

ЭВМ

В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ

ФИЗИКЕ



1968г.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

10 - 4228

Е.П.Калиниченко

СТРУКТУРА СОВРЕМЕННЫХ ЭВМ

*Лекция, прочитанная в Школе ОИЯИ по применению электронных
вычислительных машин в задачах экспериментальной физики*

г. Алушта, Крым, СССР, 5-19 мая 1968г.

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Дубна 1968

Широкое внедрение электронных вычислительных машин в различные звенья физического эксперимента за последние годы вызвало определенный интерес со стороны физиков-экспериментаторов к вопросам вычислительной техники и программированию. Персонал физических лабораторий при подготовке экспериментов или обработке экспериментальных данных вынужден (в большинстве случаев самостоятельно) осваивать технику ЭВМ и методы работы на вычислительных машинах.

При всем многообразии материала как по самим вычислительным машинам, так и по вопросам программирования, в процессе такой работы возникают естественные трудности, связанные, главным образом, с ограниченностью литературы, рассчитанной на физика-экспериментатора или на лиц, занимающихся развитием методических вопросов экспериментальной физики. Если учесть при этом, что методика использования ЭВМ в экспериментальной физике быстро совершенствуется, то будет понятен интерес со стороны физических институтов к летней школе Объединенного института ядерных исследований - "Применение ЭВМ в задачах экспериментальной физики".

Школа проводилась Лабораторией вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ (директор - член-корреспондент АН СССР проф. М.Г.Мещеряков) в г.Алуш-те (Крым) с 5 по 19 мая 1968 года.

Программа школы наряду с основополагающими вопросами включала также лекции по некоторым конкретным современным методикам. Для чтения лекций были приглашены ведущие специалисты из Объединенного института ядерных исследований, институтов стран-участниц ОИЯИ, а также коллеги из европейских исследовательских центров - ЦЕРНа (Швейцария) и Сакле (Франция).

Не имея возможности опубликовать весь материал, ректорат Школы подготовил к изданию отдельные лекции, сохранив, в основном, их в том виде, в котором они были представлены авторами.

Лиц, интересующихся лекциями в полном объеме, мы адресуем в библиотеку ОИЯИ, где находится полный сборник прочитанных в школе лекций: "Применение ЭВМ в задачах экспериментальной физики".

Ректор Школы
доктор технических наук

Г.ЗАБИЯКИН

Отпечатано методом ксерокс-ротапринт с материалов, подготовленных ректоратом Школы.

Введение /I/

Эволюция ЭВМ в большой степени зависит от прогресса в области электронных элементов машины. Полупроводниковые элементы, пришедшие на смену ламповым, позволили увеличить число запоминающих схем в аппаратной структуре машины и в то же время повысить надежность ее работы. Благодаря этому открылись новые возможности совершенствования ЭВМ. Наиболее значительными тенденциями в развитии структуры ЭВМ были (1) специализация элементов структуры и (2) наращивание вычислительной мощности машин путем усложнения алгоритмов обработки информации.

Аппаратная структура современных ЭВМ включает следующие элементы: вычислитель, память, каналы обмена (рис. I). Каналы соединяют машину с внешними устройствами (ВУ); под внешним устройством можно понимать любой приемник-датчик информации, начиная от телетайпа для индивидуального пользования и кончая ЭВМ любой производительности.

Специализация вычислителя и каналов позволяет организовать совместное выполнение функций счета и обмена.

Для этого необходимо:

- а) упорядочить заказы на обмен от вычислителя и ВУ к каналам.

Эту функцию выполняет схема прерывания;

