

Двухуровневый параллелизм в задачах обработки и визуализации синоптических данных

Черкашин Александр

Лаборатория машинной графики

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

alexandr@cherkashin.ws

Аннотация

В этой статье описывается методология применения гибридных архитектур массового параллелизма для обработки и визуализации синоптических данных.

Приводятся примеры конкретных реализаций алгоритмов обработки данных на различных вычислительных архитектурах, в том числе кластерных, в контексте программного комплекса для визуализации синоптических данных.

Оценивается эффективность и производительности каждой архитектуры на основе результатов обработки тестового набора данных.

Ключевые слова: CUDA, GPU, CPU, гибридные параллельные вычисления, кластер, синоптика, данные

1. ВВЕДЕНИЕ

С появлением технологий массового параллелизма удалось ощутимо увеличить производительность обработки данных, требующих больших вычислительных ресурсов. Формат синоптических данных – это, как правило, двумерная или трехмерная сетка. Данные такого типа эффективно обрабатываются системами массового параллелизма, где операция над каждой ячейкой может быть выполнена отдельным независимым потоком.

Разрешение сетки данных является определяющим фактором при учете производительности. Большие вычислительные кластеры хорошо справляются с такой задачей, однако, на определённом уровне разрешения сетки ощущается дефицит доступных ресурсов. На сегодняшний день GPU является недорогой высокопроизводительной альтернативой обычным микропроцессорам. Скорость роста производительности GPU намного выше CPU. Графические процессоры, как и их предшественники – системы SIMD, предназначены для использования как системы массивного мелкозернистого параллелизма [1].

GPU имеют большую, выделенную, память для чтения-записи и только чтения, чтобы обеспечить высокую пропускную способность, необходимую для сложных вычислений с плавающей точкой (такие данные являются характерными для синоптики).

На сегодняшний день, исследования в области ускорения процесса обработки синоптических данных ведутся в

направлении перспективных технологий массового параллелизма, таких как CUDA, MPI и OpenMP [2-5]. Однако само по себе применение этих технологий по отдельности, не всегда может быть целесообразно. Так как эти технологии обладают разным уровнем зернистости параллелизма, то в зависимости от типа данных и способа их обработки необходимо применять гибридные (комбинированные) методы параллелизма. Например, разделить большую географическую область синоптических данных, на подобласти между узлами кластера (рис. 1). В случае необходимости детализации какой-либо подобласти, для расчета может быть использован более мелкозернистый параллелизм, например, параллелизм GPU.

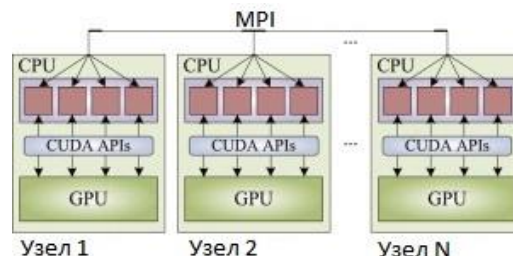


Рис 1: Схема кластера MPI+OpenMP+CUDA.

Таким образом, задача обработки синоптических данных может быть эффективно решена при помощи систем гибридного параллелизма.

2. СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИНОПТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В рамках работы посвященной вопросам обработки и визуализации синоптических данных, лабораторией машинной графики ИАПУ ДВО РАН была создана модульная программная система обработки и визуализации синоптических данных [6-7].

Система представляет собой модульный программный комплекс. Основной частью комплекса является графическая программная оболочка, с помощью которой пользователь может управлять данными, а именно: загрузкой, обработкой, процессом и способом визуализации. Также имеется ряд программных инструментов для проведения визуального анализа данных и управлением хронологией динамических данных.

Пользовательский интерфейс построен по принципу минимализма. Все неинформативные для пользователя процессы (в основном это алгоритмически-функциональная

часть) – скрыты. Пользователь видит лишь результат визуализации и инструменты для его настройки.

С целью обеспечить возможность добавления новых типов данных, методов обработки и визуализации, все процедуры работы с данными (загрузка, обработка, визуализация) вынесены во внешние модули, имеющие унифицированный интерфейс, спецификацию взаимодействия и потоков данных. Таким образом, чтобы адаптировать всю систему для работы с новым типом данных достаточно создать соответствующие модули.

Все данные проходят иерархическую процедуру обработки, состоящую из трех этапов, соответственно модулям:

1. Загрузка данных – этап, на котором учитывается специфика формата, при этом структура данных приводятся к универсальной программной структуре, разработанной для системы.
2. Обработка данных – необязательный этап изменения исходных данных в соответствии с заданными алгоритмами. Применяется, как правило, для выделения областей интереса, расчета дополнительных атмосферных характеристик, фильтрации и других операций.
3. Визуализация – этап отображения данных на экран. На этом этапе пользователь управляет ракурсом виртуальной камеры, задает параметры визуализации.

