Особенности реализации алгоритмов корреляционной обработки на гибридном процессорном кластере

Кен В.О., Суркис И.Ф.

ИПА РАН

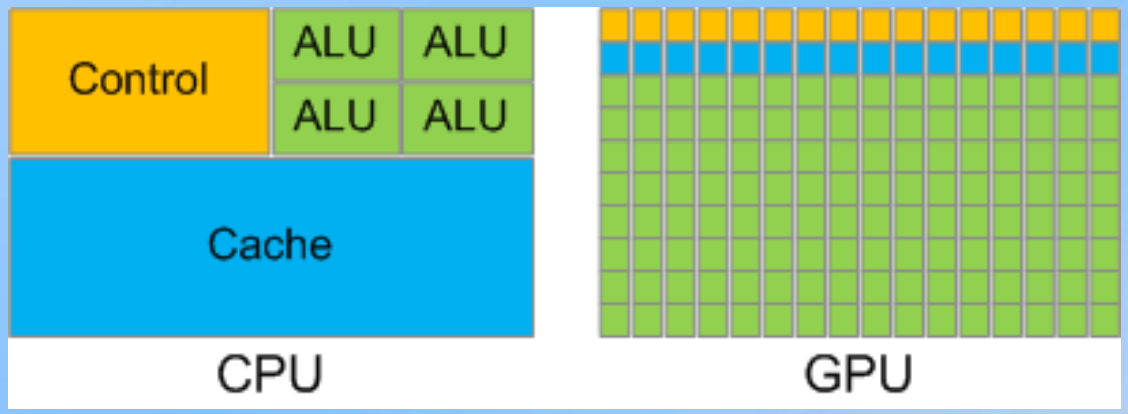
Всероссийская радиоастрономическая конференция
22-26 сентября 2014 г.
Пущино

Характеристики коррелятора

- FX алгоритм обработки
- 6 обсерваторий, входной поток до 16 Гбит/с
- 4 частотных диапазона, 1 или 2 поляризации
- полоса пропускания до 1024 МГц
- 4096 спектральных каналов в кросс-спектре
- не менее 16 тонов сигнала ГПИ

Подробно в докладе: Суркис И.Ф. и др. «Программный РСДБ-коррелятор на гибридном процессорном кластере»

Графическое процессорное устройство. Что это?



Графическое процессорное устройство. Что это?

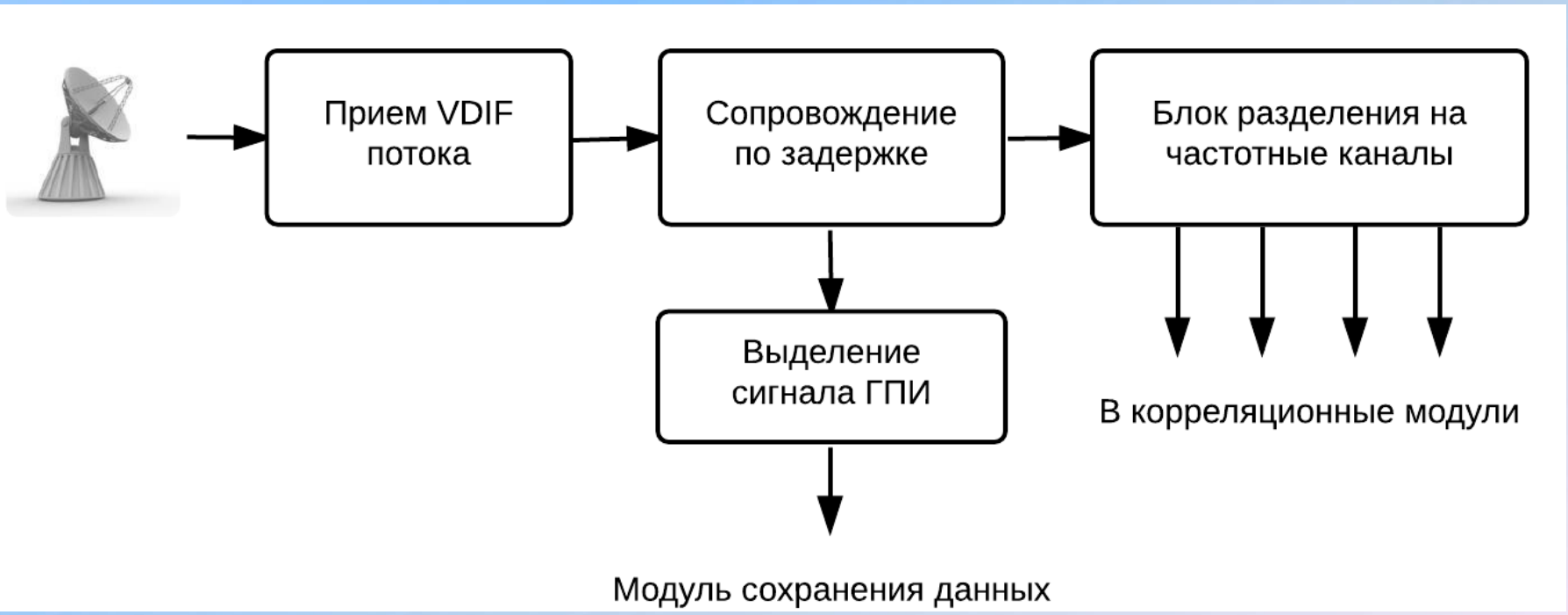
Графическое процессорное устройство. Преимущества