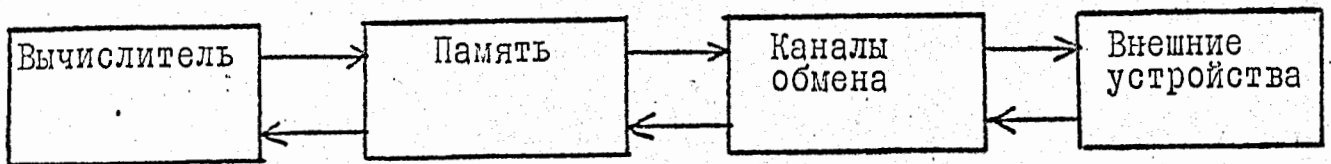
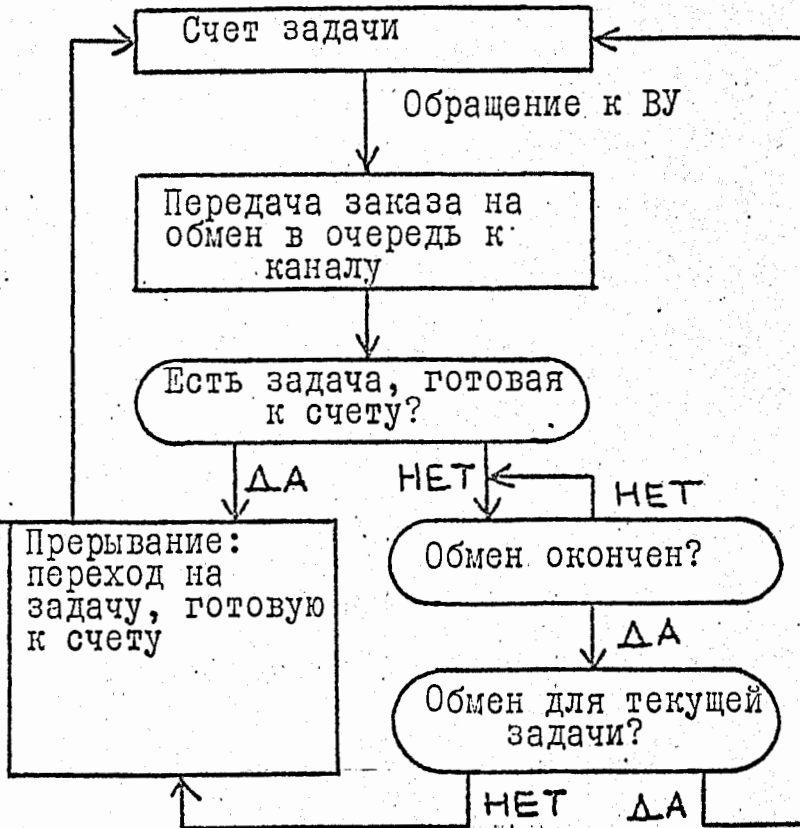


Рис. 1. Аппаратная структура ЭВМ.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬ



КАНАЛ

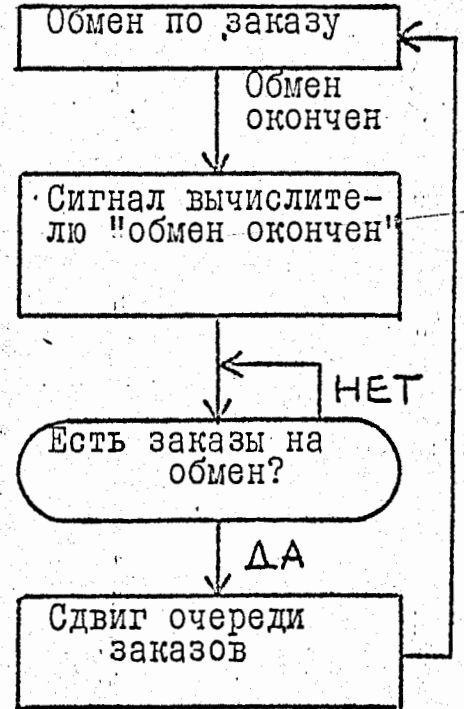


Рис. 2. Алгоритм совместной работы вычислителя и канала.

