

Использование стандарта программирования OpenCL для организации вычислений на ПЛИС

Владимир Вычужанин (г. Одесса, Украина)

В статье рассматривается применение стандарта программирования OpenCL для реализации параллельных вычислений в устройствах на ПЛИС.

Технология программирования электронных устройств для решения вычислительных задач традиционно развивалась по двум основным направлениям:

- программирование одноядерных процессоров и процессоров цифровой обработки сигналов с помощью списка обязательных, последовательно выполняемых инструкций (команд);
- программирование устройств на ПЛИС на основе инструкций, выполняемых параллельно.

Для оптимизации работы программируемых устройств с последовательным выполнением инструкций используется изменение рабочей частоты процессора, а также аппаратные средства, обеспечивающие параллелизм на уровне потока команд. Например, в одноядерной архитектуре вход-

ной поток инструкций обеспечивается схемой параллельно включенных функциональных устройств (ФУ) (см. рис. 1). В этом случае значительная аппаратная часть процессора обеспечивает динамическое извлечение параллелизма из последовательных программ и компенсацию задержки памяти.

Растущий интерес проектировщиков к параллельным вычислениям стал доминирующей парадигмой при оптимизации архитектуры компьютеров, в основном, многоядерных процессоров (имеющих 2, 4 или 8 ядер) и потоковых графических процессоров (состоящих из сотен ядер). Для решения вычислительных задач сегодня применяются различные процессорные архитектуры в сочетании с непрограммируемыми аппаратными узлами: SISD (Single Instruction, Single Data), исполь-

зуемые как процессоры общего назначения; SIMD (Single Instruction, Multiple Data), предназначенные для операций с векторами данных (например, мультимедийной обработки); MIMD (Multiple Instruction, Multiple Data) – матрицы процессорных элементов.

С помощью гетерогенной вычислительной среды многоядерный подход позволяет оптимально распределить нагрузку между ядрами процессоров. Кроме того, возможность реконфигурирования аппаратуры обеспечивает реализацию в каждом многоядерном процессоре именно тех возможностей, которые требуются ему для решения определённого класса задач, что недостижимо ни для процессоров общего назначения, ни для графических ускорителей.

Ещё большими преимуществами при решении вычислительных задач, по сравнению с процессорами стандартных архитектур, обладают ПЛИС на многоядерных устройствах, поскольку аппаратные затраты в этом случае существенно меньше, чем в архитектурах многоядерных процессоров.

Помимо аппаратного обеспечения, успех параллельных вычислений зависит от используемых программных продуктов. В новых разработках для программируемых устройств происходит смещение акцента программирования с автоматического извлечения параллелизма на уровне команд во время их выполнения на уровень потоков параллелизма во время кодирования.

Для осуществления параллельных вычислений в программируемых устройствах компанией Apple был предложен открытый кросс-платформенный стандарт OpenCL (Open Computing Language), поддерживающий параллельное программирование различных типов процессоров – CPU, GPU и DSP (ЦПОС). Стандарт программирования OpenCL может быть успешно использован и при реализации параллельных вычислений в конфигурациях на ПЛИС с массовым параллелизмом (см. рис. 2) [1]. Взаимосвязь стандарта OpenCL и ПЛИС иллюстрирует рисунок 3. Стандарт OpenCL обеспечи-

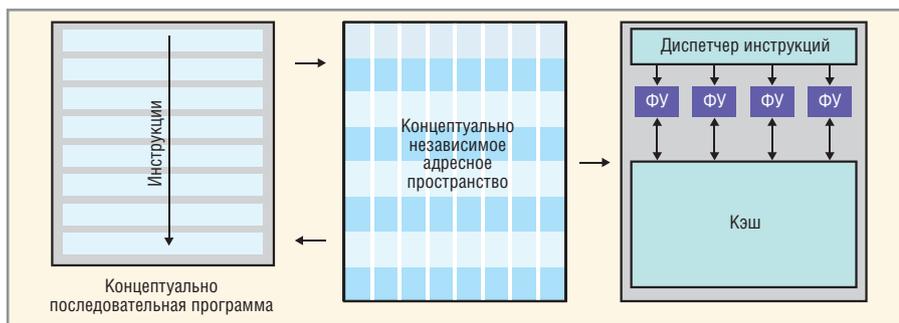


Рис. 1. Одноядерная архитектура извлечения параллелизма из последовательных программ

