

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

УДК 519.68

С.М. Абрамов¹, Н.Н. Парамонов²,
В.В. Анищенко², С.В. Абламейко²ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ
СЕМЕЙСТВА «СКИФ» И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

Рассматриваются базовые архитектурные решения, основные принципы и решения в части базового ПО и аппаратных средств, а также подходы к созданию моделей суперкомпьютеров «СКИФ». Приведен обзор технических характеристик образцов суперкомпьютеров семейства «СКИФ».

Введение

В современном обществе высокие информационные технологии стали фундаментальной инфраструктурой подобно энергетике, дорожным коммуникациям и другим жизненно важным для экономики государства системам. В последнее десятилетие в мире наблюдается лавинообразное увеличение объема информации – каждые три-четыре года он удваивается. Синхронно с этим процессом в ряде областей науки, техники и управления народно-хозяйственным комплексом появляется все больше задач, требующих для своего эффективного решения принципиально новых технологий обработки данных с предельно достижимыми значениями скорости средств вычислительной техники. В связи с этим в настоящее время в мире наблюдается своеобразный бум в области стратегически важного направления по созданию высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой (ВСПА), или суперкомпьютеров [1-3].

Обладание все большими вычислительными мощностями имеет стратегическое значение для развитых государств, сравнимое со значением ракетно-ядерного потенциала. В связи с этим среди ведущих промышленных стран идет острое соперничество за обладание все более совершенными и сверхпроизводительными компьютерными технологиями как важным стратегическим ресурсом обеспечения развития страны. Практически все развитые страны Запада имеют сегодня национальные программы создания компьютеров сверхвысокой производительности. Именно на решение этой проблемы направлена стратегическая компьютерная инициатива президента США, на осуществление которой конгресс ассигнует ежегодно многие сотни миллионов долларов.

С созданием суперкомпьютеров самым тесным образом связаны такие наукоемкие секторы промышленности, как микроэлектроника, оптическое приборостроение, точная механика, средства отображения информации, коммуникационная техника, производство программных продуктов и др. Именно в этих секторах Республика Беларусь и Российская Федерация сохраняют значительный научно-технический потенциал, поддерживаемый необходимыми фундаментальными и прикладными исследованиями, целевое использование которого позволит в сравнительно короткие сроки при относительно небольших затратах выйти на собственный альтернативный, практически независимый от Запада путь развития отечественной конкурентоспособной высокопроизводительной вычислительной техники, уровень которой будет соответствовать прогнозируемым требованиям со стороны широкой категории пользователей.

Для достижения этой цели в 2000 г. стартовала программа Союзного государства «Разработка и освоение в серийном производстве семейства высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой (суперкомпьютеров) и создание прикладных программно-аппаратных комплексов на их основе» (программа «СКИФ»). Главной целью программы является возрождение компьютерной отрасли двух стран, разработка и освоение в про-

изводстве единого семейства относительно недорогих моделей суперкомпьютеров с параллельной архитектурой с собственным оригинальным программным обеспечением, способных перекрыть диапазон производительности от миллиардов до триллионов операций в секунду [4-6]. Для достижения этой цели в рамках программы реализуется комплексный подход, включающий:

- концепцию создания моделей семейства суперкомпьютеров «СКИФ»;
- создание опытных образцов базовых конфигураций суперкомпьютерных систем (БКСС) «СКИФ», разработку литературной конструкторской и программной документации, проведение комплексных предварительных и приемочных (государственных) испытаний опытных образцов БКСС «СКИФ»;
- создание единого информационного телекоммуникационного пространства участников программы с возможностью удаленного доступа к суперкомпьютерным ресурсам;
- создание пилотных прикладных комплексов на базе суперкомпьютеров «СКИФ»;
- подготовку и переподготовку кадров для работы с высокими суперкомпьютерными технологиями;
- организацию промышленного выпуска и системы технического обслуживания моделей суперкомпьютеров «СКИФ» в широком диапазоне производительности.

Концепция отражает основополагающие принципы создаваемых по программе суперкомпьютерных систем:

- базовые архитектурные решения;
- основные принципы и решения в части базового (общесистемного) ПО;
- основные принципы и решения в части аппаратных средств;
- идеологию создания моделей семейства суперкомпьютеров;
- основные принципы разработки конструкторской документации, проведения испытаний суперкомпьютерных систем и организации их серийного производства;
- общую схему реализации прикладных суперкомпьютерных конфигураций.

1. Архитектурные принципы

Основополагающими архитектурными принципами создания суперкомпьютерных конфигураций «СКИФ» являются:

- базовая кластерная архитектура;
- иерархические кластерные конфигурации (метакластеры);
- универсальная двухуровневая архитектура.

1.1. Базовая кластерная архитектура

Концепция создания моделей семейства суперкомпьютеров «СКИФ» базируется на масштабируемой кластерной архитектуре, реализуемой на *классических кластерах из вычислительных узлов на основе компонентов широкого применения* (стандартных микропроцессоров, модулей памяти, жестких дисков и материнских плат, в том числе с поддержкой SMP).

Кластерный архитектурный уровень – это тесно связанная сеть (кластер) вычислительных узлов, работающих под управлением ОС Linux – одного из клонов широко используемой многопользовательской универсальной операционной системы UNIX. Для организации параллельного выполнения прикладных задач на данном уровне используются:

- разрабатываемая в рамках программы оригинальная система поддержки параллельных вычислений - *T-система*, реализующая автоматическое динамическое распараллеливание программ;
- классические системы поддержки параллельных вычислений, обеспечивающие эффективное распараллеливание прикладных задач различных классов (как правило, задач с явным параллелизмом): MPI, PVM, Norma, DVM и др. В семействе суперкомпьютеров «СКИФ» в качестве базовой классической системы поддержки параллельных вычислений выбран MPI, что не исключает использование других средств.

На кластерном уровне с использованием T-системы и MPI эффективно реализуются фрагменты со сложной логикой вычисления, с крупноблочным (явным статическим или скрытым динамическим) параллелизмом. Фрагменты же с простой логикой вычисления, с конвейерным или мелкозернистым явным параллелизмом, с большими потоками информации, требующими обработки в реальном режиме времени, на кластерных конфигурациях реализуются менее эффективно. Для организации параллельного исполнения задач с подобными фрагментами наиболее подходит модель потоковых вычислений (*data-flow*).

Кластерная архитектура является открытой и масштабируемой, т.е. не накладывает жестких ограничений к программно-аппаратной платформе узлов кластера, топологии вычислительной сети, конфигурации и диапазону производительности суперкомпьютеров.

Для организации взаимодействия вычислительных узлов суперкомпьютера в его составе используются различные сетевые (аппаратные и программные) средства, в совокупности образующие две системы передачи данных:

Системная сеть кластера (CC), или *System Area Network (SAN)*, объединяет узлы кластерного уровня в кластер. Данная сеть поддерживает масштабируемость кластерного уровня суперкомпьютера, а также пересылку и когерентность данных во всех вычислительных узлах кластерного уровня суперкомпьютера. Системная сеть кластера строится на основе специализированных высокоскоростных линков класса SCI, Myrinet, cLan, Infiniband и др., предназначенных для эффективной поддержки кластерных вычислений и соответствующей программной поддержки на уровне ОС Linux и систем организации параллельных вычислений (T-система, MPI).

Вспомогательная сеть суперкомпьютера (BC) с протоколом TCP/IP объединяет узлы кластерного уровня в обычную (TCP/IP) локальную сеть (*TCP/IP LAN*). Данная сеть может быть реализована на основе широко используемых сетевых технологий класса Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ATM и др. Данная сеть предназначена для управления системой, подключения рабочих мест пользователей, интеграции суперкомпьютера в локальную сеть предприятия и/или в глобальные сети. Кроме того, данный уровень может быть использован и системой организации параллельных кластерных вычислений (T-система, MPI) для вспомогательных целей (основные потоки информации, возникающие при организации параллельных кластерных вычислений, передаются через системную сеть кластера).

Кластерные конфигурации на базе только вспомогательной сети TCP/IP без использования дорогостоящих специализированных высокоскоростных линков класса SCI могут быть реализованы в рамках семейства «СКИФ» в виде самостоятельных изделий (*TCP/IP кластеров*). Программное обеспечение таких кластеров – ОС Linux, T-система и соответствующая реализация MPI. Реализация сравнительно недорогих TCP/IP кластеров на базе «масштабирования вниз» архитектурных решений «СКИФ» (дополнительный или вторичный эффект) существенно расширяет область применения результатов реализации программы.

