

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



У8405

М-34

P10 - 10160

570/1-77

А.Матеева, Ю.Намсрай, И.М.Саламатин

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ НА БАЗЕ ЭВМ
ТРА-1001-і

II. Диспетчер и программы обработки прерываний

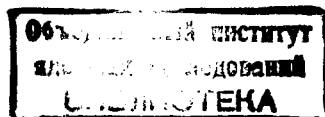
1976

P10 - 10160

А.Матеева, Ю.Намсрай, И.М.Саламатин

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ НА БАЗЕ ЭВМ
ТРА-1001-и**

II. Диспетчер и программы обработки прерываний



Матеева А., Намсрай Ю., Саламатин И.М.

P10 - 10160

Программное обеспечение измерительного модуля на базе ЭВМ ТРА-1001-и. II. Диспетчер и программы обработки прерываний

Описанный вариант диспетчера рассчитан на оборудование в стандарте КАМАК. Предполагается использование распределителя запросов с двоичным режимом кодирования. Возможна регистрация нескольких спектров одновременно, по программному каналу - до 8. Мертвое время равно 55 мкс при регистрации одномерного спектра, 70 мкс - при регистрации двухмерного.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Mateeva A., Namsray Yu., Salamatin I.M.

P10 - 10160

Software for a Measurement Module on a TRA-1001-i Computer. II. A Dispatcher and Interrupt Handling Program

The described version of a dispatcher is intended for equipment in the standard of CAMAC. It is offered to use LAM grader with a binary decode mode. Simultaneous recording of not over 8 spectra, using the multiplexor channel, is possible. The dead-time equals to 55 μ sec for one-dimensional spectrum recording and to 70 μ sec for two-dimensional one.

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

Введение

Программное и аппаратное обеспечение прерываний на мини-ЭВМ в значительной мере определяет эффективность системы, созданной для регистрации и обработки данных. При этом могут рассматриваться следующие характеристики системы:

1. Время обработки прерываний (мертвое время).
2. Защищенность от помех.
3. Удобство модификации.
4. Коэффициент использования оборудования.
5. Объем занимаемой оперативной памяти.

Количественная оценка эффективности программного обеспечения затруднительна (если вообще возможна). Вес учитываемых, зачастую конкурирующих факторов зависит от конкретной задачи или круга подобных задач, решаемых с использованием ЭВМ.

При соблюдении определенного стандарта в экспериментальном оборудовании (в данном случае - КАМАК^{1/1}) и специализации программного обеспечения^{1/2} можно построить систему регистрации данных, которая позволит реализовать широкий набор возможных экспериментов при использовании небольшого числа стандартных алгоритмов.

В данной работе описывается попытка найти компромиссное решение при построении алгоритмов и общей организации программ, обслуживающих прерывания в мониторе системы реального времени, разработанной для ЭВМ ТРА-1001-и^{1/2}.

Общая схема и основная цепочка программ

диспетчера прерываний

Схема программного обеспечения, обслуживающего прерывания, показана на рис.1.

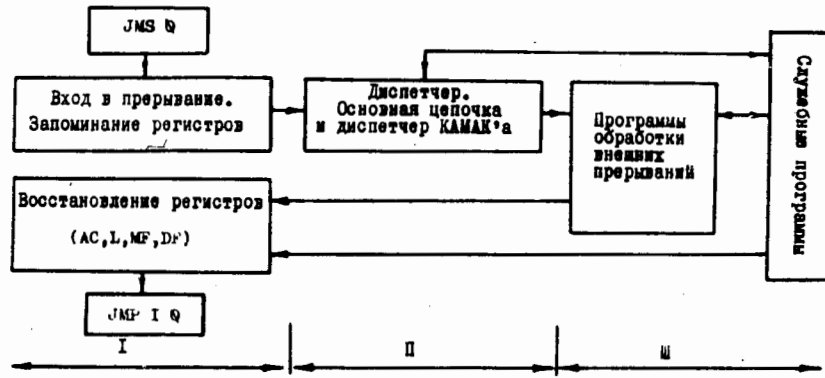


Рис. 1. Схема программного обеспечения, обслуживающего внешние прерывания. I - холостой цикл; II - поиск программы обработки прерывания; III - обработка прерывания.

