

ТЕМА 1. ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАЛЛЕЛИЗМА

Рассматриваемые вопросы.

1. Эволюция параллелизма и причины модификации машин.
2. Современные параллельные вычислительные системы.

Увеличение быстродействия вычислительной техники ведется по двум направлениям:

- 1) совершенствование элементной базы;
- 2) использование новых решений в архитектуре компьютера (в том числе параллельная обработка).

Существует две разновидности параллелизма:

- конвейерная обработка;
- простой (собственно) параллелизм.

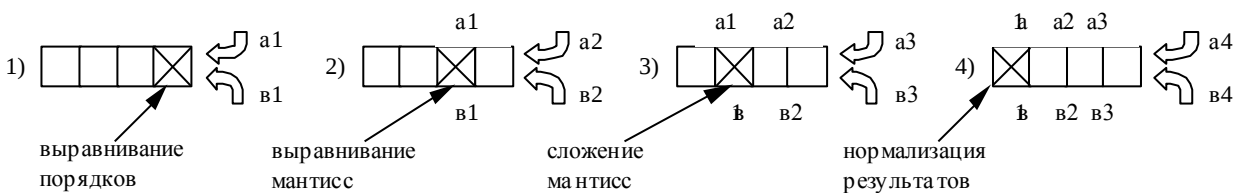
Приведем пример **простого параллелизма**. Пусть есть устройство, которое выполняет одну операцию за единицу времени. Параллельная обработка будет означать, что 1000 операций N независимыми устройствами будет вы-

полняться за $\frac{1000}{N}$ единиц времени.

Конвейерную обработку рассмотрим на примере операции сложения. Пусть имеется два числа a и b. Обычный порядок выполнения сложения машиной следующий (рис. 1.1):

- 1) выравнивание порядков;
- 2) выравнивание мантисс;
- 3) сложение мантисс;
- 4) нормализация результатов.

Когда конвейер загружен полностью ввод и вывод элементов осуществляется одновременно и создается впечатление, что происходит параллельная обработка.



- 5) Конвейер загружен полностью, вход и выход элементов происходит одновременно.

Рис. 1.1 – Пример работы конвейера в АЛУ

1.1. ЭВОЛЮЦИЯ ПАРАЛЛЕЛИЗМА И ПРИЧИНЫ МОДИФИКАЦИИ МАШИН

Эволюция параллелизма проходила по нескольким направлениям.

I направление: совмещение работы нескольких устройств.

1. В середине 40-х годов Джон фон Нейман описал структуру вычислительной машины (рис. 1.2).

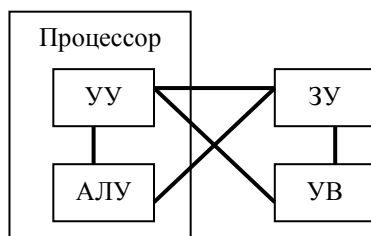


Рис. 1.2 – Архитектура фон Неймана:

УУ- устройство управления; АЛУ – арифметико-логическое устройство; ЗУ – запоминающее устройство; УВ – устройства ввода-вывода.

Недостатком данной архитектуры было то, что при осуществлении операций ввода/вывода, процессор простаивал. Поэтому в середине 50-х годов в состав ЭВМ включили независимые каналы ввода-вывода, которые позволяли совмещать работу центрального процессора (ЦП) и устройств ввода-вывода.

2. Теперь недостаток заключался в том, что выполнение следующей команды АЛУ осуществлялось только после отсылки результата предыдущей команды в ЗУ. Сделали два независимых канала: один для потока данных, второй для потока команд. Поток данных и потоки команд стали независимыми, не стало ожиданий.

II направление: введение конвейерной обработки.

1. Произвели распараллеливание УУ, в нем организовали конвейер команд. Каждая часть конвейера стала выполнять свою специфическую функцию (рис. 1.3). В это же время ввели опережающий просмотр команд и данных, с предварительной подготовкой к выполнению операций.

