

Алгоритмы мелкозернистого распараллеливания в методике ТИМ-3D

Воропинов Андрей Александрович,
Новиков И.Г.

- ◆ Лагранжевая сетка
- ◆ Неструктурированная многогранная сетка с произвольным количеством связей в узлах
- ◆ Разбиение на математические области:
 - в каждой области независимая счетная сетка
 - элементы сетки нумеруются независимо
 - между областями решается задача контактного взаимодействия
- ◆ Ячейки – произвольные не самопересекающиеся многогранники (не обязательно выпуклые)
- ◆ Поддержание счётной сетки осуществляется:
 - методом «дифференцируемые связи» (не изменяет структуры сетки и количества счётных точек)
 - методом локальной перестройки сетки (может локально менять структуру счётной сетки и количество точек)
 - глобальная перестройка сетки (построение счетной сетки во всей области или ее фрагменте и переинтерполяция)

Примеры расчетных сеток

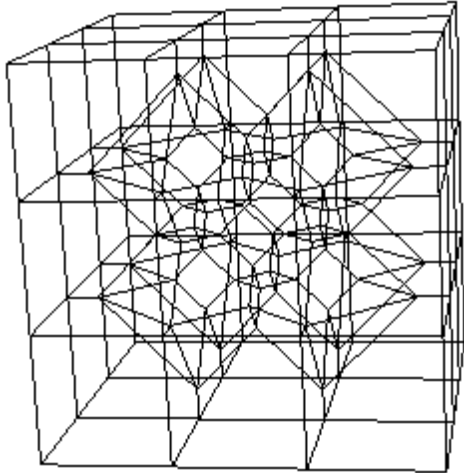
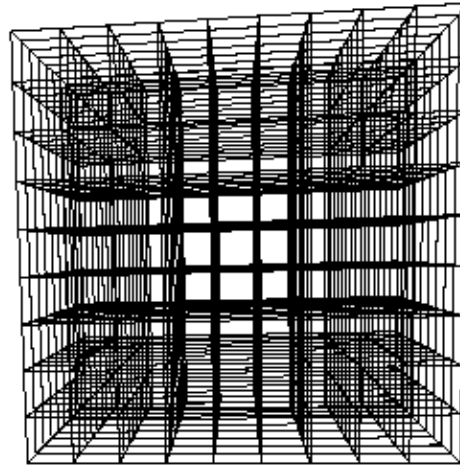
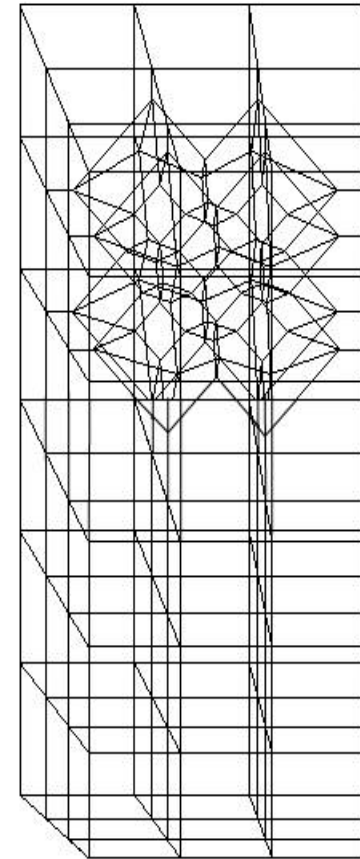


