

19/06/84 8416

Ш-528

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10 - 3094



Т. Шетет, В.Д. Шibaев

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПАМЯТИ В ЦВМ
И ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ ЦВМ С ИСТОЧНИКАМИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

(Обзор)

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1966

10 - 3094

Т. Шетет, В.Д. Шиббаев

УХ85/1, кр.

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПАМЯТИ В ЦВМ
И ДЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ ЦВМ С ИСТОЧНИКАМИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

(Обзор)

В последние годы в экспериментальной технике ядерной физики для сбора и обработки информации, а также для управления экспериментом начинают все чаще применяться включенные "on line" цифровые вычислительные машины (ЦВМ). Объясняется это, с одной стороны, возросшими требованиями эксперимента: большой объем информации (особенно при многомерном анализе), сложная математическая обработка, необходимость получения промежуточных результатов, желание в ряде случаев воздействовать по этим результатам на ход эксперимента; с другой стороны, постоянный прогресс в технике ЦВМ привел к созданию малых ЦВМ, обладающих высокой надежностью, достаточным быстродействием и гибкостью в многостороннем использовании, причем стоимость их не превышает стоимости больших многоканальных анализаторов с памятью такой же емкости /1,2/ .

К малым ЦВМ относятся выпускаемые серийно за рубежом машины типа PDP-1, PDP-4, CDC-160A, SDS-910, SDS-920 и др. Общим для большинства из этих машин, кроме невысокой цены, сравнительно небольшой емкости памяти, наличия системы с фиксированной запятой и т.д., является то, что они работают по принципу разделения времени, сущность которого состоит в том, что некоторые блоки ЦВМ (центральный процессор, оперативная память) используются для поочередного обслуживания ряда одновременно работающих входных и выходных устройств или отдельных программ. Достигается это широким применением приоритетной системы прерывания, которая позволяет какому-нибудь внешнему устройству (амплитудно-цифровой преобразователь, счетчик импульсов и т.п.) обращаться к машине и, если это обращение имеет более высокий приоритет, чем программа, выполняемая в этот момент машиной, заставляет машину временно

отложить эту программу и выполнить требование внешнего устройства или другой программы. Этим линий прерывания может быть несколько, и они могут обладать разными приоритетными уровнями, т.е. иметь заранее определенный порядок в обслуживании одновременно появившихся требований. Система прерывания повышает эффективность работы ЦВМ, обеспечивает работу ЦВМ в истинном масштабе времени в нескольких экспериментах и обеспечивает большую автоматизацию операций ввода и вывода по отношению к внутренним операциям машины.

Занятые в основном на сборе данных эксперимента и первичной их обработке, малые ЦВМ имеют ограниченные возможности по полной их обработке, причем с ростом потока информации в эксперименте эти возможности становятся все меньше и меньше. Поэтому в настоящее время разработан ряд измерительных комплексов /3-7/, где более сложная, полная и окончательная обработка проводится более мощной ЦВМ типа CDC-3600, IBM-7004 и др. Таким образом, обработка экспериментальных данных разбивается как бы на два этапа:

1. Накопление информации и ее первичная обработка (например, поканальная сортировка).

2. Полная обработка.

УПП

Применение устройств промежуточной памяти на этих этапах имеет различный характер. Если на 1 этапе УПП служит для согласования машины с источниками экспериментальных данных, для повышения эффективности работы машины в режиме "on line", то на 2 этапе УПП служит для повышения быстродействия и эффективности более мощной ЦВМ.

1. УПП на этапе накопления информации

Статистический характер поступающей информации, а иногда и импульсность работы источника информации затрудняет непосредственный прием данных в ЦВМ. Возникают потери информации из-за мертвого времени на входе ЦВМ, которое может быть различным в зависимости от быстродействия оперативной памяти машины, продолжительности выполнения отдельных операций, наличия прямого доступа к памяти. Только учитывая эти факторы, а также характер эксперимента (количество информационных выходов, скорость поступления информа-

ции и т.д.), можно правильно выбрать УПП, более эффективно использовать ЦВМ.

Одним из наиболее простых способов введения машины в эксперимент является использование УПП внутри самой машины, ее буферного устройства. Во многих ЦВМ подобные устройства применяются для согласования скоростей приема и передачи данных, и уменьшения различных временных задержек. В современных машинах стремятся вместо внешних буферных устройств, используемых не постоянно во время работы ЦВМ, иметь буферное накопление в самой оперативной памяти. Это позволяет программным путем выделять в памяти буферную зону, размеры которой могут быть различными в зависимости от выполняемой задачи. После заполнения этой зоны прием прекращается и накопленная информация обрабатывается машиной или переписывается на магнитную ленту (с возможностью последующей машинной обработки).

Примером подобных систем^{/8-10/} может служить система^{/8/}, в которой машина IBM-1401 используется в качестве многомерного (амплитуда-амплитуда) анализатора на 10^6 (1000 x 1000) каналов с мертвым временем по входу 95 мксек независимо от амплитуды импульсов. Два амплитудно-цифровых преобразователя (АЦП) вырабатывают двоично-десятичный код, который сначала заносится на запоминающий регистр (УПП на одно слово), а затем последовательно с помощью управляющей программы вводится в буферную зону (УПП на 400 слов). Скорость ввода - 1 двоично-десятичный символ за цикл машины, т.е. передача всего кода, состоящего из шести символов, осуществляется за 72 мксек. После заполнения всей емкости зоны прием информации прерывается, а содержимое зоны за время 0,15 сек переписывается на магнитную ленту.