Кластерные конфигурации на базе только вспомогательной сети могут быть реализованы как на базовых конструктивах «СКИФ», так и путем кластеризации имеющихся у пользователей ПЭВМ («персональные кластеры» или «суперПЭВМ»).

1.2. Базовое (системное) программное обеспечение суперкомпьютеров

В качестве базовой операционной системы (ОС) в универсальном кластерном суперкомпьютере используется операционная система Linux, являющаяся клоном ОС Unix. Операционная система Linux является одной из самых надежных, эффективных и перспективных операционных систем, которую сегодня многие коммерческие и государственные организации выбирают в качестве базовой для приложений и перспективных разработок в области параллельных вычислений. ОС Linux распространяется свободно (бесплатно) с исходными текстами. Это дает возможность модифицировать и вносить изменения, необходимые для реализации поставленной задачи.

Функциональные возможности ОС Linux и ее утилит развиваются огромной армией добровольных программистов-разработчиков (сегодня в мире существует 7-10 млн установок ОС Linux), что обеспечивает непрерывность ее тестирования и корректировки ошибок в исходных текстах. Распространение ОС Linux не подвержено каким-либо ограничениям каких-либо стран

или фирм. ОС Linux является открытой, т.е. она реализована не только для платформ класса IBM PC, но и для многих других аппаратных платформ.

1.3. Иерархические кластерные конфигурации (метакластеры)

Отдельные кластеры могут быть объединены в единую кластерную конфигурацию – кластер высшего уровня, или *метакластер* (Metacluster). Метакластерный принцип позволяет создавать распределенные метакластерные конфигурации на базе локальных или глобальных сетей передачи данных. При этом, естественно, уменьшается степень связности подкластеров метакластерной конфигурации.

Системное программное обеспечение метакластера обеспечивает возможность реализации *гетерогенных систем*, включающих подкластеры различной архитектуры на различных программно-аппаратных платформах.

Одним из перспективных программных продуктов, с использованием которого возможна реализация метакластерных конфигураций (по крайней мере, простой топологии типа point-to-point) на подкластерах с различными программно-аппаратными платформами, является *IMPI* (Interoperable Message Passing Interface). IMPI реализует стандартизованный протокол, обеспечивающий взаимодействие различных реализаций MPI. Это позволяет выполнять общую задачу на различной аппаратуре с использованием настраиваемых поставщиком (vendor-tuned) различных реализаций MPI на каждом узле кластерной конфигурации соответствующего уровня иерархии. Такая возможность полезна в случаях, когда объем вычислений задачи слишком велик для одной системы или когда разные части задачи оптимальнее выполняются на разных реализациях MPI.

IMPI определяет только протоколы, необходимые для взаимодействия различных реализаций MPI, а также может использовать собственные высокопроизводительные протоколы этих реализаций. Существуют свободно распространяемые (открытые) версии IMPI, например, на базе LAM/MPI.

Преимущества и цели реализации иерархической (метакластерной) архитектуры. Реализация архитектурных принципов иерархической организации суперкомпьютерных метакластерных конфигураций позволяет решить важнейшие для создания моделей семейства суперкомпьютеров «СКИФ» задачи:

- обеспечение реально достижимой и экономически эффективной масштабируемости архитектурных решений. Это особенно важно для решения ключевой задачи программы: создания моделей суперкомпьютеров, позволяющих перекрыть широкий диапазон производительности и областей применения - от моделей суперкомпьютеров среднего класса (10-100 ГФлопс) до вычислительных систем с массовым параллелизмом сверхвысокой производительности (триллионы операций в секунду);
- создание единого информационного пространства участников программы, а в перспективе объединение научных сетей России и Беларуси на базе распределенных сетевых суперкомпьютерных метакластерных конфигураций;
- обеспечение живучести суперкомпьютерных систем;
- объединение суперкомпьютерных конфигураций с разными архитектурными и программно-аппаратными платформами (гибридная метакластерная архитектура) в единую метакластерную суперкомпьютерную систему;
- создание глобальных сетевых конфигураций с гибридной метакластерной архитектурой терафлопсового диапазона. Такие метакластеры могут быть созданы путем объединения кластеров «СКИФ» с другими существующими в РБ и РФ кластерными конфигурациями (например, в МГУ, Межведомственном суперкомпьютерном центре Минпромнауки РФ и РАН и др.).

1.4. Универсальная двухуровневая архитектура

Для оптимизации организации на суперкомпьютерах «СКИФ» параллельного счета задач как с крупноблочным (явным статическим или скрытым динамическим) параллелизмом, так и с конвейерным или мелкозернистым явным параллелизмом, с большими потоками информации,

требующими обработки в реальном режиме времени, концепция предусматривает возможность реализации *универсальной двухуровневой архитектуры* суперкомпьютеров (рис. 1):

- первый уровень - базовый (кластерный) архитектурный уровень;
- второй уровень - потоковый архитектурный уровень, реализующий модель потоковых вычислений (data-flow).