Полная длительность холостого цикла составляет $t_x = 22+3$ мкс. Неопределенность включает время, необходимое для завершения исполняемой команды. Адрес действующей версии основной цепочки диспетчера содержится в ячейке ADDRDIS. Программы, обрабатывающие прерывания, завершаются командой JMP EXITFI. Программа EXITFI выполняет выход из прерывания. Значения идентификаторов, используемых в тексте, приведены в табл.1 и 2.

На рис.2 показана блок-схема основной цепочки диспетчера. Адрес данной программы DISPR. При замене диспетчера новый адрес его должен быть указан в ячейке ADDRDIS. В основную цепочку включены звенья,

Таблица 1
Значения идентификаторов, используемых в тексте данной работы

Идентификатор и адрес ячейки памяти	Содержание ячейки
ADDRDIS	Адрес диспетчера
MH	Старшие разряды маски P3
ML	Младшие разряды маски P3
LEVZPZ	Элемент таблицы очереди
CAMACF	Флаг программ регистрации данных
FLACTT	Флаг программы обслуживания телеайпа
LONGRF	Флаг программы DISDMA
ATRP	Адрес таблиц распределения памяти
QBCTR	Адрес загрузки системы регистрации
F1	Флаг программы с приоритетом 2
F2	Флаг программы с приоритетом 1
TPP	Таблица приоритетов программ
RABADC	Порядковый номер терминатора (рабочая)
TABT	Таблица терминаторов

Таблица 2
Адреса входов в резидентные программы

Идентификатор и адрес программы	Выполняемая функция
STOP	Выключение регистрации
EXITFI	Выход из прерывания
GENERR	Обработка прерываний от тактового генератора
PLANIR	Планирующая программа
SOFERR	Обработка ошибок при обслуживании прерывания
ERROR	Обработка ошибок
DISDMA	Подключение дополнительных звеньев к диспетчеру
INSTEK	Запоминание состояния ЭВМ и системы программ
ONSTEK	Восстановление состояния ЭВМ и системы программ
DISPR	Основная цепочка диспетчера
RLAMGR	Диспетчер КАМАКА
CAMACE	Включение регистрации
СПЕКTR	Изображение спектров на экране дисплея
PRINTE	Обработка прерывания от телетайпа

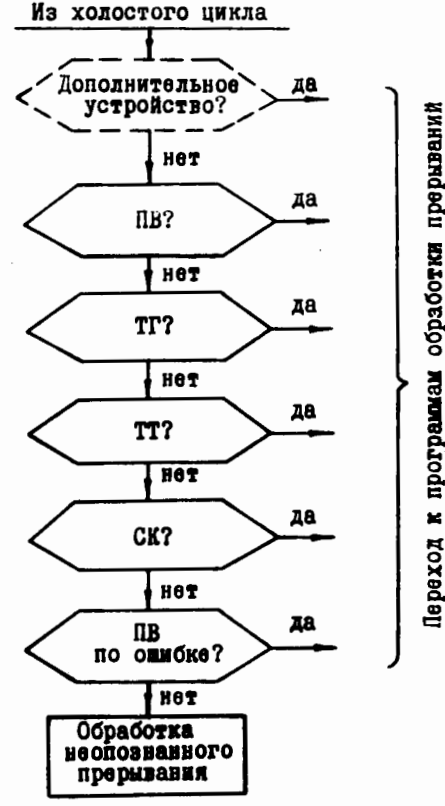


Рис. 2. Блок-схема основной цепочки диспетчера.

отвечающие ожидаемым устройствам. Такими устройствами являются следующие:

1. Оборудование в стандарте КАМАК.
2. Таймер или тактовый генератор (ТГ).
3. Операторский пульт с клавиатурой (ТТ).
4. Световой карандаш (СК).

Световой карандаш является устройством необходимым, но у используемого дисплея /3/ отсутствует. Звено в диспетчере зарезервировано для развития, программа обслуживания не описывается.