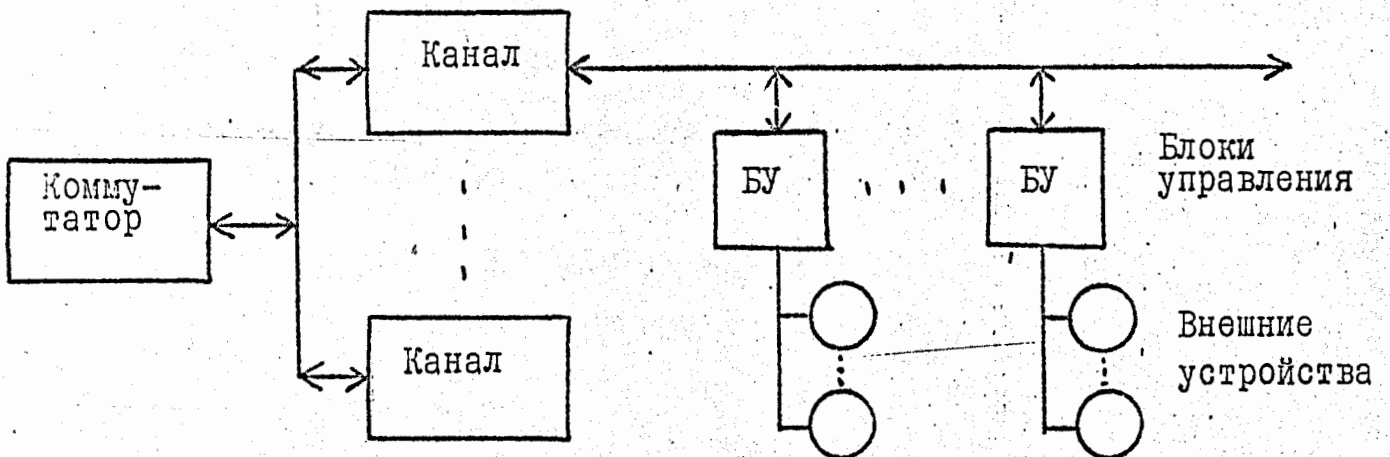


Рис. 3. Подключение внешних устройств к ЭВМ

б) упорядочить обращения в память от вычислителя и каналов. Эту функцию выполняет схема приоритета запросов в память;

в) закрыть от вычислителя тот участок памяти, с которым обмениваются каналы. Эту функцию выполняет схема защиты памяти.

Упрощенный алгоритм совместной работы вычислителя и каналов показан на рис. 2. Он предполагает одновременное присутствие в памяти машины нескольких программ и организует переключение вычислителя с одной программы на другую по сигналам прерывания программы. Такой режим счета называется мультипрограммным. Он позволяет улучшить планирование работ на машине, равномернее загрузить ее аппаратуру. В современных ЭВМ этот и другие режимы частично реализуются аппаратно, частично — программно.

Служебные программы, выполняющие машинные алгоритмы, составляют программную структуру ЭВМ или операционную систему.

Рассмотрим характерные особенности аппаратной и программной структуры ЭВМ.

Аппаратура /2/

Если сравнивать эволюцию вычислителя, памяти и каналов, то можно отметить, что организация вычислителя относительно стабилизировалась еще в ламповых машинах, тогда как организация памяти и каналов продолжает развиваться. Для вычислителя характерны параллельная арифметика с плавающей запятой для операндов и индексная арифметика с фиксированной запятой для адресов.

Особое внимание в современных ЭВМ уделяется организации памяти, оперативной и внешней. Память должна удовлетворять разнообразным и часто противоречивым требованиям; например, сверхбыстрому обмену с вычислителем и одновременному обмену с большим набором ВУ в темпе работы ВУ; способности к расширению в сотни раз;

прямой адресации логической памяти емкостью в миллионы слов и экономичности. Эффективность памяти повышают (1) улучшением параметров (время переключения, плотность записи) традиционных носителей информации: ферритов, магнитных барабанов, дисков, лент; (2) разработкой новых носителей: магнитных пленок, карт; (3) улучшением организации работы. Рассмотрим методы организации работы памяти.

Сверхбыстрый обмен памяти с вычислителем, обычно, выполняется через специализированную память ассоциативного типа. В ней хранятся слова вместе с адресами. Она имеет небольшую емкость и высокое быстродействие по сравнению с оперативной памятью; например, в БЭСМ-6 это 16 транзисторных регистров со временем выборки 0,1 мксек. Вычислитель обращается за словом в ассоциативную память. Если нужное слово отсутствует, организуется обращение в оперативную память, и выбранное слово помещается в ассоциативную память, в ячейку, которую занимает самая "старая" информация, т.е. слово с адресом, которые раньше других запрашивались вычислителем. Благодаря такому механизму выборки наиболее часто используемая информация всегда находится в ассоциативной памяти.

Важно также уменьшить цикл обращения в оперативную память, чтобы сократить простой вычислителя при ожидании нужного слова. Для этого применяются следующие методы:

1). Уменьшение эффективного цикла памяти.

Оперативная память организуется из нескольких блоков, каждый блок имеет автономные схемы, управляющие выборкой. Все схемы работают совместно, но с определенным сдвигом во времени. Например, в БЭСМ-6 оперативная память состоит из 8 блоков;

каждый блок имеет цикл обращения, равный 2 мксек, а все блоки работают совместно со сдвигом во времени, равным 0,3 мксек. Если разместить информацию в оперативной памяти так, чтобы слова со смежными адресами находились в смежных блоках, то фактически цикл памяти при обращении к ней с последовательными адресами равен 0,3 мксек.

2) .Выполнение операций в вычислителе с опережением.