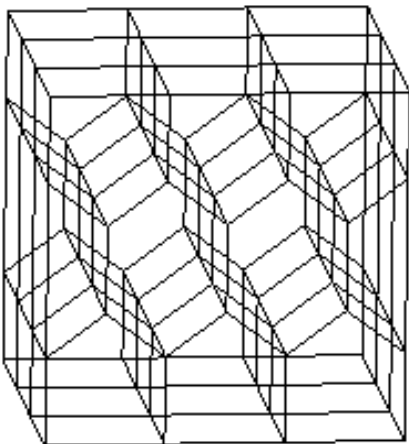
Диаграмма вороного



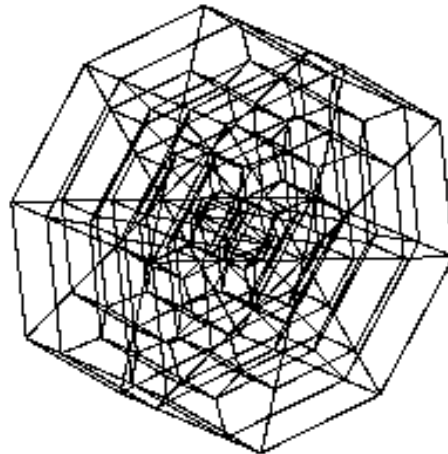
Шестигранная



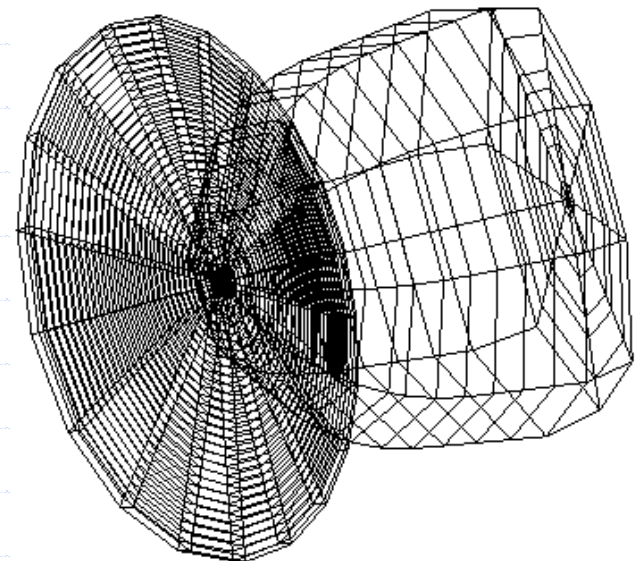
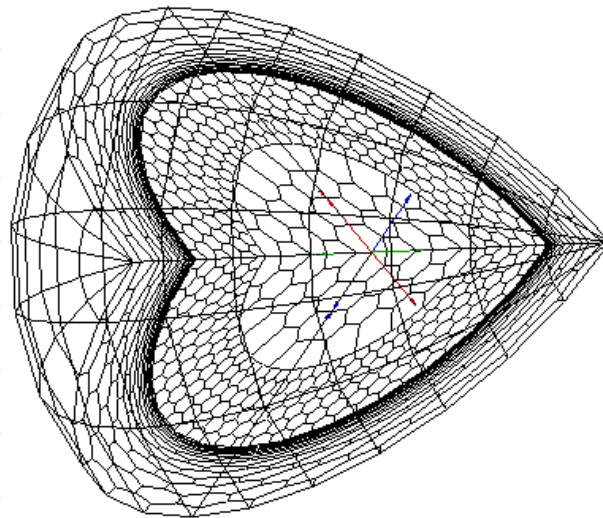
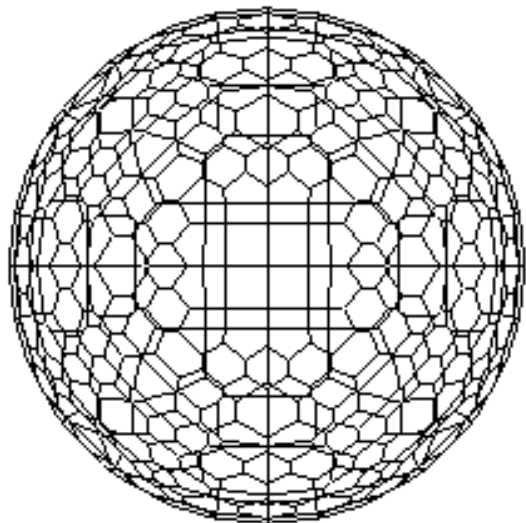
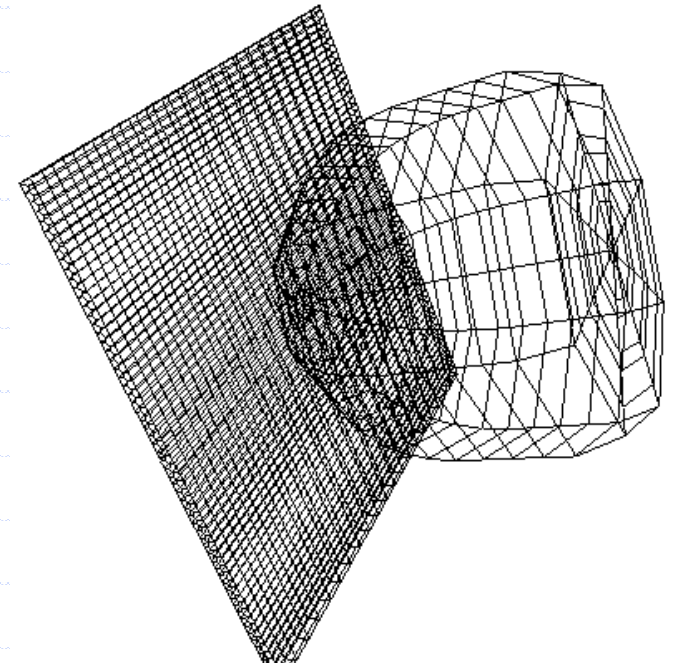
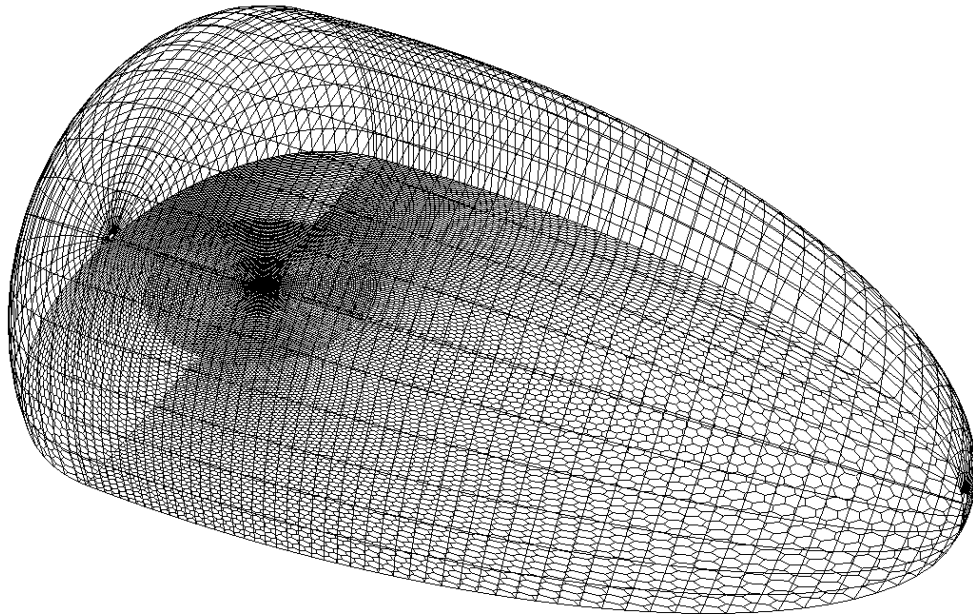
Смешанная сетка



