

*Дордопуло А.И.<sup>1</sup>, Каляев И.А.<sup>2</sup>, Левин И.И.<sup>2</sup>, Семерников Е.А.<sup>1</sup>*

## **СЕМЕЙСТВО МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ДИНАМИЧЕСКИ ПЕРЕСТРАИВАЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

*НИИ многопроцессорных вычислительных систем имени академика  
А.В. Каляева Южного федерального университета, г. Таганрог*

*E-mail: levin@mvs.tsure.ru*

Многопроцессорные вычислительные системы (МВС) сегодня используются повсеместно и имеют высокие теоретические показатели. Однако при решении большинства практических задач их реальная производительность резко падает и не превышает 5 - 10% от пиковой. Подобное снижение производительности характерно, в частности, для кластерных МВС при решении сложных задач математической физики, при выполнении ряда процедур цифровой обработки сигналов и многих других. Это реальная проблема, которая актуальна для большинства МВС, существующих в настоящее время.

Основная причина - это несоответствие «жесткой» архитектуры МВС и информационной структуры широкого класса решаемых задач, из-за чего существующие суперкомпьютеры и работают столь неэффективно.

Данный недостаток позволяет устранить концепция МВС с «гибкой», динамически перестраиваемой (программируемой) архитектурой, подстраиваемой под информационную структуру каждой конкретной задачи, решаемой в текущий момент времени на таком компьютере.

Практическое внедрение данной концепции сдерживалось отсутствием необходимой для ее реализации реконфигурируемой элементной базы. В последние годы такая элементная база на рынке появилась - это

---

<sup>1</sup> Южный научный центр Российской академии наук

<sup>2</sup> НИИ многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета.

программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) высокой степени интеграции. На основе ПЛИС возможно без привлечения больших финансовых затрат создавать МВС с программируемой архитектурой, существенно опережающие зарубежные аналоги по таким характеристикам как соотношения «реальная производительность/пиковая производительность» (эффективность) и «реальная производительность/объем» (компактность).

По этому пути уже идут ведущие мировые производители: компания Cray предлагает снабдить процессоры Opteron на двухпроцессорной платформе помощником в виде дополнительного модуля на базе ПЛИС Virtex 4 (DRC Coprocessor Module), включаемого во второй сокет Opteron-процессора. На DRC Coprocessor Module возлагается решение трудоемких для универсального процессора задач. Структура ПЛИС DRC Coprocessor Module при этом перестраивается под конкретную решаемую задачу.

В то же время западные производители используют ПЛИС, как правило, только в качестве сопроцессоров к стандартным вычислительным узлам – универсальным микропроцессорам. Концепция же МВС с программируемой архитектурой предполагает использовать ПЛИС в качестве базы для создания динамически реконфигурируемых вычислительных систем (РВС), адаптируемых под структуру решаемой задачи. В качестве основного вычислительного элемента в РВС используются вычислительные структуры, созданные в поле логических блоков ПЛИС, в то время как небольшое количество универсальных микропроцессоров выполняют вспомогательные функции: загрузку конфигураций ПЛИС, тестирование, распределение вычислительной нагрузки, загрузку исходных данных, визуализацию результатов и т.п.

Теоретические положения данной концепции уже подтверждены созданием в НИИ многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ) целого ряда экспериментальных образцов РВС различных конфигураций на базе ПЛИС от малогабаритных одноплатных устройств до систем, содержащих тысячи процессоров. В частности, в рамках ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники» на 2002-2006 годы была создана модульно-наращиваемая РВС с производительностью 200 Гфлопс в объеме всего 40 дм<sup>3</sup>. Данная система показала исключительно высокую реальную производительность на широком классе задач линейной алгебры, цифровой обработки сигналов, математической физики, символьной обработки, криптографии и других, работая с эффективностью не менее 60%.