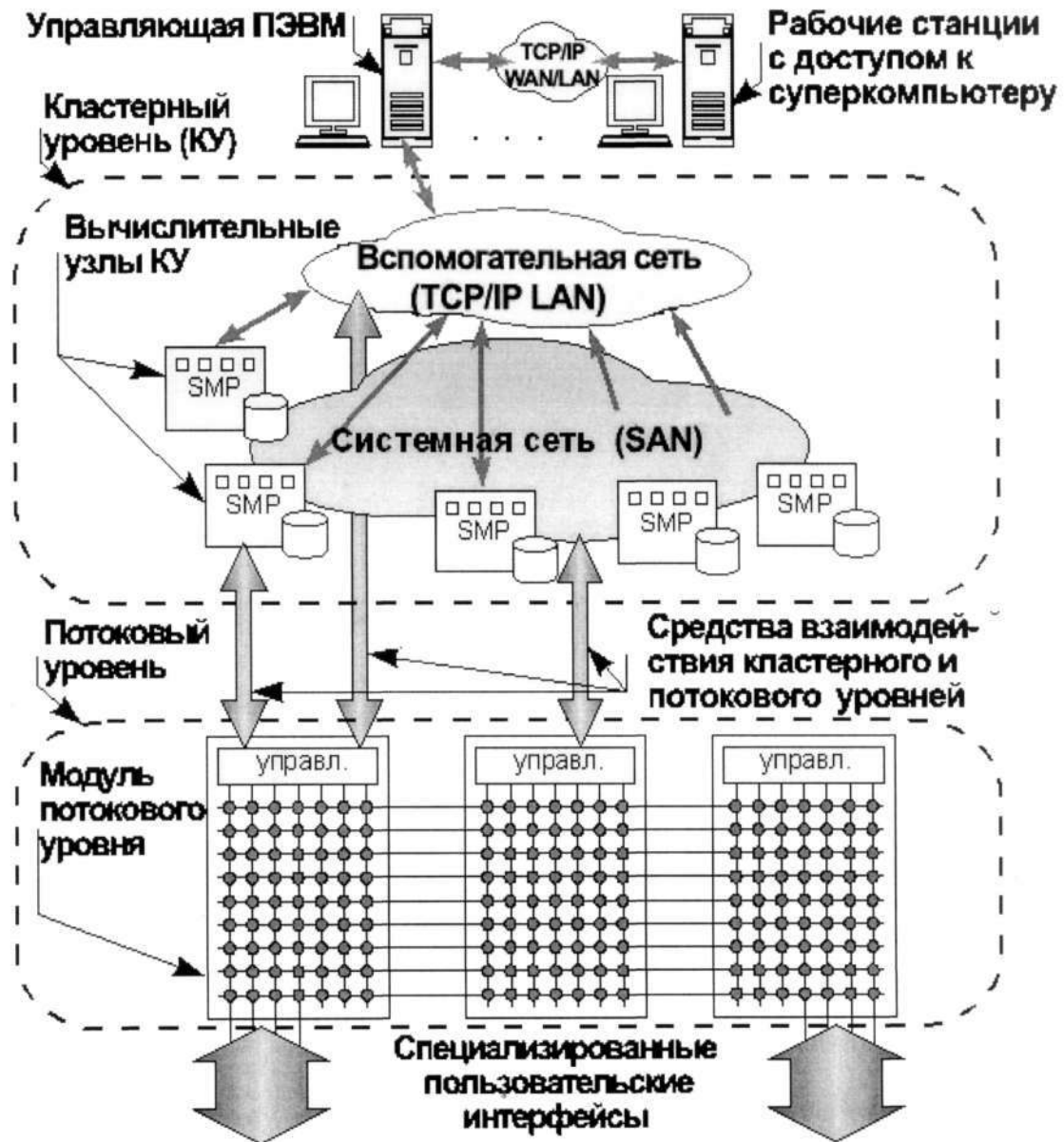


Рис. 1. Универсальная двухуровневая архитектура

Концепция предусматривает реализацию потокового архитектурного уровня как на базе однородной вычислительной среды (ОВС) с использованием оригинальных СБИС ОВС, разрабатываемых в рамках программы, так и на базе других (альтернативных) структурных и технических решений (например, на базе нейроструктур, FPGA типа XILINX, ALTERA и др.). По сути, вычислительные модули потокового уровня являются сопроцессорами вычислительных ресурсов кластерной конфигурации.

Предпосылкой объединения двух программно-аппаратных решений (кластерного и потокового) для организации параллельной обработки в рамках одной вычислительной системы является то, что эти два подхода, как уже отмечалось, своими сильными сторонами компенсиру-

ют недостатки друг друга. Тем самым, в общем случае, каждая прикладная проблема может быть разбита на фрагменты:

- со сложной логикой вычисления, с крупноблочным (явным статическим или скрытым динамическим) параллелизмом, эффективно реализуемые на кластерном уровне с использованием Т-системы и других (классических) систем поддержки параллельных вычислений;
- с простой логикой вычисления, с конвейерным или мелкозернистым явным параллелизмом, с большими потоками информации, требующими обработки в реальном режиме времени, эффективно реализуемые на потоковом уровне.

1.5. Отличительные особенности архитектуры семейства суперкомпьютеров «СКИФ»

Предложенная многоуровневая схема реализации архитектурных принципов обладает рядом особенностей и преимуществ (по сравнению с аналогичными разработками), позволяющими достичь современного мирового уровня в суперкомпьютерной отрасли:

- *В части Т-системы:* обеспечивается автоматическое динамическое распараллеливание программ, что освобождает программиста от большинства трудоемких аспектов разработки параллельных программ, свойственных различным системам ручного статического распараллеливания, таких как обнаружение готовых к выполнению фрагментов задачи (процессов), их распределение по процессорам и их синхронизация по данным. Все эти (и другие) операции выполняются в Т-системе автоматически и в динамике (во время выполнения задачи). Тем самым при более низких затратах на разработку параллельных программ обеспечивается более высокая их надежность.

По сравнению с использованием распараллеливающих компиляторов, Т-система обеспечивает более глубокий уровень параллелизма во время выполнения программы и более полное использование вычислительных ресурсов мультипроцессоров. Это связано с принципиальными алгоритмическими трудностями (алгоритмически неразрешимыми проблемами), не позволяющими во время компиляции (в статике) выполнить полный точный анализ и предсказать последующее поведение программы во время счета.

Кроме указанных выше принципиальных преимуществ Т-системы перед известными сегодня методами организации параллельного счета, в реализации Т-системы имеется ряд технологических находок, не имеющих аналогов в мире, в частности:

– *реализация понятия «неготовое значение»* и поддержка корректного выполнения некоторых операций над неготовыми значениями. Тем самым поддерживается возможность выполнения счета в некотором процессе-потребителе в условиях, когда часть из обрабатываемых им значений еще не готова, т.е. не вычислена в соответствующем процессе-поставщике. Данное техническое решение обеспечивает обнаружение более глубокого параллелизма в программе;

– *оригинальный алгоритм динамического автоматического распределения процессов по процессорам.* Данный алгоритм учитывает особенности неоднородных распределенных вычислительных сетей. По сравнению с известными алгоритмами динамического автоматического распределения процессов по процессорам (например, с диффузионным алгоритмом и его модификациями), алгоритм Т-системы имеет существенно более низкий трафик межпроцессорных передач. Тем самым Т-система обеспечивает снижение накладных расходов на организацию параллельного счета и предъявляет менее жесткие требования к пропускной способности аппаратуры объединения процессорных элементов в кластер.

- *В части потокового уровня:* архитектура вычислительных модулей потокового уровня позволяет использовать естественный параллелизм решаемой задачи вплоть до битового уровня, т.е. уровня структуры обрабатываемых данных, а также позволяет строить конвейеры произвольной глубины. Поточковый уровень предоставляет возможность одновременной обработки множества независимых некогерентных потоков.

Фактически, при решении конкретной функции или самостоятельной задачи на вычислительных модулях потокового уровня путем ввода соответствующей программы организуется *спецпроцессор*, реализующий решаемую функцию или задачу с наибольшей эффективностью. На матрице модулей потокового уровня одновременно могут решаться несколько независимых

задач и функций, причем механизм перезагрузки сегментов потокового уровня позволяет перезагружать часть матрицы без остановки выполнения еще не завершенных задач. Потоковый уровень обладает высокой гибкостью и перестраиваемостью, в частности полной аппаратной и программной масштабируемостью, что позволяет строить на его основе вычислительные системы с большим быстродействием. Производительность матрицы модулей потокового уровня теоретически растет линейно с увеличением рабочей частоты поля и площади вычислительной матрицы.

Вычислительные модули потокового уровня позволяют создавать системы с высоким уровнем надежности и отказоустойчивости, эффективно реализовывать нейросетевые алгоритмы.

Предложенные архитектурные принципы позволяют эффективно реализовывать любые виды параллелизма. *Архитектура является открытой и масштабируемой*, т. е. не накладывает жестких ограничений на программно-аппаратную платформу узлов кластера, топологию вычислительной сети, конфигурацию и диапазон производительности суперкомпьютеров. Вычислительные системы, создаваемые на базе основополагающих концептуальных архитектурных принципов, могут оптимально решать как классические вычислительные задачи математической физики и линейной алгебры, так и специализированные задачи обработки сигналов, моделирования виртуальной реальности, задачи управления сложными системами в реальном времени и другие приложения.

2. Суперкомпьютерные установки семейства «СКИФ»

К началу 2004 г. для отработки конструкторских решений и программного обеспечения по программе «СКИФ» выпущено двенадцать образцов суперкомпьютеров «СКИФ» (рис. 2), главные из них представлены ниже.

2.1. Первые образцы суперкомпьютерных установок кластерного уровня семейства «СКИФ»

Фактическое финансирование программы «СКИФ» началось в сентябре 2000 г., причем объем финансирования составил примерно четверть от запланированного. В этих условиях было проведено совещание основных исполнителей программы, на котором обсуждалось, каких результатов можно было бы достичь в данных условиях за первый год работы. Было решено не ограничиваться бумажными отчетами, а сделать весомый материальный образец в виде работающей установки. Такая установка была необходима еще и потому, что имелся существенный задел в разработке программного обеспечения и необходимо было его отлаживать на работоспособном образце. Было принято решение до конца года существенную часть финансовых ресурсов потратить на создание первых образцов кластерного уровня семейства «СКИФ».

В условиях чрезвычайно ограниченных временных рамок в результате совместных усилий были выдержаны все условия и сроки согласованного плана-графика, и к концу декабря 2000 г. были созданы два образца суперкомпьютера – «Первенцы» (рис. 3), один из которых был установлен в Минске в УП «НИИЭВМ», второй – в Переславле-Залесском в ИПС РАН. Эта работа запомнилась всем исполнителям как яркий пример сотрудничества, пример четкой кооперации между российскими и белорусскими партнерами. Первый этап работы - разработка эскизной конструкторской документации - был выполнен в ОАО «НИЦЭВТ» в Москве. Затем на основе этой документации в Минске в УП «НИИЭВМ» в рекордные сроки была разработана рабочая конструкторская документация и конструктивы. На своем опытном производстве УП «НИИЭВМ» выпустило 8 стоек и 32 корпуса для узлов вычислительной системы. Затем конструктивы были доставлены в Москву в ОАО «НИЦЭВТ», где уже были завершены подбор и закупка комплектующих. Здесь была произведена сборка всей аппаратной части и первичное тестирование установок «СКИФ». В ИПС РАН были произведены установка базового комплекта программного обеспечения кластерного уровня, окончательная наладка, тестирование и замеры показателей производительности и других технических характеристик. Кроме того, на первые образцы суперкомпьютера «СКИФ» была установлена прикладная система, разработанная в Санкт-Петербурге в Институте высокопроизводительных вычислений и информационных сис-

тем (ИВВ ИС). Эта прикладная система предназначена для проектирования химических реакторов.