В ряде случаев по мере накопления информации в буферной зоне производится ее поканальная сортировка (добавление „+1“ по соответствующему адресу). Одна из таких систем^{/11/} применяет малую ЦВМ типа PDP-5 в качестве независимого амплитудного анализатора. Эта машина имеет возможность "data-break", т.е., не нарушая непрерывности текущей своей программы, обеспечить прямой доступ к оперативной памяти. Каждое событие в этой системе запоминается в небольшой буферной зоне (УПП на 128 слов). Это запоминание будет добавлять в среднем 12 мксек к мертвому времени АЦП. Наличие "data-break" позволяет начать обработку накапливаемой информации, не дожидаясь заполнения всей буферной зоны. Операция добавления „+1“ в словах, адрес которых соответствует запоминаемым событиям, занимает по времени менее 35 мксек.

Так как размер слова в этой ЦВМ равен 12 разрядам, то небольшая часть памяти оставлена специально для регистрации данных о каналах, в которых произошло переполнение.

Только зонное промежуточное запоминание без внешнего предварительного разравнивания не всегда обеспечивает необходимой скорости приема информации, а также возможности работы машины с несколькими экспериментами одновременно (например, если машина не имеет возможности "data-break" или имеет ограниченное число линий прерывания). В подобных случаях необходимы внешние устройства промежуточной памяти. В рассматриваемой ниже системе ^{/12/} малая ЦВМ CDC-160А применяется для накопления и первичной обработки информации из пяти независимых экспериментов на реакторе FR2 (Карлсруе). Блок-схема системы приведена на рис. 1. Каждый из этих экспериментов имеет дистанционное устройство, содержащее, кроме схем управления экспериментом, буферный регистр (УПП на одно слово) на 24 разряда. 20 из них могут содержать любую закодированную информацию (амплитуда импульса, время пролета, номер датчика и т.д.), 4 разряда служат для идентификации эксперимента, а также содержат контрольные коды. Прием информации на буферный регистр происходит по команде с измерительного устройства "Конец преобразования"; прием измерительным устройством нового события возможен только после команды с дистанционного устройства "Передача окончена". Дистанционные устройства 50-метровыми кабелями соединяются с основным блоком управления (ОБУ), который содержит триггерное УПП на 4 слова по 24 разряда каждое. Вход ОБУ проверяется периодически через 1,2 мксек, и если по какому-нибудь из 5 кабелей приходит информация, она будет зарегистрирована в УПП основного блока управления. Если информация приходит в ОБУ одновременно по нескольким кабелям, прием ее осуществляется по приоритетной системе. Для того, чтобы не прерывать машину для каждого события, в УПП основного блока управления происходит накапливание 3-4 событий, и только после этого информация заносится в машину. На передачу 4 событий из УПП требуется (используя стандартную программу прерывания и приема) около 300 мксек. При этом машине, оперирующей с 12-разрядными словами, приходится дважды обращаться в УПП при передаче одного слова. В машине информация накапливается во внутренней буферной зоне (УПП на 100 слов). Таких зон выбрано две.

В то время как в одной из них накапливается информация из внешнего УПП, информация из второй заносится на магнитную ленту или, отсортированная, - в другую часть оперативной памяти. Роли зон попеременно меняются. Если к моменту заполнения одной из зон вторая будет иметь еще информацию, это будет говорить о том, что на вход ЦВМ поступает больше данных, чем она сможет обработать (например, во время пусковых работ на отдельных экспериментах, при неисправности экспериментального оборудования, а также при ручном вмешательстве оператора). В этом случае управление машиной принимает программа "Перегрузки", которая сигнализирует оператору о слишком большом потоке информации, а также имеет возможность прервать менее важные операции (как, например, "Вывод данных на осциллограф"). Машина, управляемая по программе "Перегрузки", принимает только определенное количество данных, поэтому резко увеличенный счет по одному входу окажет влияние на регистрацию событий по другим входам. Чтобы избежать этого, авторы разрабатывают систему самозащиты, которая дает возможность электронным путем отключить неисправные входы. При необходимости регистрировать по какому-нибудь входу события с очень высокими скоростями счета все остальные входы отключаются и система работает с объединенным УПП на 5 слов. Программа приема информации и добавки в соответствующий канал „+1” занимает в среднем 64,2 мксек. В каждом канале используются две ячейки оперативной памяти, что обеспечивает емкость канала до 17 млн. событий. Используя быстрые преобразователи, можно с незначительными потерями регистрировать события с загрузкой до 10^4 имп/сек.

