

2.5. ПОКОЛЕНИЯ ЭВМ

Развитие современной вычислительной техники характеризуется процессом смены одного поколения промышленных средств обработки информации другим, архитектурно более совершенным. Первые три поколения – это поколения ЭВМ (Computer Generations), основанных на модели вычислителя, их архитектура относилась к классу SISD.

Годы появления ЭВМ третьего поколения – 1963–1965. Бурное развитие ЭВМ (точнее совершенствование их прежде всего по техническим параметрам) в последующие годы осуществлялось на фоне достижений в элементной базе. После появления первых интегральных схем (1959 г.) их возможности каждые 18 месяцев удваивались. В 1970 г. фирмой Intel был создан первый четырехразрядный микропроцессор Intel 4004. Архитектурные возможности современных микропроцессоров (см. 1.4) представляются фантастическими, если их соотнести с возможностями середины 60-х годов прошлого столетия. Именно архитектура микропроцессора определяет и архитектуру современной ЭВМ.

Интенсивный прогресс в разработке и производстве все более совершенных ЭВМ не позволяет зафиксировать достаточно длительный период времени, который характеризовался бы постоянством архитектурных свойств и параметров ЭВМ. Сейчас не говорят о поколениях ЭВМ вообще, а говорят лишь о генерациях машин в пределах семейств (например, семейства IBM PC).

Следует отметить и то, что на макроуровне все современные ЭВМ по архитектурным свойствам близки к машинам третьего поколения. Однако на микроуровне, т.е. на уровне функциональной структуры микропроцессора, отмечаются “революционные” решения: современный микропроцессор уже использует параллелизм при обработке информации, конвейеризацию вычислений и т.п.

Вычислительные средства четвертого и последующих поколений базируются на архитектурных решениях, диалектически отрицающих принципы конструирования ЭВМ. Такие средства, в частности, используют массовый параллелизм при обработке информации. Эти средства мы будем изучать в главах 3–12.

Поколения вычислительных средств будем характеризовать совокупностью показателей эффективности и архитектурных свойств (табл. 2.1). Для представления эффективности ЭВМ каждого поколения используем вектор

$$E = \{\omega, \nu, \vartheta, \sigma\}, \quad (2.5)$$

где ω – показатель производительности (в опер./с) или среднее число операций, выполняемых в секунду ЭВМ (процессором при работе с оперативной памятью); ν – емкость оперативной памяти (в битах); ϑ – среднее время безотказной работы ЭВМ (или средняя наработка до отказа, в часах); σ – “цена операций”, определяемая как отношение цены ЭВМ к ее показателю производительности (измеряется в долларах, отнесенных к опер./с). Ниже будем указывать достигнутый порядок значений компонентов вектора (2.5).

При описании архитектурных свойств ЭВМ в поле зрения будут: способы и режимы обработки информации; конструктивные особенности (состав устройств и структура); алгоритмы управления вычислительными процессами, т.е. $a(p(D))$ (см. 2.2); возможности программного обеспечения (языки, операционные системы и т.п.); элементная база, характер проектирования и производства ЭВМ.

Первое поколение ЭВМ. Годы появления: 1949–1951; $\omega = 10^5$ опер./с, $\nu = 10^6$ бит, $\vartheta = 1-10$ ч, $\sigma = 10$ дол./опер.·с⁻¹. Машины предназначались для последовательной обработки информации в монопрограммном режиме (были рассчитаны на то, что в любой момент времени в ЭВМ могла находиться только одна задача, представленная в виде последовательной программы).

