

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

1395/2-81

10-80-813

Е.В.Черных

СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКИ
СТАНДАРТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ
МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

1980

1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Обобщенная структурная схема автоматизации эксперимента /процесса/ на основе программно-модульного принципа приведена на рис. 1. В состав автоматизированной системы входят источники программ /ИП/, связанные устройством обмена /УО/ с источниками и приемниками информации /И/, УО включает, как минимум, одну "пару" интерфейс-магистраль. Под интерфейсом /И/ здесь понимаются аппаратные средства, обеспечивающие по установленным логическим правилам взаимодействие устройств или эксперимента и устройств. Аппаратуру связи датчиков эксперимента с магистралью /М/ можно рассматривать также как интерфейс. Указанным на рис. 1 компонентам схемы автоматизации соответствуют определенные функциональные уровни в иерархической связи компонентов, причем нижний уровень соответствует эксперименту. Основные компоненты сопряжения ИП с М и наиболее распространенные варианты конструктивного выполнения сопряжения показаны на рис. 2.

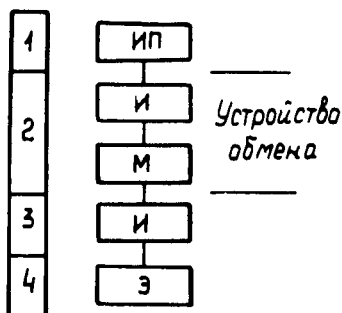


Рис.1. Структурная схема автоматизации эксперимента и функциональные уровни ее компонентов: ИП - источник программ, И - интерфейс, М - магистраль, Э - эксперимент.

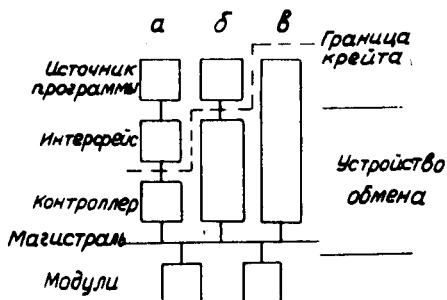


Рис.2. Основные компоненты и схемы сопряжения источника программы с магистралью: а, б - схемы сопряжения для больших и малых ЭВМ; в - схема сопряжения для ЭВМ на основе микропроцессора.

Контроллер /К/ взаимодействует с М и всегда размещается в крейте. При сопряжении малых и больших ЭВМ интерфейс ИП и К выполняют конструктивно в одном блоке /рис. 2б/, для больших ЭВМ со сложной системой ввода-вывода /например, ЭВМ серии ЕС/ интерфейс ИП изготавливается в виде отдельного блока /рис. 2а/. ЭВМ на основе микропроцессора обычно выполнена в одном блоке вместе с интерфейсом ИП и К /рис. 2в/.

С точки зрения функциональной структуры системы она может быть представлена в обозначениях PMS^{2/}. На рис. 3 приведена структурная схема однокрейтной системы КАМАК в этих обозначениях и указаны функциональные уровни компонентов. Такое представление детализирует более обобщенное представление системы в виде графа^{1/}.

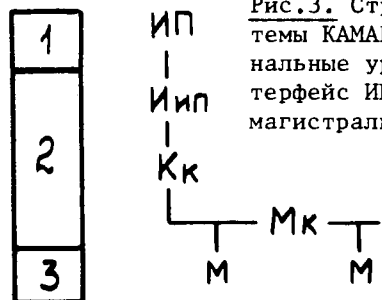


Рис. 3. Структурная схема однокрейтной системы КАМАК в обозначениях PMS и функциональные уровни ее компонентов: И_{ип} - интерфейс ИП, К_к - контроллер крейта, М_к - магистраль крейта.

В составе автоматизированной системы управления имеются один или несколько центров управления /ЦУ/. ЦУ включает один или несколько источников программ, причем основной ЦУ /ОЦУ/ способен управлять системой в целом, а локальные /ЛЦУ/, если они имеются, - отдельными частями системы. Для части системы, управляемой любым ЦУ, набор функциональных уровней компонентов один и тот же. Каждый ЛЦУ управляет доступной ему частью системы, обрабатывает поступающую с нее информацию и передает ее в ОЦУ. ОЦУ управляет системой в целом, согласует работу нескольких ЛЦУ и выполняет окончательную обработку информации.