Приведенный выше пример показывает, что в случае отсутствия прямого доступа к памяти ЦВМ, даже при небольшом времени цикла (у CDC-160A 6,4 мксек) программа приема одного события с добавлением „+1” занимает более 64 мксек. Это ограничивает повышение быстродействия всей системы, а также снижает возможности расширения эксперимента. В работе ^{/13/} описывается система многомерного анализа на основе ЦВМ SDS-910. Эта машина имеет программу приема одного события почти в два раза большую (114 мксек, или 13 циклов машины), что приводит к чрезвычайно низкой скорости регистрации. Поэтому авторами было сделано дополнительное устройство ввода по фиксированной ("жесткой") программе анализатора, когда содержание приходящего из УПП кода является адресом памяти ЦВМ, в котором происходит увеличение или

уменьшение числа (в зависимости от переключения на операционной панели). Максимальная скорость ввода в этом случае достигает 62,5 тыс. событий/сек, причем для приема занимает два цикла машины из текущей команды. Система (блок-схема ее приведена на рис. 2) была построена для сбора данных в режиме "on-line" от 8 независимых АЦП, а также от нескольких счетчиков и цифровых вольтметров. Каждый АЦП (в дополнение к аналоговому буферу на входе) имеет свой собственный буферный регистр (БР) на 12 разрядов (УПП на одно слово), передача на который осуществляется менее чем за 1 мксек, после чего АЦП может принимать новую информацию. Выходы этих регистров объединяются в общем буферном регистре (ОБР). Передача из ОБР в машину осуществляется одним из двух способов либо с помощью программы прерывания (время передачи 114 мксек), либо по фиксированной ("жесткой") программе (время передачи 2 машинных цикла, т.е. 16 мксек.). Типичная скорость поступления событий в этих экспериментах 1 событие на два импульса ускорителя (длительность импульса ускорителя около 100 мксек). В случае отказа от разравнивания потери возрастают до 21%. Введение одной линии разравнивания снижает потери до 3,3% (не учитывая, правда, мертвого времени АЦП). При введении на входе АЦП аналогового УПП потери счета не будут превышать 6-7%. ОБР имеет 24 разряда. Первые 4 БР включаются по схеме ИЛИ в левую часть ОБР, вторые 4 - в правую. Передача информации из какого-либо БР в ОБР, как и ввод из ОБР в ЦВМ, синхронизованы машинным циклом. В случае наличия одновременно информации на двух или нескольких БР передача осуществляется по приоритетной системе: сначала передается информация того БР, чей приоритет выше. Чтобы избежать влияния приоритетности на регистрацию событий по независимым каналам, номера приоритетов БР периодически меняются с помощью счетчика приоритетов. На рис. 3 приведена таблица изменения номеров приоритетов. Счетчик изменяет свое состояние на 1 через каждые 4 машинных цикла. Полный оборот счетчика приоритетов происходит за 16 циклов машины, или за 128 мксек.

В экспериментах ядерной физики низких энергий большое место занимает простое накопление данных, первичная обработка которых состоит в поканальной сортировке. В процессе накопления данных повторяется одна и та же операция прибавления „+1“ к содержанию выбранного номера канала. Выполнение подобных операций ведет к очень неэффективному использованию ЦВМ. Более эффектив-

ными с этой точки зрения являются гибридные системы, в которых объединяются преимущества систем накопления информации как с "защитой", так и с "запоминаемой" программой^{/4,14,15/}. Подобная система, описанная в работе^{/15/}, была создана для типичных задач амплитудного анализа. Не желая загружать имеющуюся машину PDP-1 простыми операциями накопления и сортировки, к ней добавили внешнюю память на 8к чисел ($k = 1024$). Эта память может работать совершенно независимо от ЦВМ, она имеет свои собственные адресный и буферный регистры. Одновременно был создан процессор с фиксированной ("защитой") программой (ПФП), который мог выполнять обычные вычислительные функции анализатора. Как ПФП, так и центральный процессор PDP-1 могут обращаться к дополнительной памяти по приоритетной системе, причем обращение ПФП обладает наивысшим приоритетом. Вместе с 8 независимыми АЦП ПФП и дополнительная память образуют измерительную систему на 8×1028 канала. Восемь выходов амплитудно-цифровых преобразователей сканируются со скоростью 2,5 Мгц, т.е. каждый выход опрашивается через 3,2 мксек. На входе ПФП информация, поступающая из АЦП, разравнивается устройством промежуточной памяти, состоящим из четырех регистров. Передача из УПП в основную память (8к) происходит через каждые 6 мксек по принципу "первый пришел - первый обслужен". Подобное разравнивание позволяет регистрировать поступления данных при средней скорости 7,5 кгц с потерями из-за конечной емкости УПП не более 0,5%^{/16/}. Если емкость УПП заполняется, сканирование выходов АЦП прекращается. Дополнительные внешние памяти могут применяться не только для накопления отсортированной информации, но и для других целей. В работе^{/4/} описывается крупная измерительная система, состоящая из двух малых ЦВМ (ASI-210 и ASI-2100) и одной большой (CDC-3600) и в то же время имеющая внешнюю дополнительную память на 98304 слова по 21 разряду каждое. Память разделена на две части (65к и 32к). Она используется:

- а) как память для амплитудного анализатора 256×256 ,
- б) как память для экспериментов, использующих 8 независимых АЦП одновременно и
- в) как внешняя память для программ обеих малых ЦВМ, которые могут к ней обращаться.

Таким образом, применение устройств промежуточной памяти для согласования ЦВМ с источниками экспериментальной информации имеет ряд особенностей по сравнению с анализаторной техникой.

1. Внешние УПП на несколько слов применяются не только для разравнивания статистической информации, но и для увеличения возможностей ЦВМ по приему информации при ограничениях, накладываемых небольшим числом линий прерывания.