Для устройств, не учтенных в основной цепочке диспетчера, пишется драйвер в виде стандартной подпрограммы по правилам, описанным в работе /4/. При работе с устройством без прерывания дополнительных замечаний не требуется. Если устройство работает с прерыванием, то на время ожидания прерывания от него управление должно быть передано программе DISDMA (монитору). Непосредственно после команды обращения к DISDMA перечисляются команды управления нужным устройством. Например, для накопителя на магнитном диске обращение к DISDMA имеет вид:

Ниже мы опишем программы, связанные с основной цепочкой диспетчера.

Обработка прерываний от оборудования
в стандарте КАМАК

Оборудование в стандарте КАМАК включает один или несколько каркасов с блоками электроники, подключенных к ЭВМ через привод ветви (ПВ). В каркасах могут быть размещены активные блоки, прерывающие работу ЭВМ, и пассивные, обмен данными с которыми выполняется только по инициативе ЭВМ.

Первым из устройств в основной цепочке диспетчера прерываний опрашивается ПВ. При наличии прерывания от ПВ работает диспетчер КАМАКа, функции которого - идентифицировать абонента и передать управление программе обслуживания данного абонента.

Рассматривалось несколько вариантов диспетчера, ориентированных на различную конфигурацию оборудования в стандарте КАМАК. Описываемый в данной работе вариант требует выполнения следующих условий:

1. В каждом каркасе могут присутствовать не более 15¹⁰ активных станций с номерами приоритетов 1-15. Каркас, содержащий активные станции, комплектуется распределителем запросов (P3).
2. Распределитель запросов должен иметь двоичный режим^{15/}, отличающийся от обычного (линейного режима) тем, что в регистре P3 вырабатывается двоичный код N, численно равный приоритету станции, запрашивающей прерывание. P3 может вырабатывать в регистре сумму BA + N, где BA - адресная константа диспетчера.
3. Для активных станций должна быть указана маска разрешенных прерываний. В маске каждого каркаса единицы заносятся в разряды, порядковые номера которых совпадают с номерами аппаратных приоритетов станций. Нумерация разрядов начинается справа единицей. В ячейках MH (старшие) и ML (младшие) помещена маска первого каркаса.

Блок управ- ления	}	JMS DISDMA	
		NOP	
		6756	/Разрешение прерывания
		6731	
		JMP.-1	
		6757	/Запрещение прерывания
		6732	/Сброс флага
		...	/Продолжение работы или программа окончания работы драйвера.

Программа DISDMA формирует новое звено для основной цепочки диспетчера и подключает его на время выполнения операции с данным устройством путем замены адреса в ячейке ADDRDIS.

Рабочие ячейки монитора с именами TRAKT1 (6 ячеек), TRAKT2 (6 ячеек) и общие рабочие ячейки с именами CONND1 (адреса 0125-0132), CONND2 (0142-0147), описанные в табл. 1,2 работы^{14/}, могут использоваться в драйвере перед первым обращением к DISDMA. Монитор возвращает управление драйверу немедленно по возникновении прерывания, если перед обращением к DISDMA был сброшен флаг LONGRF. Содержание рабочих ячеек при этом не определено и использование их в драйвере запрещено. Перед последним обращением к DISDMA флаг LONGRF не должен сбрасываться. В результате перед возвращением управления драйверу монитор в момент, когда освободятся рабочие ячейки, восстановит то содержимое ячеек с именами TRAKT1 и TRAKT2 (все 12 ячеек), каким оно было при вызове драйвера до начала обработки массива данных.

Программа, выполняющая операцию обмена данными с ВЗУ, будет сохранена на занятом ею участке динамически распределяемой памяти до окончания обмена.

Приоритеты станций выбираются коммутацией в РЗ/5/.