В системе автоматизации УО может быть простым, т.е. включать один тип интерфейса независимо от назначения и объема системы, и составным, то есть включать в общем случае несколько различных типов И, число которых зависит от назначения и объема системы. Пример системы с простым УО - многопроцессорная система на основе FASTBUS /быстрой магистрали - БМ/ - показан на рис. 4.

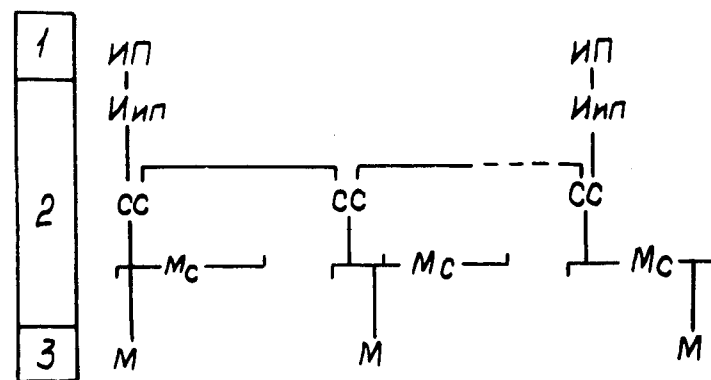


Рис. 4. Структурная схема системы на основе быстрой магистрали и функциональные уровни ее компонентов: Сс - интерфейс связи сегментов, М_с - магистраль сегмента, М - модуль.

При выполнении большой системы в стандарте КАМАК необходимо применение составного УО. ОЦУ в КАМАК - это совокупность ИП и интерфейсов магистралей, связанных магистралью первого интерфейса УО в системе. ЛЦУ - совокупность ИП и интерфейсов магистралей, связанных одной из магистралей любого интерфейса УО в системе, кроме первого. На рис. 5 приведена в качестве примера многопроцессорная система автоматизации в стандарте КАМАК. ОЦУ в ней выполнен на основе системного крейта, а ЛЦУ - на основе стандарта на многоконтроллерный крейт. Следует отметить, что в системах КАМАК число ЛЦУ и части системы, управляемые ими, определяются конфигурацией системы, а в системе на основе БМ число ЛЦУ и управляемые ими части системы могут изменяться программой.

В общем случае центры управления могут создаваться на основе различных интерфейсов. В настоящее время имеется ряд интерфейсов, позволяющих создавать ЦУ с несколькими ИП и включать в систему большое число модулей. В стандарте КАМАК это системный крейт /СК/ нескольких типов, который, несмотря на отсутствие официального стандарта, фактически стандартизован в крупных физических лабораториях /ЦЕРН, ЛВЭ ОИЯИ и др./; многоконтроллерный крейт /МК/ - стандарт EUR 6500 и разрабатываемый в Европе стандарт COMPEX /КОМПЕКС/, предусматривающий более эффективное использование магистрали КАМАК. В США разрабатывается стандарт FASTBUS, предназначенный для

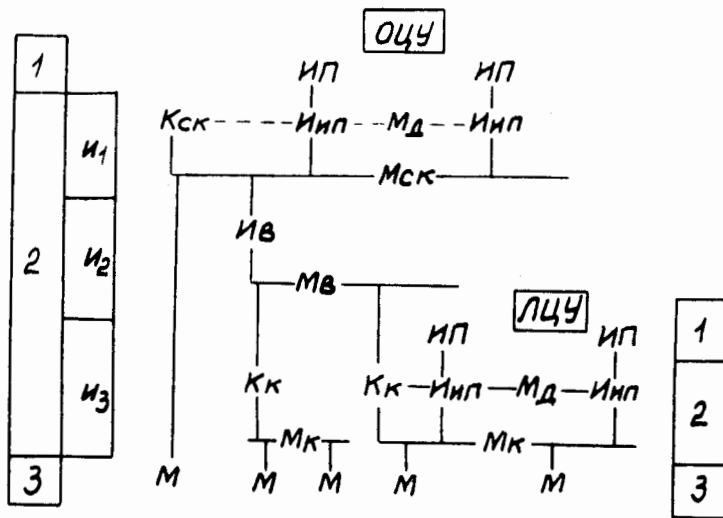


Рис.5. Структурная схема системы на основе стандарта КАМАК и функциональные уровни ее компонентов: ОЦУ и ЛЦУ - основной и локальный центры управления, К_{ск} - контроллер системного кредита, М_д - магистраль доступа, М_{ск} - магистраль системного кредита, Ив - интерфейс ветви, М_в - магистраль ветви, М - модуль, И₁, И₂, И₃ - интерфейсы.