Результаты теоретических и прикладных исследований позволяют сделать вывод об эффективности использования концепции динамической перестройки архитектуры системы для создания целого семейства высокопроизводительных модульно-наращиваемых многопроцессорных суперкомпьютеров широкого применения на основе ПЛИС-технологий (от суперЭВМ и рабочих станций до ускорителей персональных компьютеров), значительно опережающих по своим техническим характеристикам зарубежные аналоги, и, в то же время, отличающихся существенно более низкой стоимостью и сохраняющих преемственность методов и средств программирования.

В настоящее время НИИ МВС ЮФУ выполняет госконтракт 02.524.12.4002 по теме «Создание семейства высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой архитектурой на основе реконфигурируемой элементной

базы и их математического обеспечения для решения вычислительно трудоемких задач» в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы». В рамках госконтракта будет создано семейство РВС: высокопроизводительные системы отраслевого уровня производительностью 5 Тфлопс (РВС-5), уровня крупных организаций или научных центров производительностью 1 Тфлопс (РВС-1), рабочая станция уровня средних организаций производительностью 200 ГФлопс (РВС-0.2), а также ускорители для персональных компьютеров производительностью 50 и 25 ГФлопс (РУПК-50 и РУПК-25). Структура семейства РВС показана на рисунке 1.

В НИИ МВС ЮФУ имеется большой научно-технический задел для построения систем подобного класса, что позволит создать конкурентоспособный продукт на мировом рынке. Целесообразность проекта также обусловлена экономической выгодностью разработки данных технологий в Российской Федерации по сравнению с приобретением отдельных компонентов за рубежом, поскольку стоимость лицензий на их использование может составлять от нескольких сот тысяч до десятков миллионов долларов.

Реальная производительность системы РВС-5 будет в несколько раз превосходить производительность наиболее мощной суперЭВМ, находящейся в настоящее время на территории России, и при этом будет обладать существенно меньшими габаритами, энергопотреблением и стоимостью. В рамках проекта будет создана конструкторская документация для серийного производства семейства многопроцессорных реконфигурируемых вычислителей с динамически перестраиваемой архитектурой, а также их программное обеспечение для решения вычислительно трудоемких задач.

