

# 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 увеличения 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](http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_Supercomputing).
2. V. Reddi. Supercomputer Performance on a Chip Powers Next-Generation Embedded Image Processing. <http://rtcmagazine.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.