автоматизации экспериментов физики высоких энергий, в основу которого заложена многопроцессорная сегментированная структура.

В этой работе рассматриваются структурные характеристики стандартных интерфейсов для создания центров управления и временная структура основных циклов интерфейсов. В настоящее время системы с несколькими ЦУ широко используются при автоматизации в физике высоких энергий и все шире применяются при автоматизации в других областях научных исследований. Это связано с расширяющимся внедрением микропроцессоров, позволяющих улучшить характеристики автоматизированной системы за счет распределения вычислительной мощности и децентрализации управления. Проводимый в этой работе анализ работы интерфейсов с несколькими ИП применим для систем с одним ИП как для частного случая.

2. СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОСНОВНЫЕ ЦИКЛЫ И ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СТАНДАРТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Основные структурные характеристики интерфейса следующие: тип магистрали, методы получения доступа к магистрали, обмена информацией и обработки запросов на обслуживание от источников и приемников информации.

По типу магистрали делятся на специализированные и неспециализированные, причем различается функциональная и "физическая" специализация. "Физически" специализированная магистраль связывает два устройства, а функционально специализированная предназначена для выполнения одной функции^{/3/}. В стандартных интерфейсах, используемых для создания центров управления, не применяются "физически" специализированные магистрали. В функционально специализированных магистралях шины объединены в функциональные группы /адрес, данные и др./, а одна операция выполняется за один непрерывный цикл. В функционально неспециализированных магистралях по одним и тем же шинам может передаваться последовательно функционально различная информация: адрес, данные и др. Операция в таких М выполняется за несколько последовательных циклов. В магистралях этого типа в стандартных интерфейсах все шины специализированы, кроме совмещенных шин адреса и данных.

С точки зрения управления доступом контроллеров к магистрали И применяются централизованный и распределенный типы управления, причем возможны 3 схемы обработки запросов доступа: "цепочка", последовательный опрос, независимые запросы, а также комбинации этих схем^{/3/}. В И с централизованным управлением схемы обработки запросов сосредоточены в одном блоке. В схеме "цепочки" цепи обработки, получив от любого К сигнал по шине ЗАПРОС, выдают сигнал на линию РАЗРЕШЕНИЕ /рис. 6а/. Эта линия последовательно связывает все К. К пропускает сигнал к следующему К, если не собирается занимать М. Занимая М, К не пропускает сигнал по линии РАЗРЕШЕНИЕ, выдает сигнал ЗАНЯТО и начинает цикл. При наличии сигнала ЗАНЯТО сигнал РАЗРЕШЕНИЕ не выдается схемой обработки. Завершив цикл, К снимает сигнал ЗАНЯТО, и процесс повторяется. При обработке по схеме независимых запросов схема обработки в ответ на запрос от К посылает сигнал СОГЛАСИЕ в выбранный К /рис. 6б/. Этот К снимает сигнал ЗАПРОС, выдает сигнал ЗАНЯТО и начинает цикл. Завершив цикл, К снимает сигнал ЗАНЯТО, а схема обработки - сигнал СОГЛАСИЕ, и процесс повторяется.