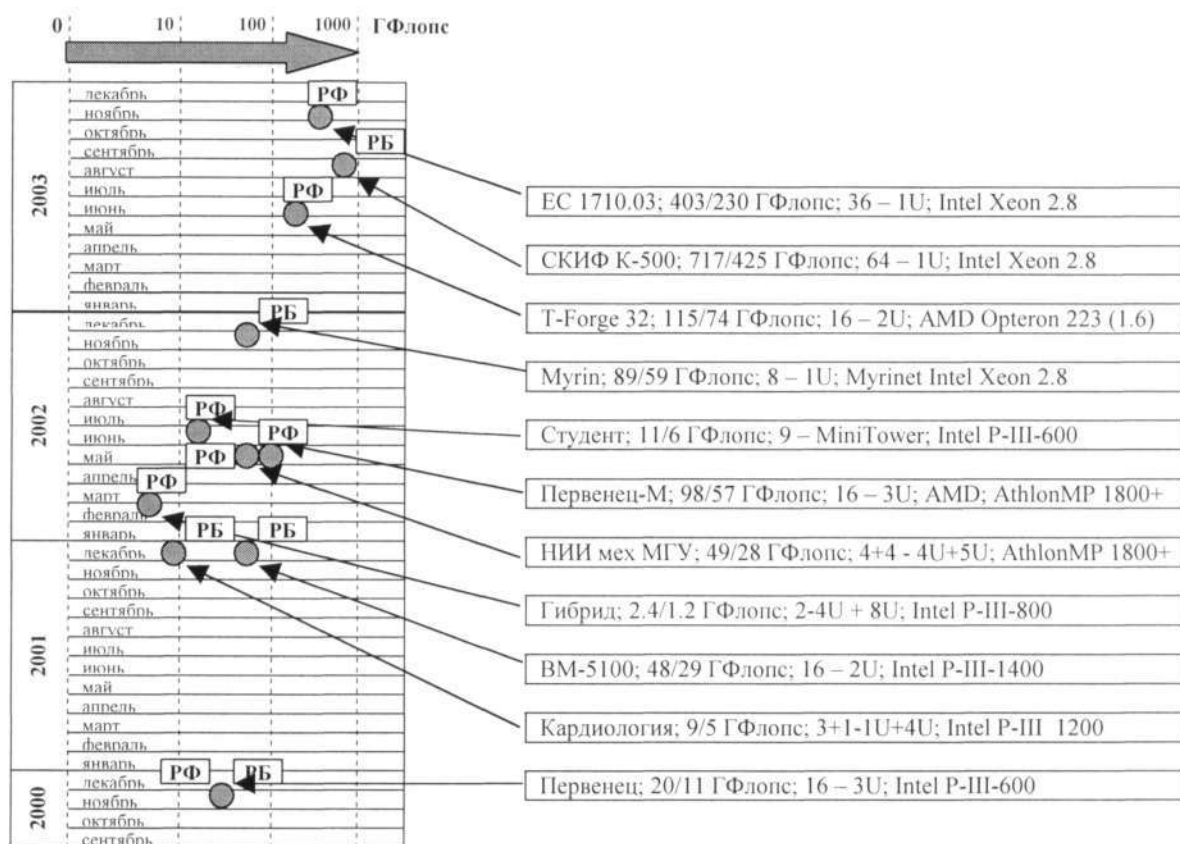


Рис. 2. Суперкомпьютерные конфигурации семейства «СКИФ»

В мае 2001 г. была проведена широкая презентация этих образцов с привлечением многочисленных специалистов из Беларуси и России. Так получилось, что уровень пиковой производительности этих образцов 20 GFlops (табл. 1) соответствовал уровню эмбарго на ввоз в Россию и Беларусь высокопроизводительной вычислительной техники, ввоз такой техники требовал оформления особого разрешения.



Рис. 3. Внешний вид первых двух образцов суперкомпьютеров семейства «СКИФ»

Таблица 1
Основные технические характеристики первых образцов семейства «СКИФ»

Месяц и год выпуска	Декабрь 2000 г.
Место расположения	НИИ ЭВМ (Минск) и ИПС РАН (Переславль-Залесский)
Число вычислительных узлов/процессоров	16/32
Тип процессора	Intel Pentium III – 600
Частота процессора	600 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	20 (11) GFlops
Оперативная память установки	16 x 0,5 = 8 ГБ
Дисковая память установки	16 x 10 = 160 ГБ
Тип системной сети	2D-top 4 x 4, SCI, D311/312
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	3U

2.2. Суперкомпьютер VM-5100 кластерного уровня семейства «СКИФ»

Второй опытный образец семейства «СКИФ» - VM-5100 - был выпущен белорусской стороной в 2001 г. (рис. 4). Его отличительными чертами являются более высокопроизводительные (по отношению к первым образцам) процессоры Intel Pentium III-1400 МГц и более компактные конструктивы: 1U вместо 3U. Благодаря процессорам Intel Pentium III на этом образце были достигнуты более высокие пиковая и реальная производительности: 48 и 29 ГФлопс соответственно (табл. 2).

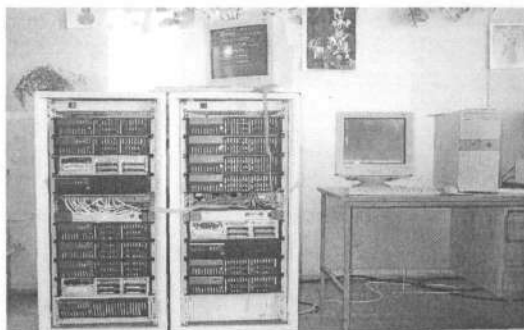


Рис. 4. Суперкомпьютерная установка VM-5100 семейства «СКИФ»

Таблица 2

VM-5100: основные технические характеристики

Месяц и год выпуска	Декабрь 2001 г.
Место расположения	ОИПИ НАН Беларуси (Минск)
Число вычислительных узлов/процессоров	16/32
Тип процессора	Intel Pentium III – 1400 МГц
Частота процессора	1400 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	48 (29) ГФлопс
Оперативная память установки	16 x 1 = 16 ГБ
Дисковая память установки	16 x 18 = 288 ГБ
Тип системной сети	2D-top 4x4, SCI, D335
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	1U
Дополнительно	Установлена лицензионная версия пакета LS-DYNA

Именно VM-5100 вместе с образцом «Первенец» являлись базой, на которой проводились государственные испытания в феврале 2002 г.

2.3. Аппаратно-программный кардиологический комплекс

В 2001 г. в рамках программы были выполнены работы по созданию аппаратно-программного кардиологического комплекса (АПКК) на основе кластерных технических решений «СКИФ». Комплекс предназначен для исследования микроциркуляторного звена сердечно-сосудистой системы методом биомикроскопии.

