ◆ В некоторых случаях может требоваться передача большого объема данных.

Пример динамической балансировки

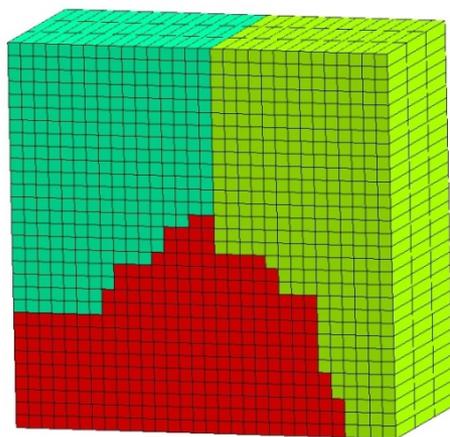


Начальная декомпозиция

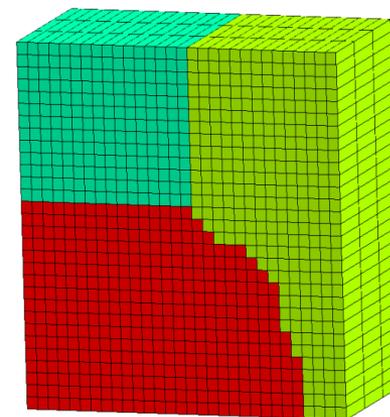


Декомпозиция через несколько шагов работы алгоритмов динамической балансировки

Met-TIM-3D Time: 6.105100e-004 Array-TIM_COMPACT Min/Max: 0.000000e+000 : 3.000000e+000

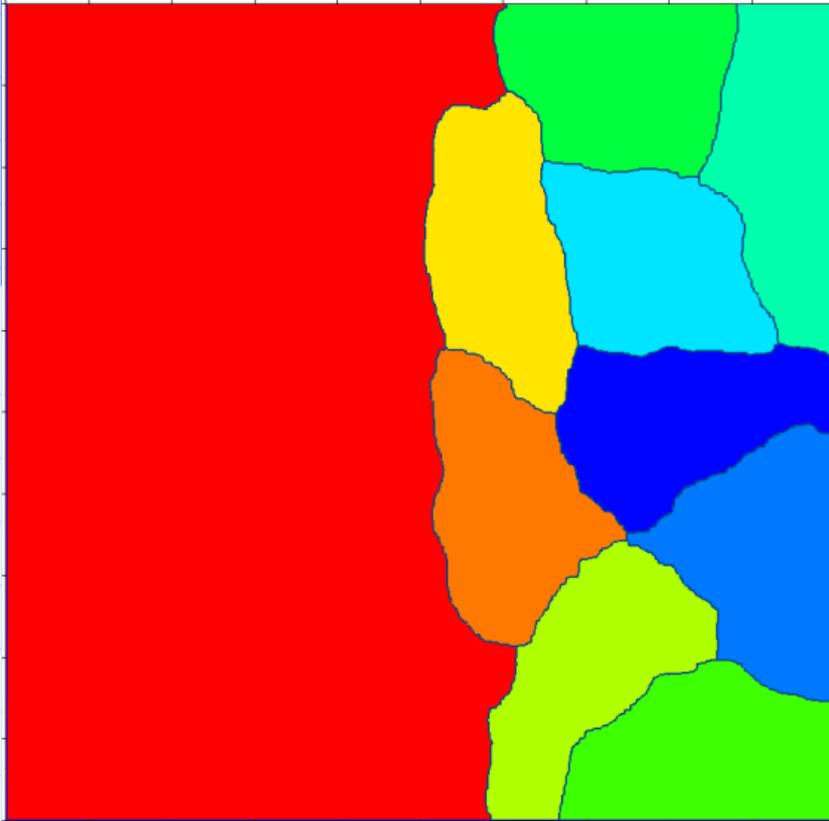


Scientific View Met-TIM-3D Time: 5.000000e+000 Array-TIM_COMPACT Min/Max: 0.000000e+000 : 3.000000e+000