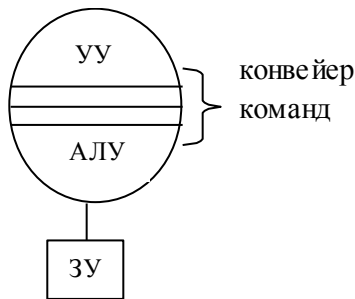


Рис. 1.3

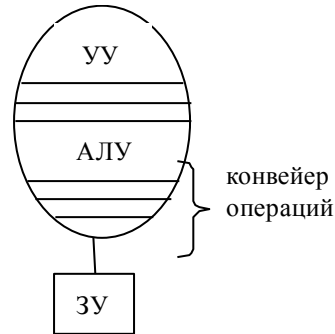


Рис. 1.4

2. Организовали конвейер в АЛУ: распараллелили выполнение отдельных этапов арифметических операций (рис. 1.4).

III направление: распараллеливание памяти.

После введения конвейерной обработки обратились к распараллеливанию памяти, которая была разделена на блоки, к каждому из которых можно было обращаться отдельно.

IV направление: мультипрограммный режим.

Введение рассмотренных усовершенствований привело к проблемам, связанным с монопользованием (распараллеленные устройства простаивали). Поэтому ввели мультипрограммный режим: одновременное выполнение нескольких задач.

В это же время управление распределением ресурсов между задачами и управление переходом от одной задачи к другой было возложено на ОС.

V направление: многопроцессорные ЭВМ.

Введение мультирежима привело к сильному увеличению оперативной памяти, которая при наличии одного процессора простаивала. Поэтому сделали многопроцессорные ЭВМ. С этого момента архитектуру ЭВМ перестали называть фонеймоновской.

VI направление: распределенная память.

При увеличении числа процессоров «узким местом» стала коммутационная сеть, связывающая процессоры с памятью (рис.1.5). Стали делать распределенную память. Возникла проблема долгой связи между отдельными участками памяти (на рис.1.6 эта связь показана пунктирной линией). Был введен алгоритм, по которому могут взаимодействовать только соседние участки памяти, таким образом, проблема времени была снята.

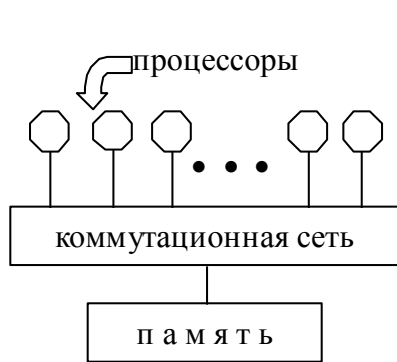


Рис. 1.5

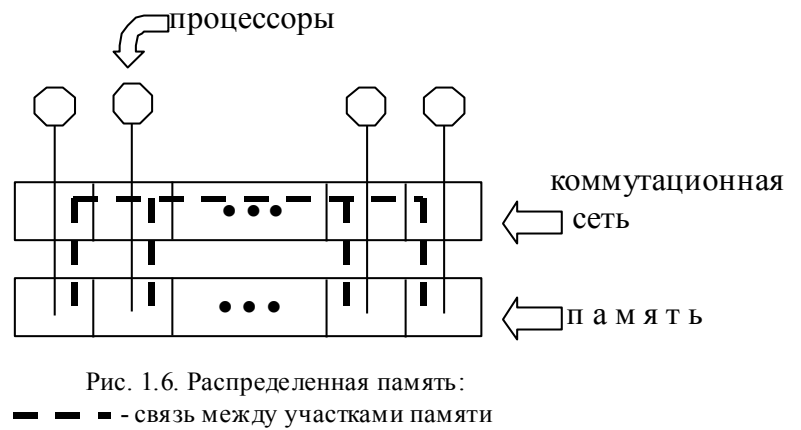


Рис. 1.6. Распределенная память:

— — — - связь между участками памяти

VII направление: параллельная обработка памяти (векторно-конвейерные машины).

Следующий этап эволюции это параллельная обработка памяти. Были созданы векторно-конвейерные машины с вертикальной, горизонтальной или ортогональной (совмещение вертикальной и горизонтальной) памятью (рис. 1.7, рис. 1.8). Так же стали делать память, над каждым битом которой работает свой однобитовый процессор (рис. 1.9). В это же время была создана трехмерная память (рис. 1.10).

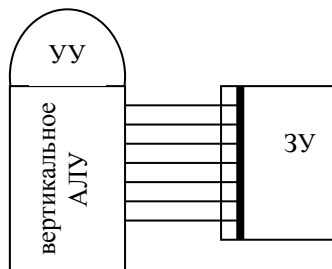


Рис. 1.7. Одновременно доступен однобитовый вертикальный срез памяти (слово), размер слова может быть, например, 256 бит.

