

ExCellenT-Platforms

— HPC-решение на Cell для России

Перспективы, особенности и трудности построения HPC-решений на процессоре с нетрадиционной архитектурой — Cell, появившегося на рынке более 1,5 лет назад. В отличие от блэйд-сервера IBM на основе Cell, рассматриваемое решение имеет полностью российский конструктив, поставляется в комплекте с ОС российской разработки, которая интегрируется с множеством прикладных пакетов, доработанных под архитектуру Cell.



Андрей Слепухин — руководитель отдела исследований новых технологий «Т-Платформы».

Введение

Жан-Ив Блан (Jean-Yves Blanc), разработчик ИТ-решений французской компании CGGVeritas, занимающейся геофизической разведкой, выразил формулу динамики роста потребностей человечества в высокопроизводительных вычислениях одной простой фразой: «Дайте мне в 100 раз большую вычислительную мощность, и я найду ей применение». Затем он выдержал секундную паузу и добавил: «Дайте мне в 1000 раз большую мощность, и я ей найду применение»...

Американский профессор и писатель Стив Чен попытался рассчитать, какая производительность необходима для решения различных задач будущего. По его мнению, для задач аэродинамики хватит производительности в несколько петафлопсов, для задач молекулярной динамики требуется уже 20 петафлопсов, а для вычислительной космологии — фантастическая производительность на уровне 10 эксафлопс (10 квинтиллионов флопс, или 10×10^{18} флопс). Для задач вычислительной химии потребуются еще более мощные процессоры. По мнению Стива Павловского, старшего заслуженного инженера-исследователя Intel, главного директора по технологиям и генерального менеджера по архитектуре и планированию подразделения Digital Enterprise Group корпорации Intel, появление компьютеров с производительностью в секстиллион операций в секунду (10^{21} флопс) можно ожидать уже к 2029 г.

Прогресс в суперкомпьютерных технологиях последних лет и распространение этих технологий во все новые сферы человеческой деятельности свидетельствуют о

том, что суперкомпьютеры — это мощный инструмент, который позволяет форсировать продвижение научно-технологической мысли во многих отраслях. Ведущие страны мира создали и используют этот инструмент для решения особо сложных задач науки, образования, экономики, для долгосрочных прогнозов, в том числе экологической обстановки, для обеспечения национальной безопасности. В последнее десятилетие произошли заметные сдвиги в организации научного процесса: вследствие широкого внедрения вычислительной техники заметно усилилось направление компьютерного моделирования и эксперимента, что позволяет значительно повысить эффективность процессов научного и технологического поиска. Становится возможным моделировать сложные физико-химические процессы и ядерные реакции, глобальные атмосферные явления, развитие экономики и промышленности.

Высокопроизводительные вычислительные системы расширяют пределы, ограничивающие возможности инженеров и ученых, но реализованные в этих системах технологии важны не только для исследовательских лабораторий — в конечном итоге они позволяют улучшить нашу повседневную жизнь. Моделирование электромагнитных полей, вычислительная гидродинамика и анализ методом конечных элементов — вот лишь несколько примеров приложений, которые когда-то считались прерогативой суперкомпьютеров для научных целей, а сегодня используются многими компаниями для разработки и производства самых разных товаров: от картофельных чипсов до сотовых телефонов и автомобилей.

Казалось бы, сравнительно недавно суперкомпьютеры преодолели планку производительности в один терафлопс (триллион операций с плавающей запятой в секунду). Между тем, Россия, успешно начавшая инвестировать в разработку и строительство высокопроизводительных систем, имеет все шансы к концу десятилетия прочно утвердиться в престижном мировом списке самых мощных суперкомпьютеров TOP500. На данный момент наша страна представлена в рейтинге четырьмя системами. И три из этих систем созданы компанией «Т-Платформы».

Программа

24 декабря 2007 г. компания «Т-Платформы» объявила о начале реализации программы «exCellenT-Platforms». Основная цель проекта — разработка и внедрение широкой линейки собственных комплексных решений на базе инновационных многоядерных процессоров CELL, а также активное объединение и развитие сообществ разработчиков, что позволит значительно ускорить реализацию внутренних возможностей Cell в отечественных программных разработках. Наличие столь мощных вычислительных решений параллельной обработки данных позволит российской науке сделать большой шаг навстречу новым открытиям, а также внесет значительный вклад в развитие экономики страны.