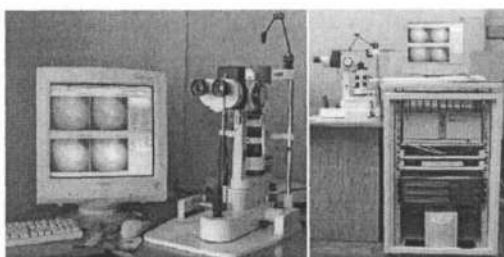


Рис. 5. Аппаратно-программный кардиологический комплекс

Таблица 3

Основные технические характеристики кардиокомплекса

Месяц и год выпуска	Декабрь 2001 г.
Место расположения	ОИПИ НАН Беларуси (Минск)
Число вычислительных узлов/процессоров	4/3x2+1
Тип процессора	6 Intel Pentium III – 1200 МГц + 1 Intel Pentium IV – 1800 МГц
Частота процессора	1266 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	9.4 (5) ГФлопс
Оперативная память установки	4 x 1 = 4 ГБ
Дисковая память установки	7 x 18 = 126 ГБ
Тип системной и управляющей сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	3+1-1U+4U

Первый показ этой разработки (рис. 5 и табл. 3) был проведен в рамках государственных испытаний в феврале 2002 г. Кардиологический комплекс является ярким примером создания на базе технических решений «СКИФ» законченной прикладной системы. В системе была решена задача совместимости кластера и медицинской аппаратуры. Это позволяет в режиме реального времени обследовать пациента, поставить точный диагноз и, при необходимости, рекомендовать оптимальный путь лечения. На инженерном языке АПКК - это уже не суперкомпьютер, а «черный ящик», который выполняет функции кардиологического комплекса. В АПКК используется оригинальная методика диагностики кардиологических заболеваний, разработанная белорусскими коллегами (ОИПИ НАН Беларуси совместно с РНПЦ «Кардиология»). Эта методика защищается патентами. Она основана на том, что снимается и обрабатывается ряд видеоизображений капилляров на сетчатке глаза обследуемого. На такую съемку по физиологическим ограничениям отводится очень малое время, потому что глаз начинает слезиться. Кроме того, жесткое ограничение времени на обследование и постановку диагноза определяется еще и тем, что кардиологический комплекс предполагается использовать во время массовых профилактических осмотров населения.

Российская сторона тоже участвует в этой разработке. В ИВВ ИС в Санкт-Петербурге разрабатывается программное обеспечение кластерного уровня, которое реализует экспертную систему, позволяющую кардиологу поставить обоснованный диагноз с использованием технологии искусственного интеллекта.

2.4. Экспериментальный гибридный суперкомпьютер семейства «СКИФ»

Первый показ экспериментального образца гибридного суперкомпьютера семейства «СКИФ» с условным названием «Гибрид» (рис. 6) был проведен в апреле 2002 г. Этот образец имеет двухуровневую архитектуру: кластерный уровень (КУ) и уровень однородной вычислительной среды (ОВС). Установка «Гибрид» используется разработчиками для отладки аппаратных и программных средств взаимодействия КУ и ОВС.

Во время первой презентации установки «Гибрид» было показано решение задачи обработки изображений. На Т-системе была реализована программа, которая получала цепочку кадров видеоизображений, содержащих шумы. Т-система разбивала видеоряд на кадры, каждый из которых отдавался для обработки в ОВС. На уровне ОВС производилась фильтрация шумов в кадре, и результат возвращался в Т-систему. Пользователю показывались два окна в системе

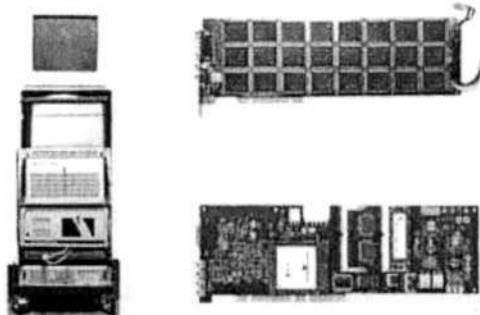


Рис. 6. Экспериментальный образец гибридного суперкомпьютера семейства «СКИФ» (сверху - плата макета ОВС, снизу - управляющая плата ОВС)

Таблица 4
Основные технические характеристики экспериментального образца гибридного суперкомпьютера семейства «СКИФ»

Месяц и год выпуска	Апрель 2002 г.
Место расположения	Предприятие «Суперкомпьютерные системы» (СКС), Москва
Число вычислительных узлов/процессоров	2/3
Тип процессора	Intel Pentium III – 800 МГц
Частота процессора	800 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	2.4 (1.2) ГФлопс
Оперативная память установки	2 x 0.5 = 1 ГБ
Дисковая память установки	2 x 80 = 160 ГБ
Тип системной сети	1 x 2 ID-top, SCI D320
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	4U+6U
Дополнительно	Подключена экспериментальная реализация модуля ОВС на Xilinx, 216 эл. процессоров, 10 МГц

X-Windows. В режиме реального времени в одном окне Т-система предъявляла видеоизображение до обработки, а в другом - изображение после очистки от шумов.

В рамках создания данной установки программные мероприятия, связанные с разработкой и производством средств ОВС как аппаратной, так и программной части, выполняло предприятие «Суперкомпьютерные системы» (СКС, Москва). Комплекс работ по обеспечению взаимодействия КУ и ОВС выполнялся СКС совместно с ИПС РАН. В настоящее время установка «Гибрид» используется для отладки опытных образцов ОВС, выпускаемых в Минске НИИ ЭВМ и УП «Белмикросистемы» НПО «Интеграл» (табл. 4).

2.5. «Первенец-М»: модернизация первого образца суперкомпьютера семейства «СКИФ»

В марте 2002 г. в Москве открылось представительство корпорации AMD. К этому же времени у разработчиков программы «СКИФ» назрела необходимость опробовать на кластерном уровне суперкомпьютеров семейства «СКИФ» не только решения от фирмы Intel, но и решения от AMD. У сотрудников ИПС РАН установились самые тесные отношения партнерства с сотрудниками московского представительства AMD. В результате от AMD были получены несколько комплектов процессоров, памяти и материнских плат. В то же время ОАО «НИЦЭВТ» предоставил ИПС РАН адаптеры SCI D335. В кратчайшие сроки сотрудниками ИПС РАН были собраны 12 вариантов пар вычислительных узлов, связанных сетевыми адаптерами SCI D335. На полученных вычислительных узлах были выполнены замеры производительности с целью поиска наиболее оптимальных аппаратных средств для реализации вычислительных узлов на базе существовавших на тот момент решений AMD. По результатам испытаний было принято решение о модернизации кластера «Первенец» и перевода его на новую элементную базу.

Таблица 5

Основные технические характеристики установки «Первенец-М»

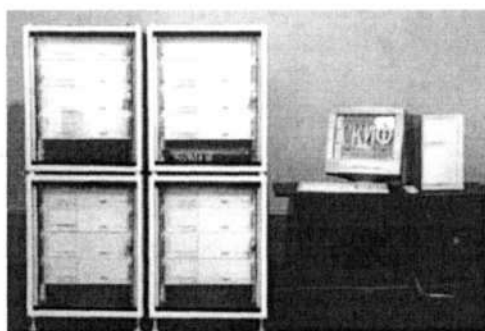


Рис. 7. Кластерная установка «Первенец-М»

Месяц и год выпуска	Июль 2002 г.
Место расположения	ИПС РАН (Переславль-Залесский)
Число вычислительных узлов/процессоров	16/32
Тип процессора	AMD AthlonMP 1800+
Частота процессора	1533 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	98 (57) ГФлопс
Оперативная память установки	2 x 1 = 16 ГБ
Дисковая память установки	16 x 40 = 640 ГБ
Тип системной сети	4 x 4 2D-top, SCI D335
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	3U
Дополнительно	Установлена лицензионная версия пакета STAR-CD

Модернизация была выполнена в июле 2002 г. В модернизации «Первенца» (рис.7 и табл. 5) оказала помощь московская фирма «Storus», которая предоставила платы SCI D335 с целью замены старых, использовавшихся ранее плат SCI D311/312. Старые платы были оставлены ИПС РАН на весьма льготных условиях. Впоследствии они были использованы для сборки кластера с условным названием «Студент». В результате на реализацию каждого узла модернизированного кластера «Первенец-М» было затрачено не более 2500 дол. Таким образом, при минимальных затратах удалось улучшить основные технические характеристики системы в два-три раза, а производительность - почти в пять раз. В настоящее время установка «Первенец-М» является основной (по мощности) вычислительной мощностью в Переславле-

Залесском. Она доступна по сети, и 101 пользователь - потребитель высокопроизводительных вычислений - имеет доступ к ней и решает свои задачи на этой установке.

2.6. «Студент»: вспомогательный кластер семейства «СКИФ»

Из электронных компонент, высвободившихся после модернизации установки «Первенец», был собран девятиузловой вспомогательный кластер (рис. 8 и табл. 6). Он выполнен в конструктивах MiniTower на стойке, которая была сделана в мастерских ИПС РАН. Условное название «Студент», которое получила эта установка, не случайно. На ней действительно работает много студентов и из МГУ, и из университета Переславля. Кроме того, установка «Студент» используется для отладки программного обеспечения, прежде чем оно устанавливается на основной кластер ИПС РАН - «Первенец-М».