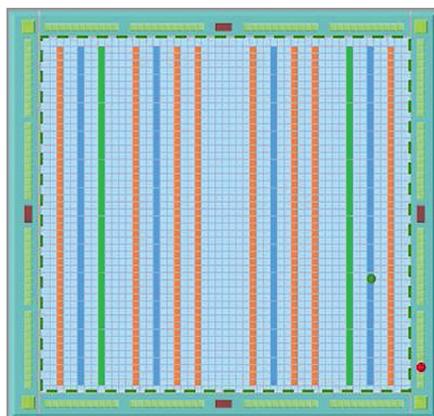


Рис. 2. ПЛИС с массовым параллелизмом

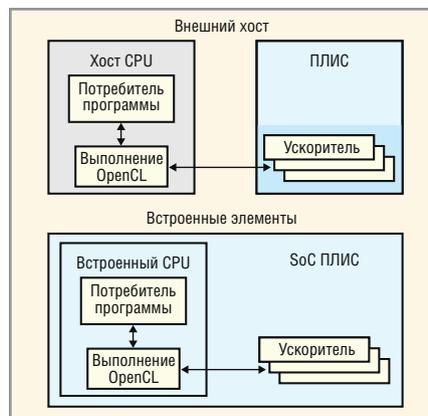


Рис. 3. Использование OpenCL на ПЛИС

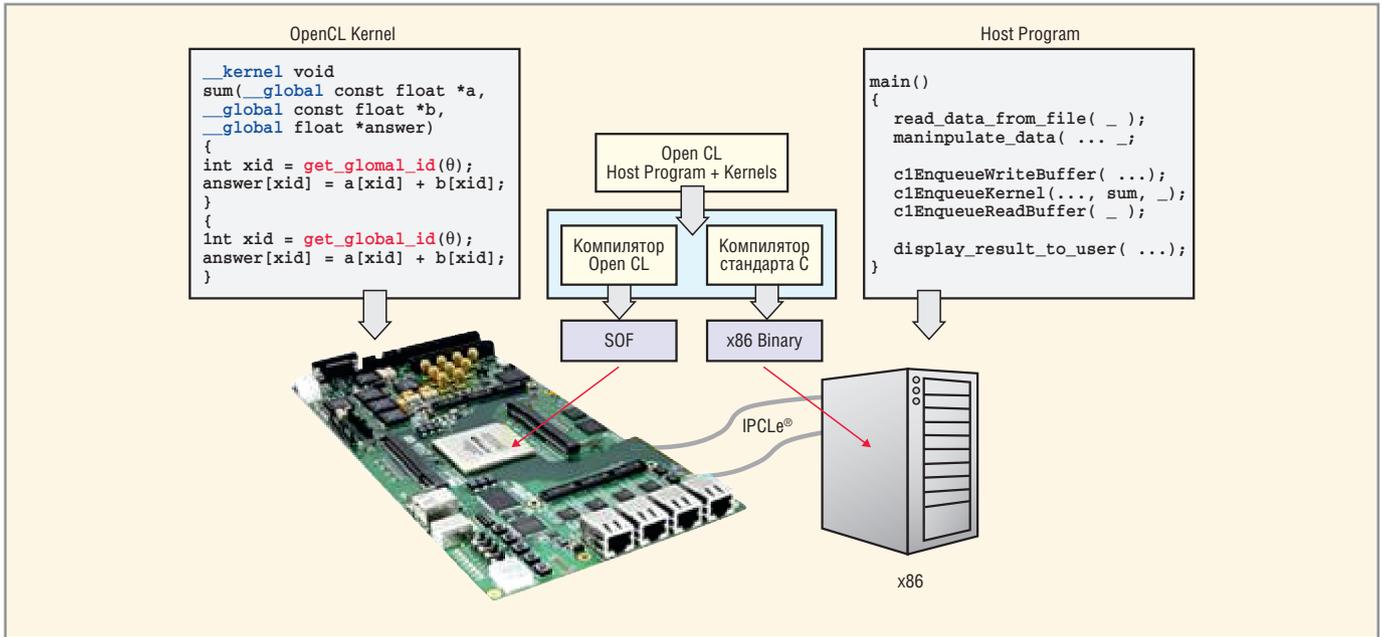


Рис. 4. Структура приложения OpenCL для ПЛИС

вает параллелизм и на уровне инструкций, и на уровне данных и является развитием технологии GPGPU, которая использует потоковые процессоры для неграфических данных.

Приложение OpenCL (см. рис. 4) состоит из хост-программы и набора ядер (kernels). В базовую структуру OpenCL

входит язык программирования C/C++ (стандарт ISO C99). Модель платформы OpenCL (см. рис. 5) имеет высокоуровневое описание гетерогенной системы. Центральным элементом модели является хост – первичное устройство, управляющее OpenCL-вычислениями и осуществляющее взаимодействие с

пользователем. Устройства OpenCL логически поделены на вычислительные узлы, состоящие из обрабатывающих элементов (рабочих единиц). На рисунке 5 показана платформа OpenCL, состоящая из трёх устройств.

