

Лекция 6. Многомашинные и многопроцессорные вычислительные системы

1. Вычислительные системы

Вычислительная система — это совокупность одного или нескольких компьютеров или процессоров, программного обеспечения и периферийного оборудования, организованная для совместного выполнения информационно-вычислительных процессов.

В вычислительной системе компьютер может быть один, но агрегированный с многофункциональным периферийным оборудованием. Стоимость периферийного оборудования часто во много раз превосходит стоимость компьютера. В качестве распространенного примера одномашинной ВС можно привести систему телеобработки информации. Но все же классическим вариантом ВС является многомашинный и многопроцессорный варианты.

Первые ВС создавались с целью увеличить быстродействие и надежность работы путем параллельного выполнения вычислительных операций. Как это ни парадоксально, «тормозом» в дальнейшем увеличении быстродействия компьютера является конечная скорость распространения электромагнитных волн — скорость света — около 300 000 км/с. Время распространения сигнала между элементами ВС может значительно превышать время переключения электронных схем. Поэтому строго последовательная модель выполнения операций, характерная для классической структуры компьютера — структуры фон Неймана — не позволяет существенно повысить быстродействие ВС.

Параллелизм выполнения операций существенно повышает быстродействие системы; он же может также значительно повысить и надежность (при отказе одного компонента системы его функции может взять на себя другой) и достоверность функционирования системы, если операции будут дублироваться, а результаты их выполнения сравниваться или мажоритироваться.

Для современных ВС, за исключением суперкомпьютеров, критерии обоснования их необходимости уже несколько иные — важно само информационное обслуживание пользователей, сервис и качество этого обслуживания. Для суперкомпьютеров, представляющих собой многопроцессорные ВС, важнейшими показателями являются их производительность и надежность.

Вычислительная система может строиться на основе целых компьютеров — **многомашинная ВС**, либо отдельных процессоров — **многопроцессорная ВС**.

Вычислительные системы бывают:

- однородные;
- неоднородные.

Однородная ВС строится на основе однотипных компьютеров или процессоров, позволяет использовать стандартные наборы программных средств, типовые протоколы (процедуры) сопряжения устройств. Их организация значительно проще, облегчается обслуживание систем и их модернизация.

Неоднородная ВС включает в свой состав различные типы компьютеров или процессоров. При построении системы приходится учитывать их различные технические и функциональные характеристики, что существенно усложняет создание и обслуживание таких систем.

Вычислительные системы работают:

- в оперативном режиме (online);
- неоперативном режиме (offline).

Оперативные системы функционируют в реальном масштабе времени, в них реализуется оперативный режим обмена информацией — ответы на запросы поступают незамедлительно.

В *неоперативных* ВС допускается режим «отложенного ответа», когда результаты выполнения запроса можно получить с некоторой задержкой (иногда даже в следующем сеансе работы системы).

Различают ВС с *централизованным* и *децентрализованным* управлением. В первом случае управление выполняет выделенный компьютер или процессор, во втором — компоненты равноправны и могут брать управление на себя.

Кроме того, ВС могут быть:

- *территориально-сосредоточенными* (все компоненты размещены в непосредственной близости друг от друга);
- *распределенными* (компоненты могут располагаться на значительном расстоянии, например, вычислительные сети);
- *структурно одноуровневыми* □ (имеется лишь один общий уровень обработки данных);
- *многоуровневыми* (иерархическими) структурами. В иерархических ВС машины или процессоры распределены по разным уровням обработки информации, некоторые машины (процессоры) могут специализироваться на выполнении определенных функций.

Наконец, как уже указывалось, ВС делятся:

- на одномашинные; □ □
- многомашинные; □ □
- многопроцессорные. □ □

2. Многомашинные и многопроцессорные ВС

Многомашинные вычислительные системы — это системы, содержащие несколько одинаковых или различных, относительно самостоятельных компьютеров, связанных между собой через устройство обмена информацией, в частности, по каналам связи.

В последнем случае речь идет об информационно-вычислительных сетях.

В *многомашинных* ВС каждый компьютер работает под управлением своей операционной системы (ОС). А поскольку обмен информацией между машинами выполняется под управлением ОС, взаимодействующих друг с другом, динамические характеристики процедур обмена несколько ухудшаются (требуется время на согласование работы самих ОС). Информационное взаимодействие компьютеров в многомашинной ВС может быть организовано на уровне:

- процессоров;
- оперативной памяти (ОП);
- каналов связи.

