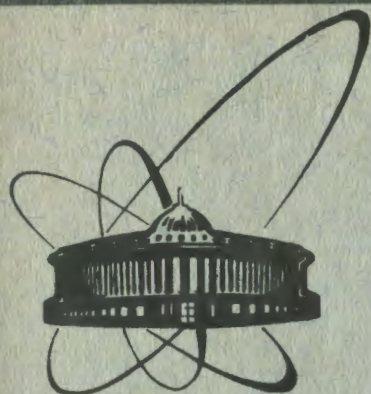


91-46



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P11-91-46

Т.Ф. Сапожникова

МИКРОПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
СИСТЕМЫ КОМАНД МКБ-8601

1991

В ЛВТА ОИЯИ создана ЭВМ МКБ-8601 /1/ с микропрограммным принципом управления. Основная задача, которая ставилась при разработке МКБ-8601 - это эмуляция ЭВМ БЭСМ-6 /2/, т.е. исполнение ее команд в "режиме математика". Но в процессе разработки эмулятора пошли дальше и изменили ряд параметров: увеличили длину слова, разрядность индекс-регистров, размер адресного пространства и т.д., оставив режим эмуляции БЭСМ-6 (РЭ) как подмножество режимов. Кроме того, учитывая особенности ЭВМ ЭЛЬБРУС-Б как машины, совместимой с БЭСМ-6, в МКБ сделана возможность эмуляции команд ЭЛЬБРУС-Б.

Таким образом, по системе команд в МКБ фактически совмещены три ЭВМ: БЭСМ-6, ЭЛЬБРУС-Б и своя оригинальная МКБ-8601.

Подпрограммы, реализующие команды, сначала размещаются в ОЗУ микропрограмм (рис.1), а затем по мере отладки переписываются в ПЗУ. После включения МКБ загружается часть микропрограмм, находящаяся в ОЗУ. Затем запускается микропрограмма (МП) инициализации, приводящая в начальное состояние ЦП и устанавливающая ряд специальных регистров. Заканчивается она передачей управления на выборку командного слова по фиксированному адресу. После выборки командного слова код операции команды (КОП) поступает на вход переключателя, называемого преобразователем начальных адресов (ПНА), из которого выбирается адрес начала микропрограммы соответствующей команды. Исполняющаяся микрокоманда из памяти микропрограмм переписывается в конвейерный регистр (КР), откуда посылаются управляющие сигналы ЦП и ОЗУ. В процессе исполнения команды читается операнд, выполняется арифметическая или логическая операция, результат записывается в память или регистр и т.д. При исполнении команды в микропрограмме могут быть условные передачи управления, переходы к подпрограммам, циклы и т.д. В командном слове МКБ размещается 2 команды, поэтому при переходе к следующей команде устанавливается признак либо

левой, либо правой команды в зависимости от того, какая команда по порядку должна исполняться. Выполнение команды заканчивается выборкой следующего командного слова, если выполнена правая команда, и переходом по адресу из ПНА команд в зависимости от очередного кода операции.