Таблица 6

Основные технические характеристики кластерной установки «Студент»

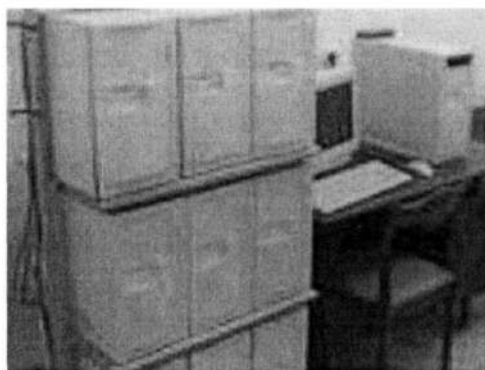


Рис. 8. Внешний вид вспомогательной кластерной установки «Студент»

Месяц и год выпуска	Июль 2002 г.
Место расположения	ИПС РАН (Переславль-Залесский)
Число вычислительных узлов/процессоров	9/18
Тип процессора	Intel Pentium III – 600 МГц
Частота процессора	600 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	11 (6) ГФлопс
Оперативная память установки	9 x 0.5 = 4.5 ГБ
Дисковая память установки	90 ГБ
Тип системной сети	3 x 3 2D-top, SCI D311/312
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	MiniTower

2.7. Кластерная установка семейства «СКИФ» в НИИ механики МГУ и установка «Myrin»

Закупка аппаратных средств для кластера НИИ механики МГУ производилась в то же время, когда проводилась модернизация установки «Первенец». Поэтому по аппаратным

Таблица 7

Основные характеристики кластерной установки в НИИ механики МГУ

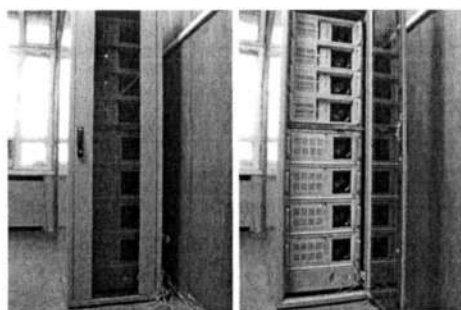


Рис. 9. Внешний вид кластерной установки в НИИ механики МГУ

Месяц и год выпуска	Июль 2002 г.
Место расположения	НИИ механики МГУ (Москва)
Число вычислительных узлов/процессоров	8/16
Тип процессора	AMD AthlonMP 1800+
Частота процессора	1533 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	49 (28) ГФлопс
Оперативная память установки	8x1=8 ГБ
Дисковая память установки	8 x 80= 640 ГБ
Тип системной сети	2 x 4 2D-top, SCI D335
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	4 x 4U + 4 x 5U
Дополнительно	Кластер оснащен сервисной сетью, разработанной в ИПС РАН

решениям этот кластер является близким аналогом «Первенца-М». Отличительной особенностью этого образца является то, что его реализация была выполнена не за счет средств программы «СКИФ», а целиком за счет средств НИИ механики МГУ (рис. 9 и табл. 7).

В том же 2002 г. для изучения технологии Myrinet в Минске (ОИПИ НАН Беларуси и УП «НИИЭВМ») был разработан кластер с условным названием «Myrin» (рис. 10 и табл. 8).

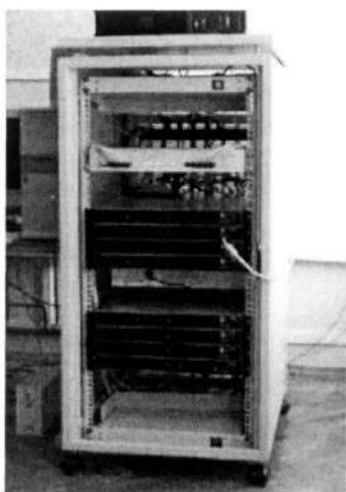


Рис. 10. Внешний вид установки «Myrin»

Таблица 8

Основные технические характеристики установки «Myrin»

Месяц и год выпуска	Ноябрь 2002 г.
Место расположения	ОИПИ НАН Беларуси
Число вычислительных узлов/процессоров	8/16
Тип процессора	Intel Xeon 2.8 ГГц
Частота процессора	2.8 ГГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	89 (59) ГФлопс
Оперативная память установки	8 x 1 = 8 ГБ
Дисковая память установки	8 x 40 = 320 ГБ
Тип системной сети	Myrinet
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	1U

2.8. «T-Forge 32»: первый в СНГ кластер с процессорами AMD Opteron

Сотрудничество с московским представительством корпорации AMD, основы которого были заложены в 2002 г., было продолжено и в 2003 г. По рекомендации AMD в ИПС РАН появился новый партнер - российская компания «Т-Платформы». В 2003 г. корпорацией AMD был выпущен новый процессор AMD Opteron модели 244, основанный на технологии AMD64. AMD64 - это наименование нового класса компьютерных технологий, предусматривающих расширение стандартной архитектуры набора команд x86 для поддержки как 32-разрядных, так и 64-разрядных платформ. AMD64 - новаторская разработка корпорации AMD, призванная обеспечить полную совместимость существующих 8-, 16- и 32-разрядных решений x86 с высокопроизводительной 64-разрядной средой.

Официально процессор AMD Opteron 244 был представлен миру 22 апреля 2003 г. Но уже 5 апреля московское представительство фирмы AMD и компания «Т-Платформы» представили для совместной проработки в ИПС РАН первые узлы на процессорах AMD Opteron 244. В ИПС РАН сразу же начались серьезные исследования этой архитектуры, работы по адаптации программного обеспечения. Эти работы потребовали контактов с разработчиком плат SCI D335 компанией Dolphin, поскольку совместная работа плат D335 и платформ с процессорами AMD Opteron оказалась совсем непростым делом.

С участием ИПС РАН в июне 2003 г. была завершена сборка и проведена презентация первого в России кластера на базе процессоров AMD Opteron 244 - «T-Forge 32» (рис. 11 и табл. 9). К этому времени не удалось решить все проблемы, связанные с использованием плат SCI D335, поэтому установка была реализована с системной сетью на базе плат GB Ethernet. Но даже на такой системной сети кластер показал весьма высокие технические характеристики: высокую пиковую производительность и очень хороший КПД (отношение реальной Linpack-производительности к пиковой производительности) - 64%. Более того, в рамках одного узла процессоры Opteron показали еще лучшее соотношение между пиковой и реальной производительностью на задаче Linpack - 80%. Создатели кластера «T-Forge 32» уверены, что когда удастся решить проблемы системной сети и построить ее на платах D335, на этой установке будут достигнуты еще более привлекательные показатели реальной (Linpack) производительности.

Впервые на кластере «T-Forge 32» была применена технологическая новинка - кластер оснащен сервисной сетью, разработанной и изготовленной в ИПС РАН.

Опыт работы с процессорами Opteron показал, что это действительно очень мощное решение, новое слово в компьютерной отрасли, поскольку процессор Opteron предоставляет пользователям реализацию мягкого перехода от 32-разрядных приложений к 64-разрядным. Процессор поддерживает и 32-разрядный режим работы, и 64-разрядный режим, причем 32-разрядный режим поддержан очень эффективно - все 32-разрядные приложения работают с отличной скоростью. Эта работа была важна тем, что впервые в кластерах в России применялись 64-разрядные архитектуры.

Кроме того что применение 64-разрядных архитектур дает повышение производительности, существует еще такой аспект высокопроизводительных вычислений, как потребность в больших объемах памяти. Как правило, большие приложения требуют больших объемов памяти и, следовательно, больших объемов адресного пространства, которые могут обеспечивать только 64-разрядный режим адресации. Только этого обстоятельства достаточно, чтобы сказать, что переход на 64-разрядные архитектуры перспективен.