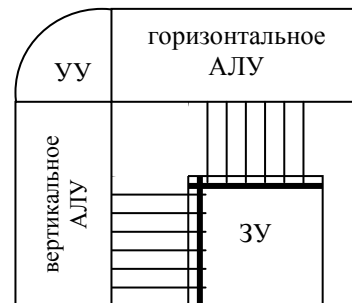


Рис. 1.8. Одновременно доступны, как вертикальный, так и горизонтальный разрядные срезы памяти.

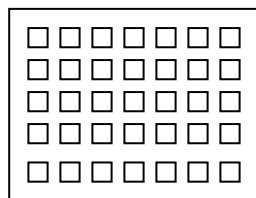


Рис. 1.9.

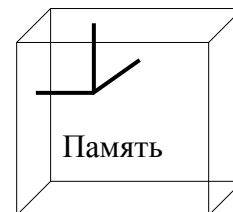


Рис. 1.10. Трехмерная память

III направление: параллельный процессор (рис. 1.11).

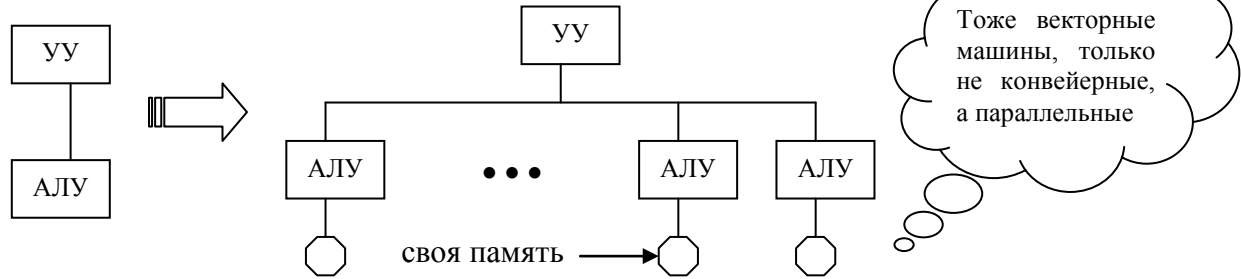


Рис. 1.11

IX направление: нейрокомпьютеры.

В нейрокомпьютерах несколько отдельных элементарных машин соединены коммутационной сетью, образуя единое целое (рис. 1.12).

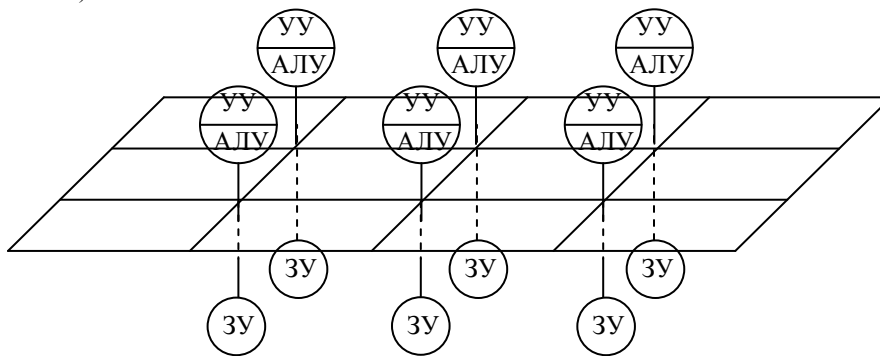


Рис. 1.12.

X направление: аналоговые машины.

Обработка информации построена по правилам аналоговых (непрерывных) преобразований, а не дискретных, как в обычных ЭВМ.

XI направление: оптические машины.

В качестве элементной базы используются не электронные микросхемы, а схемы, работающие за счет использования законов квантовой механики. Предел прогресса элементной базы – скорость света. Дальнейшее увеличение производительности возможно только за счет введения параллелизма.

Обобщая сказанное, можно отметить, что когда система улучшалась, всегда оставался блок, который отставал, и стремление внести баланс внутри машины приводило к эволюции и новой архитектуре.

1.2. СОВРЕМЕННЫЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

В настоящее время развитие параллельной вычислительной техники идет по четырем направлениям:

- 1) векторно-конвейерные компьютеры;
- 2) массивно-параллельные компьютеры с распределенной памятью;
- 3) параллельные компьютеры с общей памятью;
- 4) комбинированные компьютеры.

