

Высокопроизводительные вычисления на графических ядрах в задачах электроразведки

Данная работа представляет подход, который стал актуальным в последние годы во многих областях фундаментальной и прикладной науки. Подход основан на применении графических ядер (GPU) при решении ресурсоёмких задач, что позволяет существенно ускорить работу многих алгоритмов за счёт использования высокопараллельной архитектуры современных графических плат. В последние годы производительность видеокарт, которые раньше использовались только для расчёта и отображения данных видеобуфера, по многим параметрам существенно превзошла производительность универсальных процессоров (CPU). В частности, если сравнивать с распространённой архитектурой CPU x86-64, прогресс хорошо виден на рис. 1.

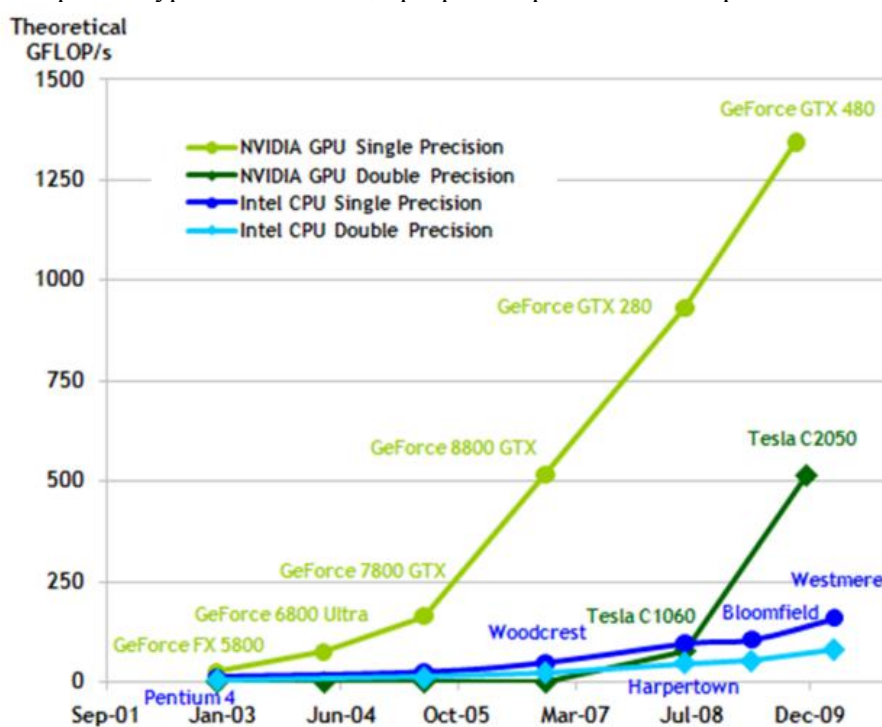


Рис. 1 Число операций с плавающей точкой (млрд.) в секунду для CPU и GPU [1]

Благодаря такому отрыву имеет смысл задуматься о переносе некоторых задач на графические платы, которые могут работать на базе простой рабочей станции. Строго говоря, сегодня некорректно называть современные графические платы *видеокартами*, т.к. благодаря возможности исполнять все основные логические, арифметические, тригонометрические операции, а также возможности программирования задач на данных устройствах, они превратились в унифицированные вычислительные устройства или GPGPU, что расшифровывается как General-purpose graphics processing units — «GPU общего назначения».

Особенности архитектуры GPU налагают определённые ограничения на спектр задач, которые могут быть эффективно решены с применением данной технологии. Основной принцип вычислений на графических ядрах может быть сформулирован следующим образом: **один поток – множество данных**. Под потоком в данном случае понимается последовательность выполняемых машинных операций. Современные графические платы содержат сотни ядер, которые могут одновременно

исполнять разные потоки. Другими словами, эффективность исполнения задачи на графических платах зависит от её степени параллелизма.

