Параллельная реализация на суперЭВМ модели гравитирующей газопылевой системы

С.Е. Киреев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

Разработан параллельный трехмерный код для моделирования астрофизических объектов. Модель включает пылевую и газовую компоненты, гравитацию и трение между пылью и газом. Для решения уравнения для пыли используется метод частиц-в-ячейках. Уравнения газовой динамики решаются методом крупных частиц. При распараллеливании используется декомпозиция по пространству и по частицам. Представлены оценки эффективности распараллеливания.

Введение

В работе рассматривается параллельный трехмерный код для моделирования астрофизических объектов, таких как галактики и протопланетные диски. Используемая модель включает самогравитирующие газовую и пылевую компоненты, а также трение между ними. Необходимость распараллеливания обусловлена большими объемами обрабатываемых данных и долгим временем вычислений. Сложность параллельной реализации заключается в необходимости совмещать несколько различных физических процессов и использовать различные численные методы для их моделирования.

Описание задачи

Пылевая компонента галактики или протопланетного диска описывается бесстолкновительным уравнением Власова, которое решается методом частиц-в-ячейках [1, 2]. Газовая компонента описывается системой уравнений газовой динамики. Для ее моделирования используется метод крупных частиц (FLIC) [3, 4]. Распределение гравитационного потенциала удовлетворяет уравнению Пуассона, которое решается методом быстрого преобразования Фурье по трем направлениям. Для дискретизации пространства используется равномерная декартова сетка, что дает одинаковые свойства пространства во всей области моделирования.

Параллельная реализация

Основная проблема при параллельной реализации метода частиц-в-ячейках состоит в необходимости хранить модельные частицы и участок сетки из одной области пространства в памяти одного процесса. Есть опасность, что все частицы могут собраться в одной подобласти, что может сильно ограничить масштабирование задачи. Данная проблема была решена с помощью специального способа декомпозиции, совмещающего декомпозицию пространства с распределением частиц каждой подобласти по группе процессоров [5]. Число процессоров в группе для обработки каждой подобласти зависит от числа частиц в этой подобласти. Для начального задания и поддержки в процессе счета оптимального распределения процессоров по группам был реализован алгоритм балансировки.

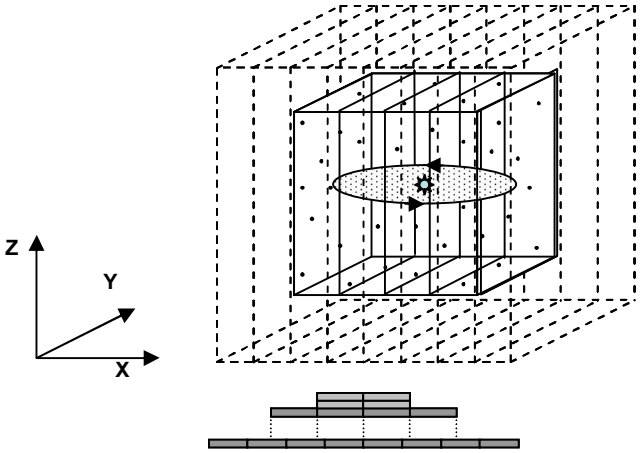


Рис. 1. Декомпозиция большой и малой сеток

Распараллеливание метода крупных частиц для решения уравнений газовой динамики выполнено путем декомпозиции пространства моделирования. Параллельное быстрое преобразование Фурье при решении уравнения Пуассона выполняется с помощью библиотеки FFTW, которая сама задает способ декомпозиции. Таким образом, имеются две вложенные сетки, которые по-разному распределены между процессорами: малая сетка для движения вещества и большая сетка для решения уравнения Пуассона (рис. 1). Поэтому на каждом шаге по времени необходимо дважды делать перераспределение сеточных зна-

чений между процессорами: перераспределение значений плотности вещества перед решением уравнения Пуассона и значений гравитационного потенциала после него.

Оценка эффективности параллельной реализации

Для оценки эффективности созданного параллельного кода была проведена серия тестов на кластере МВС-100К (МСЦ РАН). Параметры тестов представлены в следующей таблице:

N	Компоненты	Размер малой сетки	Размер большой сетки	Число частиц
(1)	Пыль	200×200×200	400×400×400	10^7
(2)	Пыль	300×300×300	600×600×600	10^7
(3)	Пыль	200×200×200	400×400×400	10^8
(4)	Газ	200×200×200	400×400×400	–
(5)	Газ	250×250×250	500×500×500	–
(6)	Пыль + газ	500×500×500	1000×1000×1000	10^9