2. В качестве накопительных УПП большой емкости служат буферные зоны оперативных памятей ЦВМ, границы которых намечаются программным путем.

3. Внешние накопительные УПП сравнительно большой емкости применяются в основном в электронных устройствах физики высоких энергий, таких, как устройства регистрации данных от многосчетчиковых (годоскопических) систем, от искровых камер и т.п., где УПП заменяют большое количество счетчиков, без которых невозможно проведение эксперимента /6,7,17,18,19/.

Подобные устройства используются и в системе автоматического контроля работы реактора /20/, где в качестве накопительного УПП большой емкости служит магнитный барабан, который, кроме накопленных входных данных, хранит и программу их обработки.

4. В ряде экспериментов физики низких энергий эффективным является применение буферных запоминающих устройств, которые, действуя автономно вместе с процессорами с фиксированной программой, выполняют функции накопления и поканальной сортировки при непосредственном обращении ЦВМ к этим устройствам по принципу разделения времени.

2. Повышение эффективного быстродействия крупных ЦВМ

Заказчики универсальных цифровых вычислительных машин хотят иметь вычислительные машины с наиболее высоким быстродействием и большой емкостью оперативного запоминающего устройства (ОЗУ). Эти требования противоречат друг другу, потому что увеличение емкости ОЗУ всегда уменьшает его быстродействие. Разработка более быстродействующих запоминающих устройств (ЗУ) не решает проблемы, так как можно ожидать, что использованная в арифметическом устройстве (АУ) и в других блоках машины электроника будет пропорционально расти. С экономической и технической точек зрения наиболее выгодным решением проблемы является использование ЗУ с разным быстродействием и с разной емкостью в иерархической системе. В этом случае быстродей-

ствующие ЗУ между АУ и ОЗУ увеличивают быстродействие машины, а магнитные барабаны и диски после ОЗУ увеличивают ее запоминающую емкость. Для того, чтобы в такой иерархической системе ОЗУ осталось бы оперативным, нужно быстро и как можно реже передавать информацию между разными уровнями запоминания.

Возможности для увеличения эффективной скорости ОЗУ

Наиболее действенным методом увеличения эффективной скорости является метод, до минимума снижающий число обращений к ОЗУ^{/21-23/}. Выполнение сложных задач в АУ происходит постепенно, и результаты предыдущих вычислений могут быть исходными величинами для последующих. Эффективное быстродействие ОЗУ повысится, если для запоминания промежуточных результатов использовать вместо ОЗУ так называемую "магазинную" память, обладающую небольшой емкостью и высоким быстродействием. "Магазинная" память работает по принципу "последний пришел - первый обслужен", т.е. при записи поступающая информация сдвигает предыдущую информацию на один уровень ниже. При считывании происходит обратное движение, так что на выходе памяти всегда находится нужная нам информация. Рассмотрим в качестве примера вычисление величины $(a \cdot b + c \cdot d)$. Без "магазинной" памяти, в случае одноадресной машины, последовательность необходимых команд выглядит следующим образом:

- * - вызвать "a" (из ОЗУ в сумматор),
- * - умножить "a" на "b",
- * - записать результат $(a \cdot b = t)$ в ОЗУ,
- * - вызвать "c",
- * - умножить "c" на "d",
- * - сложить с "t",
- * - записать результат $(a \cdot b + c \cdot d)$ в ОЗУ.

При использовании "магазинной" памяти программа выглядит следующим образом (содержание "магазинной" памяти после выполнения каждой команды приведено на рис. 4):

- * - вызвать "a",
- * - вызвать "b",
- * - умножить "a" на "b",

- * - вызвать "c",
- * - вызвать "d",
- * - умножить "c" на "d",
- * - сложить $a \cdot b + c \cdot d$,
- * - записать результат.

В обоих случаях звездочкой обозначены те команды, которые требовали обращения к ОЗУ. Во втором случае этих команд меньше. Обычно при научных вычислениях значительная часть времени используется для вычисления программных петель. Поэтому имеется еще одна возможность повышения эффективной скорости ОЗУ. Считанные из ОЗУ команды параллельно с их использованием записываются в быстродействующую память небольшой емкости. Если в программе имеется петля и длина этой петли не превышает емкости вспомогательной памяти, то в программной петле нужные команды можно считывать прямо из этой памяти /22,24,26,27/. Необходимая емкость вспомогательной памяти зависит от характера задачи и при научных вычислениях не превышает 16-32 слов. Подобное решение показано на рис. 5. Емкость ОЗУ - 16 384 слов. Для выбора адреса в нем необходимо 14 двоичных разрядов. Параллельно с ОЗУ работает вспомогательная память на 16 слов. Адресом вспомогательной памяти служат 4 младших разряда адреса ОЗУ. Так что каждому слову во вспомогательной памяти соответствуют слова в разных подгруппах ОЗУ. Точный адрес слова определяют остальные 10 двоичных разрядов, которые запоминаются в В-кубе вспомогательной памяти. Если понадобится по ходу вычислений какая-либо команда, то АУ с помощью 4 младших разрядов выбирает слово из вспомогательной памяти и сравнивает 10 разрядов, считанных из В-куба с 10 старшими разрядами адреса искомой команды. Если они соответствуют друг другу, то выбранный канал А-куба как раз и содержит искомую команду. Если разряды не соответствуют, то команда считывается из ОЗУ и параллельно с использованием переписывается в А-куб вспомогательной памяти, одновременно меняя в В-кубе соответствующую адресную часть. Таким образом, при первом использовании какой-либо части программы она относительно медленно считывается из ОЗУ. При повторном ее использовании нужные команды быстро считываются из вспомогательной памяти. Задача значительно усложняется, если такую вспомогательную память использовать для временного хранения исходных величин (операндов). В этом случае будет больше вероятность того, что взятые по порядку использования операнды находятся в ОЗУ далеко друг от друга.

