

СУПЕРКОМПЬЮТЕР ОИЯИ МОДУЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СОБЫТИЙ

И.Ф.Колпаков, А.Е.Сеннер, В.А.Смирнов

Предлагается модель суперкомпьютера с производительностью 50 Моп/с, реализация которого позволит решить первоначальные задачи ОИЯИ по обработке информации с больших спектрометров типа DELPHY, а также удовлетворить потребности по обработке данных со спектрометров, применяемых в области физики элементарных частиц Института. Предлагаемый модульный суперкомпьютер основан на множестве промышленных 32-разрядных процессоров с производительностью около 1 Моп/с каждый. Объединение процессоров в единый комплекс осуществляется с помощью промышленных шин VME. Работа суперкомпьютера организуется под управлением компьютера microVAX-11. Ввод и вывод данных осуществляется через разветвленную периферию компьютера microVAX-11. Матобеспечение системы основывается на Фортране-77. Суперкомпьютер может быть подключен к центральному вычислительному комплексу ОИЯИ через порт сети Института. Таким образом обеспечивается доступ всех пользователей ОИЯИ к суперкомпьютеру.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

JINR Supercomputer of the Module Type for the Event Parallel Analysis

I.F.Kolpakov, A.E.Senner, V.A.Smirnov

A model of a supercomputer with 50 million of operations per second is suggested. Its realization allows one to solve JINR data analysis problems for large spectrometers (in particular DELPHY collaboration). The suggested module supercomputer is based on 32-bit commercial available microprocessor with a processing rate of about 1 MFLOPS. The processors are combined by means of VME standard busbars. MicroVAX-11 is a host computer organizing the operation of the system. Data input and output is realized via microVAX-11 computer periphery. Users' software is based on the FORTRAN-77. The supercomputer is connected with a JINR net port and all JINR users can get an access to the suggested system.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

1. ВВЕДЕНИЕ

Драматический разрыв, который существует в настоящее время между возможностями спектрометров в области физики элементарных частиц по скорости регистрации событий в реальном времени и малой скоростью их обработки, является прекрасным стимулом для решения этой проблемы.

Обработка событий, полученных в экспериментальной физике элементарных частиц, при использовании традиционных компьютеров производится последовательно. Физические и технологические параметры элементной базы не позволяют, чтобы в обозримом будущем быстродействие ЭВМ превысило значение 10 Моп/с, и, следовательно, ограничивают скорость обработки событий.

Предлагается модель суперкомпьютера с производительностью 50 Моп/с, реализация которого позволит решить первоочередные задачи ОИЯИ по обработке информации с больших спектрометров типа DELPHY, а также удовлетворить потребности Института по обработке данных со спектрометров в области физики элементарных частиц.

Суперкомпьютер позволяет решить такие основные задачи физики элементарных частиц и физики ускорителей, которые допускают достаточно простой и осуществимый алгоритм их разбиения на параллельные однотипные подзадачи, в частности, задачи моделирования экспериментов методом Монте-Карло и моделирования ускорителей заряженных частиц.

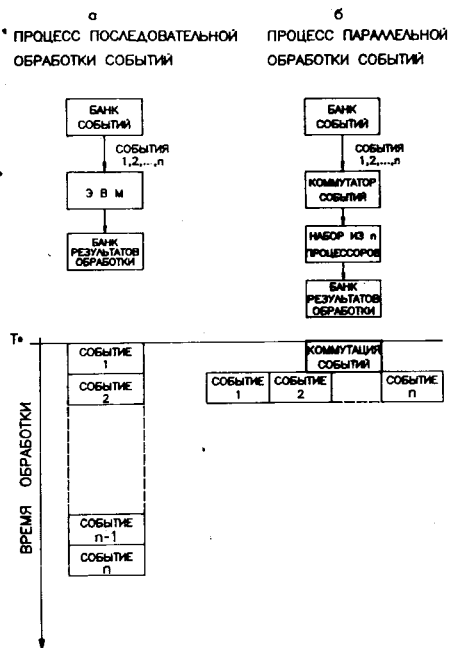
Анализ, проведенный методом экспертных оценок при подготовке проекта развития ЦВК ОИЯИ на 1986÷90 гг., показал, что основными потребителями вычислительной мощности в ОИЯИ являются физические группы, работающие на спектрометрах. Эта потребность на 12 пятилетку может быть удовлетворена при суммарной производительности компьютеров около 50 Моп/с.