Среди прочих, к задачам, которые могут быть эффективно решены на GPU, относятся:

- Операции над матрицами и векторами
- Решение СЛАУ и СДУ
- Быстрое преобразование Фурье (FFT)
- Одномерная и двумерная фильтрация
- Метод конечных разностей во временной области (FDTD), метод конечных элементов (FEM)

Все эти задачи широко применяются в геофизике, как при фильтрации, так и при моделировании. Благодаря существованию технологий для программирования GPU общего назначения, таких как CUDA (для видеокарт NVIDIA) или OpenCL (унифицированный фреймворк для параллельного программирования) реализация этих задач стала доступной всем заинтересованным лицам. Данный подход широко используется в решении задач сейсморазведки [2] и перспективен при решении задач ресурсоемкой обработки и моделирования в электроразведке.

Автор реализовал и объединил в библиотеку ряд алгоритмов, которые являются частью графа обработки данных дифференциально-нормированного метода электроразведки [3]. Был проведен анализ всех этапов обработки данных и определены те блоки, которые являются достаточно ресурсоемкими и могут быть оптимизированы с применением описываемой технологии. Первым из таких алгоритмов является двумерная робастная фильтрация. Алгоритм заключается в вычислении μ -оценки в двумерном скользящем окне и применяется в качестве малоинерционного низкочастотного фильтра (рис. 2).

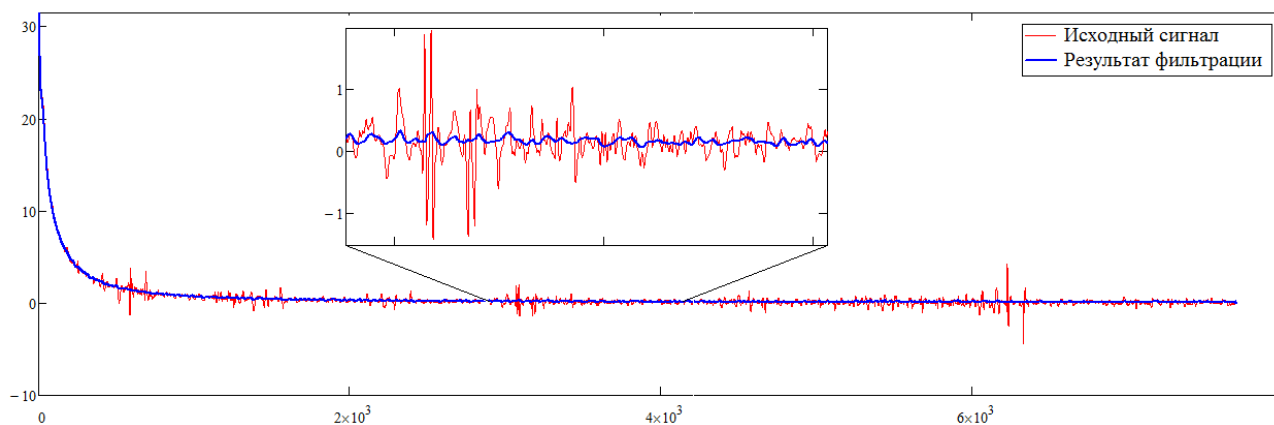


Рис. 2 Результат работы двумерного фильтра реализованного на графических ядрах

Другой актуальной задачей является реализация одномерной фильтрации, которая выражается операцией свёртки сигнала с фильтром. Эта операция применяется, в частности, на этапах подавления промышленной помехи и в рамках итерационной процедуры устранения низкочастотного тренда в данных [4].

