

# Внутренние связи в вычислительных системах

Внутренние связи в вычислительных системах могут быть разделены на три основные типа:

1. *с коммутаторами связей,*
2. *с сетями связей,*
3. *с конвейерными связями.*

В самом обширном классе вычислительных систем - MIMD наиболее широко представлены системы *с коммутаторами и с сетями внутренних связей.*

**В первых** имеется отдельный (функционально) коммутатор — устройство, которое связывает в систему модули ВС (процессоры и блоки памяти). Обычно коммутатор — это сложное устройство, по стоимости сравнимое с процессором.

**Во вторых системах** модули системы связываются друг с другом с помощью сети той или иной топологии.

При использовании коммутатора все связи между процессорами реализуются через него, а при использовании сети процессоры могут непосредственно связываться только со своими соседями, поэтому обращение к «далекому» процессорному элементу осуществляется через длинную цепочку промежуточных процессорных элементов с непосредственными связями между каждой парой соседей.

**Конвейерные связи** представляют собой последовательное соединение ступеней конвейера, реализованного в вычислительной системе.

# Коммутаторы внутренних связей 1

Вычислительные системы класса MIMD с коммутаторами (Км) внутренних связей можно разделить на два типа.

К первому относятся системы, в которых основная память (Пм) представляет общий ресурс.

Ко второму — системы, в которых все устройства основной памяти распределены между процессорами (Пр) в виде их локальной памяти (рис. 1).