Система способна одновременно работать с несколькими наборами статических и динамических данных, а также одновременно обрабатывать и визуализировать один и тот же набор данных разными методами. Важной особенностью является то, что для всех данных соблюдается временная хронология. В выбранный пользователем момент времени обрабатываются только данные, с соответствующей датой. Для выбора интересующего момента времени используется программный инструмент «временная шкала».

2.1 Модуль двухуровневой обработки данных

Этап обработки синоптических данных является наиболее трудоемким, так как для его осуществления обычно требуется выполнение операций над множеством (обращение к каждому элементу области сетки и/или обращение к элементам подобластей всей сетки данных). Конкретная сложность задачи определяется алгоритмом обработки.

Одной из трудоемких операций по выявлению областей интереса является процедура поиска температурных аномалий тропического циклона (аномалией считается отклонение от нормального значения) [8]. Анализ аномалий в пространстве и времени позволяет метеорологам судить о физике процесса. В качестве исходных данных для этой задачи выступает трёхмерное скалярное поле распределения температуры. Алгоритм обработки данных достаточно прост: для каждого вертикального уровня сетки данных l рассчитывается среднее арифметическое значение $Avg(l)$ по формуле 1:

$$Avg(l) = \frac{\sum_x \sum_y (W_{Rr}(x, y) \cdot f(x, y, l))}{\sum_x \sum_y W_{Rr}(x, y)}, \quad (1)$$

где $f(x, y, l)$ — значение сетки данных; x, y — размерность по x и y соответственно;

$$W_{Rr}(x, y) = \begin{cases} 1, & r < \sqrt{x^2 + y^2} < R \\ 0 & \end{cases}, \quad (2)$$

W_{Rr} – это весовой коэффициент, определяющий принадлежность элемента кольца «спокойствия», где r – внутренний радиус кольца, а R – внешний.

Затем рассчитывается стека аномалий по формуле 3:

$$Anm(l) = f(l) - Avg(l), \quad (3)$$

где l — текущий вертикальный уровень; $f(l)$ — исходная сетка данных, $Avg(l)$ — среднее значение.

Однако, в зависимости от разрешения исходной сетки, задача может быть достаточно трудоемкой. Так же стоит учесть, что в случае визуализации в реальном времени, требования к производительности значительно возрастут.

Для увеличения скорости обработки данных был разработан специальный модуль, способный выполнять вычисления на удаленном кластере, поддерживающем технологию гибридного параллелизма. Существуют различные аппаратные конфигурации кластеров, но для работы модуля, кластер должен поддерживать как минимум два уровня распараллеливания:

- Параллелизм между множеством узлов CPU.
- Параллелизм внутри многоядерной структуры GPU.

Применительно к задаче поиска аномалий тропического циклона, распределение аппаратных ресурсов было выполнено следующим образом: трехмерная сетка данных, загруженная при помощи системы визуализации, передается на кластер, где она делится по вертикальным уровням между потоками MPI кластера. Каждый поток рассчитывает $Avg(l)$. Результат и сама сетка передаются в GPU, где вычисляется $Anm(l)$. Данные каждого уровня l собираются в единую стеку и возвращаются в систему визуализации (рис. 2).

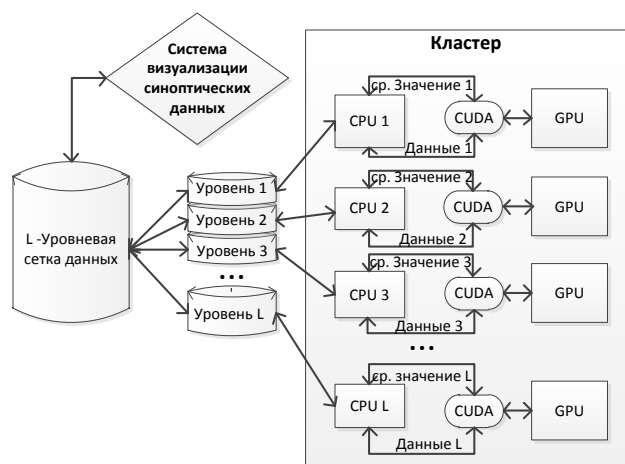


Рис 2: Схема гибридной обработки данных кластером CPU+GPU.