Блок-схема на рис. 3 поясняет работу диспетчера КАМАКА. Адрес данной программы RLAMGR. Диспетчер использует таблицы переходов (ТП) по 16 строк с нумерацией от 0 до 15₁₀. Для i-го каркаса ТП размещается по адресу БА. Номер таблицы совпадает с номером каркаса, номер строки в таблице соответствует приоритету активной станции в данном каркасе. Строки в таблицах, отвечающие используемым активным станциям, заняты командами передачи управления программам обслуживания этих станций. Набор таких программ входит в систему регистрации экспериментальных данных. Свободные строки ТП заняты командами передачи управления программе SOFERR, регистрирующей ошибки в системе прерывания. Нулевыми строками ТП начинается поиск абонента в следующем каркасе. Нулевая строка последней из ТП содержит обращение к программе SOFERR.

Работа диспетчера КАМАКА завершается передачей управления из ТП программе регистрации данных либо программе обработки ошибки.

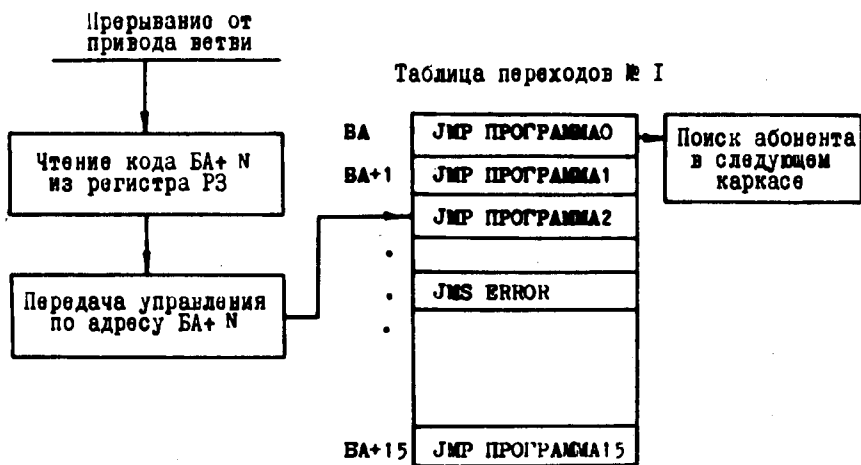


Рис. 3. Схема работы диспетчера КАМАКА.

Особенности описанного диспетчера КАМАКА:

1. Диспетчер легко перестраивается для работы с нужным числом каркасов.
2. При количестве активных станций > 1 данная схема обеспечивает меньшее время диспетчеризации по сравнению с линейным кодированием номера абонента.
3. Данная схема диспетчера обеспечивает защиту от помех и необходимую диагностику ошибок оборудования без увеличения времени обработки прерывания.

Обработка прерывания от тактового генератора

При возникновении прерывания от тактового генератора начинает работать программа GENERR, управляющая разделением аппаратных ресурсов. Данная программа следит за соблюдением дисциплины приоритетов. Под её управлением работают:

1. Планирующая программа PLANIR.
2. Программа точечного дисплея SPECTR.
3. Фоновая программа.

Планирующая программа - это основная программа монитора^{2/}. Она выполняет ряд функций, в том числе исполняет заданную процедуру измерений (регистрацию и обработку экспериментальных данных).

Программа дисплея обеспечивает визуальный контроль исполняемых процессов и, возможно, управление программным обеспечением с помощью светового карандаша.

Фоновая программа введена для обработки экспериментальных данных в диалоговом режиме при управлении с операторского пульта во время измерений. В отсутствие оператора в качестве фоновой задачи может быть задан тест либо программа профилактического анализа состояния оборудования и программного обеспечения.

Блок-схема программы GENERR приведена на рис. 4. Программа использует таблицу приоритетов TPR и флаги F1 и F2. Таблица приоритетов состоит из двух строк. Первая строка и флаг F1 отведены для программы с приоритетом 2, вторая (и F2) - для программы с при-