Процессор Cell был разработан альянсом Sony Group, Toshiba и IBM в центре STI Cell Design Center в Остине, штат Техас. Его архитектура предусматривает использование управляющего процессора на базе архитектуры Power, совместно с которым работают несколько высокопроизводительных процессорных элементов Synergistic Processor Element (SPE) с архитектурой SIMD, и широкого набора команд DMA для эффективного обмена между процессорными элементами (рис. 1).

За последнее время появилось несколько продуктов, реализующих нетрадиционные архитектуры многоядерных процессоров, являющиеся перспективными

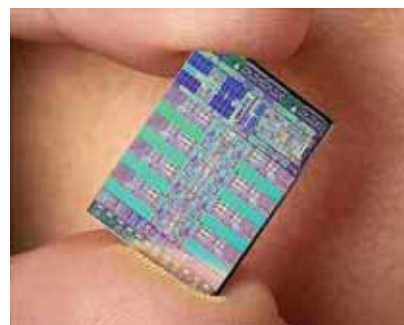


Рис. 1. Внешний вид процессора IBM Cell «в чистом виде».

для эффективной работы широкого класса приложений. В частности, одной из перспективных технологий является использование встроенной локальной буферной памяти для каждого процессорного ядра и обеспечение механизмов прямого доступа (DMA) из нее к основной памяти системы и к буферной памяти других процессорных ядер. Одним из основных направлений разработки будет являться привязка новых технологий к существующим отраслевым стандартам, что позволит значительно сократить расходы на разработку отдельных элементов изделия, а также расширить область его применения за счет использования стандартных дополнительных компонентов. Решения на базе архитектуры Cell позволят обеспечить лучшее соотношение цена/производительность для широкого класса реальных приложений по сравнению с решениями на основе процессоров X86. На базе новой архитектуры планируется внедрение широкой линейки продуктов для применения в области финансовых технологий, промышленности, молекулярной биологии, нанотехнологий, медицины, разработки лекарств, аэрокосмических и военных исследований, коммуникационных приложений и высокопроизводительных вычислений.

Бюджет двухлетнего проекта "exCellenT-Platforms" составляет 500 миллионов рублей, из которых 210 млн – собственные средства компании "Т-Платформы", 290 млн – привлеченные средства и гранты.

В рамках комплексной программы "exCellenT-Platforms" создаются не только собственный дистрибутив операционной системы Linux с коммерческой поддержкой, оптимизированный под архитектуру Cell, но также адаптированные прикладные пакеты, что позволит в полной мере использовать параллелизм процессора Cell. Решение компании "Т-Платформы" будет представлять собой унифицированный двухпроцессорный вычислительный модуль в стандартном форм-факторе, в том числе сервер 1U, с особой архитектурой, позволяющей подключать стандартные периферийные устройства (PCI-Express). В рамках программы будут разработаны и выведены на рынок России и СНГ решения, позволяющие многократно увеличить производительность целого ряда прикладных приложений.

Как уже отмечалось, процессор Cell состоит из одного управляющего ядра на базе архитектуры Power и 8 вычислительных ядер. Наличие в его составе управляющего ядра позволяет создавать полностью законченное серверное решение, не требующее каких-либо еще дополнительных процессоров. И, по сути, Cell можно рассматривать как 8-узловой кластер (с объемом памяти на каждом узле 256 Кбайт) с внутренним интерконнектом с пропускной способностью 307,2 Гбайт/с. 1U серверное решение с двумя процессорами Cell это уже 16-узловой кластер. И хотя шина обмена данными между двумя процессорами Cell по пропускной способности меньше, чем внутренняя шина Cell, для большинства задач наблюдается практически линейное увеличение производительности

при переходе в расчетах с одного процессора Cell на два.