Листовые и послойные сетки



Примеры начальных сеток



1. Распараллеливание по счетным областям (MPI)
2. Мелкозернистое распараллеливание внутри счетной области по параобластям (MPI)
3. Распараллеливание внутри (пара)области (OpenMP)

Методы распараллеливания могут использоваться как по отдельности, так и совместно, в любых сочетаниях

Декомпозиция

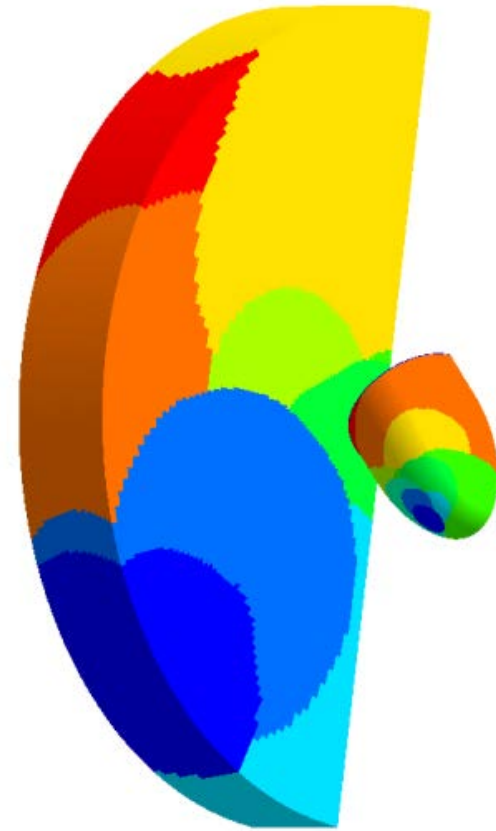
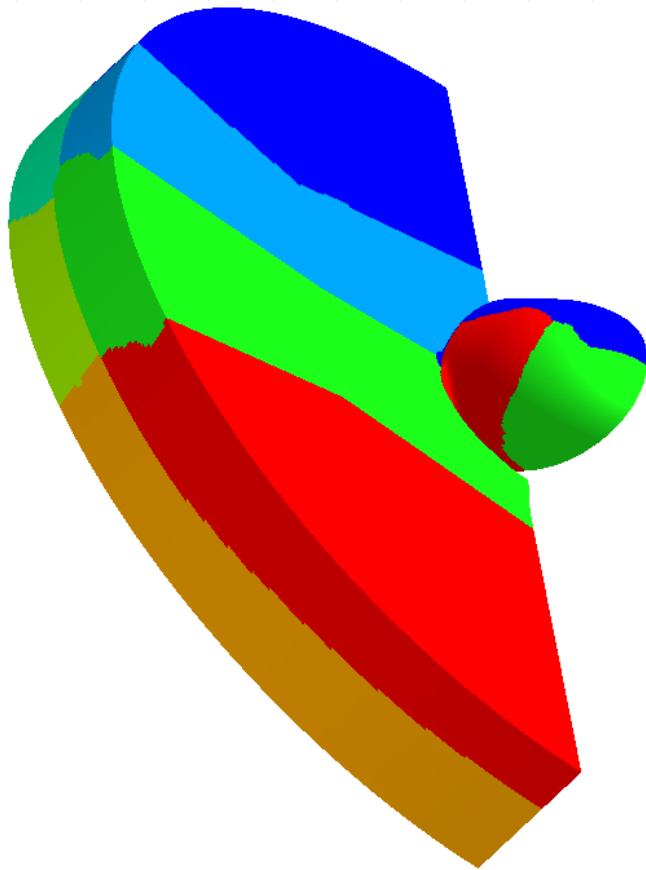
- ◆ Декомпозиция по пространству
- ◆ Декомпозиция с учетом вычислительной нагрузки (или количества точек)
- ◆ При декомпозиции минимизируется максимальная загрузка
- ◆ В процессе счета выполняется балансировка загрузки

- ◆ Декомпозиция по ячейкам
- ◆ Каждая счетная область разбивается на компакты независимо от других
- ◆ Компакт – набор ячеек одной области
- ◆ Ячейка входит в один и только один компакт
- ◆ На основе каждого компакта строится параобласть – полноценная счетная область

◆ Алгоритмы декомпозиции:

SCOTCH

Геометрическо-
топологическая



Мелкозернистое распараллеливание

◆ Расчет узловых величин

$$m_i \frac{\vec{U}_i^{n+1} - \vec{U}_i^n}{\tau} = \sum_{k \in \mathcal{I}_i} \left(S_{k_1}^n \vec{n}_{k_1} + S_{k_2}^n \vec{n}_{k_2} \right) \left(P_{k_H}^n - P_{k_B}^n \right)$$