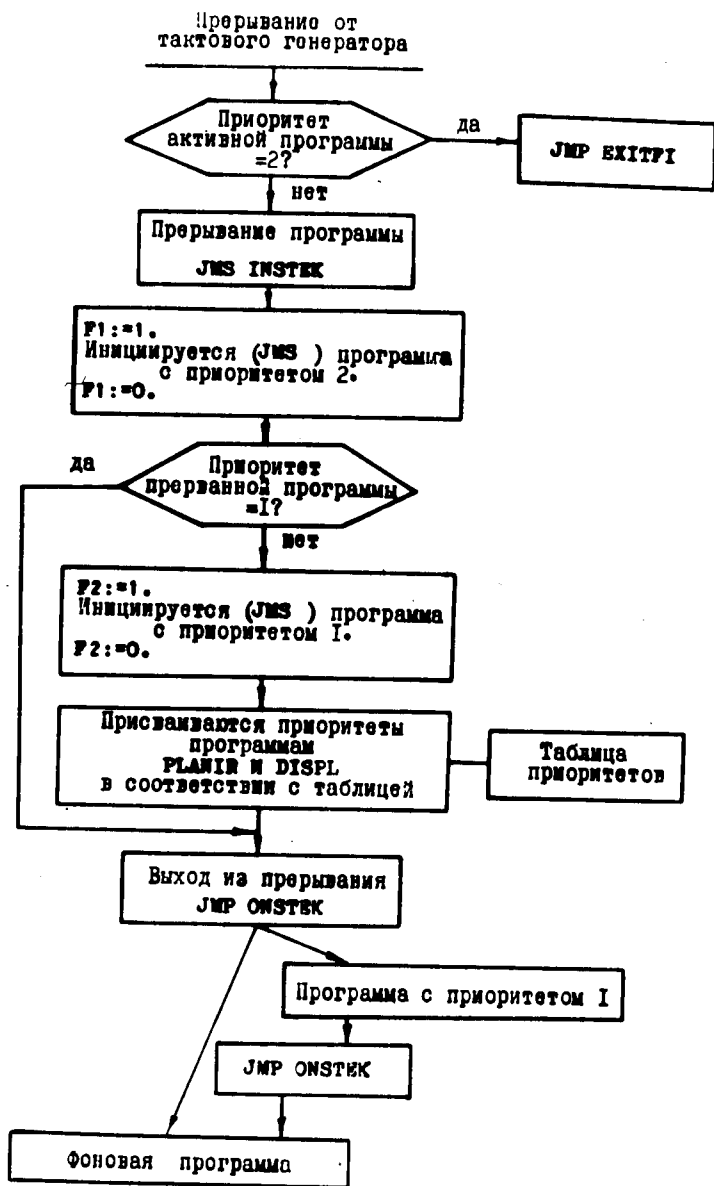


Рис. 4. Блок-схема программы, управляющей разделением ресурсов.

оритетом 1. Приоритет 2 более высокий. В таблице могут стоять два кода: **JMS PLANIR** и **JMS SPEKTR**. Порядок этих кодов определяет приоритет соответствующих им программ. Приоритеты этих двух программ разрешено менять во время измерений. Имеется возможность отключить программу дисплея. Планирующая программа не может быть отключена.

Третья - фоновая - программа имеет самый низкий (из трех) и неизменяемый приоритет.

Время переключения программ определяется частотой тактового генератора. В данной работе используется генератор, имеющий две частоты - 25 и 50 Гц ^{1/3}.

Для переключения используется программно реализованный стек, обслуживаемый программами **INSTEK** и **ONSTEK**. Обращение **JMS INSTEK** позволяет запомнить в стеке состояние ЭВМ и прервать текущую программу, а обращение **JMP ONSTEK** обеспечивает возврат к прерванной программе. Глубина стека равна трем, на запоминание состояния ЭВМ расходуется 3 слова. Время работы программ **INSTEK** и **ONSTEK** - 35 и 73 мкс соответственно.

Программа **GENERR** и иницируемые ею программы (**PLANIR**, **SPEKTR** и фоновая) работают при разрешенном прерывании.

Обработка прерываний от клавиатуры телетайпа

Прерывание от клавиатуры телетайпа (пульта оператора) обслуживается короткой резидентной программой **PRINTE**, блок-схема которой приведена на рис. 5. Функция данной программы - принять текст сообщения оператора, занести его в буфер и вызвать основной интерпретатор - монитор приказов с клавиатуры телетайпа.