Работа вычислителя организуется так, чтобы как можно раньше узнать адреса нужных ему слов. Для этого выполнение команды из программы разбивается на несколько этапов и каждый этап выполняется специальной группой регистров (уровнем). Все уровни работают совместно; например, первый уровень дешифрует код операции, второй индексирует адрес, третий хранит очередь команд на входе в арифметику, четвертый пропускает очередную команду в арифметику и т.д. Следовательно, в тот момент, когда арифметика выполняет некую команду, уже известны адреса слов, которые понадобятся нескольким последующим командам.

Память обменивается не только с вычислителем, но и с ВУ, причем оба процесса протекают совместно.

Рассматривая обмен памяти с ВУ, надо различать оперативную и внешнюю память. В современных машинах устройства внешней памяти: барабаны, диски, ленты обмениваются с оперативной памятью по той же методике, что и устройства ввода-вывода: печать, чтение и перфорация бумажных карт и лент. (Все перечисленные устройства называются внешними). Для обмена с каждым ВУ в оперативной памяти выделяется участок (буфер), который закрывается от вычислителя. По окончании обмена буфер либо открывается для вычислителя (например, информация, переписанная в буфер с барабана, становится доступной для программы, занимающей вычислитель), либо

используется для обмена с другим ВУ (например, информация, переписанная в буфер с магнитной ленты, выдается на печать).

Техника мультипрограммирования и аппаратура обмена оперативной памяти с внешней позволяют организовать прямоадресуемую логическую память емкостью в миллионы слов (память одного уровня). Пользователю машины представляется возможность обращаться из программы ко всей логической памяти. Обращение происходит через схему адресации, включающую регистр базисного адреса; разрядность этого регистра достаточна для нумерации всех слов логической памяти. В системе команд машины предусматриваются команды, позволяющие формировать содержимое регистра базы. Остальные команды работают с короткими адресами (приращениями), разрядность которых позволяет нумеровать сравнительно небольшое количество слов, обычно $1 \div 4K$, где $K = 1024$. Схема адресации формирует адреса, представляющие собой сумму базы и приращения. При этом часть адресов обращается к физическим устройствам оперативной памяти, а гораздо большая часть — к устройствам внешней памяти. Если программа запрашивает слово, отсутствующее в оперативной памяти, то она прерывается, а служебные программы машины организуют обмен оперативной памяти с тем ВУ, которое хранит нужное слово. Во время обмена вычислитель работает со следующей программой, занимающей часть (сегмент) оперативной памяти.

Эффективная работа памяти одного уровня обеспечивается высокими темпом и интенсивностью обмена оперативной памяти с ВУ. Другими словами, оперативная память машины способна обмениваться одновременно с несколькими ВУ в темпе работы каждого. Стандартом в современных ЭВМ стала следующая схема подключения ВУ: ВУ — блок управления (контролер) — канал (рис. 3).

Совместная работа нескольких каналов организуется коммутатором (мультиплексором). Его схемы с быстрыми электронными элементами обслуживают методом сканирования несколько совместно работающих каналов. Каждый канал подключается к оперативной памяти на определенный квант времени, и все каналы подключаются поочередно. В каждом канале допускается совместная работа нескольких ВУ, если суммарное время их обслуживания не превышает кванта, выделенного коммутатором.

Канал имеет аппаратуру, достаточную для автономного выполнения задания, полученного от коммутатора. Он выбирает нужное ВУ, опрашивает его состояние, задает режим работы, подсчитывает количество переданных-принятых слов, опрашивает состояние ВУ по окончании обмена и т.д. Канал не учитывает специфику обслуживаемых ВУ (например, последовательности сигналов при пуске - останове, форматы информации и т.п.) и работает со всеми по стандартной процедуре.

Существуют каналы двух типов: селекторные и мультиплексные. Селекторный канал предназначен для обмена с быстрыми ВУ, например, барабанами, дисками и т.п. Он позволяет обмениваться в любой момент времени только с одним из подключенных к нему ВУ. Мультиплексный канал позволяет обмениваться одновременно с несколькими (может быть, со всеми) подключенными ВУ. Фактически, он состоит из нескольких подканалов и обычно обслуживает медленные ВУ, например, печати, читающие и перфорирующие устройства.

Блок управления согласует стандартный канал со специфическими ВУ. Он преобразует стандартные команды канала в нужную временную последовательность электрических сигналов; формирует по определенным правилам информацию о состоянии ВУ и передает ее каналу; преобразует формат кодов канала в формат, принятый в ВУ.