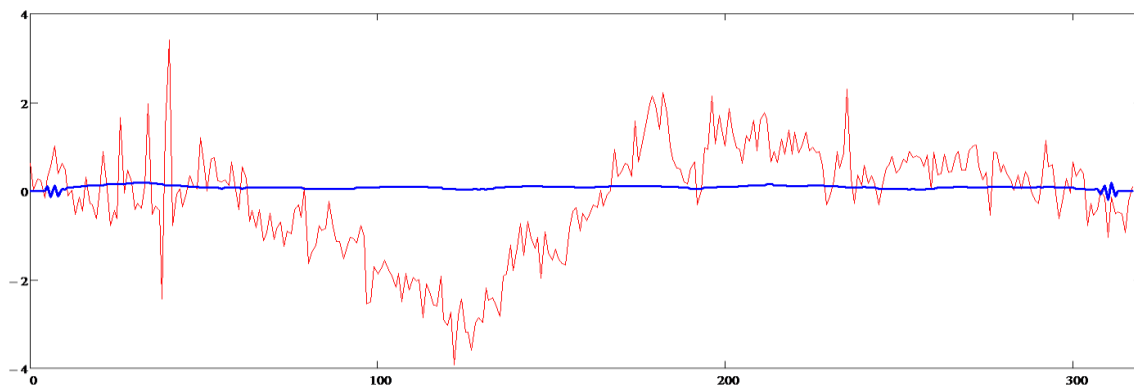


Рис. 3 Переходные процессы записанные на точке на временной задержке $t=1$ сек, до и после подавления низкочастотного тренда GPU-фильтром.

Для демонстрации эффективности подхода, было замерено время работы алгоритма двумерной фильтрации на графической плате NVIDIA GTX 480 (448 ядер) и процессоре Intel Core 2 Duo E8400 2.2 ГГц (Таблица 1). В качестве тестового набора данных были взяты 360 кривых спада, записанные на одной точке. Длина переходного процесса 7700 отсчётов. Пример является достаточно скромным, на практике число кривых порядка 600-700 на точке при наземных работах и при морских работах может достигать 6000 тысяч по профилю. Учитывая, что число каналов составляет 2 при наземных работах и 6 при работах на море, объёмы данных достаточно большие и время требуемое на обработку одного профиля исчисляется часами.

Таблица 1

Фильтр \ t, с	Исходная версия алгоритма	Оптимизированная версия	Версия для графических ядер
9x9	129	9	0.9
11x9	160	10	1.1
13x13	271	16	2.8
19x15	444	25	8.3

Прирост производительности			
9x9	1	14.3	143.3 (10)
11x9	1	16.0	145.5 (9.1)
13x13	1	16.9	96.8 (5.7)
19x15	1	17.8	53.5 (3.0)

Поскольку данный алгоритм был реализован достаточно давно в 2003 году с использованием устаревшей среды разработки «Borland Delphi 7», перед реализацией алгоритма на графических ядрах была написана его параллельная версия с учётом современных представлений об оптимизации и использованием современного компилятора. Результат этого шага показан в колонке «Оптимизированная версия» таблицы 1.

Дальнейшим развитием данного подхода будет являться применением асинхронного подхода при обработке данных. Поскольку процессор общего назначения в момент работы графических ядер простаивает, мы можем поместить на него обработку данных второго канала, что позволит задействовать все вычислительные мощности рабочей станции.

Полученные результаты позволяют судить об эффективности данной технологии. Учитывая, что упомянутая выше графическая плата на момент написания статьи (08.2010) стоит порядка 500\$ и может работать на базе большинства используемых сегодня рабочих станций, прирост производительности, полученный в результате переноса алгоритмов на графические ядра, очень быстро окупается.

Литература

1. «NVIDIA CUDA™ Programming Guide», 2010, p. 2
2. Scott Morton, «Experiences with Seismic Algorithms on GPUs», Geoscience Technology Hess Corporation, 2007, 34 p.
3. Грайвер А.В., Давыденко А.Ю., Давыденко Ю.А., Иванов С.А., Легейдо П.Ю. «Статистический подход к обработке и анализу высококоррелированных данных морской электроразведки», Материалы 37-й сессии Международн. семинара им. Д.Г.Успенского, Москва, ИФЗ РАН, 2010, с. 111-115.
4. Ю. А. Давыденко, «Разработка программно-измерительного комплекса для дифференциально-нормированного метода электроразведки». - Иркутск : Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук, 2005. - стр. 155.