**Введение**

В современном IT-мире видеочипы уже давно заняли обширную нишу в вычислении больших объёмов данных. Однако, программирование для использование их мощностей до сих пор не приведено к каком-либо общим стандартам, как в области графических так и неграфических вычислений. Таким образом для решения конкретных задач необходимо понимать все преимущества и недостатки всех основных стандартов.

**1 Инструменты неграфического программирования на GPGPU**

**1.1 ATI Stream technology**

**ATI Stream Technology** (ранее как [*ATI*](https://ru.wikipedia.org/wiki/ATI) *FireStream* и *AMD Stream Processor*) — API с открытым исходным кодом, которое предоставляет возможность разработчикам использовать вычислительные возможности GPU . Он предоставляет возможность использования шейдеров графического процессора для запуска вычислительных программ. Интерфейс программирования осуществляется через [OpenCL](https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenCL). Это дает возможность ускорения вычислений, и может быть использовано, в том числе, в игровой сфере, для ускорения просчетов физики, если движок физики поддерживает OpenCL.

Областями применения ATI Stream являются также приложения, требовательные к вычислительному ресурсу, такие, как финансовый анализ или обработка сейсмических данных. Использование потокового процессора позволило увеличить скорость некоторых финансовых расчётов в 55 раз по сравнению с решением той же задачи силами только центрального процессора.

ATI Stream SDK v2.2 имеет расширенную поддержку операционных систем, компиляторов, аппаратных компонентов и новейших отраслевых стандартов.

Помимо OpenCL 1.1 в число новых характеристик пакета входят:

* поддержка ОС Ubuntu 10.04 и Red Hat Enterprise Linux 5.5;
* расширенная аппаратная поддержка, включая процессоры архитектуры x86 с потоковыми командами версии SSE2.x и выше;
* дополнительная поддержка компиляторов для Linux и Windows, включая GNU Compiler Collection версии 4.1 или выше, Microsoft Visual Studio (MSVS) 2010 Professional Edition и Minimalist GNU (GCC 4.4) for Windows (MinGW);
* поддержка одноканального формата для изображений OpenCL;
* поддержка взаимодействия OpenCL и DirectX 10;
* поддержка дополнительных подпрограмм двойной точности с плавающей запятой в ядрах OpenCL.

**1.2 CUDA**

**CUDA** ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/Английский_язык) *Compute Unified Device Architecture*) — программно-аппаратная архитектура [параллельных вычислений](https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллельные_вычисления), которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность благодаря использованию [графических процессоров](https://ru.wikipedia.org/wiki/Графический_процессор) фирмы [Nvidia](https://ru.wikipedia.org/wiki/Nvidia).

CUDA [SDK](https://ru.wikipedia.org/wiki/SDK) позволяет программистам реализовывать на специальном упрощённом диалекте [языка программирования Си](https://ru.wikipedia.org/wiki/Си_(язык_программирования)) алгоритмы, выполнимые на графических процессорах Nvidia, и включать специальные функции в текст программы на Си. Архитектура CUDA даёт разработчику возможность по своему усмотрению организовывать доступ к набору инструкций графического ускорителя и управлять его памятью.

**Программная архитектура**

Первоначальная версия CUDA [SDK](https://ru.wikipedia.org/wiki/SDK) была представлена [15 февраля](https://ru.wikipedia.org/wiki/15_февраля) [2007 года](https://ru.wikipedia.org/wiki/2007_год). В основе [интерфейса программирования приложений](https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерфейс_программирования_приложений) CUDA лежит язык [Си](https://ru.wikipedia.org/wiki/Си_(язык_программирования)) с некоторыми расширениями. Для успешной трансляции кода на этом языке в состав CUDA SDK входит собственный Си-компилятор командной строки **nvcc** компании Nvidia. Компилятор **nvcc** создан на основе открытого компилятора [Open64](https://ru.wikipedia.org/wiki/Open64) и предназначен для трансляции host-кода (главного, управляющего кода) и device-кода (аппаратного кода) (файлов с расширением .cu) в объектные файлы, пригодные в процессе сборки конечной программы или библиотеки в любой среде программирования, например, в [NetBeans](https://ru.wikipedia.org/wiki/NetBeans).