Интегральной характеристикой обмена является скорость обмена коммутатора с оперативной памятью; в современных

машинах она достигает нескольких миллионов слов в секунду.

Эффективность современных ЭВМ обеспечивается также высокой надежностью работы аппаратуры, которая достигнута путем (1) использования надежных электронных элементов, (2) применением специальной методики построения схем (двухрядные регистры без линий задержки, резервирование, модульная конструкция структурных элементов).

Рассмотрим последний метод.

Модульная конструкция предполагает построение структурных элементов с учетом стандарта на сопряжение модулей. Благодаря этому аппаратную структуру можно наращивать, подключая дополнительные модули без изменения уже включенных. Таким образом можно создать систему, которая будет иметь по несколько экземпляров модулей каждого типа: например, вычислительные, запоминающие, коммутирующие, каналовые модули.

Служебные программы системы, регулярно проверяя модули тестами, своевременно обнаруживают негодный модуль и исключают его из системы; при этом снижается производительность системы, но сохраняется ее жизнеспособность.

Применяя в однотипных модулях электронные элементы с различным быстродействием, можно создать системы, выполняющие аналогичные функции с различной производительностью. Так появляются ряды совместимых машин, которые стали стандартом в современной вычислительной технике.

Ряд совместимых машин включает несколько моделей, разработанных на базе одного и того же проекта и способных выполнять одни и те же программы, но с разной производительностью. Существует понятие строгой совместимости (все модели выполняют программы из одного множества) и односторонней совместимости (малые модели выполняют программы из множества, которое является подмножеством программ, выполняемых большими моделями). Модель ряда характеризуется (1) степенью аппаратной и программной реализации машинных алгоритмов, быстродействием электронных элементов; (2) параметрами вычислителя, памяти и каналов; (3) функциональностью, т.е. аппаратным (набор устройств) и программным (набор входных языков и архив) сервисом, предоставляемым пользователю.

Операционная система (ОС) представляет собой совокупность служебных программ, организующих работу аппаратуры машины. Основные функции ОС: (1) автоматизация прохождения задач, (2) управление потоками информации, (3) загрузка работой всех устройств машины.

ОС можно рассматривать как псевдомашину с собственным набором команд и ресурсов. Команды ОС, в отличие от команд реальной машины, называются директивами. Их содержание определяется спецификой тех задач, для выполнения которых создана данная ОС, и функциями ОС. Директивы ОС гораздо более содержательны, чем команды реальной машины; обычно они включают в работу подпрограммы ОС. Типичными для разных ОС являются директивы ввода (тип задачи, требуемые служебные программы, запросы на ВУ), отладки, редактирование.

Псевдомашина предоставляет пользователю большие ресурсы, чем реальная машина; например, всю логическую память, произвольное (в определенных границах) количество ВУ. ОС интерпретирует ресурсы реальной машины массивами информации (файлами), которые хранит на магнитных дисках или лентах. Приняв заказы на оборудование от пользователей, ОС распределяет файлы, а затем организует их обмен с реальной аппаратурой; при этом каждое устройство машины обслуживает файлы в режиме разделения времени.

Итак, ОС — это совокупность служебных программ, реализующих часть алгоритмов некой псевдомшины; другую часть алгоритмов реализует аппаратура фактической машины.

Программы ОС делятся на две группы: программы монитора и программы диспетчера (рис. 4). Монитор организует работу псевдомшины, имея дело с абстрактными ресур-

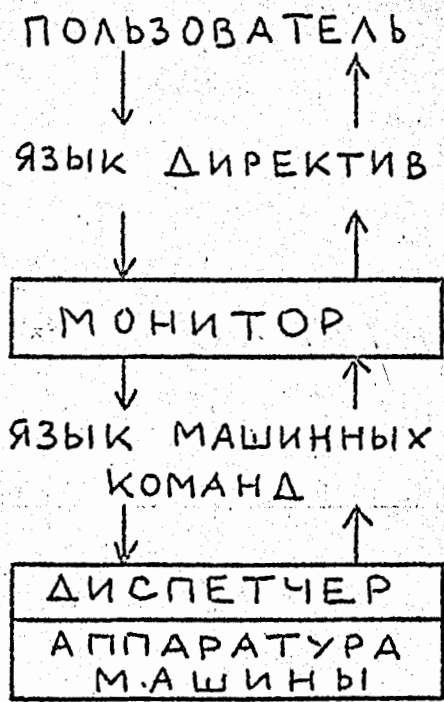


Рис. 4. Структура операционной системы.