Предлагаемый модульный суперкомпьютер основан на множестве промышленных 32-разрядных процессоров с производительностью около 1 Моп/с каждый. Объединение процессоров в единый комплекс осуществляется с помощью промышленных шин VME. Работа суперкомпьютера организуется под управлением компьютера microVAX-11. Ввод и вывод данных осуществляется через разветвленную периферию компьютера microVAX-11, матобеспечение системы основывается на Фортране-77. Суперкомпьютер может быть подключен к центральному вычислительному комплексу ОИЯИ через порт сети Института. Таким образом обеспечивается доступ всех пользователей ОИЯИ к суперкомпьютеру.

2. ПРИНЦИП ОРГАНИЗАЦИИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА

Идея предложения заключается в переходе от последовательного принципа обработки событий, зарегистрированных в спектрометрах, к параллельному. События в спектрометрах являются статистически независимыми, поэтому возможен параллельный принцип их обработки во множестве независимых процессоров. В традиционных компьютерах (см.рис.1а) события обрабатываются по очереди и скорость их обработки ограничивается производительностью процессора. В предлагаемом суперкомпьютере данные о событиях распределяются коммутатором по множеству процессоров, каждый из которых ведет независимый анализ, работая при этом с одинаковым для всех процессоров пакетом программ (см. рис.1б). Относительно небольшой объем передаваемых данных по сравнению с временем, требуемым для их обработки, позволяет включить в суперкомпьютер десятки и даже сотни процессоров, увеличивая в соответствующее, пропорциональное их количеству, число раз его производительность.

Рис.1. Принцип организации обработки: а) в традиционном компьютере, б) в предлагаемом суперкомпьютере.



3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Вычислительная система модульного суперкомпьютера состоит из трех основных частей: набора модульных процессоров, компьютера microVAX-11 с развитой периферией и устройств связи с ЦВК ОИЯИ. Создание суперкомпьютера, интегрированного в систему с компьютером microVAX-11, позволит обеспечить совместимость обработки в рамках коллаборации DELPHI и предоставит необходимые вычислительные мощности для обработки данных с этой установки в ОИЯИ. Компьютер microVAX-11 выполняет функции подготовки счетных заданий для модульных процессоров, организует чтение экспери-

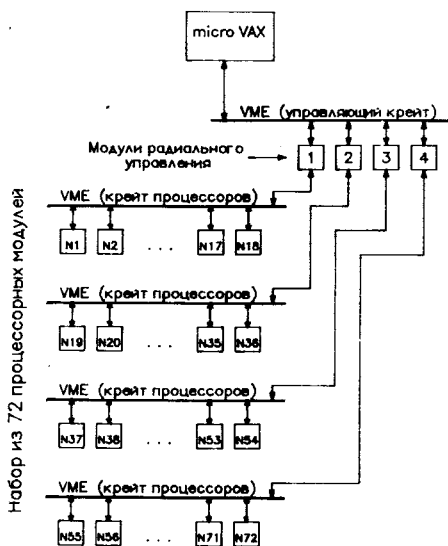


Рис.2. Структурная схема аппаратной части суперкомпьютера (№1÷№72 – процессорные модули).

ментальной информации, вводимой с магнитофонов или из сети ОИЯИ, и последующее распределение ее среди процессоров, принимает и суммирует результаты обработки данных в наборе процессоров. На рис.2 приведена структурная схема суперкомпьютера, основанная на использовании 72 модульных процессоров, расположенных в четырех крейтах VME; схема

предлагается в данном проекте в качестве первого этапа. В каждом из крейтов VME размещается 18 процессоров. Процессорные крейты связаны радиально с управляющим крейтом VME.

Основной процессорный модуль, входящий в состав суперкомпьютера, включает в себя 32-разрядный микропроцессор типа MC 68020, процессор операций с плавающей запятой типа MC 68881, схему управления оперативным запоминающим устройством типа MC 68851, ОЗУ емкостью 8 Мбайт, программируемое ЗУ и схемы интерфейса с шиной VME. Процессор с плавающей запятой выполняет полный набор операций с плавающей запятой над словами, в которых 64 разряда отводятся под мантиссу, один разряд — под знак и 15 разрядов — под экспоненту со знаком. Для достижения оптимальной производительности модуля процессора схема управления оперативным запоминающим устройством обеспечивает связь микропроцессора с процессором операций с плавающей запятой посредством вспомогательной магистрали. Скорость обмена данными по двум каналам связи прямого доступа компьютера microVAX-11 с управляющим крейтом составляет 0,5 Мбайт/с. Первый канал прямого доступа в память компьютера microVAX-11 предполагается использовать, во-первых, для загрузки программ в модульные процессоры; во-вторых, для передачи блоков экспериментальной информации в процессоры. Второй канал отводится для передачи результатов счета из набора процессоров в microVAX-11.