В системах с общей памятью все процессоры осуществляют доступ к ее независимым

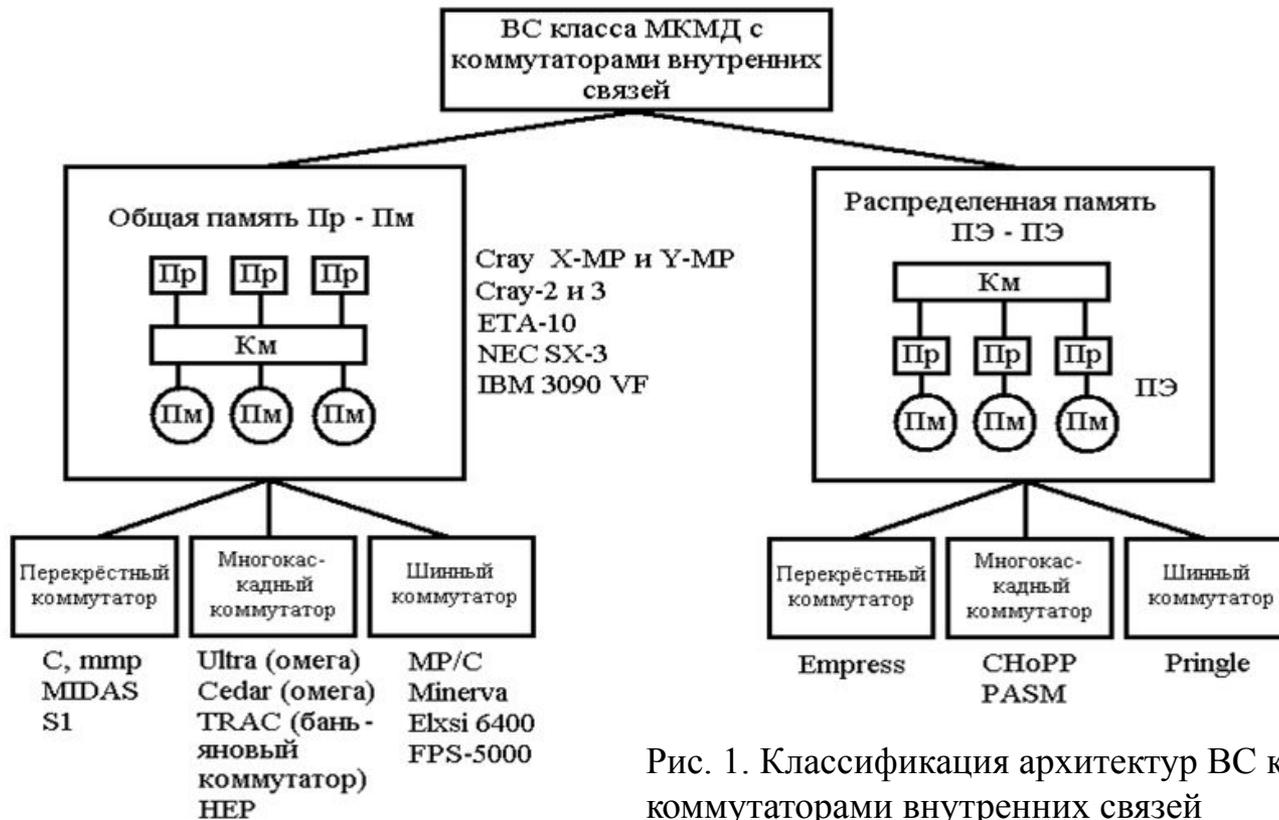


Рис. 1. Классификация архитектур ВС класса MIMD с коммутаторами внутренних связей

## Коммутаторы внутренних связей 2

В системах с распределенной памятью каждый процессор в совокупности с его локальной памятью составляет процессорный элемент (ПЭ) и при этом все ПЭ связаны между собой через коммутатор. Таким образом, в системах первого типа через коммутатор связаны процессоры и модули памяти (Пр—Пм), тогда как в системах второго типа через коммутатор связаны сами процессорные элементы (ПЭ—ПЭ).

Несмотря на указанное различие, системы, как с общей, так и с распределенной памятью можно разделить по типам их коммутаторов на системы с перекрестным, многокаскадным и шинным коммутаторами (рис. 1). Более того, многие высокопроизводительные системы имеют как общую, так и распределенную основную память — это гибридные системы класса MIMD с коммутатором. В типичном случае такие системы содержат большое число ЭВМ со своей памятью, а также еще и общую память. Не выделяя здесь гибридные системы, отнесем их к системам первого типа по признаку наличия общей памяти.

## Коммутаторы внутренних связей 3

Коммутаторы, обеспечивающие полный набор перекрестных связей, используются и при числе процессоров, намного превышающем 16. Однако в этом случае возникает проблема громоздкости коммутатора. Для ее решения применяются многокаскадные коммутаторы, чаще всего — варианты коммутатора омега. Отметим, что многокаскадные коммутаторы применяются и в параллельных системах класса SIMD.

Широко распространены шинные архитектуры, в которых все процессоры и все модули памяти присоединены к общей шине. Они отличаются экономичностью, но с ростом числа процессоров и модулей памяти общая шина становится вычислительным ресурсом, ограничивающим реальную производительность, поскольку она не успевает обеспечивать возрастающее число обменов информацией. Для преодоления этого недостатка используются многошинные структуры.

Системы с распределенной памятью обладают меньшей степенью универсальности по сравнению с системами с общей памятью

## Сети внутренних связей 1

Вычислительные системы класса MIMD с сетями внутренних связей за редким исключением имеют распределенную память. Однако, они не являются системами с коммутатором связей в том смысле, как это принято выше, поскольку элементы коммутации не объединены в отдельный

коммутатор.