В архитектуре CUDA используется модель памяти [грид](https://ru.wikipedia.org/wiki/Грид), [кластерное моделирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кластер_(группа_компьютеров)) [потоков](https://ru.wikipedia.org/wiki/Многопоточность) и [SIMD](https://ru.wikipedia.org/wiki/SIMD)-инструкции. Применима не только для высокопроизводительных графических вычислений, но и для различных научных вычислений с использованием видеокарт nVidia. Ученые и исследователи широко используют CUDA в различных областях, включая [астрофизику](https://ru.wikipedia.org/wiki/Астрофизика), [вычислительную биологию](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вычислительная_биология) и [химию](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вычислительная_химия), [моделирование динамики жидкостей](https://ru.wikipedia.org/wiki/Моделирование_жидкости), [электромагнитных взаимодействий](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромагнитное_взаимодействие), [компьютерную томографию](https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерная_томография), [сейсмический анализ](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Сейсмический_анализ&action=edit&redlink=1) и многое другое. В CUDA имеется возможность подключения к приложениям, использующим[OpenGL](https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenGL) и [Direct3D](https://ru.wikipedia.org/wiki/Direct3D). CUDA — [кроссплатформенное программное обеспечение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кроссплатформенное_программное_обеспечение) для таких [операционных систем](https://ru.wikipedia.org/wiki/Операционная_система) как [Linux](https://ru.wikipedia.org/wiki/Linux), [Mac OS X](https://ru.wikipedia.org/wiki/Mac_OS_X) и [Windows](https://ru.wikipedia.org/wiki/Windows).

**Оборудование**

Платформа CUDA впервые появились на рынке с выходом [чипа NVIDIA восьмого поколения](https://ru.wikipedia.org/wiki/GeForce_8) G80 и стала присутствовать во всех последующих сериях графических чипов, которые используются в семействах ускорителей [GeForce](https://ru.wikipedia.org/wiki/GeForce), [Quadro](https://ru.wikipedia.org/wiki/Nvidia_Quadro) и [NVidia Tesla](https://ru.wikipedia.org/wiki/NVidia_Tesla).

Первая серия оборудования, поддерживающая CUDA SDK, G8x, имела 32-битный [векторный процессор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Векторный_процессор) [одинарной точности](https://ru.wikipedia.org/wiki/Число_одинарной_точности), использующий CUDA SDK как API (CUDA поддерживает тип double языка Си, однако сейчас его точность понижена до 32-битного с [плавающей запятой](https://ru.wikipedia.org/wiki/Числа_с_плавающей_запятой)). Более поздние процессоры GT200 имеют поддержку 64-битной точности (только для SFU), но производительность значительно хуже, чем для 32-битной точности (из-за того, что SFU всего два на каждый потоковый мультипроцессор, а скалярных процессоров — восемь). Графический процессор организует аппаратную многопоточность, что позволяет задействовать все ресурсы графического процессора. Таким образом, открывается перспектива переложить функции [физического ускорителя](https://ru.wikipedia.org/wiki/Физический_ускоритель) на графический ускоритель (пример реализации — [PhysX](https://ru.wikipedia.org/wiki/PhysX)). Также открываются широкие возможности использования графического оборудования компьютера для выполнения сложных неграфических вычислений: например, в [вычислительной биологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вычислительная_биология) и в иных отраслях науки.