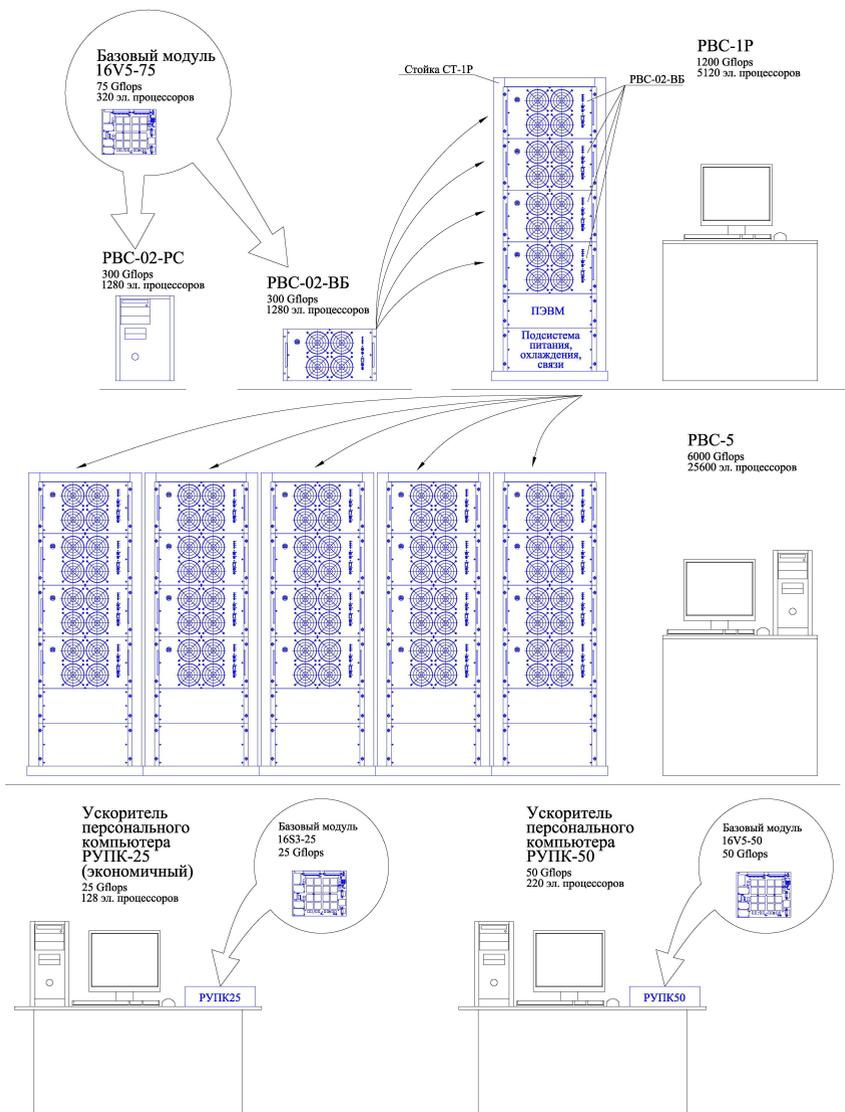


Рисунок 1 - Структура семейства РВС

Системы с высокой реальной производительностью позволят решить важнейшие научно-технические задачи и обеспечить прорывы в таких наукоемких технологических

областях как молекулярная фармакология, наноэлектроника, создание энергетических комплексов нового поколения, а также проведение фундаментальных научных исследований в астрофизике, микробиологии, физике твердого тела, нейроматематике, томографического исследования приповерхностных слоев Земли и т.д.

Семейство высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем с динамически перестраиваемой (программируемой) архитектурой на основе реконфигурируемой элементной базы является конкурентоспособной альтернативой традиционной организации многопроцессорных систем, основанных на использовании микропроцессоров в качестве основного вычислительного элемента. В выпуске подобной продукции заинтересован ряд предприятий и ведомств, но, прежде всего, это крупные научные центры.

Семейство РВС будет ориентировано на решение вычислительно трудоемких научно-технических задач в таких областях как символьная обработка информации, защита компьютерных сетей, создание принципиально новых лекарственных препаратов и материалов нового поколения, управление в реальном масштабе времени объектами ядерной энергетики, летательными и космическими аппаратами, расшифровка структуры белка, оптимизация эксплуатации нефтяных месторождений, томографических исследований приповерхностных слоев Земли акустическими и электромагнитными волнами, нейроматематика.

Создаваемое в рамках проекта системное и прикладное программное обеспечение, которое должно обеспечить потенциальным пользователям удобство программирования сложных практических задач на семействе РВС, функционально может быть разделено на три группы:

- средства разработки прикладных программ;

- средства администрирования вычислительных ресурсов семейства РВС, необходимые, главным образом, для старших представителей семейства (РВС-1 и РВС-5);

- служебные программы и драйверы.

Известно, что создание конфигурационных файлов для программирования ПЛИС является трудоемким делом и требует специальных знаний и навыков. Поэтому основной целью создания программного комплекса средств разработки прикладных программ семейства РВС является предоставление пользователю возможностей, которые позволят создавать программы без привлечения специальных знаний в области схемотехники ПЛИС и по сложности будут приближены к обычному программированию для микропроцессоров и многопроцессорных ЭВМ. Основными задачами программного комплекса средств разработки является эффективная реализация вычислительно трудоемких фрагментов задач различных проблемных областей на произвольном количестве взаимосвязанных кристаллов ПЛИС и произвольном количестве базовых модулей СРВС, а также поддержка разработки и отладки прикладных программ на языках структурно-процедурных вычислений, в том числе с вызовом библиотечных функций настройки архитектуры системы и реализации необходимых вычислительных структур на множестве ПЛИС.

