



Реализация задачи моделирования самогравитирующего вещества РС-методом на ОТС

Сумбатянц И. И.

Новосибирский Государственный Университет
ИВМиМГ СО РАН
Лаборатория Синтеза параллельных программ

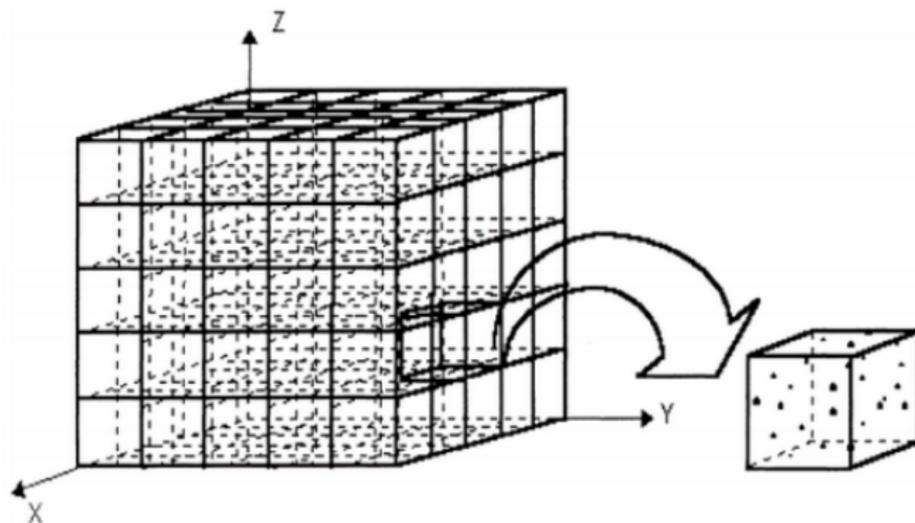
РК-метод

- ▶ Итерационный численный метод решения некоторых видов дифференциальных уравнений в частных производных
- ▶ Применяется для моделирования физических явлений

Описание

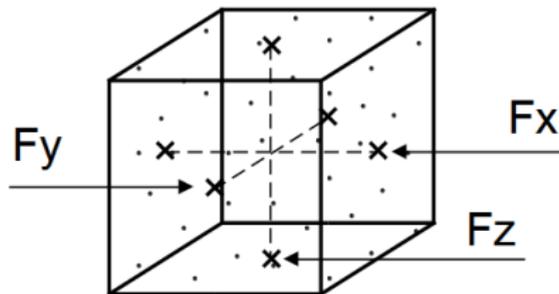
- ▶ Физическое пространство → пространство моделирования
- ▶ Дискретизация пространства моделирования → разбиение сеткой на ячейки
- ▶ Ячейки могут содержать частицы
- ▶ Моделирование – серия временных шагов

Описание



Описание

- ▶ Частица определяется координатами, скоростью и массой
- ▶ Ячейка определяется гравитационными силами, плотностью и гравитационным потенциалом