**Преимущества**

По сравнению с традиционным подходом к организации вычислений общего назначения посредством возможностей графических API, у архитектуры CUDA отмечают следующие преимущества в этой области:

* [Интерфейс программирования приложений](https://ru.wikipedia.org/wiki/Интерфейс_программирования_приложений) CUDA (CUDA API) основан на стандартном языке программирования Си с некоторыми ограничениями. По мнению разработчиков, это должно упростить и сгладить процесс изучения архитектуры CUDA
* Разделяемая между потоками память (shared memory) размером в 16 Кб может быть использована под организованный пользователем кэш с более широкой полосой пропускания, чем при выборке из обычных текстур
* Более эффективные транзакции между памятью центрального процессора и видеопамятью
* Полная аппаратная поддержка целочисленных и побитовых операций
* Поддержка компиляции GPU кода средствами открытого [LLVM](https://ru.wikipedia.org/wiki/Low_Level_Virtual_Machine)

## Ограничения

* Все функции, выполнимые на устройстве, не поддерживают рекурсии (в версии CUDA Toolkit 3.1 поддерживает указатели и рекурсию) и имеют некоторые другие ограничения

**1.3 OpenMP**

OpenMP (Open Multi-Processing) — открытый стандарт для [распараллеливания программ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Распараллеливание_программ) на языках [Си](https://ru.wikipedia.org/wiki/С_(язык_программирования)), [Си++](https://ru.wikipedia.org/wiki/Си%2B%2B) и [Фортран](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фортран). Дает описание совокупности [директив компилятора](https://ru.wikipedia.org/wiki/Директива_(программирование)), библиотечных [процедур](https://ru.wikipedia.org/wiki/Процедура_(программирование)) и [переменных окружения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Переменные_среды), которые предназначены для программирования [многопоточных приложений](https://ru.wikipedia.org/wiki/Многопоточность) на [многопроцессорных системах](https://ru.wikipedia.org/wiki/Симметричная_мультипроцессорность) с [общей памятью](https://ru.wikipedia.org/wiki/Разделяемая_память).

**1.4 CuDNN**

Библиотека NVIDIA CUDA® Deep Neural Network (cuDNN) является GPU-ускорением библиотека примитивов для [глубоких нейронных сетей](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=https://developer.nvidia.com/deep-learning&usg=ALkJrhifPGu9cPbtYnQRRY78SCc1yoBi5w). cuDNN обеспечивает очень точную настройку реализации для стандартных процедур, таких как переднюю и заднюю свертке, объединение, нормализации и активации слоев. cuDNN является частью[NVIDIA Deep Learning SDK](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=https://developer.nvidia.com/deep-learning-sdk&usg=ALkJrhjE0JzYAWN0H2LhBgYs0yd0zieU-Q).

Глубокие исследователи обучения и рамочные разработчики по всему миру полагаются на cuDNN для высокопроизводительных GPU ускорения. Это позволяет им сосредоточиться на обучении нейронных сетей и разработке программных приложений, а не тратить время на настройку производительности GPU на низком уровне. cuDNN ускоряет широко используемые глубокие основы обучения, в том числе [Caffe](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=http://caffe.berkeleyvision.org/&usg=ALkJrhhvNJd-vA509Q6gVZoOkYM9OE7T6g), [TensorFlow](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=https://www.tensorflow.org/&usg=ALkJrhi_ONqzMslWTOkC_4qZdruhtBnDHg), [Теано](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=http://deeplearning.net/software/theano/&usg=ALkJrhhW54WeaicFLS8n4bJ2pcMGGEJFRg), [Факел](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=http://torch.ch/&usg=ALkJrhhUM9VB9lSKNCqrGG6nd5t51NlvlQ) и [CNTK](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=http://www.cntk.ai/&usg=ALkJrhi8dug7UPX4lO7juKzgFrWiGpMRtw).

cuDNN находится в свободном доступе для членов [Accelerated программы Developer Computing](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=https://developer.nvidia.com/accelerated-computing-developer&usg=ALkJrhhJFoZaKt4Q3dqobtzOmfSKa5W9sA).