В интерфейсах с распределенным управлением схемы обработки запросов размещены в самих К. При обработке по схеме независимых запросов после завершения текущего цикла все К с запросами стремятся занять М и выдают коды приоритетов на шины ЗАПРОСЫ /рис. 6в/. В результате К со старшим приори-

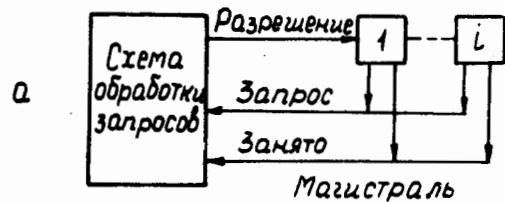
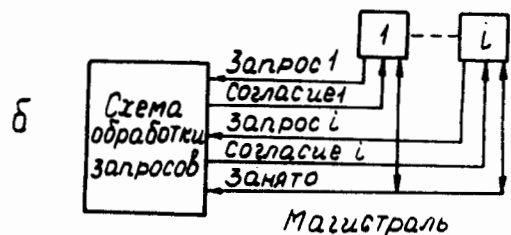
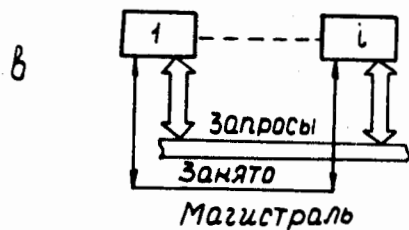


Рис. 6. Обработка запросов доступа к магистрали: а - централизованная по схеме "цепочки"; б - централизованная по схеме независимых запросов; в - распределенная по схеме независимых запросов. 1...i - контроллеры.



тетом выдает сигнал на шину ЗАНЯТО, а остальные К снимают коды приоритета с шин ЗАПРОСЫ.

Для обмена информацией по магистралям И применяются асинхронные передачи: однонаправленная и типа запрос-ответ^{3/}. В первом случае обменом полностью управляет К: при записи после выдачи данных на М и задержки К выдает сигнал ДАННЫЕ ГОТОВЫ /рис. 7а/. Примером передачи этого типа



является цикл в крейте КАМАК. Для подтверждения получения данных приемником иногда вводится отдельная шина /например, Q в крейте КАМАК/. Такая передача применяется в случаях, когда точно известны задержки в линии и гарантировано отсутствие сбоев. Основные преимущества этого способа: простота и высокое быстродействие. Так как длительность цикла и сдвиг сигналов во времени в цикле фиксированы, этот тип передачи в некоторых работах называется синхронной передачей. Основные недостатки этого способа заключаются в сложности взаимодействия с устройствами различного быстродействия и в том, что наводки на шине ДАННЫЕ ГОТОВЫ могут восприниматься как рабочие сигналы.

При асинхронной передаче типа запрос-ответ применяется схема полной взаимосвязи участвующих устройств. К при записи выдает на М данные и сигнал готовности, приемник принимает данные и отвечает сигналом ДАННЫЕ ПРИНЯТЫ /рис. 7б/. К снимает данные и сигнал готовности, приемник после снятия сигнала готовности снимает сигнал ДАННЫЕ ПРИНЯТЫ. Примером передачи

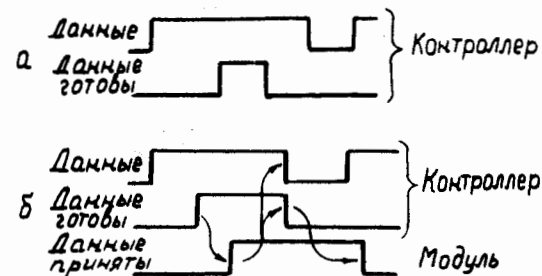


Рис. 7. Временная диаграмма асинхронной передачи: а/ однонаправленной; б/ типа 2 раза снижает скорость обмена по сравнению с однонаправленной передачей.

этого типа является цикл в параллельной ветви КАМАК /4/. Основные преимущества этой схемы - наличие контроля о правильном выполнении команды, защищенность от наводок. Основным недостатком - введение двух задержек сигнала в линии, что примерно в 2 раза снижает скорость обмена по сравнению с однонаправленной передачей.

2.1. ВЫПОЛНЕНИЕ КОМАНДЫ

Фазы выполнения одной команды записи слова из ИП в модуль по магистрали И с несколькими ИП приведены на рис. 8 а и в табл. 1.