Набор ядер фактически выполняет функцию ускорителя вычислений. Яд-

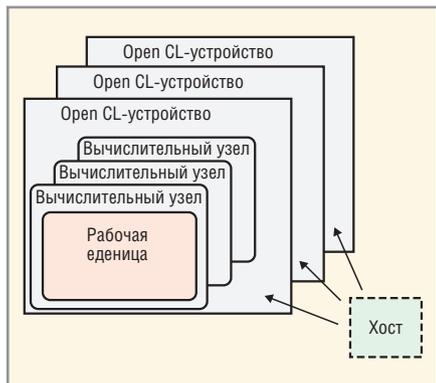


Рис. 5. Платформа OpenCL

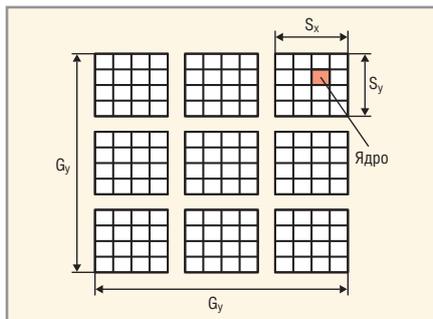


Рис. 6. Индексное пространство

G_x, G_y – число глобальных идентификаторов,
 S_x, S_y – число локальных идентификаторов