1. Векторно-конвейерные компьютеры. Существует две особенности таких компьютеров:

- они имеют конвейерные функциональные устройства;
- набор векторных инструкций в системе команд.

В отличие от традиционного подхода векторные команды оперируют целыми массивами независимых данных, что позволяет эффективно загружать доступные конвейеры.

Типичным представителем является линия векторно-конвейерных компьютеров CRAY фирмы Cray Research.

2. Массивно-параллельные компьютеры с распределенной памятью.

Идея построения компьютеров этого класса следующая: берутся серийные микропроцессоры, каждый снабжается своей локальной памятью и все это соединяется посредством некоторой коммуникационной среды.

У такой архитектуры несколько достоинств:

- если нужна высокая производительность, можно добавить процессоры;
- если ограничены финансы или заранее известна требуемая вычислительная мощность, легко подобрать оптимальную конфигурацию.

Недостатком архитектуры является то, что межпроцессорное взаимодействие в компьютерах этого класса идет намного медленнее, чем локальная обработка данных самими процессорами, поэтому написать эффективную параллельную программу для таких компьютеров очень сложно.

К этому классу относятся компьютеры IntelParagon, IBM SP1, IBM SP2, Parsytec, Cray T3D/T3E, а также компьютерные сети.

3. Параллельные компьютеры с общей памятью. Оперативная память в таких компьютерах разделяется несколькими одинаковыми процессорами, это снимает проблемы предыдущего класса, но добавляется следующее: число процессоров имеющих доступ к общей памяти нельзя сделать большим. К данному направлению относятся многопроцессорные SMP-компьютеры, отдельные узлы компьютеров HP Exemplar и Sun StarFire.

4. Комбинированные компьютеры. Представляют собой комбинацию предыдущих трех, когда из нескольких процессоров (традиционных или векторно-конвейерных) и общей для них памяти формируется вычислительный узел. Если полученной вычислительной мощности недостаточно, то объединяют несколько узлов, высокоскоростными каналами. Подобную архитектуру называют кластерной. По такому принципу построены CRAY SV1, HP Exemplar, Sun StarFire, NEC SX-5, IBM SP2. Именно это направление является наиболее перспективным в настоящее время.

Приведем характеристики некоторых современных параллельных компьютеров.

1. CRAY T932, векторно-конвейерный компьютер фирмы CRAY Research Inc. (в настоящее время это подразделение Silicon Graphics Inc.), впервые выпущенный в 1996 году. Максимальная производительность одного процессора равна почти 2 млрд. операций в секунду, оперативная память наращивается до 8Гб, дисковое пространство до 256Тб (*Тера*). Компьютер в максимальной конфигурации содержит 32 подобных процессоров, работающих над единой общей памятью, поэтому максимальная производительность всей вычислительной системы составляет более 60 млрд. операций в секунду.

2. IBM SP2, массивно-параллельный компьютер фирмы IBM (иногда такие компьютеры называют компьютерами с массовым параллелизмом). В настоящее время строится на основе стандартных микропроцессоров PowerPC 604e или POWER2 SC, соединенных между собой через высокоскоростной коммутатор, причем каждый имеет свою локальную оперативную память и дисковую подсистему. Характеристики этих микропроцессоров известны и особых удивлений не вызывают, однако в рамках одной SP системы их может быть объединено очень много. В частности, максимальная система, установленная в Pacific Northwest National Laboratory (Richland, USA), содержит 512 процессоров. Исходя из числа процессоров, можно представить суммарную мощность всей вычислительной системы...

3. HP Exemplar, компьютер с кластерной архитектурой от Hewlett-Packard Inc. В частности, модель V2250 (класс V) построена на основе микропроцессора PA-8200, работающего с тактовой частотой 240MHz. До 16 процессоров можно объединить в рамках одного узла с общей оперативной памятью до 16Гб. В свою очередь узлы в рамках одной вычислительной системы соединяются между собой через высокоскоростные каналы передачи данных.

4. ASCI RED, детище программы Accelerated Strategic Computing Initiative, - это самый мощный на настоящий момент (на 19.11.98) компьютер. Построенный по заказу Министерства энергетики США, он объединяет 9152 (!) процессоров Pentium Pro, имеет 600Гб суммарной оперативной памяти и общую производительность 1800 миллиардов операций в секунду. Человеку потребовалось бы 57000 лет, чтобы даже с калькулятором выполнить все те операции, которые этот компьютер делает за 1 секунду!