

В соответствии с вышеизложенной процедурой распараллеливания была доработана программа трехмерного газодинамического расчета, модернизирован алгоритм метода крупных частиц, а именно в него был введен обмен данными между узлами кластера с помощью процедур MPI. В настоящее время с помощью модернизированной программы ведутся расчеты на кластере ПГТУ. Проводятся более точные расчеты различных конструкций систем охлаждения ГТУ с направляющими воздушный поток устройствами. Это позволяет оптимизировать процесс вентиляции пространства под КШТ с целью обеспечения штатной работы датчиковой аппаратуры. Также проводятся расчеты полей температуры при аварийном выключении вентиляторов системы охлаждения для разных типов ГТУ.

Е.А. Шамов, С.С. Барышникова, Д.Н. Жариков, Д.С. Попов

Волгоградский государственный технический университет

**ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
ДИНАМИКИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА КЛАСТЕРЕ
ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРНЫХ
УСТРОЙСТВ**

Моделирование динамики произвольных объектов является приоритетным направлением развития современной фундаментальной науки. Моделирование динамики объектов и процессов способствует генерации новых знаний, которые уже основаны на знаниях. Моделирование позволяет подтверждать или опровергать различные теории. Особенно важным фактором является то, что моделирование дает новые знания, позволяющие создавать инновационную продукцию. По данной причине наиболее развитые государства вкладывают огромные ресурсы в развитие данного направления и, что немаловажно, получают новые технологии и знания в целом, которые несут еще большую экономическую выгоду.

В мире существует огромное количество систем, позволяющих моделировать динамику различных объектов, однако

нет универсальной системы, которая позволяла бы моделировать динамику произвольных объектов. Все существующие системы загнаны в жесткие рамки, которые не позволяют расширить диапазон моделируемых объектов и соответственно процессов. Поэтому основной проблемой моделирования динамики произвольных объектов является универсальность.

Еще одним камнем преткновения является простота системы моделирования. Подавляющее число систем состоит из очень сложных «переплетений», в которых даже проектировщик, как правило, не может разобраться. Однако даже такие задачи решают узкоспециализированные задачи. Многие исследователи часто говорят, что универсализм не нужен, и можно рассчитывать отдельные модели, однако данное мнение ошибочно. В 60-х – 70-х годах двадцатого века был подобный случай. Тогда «принцип мозаики» использовался в «искусственном интеллекте», что, в свою очередь, и привело к тупиковой ситуации.

Достаточно важным аспектом при моделировании является удобство системы, так как пользователю зачастую оказывается затруднительным использование таких систем по причине сложности и неудобности интерфейса. Порой приходится часами искать, где поставить галочку, даже при наличии справки. Пожалуй, не будем вдаваться в подробности проблем, касающихся простоты и удобства в использовании систем моделирования. Посмотрим на создаваемые системы моделирования с другой стороны.

Система по моделированию динамики произвольных объектов должна за минимальный срок выдавать необходимые результаты. В современном мире создание качественных и мощных систем без использования средств параллельного программирования просто невозможно. Существует несколько аппаратных систем, в которых применяется параллельное программирование. Простейшими являются системы с общей памятью, которые делятся на многоядерные системы с общей памятью, системы с общей памятью, задействующие графические процессорные устройства (ГПУ), а также их гибриды. К сложным системам относятся системы с распределенной памятью, а именно гриды, кластеры и кластеры центральных и графических процессорных систем (кластеры ЦПУ и ГПУ). Грид – группа неоднородных компьютеров объединенных

вычислительной сетью для расчета общей задачи. Кластер – группа однородных вычислительных устройств собранных в единый вычислительный ресурс с помощью коммутационного оборудования. Стоит заметить, что научные термины *кластер* и *кластер ЦПУ* являются синонимами. Кластер ЦПУ и ГПУ-кластер, который использует для вычислений не только ЦПУ, но и ГПУ. Очень важно отметить, что кластер ЦПУ и ГПУ стоит на порядок дешевле, чем обычный кластер, обладающий такой же вычислительной мощностью. Далее будем рассматривать проблемы, возникающие при работе с кластером ЦПУ и ГПУ, так как данная аппаратная система наиболее перспективная при моделировании динамики произвольных объектов.

Основной логической проблемой является разделение исследуемой модели на части (объекты). При моделировании исследователь сам выбирает, из каких объектов необходимо строить модель. Это уже его личное дело, однако можно сказать, что, к примеру, при моделировании Солнечной системы в роли элементарных объектов могут быть использованы планеты или «элементарные» частицы, такие как кварки. Разделив модель на объекты, мы не решим проблему, так как теперь для соблюдения всех правил необходимо учесть взаимодействие между объектами. Поскольку время течет непрерывно, а компьютер – дискретная вычислительная система, при моделировании, как правило, используют численное интегрирование. В результате взаимодействие между объектами перерасчитывается на каждом шаге интегрирования и, соответственно, меняются характеристики объектов.