Таблица 1
Выполнение команды записи слова данных

№ пп	Фаза	Действия в течение фазы	Длительность фазы
1.	Подготовка	Источник программы передает команду из памяти в интерфейс	$t_{п}$
2.	Цикл памяти	Источник программы читает слово данных из памяти.	$t_{цп}$
3.	Получение доступа	Контроллер получает доступ к магистрали.	$t_{д}$
4.	Цикл интерфейса	Стандартный цикл интерфейса, в течение которого данные передаются по заданному адресу.	$t_{ц}$
4.1.	Подготовка выполнения	Передача и дешифрация адреса или запись команды в регистр для выполнения.	$t_{пв}$
4.2.	Выполнение	Выполнение команды в системе.	$t_{в}$
5.	Завершение	Контроллер освобождает магистраль.	$t_{зв}$

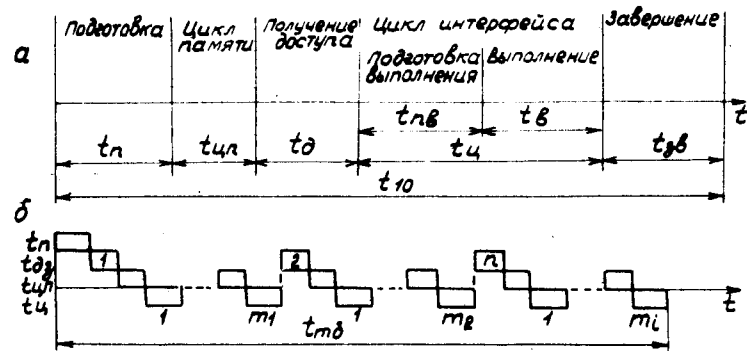


Рис. 8. а/Команда записи слова данных из источника программы в модуль на магистрали интерфейса; б/ временная диаграмма чтения m слов в режиме блочной передачи, n - число получений ИП доступа к магистрали за время чтения, $\sum_{j=1}^n m_j = m$.

Для И, магистраль доступа в котором функционально не выделена, в течение фаз получения доступа и завершения команды основная М занята; для И с функционально выделенной магистралью доступа основная М не занята в течение этих фаз.

Длительность фазы подготовки определяется в основном структурой ввода-вывода ЭВМ и языком программирования: для АССЕМБЛЕРА $t_{\pi} = 30 \div 65$ мкс^{/5.6/}, для ФОРТРАНА $t_{\pi} = 150 \div 270$ мкс^{/5.7/}. Длительность фазы цикла памяти определяется временными характеристиками памяти или временем выполнения команд ЭВМ. Длительность фазы получения доступа зависит от числа К, одновременно ведущих спор за доступ к М, и приоритетности их запросов. Кроме того, длительность фаз получения доступа, а также завершения команды зависят от применяемой в И схемы доступа. При выполнении команды чтения в ИП фаза цикла памяти следует после фазы цикла И, а в случае команды без обмена данными эта фаза отсутствует. Суммарная длительность цикла интерфейса и фаз получения доступа и завершения для одного К характеризует быстроедействие самого интерфейса, если из длительности фазы выполнения вычесть задержки сигнала в линии связи. Время обмена блоком слов в системе для одного ИП при однословной передаче равно

$$t_{mo} = \sum_{i=1}^m (t_{\pi}^i + kt_{цп}^i + t_{дз}^i + t_{ц}^i) \text{ с,}$$

где k - отношение длины слова магистрали И к длине слова ИП /в случае дробного значения берется ближайшее большее по величине целое/, m - число слов в блоке или число выполненных команд, $t_{дз}^i = t_{д}^i + t_{зв}^i$. Среднее время обмена одним словом при однословной передаче равно $\bar{t}_{10} = t_{mo}/m$ с. Средняя пропускная способность в системе с одним ИП при однословной передаче равна

$$\bar{C}_0 = l / \bar{t}_{10} = l m / t_{mo} \text{ байт/с,}$$

где l - число байтов в слове ИП.