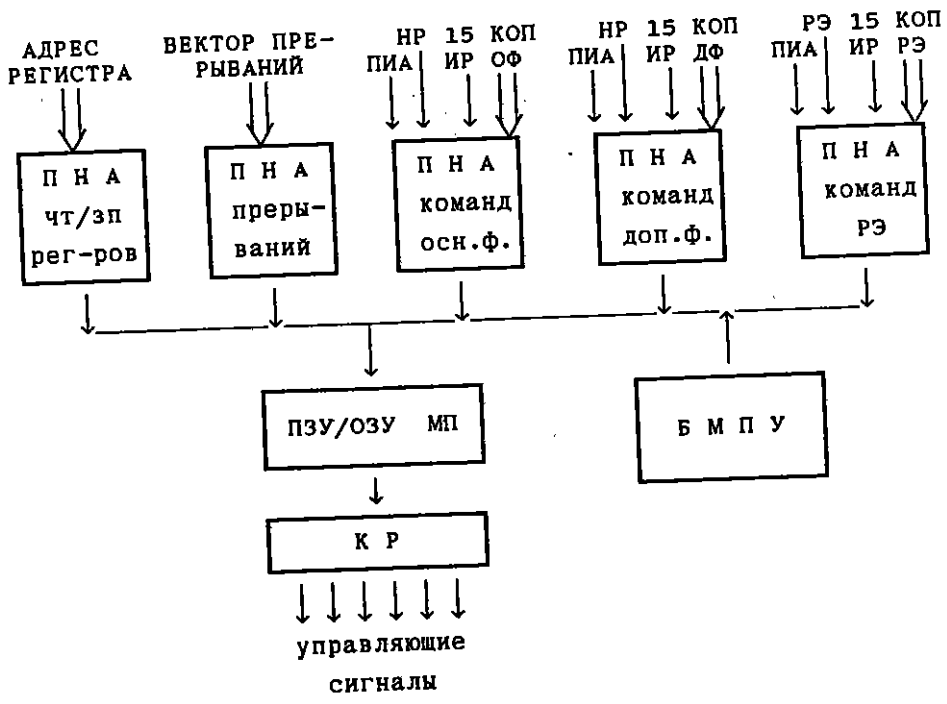


Рис. 1. Память микрокоманд и управление выборкой адреса микропрограммы.

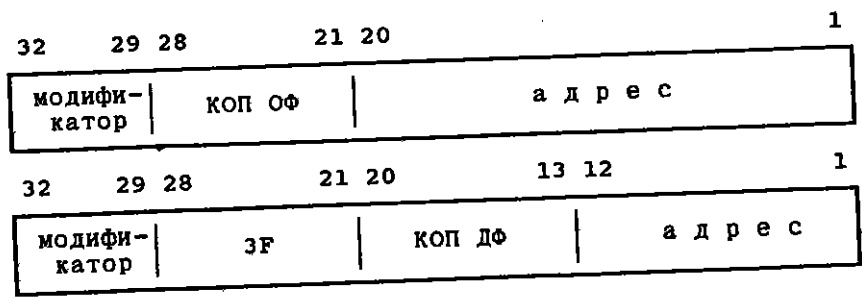


Рис. 2. Формат команд НР. Команды основного формата (ОФ) и дополнительного (ДФ).

Для определения начальных адресов микропрограмм кроме переключателя по коду команды в ЦП имеется также переключатель по вектору прерываний (ПНА прерываний) и по номеру регистра (ПНА чтения/записи регистров). Содержимое всех ПНА определяется автоматически в процессе трансляции и загрузки МП.

ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ФОРМАТ КОМАНДЫ

В режиме МКБ или новом (НР) возможное число кодов операций 511 (рис.2). В основном формате команды 8 разрядов - КОП, 20 разрядов - адрес команды, являющийся, как правило, адресом операнда в ОЗУ. В дополнительном формате КОП - 16 разрядов; это либо безадресные команды, либо команды, у которых в поле адреса занято не более 12 разрядов. Эти обе группы команд переадресуются к ОЗУ (ПЗУ) микропрограмм каждая через свой ПНА (ПНА основного и дополнительного формата). У команд РЭ также свой ПНА, т.к. как правило, исполнение команды в РЭ отличается от исполнения такой же команды в НР.

ПРЕФИКСАЦИЯ

В МКБ, так же как в БЭСМ-6, существуют команды изменения исполнительного адреса следующей команды. Эти команды устанавливают признак ПИА (признак изменения адреса) и заносят число для изменения адреса в регистр С. Строки ПНА команд, соответствующие установленному ПИА и любому коду операции, содержат ссылку на микрокоманду сложения регистра С с адресом в команде. После увеличения адреса тот же КОП повторно подается на вход ПНА, но уже без признака ПИА, и выбирается адрес микропрограммы для исполнения команды. Это позволило во всех микропрограммах избежать дублирования микрокоманд, реализующих префиксацию.

МАГАЗИННОЕ ОБРАЩЕНИЕ

Как и в БЭСМ-6, существует способ обращения к памяти по принципу магазина, если адрес в команде равен 0 и номер индекс-регистра, используемый для модификации адреса, равен