При непосредственном взаимодействии процессоров друг с другом информационная связь реализуется через регистры процессорной памяти и требует наличия в ОС весьма сложных специальных программ.

Взаимодействие на уровне ОП сводится к программной реализации общего поля оперативной памяти, что несколько проще, но также требует существенной модификации ОС. Под общим полем имеется в виду равнодоступность модулей памяти: все модули памяти доступны всем процессорам и каналам связи.

На уровне каналов связи взаимодействие организуется наиболее просто, и может быть достигнуто внешними по отношению к ОС программами-драйверами, обеспечивающими доступ от каналов связи одной машины к внешним устройствам других (формируется общее поле внешней памяти и общий доступ к устройствам ввода-вывода).

Ввиду сложности организации информационного взаимодействия на 1-м и 2-м уровнях в большинстве многомашинных ВС используется 3-й уровень, хотя и динамические характеристики (в первую очередь быстродействие), и показатели надежности таких систем существенно ниже.

Многопроцессорные вычислительные системы — это системы, содержащие несколько процессоров, информационно взаимодействующих между собой либо на уровне регистров процессорной памяти, либо на уровне оперативной памяти.

Последний тип взаимодействия принят в большинстве случаев, так как организуется значительно проще и сводится к созданию общего поля оперативной памяти для всех процессоров. Общий доступ к внешней памяти и к устройствам ввода-вывода обеспечивается обычно через каналы ОП. Важным является и то, что многопроцессорная вычислительная система работает под управлением единой операционной системы, общей для всех процессоров. Это существенно улучшает динамические характеристики ВС, но требует наличия специальной, весьма сложной операционной системы.

Быстродействие и надежность многопроцессорных ВС по сравнению с многомашинными, взаимодействующими на 3-м уровне, существенно повышаются, во-первых, ввиду ускоренного обмена информацией между процессорами, более быстрого реагирования на ситуации, возникающие в системе; во-вторых, вследствие большей степени резервирования устройств системы (система сохраняет работоспособность, пока работоспособны хотя бы по одному модулю каждого типа устройств).

Типичным примером массовых многомашинных ВС могут служить *компьютерные сети*, примером многопроцессорных вычислительных систем (МПВС) — *суперкомпьютеры*.