- ✓ Ядра CPU созданы для исполнения одного потока последовательных инструкций с максимальной производительностью, а ГПУ проектируются для быстрого исполнения большого числа параллельно выполняемых потоков инструкций
- ✓ ГПУ в силу конструктивных особенностей позволяет ускорять процесс вычислений в разы и десятки раз при алгоритмах, которые допускают распараллеливание
- ✓ Оперативная память с высокой пропускной способностью (177 ГБ/с)
- ✓ Наличие кешируемых константной и разделяемой памяти позволяет гибко решать задачи с большим объемом данных

ГПУ и программная модель коррелятора

ГПУ на станционном модуле применяются для:

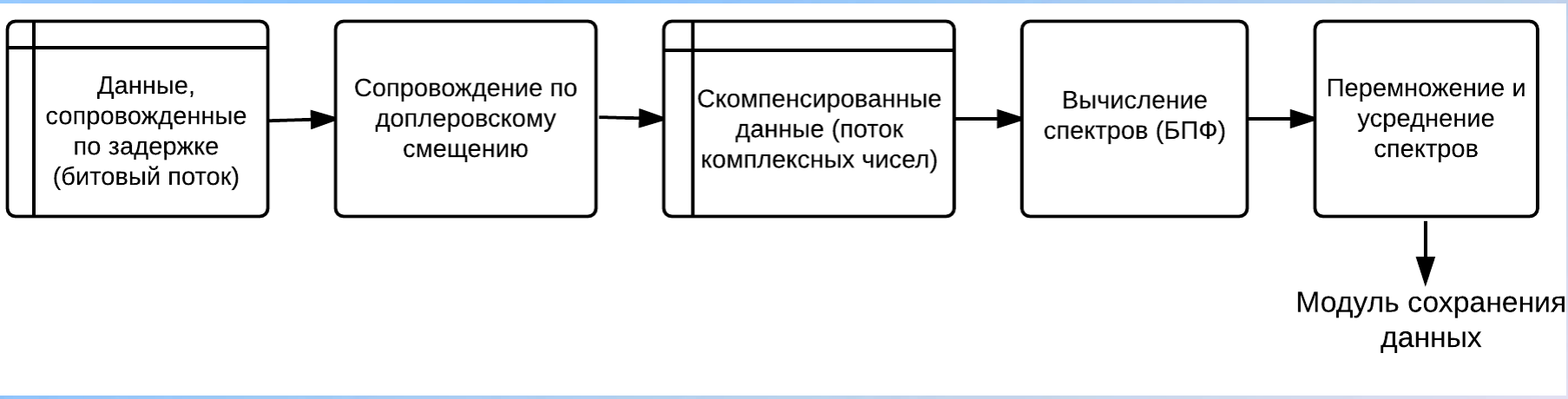
- выделении сигнала ГПИ
- разделении потока данных на частотные каналы