В блочных передачах фаза подготовки выполняется один раз в начале обмена и длительность ее больше /рис. 8б/. В течение подготовки выполнения команды производится переключение аппаратных схем установки адреса следующего слова данных. Время обмена блоком слов в системе при блочной передаче для одного ИП равно

$$t_{m0} = t_{\pi} + \sum_{i=1}^n t_{дз}^i + \sum_{j=1}^m (t_{ц}^j + kt_{цп}^j) \text{ с,}$$

где n - число получений доступа К к магистрали за время обмена. Среднее время обмена одним словом при блочной передаче равно $\bar{t}_{10} = t_{m0}/m$ с, а средняя пропускная способность в системе с одним ИП при блочной передаче равна $\bar{C}_0 = \frac{l}{\bar{t}_{10}} = \frac{l m}{t_{m0}} \text{ байт/с.}$

В частном случае, когда все интервалы $t_{дз}$ и $(t_{ц} + kt_{цп})$ равны между собой, среднее время обмена одним словом при блочной передаче равно $\bar{t}_{10} = (t_{\pi} + n t_{дз}) / m + t_{ц} + kt_{цп}$ с. График зависимости пропускной способности при блочной передаче для этого случая приведен на рис. 9. Для обмена с меньшим числом получений доступа пропускная способность растет быстрее с ростом числа слов в блоке. При больших значениях числа слов в блоке это различие уменьшается. Пропускная способность максимальна, если магистраль занята контроллером в течение всего времени обмена, то есть $n=1$.

Увеличение пропускной способности интерфейса может быть достигнуто за счет уменьшения длительности фаз подготовки и завершения. В работе^{/8/} описано применение для этой цели быстрогодействующего микропроцессорного ИП, который производит подготовку и окончание блочной передачи. Увеличение пропускной способности в системе достигается также проектированием схем интерфейса ИП, позволяющих для ЭВМ с общей магистралью включение цикла памяти в цикл УО^{/9-11/}, а для ЭВМ с отдельными магистралями ввода-вывода и памяти - частичное перекрытие циклов УО и памяти^{/12/}. В случае применения буферной памяти

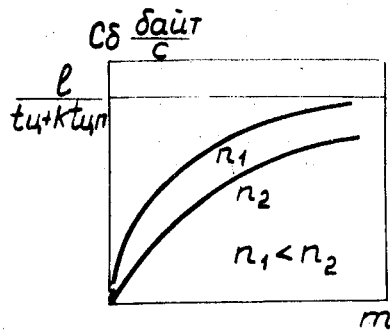


Рис.9. Зависимость пропускной способности интерфейса при блочной передаче от числа слов в блоке. n - число полученных ИП доступа к магистрали.

типа "первый вошел - первый вышел" пропускная способность равна пропускной способности более медленного из участвующих в обмене устройств [13-16].

Коэффициент занятости магистрали при выполнении команды в И равен $b_1 = t_1^{M3} / t_1$, где t_1 - время выполнения одной команды при однословной или блочной передаче, t_1^{M3} - доля времени t_1 , в течение которого М занята. Для И с функционально не выделенной магистралью доступа коэффициент занятости магистрали больше, чем для И с функционально выделенной МД:

$$b'_1 = (t_{дз} + t_{ц}) / t_1 > b''_1 = t_{ц} / t_1.$$

В табл. 2 приведены формулы для определения времени t_1^{CB} , в течение которого М свободна: $t_1^{CB} = t_1 - t_1^{M3}$. Формулы приведены для случая равенства всех интервалов $t_{дз}$ и $t_{ц} + kt_{цп}$.

Таблица 2

Длительность интервала незанятости магистрали в цикле одной команды

Тип передачи	Интерфейс с функционально выделенной магистралью доступа	
	Интерфейс с функционально выделенной магистралью доступа	Интерфейс с функционально выделенной магистралью доступа
Однословная	$t_{ц} + kt_{цп}$	$t_{ц} + kt_{цп} + t_{дз}$
Блочная	$t_{ц} / m + kt_{цп}$	$(t_{ц} + nt_{дз}) / m + kt_{цп}$

2.2. ОБРАБОТКА ЗАПРОСОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ

В процессе обработки запросов обслуживания от источников и приемников информации определяется адрес источника запроса, который сообщается ИП, способному обслужить запрос. Применяются централизованные и распределенные схемы обработки, а также их комбинации. В интерфейсах с централизованной схемой обработку выполняет один специальный блок. Разновидностью такой схемы являются И, в которых обработку производят несколько специальных блоков, или источник запроса, действуя как К, в обычном цикле записи передает информацию о запросе другой К.