4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА

Производительность суперкомпьютера зависит в основном от следующих факторов:

- количества основных процессорных модулей;
- производительности одного процессора;
- пропускной способности каналов связи управляющей ЭВМ с набором процессоров.

Существующая оценка производительности^{/1/} основана на проведении обработки экспериментальных данных набором из 53 модульных процессоров. Было получено, что производительность одного процессора составляет 0,7 от производительности ЭВМ VAX-11/780. Таким образом, с большой степенью достоверности производительность модуля на основе микропроцессора MC 68020 и процессора MC 68881, взятого в качестве основного процессорного модуля суперкомпьютера, при решении задач обработки экспериментальных данных, полученных со спектрометров, составляет $0,6 \div 0,7$ от производительности ЭВМ VAX-11/780, имеющей 2 Моп/с.

Пропускная способность каналов связи компьютера micro-VAX-11 с набором модульных процессоров не оказывает влияния на производительность суперкомпьютера при обработке экспериментальной информации, планируемой в ОИЯИ для обработки в течение 1986-1990 годов.

С учетом того, что предлагается иметь набор из 72 модульных процессоров, производительность суперкомпьютера будет находиться на уровне производительности 40 ЭВМ VAX-11/780 и, по самым заниженным оценкам, будет не ниже 50 Моп/с.

Модульные процессоры располагаются в крейтах VME, количество которых зависит от выбранной конфигурации суперкомпьютера. В максимальном варианте в состав суперкомпьютера может входить 255 модульных процессоров, каждому из которых может быть выделено ОЗУ емкостью 16 Мбайт, что примерно эквивалентно производительности 200 Моп/с.

5. КОМПОНЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

С точки зрения математического обеспечения эффективность предлагаемой системы основывается на следующих необходимых характеристиках используемых алгоритмов обработки данных:

- отсутствие корреляции между обрабатываемыми фрагментами данных,
- возможность функционального разбиения решаемой задачи,

- наличие алгоритма, требующего значительного ресурса вычислительной мощности центрального процессора,
- относительно небольшой объем передаваемых данных по сравнению с временем их обработки.

Перечисленным условиям, как уже указывалось выше, в области физических исследований, проводимых в ОИЯИ, удовлетворяют следующие классы задач:

- обработка экспериментальной физической информации,
- моделирование процессов регистрации элементарных частиц и ядер физическими установками,
- моделирование прохождения заряженных частиц и ядер в камерах ускорителя и магнитно-оптических каналах транспортировки частиц,
- расчеты задач на решетках.

Приведенная последовательность классов задач ранжирована по их интенсивности использования в условиях ОИЯИ. В предлагаемой системе представляется оптимальной их поэтапная реализация в указанном порядке. К числу основных компонентов математического обеспечения относятся пакеты взаимодействия процессоров, технологическое матобеспечение, включающее, в частности, транслятор Фортран-77, пакеты прикладных программ общего назначения (CERNLIB, HBOOK, ZBOOK, HPLOT, GEANT и т.д.), имитатор суперкомпьютера на ЕС ЭВМ.

Большинство из перечисленных компонентов существуют, и их разработка не требуется. Для функционирования суперкомпьютера необходимо создать коммуникационный пакет. Эффективным средством параллельной и независимой подготовки программ пользователей для выполнения на суперкомпьютере является имитатор системы. Требуется также создание программ для постановки и тестирования вышеперечисленных существующих компонентов системы и организация работы с пользователями. Общий требуемый ресурс разработчиков математического обеспечения оценивается в семь человеко-лет.