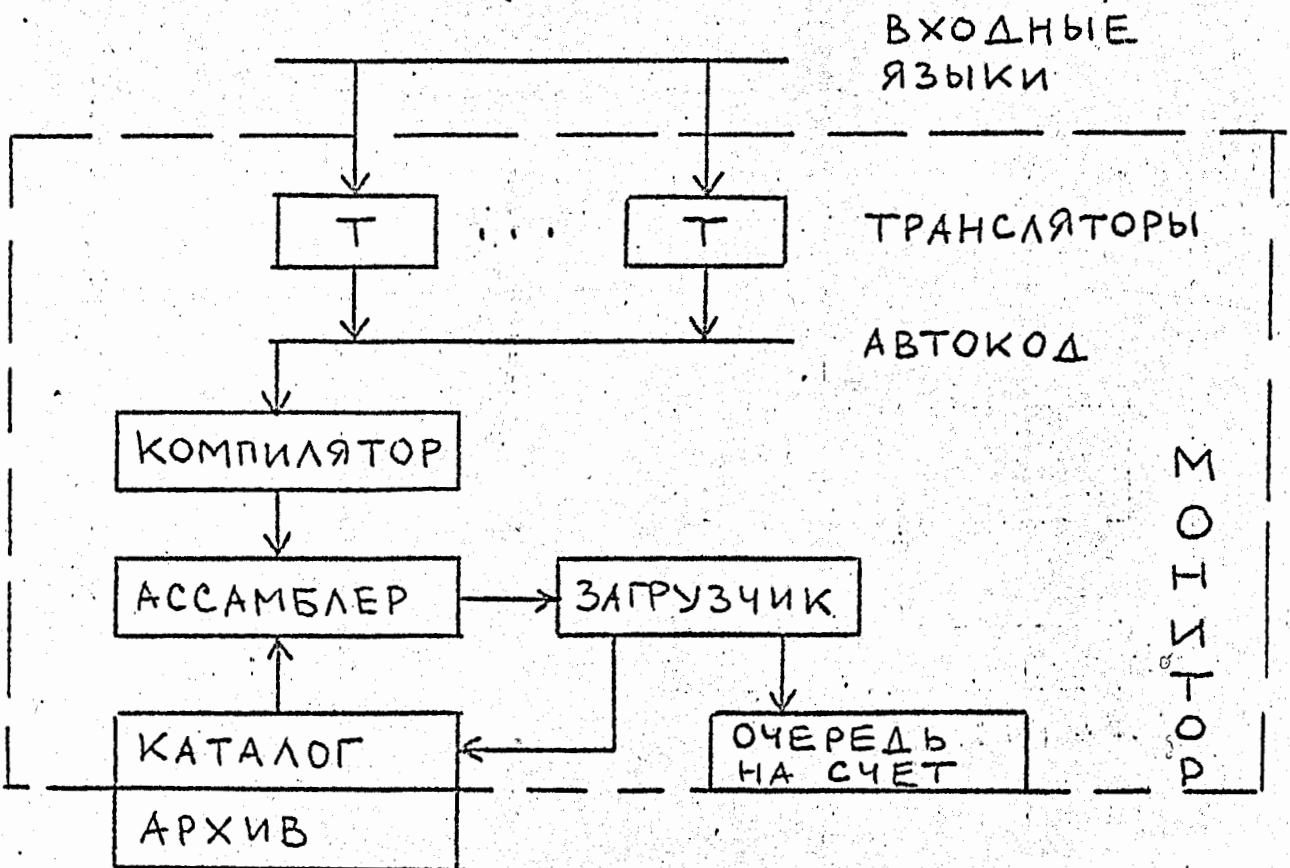


Рис. 5. Структура системы программирования.

сами: логической памятью и файлами. Диспетчер организует работу реальной аппаратуры машины; он принимает заявки от монитора и организует их выполнение на устройствах машины.

Благодаря разделению ОС на программы монитора и диспетчера, можно изменять свойства псевдомшины, переделывая только монитор, не затрагивая диспетчера и самой машины. Изменяя монитор, можно организовать самые разнообразные режимы работы; наиболее типичными для современных машин являются закрытый, открытый и реальный режимы.

Монитор для закрытого режима организует прохождение задачи через машину, исключая участие пользователя в процессе счета. Рассмотрим прохождение некой задачи А через машину при закрытом режиме.