Ученые и исследователи данных могут воспользоваться cuDNN путем загрузки [Deep рамки обучения](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=https://developer.nvidia.com/deep-learning-frameworks&usg=ALkJrhjocRBnQ5vYVomDUxJ_cYkfbS_6CQ) или [NVIDIA Digits](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=https://developer.nvidia.com/digits&usg=ALkJrhjCJ5ZbqLwUh_eR61ytLNkra6lvrQ). Digits позволяет в интерактивном режиме управлять данными, выполнять обучение на нескольких графических процессоров, а также экспортировать наилучшую модель исполнительскую для развертывания без необходимости написания кода.

Ключевая особенность

* Прямые и обратные пути для многих распространенных типов слоев, таких как пулинговой, ЛРН, LCN и пакетной нормализации, Relu, сигмовидной, SoftMax и TANH
* Прямые и обратные свертках процедуры, в том числе кросс-корреляции, предназначенный для сверточных нейронных сетей
* Повторяющиеся Neural Networks (LSTM / ГРУ / РНН), которые обеспечивают до 6-кратного ускорения в Факеле
* Произвольное упорядочение измерение, беговое и субрегионов для 4d тензоров означает простую интеграцию в любой нейронной сети реализации
* Прямые и обратные пути для многих распространенных типов слоев, таких как пулинговой, РЕЛУ, сигмовидной, SoftMax и TANH
* Функции преобразования тензор
* Контекст основе API позволяет легко многопоточности

cuDNN поддерживается на Windows, Linux и MacOS систем с Паскаля, Кеплера, Максвелла, [Tegra K1 или Tegra X1 графических процессоров.](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=ru&prev=search&rurl=translate.google.ru&sl=en&u=https://developer.nvidia.com/embedded/jetpack&usg=ALkJrhgcDuqb_Vu-fNQ37EiwBy2A-rT-Rg)

**1.5 ArrayFire**

ArrayFire – это быстрая библиотека программ для вычислений на графических процессорах (GPU computing) с простым в использовании программным интерфейсом. ArrayFire предоставляет набор функций на базе массива, что существенно упрощает GPU-разработку. Продукт доступен для C, C++ и Fortran, и интегрируется с оборудованием AMD, Intel и NVIDIA.

Библиотека ArrayFire крайне проста в работе. Несколько строк кода в ArrayFire могут заменить десятки строк сырого GPU-кода, что позволит существенно сэкономить время и снизить затраты на разработку.

Преимущества:

* Ускорение процесса написания кода.
* Удобный и простой интерфейс.
* Широкий выбор графических функций.
* Совместимость с любым оборудованием.
* Наглядное графическое отображение функций.

Таблица 1 – Сравнительный анализ инструментов разработки для GPU

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Технология (toolkit) | Поддержка стандартов OpenCl | Язык программирования | Поддержка OS | Поддержка видеочипов |
| ATI Stream sdk 3.0 | + | Brook+ | Windows, Linux | AMD |
| CUDA Toolkit 8.0 | + | Fortran , C, C++, C#(CUDAfy) | Windows, OSX, Linux | Nvidia |
| Array Fire | + | C, C++, Fortran | Windows, OSX, Linux | AMD, Nvidia |

**Заключение**

Теоретические исследования и различные практические эксперименты показывают, что при тщательной подготовке алгоритмов и подборе соответствующих задач с большими параллельно обрабатываемыми фрагментами время вычислений сокращается в десятки и сотни раз. Безусловно, следует потратить время на изучение технологии, постановки задач на GPU, но потраченное время дает затем значительный эффект. Особенно значимые результаты можно наблюдать (CPU, GPU) при достойном планировании ресурсов.

**Список используемых источников**

1. <http://optic.cs.nstu.ru/files/GPU/05.html> \*(OpenGL, DirectX)
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenCL> \*(OpenCL)
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/AMD_FireStream> \*(ATI Stream Technology)
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/CUDA> \*(CUDA)
5. <http://www.thg.ru/graphic/ati_stream/ati_stream-01.html> \*(Тесты)
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenMP> \*(OpenMP)
7. <http://www.softkey.ru/catalog/programs/142925/arrayfire#.V3oYc9_S2b8> \*(ArrayFire)
8. <https://developer.nvidia.com/cudnn> \*(CuDNN)