Поэтому в этом случае емкость вспомогательной памяти должна быть больше. Если содержание вспомогательной памяти меняется в последнем использовании, то это измененное содержание необходимо переписать в ОЗУ. Для сигнализации об изменении содержания в каждом канале вспомогательной памяти используют ключевой разряд. Всякий раз, когда мы хотим переписать из ОЗУ новый операнд и ключевой разряд соответствующего канала вспомогательной памяти содержит единицу, тогда предварительно старое содержание этого канала заносится в ОЗУ. Дальнейшим развитием этих систем промежуточного запоминания команд являются системы с ассоциативным запоминанием (рис. 6). В кубе В вспомогательной памяти содержатся адреса команд, записываемых подряд, друг за другом. Если память переполняется, следующая команда записывается в первый канал, одновременно стирая или переписывая оттуда в ОЗУ старую информацию, в зависимости от содержания ключевого разряда.

С помощью вышеописанных методов можно снизить до минимума число обращений к ОЗУ. Несмотря на это, при выполнении программы большинство команд требует не одного, а нескольких обращений к ОЗУ. Для обеспечения работы быстродействующего АУ необходимо, чтобы обращение к ОЗУ происходило параллельным образом. Этой цели служит так называемая "опережающая" система (look-ahead) /22,29,31/. Задача "опережающей" системы состоит в том, чтобы заранее сосчитать из ОЗУ несколько команд, частично дешифровать коды операций этих команд, сделать индексацию, при косвенной адресации определить конкретный адрес и считать информацию по этому адресу. Приготовленные команды и операнды запоминаются в соответствующих каналах "опережающей" системы до тех пор, пока ими не воспользуется АУ. Скорость "опережающей" системы, из-за многих обращений к оперативному ЗУ, определяет само ОЗУ. Поэтому для увеличения эффективной скорости "опережающей" системы нужно ввести в ее работу параллелизм. Это возможно только в том случае, если одновременно считывать из ОЗУ несколько адресов. Для этого необходимо разбить ОЗУ на части (например, 16.384 канала на 4 группы) и каждую группу каналов снабдить отдельным адресным счетчиком. Если теперь последовательные адреса распределить таким образом, чтобы соседние адреса в ОЗУ находились друг от друга на расстоянии 4096 каналов, то можно будет одновременно считать или записать в ОЗУ 4 адреса. Такая система используется в вычислительной машине JBM Stretch, где для хранения команд в ЗУ служат 4

куба емкостью по 4096 каналов (время цикла 2 мксек.) Из-за того, что опережающая система может считывать одновременно из 4 адресов, эффективное время цикла ОЗУ уменьшится до 0,5 мксек. При использовании "опережающей" системы возникает ряд трудностей. Например, при условных передачах управления в программе опережающая система не знает, по какой ветви продолжать приготовление команд, так как не знает условия этой передачи, которое может быть еще не рассчитано. В таких случаях "опережающая" система приготавливает команды по одной из ветвей и позже, когда уже известно условие передачи, либо продолжает двигаться по той же ветви, либо выбрасывает приготовленные команды. При прерываниях, прежде чем машина перейдет на другую программу, приготовленные "опережающей" системой данные необходимо использовать или запомнить, для того чтобы освободить систему для новой программы.

Методы увеличения запоминающей емкости ОЗУ

В современных ЦВМ, работающих в режиме прерывания, потребность в запоминающей емкости настолько большая, что не может быть удовлетворена с помощью ОЗУ. Увеличение емкости быстродействующего ОЗУ затруднено с экономической и технической точки зрения. Поэтому часто используются относительно малые ОЗУ, в которых запоминаются только те участки программ или делые программы, к которым обращается машина часто. Те данные, которые машина использует реже, запоминаются на магнитном барабане или диске /22,25,28,29/. При такой организации ЦВМ пользуется данными, хранимыми в ОЗУ, а к барабану обращается только для того, чтобы считать в ОЗУ отсутствующую информацию или переписать на барабан уже ненужную. Таким образом магнитный барабан временно запоминает те данные, которые на данном этапе вычислений не нужны или встречаются довольно редко. Так как время выборки чисел из барабана относительно большое, переписывать оттуда единичные команды (или операнды) не выгодно. Поэтому из барабана в ОЗУ передают целые участки программ, тем более, что логический порядок команд сохраняется и на барабане. В то же время в программе могут находиться петли и

команды передачи управления. Поэтому можно найти оптимальные размеры передаваемых блоков, которые зависят от характера задачи. При научных расчетах эти размеры составляют $\sim 512-1024$ слов.