6. ОПЕРАЦИОННАЯ СРЕДА И ПРИКЛАДНАЯ ПРОГРАММА

Компьютер microVAX-11 оснащается мультипрограммной многопользовательской операционной системой (VMS или UNIX) и всеми необходимыми программными технологическими средствами разработки математического обеспечения. Альтернативный подход, связанный с постановкой какой-либо простой операционной системы с целью повышения быстродействия межпроцессорных обменов, не представляется целесообразным. Этот вывод основан на том, что существенного улучшения реальной скорости

Рис.3. Структурная схема математического обеспечения: а) в традиционном компьютере, б) в предлагаемом суперкомпьютере.

передачи данных достичь не удастся. Компьютер, работающий в мультипрограммном режиме, способен обеспечить в фоновом режиме параллельное решение других задач.

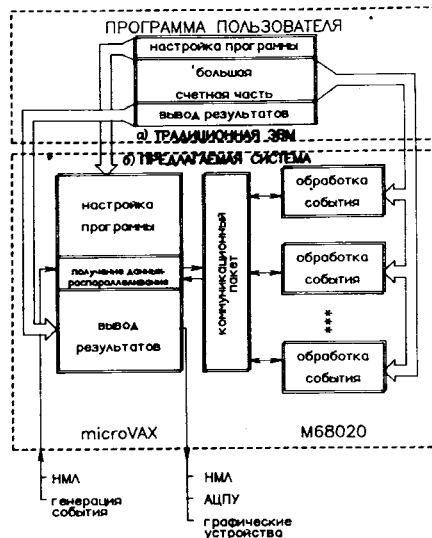
Для процессорных модулей достаточно простейшей мониторинной операционной системы TMS, обеспечивающей ограниченный набор функций, к которым относятся обмен данными с microVAX-11, распознавание ряда программных ошибок (арифметических, адресации и т.д.) и средства отладки. Такой подход является принципиальным для минимизации затрат труда на разработку программного обеспечения в случае введения в состав системы новых типов микропроцессоров.

В отличие от традиционного компьютера (см.рис.3а), в предлагаемом суперкомпьютере математическое обеспечение какой-либо существующей или вновь создаваемой прикладной программы разбивается на две части (см.рис.3б).

Первая из них выполняется на microVAX-11. Ее функциями являются обеспечение всех операций ввода-вывода (обмен с магнитными лентами, устройствами представления информации в графическом виде, печатающими устройствами и т.д.), подготовка данных для работы процессорных модулей, пересылка данных в них, получение из них результатов обработки.

Вторая часть прикладной программы помещается в процессорных модулях. Каждый процессор, получая данные, обеспечивает их обработку и накопление результатов в собственной оперативной памяти. Характерной особенностью этой части математического обеспечения является отсутствие в прикладной программе каких-либо операций ввода-вывода. По завершении обработки полученного массива данных математическое обеспечение процессорного модуля отправляет, если это необходимо (например, в случае создания DST), результаты в microVAX-11 и переводит процессор в состояние готовности получения новой порции обрабатываемой информации.

Параметрическая настройка прикладной программы на текущую итерацию обработки обеспечивается на стадии инициализации



загрузкой в процессоры конкретных значений параметров и констант.

По завершении входного потока обрабатываемых данных прикладная программа в компьютере microVAX собирает все полученные результаты, хранимые в памяти процессоров, производит их суммирование и выводит данные на печать или устройства графического представления информации.

7. ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА DELPHY

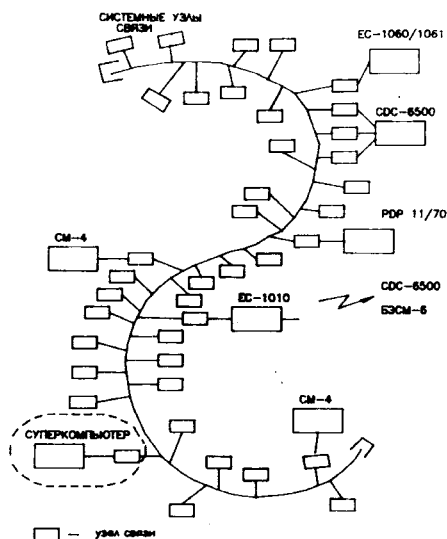
Обработка зарегистрированной экспериментальной информации, фильтрация событий, моделирование, калибровка и DST-анализ данных установок LEP требует 32000 часов центрального процессора IBM-168^{2/} в первый год работы.