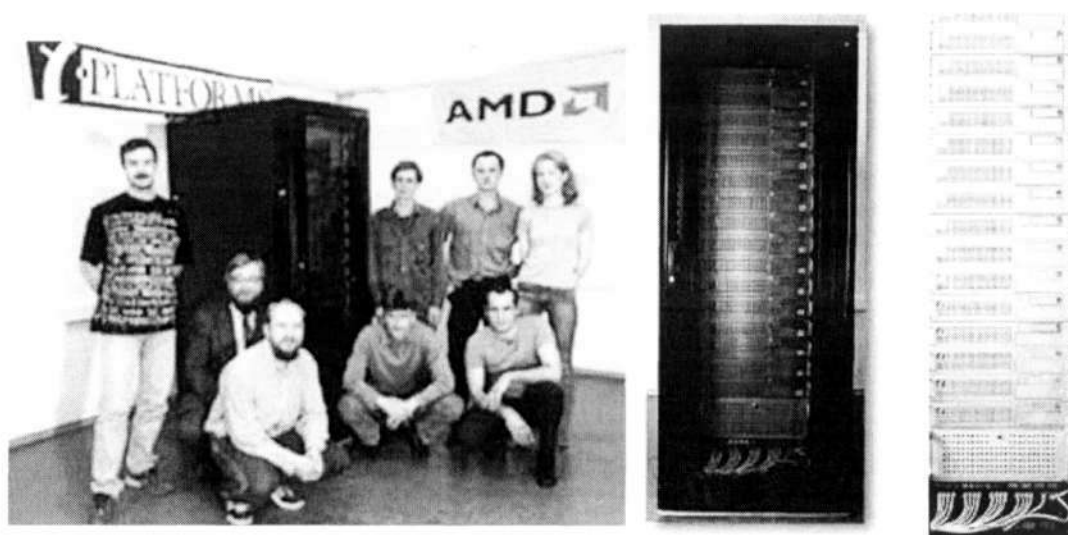


Рис. 11. Внешний вид кластера «Т-Forge 32» на базе процессоров AMD Opteron 244 (Москва, компания «Т-Платформы», июнь 2003 г.)

Таблица 9

Основные технические характеристики кластера «Т-Forge 32»

Месяц и год выпуска	Июнь 2003 г.
Место расположения	Центр кластерных технологий (ЦКТ), Москва
Число вычислительных узлов/процессоров	16/32
Тип процессора	AMD Opteron 244
Частота процессора	1800 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	115.2 (73.8) ГФлопе
Оперативная память установки	16 x 2 = 32 ГБ
Дисковая память установки	16 x 60 = 960 ГБ
Тип системной сети	ГБ Ethernet
Тип управляющей (вспомогательной) сети	ГБ Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	2U
Дополнительно	Linpack 64 % (размерность 110,000). Кластер оснащен сервисной сетью, разработанной в ИПС РАН

Интересно отметить, что создание кластера «Т-Forge 32» - еще один (как это было и с кластером НИИ механики МГУ) пример того, что установка, имеющая важное значение для

программы «СКИФ», была реализована без привлечения средств финансирования программы «СКИФ».

2.9. Суперкомпьютерная установка «СКИФ К-500»

При планировании работ в 2003 г. было принято решение о выпуске первого образца терафлопного диапазона - не менее 0,5 ТФлопс, который располагался бы в Минске. Данная установка получила название «СКИФ К-500». Окончательная проработка архитектурных особенностей этого образца была завершена в мае 2003 г. Основными исполнителями работ по созданию образца были:

- Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (Минск);
- Научно-исследовательский институт электронно-вычислительных машин (Минск);
- Институт программных систем Российской академии наук (Переславль-Залесский);
- компания «Т-Платформы» (Москва).

Проработка архитектурных особенностей «СКИФ К-500» была завершена в мае 2003 г., а уже в сентябре в Москве были изготовлены 64 узла установки «СКИФ К-500» и выполнена сборка технологической конфигурации. Технологическая конфигурация установки «СКИФ К-500» была собрана для демонстрации работоспособности вычислительных узлов в комплексе, а также для установки программного обеспечения кластерного уровня. После испытаний технологическая установка была разобрана и все 64 узла были отправлены в Минск, где была собрана окончательная конфигурация в конструктивах, разработанных УП «НИИ ЭВМ» (рис. 12 и табл. 10). Были выполнены замеры ее производительности. Реальная производительность составила 425.2 ГФлопс (на задаче Linpack), пиковая - 716.8 ГФлопс, КПД - 59%. Помимо высокой производительности следует отметить очень хорошее соотношение производительности и цены: стоимость 1 ТФлопс составляет меньше \$1 000 000.

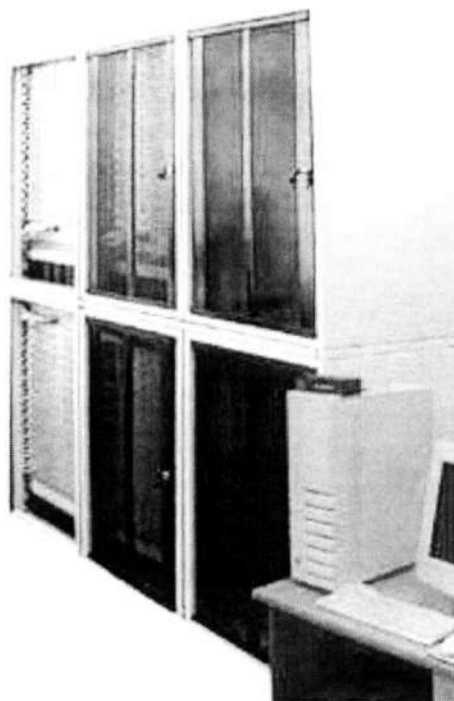


Рис. 12. «СКИФ К-500» в окончательной конфигурации

Таблица 10

«СКИФ К-500»: основные технические характеристики

Месяц и год выпуска	Сентябрь 2003 г.
Место расположения	ОИПИ НАН Беларуси (Минск)
Число вычислительных узлов/процессоров	64/128
Тип процессора	Intel Xeon 2.8 ГГц
Частота процессора	2800 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	716.8 (425.2) ГФлопс
Оперативная память установки	64 x 2 = 128 ГБ
Дисковая память установки	64 x 60 = 3840 ГБ
Тип системной сети	3D-top, SCI, D336
Тип управляющей (вспомогательной) сети	ГБ Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	1U
Дополнительно	Linpack: размерность N=123500, N _{1/2} =25000, КПД=425.2/716.8=59%. «СКИФ К-500» оснащен сервисной сетью, разработанной в ИПС РАН и серийно выпускаемой в УП «НИИЭВМ»

Также отметим еще две технологические новинки. Во-первых, в установке «СКИФ К-500» использованы конструктивы с форм-фактором 1U, что позволило сделать ее очень компактной. Во-вторых, впервые в России и Беларуси было объединено такое большое

количество вычислительных узлов (64 узла) системной сетью SCI, причем использовалась топология системной сети SCI – 3-мерный тор (SCI 3D-тор) с адаптерами D336, предназначенными для установки в корпуса с форм-фактором 1U.

16 ноября 2003 г. суперкомпьютер «СКИФ К-500» вошел в очередной 22-й выпуск списка TOP-500 [7] и стал в нем первым суперкомпьютером, разработанным и изготовленным по программе Союзного государства. Это замечательный результат программы «СКИФ», тем более что до сего дня в мире было только полтора десятка стран-производителей суперкомпьютеров, чьи изделия удостоены чести быть в списке TOP-500. Теперь к этому элитному клубу принадлежат Беларусь и Союзное государство. В 22-й выпуск списка TOP-500 включены суперкомпьютеры из 38 стран, но только 14 представили собственные разработки: Австрия, Беларусь, Германия, Индия, Канада, Китай, Польша, Российская Федерация, США, Тайвань, Швейцария, Швеция, Южная Корея и Япония.

2.10. Суперкомпьютерная кластерная установка ЕС1710.03

В 2003 г. в рамках программы «СКИФ» было запланировано создать российский образец высокой производительности (около 400 ГФлопе), который получил специальное обозначение - ЕС1710.03 (рис. 13 и табл. 11). Этот образец создавался для отработки типового решения для установок с высокой производительностью. К его сильным сторонам относятся: весьма высокая производительность (пиковая производительность 0,43 ТФлопе), компактность (образец собран в одной стойке, форм-фактор 1U) и, самое главное, то, что системная сеть в установке ЕС1710.03 выполнена на платах, которые выпускает ОАО «НИЦЭВТ», - SCI N335 (аналоги плат SCI N335 компании Dolphin). Таким образом, произошла частичная замена импортных комплектующих на комплектующие отечественного производства. В 2003 г. ОАО «НИЦЭВТ» была выпущена установочная партия адаптеров N335 - 36 плат для 36 узлов вычислительной системы ЕС1710.03.