Передача информации между ОЗУ и магнитным барабаном должна осуществляться таким образом, чтобы итерпянное при передаче время было как можно меньше. В многоуровневых системах адресации этими операциями управляет сам программист. Опытный программист в некоторых случаях может найти этот оптимум, но необходимая для этого программная работа занимает слишком много времени. Поэтому конструкторы ЦВМ стараются создать также системы, где ОЗУ и барабан представляются для программиста одноадресными системами. Такое решение было использовано в ЦВМ "Atlas" Манчестерского университета. Емкость ОЗУ машины — 16 384 слов. Для увеличения этой емкости применяется система магнитных барабанов, емкость которых разбита на 2048 блоков, выбираемых с помощью 11 двоичных разрядов. Каждый блок содержит 512 слов. Передача информации между барабанами и ОЗУ происходит автоматически. Так как машина работает в режиме прерывания, то отдельные блоки в системе барабанов могут принадлежать к различным программам, и поэтому необходимо обеспечить автоматическую переадресацию в ОЗУ. Адресное поле машины "Atlas" содержит 24 двоичных разряда (см. рис. 7). Из них 11 двоичных разрядов служат для адресации блоков, 9 — для адресации слов в блоках, а остальные 4 двоичных разряда имеют специальное назначение. Если АУ понадобится какой-нибудь адрес, то при помощи 11 старших разрядов проверит сначала, не находится ли нужный блок в ОЗУ. Для ускорения этой проверки служит ассоциативная память на 32 слова. В левой половине этой памяти запоминаются номера "листов" ОЗУ, а в правой половине — номера тех блоков, которые в это время находятся на данном "листе". Если проверка дает положительный результат, тогда искомый адрес можно считывать из ОЗУ. Если данного блока в ОЗУ нет, управление передается программе "Диспетчер", которая переписывает содержимое этого блока из барабана в какой-нибудь пустой "лист" ОЗУ, одновременно меняя соответствующим образом номер блока данного листа в ассоциативной памяти. Вышеописанная операция передачи требует слишком много времени, поэтому для ускорения этого процесса в машине "Atlas" были приняты следующие меры. С помощью "диспетчера" в ОЗУ один "лист" постоянно держится пустым.

Если возникнет необходимость переписать содержимое какого-нибудь блока из барабана, это можно будет сделать сразу. После этого с помощью "обучающейся программы" диспетчер определит, какой из находящихся в ОЗУ блоков используется реже остальных, и перепишет его на барабан. Чтобы не терять слишком много времени, программа "диспетчер" с помощью снятой из специальной дорожки информации определит время, через которое нужный участок барабана достигнет считывающих головок и, если это время слишком велико, передаст управление другой программе. В тех машинах, где емкость ОЗУ относительно большая, можно запоминать редко используемую информацию на таком барабане или диске, адресная система которых находится на один уровень ниже в иерархической системе, чем ОЗУ. В этом случае ^{/29/} передача информации между памятьми разных иерархических уровней происходит с помощью отдельных команд. Эти ЗУ отличаются от тех, которые служат для постоянного хранения входных и выходных данных, всего лишь по скорости передачи информации.

Из рассмотренного выше следует, что иерархия различных ЗУ может повысить как эффективную скорость ОЗУ, так и его запоминающую емкость.

Л и т е р а т у р а

1. Г.И. Забиякин. Препринт ОИЯИ, 1834, Дубна, 1964.
2. Б.Г. Минаев, Ю.В. Ступин, И.В. Штрайх. Применение универсальных вычислительных машин в ядерной спектроскопии. ФИАН СССР, А-149, Москва, 1965.
3. R.H.Vonderohe and D.S.Gemmel. Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, Karlsruhe, July, 1964, p. 156.
4. D.S.Gemmel. IEEE Trans. on NS, February, 1966, Vol. NS-13, No. 1, p. 158.
5. P.K.Patwardhan. Nuclear Electronics, Vienna, 1966, p. 575.
6. A.E.Brenner. IEEE Trans. on NS, Juni, 1965, Vol. NS-12, No. 3, p.241.
7. K.J.Foley et al. IEEE Trans on NS, Juni, 1965, Vol. NS-12, No. 3, p. 222.
8. R.Swenson and C.Wrong. Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, Karlsruhe, July, 1964, p. 184.
9. A.C.L. Barnard et al. Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, Karlsruhe, July, 1964, p. 184.