Т а б л и ц а 2.1

| | | | | | | |
|---------------|--|--|---|---|-------------------------------|---------------------------------|
| Поколение ЭВМ | Годы появления | Возможность и пользования | Структура управления, $a(p(D))$ | Элементная и логико-конструктивные базы | Производство | |
| 1 | 1949–1951 | Одна задача, пассивный режим | Последовательный алгоритм, фиксированная структура | Лампы, компоненты | Индивидуальное | |
| 2 | 1955–1960 | Набор задач, пассивный режим | Последовательно-параллельный алгоритм, фиксированная структура | Полупроводники, вентили | Мелкосерийное | |
| 3 | 1963–1965 | Набор задач, активный режим | Последовательно-параллельный алгоритм, ручное изменение структуры | Интегральные схемы, группы вентиля | Серийное | |
| | | | | | | |
| Поколение ЭВМ | Программное обеспечение | Средства обмена | Параметры | | | |
| | | | Производит. ω , опер./с | Объем памяти ν , бит | Безотказность ϑ , ч | Цена 1 опер./с σ , долл. |
| 1 | Машинные языки | Устройства ввода-вывода (УВВ) | 10^5 | 10^6 | 1–10 | 10 |
| 2 | Алгоритмические языки, трансляторы, диспетчеры | УВВ, каналы связи | 10^6 | 10^7 | 10 | 10^0 |
| 3 | Система языков, операционные системы | УВВ, каналы связи, оптические устройства | 10^7 | 10^8 | 10^3 | 10^{-1} |

Состав вычислительных устройств и структура ЭВМ первого поколения – канонические (рис.2.1); разнообразие ЭВМ суть варианты технической реализации концептуальной ЭВМ Дж. фон Неймана. Алгоритм управления вычислительными процессами $a(p(D))$ был универсальным и последовательным, однако он был адаптирован под фиксированную структуру ЭВМ. Алгоритм закладывался в аппаратуру машины при ее конструировании и оставался неизменным в течение всего периода существования ЭВМ. (Изменения алгоритма ни в процессе решения задачи, ни перед ее решением были не допустимы).

Возможности программного обеспечения ЭВМ первого поколения примитивны: использовались, как правило, машинные языки (коды) для записи алгоритмов обработки

информации и стандартные подпрограммы (например, для вычисления элементарных функций).

Элементную базу ЭВМ первого поколения составили электронные лампы. Проектирование машин было “ручным”, а их производство – индивидуальным.

Второе поколение ЭВМ. Годы возникновения: 1955-1960; показатели эффективности: $\omega = 10^6$ опер./с, $\nu = 10^7$ бит, $\mathcal{A} = 10^2$ ч, $\sigma = 10^0$ дол./опер. $\cdot c^{-1}$. Способ обработки информации в ЭВМ оставался последовательным; однако допускалось и мультипрограммирование. *Мультипрограммирование* – это такой режим обработки данных, при котором ресурсы ЭВМ одновременно используются более чем одной программой. Особенностью мультипрограммирования для второго поколения ЭВМ являлось то, что реализация размещенного в машине набора (пакета) последовательных программ решения задач оставалась последовательной. Это было следствием того, что процессор (вычислитель) мог в любой момент времени выполнять только одну команду. Вместе с этим допускалась параллельная работа внешних устройств, они могли одновременно с процессором выполнять команды, принадлежавшие нескольким программам набора. Такой мультипрограммный режим обработки информации позволял повысить производительность ЭВМ (точнее снизить простой процессора) за счет устранения несоответствия между быстродействием процессора и скоростью работы внешних устройств (прежде всего устройств ввода и вывода информации).

Состав устройств и структура ЭВМ второго поколения не претерпели существенных модификаций. При этом следует заметить, что в процессор были введены структурные решения, ускорившие процесс реализации арифметических операций, а также схемы прерывания, обеспечившие работу ЭВМ в реальном масштабе времени (при управлении объектами, технологическими процессами, научными экспериментами и т.п.). Кроме того, в структуру ЭВМ закладывалась возможность подключения каналов связи для обеспечения пользователям теледоступа. Структура ЭВМ оставалась фиксированной, однако универсальный алгоритм управления вычислительными процессами $a(p(D))$ стал последовательно-параллельным (т.е. допускал некоторые совмещения операций, например, ввода и вывода с другими).