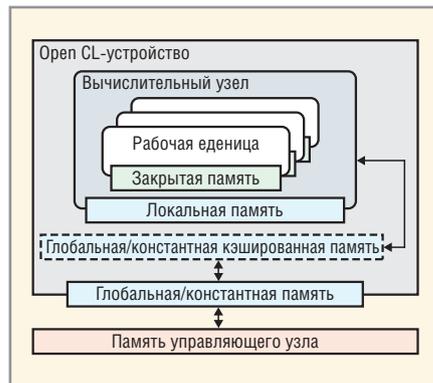


Рис. 7. Иерархия памяти OpenCL

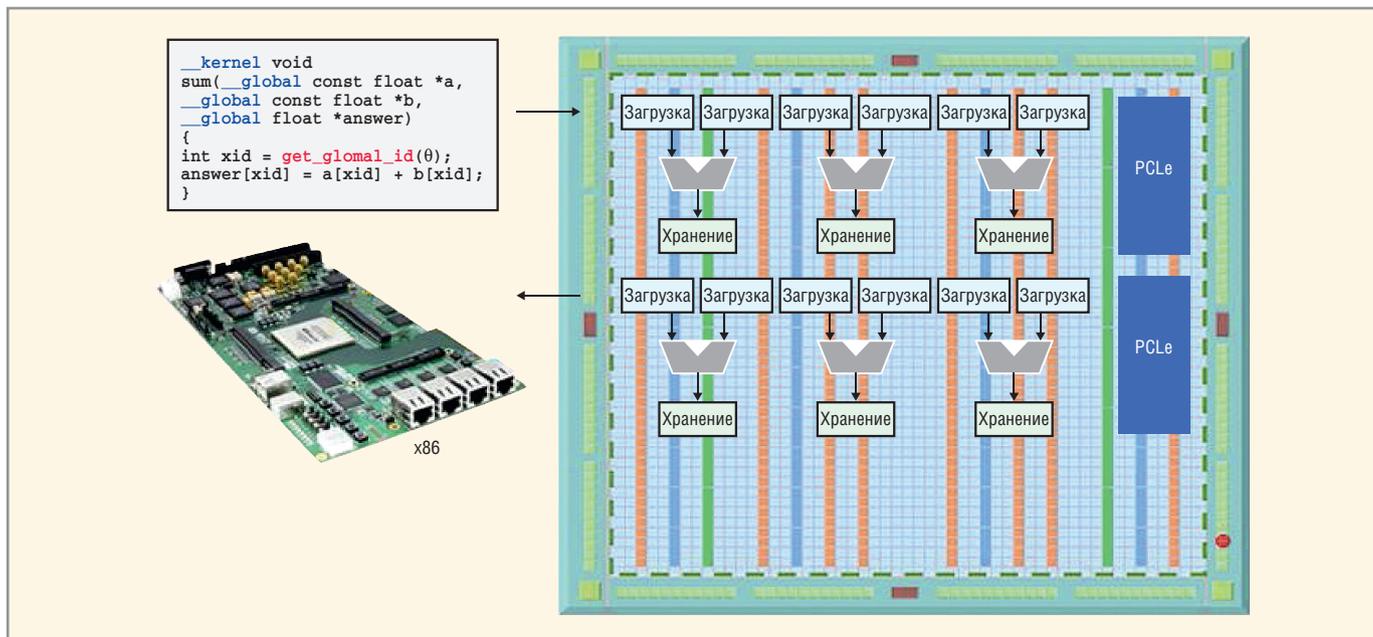


Рис. 8. Векторное сложение двух массивов на ПЛИС

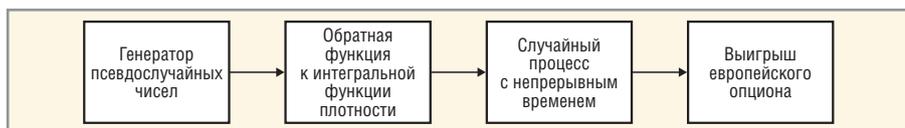


Рис. 9. Расчёт премии (выигрыша) опциона методом Монте-Карло

ра написаны на языке C с учётом параллелизма и иерархии памяти. Ядро создаётся в хост-программе и затем с помощью специальной команды ставится в очередь на выполнение в одном из OpenCL-устройств. Ядра объединены в группы, с каждой из которой сопоставляется индивидуальный идентификатор. Все ядра в пределах одной группы выполняются параллельно на обрабатываемых элементах одного вычислительного модуля устройства OpenCL. Во время выполнения команды создаётся целочислен-

ное пространство индексов, каждый элемент которого носит название глобального идентификатора. Пространство индексов имеет размерность N . На рисунке 6 показано двумерное индексное пространство. Каждое ядро выполняется отдельно для каждого значения глобального идентификатора.

Другим важным понятием модели вычислений является контекст, определение которого (при помощи вызова специальных функций OpenCL API) является первой задачей приложения

OpenCL. Контекст определяет среду выполнения ядер, в которую входят следующие компоненты: устройства, сами ядра, программные объекты, исходный и выполняемый код будущих ядер, объекты памяти.

Взаимодействие между хостом и устройством OpenCL происходит посредством команд, помещённых в командную очередь. Модель памяти описывает набор уровней памяти и обеспечивает манипулирование ими во время проведения вычислений. Стандарт OpenCL охватывает иерархию уровней памяти, которая показана на рисунке 7.

Следует отметить, что в ПЛИС с OpenCL, в отличие от процессоров и графических процессоров, параллельные вычисления выполняются на разных ядрах. Причём в ПЛИС ядра могут быть преобразованы в специальные конвейерные аппаратные схемы, использующие концепцию многопоточного параллелизма обрабатываемых источников вычислительной инфор-

Сравнительная эффективность OpenCL для вычислений по формуле Блэка-Скоулза

| Процессор | CPU Quad Core Xeon | Сравнимый GPU | ПЛИС Stratix IV 530 |
|------------------------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| Скорость моделирования, Мб/с | 240 | 950 | 2200 |
| Пиковая производительность, GFLOPS | 160 | 500 | 200 |

мации. Каждый из этих источников может быть воспроизведён многократно для обеспечения ещё большего параллелизма. В качестве примера на рисунке 8 показано применение параллельного вычисления при выполнении векторного сложения двух массивов «а» и «б» в ПЛИС. Хост-программа имеет доступ к стандартным приложениям OpenCL и программным интерфейсам (API), что позволяет передавать данные в ядро ПЛИС.

Как показано на рисунке 8, для осуществления и воспроизведения каждой операции в OpenCL, обеспечивающей необходимые временные требования и пропускную способность, ядро сложения векторов реализовано с помощью каскадирования функциональных блоков. Чтобы обеспечить высокую рабочую частоту, каждый функциональный блок может быть реализован с глубокой конвейерной обработкой. Кроме того, используемый компилятор позволяет создать схему управления связями с внешними системами. Так, в рассмотренном примере контроллеры памяти DDRx связаны с ядром для обеспечения эффективного доступа к большим массивам вне кристалла.

Необходимо отметить, что использование стандарта OpenCL позволяет описывать параллельные алгоритмы вычислений при их реализации на ПЛИС, а также в гетерогенной системе CPU + ПЛИС, на более высоком уровне абстракции и с меньшим временем проектирования, чем при использовании языков описания аппаратных средств более низкого уровня VHDL или Verilog.

Для оценки сравнительной эффективности применения стандарта OpenCL для ПЛИС был выполнен расчёт премии опциона купли европейского стиля методом Монте-Карло по формуле Блэка-Скоулза. Обобщённая схема расчёта показана на рисунке 9. Результаты получены для ПЛИС фирмы Altera Stratix IV EP4SGX530 и представлены в таблице.

