

2.10. ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ ЭВМ. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Если исходить из глобального трактования архитектуры ЭВМ (см. 2.3), то легко заметить, что первые три поколения ЭВМ полностью основываются на модели вычислителя (см. 2.2), на принципах, положенных в ее основу. Архитектуры ЭВМ, принадлежащих второму и даже третьему поколениям, суть эволюционные модификации архитектуры Дж. фон Неймана.

Развитие средств обработки информации, направленное на достижение высокой производительности, надежности и живучести натолкнулось в рамках модели вычислителя на серьезные препятствия. Эти препятствия обусловлены принципами, положенными в основу конструкции вычислителя.

2.10.1. Анализ возможностей совершенствования ЭВМ

Последовательная обработка информации на ЭВМ

Эволюционное совершенствование средств вычислительной техники связано с постоянной борьбой за увеличение производительности, следовательно, и за наращивание возможностей памяти, и повышение надежности, и за улучшение технико-экономических показателей. Имеются следующие способы повышения производительности ЭВМ при обработке информации:

- а) совершенствование и разработка алгоритмов решения задач;
- б) создание эффективных систем программирования и оптимизация программ;
- в) повышение быстродействия и улучшение физико-технических свойств элементов и внутримашинных информационных каналов;
- г) улучшение алгоритмов, выполнения машинных операций и соответствующая модификация структуры процессора;
- д) модернизация алгоритма управления вычислительными процессами и канонической структуры ЭВМ.

Способы а) и б) основываются: на фундаментальных достижениях математики; на тщательном анализе исходной задачи; на выборе методов и алгоритмов ее решения, наиболее адекватных структуре и количественным характеристикам как самой задачи, так и ЭВМ; на скрупулезном программировании, в максимальной степени учитывающем архитектурные возможности машины. Эти способы целесообразно применять для уникальных машин, ориентированных на решение специальных классов задач. Они дают весьма проблематичный эффект для ЭВМ широкого назначения.

Способ в) опирается на возможности использования новых физических явлений и материалов и совершенствования технологии производства БИС. В качестве базы для создания перспективных элементов можно указать на квантовую электронику (см. 1.4).

Для современной микроэлектроники известны оценки, полученные на основании принципа неопределенности Гейзенберга и конечности скорости света ($299792 \pm 0,4$ км/с, в вакууме): время обращения к памяти в 2 бита равно 10^{-21} с для наибольшей допустимой плотности вещества. Это значение времени увеличивается с ростом емкости памяти. Для современной кремневой технологии изготовления БИС достигнуто значение произведения мощности рассеивания на время переключения, не превышающее 10^{-10} Дж. Теоретический предел рассеивания тепловой энергии равен 10^{-12} Дж. Эта величина ограничивает

плотность упаковки и быстродействие БИС. Проблема теплоотвода лимитирует время переключения элемента (при кремневой технологии) значением 10^{-11} с. Время переключения элементов на современных пленках оценивается величинами от 10^{-10} с до 10^{-11} с.

Следовательно, указанные выше обстоятельства не позволяют в условиях и современной технологии БИС, и перспективных некремниевых технологий (например, на основе углеродных транзисторов) существенно повысить производительность (до 10^{15} опер./с) последовательных ЭВМ за счет увеличения частотных возможностей и улучшения физико-технических свойств элементной базы. Кроме того, непрерывные успехи в микроминиатюризации позволяют (и будут позволять, видимо, до 2040 г.) увеличивать число транзисторов на чипе в 2 раза каждые 18 месяцев. Число транзисторов на кристалле уже сейчас достигает 10^8 . Однако, эффективно “распорядиться” таким большим числом транзисторов не возможно, если стоять на платформе последовательной обработки информации. Именно поэтому современные микропроцессорные БИС уже впитали в себя не-фон-неймановские или параллельные архитектуры средств обработки информации.

Способ г) повышения производительности ЭВМ связан с поиском форм представления чисел и алгоритмов, увыстряющих реализацию машинных операций. При этом следует учитывать, что основные логические операции (типа сравнения) дальнейшему ускорению не поддаются. Алгоритмы, дающие заметное ускорение, для разных арифметических операций существенно различаются между собой, что приводит к техническим сложностям в реализации процессора. Переход на эффективные алгоритмы реализации операций может обеспечить в современных условиях не более, чем десятикратный выигрыш в быстродействии ЭВМ. При этом следует заметить, что предельные варианты модификации алгоритмов выполнения арифметических операций достигаются при конвейерных вычислениях. Но, если использовать последнее, то будет создана не ЭВМ, а вычислительная система с не-фон-неймановской архитектурой.