15. 15-ый индекс-регистр указывает на первое свободное слово магазинной памяти. При записи в память адрес равен содержимому 15 регистра, а после записи он увеличивается на 1, при чтении - наоборот. Во время исполнения команды возможны прерывания, и всегда полезно знать точный адрес прерывания. Более того, возможны прерывания, не приводящие к фатальному исходу, после обработки которых выполнение команды повторяется. Это могут быть страничные прерывания или прерывания, связанные с разнообразной защитой по тегу. Поэтому в процессе исполнения команды нельзя допускать необратимых изменений регистров, которые при повторном исполнении этой же команды могут привести к неверному результату. В случае с магазинным способом адресации это "опасное место" - изменение 15 индекс-регистра, а в командах префиксации - сброс и установка признака ПИА, в зависимости от которого по-разному вычисляется адрес в команде. Поэтому изменение содержимого 15 индекс-регистра и признака ПИА в соответствующих командах происходит в конце исполнения команды. Микропрограммы команд, где возможно магазинное обращение к памяти, написаны в 2-х вариантах: для обычного и магазинного способа адресации. Для выбора соответствующей микропрограммы на вход ПНА вместе с КОП идет признак использования 15-ого индекс-регистра в команде. Аналогично на вход ПНА идет признак ПИА для выборки адреса микропрограммы, модифицирующей исполнительный адрес в следующей команде.

КОМАНДЫ ИР

Система команд МКБ существенно расширена по сравнению с БЭСМ-6. Добавлены команды, учитывающие специфику аппаратуры. Например, для многопроцессорного варианта машины, работающего на общей памяти, сделаны семафорные команды; для быстрой переписи содержимого регистров в память используется режим блочной передачи данных и т.д. Кроме того, в современных программных системах очень часто используются не целые слова, а более мелкие единицы информации. И хотя обмен между ЦП и ОЗУ в МКБ всегда идет полным 64-разрядным словом, выделение более мелкой части слова на микропрограммном уровне все равно

будет быстрее, чем если бы то же самое делать обычными командами. Поэтому в систему команд МКБ были добавлены команды работы с частями слова - полусловами, 16-разрядными фрагментами, байтами и даже битами (для работы со шкалами).

Из 511 кодов команд большая часть задействована, остальные коды - резервные. Они могут использоваться для расширения или изменения системы команд. Часть команд может интерпретироваться экстракодами.

Эффективность системы команд по сравнению с БЭСМ-6 возросла по некоторым оценкам в 2-3 раза. В частности, обработка символьной информации производится на порядок меньшим числом команд.

ПЛАВАЮЩАЯ ЗАПЯТАЯ. РЕЖИМ ЭМУЛЯЦИИ.

Числа с плавающей запятой в МКБ представляются следующим образом: 53 разряда мантисса и 11 разрядов порядок (рис.3). Длина слова в НР на 16 разрядов больше, чем в РЭ. При эмуляции режима БЭСМ-6 жаль просто так терять лишние 16 разрядов, хотелось бы иметь возможность считать в режиме БЭСМ-6 с точностью НР. Для этого надо, чтоб граница между мантиссой и порядком в НР и РЭ совпадали. Поэтому "лишние" 16 разрядов распределились так: 4 разряда - на месте 60-63 разрядов для увеличения диапазона порядков, остальные 12 - на месте младших разрядов для увеличения точности мантиссы. Режим увеличения точности в РЭ задается значением одного из разрядов регистра режимов (РР) ЦП, т.е. в режиме БЭСМ-6 можно считать на 48 разрядах и на 64.

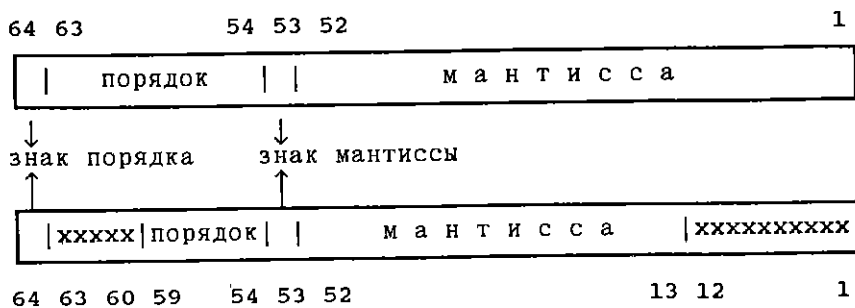


Рис.3. Представление чисел с плавающей запятой в НР и РЭ.