Буфер для приема телетайпного сообщения находится в нулевом кубе памяти. Он описан текущим адресом (автоиндексная ячейка 0010) и счетчиком, адрес которого хранится в ячейке **QBCTR**. Программа принимает оче-

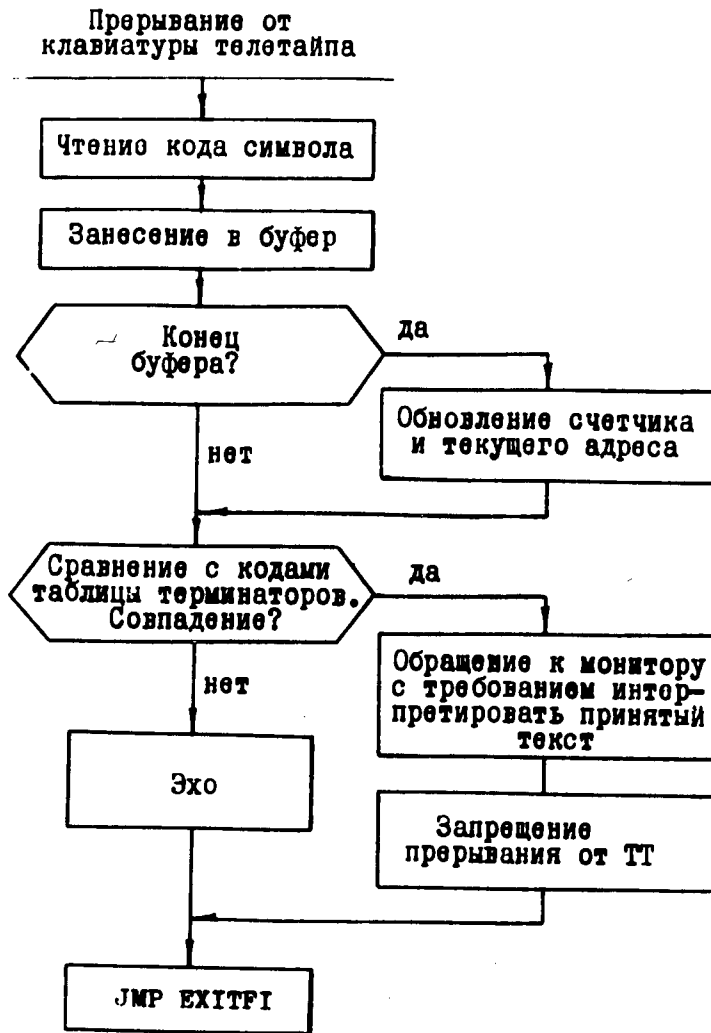


Рис. 5. Блок-схема программы, обслуживающей прерывание от клавиатуры телетайпа.

редной символ, заносит в буфер, сравнивает с символами, перечисленными в таблице терминаторов ТАВТ.

Несовпадающие символы печатаются. Совпадение служит признаком конца сообщения. В этом случае выключается прерывание от клавиатуры телетайпа и в ячейку FLAGTT заносится единица - требование интерпретировать принятое сообщение. Момент реакции на данное требование выбирает планирующая программа монитора.

Таблица ТАВТ может содержать коды 4 символов. Если терминатор идентифицирован, то в ячейке RABADC оставляется информация (для интерпретатора) о его порядковом номере в таблице.

Бессмысленные сообщения не интерпретируются и не переполняют буфер - он кольцевой.

Программа PRINTE имеет длину 100_8 слов.

Обработка ошибок и помех

Ошибки, обнаруженные программным обеспечением во время работы, регистрируются программами SOFERR и ERROR. Обращение к ним имеет вид:

к JMS SOFERR

или

к-1 TAD KOD

к JMS ERROR

В ячейке KOD должна содержаться дополнительная информация об ошибке.

Первая из программ после регистрации информации об ошибке выполняет выход из прерывания командой JMP EXITFI, вторая - возвращает управление программе, обратившейся к ней. Обе программы при каждом обращении заносят в служебный буфер пару кодов: содержимое аккумулятора и адрес возврата $k+1$. Когда служебный буфер заполняется, то вызываются программы его обработки.