Способ д) повышения производительности средств обработки информации основывается на заметной модернизации алгоритма управления вычислительными процессами и, следовательно, канонической функциональной структуры ЭВМ. Наиболее яркая новация – это доведение последовательно-параллельного алгоритма управления и структуры вычислительного средства до возможности производить конвейерные вычисления. При конвейеризации процесс обработки данных состоит из нескольких этапов, причем над различными частями данных допускается одновременная реализация этих этапов. Последнее достигается предельной трансформацией канонической последовательной структуры ЭВМ в конвейер, состоящий из специализированных вычислителей. Следовательно, конвейеризация вычислений основывается на значительном отходе от модели одиночного вычислителя и от архитектуры ЭВМ Дж. фон Неймана и закладывает фундамент для новой (параллельной) модели.

Фиксированность структуры ЭВМ

Отсутствие возможности автоматического изменения структуры не позволяет в полной мере адаптировать ЭВМ к области применения (подобрать адекватную структуру и режим обработки), учесть особенности и характеристики задач при их программировании и т.п. Жесткий алгоритм управления вычислительными процессами вынуждает создавать программы решения задач, в которых фиксированы последовательность выполнения операций и порядок использования данных. Такая фиксированность сохраняется при повторных решениях задач даже с другими массивами данных (независимо от их объемов и структур, связанных с физической сущностью задач). Жесткость структуры ЭВМ в ряде случаев приводит к значительным трудностям

программирования задач и не позволяет использовать эффективные методы их решения. Говоря иначе, фиксированность структуры ЭВМ однозначно приводит к процедурному способу обработки информации (см. 2.5), вариации в ходе реализации программ ограничены возможностями команд условных переходов.

Неоднородность ЭВМ

Существовавшее в 40-х годах двадцатого столетия представление о методах обработки информации и об организации вычислительных процессов, острая потребность в средствах автоматизации вычислителей, уровни развития электроники и техники для вычислений, а также экономические ограничения однозначно определили структуру и состав приемлемого средства автоматической обработки данных – ЭВМ Дж. фон Неймана. Конструктивный принцип неоднородности в машине Дж. фон Неймана канонизирован на нескольких уровнях: структура ЭВМ в целом нерегулярна, а состав гетерогенный: каждое из пяти устройств (рис.2.1) имеет свое функциональное назначение и свою логическую организацию, основывается на специфических принципах, обладает своими особенностями технической реализации. В пределах всей конфигурации ЭВМ однородность достигается лишь фрагментарно (например, оперативная память допускает однородную реализацию). Построение неоднородных ЭВМ находится в резком противоречии с тенденцией развития микро- и нанoeлектроники.

Таким образом, путь эволюционного совершенствования средств вычислительной техники на основе модели вычислителя (принципов последовательной обработки информации, фиксированности структуры и конструктивной неоднородности) не может привести к кардинальному улучшению их технических характеристик.

Замечание

Здесь уместно обратить внимание на ниже следующий факт. Современная ЭВМ – это аппаратно-программный комплекс (Computer = Hardware & Software). Необходимость решения на ЭВМ все более сложных задач требовала от математиков-вычислителей и программистов создания изощренных вычислительных методов и изящного (и вместе с тем трудоемкого) программирования. В качестве примеров сложных задач, решенных на ЭВМ (например, БЭСМ-6), могут служить проблемы ядерной энергетики и космоса. Математики и программисты при решении сложных задач на ЭВМ совершали “интеллектуальные подвиги”. С другой стороны, конструкторы были вынуждены отыскивать также утонченные решения с целью повышения производительности ЭВМ. Итак, научно-технический прогресс требовал от математиков, программистов и инженеров, использующих модель вычислителя и функциональную структуру ЭВМ Дж. фон Неймана, напряженной и все возрастающей умственной нагрузки. Из сказанного следует, что успех решения сложных задач определяется возможностями триады: мозг специалиста, аппаратура и программное обеспечение ЭВМ (Greyware & Hardware & Software).