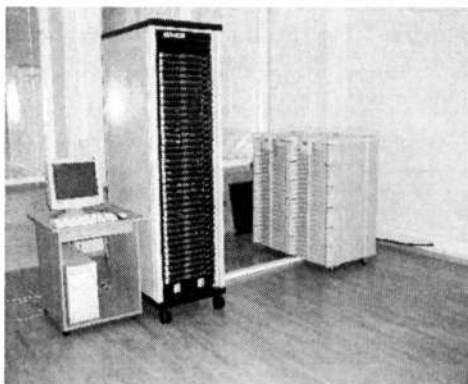


Рис. 13. Суперкомпьютерная установка ЕС1710.03

Таблица 11

ЕС1710.03: основные технические характеристики

Месяц и год выпуска	Октябрь 2003 г.
Место расположения	НИЦЭВТ, Москва
Число вычислительных узлов/процессоров	36/72
Тип процессора	Intel Xeon 2.8 ГГц
Частота процессора	2800 МГц
Предельная пиковая (реальная на задаче Linpack) производительность	403 (230) ГФлопе
Оперативная память установки	36 x 2 = 72 ГБ
Дисковая память установки	36 x 60 + 480 = 2640 ГБ
Тип системной сети	6 x 6 2D-top, SCI D335
Тип управляющей (вспомогательной) сети	Fast Ethernet
Конструктив узла (форм-фактор)	1U
Дополнительно	В составе NAS 480 ГБ

Особенностью установки ЕС1710.03 является также то, что в ее состав включено сетевое устройство хранения (Network Attached Storage - NAS) на 480 ГБ. Наличие такого устройства бывает очень важно для многих приложений суперкомпьютеров.

3. Основные результаты

В 2000-2003 гг. разработано 12 суперкомпьютерных установок семейства «СКИФ», которые использовались как для отладки программного обеспечения кластерного уровня, так и для реальных вычислений на предприятиях и в учреждениях России и Беларуси. Эти установки послужили материальной базой для успешного выполнения программы в 2000-2003 гг. и для получения всех основных результатов:

- Разработана конструкторская документация (КД) Ряда 1 семейства «СКИФ», проведены приемочные (государственные) испытания. По результатам государственных испытаний конструкторской документации присвоена литера «О1».
- Разработано базовое программное обеспечение (ПО) кластерного уровня (КУ) суперкомпьютеров «СКИФ» Ряда 1, проведены приемочные (государственные) испытания. По результатам государственных испытаний программным системам ПО КУ «СКИФ» присвоена литера «О1».
- Разработан ряд прикладных систем для суперкомпьютеров семейства «СКИФ», часть из которых прошла государственные испытания, и соответствующей программной документации присвоена литера «О1».
- В ОАО «НИЦЭВТ» подготовлена необходимая производственная база, проведена разработка КД и освоены в производстве адаптеры (N330, N337, N335) системной сети SCI, которые являются полными функциональными аналогами адаптеров SCI компании Dolphin (D330, D337, D335).
- Предприятием «Суперкомпьютерные системы» разработаны аппаратные и программные средства уровня ОВС, экспериментальный макет ОВС. Приемочные (государственные) испытания средств уровня ОВС предусмотрены в 2004 г.
- Помимо этих материальных результатов программы следует отметить самый важный технологический и организационный результат: создана команда, способная решать самые сложные технические и научные задачи, что было доказано разработкой суперкомпьютера «СКИФ К-500». В 2004 г., в рамках завершения программы, и в последующие годы, в рамках программы «СКИФ-2» (формирование которой начато), этой командой уже запланирована разработка новых, более мощных образцов суперкомпьютеров семейства «СКИФ».

Заключение

Полученные результаты по созданию суперкомпьютерных систем являются существенным научно-техническим заделом для создания суперкомпьютерного центра в Беларуси. Интегральный экономический и политический эффект от его создания обеспечивается тем, что Национальная академия наук Беларуси может способствовать форсированному технологическому перевооружению ключевых отраслей промышленности Республики Беларусь, их реформированию с целью достижения мирового уровня качества продукции на базе новейших наукоёмких информационных технологий, а также укреплению национальной безопасности.

Комплексная реализация мероприятий программы «СКИФ», завершающейся в 2004 г., позволила выйти на собственный путь развития конкурентоспособной высокопроизводительной вычислительной техники. При этом уже сегодня очевидна возможность получения существенного экономического, социального и политического эффекта.

Прямой экономический эффект достигается за счет:

- поставки суперкомпьютерной техники и программного обеспечения собственного производства в заинтересованные предприятия Беларуси и России;
- сокращения средств на импорт аппаратных средств параллельных высокопроизводительных вычислений;
- сокращения средств на закупку программного обеспечения для организации параллельных высокопроизводительных вычислений (годовые потребности Беларуси и России оцениваются в несколько миллионов долларов);
- экспортных возможностей поставок вычислительных средств для организации параллельных высокопроизводительных вычислений в развивающиеся страны, которые испытывают большой интерес к обладанию суперкомпьютерными технологиями и ограничены в доступе к таким технологиям.

Прямой социальный эффект достигается за счет:

- поддержки собственных разработчиков вычислительных средств для параллельных высокопроизводительных вычислений;

- создания рабочих мест в наукоемких отраслях, сдерживания «утечки мозгов», подготовки и переподготовки кадров для суперкомпьютерной отрасли.

Прямой политический эффект достигается за счет:

- обладания критической технологией;
- уменьшения зависимости России и Беларуси от внешних поставок суперкомпьютерного оборудования и программного обеспечения;
- повышения престижа страны как разработчика суперкомпьютерных технологий.

Развитие аппаратных и программных средств для параллельных высокопроизводительных вычислений и средств автоматизации параллельных вычислений приведет к высокой доступности суперкомпьютеров для предприятий страны, к облегчению реализации параллельных программ, к расширению использования суперкомпьютерных технологий в различных областях науки, техники и промышленности.

Список литературы

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 609 с.
2. Лацис А. Как построить и использовать суперкомпьютер. – М.: Бестселлер, 2003. – 240 с.
3. Лахно В.Д., Устинин М.Н. Компьютеры и суперкомпьютеры в биологии. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 528 с.
4. Разработка и опыт эксплуатации суперкомпьютеров семейства «СКИФ» / С.М. Абрамов, В.В. Анищенко, Н.Н. Парамонов, О.П. Чиж. // Информационные системы и технологии. Мат. I междунар. конф. IST'2002 (5 - 8 ноября 2002 г.). – Мн.: Изд-во БГУ, 2002. – Ч. 2. – С. 115-117.
5. Кластерные системы семейства суперкомпьютеров «СКИФ» / С.М. Абрамов, А.И. Адамович, М.Р. Коваленко и др. // Научный сервис в сети Интернет: Тр. Всерос. науч. конф. (22-27 сентября 2003 г., Новороссийск). – М.: Изд-во МГУ, 2003. – С.147-151.
6. Абрамейко С.В., Абрамов С.М. Основные результаты суперкомпьютерной программы «СКИФ» Союзного государства // АКИИ'03: Третий расширенный семинар «Использование методов искусственного интеллекта в высокопроизводительных вычислениях и в аэрокосмических исследованиях». – М.: Физматлит, 2003. – С. 135-140.
7. <http://www.top500.org/list/2003/11/>

Поступила 19.02.04

¹Институт программных систем РАН,
Переславль-Залесский
e-mail: abram@botik.ru

²Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: abl@newman.bas-net.by

S.M.Abramov, N.N.Paramonov, V.V.Anishchanka, S.V.Ablameyko

PRINCIPLES OF DEVELOPMENT OF SUPERCOMPUTER FAMILY «SKIF» AND THEIR IMPLEMENTATION

The paper describes main architectural solutions and basic principles for development of supercomputers family "SKIF". Supercomputer software and hardware is described. Overview of all developed models of supercomputers and their technical characteristics is given.