$$\vec{r}_i^{n+1} = \vec{r}_i^n + \vec{U}_i^{n+1} \tau$$

◆ Расчет ячеечных величин

$$\rho_j^{n+1} = \frac{m_j}{V_j^{n+1}}$$

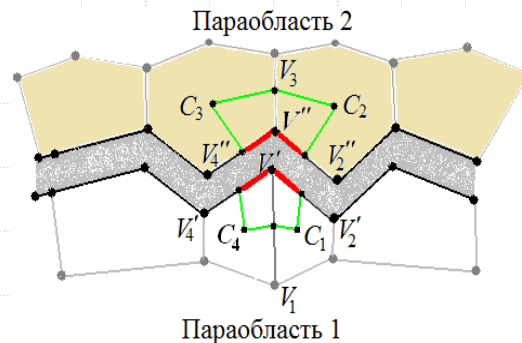
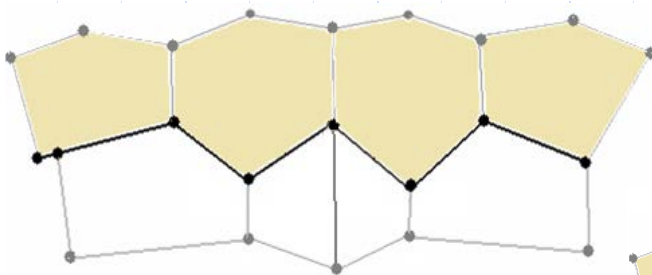
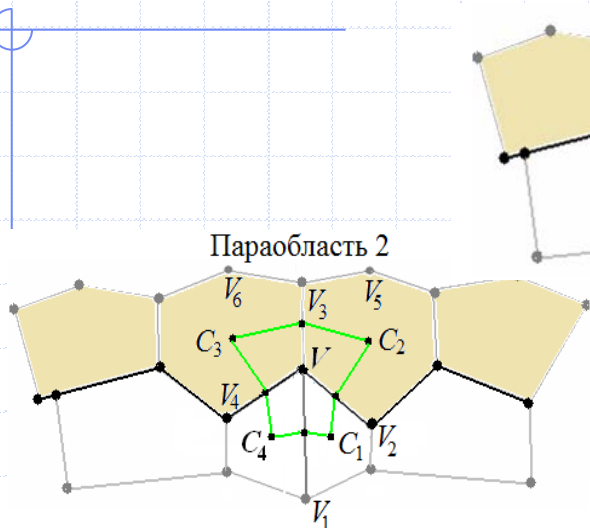
$$\varepsilon_j^{n+\frac{1}{2}} = \varepsilon_j^n - \frac{p_j^n + q_j^n}{\rho_j^n} \operatorname{div} \left(u_i^{n+\frac{1}{2}} \right) \tau$$

$$\varepsilon_j^{n+1} = \varepsilon_j^{n+\frac{1}{2}} + \frac{p_j^n + q_j^n}{2\rho_j^n} \operatorname{div} (u^{n+1}) \tau - \frac{p_j^{n+\frac{1}{2}} + q_j^{n+\frac{1}{2}}}{2\rho_j^n} \operatorname{div} \left(u^{n+\frac{1}{2}} \right) \tau$$

$$p_j^{n+\frac{1}{2}} = p \left(\rho_j^{n+1}, \varepsilon_j^{n+\frac{1}{2}} \right)$$

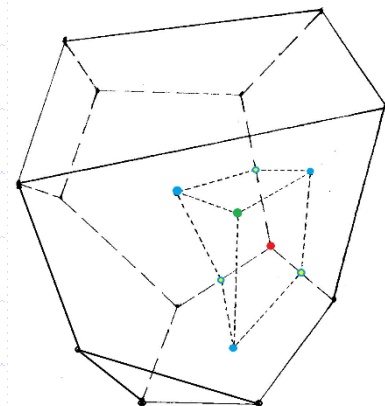
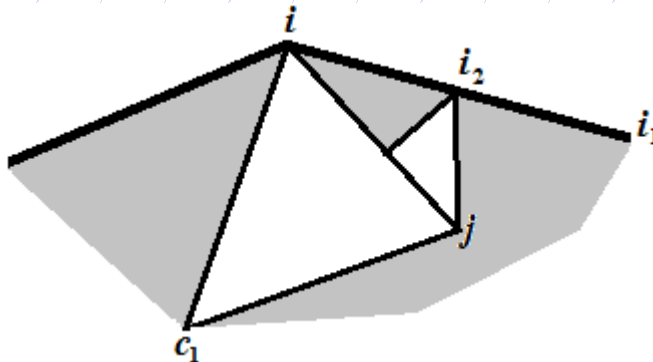
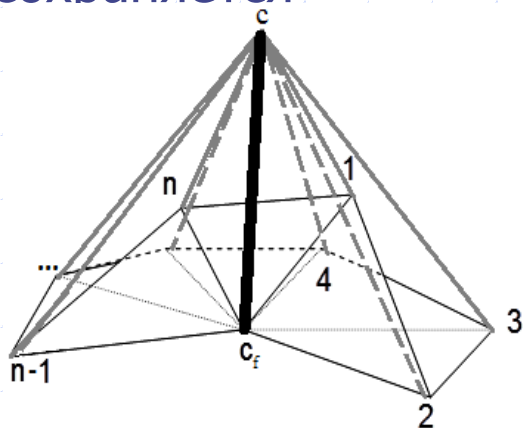
$$p_j^{n+1} = p \left(\rho_j^{n+1}, \varepsilon_j^{n+1} \right)$$