1. Программа задачи А вместе с паспортом и исходными данными поступает к оператору. В паспорте задачи указаны ее номер и требуемые ресурсы.

2. Колода перфокарт закладывается в устройство ввода и вырабатывается сигнал "Запрос".

3. Диспетчер воспринимает сигнал и передает его монитору.

4. Монитор выделяет участок памяти и передает заявку на ввод диспетчеру.

5. Диспетчер вводит колоду на указанный участок. Задача А попадает на магнитную ленту ввода в очередь задач к вычислителю.

6. Когда подходит очередь задачи А на счет, монитор анализирует паспорт задачи, выделяет требуемые ресурсы и включает в счет. Задача А попадает в оперативную память, которую делит с другими задачами, включенными в счет.

7. Вычислитель переключается на счет задачи А, когда счет

по другим задачам не может быть продолжен. Типичными причинами переключения являются обращение программы к ВУ, ошибка в программе (переполнение, обращение к закрытым ресурсам). Результаты счета задачи А накапливаются на магнитной ленте вывода.

8. По окончании счета задачи А монитор исключает ее из счета, передает заявку диспетчеру о печати результатов, запоминает указанные массивы.

Время ожидания результатов счета при закрытом режиме работы составляет в среднем несколько часов.

Монитор для открытого режима организует прохождение задач, предоставляя пользователю возможность участвовать в процессе счета. Исходя из схемы счета для закрытого режима, открытый режим работы можно представить следующим образом:

1. В очередь задач, ожидающих счета в вычислителе, включаются условные паспорта (без задач) тех пользователей, которые работают в открытом режиме.

2. Монитор, восприняв паспорт, выделяет буфер, через который обменивается с пользователем директивами.

3. Получив директиву, монитор порождает задачу и включает ее в счет. Результаты счета отправляются не на магнитную ленту вывода, а через буфер пользователю.

Системы (ОС + аппаратура), предназначенные для открытого режима работы, называются системами разделения времени (СРВ). Они предоставляют одновременный доступ к машине многим пользователям, работающим за индивидуальными пультами, причем пульта могут подключаться к машине через телеграфные или телефонные линии связи. Монитор СРВ обслуживает пульта по очереди, выделяя каждому квант времени работы вычислителя. В современных СРВ,

допускающих одновременную работу порядка 100 пультов, время реакции на запрос пользователя измеряется секундами. При этом у каждого пользователя сохраняется иллюзия безраздельного пользования всей машиной. Мониторы СРВ обычно совмещают открытый и закрытый режимы работы.

Реальный режим (работа в реальном времени) организуется для пользователей, требующих очень быстрой обработки передаваемой информации. Этот режим можно рассматривать как частный случай открытого режима работы.

1. Задача пользователя постоянно находится в быстрой памяти с наивысшим приоритетом.

2. При поступлении информации задача занимает вычислитель. Результат отправляется пользователю.

Система программирования

В современных ЭВМ программы ОС составляют лишь часть служебных программ. Другую, быстро растущую часть, составляют программы системы программирования (СП).

СП предоставляет пользователю программный сервис, именно: возможность обращаться к машине на проблемно-ориентированных языках, средства отладки программ, архив стандартных программ и т.п. Она включает следующие программы:

1. Трансляторы с входных проблемно-ориентированных языков: трансляция в автокод, т.е. машинно-ориентированный алгоритмический язык.

2. Компилятор: трансляция с автокода в рабочие коды машины (рабочие программы в перемещаемой форме).

3. Ассемблер: объединение программ, рабочей и архивных, в перемещаемой форме.

4. Загрузчик: ввод программ и их настройка по месту.
5. Архив стандартных программ.
6. Отладочные и редактирующие программы.

Структура СП показана на рис. 5.

Взаимодействие между программами ОС и СП можно представить следующим образом: монитор и диспетчер организуют некий конвейер, прогоняющий программы через машину; на этот конвейер равноправно попадают как рабочие программы пользователей, так и служебные программы СП.

ЛИТЕРАТУРА :

1. Brooks F, Jr. "The future of computer architecture". Proc IFIP Congress 1965.
2. Ершов А.П. "Вычислительное дело в США". ВЦ АН СССР, 1966.
3. "Проект математического обеспечения БЭСМ-6" ИПМ АН СССР, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1968 года.