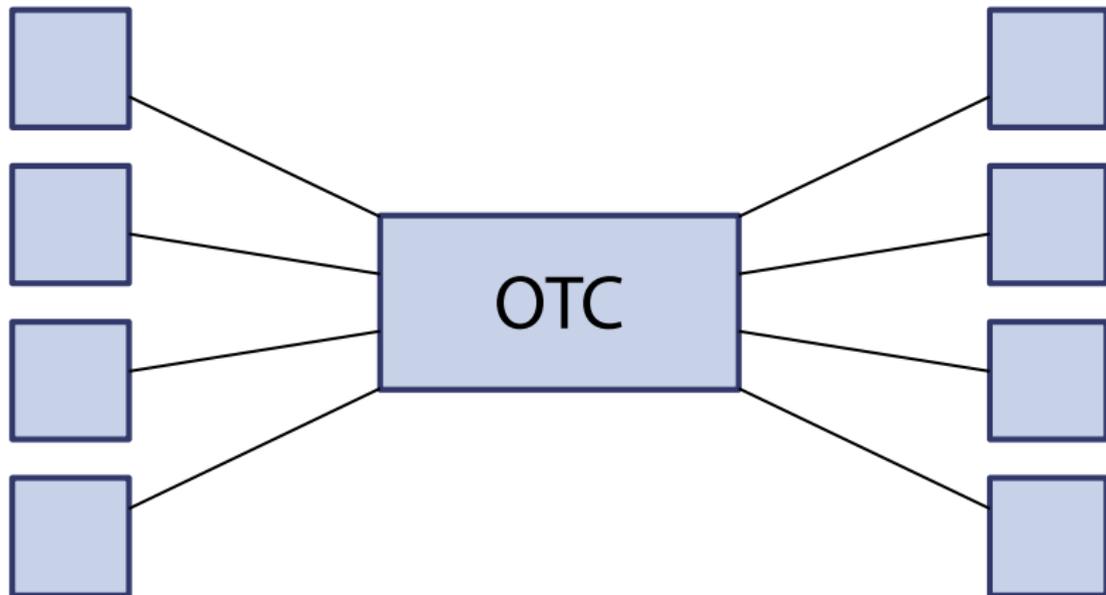
Итерационный шаг

- ▶ Сдвиг частиц под действием гравитационных сил
- ▶ Вычисление распределения плотности
- ▶ Вычисление гравитационного потенциала
- ▶ Вычисление гравитационных сил

Отладочный тестовый стенд

Задачи

Балансировщики



Модель задачи

Пусть некоторый класс итерационных численных методов на сетках можно представить в виде кортежа:

$\langle F, N, op, R \rangle$, где:

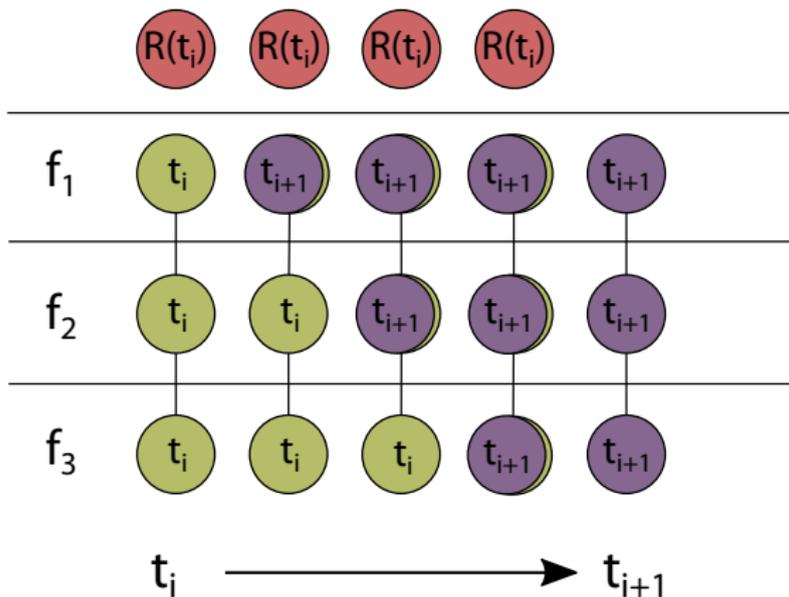
- ▶ F – множество вершин графа (фрагментов)
- ▶ N – множество ребер на F (отношение соседства)
- ▶ op – оператор шага итерации
- ▶ R – оператор редукции

Означивание фрагментов

- ▶ Процесс исполнения происходит в дискретном времени $T = \{t_1 \dots t_n\}$
- ▶ В каждый момент времени t_i элемент $f \in F$ имеет некоторое означивание (состояние) f_{t_i}
- ▶ Операторы шага итерации и редукции применяются к означиванию фрагментов.

Вычисление означивания фрагментов

$$\forall f \in F(f_{t_{i+1}} = op(f_{t_i}, \{fn_{t_i} : (fn \in F) \wedge ((fn, f) \in N)\}, R(t_i)))$$



Реализация модели задачи на мультикомпьютере

- ▶ Параллельная реализация такой модели – разбиение множества фрагментов и последующее отображение подмножеств на узлы мультикомпьютера
- ▶ Разбиение множества F может быть построено статически или динамически
- ▶ Изменение разбиения в процессе исполнения будем называть *балансировкой*

В такую модель вычислений укладываются метод частиц-в-ячейках, явные разностные схемы и многие клеточные автоматы.