Два метода мелкозернистого распараллеливания



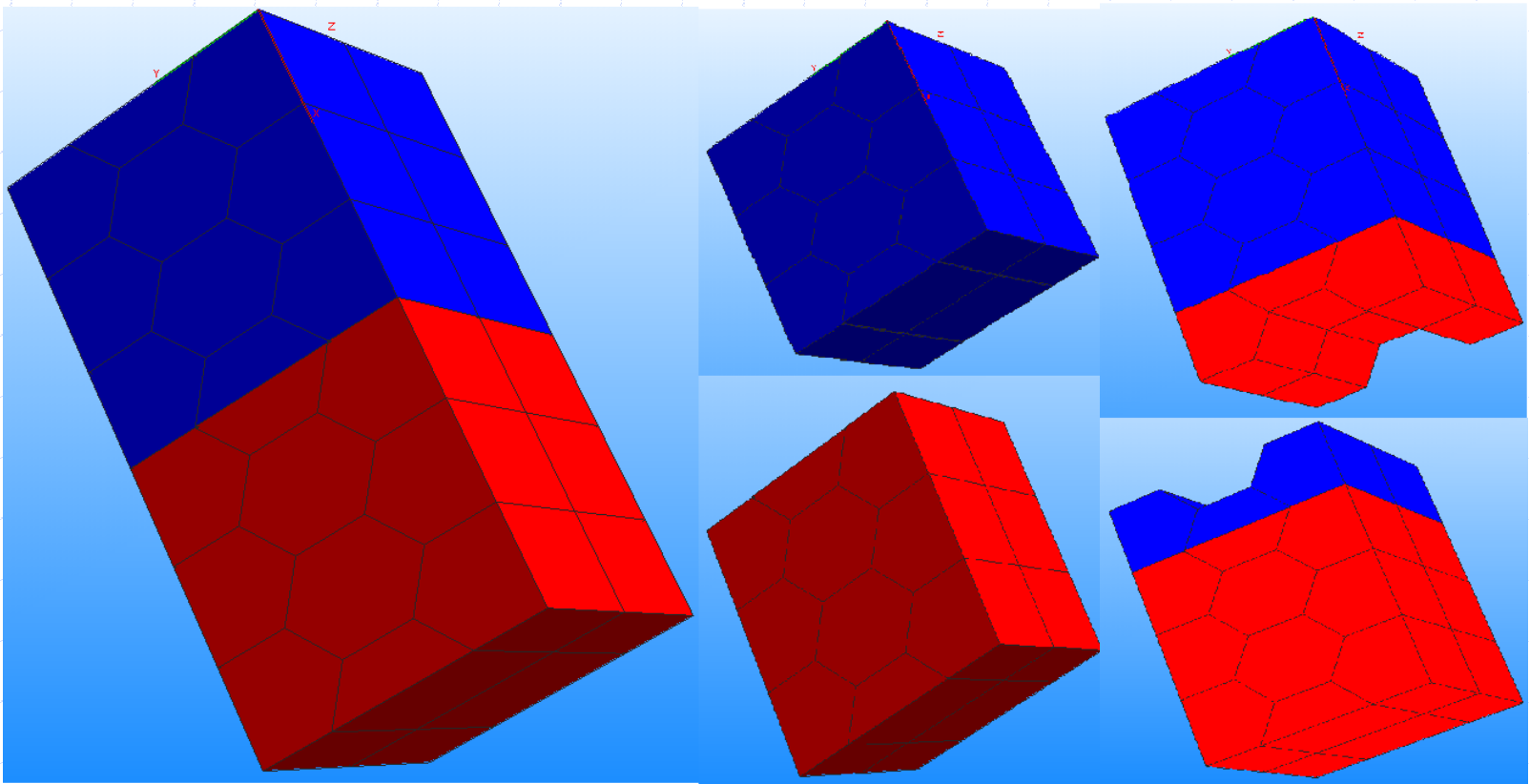
Мелкозернистое распараллеливание с наложением: Контур интегрирования узлов сохраняется

Мелкозернистое распараллеливание без наложения: Контур интегрирования разрывается на несколько (по количеству параобластей)



- ◆ Мелкозернистое распараллеливание с наложением:
 - Между параобластями используется наложение в один слой ячеек
 - Обмены в слое наложения ячеечными и узловыми величинами
- ◆ Мелкозернистое распараллеливание без наложения:
 - Восстановление контура интегрирования узлов
 - Обмены на парагранице только узловыми величинами
- ◆ Мелкозернистое распараллеливание с произвольным наложением

Пример разбиения области на параобласти



ТИМ-2D

- ◆ Контактная граница
- ◆ Синхронные обмены
- ◆ Геометрическая близость точек
- ◆ Сбор контактных границ
- ◆ Особые случаи на парагранице при некорректной декомпозиции

ТИМ-3D

- ◆ Восстановление контура интегрирования узла
- ◆ Асинхронные обмены
- ◆ Топологическое соответствие
- ◆ По фрагментный расчет границ
- ◆ Особые случаи на параграницах при корректной декомпозиции



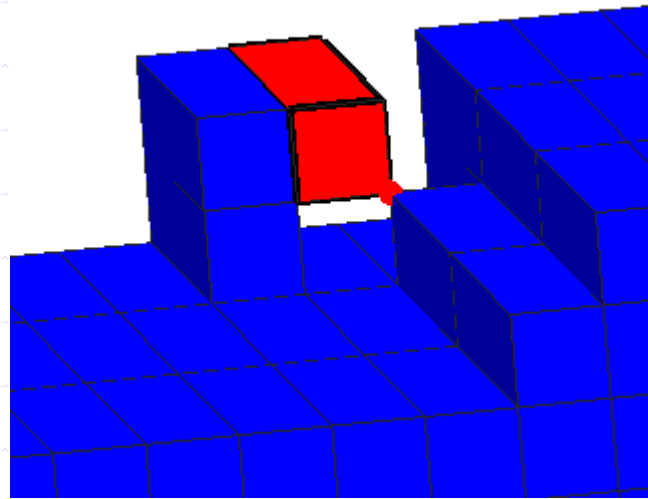
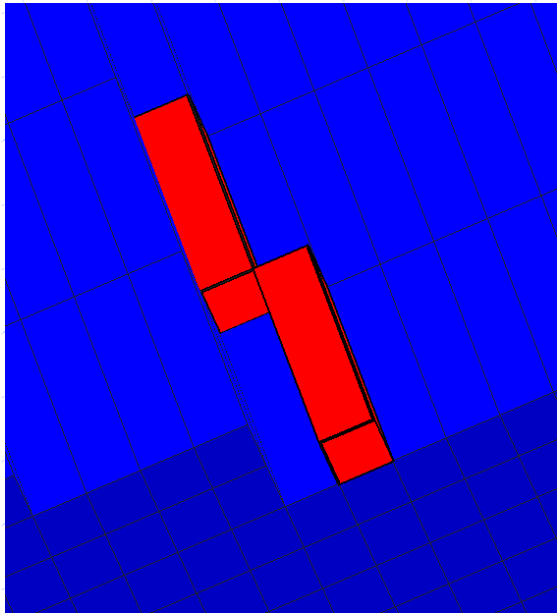
- ◆ Узел на парагранице распадается на несколько
- ◆ В каждой параобласти масса узла своя
- ◆ Расчет узловых величин производится независимо в параобластях и потом согласуется:

$$\vec{a}_i^{n+1} = \frac{\sum_{j=1}^k m_j \vec{a}_j^{n+1}}{\sum_{j=1}^k m_j}$$

$$\vec{v}_i^{n+1} = \vec{v}_i^n + \tau \vec{a}_i^{n+1}$$

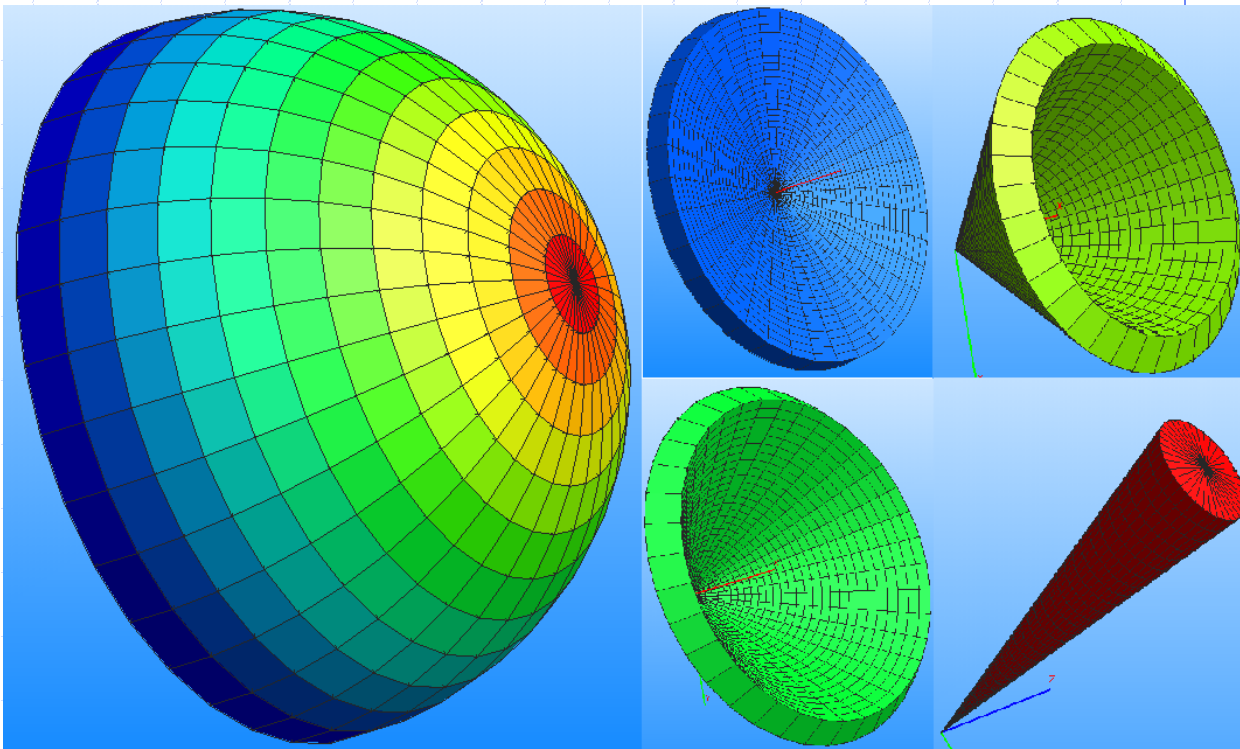
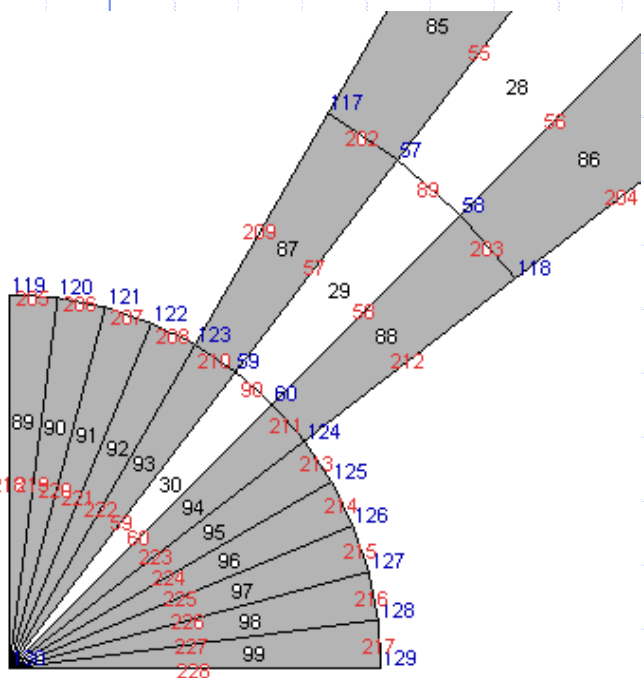
$$\vec{r}_i^{n+1} = \vec{r}_i^n + \tau \vec{u}_i^{n+1}$$