Программное обеспечение ЭВМ второго поколения приобрело многие функции, связанные с рациональным использованием машинных ресурсов и сервисом для пользователя. Появились диспетчеры – простейшие версии операционных систем; средства автоматизации программирования: языки для записи алгоритмов обработки информации (в частности, алгоритмические языки, например, АЛГОЛ 60, ФОРТРАН) и соответствующие трансляторы – программы для автоматического перевода с языка высокого уровня на машинный, сервисные программы, облегчающие редактирование и отладку пользовательских программ и т.п.

Основы элементной и логико-конструктивной баз ЭВМ второго поколения составляли соответственно полупроводниковые приборы и вентили. При разработке ЭВМ использовалось моделирование и внедрялись элементы автоматизированного проектирования (например, при создании печатных плат). Производство машин было мелкосерийным, частично механизированным.

Способ обработки информации в ЭВМ и первого и второго поколений был последовательным и процедурным. *Процедурная обработка* основывается на фиксированной системе команд, обладающей полнотой (для обеспечения универсальности ЭВМ), и заключается в представлении любого алгоритма преобразования информации в виде программы – последовательности команд ЭВМ. Следовательно, процедурный способ обработки данных характеризуется тем, что:

- 1) время выполнения программы существенно зависит от адекватности системы команд ЭВМ решаемой задаче;

- 2) каждый акт преобразования данных сопровождается накладными расходами на выборку команды из памяти и ее расшифровку.

Третье поколение ЭВМ. Годы зарождения: 1963–1965; показатели эффективности: $\omega = 10^7$ опер./с, $\nu = 10^8$ бит, $\vartheta = 10^3$ ч, $\sigma = 10^{-1}$ дол./опер. \cdot с $^{-1}$. При сохранении в основном последовательного способа обработки информации получили глубокое внедрение в архитектуру ЭВМ мультипрограммные режимы: пакетная обработка и разделение времени. *Пакетная обработка* (как и во втором поколении ЭВМ) заключалась в такой реализации набора последовательных программ, когда пользователь оказывался пассивным, лишенным возможности активно вмешиваться в вычислительные процессы. Режим разделения времени предоставил возможность нескольким пользователям осуществлять в интерактивном режиме реализацию своих последовательных программ.

Режим разделения времени предоставлял каждому пользователю вполне определенный квант процессорного времени в соответствии с принятыми (и обычно детерминированными) правилами. Машина одновременно эксплуатировалась несколькими пользователями (хотя и с распределением времени процессора между ними). При этом создавалось представление о том, что каждый пользователь постоянно имел в своем распоряжении ЭВМ с вполне определенной архитектурой и техническими характеристиками (конечно не превосходившими того, что было в реальной машине). Последнее обосновывало целесообразность употребления понятия “виртуальная машина” применительно к вычислительным ресурсам ЭВМ, выделенным пользователю. Итак, режим разделения времени позволял повысить производительность ЭВМ (в частности, уменьшить простой процессора) путем устранения несоответствия между быстродействием процессора и скоростью работы пользователей ЭВМ.

Состав вычислительных устройств в машинах третьего поколения был дополнен спецпроцессорами, оптическими устройствами ввода-вывода информации, накопителями (на магнитных лентах и дисках) большой емкости и др. Конструктивное оформление устройств – в виде модулей. Модули, одинаковые по функциональному назначению, могли отличаться друг от друга по техническим характеристикам.

Структурной особенностью ЭВМ третьего поколения являлось то, что они имели единый ресурс, через который осуществлялись взаимодействия между (центральным) процессором и остальными устройствами – модулями: спецпроцессорами, внешней памятью, устройствами ввода-вывода информации и т.п. В качестве такого ресурса выступали селекторный и мультиплексный каналы, общая шина и т.п.