Первый компонент триады (Greyware) “породил” новые архитектурные решения для средств обработки информации. Был найден кардинальный путь преодоления ограничений, присущих ЭВМ. Этот путь связан с диалектическим отрицанием принципов модели вычислителя.

2.10.2. Архитектурные особенности параллельных вычислительных систем

На современном этапе развития микроэлектроники и в перспективе технико-экономически оправдано создание средств обработки информации, функционирование которых должно быть основано на имитации работы не одиночных вычислителей, а

коллективов (ансамблей) вычислителей. Такие средства обработки информации получили название *вычислительных систем* (ВС). Средства, использующие конвейерный способ обработки информации, являются не только пределом в эволюционном развитии ЭВМ Дж. фон Неймана, но также и простейшим классом вычислительных систем.

Итак, первые два члена архитектурного ряда в области автоматических средств обработки информации – это ЭВМ (во всех своих модификациях трех поколений) и конвейерные ВС; виден и третий член – параллельные ВС.

Параллельные ВС относят к четвертому, пятому и последующим поколениям средств обработки информации. Вообще говоря, параллельные вычислительные системы различаются по своей архитектуре и функциональной структуре, по способам обработки информации и т.п. Имеются классификации параллельных ВС и в каждом классе выделяют поколения ВС; более того, говорят даже о поколениях ВС, выпускаемых той или иной фирмой. Ниже мы отметим самые общие архитектурные возможности ВС, относящихся к средствам вычислительной техники четвертого и пятого поколений (следующим за первым, вторым и третьим поколениями ЭВМ).

Для количественной характеристики поколений вычислительных средств используем вектор:

$$\{\Omega, V, \Theta, \Sigma\},$$

где Ω – показатель производительности (в опер./с) или среднее число операций, выполняемых в секунду всеми процессорами ВС; V – емкость оперативной памяти ВС (в битах); Θ – среднее время (в час.) безотказной работы ВС в целом; Σ – “цена операции”, рассчитываемая как отношение цены ВС к показателю производительности (в долларах, отнесенных к опер./с).

Четвертое поколение вычислительных средств (первое поколение ВС). Годы появления: 1964–1972; $\Omega \geq 10^8$ опер./с, $V \geq 10^9$ бит, $\Theta \geq 10^4$ ч, $\Sigma \leq 10^{-2}$ дол./опер.с⁻¹.

Появление четвертого поколения (fourth-generation computer) связано с качественно новыми требованиями к реализации вычислительного процесса при переходе от решения одной задачи (набора задач) к решению сложной задачи-системы. Задача-система представляет собой совокупность задач, связанных друг с другом. Она не допускает представления в виде набора простых задач и может быть решена лишь целиком и при условии применения вычислительных средств с не-фон-неймановской структурой (построенных на основе модели коллектива вычислителей). Алгоритм управления вычислительными процессами – это универсальный параллельно-последовательный алгоритм с автоматическим изменением структуры. Структура вычислительных средств может автоматически изменяться в зависимости от структуры и параметров решаемой задачи.

Возможности программного обеспечения средств четвертого поколения достаточно обширны: это совокупности операционных систем, системы (расширяемых) языков параллельного программирования, пакеты прикладных параллельных программ и сервисные программные средства. Характерной особенностью стало то, что многие функции программного обеспечения ЭВМ третьего поколения, получили аппаратную реализацию. Элементную базу ВС составили большие интегральные схемы (микропроцессоры и кристаллы памяти).

Пятое поколение вычислительных средств (второе поколение ВС). Годы возникновения: восьмидесятые 20 столетия; $\Omega \geq 10^9$ опер./с, $V \geq 10^{10}$ бит, $\Theta \geq 10^5$ ч, $\Sigma \leq 10^{-3}$ дол./опер.с⁻¹.

Пятое поколение вычислительных средств (fifth-generation computer) связано с решением еще более сложных системных задач, известных под общим названием

“проблем искусственного интеллекта”. Для решения таких задач требуются вычислительные средства, способные обеспечить функционирование самоорганизующихся алгоритмов, так что структура вычислительных средств должна допускать изменения универсального алгоритма управления процессом вычислений в течение времени решения задачи.

В последующих главах будет изучаться архитектура вычислительных систем.