Если говорить о 1U сервере (от "Т-Платформы") с двумя процессорами Cell, то, как показывают оценки, в сравнении, например, с 8-ядерным (на базе двух процессоров Xeon по 4 ядра в каждом) 1U сервером его производительность на вычислительных задачах выше от 5–6 раз до 12 при сопоставимой потребляемой мощности. Цена перехода – необходимость доработки прикладного ПО, которая может занимать время от одного месяца до 0,5 года и более в зависимости от приложения.

Данные по ускорению уже подтверждены опытом имплементации Cell в HPC-решения ряда западных компаний. Так, компания SimBioSys Inc приводит данные об ускорении вычислений в сфере молекулярного моделирования в 12 раз по сравнению со стандартной архитектурой. Компания Mentor CalibreOPC заявляет об ускорении автоматизации проектирования, анализа и верификации электронных систем в 4–10 раз при использовании процессора Cell. Японский банк Mizuho Securities сообщает об ускорении расчетов в 10 раз по сравнению с ранее использовавшимися архитектурами. Компания CodecSys приводит данные о 4–6-кратном выигрыше по пропускной способности для HDTV.

Собственный дистрибутив Linux создается для того, чтобы помочь российским пользователям переходить на него (естественно, процессоры Cell работают на Linux), поскольку далеко не у всех есть опыт работы на Linux. В перспективе планируется оптимизировать стандартный набор библиотек Linux для процессора Cell. Пока все дистрибутивы оптимизированы для работы на стандартной архитектуре Power. Определенный класс библиотек можно с большим успехом использовать и для работы на Cell.

Одной из задач программы "exCellenT-Platforms" является привлечение команд разработчиков для реализации возможностей архитектуры Cell в отечественных прикладных программных продуктах. Уже сейчас более десяти научных коллективов по всей стране работают над адаптацией системного и прикладного программного обеспечения для максимального использования возможностей процессора на реальных задачах. Конкурс на лучшие проекты по разработке программного обеспечения для решений на базе Cell позволит привлечь к участию в программе не только опытные команды, но и коллективы молодых талантливых программистов.

Участники конкурса получат удаленный доступ к серверам на базе процессора Cell. Конкурс будет проходить в два этапа. Итогом первого этапа станут проекты с подробным описанием и прототипом, реализующим основные архитектурные принципы алгоритма. В сентябре 2008 года жюри, состоящее из независимых экспертов, специалистов компании "Т-Платформы" и корпорации IBM, отберет наиболее перспективные проекты для дальнейшей работы. В рамках второго этапа авторы выбранных проектов предоставят программный код реализации алгоритма. Победители конкурса будут объявлены и награждены в декабре 2008 г.

Архитектура процессора Cell

Архитектура Cell идеально соответствует требованиям широкого спектра приложений следующего поколения с высокой вычислительной и коммуникационной нагрузкой. Процессор Cell значительно превосходит обычные высокопроизводительные процессоры по производительности в пересчете на один ватт потребляемой мощности и в пересчете на один процессорный чип. Он обладает существенно более высокой степенью гибкости и программируемости, чем узкоспециализированные и оптимизированные процессоры, такие как графические процессоры или процессоры для обработки цифровых сигналов. В то время как современный микропроцессор традиционной архитектуры способен в секунду выполнить более 20 миллиардов операций с плавающей точкой (Гфлоп/с) обычной точности (32 разряда), процессор Cell при сопоставимом энергопотреблении обеспечивает производительность более 200 Гфлоп/с. Современные графические процессоры способны достичь производительности около 2 Тфлоп/с, однако при выполнении менее специализированных приложений их производительность обычно оказывается существенно ниже.

В непрерывно растущих рабочих нагрузках современных персональных компьютеров преобладает мультимедийно насыщенные приложения, которые, как правило, хорошо поддаются распараллеливанию. Такие приложения идеально подходят для выполнения на многоядерном процессоре Cell. Кроме того, сегодня многие домашние устройства становятся сетевыми. Если устройство больше не является автономным, то ему приходится сталкиваться с большим разнообразием форматов данных, представленных в локальной сети (в Интернете), что делает предпочтительным применение более гибких решений с более высокой степенью программируемости. Кроме того, сетевое подключение предъявляет дополнительные требования по поддержанию целостности системы, к защите конфиденциальности и обеспечению безопасности. Процессор Cell создавался в качестве более адекватного аппаратного фундамента для выполнения этих функций, чем обычные механизмы безопасности, которые зависят от целостности операционной системы или гипервизора. Хотя первоначальным стимулом для создания процессора Cell была потребность в вычислительных средствах для игровых систем следующего поколения компании SCEI, он рассчитан на выполнение самых разнообразных приложений, многие из которых в силу своих особенностей обычно выполняются с помощью т.н. сигнальных процессоров.

