

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ НА ОСНОВЕ PIC–МЕТОДА
ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАДАЧИ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПОТОКОВ ПЛАЗМЫ

В.А.Вшивков¹, И.В.Лобив², Ф.А.Мурзин^{3*}

³*Институт вычислительных технологий СО РАН,
630090 Новосибирск, РОССИЯ, vsh@net.ict.nsc.ru*

²*Новосибирский государственный университет,
630090 Новосибирск, РОССИЯ, lobiv@iis.nsk.su*

³*Институт систем информатики СО РАН,
630090 Новосибирск, РОССИЯ, murzin@iis.nsk.su*

Рассматривается задача о взаимодействии потоков разреженной плазмы в самосогласованных электромагнитных полях. Такие задачи возникают при изучении динамики солнечных вспышек, обтекании солнечным ветром магнитосферы Земли, при взаимодействии летательных аппаратов с космической плазмой, активных экспериментах с облаками плазмы в космосе.

Полная система уравнений, используемая нами для решения поставленных задач, состоит из кинетического уравнения Власова для ионов, уравнения движения для электронной компоненты, а также уравнений Максвелла для электромагнитного поля [1].

Алгоритм решения данной системы уравнений основан на методе частиц в ячейках (PIC-методе) [2,3], с помощью которого решается уравнение Власова для ионной компоненты плазмы. Уравнения движения для электронов и уравнения Максвелла решаются конечно-разностными методами на равномерной прямоугольной сетке. Сложность распараллеливания указанного алгоритма определяется разнотипностью методов, используемых в нем, а также различным представлением величин, связанных с частицами и заданных на сетке [4]. Проблема заключается в балансировке загрузки процессоров и минимизации коммуникационных издержек.

Предложен способ отображения данного алгоритма на параллельную вычислительную систему достаточно простой структуры. В рамках некоторых естественных предположений сделаны оценки времени выполнения алгоритма в параллельном и последовательном случаях, а также коэффициента ускорения.

Для коэффициента ускорения κ получено неравенство

$$\kappa \geq \frac{\alpha N^* + \beta M}{\alpha l + \beta R + \gamma N^*} = \frac{(\alpha l + \beta R)K}{\alpha l + \beta R + \gamma N^*} = K(1 - b(l, R, K)),$$

$N = (n_1 + 1) \times (n_2 + 1) \times (n_3 + 1)$ - размер сетки, M - число частиц, $M \gg N$,

K - число процессоров, $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$ делится на K , т.е. $n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = l \cdot K = N^*$,

$iter$ - количество итераций, возникающих при расчете плотности заряда в узлах сетки,

α, β, γ - некоторые константы.

Более детальное рассмотрение показывает, что имеет место практически линейная зависимость коэффициента ускорения от входного параметра задачи K . Это обусловлено тем, что в алгоритме отсутствуют этапы, на которых используются малоэффективные итерационные процессы.

Коэффициент ускорения зависит также от констант α, β, γ . Эти константы определяются сложностью вычислений, возникающих при расчёте одной ячейки или одной частицы.

В конечном итоге, эта сложность определяется сложностью соответствующих формул.

1. Вшивков В.А., Дудникова Г.И. Кинетико-гидродинамические модели динамики взаимопроникающих плазменных потоков. // Моделирование в механике, т. 4(21), N 1, 1990.
2. Березин Ю.А., Вшивков В.А. Метод частиц в динамике разреженной плазмы. - Новосибирск, Наука, 1980.
3. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. - М., Мир, 1987.
4. Вшивков В.А., Дудникова Г.И., Малышкин В.Э. Численное моделирование трехмерных плазменных течений с использованием многопроцессорного вычислительного комплекса. // Вычислительные технологии, т. 2, N 5, Новосибирск, 1993.