3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Чтобы определить эффективность предложенного метода гибридной обработки синоптических данных был проведен ряд численных сравнительных экспериментов различных параллельных архитектур, показывающий временные затраты на обработку данных и накладные расходы. Ниже представлены таблицы поэтапных временных задержек для 4-х реализаций алгоритма поиска аномалий:

Размер решетки	Время выполнения
128x128x64	0.044
256x256x64	0.196
512x512x64	0.737
1024x1024x64	3.079

Таб. 1 Реализация для CPU. Задействован 1 Intel Core i5 центральный процессор. Время в секундах.

Размер решетки	Время выполнения
128x128x64	0.798
256x256x64	0.856
512x512x64	0.968
1024x1024x64	1.379

Таб. 2 реализация для CPU+CUDA. Задействован 1 Intel Core i5 центральный процессор и 1 GPU GeForce GT 540M. Время в секундах.

Размер решетки	Отправка/Получение	Обработка	Суммарно
128x128x64	1.24	1.18	2.42
256x256x64	5.08	1.25	6,33
512x512x64	19.73	1.38	21,11
1024x1024x64	68.24	1.52	69,76

Таб. 3 Реализация для MPI. Задействовано 8 физических узлов, по 8 параллельных потоков на каждом. Время в секундах.

Размер решетки	Отправка/Получение	Обработка	Суммарно
128x128x64	1.31	1.22	2,53
256x256x64	5.15	1.23	6,38
512x512x64	20.12	1.34	21,46
1024x1024x64	69.99	1.46	71,45

Таб. 4 Реализация MPI+ CUDA. Задействовано 8 физических узлов, по 8 параллельных потоков на каждом, по 2 GPU на каждый узел. Время в секундах.

Как можно заметить из первых двух таблиц, использование GPU эффективно только на достаточно больших размерах решетки (от 1024x1024x64). На самой большой решетке из теста удалось получить прирост скорости выполнения в 2.23 раза. В тоже время использование кластерных технологий в рамках предложенных архитектур (Таб. 3, Таб. 4) привело к значительным накладным расходам. Основной проблемой стала передача больших объемов данных между кластером и компьютером.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен подход высокопроизводительной обработки сеточных синоптических данных на основе двухуровневого параллелизма. Выполнена реализация этого подхода в виде модуля для существующего программного комплекса визуализации синоптических данных. Также проведен ряд вычислительных экспериментов для оценки эффективности гибридного параллелизма в задачах обработки синоптических данных для различных программно-аппаратных архитектур.

Применение GPU параллелизма (как на кластере, так и на персональном компьютере) – эффективно при использовании сеток большой детализации. Результаты вычислительных экспериментов показали, что применение гибридного кластерного параллелизма в рамках предложенного подхода позволяет добиться существенного ускорения при условии хранения исходных данных на кластере, в противном случае возникают огромные накладные расходы при обмене большими объемами данных между персональным компьютером и кластером.

5. ССЫЛКИ

- [1] Michalakes, J. and M. Vachharajani: GPU Acceleration of Numerical Weather Prediction. Parallel Processing Letters Vol. 18 No. 4. World Scientific. Dec. 2008. pp. 531--548.
- [2] Souto R.P., Osthoff C., Vilasbôas F., Oliveira A. Silva Dias P.L.: Hybrid Cluster Programming Models Evaluation for Atmospheric Simulation Model Application. Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)
- [3] Osthoff C., Souto R.P., Vilasbôas F., Grunmann P., Silva Dias P.L., Boito F., Kassick R., Pilla L., Navaux P., Schepke C., Maillard N., Panetta J., Pais Lopes P., Walko R. Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) Atmospheric Model Applications, ISBN: 978-953-51-0488-9, 2012R

- [4] Demeshko I., Maruyama N., Tomita H., Matsuoka S.: Multi-GPU Implementation of the NICAM Atmospheric Model. Euro-Par Workshops 2012: 175-184Sa
- [5] Sipkov' V., L'uchny A., Ga'z'ak M., Experiments with a Hybrid-Parallel Model of Weather Research and Forecasting (WRF) System
- [6] Бобков В.А., Мельман С.В. Система визуализации пространственных полей синоптических объектов // Тр. междунар. конф. по компьютерной графике ГРАФИКОН-2006. М.: МГУ, 2007. [С.@264-268](#).
- [7] Мельман С. В. Визуализация объемов в задачах анализа физических полей синоптических объектов // Информационные технологии, №1, 2008, с. 62-66.
- [8] Kidder, S. Q., M. D. Goldberg, R. M. Zehr, M. DeMaria, J. F. W. Purdom, C. S. Velden, N. C. Grody, and S. J. Kusselson. Satellite analysis of tropical cyclones using the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU).

Черкашин Александр – аспирант ИАПУ ДВО РАН.
alexandr@cherkashin.ws