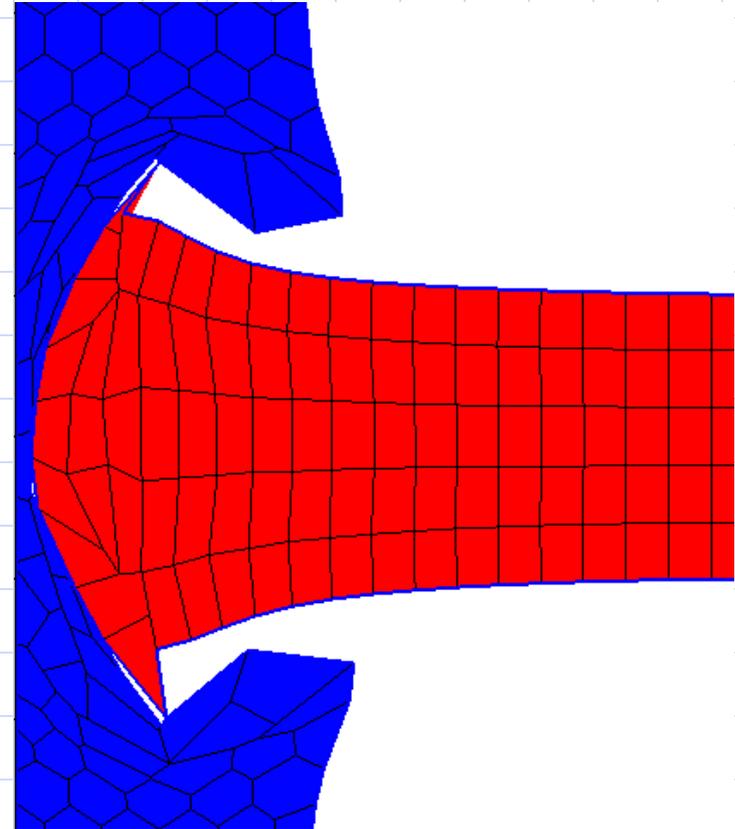


Динамическая балансировка

Критерии анализа необходимости выполнения операции улучшения качества декомпозиции:



Разбалансированность по вычислительной нагрузке

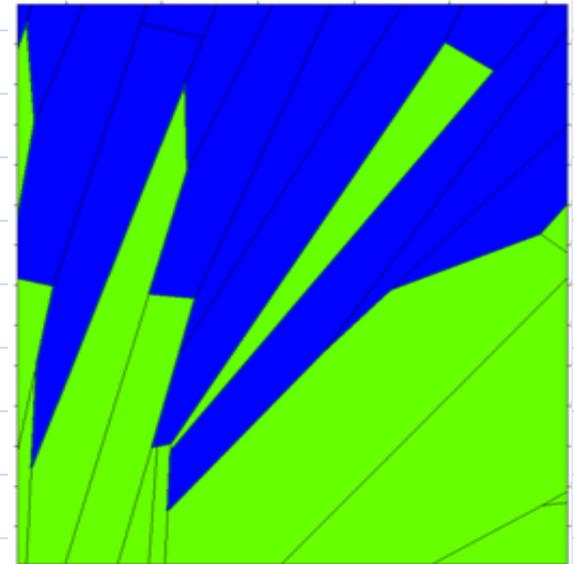


Параобласть близка к перебитию

Динамическая балансировка

Критерии выбора ячеек для переброски:

- ◆ Неоптимальное отношение по количеству внутренних и граничных ребер (2D) и внутренних и граничных граней (3D).
- ◆ Неоптимальное отношение по длине внутренних и граничных ребер (2D) и по площади внутренних и граничных граней (3D).
- ◆ Ячейка с максимальным весом (ячейка, на обсчет которой тратится максимальное количество времени).
- ◆ Ячейка с другим веществом относительно соседних ячеек на границе параобласти.



Квазидинамическая балансировка

Передekomпозиция без остановки счёта задачи

◆ **Передекомпозиция в процессе счета.**

Сохраняются данные и строится новая декомпозиция с полной переинициализацией задачи.

Плюсы:

- ◆ не требует выполнения остановок и перезапуск задачи.
- ◆ возможно несколько передекомпозиций за один запуск.
- ◆ может изменяться коммуникационный граф.

Минусы:

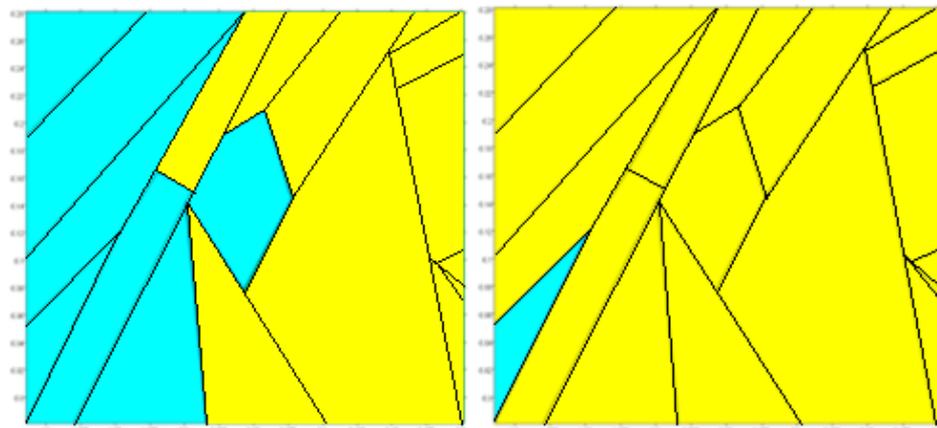
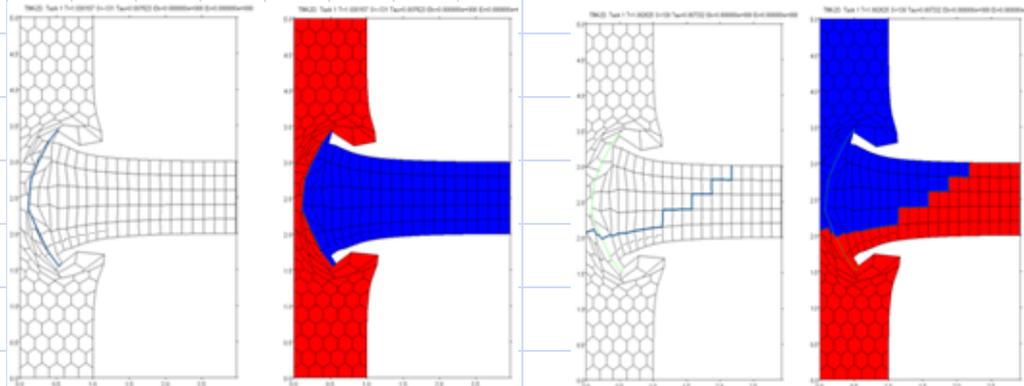
- ◆ Дорогие операции:
 - сохранения контрольной точки (разреза), и чтения данных для передекомпозиции.
 - построения новой декомпозиции.

◆ Разбалансированность вычислительной нагрузки (>30% за N шагов).

◆ Параобласть близка к перебитию:

◆ Геометрические свойства ячейки неудовлетворительные:

◆ Ячейка, содержащая несколько особых точек, принадлежащих нескольким областям.

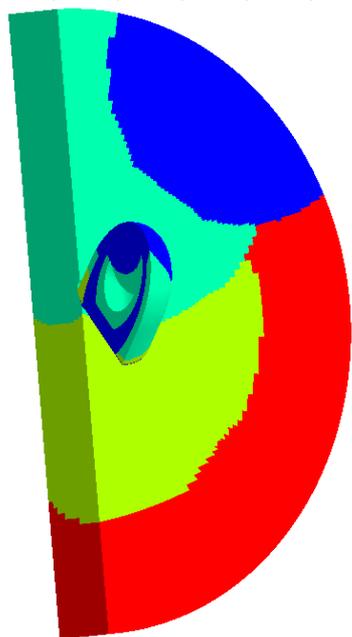


Тестовые расчеты трехмерной задачи

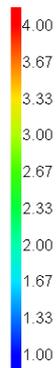
- ◆ 5 математических областей,
- ◆ сетка шестигранная,
- ◆ 250 шагов.
- ◆ 9 вычислительных узлов по 16 процессорных ядер.
- ◆ Количество ячеек и параобластей по математическим областям:

Номер области	Количество ячеек	Количество параобластей
1	132505	2
2	61392	3
3	157560	3
4	4648	Параобласти не создавались
5	533830	4
Общее количество ячеек	889935	

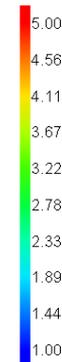
Пример начальной декомпозиции и передекомпозиции трехмерной задачи



TIM_COMPACT



TIM_COMPACT



Начальная декомпозиция

Результат квазидинамической балансировки

◆ Критерии квазидинамической балансировки:

- разбалансировка вычислительной нагрузки $>30\%$.

◆ Критерии динамической балансировки:

- разбалансировка вычислительной нагрузки $>10\%$.
- критерий неоптимального отношения по количеству внутренних и внешних граней.
- критерий неоптимального отношения по площади внутренних и внешних граней.
- ячейка с максимальным весом.
- ряд критериев, вырабатываемых программами поддержания качества сетки.

Выполнено:

- 1 квазидинамическая балансировка
- С помощью динамической балансировки переброшено около 900 ячеек

В результате получено ускорение 16-20%

- ◆ Применение алгоритмов балансировки вычислительной нагрузки позволяет ускорить счет и эффективно загрузить процессорное поле, выделенное на задачу.
- ◆ На трехмерной модельной задаче с использованием всего аппарата поддержания качества сетки в многообластной постановке, применяя различные методы балансировки вычислительной нагрузки, в совокупности получено ускорение на 16-20%.
- ◆ В дальнейшем планируется провести исследование на серии сложных расчётов для выбора оптимального набора параметров, подходящего для решения широкого класса прикладных задач.