Допускалось ручное формирование таких конфигураций ЭВМ третьего поколения, которые по своей архитектуре, структуре и составу были наиболее адекватны области применения (структурам и характеристикам алгоритмов решаемых задач). В частности, была заложена возможность наращивать производительность ЭВМ путем замены менее производительного процессора более производительным.

В ЭВМ третьего поколения наряду с процедурным способом вычислений начали внедряться *элементы структурного способа*. Суть последнего способа в общем случае заключается в возможности автоматической настройки таких структурных схем из устройств ЭВМ, которые были бы адекватны реализуемым алгоритмам обработки информации. В третьем поколении допускались модификации системы команд ЭВМ путем замены одной модели центрального процессора на другую модель, кроме того, и за счет микропрограммирования. Последнее основывается на представлении любой операции ЭВМ в виде микропрограммы и на введении в структуру ЭВМ микропрограммного управляющего запоминающего устройства. Модификация системы команд требует введения новых интерпретирующих микропрограмм и сводится к перепрограммированию управляющего ЗУ.

Для третьего поколения был характерен последовательно-параллельный алгоритм управления вычислительными процессами $a(p(D))$, он обладал возможностью адаптации под конфигурации ЭВМ, порождавшиеся вручную.

Программное обеспечение машин третьего поколения было представлено спектром операционных систем и систем автоматизации программирования. Операционные системы обеспечивали функционирование ЭВМ в основных режимах обработки информации (среди которых: пакетная обработка, разделение времени, работа в реальном масштабе времени). Системы программирования включали универсальные и проблемно-ориентированные языки и соответствующие трансляторы (компиляторы, интерпретаторы), средства отладки и редактирования программ и другие программные средства сервиса. В состав программного обеспечения включался и комплекс средств технического обслуживания ЭВМ (наладочные, контрольные и диагностические тест-программы).

Элементная база ЭВМ третьего поколения опиралась на интегральную технологию. Комплекты интегральных схем (включавшие микропроцессорные БИС) позволили существенно упростить проектирование ЭВМ; широкое применение получили системы автоматизированного проектирования (САПР). Производство ЭВМ стало серийным и автоматизированным. Машины третьего поколения выпускаются в виде семейств (например, IBM, ЕС ЭВМ, HP, DEC, СМ ЭВМ, “Электроника”).

Итак, любая ЭВМ 1-3 поколений представлялась как комплекс аппаратурно-программных средств. Распределение стоимости между процессором и оперативной памятью (П&ОП), устройствами ввода-вывода (Вв&Выв) информации и системным программным обеспечением (ПО) ЭВМ отражено на рис. 2.3.

Наблюдались относительный рост стоимости системного (программного) обеспечения и, следовательно, относительное уменьшение стоимости оборудования в пределах стоимости ЭВМ в целом. При этом имело место и абсолютное увеличение объемов программного обеспечения ЭВМ от поколения к поколению; для первого, второго, третьего поколений ЭВМ объемы соответственно были равны $4 \cdot 10^4$, $6 \cdot 10^5$, $6 \cdot 10^6$ Кбайт. Для ЭВМ третьего поколения затраты труда на разработку системного программного обеспечения составили 5000 человеко-лет, а стоимость программного обеспечения оценивалась в 50 млн. долл.

| Поколения ЭВМ | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 |
| П&ОП 60% | П&ОП 30% | Вв&Выв 15% |
| Вв&Выв 20% | Вв&Выв 30% | ПО 80% |
| ПО 20% | ПО 40% | |

Рис. 2.3. Распределение стоимости между компонентами ЭВМ

Что же сейчас происходит в сфере ЭВМ? ЭВМ остались, их не вытеснили вычислительные средства с не-фон-неймановской архитектурой. Об успехах в области ЭВМ можно судить исходя из возможностей семейства IBM PC. Однако следует

все же подчеркнуть, что архитектура современной ЭВМ имеет заметные отклонения от канонической фон-неймановской. Даже в микропроцессор внедрены новые архитектурные решения, например, конвейеризация архитектуры и векторизация вычислений.