3. Высокопараллельные вычислительные системы

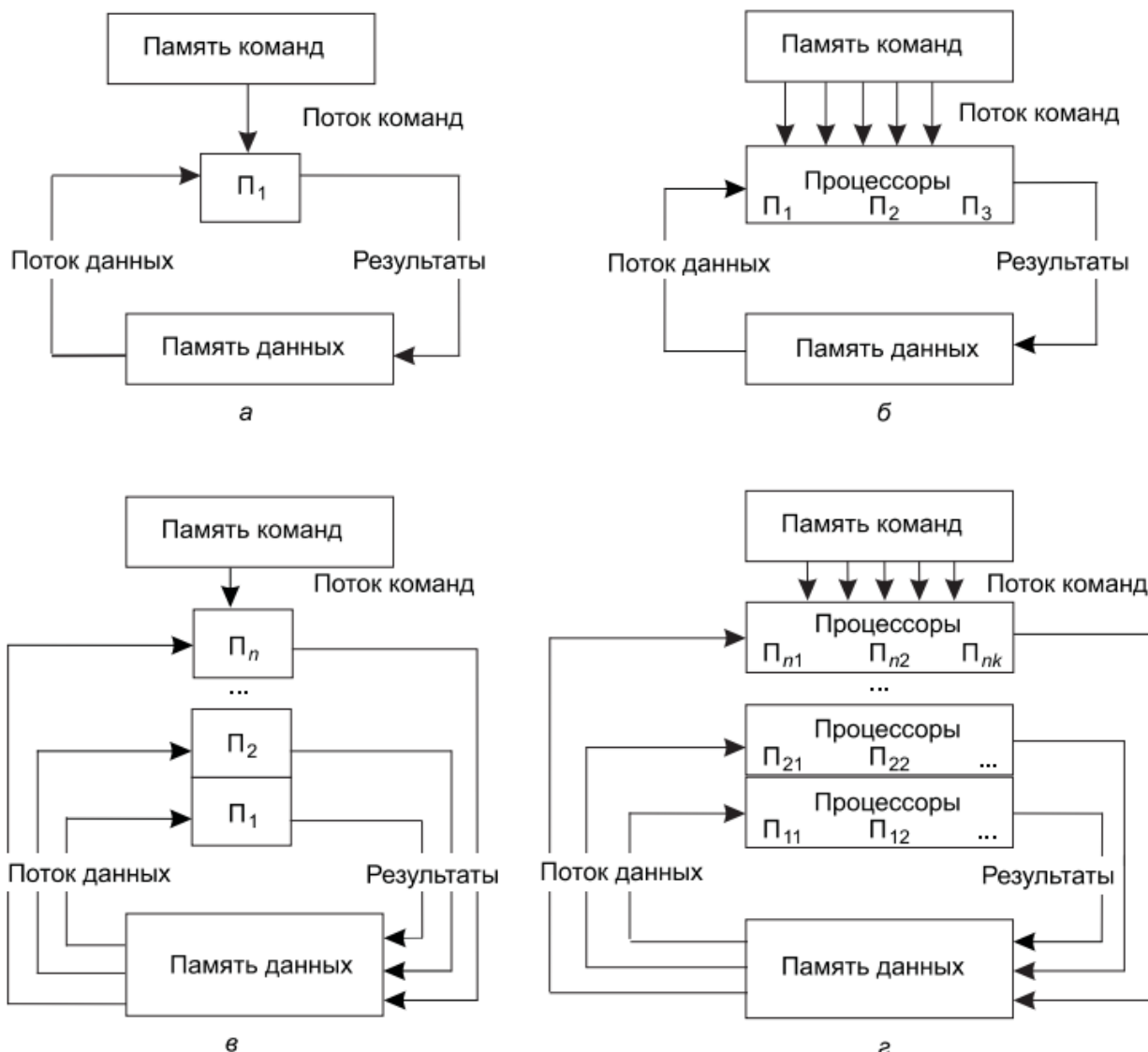
Создать высокопроизводительные вычислительные системы на одном микропроцессоре не представляется возможным. Поэтому они создаются в виде высокопараллельных многопроцессорных вычислительных систем (вычислительных систем с массовым параллелизмом).

Основные разновидности высокопараллельных МПВС:

- *Магистральные (конвейерные) МПВС*, у которых процессор одновременно выполняет разные операции над последовательным потоком обрабатываемых данных. По принятой классификации такие МПВС относятся к системам с многократным потоком команд и однократным потоком данных (МКОД или MISD — Multiple Instruction Single Data).
- *Векторные МПВС*, у которых все процессоры одновременно выполняют одну команду над различными данными — однократный поток команд с многократным потоком данных (ОКМД или SIMD — Single Instruction Multiple Data).
- *Матричные МПВС*, у которых микропроцессор одновременно выполняет разные операции над последовательными потоками обрабатываемых данных — многократный поток команд с многократным потоком данных (МКМД или MIMD — Multiple Instruction Multiple Data).

Условные структуры однопроцессорной (SISD) и названных многопроцессорных ВС показаны на рис. 1.

На рисунке показаны структуры: *a* – SISD, *б* – SIMD, *в* – MISD, *г* – MIMD.



Архитектура суперкомпьютеров

В суперкомпьютерах используются все три варианта архитектуры МПВС:

- структура MIMD в классическом ее варианте (например, в суперкомпьютере BSP фирмы Burroughs);
- параллельно-конвейерная модификация, иначе MMISD, то есть многопроцессорная (Multiple) MISD архитектура (например, в суперкомпьютере «Эльбрус-3»);
- параллельно-векторная модификация, иначе MSIMD, то есть многопроцессорная SIMD архитектура (например, в суперкомпьютере Cray-2).

Наибольшую эффективность показала MSIMD архитектура, поэтому в современных суперкомпьютерах чаще всего находит применение именно она (суперкомпьютеры фирм Cray, Fujitsu, NEC, Hitachi и т. д.).

4. Ассоциативные и потоковые вычислительные системы

Ассоциативные (АВС) и потоковые (ПВС) вычислительные системы являются разновидностями высокопараллельных МПВС.

Ассоциативные вычислительные системы

АВС строится на базе организованной в виде массива ассоциативной памяти — ассоциативно-запоминающего устройства (АЗУ). Доступ к ячейкам АЗУ осуществляется не по адресу, а по их содержимому, точнее — по ассоциативному признаку (поисковому образу), соответствующему хранимой в ячейке информации. Если в ячейке содержится информация, содержащая заданный признак, эта информация считывается.