ГПУ и программная модель коррелятора

ГПУ на корреляционном модуле применяются для:

- сопровождении по доплеровскому смещению
- БПФ
- перемножение и усреднение спектров



Станционный модуль. Перепаковка битов

Цель: перепаковка битов в битовом массиве большого размера данных всех частотных каналов и получении 4 или 8 массивов меньшего размера, соответствующих каждому частотному каналу.

Процесс: каждая нить (элементарный процесс) обрабатывает 4 байта входного потока (в случае 4 каналов) или 8 байт (в случае 8 каналов), и сохраняет по 1 байту в каждый из 4 или 8 выходных буферов соответственно

Результат: из каждого байта (или 2-х байт) входного потока по 2 бита распределяются по 4 или 8 битовым массивам выходного буфера данных, отправляемых в корреляционные модули.

Станционный модуль. Выделение сигнала ГПИ

Цель: выделить не менее 16 тонов сигнала ГПИ

$$x[n] = s[n] + p[n] = s[n] + \sum_{i=0}^{N-1} sin\left(\left(i \cdot \omega + \omega_{offset}\right) \cdot n + \varphi\right)$$

N – удвоенное число тонов
ω – нормализованная частота сигнала ГПИ

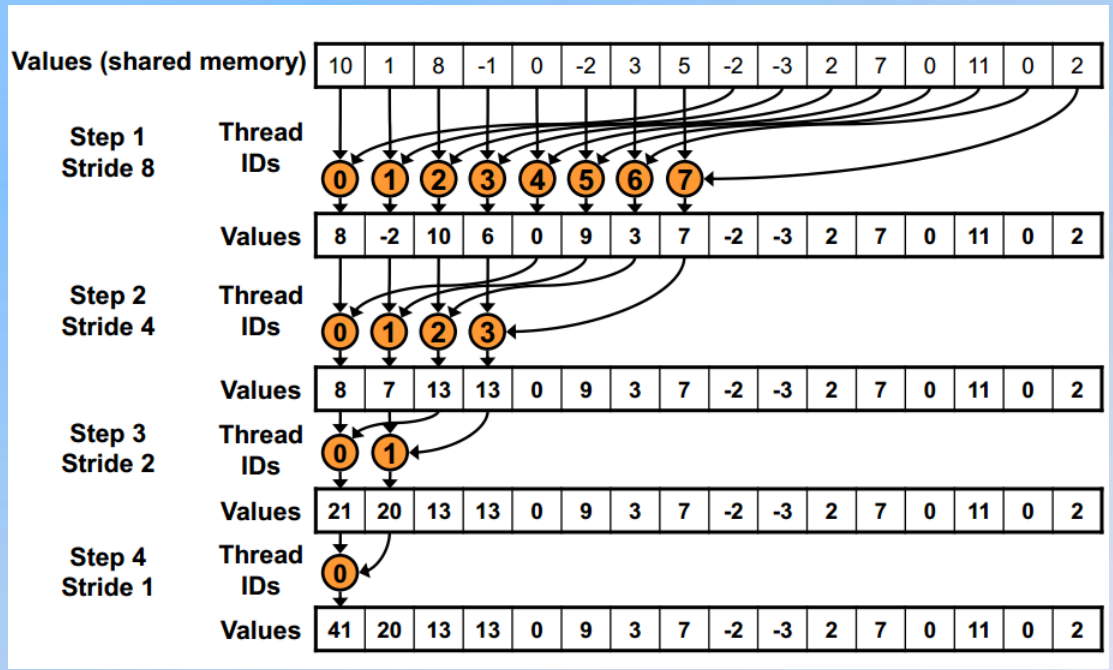
Входной поток разделяем на блоки длиной равной N.
Пример: Fs = 512 Мгц, 32 выделяемых тона. Одна секунда данных содержит 1024 млн отсчетов. Тогда число блоков равно $\frac{1024 \cdot 10^6}{2 \cdot 32} = 16$ млн по 64 элемента.
Получить i-ый тон сигнала ГПИ можно по формуле