Программный комплекс средств разработки прикладных программ семейства РВС будет содержать: язык ассемблера Argus v.3.0; язык структурно-процедурного программирования высокого уровня COLAMO v.2.0; интегрированную среду разработки аппаратно-программных решений прикладных задач Argus IDE v.3.0, единую для всех представителей семейства РВС и поддерживающую языки программирования Argus v.3.0 и COLAMO v.2.0; отладчик параллельных программ на базовых модулях семейства РВС, поддерживающий

межмодульные связи; программный интерфейс доступа к вычислительным ресурсам всех представителей CPBC из различных сред программирования; среду разработки вычислительных структур для синтеза масштабируемых параллельно-конвейерных процедур, оперирующую библиотекой многокристальных схемных решений (IP-ядер).

Язык структурно-процедурного программирования высокого уровня COLAMO v.2.0 обеспечивает синтаксическую поддержку реконфигурации аппаратной платформы PBC и возможность использования элементов библиотеки масштабируемых IP-ядер. Транслятор COLAMO v.2.0 для всех представителей семейства PBC обеспечивает трансляцию исходного кода программы в язык ассемблера Argus v.3.0 и в VHDL посредством среды разработки масштабируемых параллельно-конвейерных процедур, создавая тем самым конфигурационные файлы для ПЛИС.

Средства администрирования вычислительных ресурсов PBC, необходимые для обеспечения доступа и управления вычислительными ресурсами базовых модулей всех представителей семейства PBC, состоят из сервера удаленного доступа к вычислительным ресурсам, обеспечивающего обработку удаленных заявок на использование вычислительных ресурсов и поддерживающего очередь заявок с учетом приоритетов пользователей и клиентской части удаленного доступа, обеспечивающей прозрачный с точки зрения пользователя режим доступа и функционирования удаленных базовых модулей системы.

В состав служебных программ будут входить: драйвер базовых модулей для операционной системы Windows; библиотека масштабируемых параллельных решений (IP-ядер), предназначенных для реализации вычислений на множестве кристаллов ПЛИС; библиотека межблочных

интерфейсов для связи отдельных IP-ядер в единую масштабируемую вычислительную структуру; средства тестирования оборудования, в том числе удаленного, включающие тестирование связей между БМ, тестирование контроллера обмена для каждого БМ изделия и средства тестирования связей между БМ изделия; средства сигнализации о нештатных и аварийных ситуациях в работе оборудования.

Одновременно с разработкой семейства реконфигурируемых вычислительных систем предполагается создание и развитие инфраструктуры для обучения потенциальных пользователей и организации доступа к библиотекам масштабируемых IP-ядер для различных предметных областей с целью их широкого продвижения на рынке высокопроизводительной вычислительной техники. За счет использования возможностей сервисов глобальной компьютерной сети Internet будет обеспечен широкий доступ потенциальных пользователей к информационным ресурсам и программным продуктам, созданным в результате выполнения проекта.

Для решения сложнейших задач, поставленных в рамках госконтракта 02.524.12.4002, и продвижения его результатов на рынке высокопроизводительной вычислительной техники создан консорциум, состоящий из научных организаций, академических структур, производственных фирм и учреждения высшего профессионального образования. В состав консорциума вошли: Южный федеральный университет, Южный научный центр РАН, специальная астрофизическая обсерватория РАН, ФГУП «НИИ «Квант» и ООО «НИЦ суперЭВМ и нейрокомпьютеров». Такой состав участников позволит создать законченный коммерческий продукт для рынка суперЭВМ.

Практическое использование результатов проекта позволит создать семейство РВС с динамически перестраиваемой архитектурой широкого применения, превосходящих по технико-экономическим характеристикам МВС с традиционной архитектурой в сегментах рынка суперЭВМ и рабочих станций, а также ускорителей к персональному компьютеру.