С повышением точности в РЭ связаны определенные трудности в операциях смешанной арифметики, когда результат в формате с плавающей запятой употребляется в качестве операнда логических команд. При этом возможны потери "сильно значащих" разрядов порядка. Чтоб этого избежать, в микропрограммах логических команд делается проверка операндов на допустимость использования их в логических командах. Но проверка "правильности" операндов не всегда обязательна. Если программу известно, что она не пользуется "запрещенными приемами", проверку операндов можно блокировать. Это дает ускорение до 15% в зависимости от частоты использования логических команд.

РЕГИСТРЫ. ГРУППЫ ИНДЕКС-РЕГИСТРОВ

Существует ряд регистров общего назначения, так или иначе используемых в программе: сумматор (А), регистр младших разрядов (РМР), программный счетчик (СЧАС); а также дополнительные регистры, которых нет в БЭСМ-6 - регистр адреса последней передачи управления (РОП), регистр исполнительного адреса (ИАОП) (рис.4.). Кроме того, в БЭСМ-6 существует целая группа из 15 индекс-регистров или модификаторов, участвующих в формировании исполнительного адреса. В МКБ таких групп регистров 32, причем в каждую из них кроме 15 индекс-регистров входит столько же специальных регистров, доступных программе привилегированными командами чтения и записи. Это регистр номера процесса (РНП), регистр режимов (РР), регистр С; там же - область упрятывания регистров общего назначения при прерываниях и экстракодах.

ЭКСТРАКОДЫ

Экстракоды - это макрокоманды, исполняемые операционной системой (ОС). Вызов экстракода заключается в передаче управления ОС. Начинает работать другая программа, которой также нужны рабочие регистры. В БЭСМ-6 одна из проблем, связанная с экстракодами и прерываниями - это упрятывание и

восстановление содержимого регистров. В МКБ эта проблема решена более эффективно.



Рис. 4. Основные регистры ЦП. Группы индекс-регистров.

Каждому процессу отводится одна или несколько групп регистров. Одна из них используется программой, другие используются экстракодами, вызываемыми из основной программы. Если групп несколько, микропрограмма вызова экстракода переписывает содержимое регистров общего назначения (А, РМР, СЧАС, РОП) в область упорядочивания текущей группы индекс-регистров и делает переход на соседнюю группу. Если у процесса всего лишь одна группа, происходит упорядочивание регистров, в том числе и модификаторов, в специальную область

памяти. Причем запись в память происходит под управлением микропрограммы в режиме блочной передачи данных с максимальной скоростью. В индекс-регистры экстракода записываются: исполнительный адрес экстракода, номер процесса, вызвавшего экстракод, его программный счетчик, регистр режимов и т.д. Таким образом, к моменту исполнения первой команды экстракода вся необходимая ему информация находится у него в рабочих регистрах.

Возврат из экстракода производится специальной командой, подаваемой из диспетчерского режима. Происходит полное восстановление содержимого регистров. Причем, если группа регистров одна, идет восстановление содержимого всех регистров из памяти. Если у процесса несколько групп регистров, предыдущая группа становится активной, из ее области упрятывания восстанавливается содержимое регистров общего назначения. Остальные регистры восстанавливаются вместе со сменой группы.

ПРЕРЫВАНИЯ

При прерываниях происходит аппаратная подмена адреса следующей микрокоманды на фиксированный адрес микропрограммы входа в прерывание. Микропрограмма входа в прерывание записывает адрес прерванной микропрограммы в стек и производит передачу управления по адресу из ПНА прерываний в зависимости от вектора прерываний на обработку самого приоритетного из них.

Все прерывания с точки зрения обработки их на микропрограммном уровне делятся на несколько групп: псевдопрерывания, внешние и внутренние прерывания и прерывание-останов.

ПСЕВДОПРЕРЫВАНИЯ. Эта группа прерываний полностью обрабатывается на микропрограммном уровне и заканчивается передачей управления по адресу, выбираемому из стека, а выполнение микропрограммы продолжается с прерванного места. Это прерывания, связанные с обращением по 0-ому математическому адресу, прерывание для микропрограммного пересчета приоритетов страниц и прерывание по исчерпанию

микросекундного таймера или часов счетного времени процесса, когда нужно вычесть "1" из старшей половины. Псевдопрерывания для ОС не чувствительны.

ПРЕРЫВАНИЕ-ОСТАНОВ. Фактически, это приостановка процессора после исполнения текущей команды. Причин останова несколько. Это может быть останов по запросу пультавого процессора (ПП), команда "останов", ситуация, когда произошло одно внутреннее прерывание во время обработки другого, или останов при обращении по адресу, заданному пультным процессором. Выполняется микрокоманда, опрашивающая состояние триггера запуска, т.е. ЦП на уровне микромашины работает, что позволяет обращаться к нему в этот момент за доступом к регистрам.

