

Реализация модели многочастичного газа FHP-MP на гибридном кластере

А.С. Подстригайло

Институт вычислительной математики и математической
геофизики СО РАН, Новосибирск
Новосибирский государственный университет

Введение

Для имитационного моделирования потоков жидкости и газа в 70-х годах прошлого века было разработано семейство дискретных клеточно-автоматных моделей Lattice Gas. Эти модели имеют ряд ограничений, в частности, граничные условия позволяют задавать только неподвижные твердые объекты (стенки), моделирование околозвуковых скоростей влечет искажение результата и т.д.

Для решения этих проблем в ИВМиМГ СО РАН была предложена новая КА модель, названная FHP-MP, подробно описанная в работе [1]. Она является обобщением классической булевой модели FHP, в которой допускается более одной частицы по каждому направлению скорости. Приведем краткое описание модели: пространство моделирования представляет собой гексагональную решетку, состояние каждой клетки представлено вектором целых чисел, частицы покоя в рассматриваемой модели отсутствуют. Процесс моделирования – итеративный. Каждая итерация состоит из двух фаз: столкновения и движения. На фазе сдвига каждая частица, обладающая ненулевой скоростью, перемещается в смежную ячейку, соответствующую направлению ее скорости; при этом скорость частицы в новой ячейке остается прежней. На фазе столкновения необходимо случайно равновероятно выбрать одно из состояний вектора такое, что выполняются законы сохранения массы и импульса частиц.

Характерной особенностью модели является большая вычислительная сложность фазы столкновения. В то же время данный алгоритм обладает высоким уровнем параллелизма, что позволяет, в частности, использовать модель вычислений на GPU.

Постановка задачи

В рамках работы была поставлена задача реализовать модель FHP-MP для одного узла гибридного кластера с несколькими

графическими ускорителями. Данная задача разбивается на несколько этапов:

1. Реализация модели FHP-MP непосредственно на одном графическом ускорителе.
2. Анализ степени дисбаланса вычислений на видеокарте в рамках данной модели.
3. Реализация модели FHP-MP на одном узле гибридного кластера.
4. Разработка и реализация алгоритма балансировки нагрузки между видеокартами одного узла кластера.

Параллельная реализация модели FHP-MP на одном графическом ускорителе

Для проверки существования дисбаланса в рамках одной видеокарты было реализовано два алгоритма столкновений разной сложности: кубической [2] и линейной [3].

Поскольку штатные средства профилировки не позволяют изучить загрузку мультипроцессоров видеокарты, был поставлен следующий вычислительный эксперимент:

- рассматривались поля размером 1024x512, 2048x1024, 4096x2048 клеток;
- на расстоянии четверти поля от левого края была поставлена отражающая стенка, не достигающая до верха и низа поля – таким образом, что частицы способны обходить ее;
- верхняя и нижняя границы поля – отражающие, правая и левая – проникающие, т.е. частицы, вылетающие за правую границу, прилетают с левой и наоборот.

Для сравнения были поставлены серии экспериментов двух типов.

В первом случае на поле выделялась область с «плотным» заполнением, когда по каждому направлению в этой клетке вылетало по 1, 10 или 100 частиц, в зависимости от эксперимента; в оставшейся области в каждой клетке в трех случайных направлениях разлеталось по 1 частице (рис. 1).

В экспериментах второго типа область равномерно заполнялась частицами, разлетающимися в случайных направлениях так, чтобы их суммарное количество соответствовало общему числу частиц в эксперименте первого типа.

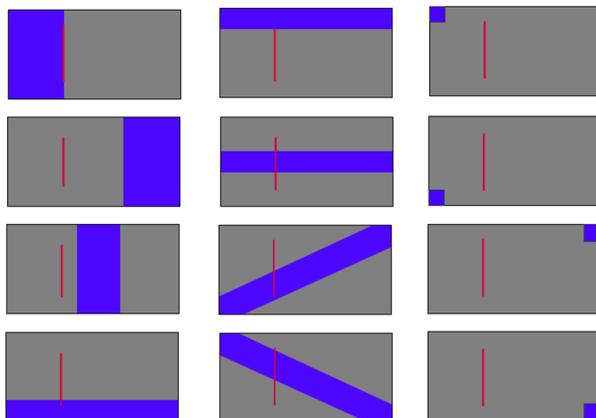


Рис. 1. Серия экспериментов I типа. Черным цветом показаны области с плотным заполнением, серым – с разреженным. Вертикальный отрезок показывает отражающую стенку

Приведем численные результаты экспериментов, рассчитанных на графическом ускорителе GTX 680, и сравним их с последовательной реализацией тех же алгоритмов на процессоре Core i7.

Заметим, что, хотя общее время обчета модели при переходе к большей области закономерно возрастает, время обчета одной клетки существенно не меняется, поэтому ограничимся результатами для области 1024x512 клеток.

Таблица 1. Численные результаты эксперимента I типа

Среднее время обчета клетки (область 1024x512), мкс				
N	CPU-N3	CPU-N	GPU-N3	GPU-N
6	0,243	0,115	0,012	0,008
60	30,351	0,222	2,505	0,012
600	-	1,196	-	0,024

Таблица 2. Численные результаты эксперимента II типа

Среднее время обсчета клетки (область 1024x512), мкс				
M	CPU-N3	CPU-N	GPU-N3	GPU-N
3	0,200	0,114	0,009	0,008
17	5,408	0,236	0,328	0,011
152	-	1,215	-	0,020

Здесь N – количество частиц в области с плотным заполнением (в данном случае представлены результаты эксперимента, когда плотно заполнена четверть поля слева), M – количество частиц в каждой клетке при равномерном распределении суммарного количества частиц по области.