Поиск ассоциативного признака выполняется по всем ячейкам массива памяти, считывание осуществляется одновременно из всех найденных ячеек массива памяти.

Определенные группы ячеек массива памяти имеют свои локальные процессоры, позволяющие при считывании выполнять логические и арифметические операции над считываемой информацией. Запись в АЗУ производится в любую свободную ячейку (у ячейки имеется признак: свободная она или нет).

Отметим, что ячейки АЗУ должны допускать считывание без разрушения информации, так как считывание выполняется сразу из нескольких ячеек и автоматически выполнить перезапись считанной информации, как это делается в обычных адресных ОЗУ, невозможно (или, по крайней мере, очень сложно). Ячейки могут маскироваться своими локальными процессорами и, если это необходимо, не подвергаться считыванию без предъявления пароля.

Элементы ассоциативной выборки данных используются для заполнения кэш-памяти в микропроцессорах.

Потоковые вычислительные системы

Эффективной технологией, поддерживающей параллельность вычислений в ВС, является технология управления последовательностью выполнения команд программы потоком данных. В традиционных фон-Неймановских машинах последовательность выполнения команд управляется счетчиком команд; команды выполняются строго в той последовательности, в которой они следуют в программе, то есть в последовательности их записи в памяти машины (естественно, если нет команд передачи управления). Это затрудняет организацию параллельного выполнения сразу нескольких команд программы.

Теоретически существует несколько моделей управления последовательностью исполнения команд в машине:

- последовательностью следования команд в программах;
- потоком данных: команда выполняется, как только доступны все ее операнды;
- по запросу: команда выполняется, как только результаты ее исполнения потребуются другим командам.

Управление потоком данных естественно поддерживает параллельность вычислений, ибо, как только появятся исходные данные для выполнения нескольких команд, эти команды могут параллельно, одновременно выполняться. Вычислительные системы, в которых последовательность выполнения команд программы управляется потоком данных, называются **потоковыми ВС**.

Элементы потокового управления используются и в микропроцессорах. Так, в МП Pentium при конвейерной обработке инструкции выполняются параллельно, причем вне порядка, установленного в программе, а по мере готовности операндов и наличия свободных функциональных устройств.

5. Кластерные вычислительные системы и суперкомпьютеры

Как уже упоминалось, в настоящее время развивается технология построения больших и суперкомпьютеров на базе кластерных решений. По мнению многих специалистов, на смену отдельным, независимым суперкомпьютерам должны прийти группы высоко-производительных серверов, объединяемых в кластер.

Удобство построения кластерных ВС заключается в том, что можно гибко регулировать необходимую производительность системы, подключая к кластеру с помощью специальных аппаратных и программных интерфейсов обычные серийные серверы до тех пор, пока не будет получен суперкомпьютер требуемой мощности. Кластеризация позволяет манипулировать группой серверов как одной системой, упрощая управление и повышая надежность.

Важной особенностью кластеров является обеспечение доступа любого сервера к любому блоку как оперативной, так и дисковой памяти. Эта проблема успешно решается, например, объединением систем SMP-архитектуры (SMP — Shared Memory multiProcessing, технология мультипроцессирования с разделением памяти) на базе автономных серверов для организации общего поля оперативной памяти и использованием дисковых систем RAID для памяти внешней.

Программное обеспечение для кластерных систем уже выпускается. Примером может служить компонент Cluster Server операционной системы MS Windows NT/2000 Enterprise. Этот компонент, более известный под кодовым названием Wolfpack, обеспечивает как функции управления кластером, так и функции диагностирования сбоев и восстановления (Wolfpack определяет сбой программы или отказ сервера и автоматически переключает поток вычислений на другие работоспособные серверы).

Все фирмы отмечают существенное снижение стоимости кластерных систем по сравнению с локальными суперкомпьютерами, обеспечивающими ту же производительность.

Основные достоинства кластерных суперкомпьютерных систем:

- высокая суммарная производительность;
- высокая надежность работы системы;
- наилучшее соотношение производительность/стоимость;
- возможность динамического перераспределения нагрузок между серверами;
- легкая масштабируемость, то есть наращивание вычислительной мощности путем подключения дополнительных серверов;
- удобство управления и контроля работы системы.