По прерыванию от ПВ при ошибке регистрируется факт возникновения такого прерывания, запоминается адрес прерванной программы (содержимое нулевой ячей-

ки) и содержание регистра состояния и управления ПВ.

Если возникает неопознанное прерывание, выполняются следующие действия:

1. Выясняется, есть ли устройства, с которыми не завершена начатая операция. Если есть, то выполняется выход из прерывания.

2. Делается попытка устранить импульсную помеху.

3. Выполняется команда САГ, сбрасывающая флаги всех устройств.

4. Регистрируется в буфере накопления информации об ошибках факт возникновения неопознанного прерывания.

5. Иницируется заново работа всех модулей в стандарте КАМАК, используемых в данном эксперименте. Список этих модулей содержат программы регистрации экспериментальных данных.

6. Записывается в регистр распределителя запросов маска разрешенных прерываний.

7. Если данной процедурой был прерван процесс регистрации данных, то передается монитору требование продолжить его.

8. Разрешается прерывание от остальных устройств, перечисленных в основной цепочке диспетчера.

9. Процессор возвращается к продолжению прерванной работы.

Благодаря введению программы DISDMA, данный диспетчер не накладывает никаких ограничений на количество устройств, которые могут быть подключены к системе и работать с прерыванием, и в то же время имеет малое время обработки неопознанных прерываний.

Система регистрации данных

Система регистрации (СР) для каждого конкретного эксперимента компонуется заново. В зависимости от сложности методики эксперимента способ генерации СР для него может быть разным: от приказов с клавиатуры телетайпа до трансляции текста программ обработки прерываний.

Максимально возможное число одновременно работающих активных источников информации (подканалов) равно 88. По любому из подканалов может регистрироваться многомерный спектр или информация для управления экспериментальной установкой. Для 8 из подканалов обеспечено меньшее мертвое время по сравнению с остальными. Каждый из этих 8 подканалов обслуживается отдельной резидентной копией программы обработки прерывания, остальные могут обслуживаться стандартными программами, написанными по правилам из работы /4/.

Ниже мы опишем компоновку однокаркасной системы регистрации для ≤ 8 подканалов с минимальным мертвым временем.

Данная СР стыкуется с остальным программным обеспечением посредством таблиц, описывающих буфера регистрации (счётчики и текущие адреса), и таблиц переходов ТП, описанных выше.

Распределение памяти, занятой СР, следующее. Адрес СТРQB загрузки СР должен быть указан в ячейке QBCTR. Начиная с этого адреса, размещается 8 кодов - счётчиков, определяющих свободную длину буферов регистрации. По адресу БА = СТРQB+10₈ размещается ТП (20₈ слов) для первого каркаса. Ниже, в ячейках СТРQB + 31 и СТРQB + 32, стоят адреса программ SOFERR и ERROR. Начиная с ячейки СТРQB+33, размещается перечень адресов (CNA) активных станций в данном каркасе. Длина этой таблицы 20₈ слов. Способ кодирования CNA описан в работе /6/. Помимо перечисленных таблиц, стыковку СР с монитором обеспечивают 8 слов, начиная с адреса ТА=10₈ (автоиндексные ячейки), занятых текущими адресами буферов регистрации.

Начиная с адреса СТРQB+53 могут быть помещены необходимые программы регистрации. Размещение этих программ учитывает ТП. Разработан ряд вариантов макроблоков, из которых может быть скомпонована СР с нужными функциями. Способ их построения можно пояснить на примере макроблока, регистрирующего по программному каналу однопараметровый спектр:

Для
каждого
параметра

TAD CNA1
6300
JMS SOFERR
DCA I TA+NPP
ISZ CTRQB+NPP
JMP EXITFI
JMP STOP

В макроблоках, регистрирующих многопараметровые спектры, текст, отмеченный в данном примере скобкой, повторяется требуемое число раз. При этом выбираются адреса CNA используемых станций. Номер программного приоритета NPP (0÷7) обеспечивает макроблоку доступ к выделенному буферу. Старший приоритет присвоен большим номерам.