ВНУТРЕННИЕ ПРЕРЫВАНИЯ. Обработка внутренних прерываний происходит на уровне операционной системы. Процесс обработки прерываний в системе является обычным процессом с фиксированной (нулевой) группой регистров. Микропрограмма входа в прерывание переписывает содержимое всех регистров общего назначения прерванного процесса в область упрятывания регистров внутри группы и делает активной группу процесса обработки прерываний, записав в его рабочие регистры всю необходимую информацию о прерванном процессе.

ВНЕШНИЕ ПРЕРЫВАНИЯ. Внутренние прерывания исполняются безусловно и имеют более высокий приоритет по сравнению с внешними. Внешние прерывания исполняются при отсутствии признака блокировки внешних прерываний. Всего может быть 64 различных типа внешних прерываний. При внешних прерываниях микропрограмма производит чтение запросов на обработку прерываний в главный регистр прерываний (ГРП), доступный ОС, и их гашение, и передает управление ОС так же как и в случае внутренних прерываний. Если в режиме БВП микропрограмма обнаруживает внешнее прерывание, она его только фиксирует в ГРП и сбрасывает.

Возврат из прерывания, так же как и возврат из экстрахода, происходит по специальной команде, подаваемой из диспетчерского режима. Восстанавливается один из процессов, находящийся в какой-либо группе регистров и ждущий своей

очереди. Это может быть последний прерванный процесс. Микропрограмма возврата из прерывания восстанавливает содержимое регистров общего назначения. Остальные регистры восстанавливаются со сменой номера группы. Исполнение программы продолжается с прерванного места.

ЧТЕНИЕ, ЗАПИСЬ РЕГИСТРОВ. ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ С ПУЛЬТОВЫМ ПРОЦЕССОРОМ.

В центральном процессоре МКБ-8601 имеется большое число специальных регистров и внутренней памяти. Каждому из них, в том числе и всем адресам внутренней памяти, дан некий условный номер. Эти номера задаются при обращениях пульта процессора, а также в привилегированных командах чтения/записи и передаются на вход ПНА чтения/записи регистров для определения адреса микропрограммы доступа к соответствующему регистру. В командах чтения/записи содержимое регистра, номер которого задается исполнительным адресом, пересылается в сумматор, или наоборот, содержимое сумматора пересылается в регистр. Обращения ПП для чтения/записи регистров вызывают псевдопрерывание ЦП. Микропрограмма обработки этого прерывания пересылает содержимое заданного регистра в область, доступную ПП, а при записи пересылает заданное значение в соответствующий регистр. Для обеспечения контроля со стороны ПП ему обеспечен доступ ко всем регистрам и внутренней памяти ЦП, а командам чтения/записи для экономии места в памяти микропрограмм - только те, что необходимы для работы ОС.

Микропрограммная реализация системы команд имеет ряд преимуществ. В первую очередь - это простой способ исправления ошибок, заключающийся в изменении отдельных разрядов ОЗУ микропрограмм и играющий на этапе наладки очень существенную роль. Кроме того, пока система команд окончательно не установилась, можно изменить функции отдельных команд, заменив одну микропрограмму другой или загрузив новую микропрограмму для резервного кода операции. Можно пойти еще дальше и добавить дополнительную систему команд на место свободных (неиспользуемых) кодов операций,

т.к. полное их число достаточно велико.

В заключение автор выражает благодарность И.Н. Силину за полезные обсуждения и Ф.В.Левчановскому за постоянную готовность к изменениям в аппаратной части МКБ для повышения эффективности и удобства программирования.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Давыдов А.Л., Емелин И.А., Кадыков В.М., Ломидзе О.Н., Левчановский Ф.В., Попов М.Ю., Сапожников А.П., Сапожникова Т.Ф., Силин И.Н., Принципы организации и архитектура процессора-эмулятора МКБ-8601. - Дубна, ОИЯИ, Б1-11-88-442, 1988.

2. Мазный Г.Л., Программирование на БЭСМ-6 в системе "ДУБНА" - Москва, "Наука", 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 января 1991 года.