Отраслевые решения

Сервер и рабочая станция будут выведены на рынок к сентябрю 2008 года.

Первое решение имеет очень выгодное соотношение цена/производительность по сравнению с теми же blade-серверами западного производителя. Особенно интересны серверы на базе Cell будут тем, кому нужно будет приобрести всего три-

четыре штуки, поскольку вместе с покупкой blade-серверов надо покупать и все необходимую инфраструктуру к ним. Второе существенное преимущество нового сервера состоит в том, что при его изготовлении используются стандартные компоненты, в него можно установить стандартные платы расширения и его легче интегрировать в любую инфраструктуру. Кроме того, этот сервер может стать базовым узлом для кластерных решений.

Рабочая станция — решение, которому сегодня нет аналогов на рынке. Система на базе компьютера Cell устанавливается на рабочих местах сотрудников и не требует никаких специальных комнат и коммуникаций, она обладает пониженным уровнем шума. Как и сервер, это двухпроцессорная система. Благодаря оригинальной архитектуре производительность процессора Cell для определенного класса задач в несколько раз превышает производительность аналогов на рынке.

Область применения новых продуктов очень широка, начиная от медиа-приложений для компьютерных игр (на использование в которых и нацеливался Cell с самого начала), где необходима обработка графики, потокового видео и трехмерный рендеринг — здесь можно достигнуть и десятикратного выигрыша в производительности по сравнению со стандартными процессорами. Эта область далеко не единственная: согласно тестам на модельных задачах, процессоры Cell будут очень востребованы в таких отраслях, как финансы, научные расчеты в молекулярной динамике и биоинформатике, геофизике и газовой динамике, обработке изображений, обработке потоковых данных (сжатие, декомпрессия и шифрование данных) и телекоммуникациях.

В области трехмерного рендеринга использование компьютеров с процессорами Cell позволяет в реальном времени осуществлять рендеринг методом трассировки лучей, который дает наиболее реальную картинку трехмерной сцены, но раньше считался очень долго. Обычно в играх применяются более простые методы, естественно, в ущерб качеству изображения. Теперь на компьютерах с процессорами Cell можно будет не только создавать видеоролики, но и совершать виртуальные путешествия, которые становятся все популярнее в архитектурных приложениях, когда можно обходить объект со всех сторон, рассматривать его во всех подробностях и перемещаться внутри его. Аналогичным образом можно демонстрировать и внутреннее устройство таких сложных устройств, как самолет или автомобиль, что очень здорово использовать в каких-либо обучающих программах.

Не менее важна обработка изображений и в медицине, например в компьютерной томографии и смежных областях. С помощью анализа изображений, полученных в разное время, можно контролировать процесс развития болезни у пациента. С помощью восстановления пространственной картины на основе томографических срезов, можно восстановить пространственный вид того или иного участка тела больного. Иногда это надо делать максимально быстро, и здесь незаме-

мым опять оказывается процессор Cell. Мало того, вывод производительности на новый уровень позволит использовать более современные методы и алгоритмы диагностики, которые прежде были просто неприменимы из-за слишком большого времени, необходимого для компьютерной обработки. Естественно, все эти проблемы можно решить на мощных кластерах, но они в принципе не доступны не слишком богатой российской медицине. Кроме того, переход на кластер всегда требует больших затрат на организацию специального помещения с охлаждением и т.п., он более сложен в администрировании, чем обычный компьютер, обучить пользователей работать с кластерной системой гораздо тяжелее. Поэтому возможность использовать компьютер традиционного настольного формата и при этом в несколько раз повысить производительность работы становится уникальной возможностью для целого ряда отраслей. Очень важно подчеркнуть и тот факт, что через 2 года компания IBM планирует вывод на рынок нового более мощного процессора семейства Cell с пиковой производительностью в районе 1 Тфлоп/с, и пользователи заранее могут планировать рост производительности в несколько раз.