10. R.Gwin et al. IEEE Trans. on NS, Febr., 1966, Vol. NS-13, No 1, p. 167.
11. L.R.Robinson and F.S.Goulding. Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, Karlsruhe, July, 1964, p. 104.
12. G.Kruger and G.Dimmler. Там же, p. 149.
13. D.E.Frederick and T.Marshall. IEEE Trans. on NS, Vol. NS-13, No 1, Febr., 1966, p. 144.
14. Б.Е. Журавлев, Г.И. Забиякин. Преприят ОИЯИ, 2059, Дубна, 1965.
15. H.R.Schneider. Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, Karlsruhe, July, 1964, p. 65.
16. T.K.Alexander, H.G.Reddering and F.M.Kennedy. CREL-779, Chalk River, Ontario, Nov., 1959.
17. F.H.Wells. Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data, Karlsruhe, July, 1964, p. 374.
18. R.Alvarez et al. IEEE Trans. on NS, Vol. NS-12, No. 3, Juni, 1965, p. 238.
19. E.Bieser et al. IEEE Trans on NS, Juni, 1965, Vol. NS-12, No. 3, p. 227.
20. G.di Giacomo. Nuclear Electronics, Vienna, 1966, p. 545.
21. Gene M.Amdahl. Proc. JRE, Vol. 50, No. 5, 1962, p. 1073.
22. S.Takahashi, H.Nishino, K.Yoshihiro and Fuchi. Proceedings of IFIP Congress, 62, p. 680.
23. K.Samelson and F.L. Bauer. Comm. Assoc. Comp. Mach., 3, 1960, 76.
24. J.E.Thorton. Proc. Fall. Joint. Comp. Conf., Vol. 26, Part 11, p. 33, 1964.
25. T.Kilburn, D.J.Howorth, R.B.Payne and F.H.Summer. Computer J., 4, 1961, No. 3, p. 222.
26. G.G.Scarrott. Proc. of IFIP Congress, 65, p. 137.
27. M.V.Wilkes. IEEE Trans on EC, Vol. 14, No. 2, p. 270.
28. T.Kilburn, D.B.G.Edwards, M.L.Lanigan, and F.H.Summer. IRE Trans. on EC, Vol. 11, No. 2, 1962, p. 223.
29. Project Stretch. Edited by Werner Buchholz, Mc. Graw-Hill, 1962.
30. Ferranti Computing Systems: Atlas 2, London, Ferranti Ltd., 1963.
31. J. Cocke, H.G.Kolsky. Proc. Eastern Joint Comp. Conf. 1959, p. 82-93.
32. S.Takahashi. Electronics, 34, No 42, p. 66, 1961.
33. S.Takahashi and S.Watanable. Proc. of the Symposium on Large Capacity Memory Techniques, 1961. Mc. Millan Co Ltd. 1962, p. 122.

34. T.Kilburn and R.L.Grimsdale. Proc. IEE, 107B, 1960, p. 567.
 35. T.Kilburn, D.B.G.Edwards and D.Aspino. Proc. IEEE, 107 B, 1960, p. 573.
 36. D.B.G.Edwards, M.J.Lanigan and T.Kilburn. Proc. IEEE, 107 B, 1960, p. 585.

Рукопись поступила в издательский отдел
 30 декабря 1988 г.

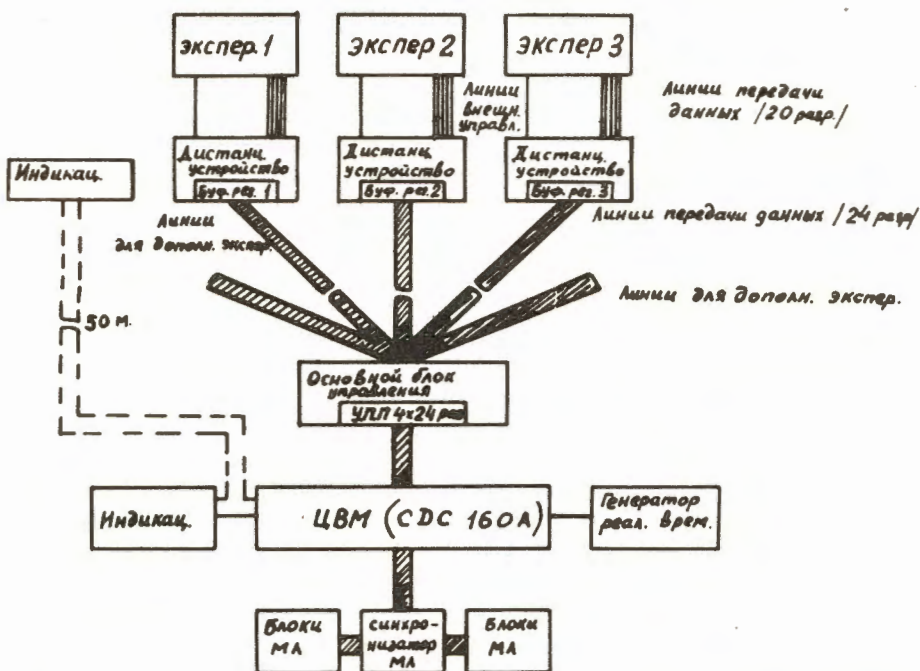


Рис. 1. Блок-схема системы многомерного анализа с использованием машины CDC-160A /12/.