Перейдем к рассмотрению отдельного класса проблем, связанных с данными. Хранение данных, как ни странно, при моделировании динамики произвольных объектов является весьма актуальной проблемой. Если данные о модели настолько малы, что помещаются в оперативную память каждого ГПУ отдельно взятого вычислительного узла, то на первый взгляд проблема отсутствует, но обращение к ОЗУ ГПУ занимает длительное время, что является критичным при вычислениях. Поэтому необходимо эффективно использовать регистры ГПУ с минимизацией обмена с ОЗУ ГПУ. Однако при такой ситуации, когда все необходимые данные не могут поместиться в ОЗУ ГПУ, приходится использовать ОЗУ вы-

числительного узла, что соответственно замедляет работу. Если же нужные данные не помещаются в ОЗУ узла, то ничего не остается, как работать с жесткими дисками, что, в свою очередь, делает скорость вычислений крайне низкой. Что делать, если данные не помещаются на жесткие диски? Только увеличить объем вмещаемой на дисках информации.

Пересылка данных между узлами зачастую отнимает много времени. Эту проблему можно частично решить, если при пересылке данных маленькие пакеты данных заменить на пакеты оптимального размера. При моделировании, как правило, возможно обмениваться один раз за шаг интегрирования. По крайней мере к этому нужно стремиться. Очень важно для достижения наибольшей эффективности добавить еще одну сеть в кластер ЦПУ и ГПУ. Добавленная сеть может обладать высокой пропускной способностью, но хорошей латентностью. Эту сеть предполагается использовать в роли управляющей. Самой лучшей для вычислительной сети является на данный момент технология InfinyBand, которая обладает пиковой теоретической скоростью 120 Gb/s. Однако коммутационное оборудование, работающее с InfinyBand, стоит очень дорого и по этой причине используется крайне редко.

Зачастую система моделирования вылетает с ошибками или, что крайне трудно обнаружить, просто неправильно работает, хотя логика программы на первый взгляд правильная. Возможно проблема в синхронизации работы оборудования. К примеру, в ГПУ часто возникает ситуация, когда часть мультипроцессоров еще не закончила необходимые расчеты, а другая часть уже начала рассчитывать следующий блок заданий. Чтобы исключить подобные случаи, необходимо использовать специальные команды синхронизации.

При использовании ГПУ в качестве вычислителей бывает вообще абсурдная ситуация. При расчете малых моделей все работает правильно и получаемые результаты являются верными, однако при исследовании больших моделей происходит зависание программы и сбой в работе драйвера ГПУ, после чего драйвер перезагружается. На разрешение данной проблемы уходит

много времени. Оказывается, у ГПУ есть специальный таймер, который прерывает выполнение задачи при его переполнении. Таймер сбрасывается если задача выполняется быстрее, чем таймер переполнится. Есть два пути решения данной проблемы. Первый – разделить задачу на куски, которые недолго выполняются, и последовательно «скормить» ГПУ. Второй (производитель ГПУ запрещает это делать) – отключить таймер. Запрет сделан по двум причинам, а именно: при зависании ГПУ драйвер не будет перегружен и при длительных вычислениях ГПУ может перегреться, что может повлечь за собой его поломку.

Таким образом, проблем при моделировании динамики произвольных объектов на кластере ЦПУ и ГПУ достаточно. В реальности это далеко не все проблемы, с которыми можно столкнуться, но исследования, проводимые с помощью моделирования, крайне важны и позволяют исследователям получать новые знания, что, без сомнения, способствует развитию не только науки и экономики, а человечества в целом.

Список литературы

1. Шамов Е.А., Шеин А.Г. Система моделирования динамики электронных потоков в скрещенных полях на вычислительном кластере (MDESonC): свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ Российская Федерация № 2010611509; опубл. 19.02.2010.

2. Шамов Е.А., Шеин А.Г., Шаповалов О.В. Система моделирования динамики электронных потоков в скрещенных полях на видеокarte (MDESonG): свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ Российская Федерация № 2010611508; опубл. 19.02.2010.

3. Шеин А.Г., Шамов Е.А. Стохастическая модель динамики плоского электронного потока в скрещенных статических электрическом и магнитном полях // Изв. ВолгГТУ. Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь». – Вып. 3. 2009. – С. 48–53.

4. Калинин Ю.А., Кожевников В.Н., Лазерсон А.Г. Сложная динамика и явление динамического хаоса в потоке заряженных частиц, формируемом магнетронно-инжекторной пушкой (численный и физический эксперимент). – СПб.: Питер, 2000. – 101 с.
5. Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей. Неустойчивости неоднородной плазмы. – М.: Атомиздат, 1977. – 360 с.
6. Воеводин В.В., Жуматий С.А. Вычислительное дело и кластерные системы. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 150 с.
7. Развитие параллельного программирования на примере моделирования динамики электронного потока в скрещенных полях / Е.А. Шамо́в [и др.] // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности (АСТИНТЕХ–2010): материалы междунар. науч. конф. – М., 2010.
8. Шамо́в Е.А. Моделирование динамики электронного потока в скрещенных полях на кластере центральных и графических процессорных устройств. // VII Всерос. межвузовская конференция молодых ученых. 2009.
9. Шамо́в Е.А., Шеин А.Г. Анализ спектрального состава электронного потока в скрещенных полях с использованием кластера центральных и графических процессорных устройств // Современные информационные технологии–2010: материалы междунар. науч.-техн. конф. – М., 2010.
10. Анализ эффективности применения технологии Nvidia CUDA для задач физической электроники / Е.А. Шамо́в [и др.] // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». – Вып. 8. – 2009.