Если число запросов не превышает числа индивидуальных линий запроса, информация об адресе источника запроса сразу поступает в схему обработки. Если число запросов больше числа индивидуальных линий или имеется одна общая шина для нескольких источников запросов, схема обработки выполняет один или несколько циклов для определения адреса источника запроса.

В централизованных схемах обработки с заранее заданным приемником каждого запроса один источник запроса вызывает одну задачу. Вектор прерывания переписывается схемами обработки в К, которому адресован запрос.

В распределенных схемах приемник запроса не определен заранее, а выдается источником запроса; при этом один источник запроса может вызывать несколько задач. В этом случае схема обработки, получив запрос, инициирует цикл установления кода задачи старшего приоритета на шинах магистрали. В этом процессе участвуют все источники, имеющие запрос. Затем из источника запроса код адреса источника и код задачи переписываются в ИП, который должен обслужить запрос, и цикл завершается.

Фазы приема, обработки и обслуживания одного запроса приведены на рис. 10 и в табл. 3.

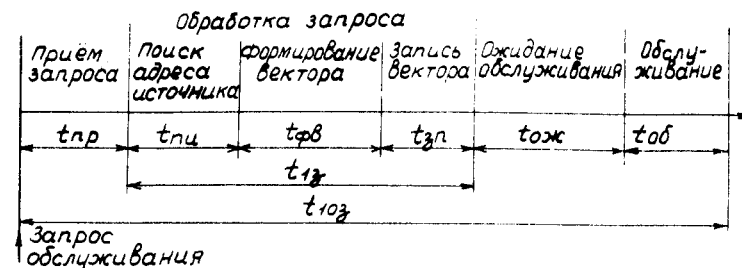


Рис.10. Прием, обработка и обслуживание запроса.

Таблица 3

Прием, обработка и обслуживание запроса

№ Фаза	Действие в течение фазы	Длительность фазы
1. Прием запроса	Запрос принимается в интерфейс для обработки.	$t_{пр}$
2. Поиск адреса источника	Определяется адрес источника запроса.	$t_{пи}$
3. Формирование вектора	Формируется вектор прерывания для передачи в источник программ.	$t_{фв}$
4. Запись вектора	Запись вектора прерывания в источник программы.	$t_{зп}$
5. Ожидание обслуживания	Задержка в источнике программы до начала обслуживания запроса.	$t_{ож}$
6. Обслуживание	Источник программы обслуживает запрос.	$t_{об}$

Длительность фазы приема запроса зависит от числа присутствующих запросов и их приоритетов. В течение интервала $t_{13} = t_{пи} + t_{фв} + t_{зп}$ в И производится обработка запроса, длительность обработки определяется применяемой схемой. Как правило, обработка проводится аппаратными схемами и в этом случае характеризует быстроедействие самого И. Для И, в которых запись вектора прерывания в ИП производится по основной М, фаза записи вектора включает и время получения доступа к ней. Длительность фазы ожидания обслуживания определяется в основном приоритетом программы обслуживания запроса. Длительность фазы обслуживания определяется характером задачи, вызываемой запросом, и представляет последовательность команд.

Время приема, обработки и обслуживания группы из p запросов в системе равно

$$t_{pоз} = \sum_{i=1}^p (t_{пр}^i + t_{пз}^i + t_{ож}^i + t_{об}^i) \text{ с.}$$

где время обработки в И группы из p запросов равно:

$$t_{pз} = \sum_{i=1}^p (t_{пи}^i + t_{фв}^i + t_{зп}^i) \text{ с.}$$

Среднее время приема, обработки и обслуживания одного запроса $t_{10з}$ получается делением величины $t_{pоз}$ на число запросов в группе p .

Для УО с распределенной обработкой запросов обслуживания поиск адреса источника, формирование вектора и запись вектора производятся в течение одного интервала фиксированной длительности. Для остальных УО фиксирована длительность фазы формирования вектора, а при записи вектора в ИП не по основной М - и фаза записи вектора.

Среднее время обработки одного запроса в И равно: $\bar{t}_{13} = t_{pз}/p$ с. Коэффициент занятости магистрали при обработке одного запроса на обслуживание равен

$$b_{13} = t_{13}^{M3} / t_{13},$$

где t_{13}^{M3} - доля времени t_{13} , в течение которого М занята.