Прочерки в таблице объясняются тем, что общее время обсчета на CPU для кубического алгоритма на 50 итерациях уже для 60 частиц составляет порядка 15 мин, поэтому расчеты для 600 частиц были признаны нецелесообразными; соответствующие результаты для версии GPU также не вычислялись.

Таблица 3. Отношение времени вычислений экспериментов

Отношение времени вычислений			
CPU-N3	CPU-N	GPU-N3	GPU-N
1,216	<i>1,006</i>	1,285	<i>1,007</i>
5,613	<i>0,939</i>	7,631	<i>1,105</i>
-	<i>0,984</i>	-	<i>1,197</i>

Рассматривая отношения времени вычисления первого эксперимента ко второму (табл. 3), можно заметить, что следующая величина для CPU и GPU (выделено курсивом) почти не различается, что говорит о том, что в эксперименте первого типа на GPU нет дисбаланса вычислений: на CPU ввиду последовательной реализации дисбаланса очевидно нет, а если бы был дисбаланс на GPU, то эксперимент первого типа ускорился бы в разы меньше, чем второго, что на практике не реализуется.

Таким образом, было установлено, что в случае модели FHP-MP при вычислениях на одной видеокарте не наблюдается дисбаланса вычислительной нагрузки, т.е. планировщик блоков потоков справляется с распределением задачи по вычислительным ядрам

видеокарты самостоятельно и дополнительной балансировки нагрузки в рамках одного ускорителя не требуется.

Для дальнейшего развития модели был выбран алгоритм столкновений с линейной сложностью.

Параллельная реализация модели FHP-MP на узле гибридного кластера

В табл. 4 представлены результаты обчета модели, расширенной для выполнения на нескольких видеокартах в рамках одного узла кластера НКС-30Т+GPU. Нижняя строчка таблицы показывает, что использование всех трех видеокарт дает существенное увеличение производительности.

Таблица 4. Численные результаты эксперимента I типа

Среднее время обчета клетки (область 4096x2048), мкс				
N	CPU-N	GPU-N		
		Fermi x1	Fermi x2	Fermi x3
6	0,149	0,009	0,005	0,004
60	0,289	0,011	0,006	0,005
600	1,673	0,042	0,021	0,014

Однако существует ряд экспериментов, когда основная вычислительная нагрузка приходится на одну видеокарту, в этом случае, как показано в табл. 5, увеличения производительности от использования дополнительных графических ускорителей не наблюдается.

Таблица 5. Численные результаты эксперимента I типа для области с плотным заполнением частиц в нижней четверти поля

Среднее время обчета клетки (область 4096x2048), мкс			
N	GPU-N		
	Fermi x1	Fermi x2	Fermi x3
6	0,007	0,005	0,004
60	0,010	0,008	0,006
600	0,038	0,036	0,034

Для компенсации этого факта был реализован следующий алгоритм динамической балансировки между видеокартами.

Во время выполнения итерации подсчитывается суммарное количество частиц по всем направлениям в каждой строке M . На основе этих данных можно рассчитать теоретическое «эталонное» количество частиц M_t , равное M , деленное на количество графических ускорителей в узле, которое нужно отдать каждой видеокарте для балансировки нагрузки. Опираясь на эту границу и зная, сколько «весит» в частицах каждая строка, алгоритм отдает для обсчета каждой видеокарте столько последовательных строк, чтобы разница между теоретическим M_t и практическим M_p была минимальна.

В табл. 6 представлены численные результаты того же эксперимента, что и в табл. 5, с условием включенной динамической балансировки. Видно, что алгоритм хорошо компенсирует замеченный дисбаланс нагрузки между графическими ускорителями в узле.

Таблица 6. Численные результаты эксперимента I типа для области с плотным заполнением частиц в нижней четверти поля, с балансировкой

Среднее время обсчета клетки (область 4096x2048), мкс			
N	GPU-N		
	Fermi x1	Fermi x2	Fermi x3
6	0,007	0,005	0,004
60	0,010	0,008	0,006
600	0,038	0,024	0,014

Заключение

В работе представлена реализация модели FHP-MP для нескольких видеокарт в рамках одного узла гибридного кластера. Был разработан и реализован алгоритм динамической балансировки нагрузки для данной модели между графическими ускорителями в одном узле, который позволяет компенсировать возникающий в процессе вычислений дисбаланс нагрузки видеокарт.

Литература

1. *Медведев Ю.Г.* Многочастичная клеточно-автоматная модель потока жидкости FHP-MP // Вестник Томского государственного университета, серия «Управление,

вычислительная техника и информатика». 2009. №1(6).
С. 33–40.

2. *Kalgin K.* Optimization of transition rule computation algorithm in multiparticle lattice gas. // Proc. of Combinatorics. 2010. P.148.
3. *Дубовик А.С.* // Труды конференции «Новые информационные технологии в исследовании сложных структур». 2012.