- ◆ Контакт между ячейками параобласти по ребру и в точке



- ◆ Некорректная работа алгоритмов поиска соседства в узле

◆ Параобласть выходит на границу одной точкой



◆ Неправильный расчет граничных узлов

- ◆ Введен новый тип - граничный узел
- ◆ Содержит данные для расчета контактного взаимодействия:
 - Номера граничных условий
 - Вектора нормалей граничных граней, сходящихся в узле и нормаль в узле
 - Работа в узле и др.
- ◆ Содержит данные для мелкозернистого распараллеливания:
 - Номера всех граней, сходящихся в узле

◆ Мелкозернистое без наложения:

- Холодные задачи (газовая динамика, упругопластичность, детонация)
- Режим обработки
- Сервисные операции

◆ Мелкозернистое с наложением:

- Диффузионные задачи (теплопроводность, МГД, многопоточность)
- Вспомогательные операции требующие анализа ячеечного соседства: расчет контроля детонации (с 3 слоями наложения)

◆ Мелкозернистое с произвольным наложением – глобальный пересчет величин

Седовский взрыв

- ◆ Идеальный газ ($\gamma = 4/3$)
- ◆ Плотность 1
- ◆ Размеры области 1×1 .
- ◆ На боковой поверхности цилиндра задается давление $P=5$
- ◆ Остальные границы – жесткие стенки

◆ Ускорение счета

$$S_p = \frac{t_1}{t_p}$$

◆ Эффективность распараллеливания

$$E_p = \frac{t_1}{p \cdot t_p} \cdot 100\%$$

где p – количество процессоров;

t_1 - время расчета в последовательном режиме;

t_p – время расчета в параллельном режиме на p процессорах.

- ◆ Задача о седовском взрыве
- ◆ Шестигранная сетка
- ◆ 1 млн. ячеек
- ◆ Режим деления

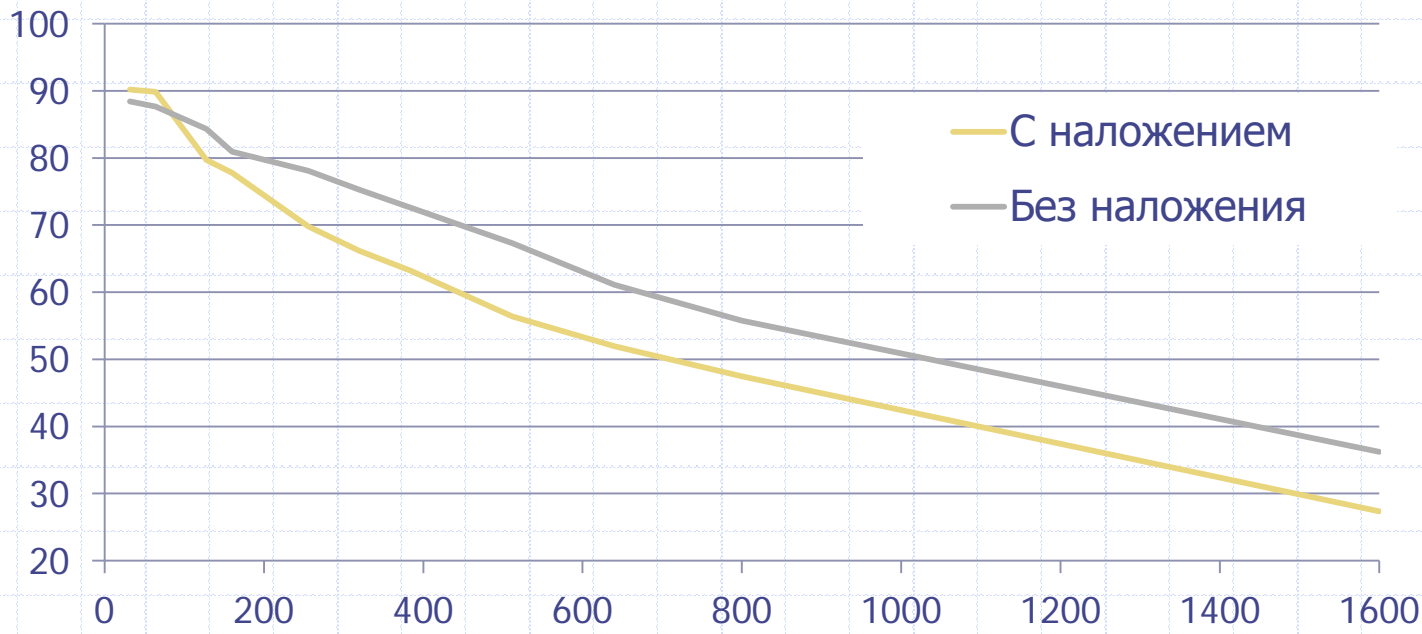
Режим счета →		С наложением			Без наложения		
Кол-во ядер	Кол-во узлов	Время, с.	Ускорение	Эффективность	Время, с.	Ускорение	Эффективность
16	1	4012,100	1	100%	4012,100	1	100%
32	2	2224,963	1,80	90,16%	2268,578	1,76	88,42%
64	4	1116,103	3,59	89,86%	1144,325	3,50	87,65%
128	8	629,420	6,37	79,67%	594,817	6,74	84,31%
160	10	515,876	7,77	77,77%	495,799	8,09	80,92%
256	16	359,400	11,16	69,77%	321,139	12,49	78,08%
320	20	303,338	13,22	66,13%	266,536	15,05	75,26%
384	24	264,421	15,17	63,22%	230,368	17,41	72,56%
512	32	222,409	18,03	56,37%	186,286	21,53	67,30%
640	40	193,155	20,77	51,92%	164,166	24,43	61,09%
800	50	169,116	23,72	47,44%	143,868	27,88	55,77%
1600	100	146,713	27,34	27,34%	110,778	36,21	36,21%