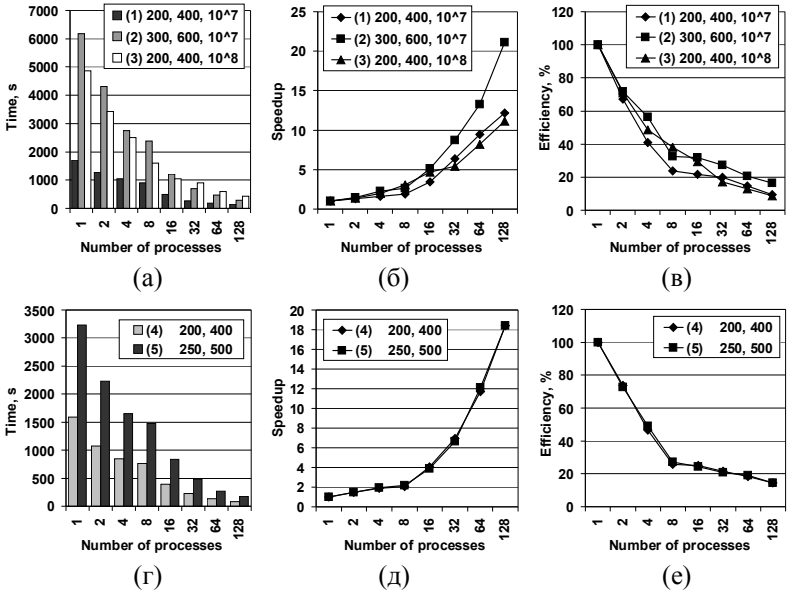


Рис. 2. Время работы (*а,г*), ускорение (*б,д*) и эффективность (*в,е*) расчета пылевой (*а,б,в*) и газовой (*г,д,е*) компонент

На рис. 2 показаны результаты расчетов отдельно пылевой и газовой компонент. Наибольшее падение эффективности наблюдается при использовании до 8 ядер. Дополнительное тестирование показало, что основная причина такого падения эффективности – ограничение на пропускную способность общей памяти 8-ядерного узла кластера.

В представленных результатах число подобластей при декомпозиции области бралось равным числу процессоров. Расчет пылевой компоненты при большом числе частиц можно ускорить, если взять меньшее число подобластей.

На рис. 3 показаны результаты расчета всей комплексной задачи с большим объемом данных на большом числе процессоров. Видно, что уменьшение времени расчета при увеличении числа процессоров имеет место при оптимальном выборе числа подобластей (групп процессоров).

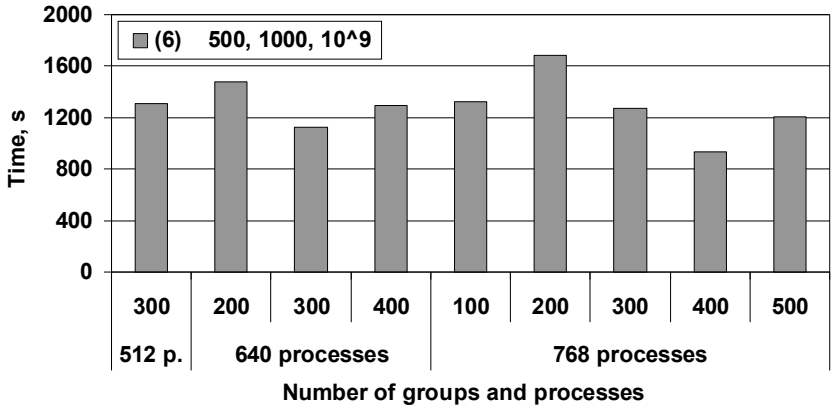


Рис. 3. Время расчета при моделировании газопылевого самогравитирующего облака

Заключение

Реализованный трехмерный код позволяет выполнять расчеты на сетках порядка 500×500×500 ячеек и использовать 1 млрд модельных частиц. При увеличении числа используемых процессоров имеет место ускорение счета.

Литература

1. **Хокни Р., Иствуд Дж.** Численное моделирование методом частиц. М.:Мир, 1987.
2. **Григорьев Ю.Н., Вшивков В.А., Федорук М.П.** Численное моделирование методами частиц-в-ячейках. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004.
3. **Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М.** Метод крупных частиц в газовой динамике. М.: Наука, 1982.
4. **Вшивков В.А., Лазарева Г.Г., Киреев С.Е., Куликов И.М.** Параллельная реализация модели газовой компоненты самогравитирующего протопланетного диска на суперЭВМ // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12, №3. С. 38-52.
5. **Киреев С.Е.** Параллельная реализация метода частиц в ячейках для моделирования задач гравитационной космодинамики // Автометрия. 2006. №3. С. 32-39.