Вполне возможно использование компьютеров с процессорами Cell и в системах безопасности в аэропортах, где происходит просвечивание багажа пассажиров. С его помощью это можно будет делать быстрее и эффективнее.

На данный момент идет пилотный проект для молекулярной динамики — адаптация широко распространенного пакета GROMACS. Изначально пакет был разработан для задач, связанных с биохимией, но поскольку молекулярная динамика — вещь достаточно универсальная, пакет успешно используется и в области нанотехнологий для изучения свойств новых материалов. Учитывая, что в России и в мире сегодня проявляется большой интерес к области нанотехнологий, можно надеяться на большую востребованность новых продуктов на базе процессора Cell. Адаптация пакета GROMACS позволит всем, кто занимается нанотехнологиями проводить моделирование на процессорах Cell гораздо быстрее, причем иметь компьютеры с этими процессорами просто на своих рабочих местах. Не менее перспективно и использование новых решений в области геофизики и геолого-разведки, где большое количество задач связано с визуализацией и обработкой данных сейсморазведки.

Использование процессора Cell в телекоммуникационной отрасли может быть очень успешным при создании защищенных каналов передачи информации, поскольку, как уже отмечалось, он очень успешно решает задачи компрессии/декомпрессии и шифрования информации “на лету”. Сегодня все более актуальной становится проблема защиты периметра сети от внешних вторжений, оперативного анализа атак. Процессор Cell проводит анализ трафика в режиме онлайн. Такие работы были уже выполнены на Западе и достигнуты хорошие результаты в области обнаружения вторжений: удавалось анализировать трафик на скорости около 1 Гбит/с.

На Западе начинают применять системы Cell и в сотовой связи: с его помощью быстро реализуются некоторые алгоритмы для модуляции сигналов. В них важную роль играет преобразование Фурье, которое с помощью Cell обчисляется просто великолепно.

Есть перспектива использовать компьютеры с процессором Cell и в области видеонаблюдения, поскольку они могут одновременно обрабатывать до 48 стандартных потоков информации с камер с частотой 15 кадров в секунду.

Компания “Т-платформы” ведет работы по адаптации и других пакетов программ, в частности, в области геофизики. Есть уже первые, очень хорошие результаты по производительности — рост в 7 раз по сравнению с процессорами стандартной архитектуры. Вместе с компанией “Тесис” ведутся работы по адаптации ПО FlowVision для расчетов в области газовой динамики. Расчеты в области газовой динамики важны, как при расчете обтекания воздушными потоками автомобиля или самолета, так и при анализе процессов горения.

Ведутся работы и по созданию средств разработки, облегчающих программирование для Cell, потому что одна из основных проблем, возникающая сегодня при переносе приложений на вычислительные системы с новой архитектурой процессора, состоит в том, что приложения приходится частично переписывать. Простая перекомпиляция исходного программного кода на Cell не позволяет полноценно использовать все его девять ядер — будет работать только одно ядро Power. Для активации всех ядер некоторые участки кода программ надо переписывать как с точки зрения другого набора инструкций на этих ядрах, так и с точки зрения другой архитектуры памяти. Написание программ для процессора Cell — нечто невообразимо сложное. Любой программист, обладающий навыками работы с многопоточными приложениями и знающий язык С, может писать программы для Cell. Проблема только в том, что написано уже очень много приложений и для переписывания их всех требуется много усилий. Несколько групп в компании “Т-Платформы” занимаются этим нелегким делом, в некоторых работах принимают участие и программисты других коммерческих организаций, заинтересованных в скорейшем переносе приложений.

Процессор Cell — это высокопроизводительная, хорошо программируемая платформа для выполнения широкого круга приложений для обработки сигналов. Высокая вычислительная плотность синергических процессорных элементов Cell и их способность поддерживать большое количество одновременных обращений к памяти являются фундаментальными преимуществами для приложений с высокой вычислительной нагрузкой.

Ясно одно — у решений на базе Cell большое будущее.

*Андрей Слепухин,
руководитель отдела исследований новых технологий компании “Т-платформы”*