Реализация ОТС

ОТС (Отладочный тестовый стенд) состоит из:

- ▶ Системы исполнения реализации задачи
- ▶ Интерфейс для подключения задачи и балансировщика

Вход ОТС:

- ▶ Описание задачи
- ▶ Балансировщик

Интерфейс для описания задачи

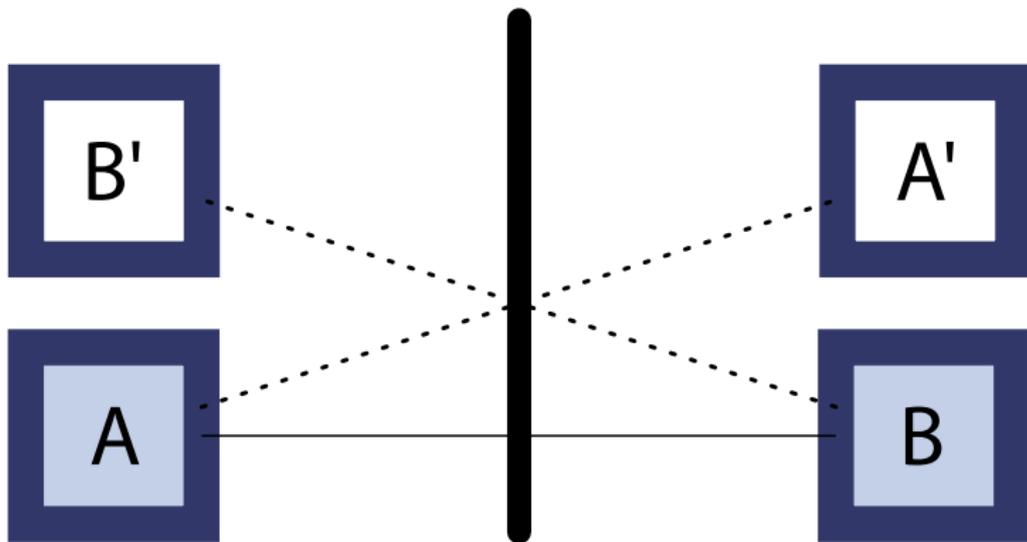
Описание задачи:

- ▶ Задача – множество объектов класса «фрагмент»
- ▶ Реализация фрагмента – реализация системных интерфейсов (данные и операторы итерационного шага и редукции)
- ▶ Отношение соседства описывается при инстанцировании фрагмента
- ▶ Управление исполнением задачи производится с помощью установки флагов, которые описаны в системных интерфейсах

ОТС скрывает в себе:

- ▶ Применение оператора к фрагменту
- ▶ Поиск соседних фрагментов
- ▶ Редукцию данных
- ▶ Миграцию фрагмента