Средняя пропускная способность И при обработке запросов равна:

$$\bar{C}_3 = 1/t_{13}^{M3} = 1/t_{13} \bar{b}_{13} - \text{число запросов/с.}$$

Зависимость средней пропускной способности обработки запросов интерфейса \bar{C}_3 от отношения времени незанятости М в цикле обработки одного запроса к длительности цикла $(1 - \bar{b}_{13})$ приведена на рис. 11. Если несколько последовательных фаз обработки запроса должны следовать непрерывно одна за другой, эта зависимость представляет собой ломаную, асимптоти-

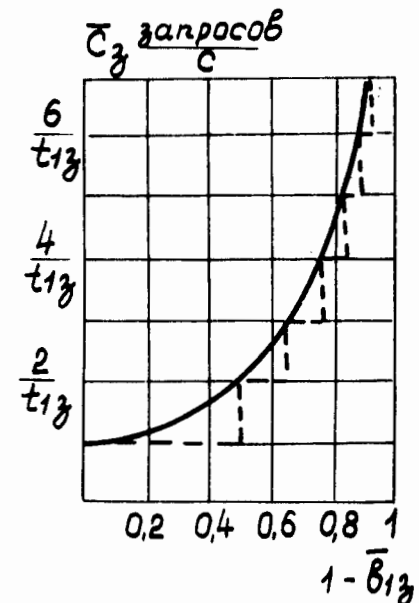


Рис.11. Зависимость средней пропускной способности обработки запросов интерфейса от отношения времени незанятости магистрали в цикле обработки одного запроса к длительности цикла.

чески приближающуюся к параболе с увеличением времени незанятости M в цикле/показана на рис.11 пунктиром/. В точках излома непрерывный интервал обработки запроса укладывается целое число раз в интервал, в течение которого M свободна.

В заключение автор выражает благодарность И.Ф.Колпакову за поддержку работы, В.И.Какуриной и Л.Г.Булаевой за помощь при оформлении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпаков И.Ф. Организация программно-модульных систем на основе стандартных интерфейсов /Обзор/. ПТЭ, 1979, №2, с. 7.
2. Bell C.G., Newell A. Computer Structures: Readings and Examples. McGraw-Hill, New-York, 1971.
3. Thurber K.J. et al. A Systematic Approach to the Design of Digital Bussing Structures, AFIPS Press, Montvale, NJ, 1972, p. 719.
4. Organization of Multi-Crate Systems (Parallel Branch Highway), EUR 4600e, Luxembourg, CEC, 1975.
5. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 10-11238, Дубна, 1978.
6. Lengauer C., Silverman A. Software to Drive a GEC-Elliott CAMAC Interface on a PDP11 Computer Running the RSX-11M Executive. Nucl.Instr. and Meth., 1977, 140, p. 577.
7. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, 10-11124, Дубна, 1977.
8. Oreve A. DMA Modifier Type 184. CERN CAMAC Note 68-00, 1977.
9. CAMAC PDP-11 S111, Data and Control Modules PT1-11D and C, MM1696, GEC-Elliott Automation Ltd., Leicester, England, 1971.
10. Autonomous Memory Channel AMC-11, A.2951-9, GEC-Elliott Automation Ltd., Leicester, England, 1977.
11. PDP-11-03 System Crate Interface Type EXEC-11Q, Spec. No. CSE 2004, GEC-Elliott Automation LTD., Leicester, England, 1977.
12. Черных Е.В. В кн.: Труды IX Международного симп. по ядерной электронике, Д13-11182, Дубна, 1978, с. 196.
13. Programmed Transfer Interface for HP2100 Series of Computers Type PT1-21, CSE 2020, GEC-Elliott Automation LTD., Leicester, England, 1977.

14. Autonomous Memory Channel Type AMC-21, DMA Option for the PT1-21 Interface to the HP Computer Range HP2100, CSE 2017, GEC-Elliott Automation Ltd., Leicester, England, 1977.
15. Nord 10 to CAMAC Interface P10-N10 and DMA-N10, C1051, GEC-Elliott, Automation Ltd., Leicester, England, 1976.
16. Nova Interface SI-N, A-2951-14, GEC-Elliott Automation Ltd., Leicester, England, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 декабря 1980 года.