

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СОПРОЦЕССОРЫ КАК УСКРИТЕЛИ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ

Н.А. Лукин

ИМаш УрО РАН, ФГУП НПО автоматики имени ак. Н.А. Семихатова, к.т.н.,
с.н.с.

Аннотация

Среди возможных разновидностей суперкомпьютеров можно выделить такие, которые встроены в состав систем реального времени. Оптимизация архитектур таких суперкомпьютеров по производительности и аппаратным затратам весьма важна с точки зрения повышения эффективности их применения. В работе рассматривается архитектурное направление обеспечения высокой производительности суперкомпьютеров, которое реализуется с помощью введения в их состав функционально-ориентированных процессоров (ФОП). Описываются результаты исследований и разработок конкретных типов таких процессоров, которые могут быть взяты за основу при создании СБИС ФОП.

Ключевые слова: встроенные суперкомпьютеры, функционально-ориентированные процессоры, вычислительные системы реального времени.

Для эффективного применения суперкомпьютеров при решении задач высокой вычислительной сложности необходимо обеспечивать дальнейшее наращивание производительности. В настоящее время увеличение реальной производительности вычислительной техники вообще и суперкомпьютеров, в частности, может производиться в трех основных направлениях – увеличения тактовой частоты работы процессорных ядер, увеличения степени параллелизма обработки данных (переход к многоядерным архитектурам и дальнейшее увеличение числа процессорных узлов в кластерах) и проблемной ориентации процессорных и системных архитектур. Первые два направления сравнительно хорошо изучены и широко применяются при разработке суперкомпьютеров, сформулированы и изучены основные ограничения на пути дальнейшего их использования. В первую очередь, это увеличение энергопотребления и конфликты по обращению к общим ресурсам. В то же время специализация процессорных и системных архитектур, применяемая в области специализированных вычислительных систем и устройств, практически не используется при создании современных суперкомпьютеров.

Среди возможных разновидностей суперкомпьютерных решений выделим класс суперкомпьютеров, встроенных в состав систем реального времени (*EScomp – Embedded Supercomputers*) [1]. Главное требование к таким суперкомпьютерам – сверхвысокая производительность, за счет чего обеспечивается реализация сложных вычислительных алгоритмов в реальном времени. В то же время они должны иметь минимальные объемно-массовые характеристики и потребляемую мощность. В пределах *EScomp* могут занимать ресурсы не более чем одной СБИС [2], что в ряде применений требуется уже сегодня. В связи с этим решение проблем оптимизации архитектур как по критериям производительности, аппаратных затрат, так и по интегральным (удельным) показателям приобретает первостепенное значение.

Специализация вычислений в суперкомпьютерах может быть реализована на нескольких уровнях обработки данных – вычислительное ядро процессора, общий ресурс для ансамбля процессоров, специализированный кластер для

суперкомпьютера в целом. Для каждого из уровней существуют специфические подходы к реализации и эффективной эксплуатации специализированных вычислительных средств. Архитектуры таких устройств ориентированы на эффективную реализацию конкретных численных методов или алгоритмов, поэтому они стали называться функционально-ориентированными процессорами (ФОП) [3].

Современный уровень развития микроэлектроники делает актуальными исследования и практическое применение ФОП для реализации различных процедур и алгоритмов в суперкомпьютерах. Достигнутая степень интеграции СБИС позволяет эффективно применять решения, которые казались во многом абстрактными на предыдущих этапах развития вычислительной техники (например, табличные или ассоциативные процессоры). С другой стороны, специфика реализации вычислений на уровне СБИС часто изменяет (иногда существенно) как подходы к проектированию ФОП, так и к системе критериев оценки их эффективности. Поэтому требуется исследование как известных решений в области ФОП, так и новых, которые возникают вследствие возможностей, открывающихся в ходе развития микроэлектроники.

В работе рассмотрены результаты исследований и практических разработок конкретных типов ФОП, которые могут быть использованы для повышения производительности суперкомпьютеров.

Таблично-алгоритмические ФОП для вычисления математических функций. Реализуют алгоритмы полиномиальной сплайн-аппроксимации [4]. Они предназначены для повышения производительности процессорных ядер суперкомпьютеров. Новые теоретические результаты: аналитическая оценка минимально-возможной степени полинома; доказательство существования минимума аппаратной сложности вычисления аналитических функций в базе функциональных элементов СБИС; новый метод сплайн-аппроксимации – метод k -кратной декомпозиции аргумента как обобщение полиномиальных методов приближения функций [5]; методы декомпозиции полиномов. Результаты разработок: алгоритмы оптимизационного синтеза таблично-алгоритмических архитектур ФОП; разработка структурно-функциональных схем математических ФОП распределенного и автономного типов.

Параллельные ФОП с архитектурой SIMD. Они предназначены для быстрой реализации векторно-матричных алгоритмов и аппаратной поддержки быстрых вычислений в задачах классификации. Новые теоретические результаты: на основе созданных методов эквивалентных преобразований графов по параметрам их ширины и высоты (ДН-преобразования [6]) предложен оптимальный вариант параллельной реализации одного класса алгоритмов классификации в базе архитектур SIMD; разработана методика распараллеливания методов интегрирования одного класса дифференциальных уравнений в базе SIMD-архитектур. Результаты разработок: разработаны и доведены до уровня функционирующих экспериментальных образцов два поколения ФОП с архитектурой SIMD.

Высокопроизводительные ФОП на основе однородных вычислительных сред (ОВС-ФОП). Они предназначены для обеспечения максимальной производительности при реализации потоковых алгоритмов и могут быть применены для создания специализированных кластеров с однородной архитектурой на уровне суперкомпьютера в целом. Новые теоретические результаты: на основе ДН-преобразований алгоритмических графов разработаны новые параллельные модификации алгоритмов арифметики над числами с неограниченной

разрядностью, параллельные двумерные быстрые алгоритмы сортировки больших массивов. Результаты разработок: разработаны проекты ОВС-ФОП для реализации алгоритмов быстрой арифметики, сортировки, цифровой обработки сигналов и изображений.

Список литературы

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_Supercomputing.
2. V. Reddi. Supercomputer Performance on a Chip Powers Next-Generation Embedded Image Processing. <http://rtc magazine.com/articles/view/102184>.
3. Функционально ориентированные процессоры/ А.И. Водяхо, В.Б. Смолов и др.; Под ред. В.Б. Смолова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988.
4. Н.А. Лукин. Архитектурный синтез функционально-ориентированных процессоров математических функций// Гироскопия и навигация, 2003, №3, стр. 109 – 120.
5. Н.А. Лукин. Верхняя оценка сложности вычисления аналитических функций на функциональных преобразователях// Сб. трудов семинара по дискретной математике и ее приложениям. / Под ред. О. Б. Лупанова. – М.: Изд-во мех. - мат. факультета МГУ, 1997, стр. 115 -120.
6. Лукин Н.А. Системное проектирование функционально-ориентированных процессоров для бортовых корреляционно-экстремальных навигационных систем // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва. – 2009. - № 4 (20). – С. 218-236.