Исследование эффективности мелкозернистого распараллеливания

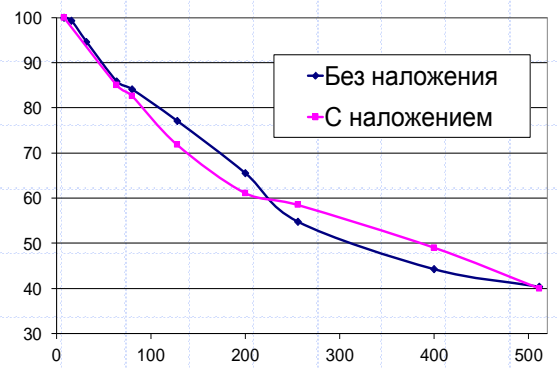


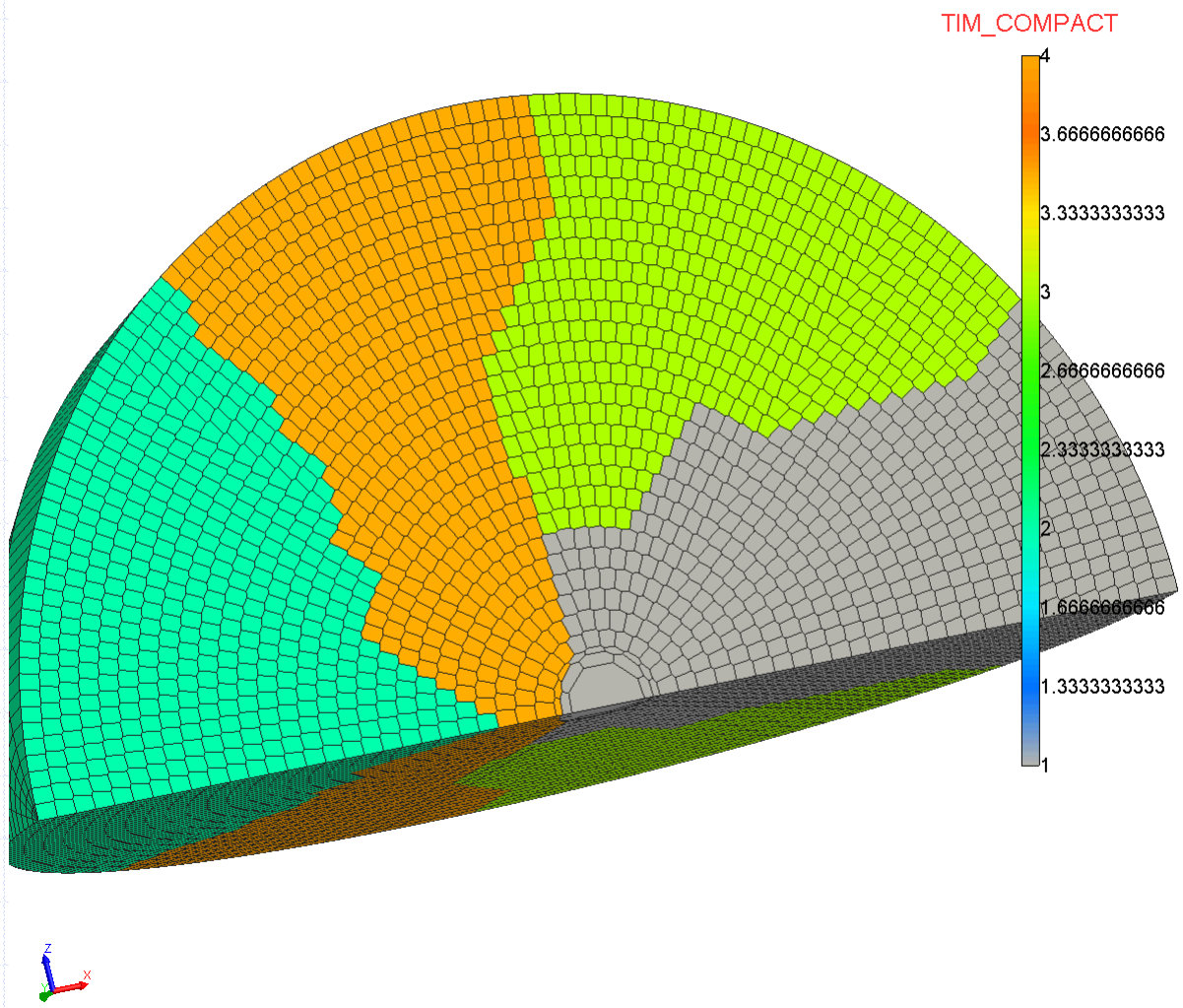
Эффективность мелкозернистого распараллеливания:

ТИМ-3D



ТИМ-2D





Эффективность распараллеливания

- ◆ Эффективность мелкозернистого распараллеливания до 60% до 50 узлов
- ◆ Эффективность мелкозернистого распараллеливания без наложения выше на 7-10%
- ◆ В ТИМ-3D эффективность выше на 20%-30% на большом количестве узлов
- ◆ Все расчеты ведутся с использованием мелкозернистого распараллеливания

Спасибо за внимание