В Школе ОИЯИ по применению ЭВМ в задачах экспериментальной физики, проведенной с 5 по 19 мая 1968 года в г. Алуште, были прочитаны следующие лекции:

М.Г.МЕЩЕРЯКОВ (ОИЯИ) Вводные замечания

I. ЭВМ и программная организация их работы

Г.И.ЗАБИЯКИН (ОИЯИ)

ЭВМ в задачах экспериментальной физики

Е.П.КАЛИНИЧЕНКО (ОИЯИ)

Структура современных ЭВМ

А.А.КАРЛОВ (ОИЯИ)

СДС-1604А и организация ввода-вывода на этой машине

В.Н.ПОЛЯКОВ (ОИЯИ)

Вопросы сопряжения ЭВМ с внешним оборудованием

Д.ЛОРД (ЦЕРН, Швейцария)

Применение малых ЭВМ в экспериментах на линии

С.С.ЛАВРОВ (ВЦ АН СССР)

Состояние и перспективы развития математического обеспечения ЭВМ

Г.М.КАДЫКОВ (ОИЯИ)

Характеристики ЭВМ класса БЭСМ-4

П.ЗАНЕЛЛА (ЦЕРН, Швейцария)

Система машин ЦЕРНа

В.П.ШИРИКОВ (ОИЯИ)

Язык ФОРТРАН и программирование на нем

Н.Н.ГОВОРУН

Система математического обеспечения ЭВМ БЭСМ-6

В.А.РОСТОВЦЕВ (ОИЯИ)

Монитор для БЭСМ-6

Х.ЛИППС (ЦЕРН, Швейцария)

Операционная система СКУОП для СДС-6600

II. Вопросы обработки спектрометрической информации

И.ЗВОЛЬСКИ, Ю. ОСТАНЕВИЧ, В. ПРИХОДЬКО (ОИЯИ)

Применение ЭВМ в спектрометрических экспериментах ядерной физики

Й.ТОМИК, В.Р.ТРУБНИКОВ (ОИЯИ)

Оциллограф со световым карандашом как средство связи человека с ЭВМ

Л.С.НЕФЕДЬЕВА (ОИЯИ)

Программы обработки спектрометрических данных

III. Устройства и программы обработки информации с пузырьковых камер

Ю.А.КАРЖАВИН (ОИЯИ)

Полуавтоматические и автоматические устройства обработки фотографий

В.Д.ИНКИН (ОИЯИ)

Прибор для автоматического измерения фотографий с пузырьковых камер на базе механического сканирующего устройства типа "бегущий луч" (НРД)

В.Г.МУРХЕД (ЦЕРН, Швейцария)

Измерение фотографий с помощью НРД

Ж.К.ГУАШ, Ж.ТРЕМБЛЕ (ЦЕРН, Швейцария)

Спиральный измеритель

Г.Н.ТЕНТЮКОВА (ОИЯИ)

Математическая обработка фильмовой информации с пузырьковых камер ОИЯИ

Ж.ЗОЛЛ (ЦЕРН, Швейцария)

Программа САМЭКС

А.Ф.ЛУКЪЯНЦЕВ (ОИЯИ)

Программа ГРАЙДН

В.Г.ИВАНОВ (ОИЯИ)

О программе ПАЙТОН

Г.В.МАЙЕР, Д.ХАММЕР (ГДР)

Автоматический перевод программ с одной версии ФОРТ-РАНА на другую.

IV. Обработка информации с искровых камер

П.ЗАНЕЛЛА (ЦЕРН, Швейцария)

Обработка данных экспериментов, использующих искровые камеры

В.Н.ШКУНДЕНКОВ (ОИЯИ)

Сканирующий автомат на электронно-лучевой трубке

И.А.ГОЛУТВИН, Ю.В.ЗАНЕВСКИЙ (ОИЯИ)

Методика искровых камер для работы на линии с ЭВМ

И.М.ИВАНЧЕНКО (ОИЯИ)

Организация системы программного обеспечения экспериментов на линии с ЭВМ

С.С.КИРИЛОВ (ОИЯИ)

Измерительный центр Лаборатории высоких энергий

В.А.НИКИТИН (ОИЯИ)

ЭВМ в опытах по упругому рассеянию РР и Р-ядро в интервале энергий 1-70 Гэв

А.Г.ГРАЧЕВ (ОИЯИ)

Система автоматической регистрации данных проволочных искровых камер на ферритах

V. Большие пузырьковые камеры

А.ЛЕВЕК (Сакле, Франция)

Проблемы измерения фотографий с больших пузырьковых камер

Б.П.КУЗНЕЦОВ (ИФВЭ)

О проекте пропан-фреоновой камеры СКАТ