$$P[i] = \sum_{j=0}^{\infty} x(i + j \cdot N)$$

J.Wagner, S.Pogrebenko "Fast Multi-tone Phase Calibration Signal Extraction", http://www.metsahovi.fi/~jwagner/pcal_extraction_practicals.pdf

Станционный модуль. Выделение сигнала ГПИ

Для суммирования большого числа блоков длиной N следует использовать редукцию – алгоритм, позволяющий на параллельном процессоре провести ее за время, пропорциональное логарифму длины массива. Для вычисления амплитуды и фазы тонов над итоговым блоком длиной N необходимо провести БПФ.



http://developer.download.nvidia.com/assets/cuda/files/reduction.pdf

Корреляционный модуль. Сопровождение по доплеровскому смещению

- Для повышения быстродействия и уменьшения числа запросов к латентной памяти DRAM операция совмещена с преобразованием входного битового потока в числа с плавающей запятой.
- Преобразование производится на основе заранее сформированной таблицей истинности, содержащей значения знаков и мантисс. Каждый отсчет умножается на число, взятое из таблицы вычисленных значений тригонометрических функций sin и cos (с точностью до 1 градуса). Каждая нить обрабатывает 4 или 8 отсчетов.
- В процессе сопровождения происходит коррекция фазы, учитывающая процедуру добавления или удаления отсчетов во время сопровождения по задержке. Для данной операции входной поток делится на N отрезков (N – число пропущенных или вставленных сэмплов).
- Вычислительное ядро запускается N раз с необходимыми параметрами сопровождения и установкой генератора фазы на нужный угол.

Корреляционный модуль. БПФ

- Скомпенсированные по доплеровскому смещению данные остаются храниться в памяти ГПУ.
- Для вычисления спектров используется функции библиотеки CUFFT, специально разработанные и оптимизированные компанией NVIDIA для операций БПФ на ГПУ.
- При запуске корреляционного модуля создается план преобразования, который состоит из параметров: число спектральных каналов, тип преобразования, число параллельных преобразований.
- Однократный запуск функции позволяет произвести параллельные вычисления над произвольным числом выборок данных.

Корреляционный модуль. Перемножение и усреднение спектров

- Результат БПФ хранится в DRAM => большое время доступа
- Блок перемножения запускается для каждой базы отдельно
- Результат умножения спектров двух станций сохраняется в разделяемой памяти
- Вычислительное ядро запускается с 32 нитями (1 варп)
- Суммирование кросс-спектров происходит очень быстро вследствие размещения промежуточных данных в памяти, имеющий крайне низкую латентность

Оценка производительности представленных алгоритмов для обработки 1024 млн отсчетов на Tesla K20

Операция	Время, мс
Выделение сигнала ГПИ	400
Перепаковка битов	320
Сопровождение по доплеровскому смещению	368 (22 ГБ/с)
БПФ	104 (154 ГБ/с)
Перемножение и усреднение спектров	106 (150 ГБ/с)

В станционом модуле 2 ГПУ Tesla K20 реализуют все операции с потоком 16 Гбит/с. Для обработки одного частотного диапазона (поток 24 Гбит/с, 6 станций, 2 поляризации, полоса пропускания 512 Мгц, 78 кросс-спектров с разрешением 4096 каналов) требуется 7 блейд-серверов (14 ГПУ Tesla K20)

Спасибо за внимание!