Таким образом, применение стандарта OpenCL на ПЛИС на однотипных вычислительных задачах обеспечивает более высокую производительность при меньшей потребляемой мощности по сравнению с универсальными и графическими процессорами и ЦПОС.

ЛИТЕРАТУРА

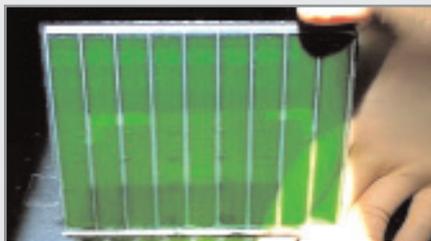
1. www.altera.com



Новости мира News of the World

Сенсибилизированные солнечные батареи достигли 12-% эффективности преобразования

Учёные из Федеральной политехнической школы Лозанны (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, EPFL) сообщают, что им удалось улучшить коэффициент эффективности преобразования до 12,3% для солнечных элементов, сенсибилизированных органическими красителями. Фактически учёным из лаборатории фотоники под руководством Михаэля Гретцеля (Michael Grätzel) удалось поднять эффективность недорогих элементов на красителях до предлагаемых на рынке кремниевых образцов. Исследователи экспериментировали с веществами, которые придают фотоэлектрические свойства органическим красителям.



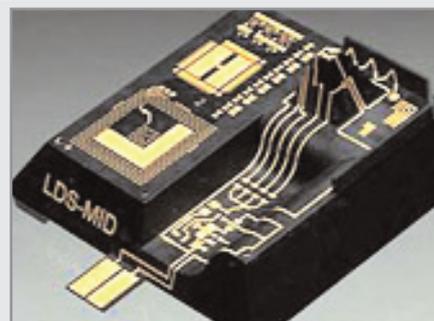
Путём замены традиционных рутения и йода на порфилин и кобальт был увеличен слой, который поглощает солнечный свет, что приводит к эффективному электронному обмену между красителем и подложкой. Интересно, что за счёт применения новых химических соединений сенсибилизированные красители приобрели зеленоватый оттенок, а процесс преобразования стал всё больше напоминать фотосинтез.

Достигнутый результат пока ещё далёк от теоретического предела для органических солнечных батарей – 30%. Но технология уже может с успехом применяться в гибких и прозрачных батареях – там, где использование кремниевых элементов либо невозможно, либо нецелесообразно.

<http://www.physorg.com/>

Технологии соединений для медицинской техники

Изделия серии MediSpec фирмы Molex были разработаны для решений в области технологий диагностической визуализации, в терапевтических установках и хирургических системах, системах контроля состояния пациента и IT-приложениях в больницах и в амбулаторной терапии. Они имеют литой монтажный каркас (Molded Interconnect Device, MID) для 3D-схем и



антенн, а также емкостные сенсорные и мембранные поля управления для пользовательских интерфейсов. Изделия производятся на технологическом оборудовании, сертифицированном ISO, и соответствуют медицинским стандартам и предписаниям.

www.molex.com/

Светодиод Cree выдаёт 140 лм/Вт

Компания Cree расширила свою серию XLamp версией XP-G со 140 лм/Вт. При этом сохранена первоначальная конструкция. Срок службы определён тест-лабораторией предприятия и составляет до 10 000 ч. В соответствии с методикой TM-21 расчёта срока службы светодиодов, пользователи могут исходить из срока службы, равного 60 000 ч, что соответствует почти семи годам. Светодиоды пригодны для освещения улиц и территорий как замена светильников с параболическими рефлекторами с алюминиевым покрытием, а также для мощных фонарей. XLamp XP-G холодного свечения (5000 K) выдаёт 148 лм и 141 лм/Вт, тогда как XP-G белого свечения (4000 K) выдаёт до 139 лм и 132 лм/Вт, а тёпло-белый вариант (3000 K) до 122 лм и 116 лм/Вт при токе 350 мА.

www.cree.com/

IGBT 600 В

Компания International Rectifier расширила свой портфель 600-вольтовых Trench-IGBT-элементов выпуском IRGFS4067DPbF и IRGP4066DPbF для систем бесперебойного питания, а также для солнечных энергетических установок, промышленных двигателей и сварочных аппаратов. Элементы имеют малые коммутационные потери, размещены в корпусе вместе с Soft-Recovery-диодом с низким Q_{rr} , спроектированы для сверхбыстрой коммутации (8...30 кГц) со стойкостью к короткому замыканию на время 5 мкс. Максимальная температура запорного слоя составляет 175°C.

www.irf.com