Если фактическая регистрация выполняется по каналу прямого доступа, то аналогичный текст выполняет формальную регистрацию при "емкости" буфера в 1 событие: регистрируется сам факт, что буфер заполнен, с целью инициирования обработки или переключения буферов.

Конец области памяти, занятой CP, указывается в ячейке ATRP.

Программа STOP выполняет временное выключение регистрации и устанавливает два флага: LEVZPZ и SAMACF. Ненулевое содержание LEVZPZ сигнализирует планирующей программе (монитору) о необходимости освободить заполненный буфер регистрации; ненулевое содержание SAMACF означает требование включить процесс регистрации. Включение выполняет программа монитора SAMACE. Обновление адресной информации о состоянии буферов также выполняют программы монитора. Перед началом работы служебные программы записывают в регистр P3 маску разрешенных прерываний.

Заключение

В описанном варианте время работы диспетчера КАМАКА не зависит от номера станции, а в многокаркасной системе зависит лишь от номера каркаса.

Если каркасы имеют последовательную нумерацию, начиная с 1, то время поиска программы обслуживания любого из 15 абонентов в i -м каркасе определяется по формуле

$$\tau_n = [t_1 + t_2(i-1)] \text{ мкс.}$$

Параметры t_1 и t_2 зависят от конструкции распределителя запросов и имеют значения:

$$\text{I. } \left. \begin{array}{l} t_1 = 14 \text{ мкс} \\ t_2 = 20 \text{ мкс} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{кодируется} \\ \text{БА+ N} \end{array}$$

$$\text{II. } \left. \begin{array}{l} t_1 = 17 \text{ мкс} \\ t_p = 23 \text{ мкс} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{кодируется} \\ \text{N} \end{array}$$

Буферизация данных перед обработкой сокращает время обработки прерывания τ_p . В описанной системе регистрации

$$\tau_p = (1,5 + 15,5m) \text{ мкс,}$$

где m - размерность спектра. Мертвое время для отдельного подканала может быть определено как сумма

$$\tau = \tau_x + \tau_n + \tau_p.$$

При регистрации по программному каналу расчетное значение τ для одномерного спектра составляет 55 мкс, для двухмерного 70 мкс.

Описанные программы и общая организация проверены в эксплуатации. В эксперименте ^{17/} CP обеспечивала одновременную регистрацию одномерного спектра, двухмерного спектра с числом каналов 1024 x 512 и трехмерного спектра. Обработка осуществлялась во время эксперимента и включала сортировку двухмерного спектра.

Авторы пользуются случаем, чтобы поблагодарить В.Г.Тишина, О.И.Елизарова за содействие в освоении оборудования и Н.П.Копылову, подготовившую рисунки.

Литература

1. CAMAC. A Modular Instrumentation System for Data Handling. Revised Description and Specification, 1972, Euratom Report EUR-4100 e.
CAMAC. Organization of Multicrate System. Euratom Report, 1971, EUR-4600e.
2. К.Дади, Л.Дади, Г.П.Жуков, А.Матеева, И.М.Саламатин, М.А.Фурман. Сообщение ОИЯИ, 10-9060, Дубна, 1975.
3. В.М.Грязнов, Й.Томик. ОИЯИ, 10-8074, Дубна, 1974.
4. К.Дади, Л.Дади, А.Матеева, И.М.Саламатин. ОИЯИ, P10-9484, Дубна, 1976.
5. Е.Браньковски, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков. Сообщение ОИЯИ, 11-8280, Дубна, 1974.
6. CAM. 1.02. 1001 TPA-i/ CAMAC CRATE CONTROLLER, KFKI, 73-8038, Budapest, 1973.
CAM. 1.04. 1001 TPA-i/ CAMAC BRANCH DRIVER. KFKI, 73-8505, Budapest. 1973.
7. З.Длоугы, Й.Криштяк, Ц.Пангелеев. ОИЯИ, P3-9613, Дубна, 1976;
A.A.Bogdzel, J.Brankowski, K.Dady. a.o. Proceedings of the Second International Symposium on CAMAC in Computer Applications. Brussels, October 14-16, 1975, IV. 2-12, 185.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 октября 1976 г.