Использование суперкомпьютера позволит проводить массовую обработку первичной информации, генерацию DST, обеспечит возможность моделирования изучаемых процессов с помощью метода Монте-Карло. Решение указанного подмножества задач составляет, по оценкам^{2/}, 93% требуемого времени ЭВМ. Таким образом физики ОИЯИ получат реальную возможность эффективно полноправного участия в работах по развитию и эксплуатации математического обеспечения анализа данных с установки DELPHY. С точки зрения количества информации эксперимент характеризуется большим объемом данных в одном событии (верхняя оценка 1 Мбайт). Проведенный анализ показывает, что в этом случае микропроцессоры должны иметь оперативную память порядка 8 Мбайт. Использование памяти большей емкости в настоящий момент реально не требуется и нецелесообразно по экономическим соображениям. Модульный принцип организации системы позволяет в случае возникновения необходимости увеличить объем ОЗУ микропроцессора.

8. ВКЛЮЧЕНИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА В ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ОИЯИ И ОРГАНИЗАЦИЯ ДОСТУПА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Организация связи суперкомпьютера с ЦВК ОИЯИ может быть реализована через локальную терминальную сеть ОИЯИ (см.рис.4). Для этого в состав управляющего компьютера microVAX-11 предусматривается ввести интерфейс последовательной асинхронной линии связи, работающей по стандарту RS-232C. Максимальная скорость обмена суперкомпьютера с локальной терминальной сетью составит 9600 бод.

Рис.4. Включение суперкомпьютера в существующую сеть ОИЯИ для обеспечения доступа пользователей.



В силу того, что суперкомпьютер будет находиться на близком расстоянии (~ 20 м) от комплекса ЕС ЭВМ ЛВЭ, имеется возможность организовать высокоскоростное (до 0,2 Мбайт/с) сопряжение канала ЕС ЭВМ непосредственно с магистралью microVAX-11. Это сопряжение обеспечит эффективное использование ресурсов комплекса ЕС ЭВМ для суперкомпьютера и в значительной степени ускорит прохождение задач, запускаемых с терминальной сети ЛВЭ.

Доступность суперкомпьютера для широкого круга пользователей ОИЯИ обеспечивается благодаря включению компьютера microVAX в сеть ОИЯИ и постановке используемого в настоящее время коммуникационного пакета KERMIT. Организация доступа пользователей к предлагаемой системе с терминалов microVAX-11 не требует ни разработки, ни постановки каких-либо дополнительных программных средств, так как полностью обеспечивается его операционной средой.

Создание связи между microVAX-11 и ЕС-1055M обеспечит доступ к суперкомпьютеру в рамках локальной сети ЛВЭ. Реализация данного подхода требует постановки на ЭВМ любого из существующих пакетов, обеспечивающих межмашинные передачи данных.

Необходимо отметить, что сеть ОИЯИ допускает эффективную работу предлагаемой системы, поскольку реальная скорость межмашинных обменов не ниже реальной скорости обмена с магнитной лентой.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация суперкомпьютера решает одну из главных проблем ОИЯИ — получение требуемой для обработки экспериментальных данных производительности вычислительного комплекса, открывает также долговременные перспективы для удовлетворения дальнейших потребностей ОИЯИ в необходимой вычислитель-

ной мощности. Модульный принцип организации позволит в случае необходимости расширить в дальнейшем компьютер, добавляя новые, в том числе более современные, процессорные модули, увеличивая таким образом его производительность в соответствии с потребностями Института.

Создание суперкомпьютера позволит поддержать в ОИЯИ мировой уровень в области обработки данных физических экспериментов^{1/}, использовать готовый программный продукт в рамках международного сотрудничества и обеспечить перспективу на следующее пятилетие по увеличению производительности центрального вычислительного комплекса до 200 Моп/с.

Принцип организации суперкомпьютера, доступность отдельных его элементов — модульные процессоры, microVAX-11, шина VME, созданное при осуществлении проекта матобеспечение — позволят создать в физических институтах стран-участниц ОИЯИ мощные центры по обработке данных электронных экспериментов, подобно тому, как были организованы центры по обработке фильмовой информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nash T. et al. The ACP Multiprocessor system at Fermilab. Fermilab-Conf-86/32, FNAL, Batavia, 1986.
2. DELPHY. TECHNICAL PROPOSAL. CERN/LEPS/83-3, LEPS/P 2, 17 May 1983.

Рукопись поступила 17 февраля 1987 года.