Частичная реализация фрагмента

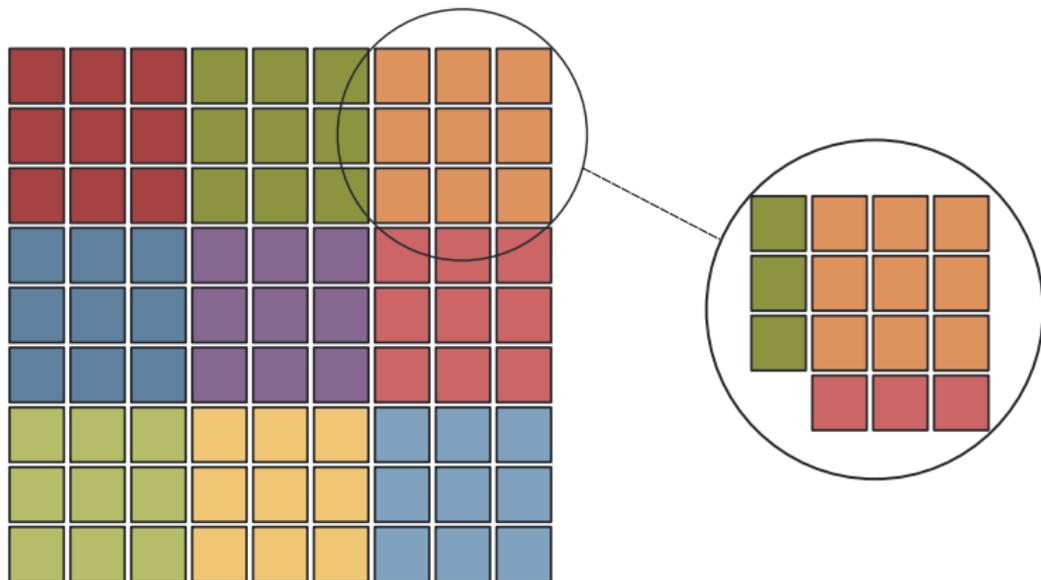


Управление исполнением

Доступные флаги:

- ▶ Редукция данных
- ▶ Необходимость в данных соседних фрагментов
- ▶ Обновление состояния фрагмента для глобального использования
- ▶ Переход на следующий шаг итерации

Декомпозиция пространства моделирования



Реализация фрагмента

Данные:

- ▶ Часть сетки в соответствии с декомпозицией:
 - ▶ Гравитационные потенциалы в центрах ячеек (Φ)
 - ▶ Плотности в ячейках (ρ)
 - ▶ Гравитационные силы в центрах сторон ячеек (F_x, F_y, F_z)
- ▶ Частицы, не связанные с ячейками:
 - ▶ Относительные координаты (x, y, z)
 - ▶ Скорости (u, v, w)
 - ▶ Масса (m)

Сдвиг частиц

- ▶ В соответствии с гравитационными силами частицы перемещаются:
 - ▶ Остаются в той же ячейке
 - ▶ Перемещаются в соседнюю ячейку
 - ▶ Остаются в том же фрагменте
 - ▶ Перемещаются в соседний фрагмент в виде частичной реализации фрагмента

Вычисление распределения плотности

- ▶ Плотность в каждой ячейке зависит от частиц, находящихся в ячейке
- ▶ Этот подшаг итерации не зависит от соседних фрагментов

Вычисление гравитационного потенциала

Особенности:

- ▶ Итерационный метод
- ▶ Аппроксимация 7-точечной схемой

Алгоритм:

1. Обмен потенциалами и плотностями на границах сетки
2. Вычисление гравитационных потенциалов
3. Редукция максимума абсолютного значения разницы потенциалов на текущем и предыдущих шагах
4. Если максимум больше определенного числа ϵ , то переход на шаг 1, иначе конец

Вычисление гравитационных сил

- ▶ Гравитационные силы каждой ячейки зависят от гравитационных потенциалов текущей и соседней ячейки
- ▶ Этот подшаг итерации не зависит от соседних фрагментов, так как граничные данные были собраны на предыдущем шаге

Итерационный шаг фрагмента

Алгоритм:

- ▶ Если подшаг == 0:
 1. "Сдвиг частиц"
 2. Обновить глобальное состояние фрагмента
 3. На следующем подшаге потребуются данные соседних фрагментов

- ▶ Если подшаг == 1:
 1. "Сохранить частицы соседних фрагментов"
 2. "Вычислить распределение плотности"
 3. На следующем подшаге потребуются данные соседних фрагментов

Итерационный шаг фрагмента

- ▶ Если подшаг ≥ 2 :
 - ▶ Если максимум $> \epsilon$:
 1. "Обновить границы сетки"
 2. "Вычислить гравитационные потенциалы"
 3. На следующем шаге произвести редукцию максимума
 4. Обновить глобальное состояние фрагмента
 5. На следующем подшаге потребуются данные соседних фрагментов
 - ▶ Иначе:
 1. "Обновить границы сетки"
 2. "Вычислить гравитационные силы"
 3. Перейти на следующую итерацию

Инициализация

- ▶ Статически:
 - ▶ Создать фрагменты на каждом узле
 - ▶ Определить соседство фрагментов
 - ▶ Передать фрагменты стенду
 - ▶ Запустить исполнение
- ▶ Динамически:
 - ▶ Запустить исполнение
 - ▶ Создать фрагменты на выделенных узлах
 - ▶ Определить соседство
 - ▶ Передавать фрагменты стенду сразу после создания и определения соседства