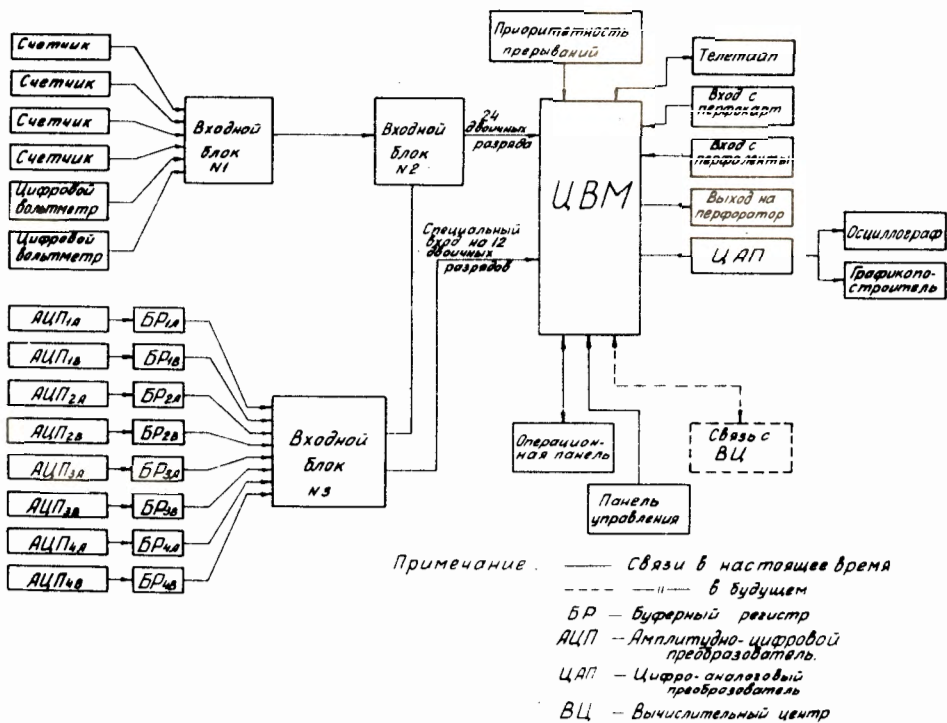


Рис. 2. Блок-схема системы многомерного анализа с использованием машины SDS-810 /13/.

Положение счётчика приоритета	Время			
	I очередь	II очередь	III очередь	IV очередь
00	1	2	3	4
10	2	1	4	3
11	3	3	1	2
01	4	4	2	1

Рис. 3. Таблица изменения номеров приоритетов.

№	Команды	Содержание магазинной памяти	
1	*вызвать а	а	
2	*вызвать в	б	а
3	умножить а на в	ав	
4	*вызвать с	с	ав
5	*вызвать d	д	с ав
6	умножить с на d	cd	ав
7	сложить	ав·cd	
8	*записать результат в ОЗУ	—	

Рис. 4. Содержание "магазинной" памяти после выполнения каждой команды.

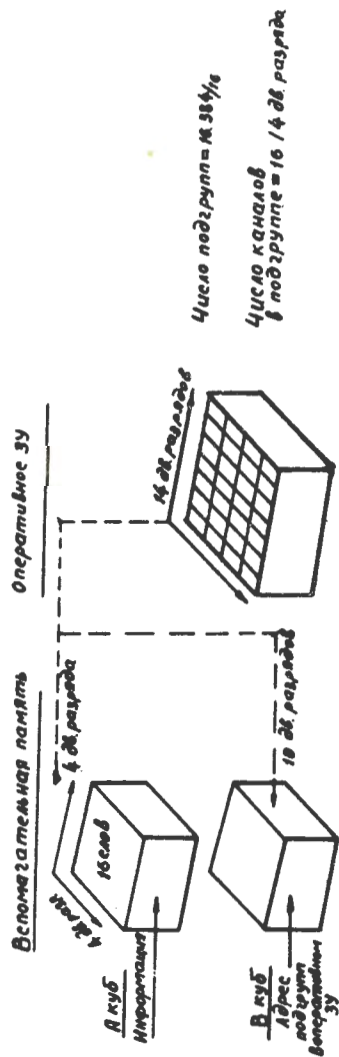


Рис. 5. Применение вспомогательной памяти для автоматической переадресации.

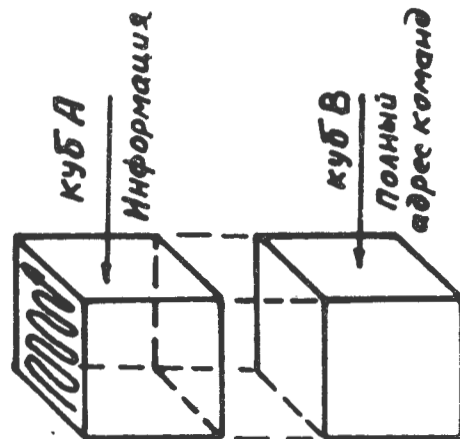


Рис. 6. Применение ассоциативной памяти для автоматической переадресации.

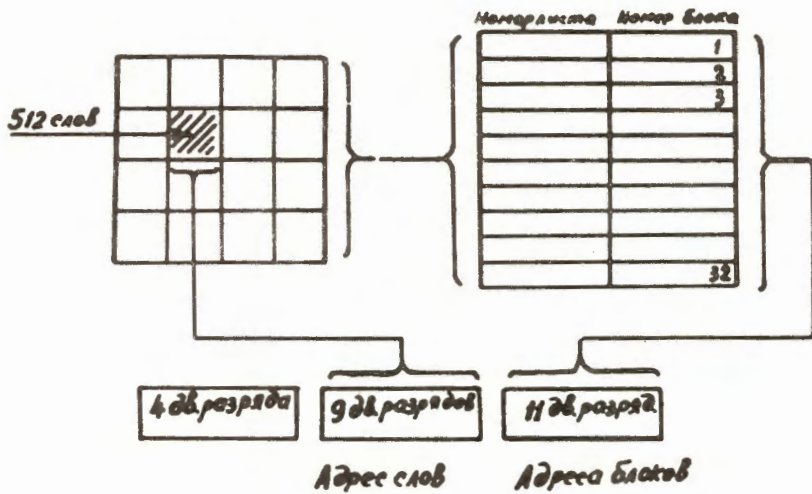


Рис. 7. Адресное поле ЦВМ "Атлас".