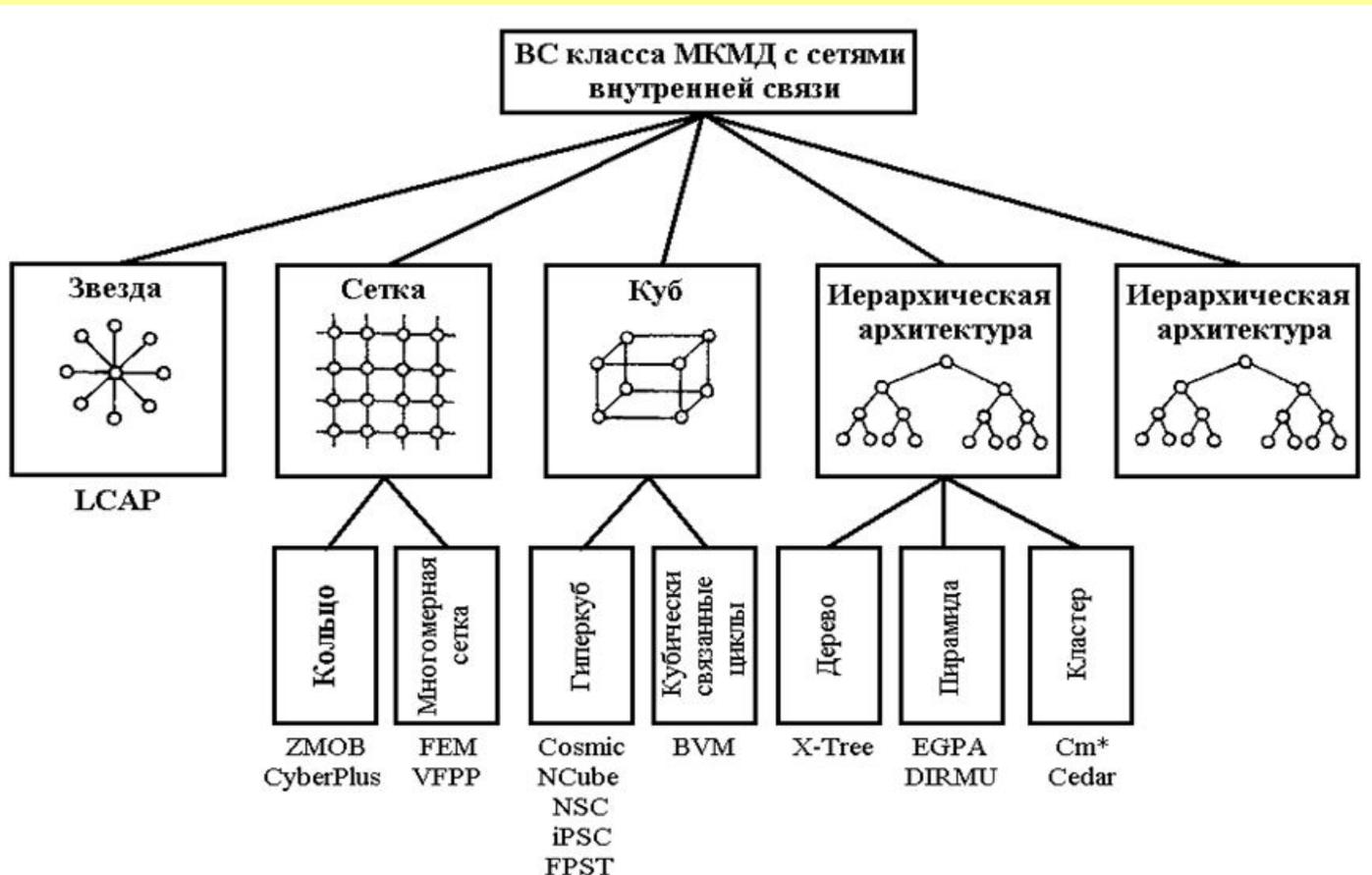
Наоборот, все они распределены по системе и связаны, подобно распределенной памяти, с каждым процессорным элементом. Суть сети связей в рассматриваемом здесь смысле состоит в том, что процессорные элементы, которые наряду с другими возможными компонентами образуют процессорные узлы в сети вычислительной системы, могут непосредственно связываться для передачи данных и их получения только с теми процессорными элементами, с которыми они имеют прямую связь в сети. Для связывания с другими процессорными элементами используются многократные передачи данных по звеньям сети через промежуточные процессорные элементы. В отношении систем с коммутаторами связей можно сказать, что они имеют такие сети, в которых все внутренние связи сконцентрированы в отдельном коммутационном устройстве.

# Сети внутренних

## связей 2

Сети, связывающие процессорные элементы, обладают разнообразными топологиями, которые могут быть классифицированы следующим образом (рис. 3.2).

Простейшая сеть внутренних связей — это звезда. Здесь несколько ЭВМ подключены к общей для них ведущей ЭВМ, как, например, в вычислительной системе IBM LCAP (Lossely Coupled Array of Processors). В одном из вариантов этой системы десять процессоров FPS-164 подключены через каналы к ведущей ЭВМ IBM 4381



## Сети внутренних связей 3

Широко распространены связи типа сетки (решетки), которые могут быть одно- и многомерными и иметь различные регулярные конфигурации.

Одномерная сетка может быть разомкнутой и представлять собой линейный ряд ЭВМ со связями между соседними парами, но чаще он замыкается в кольцо, что улучшает возможности обмена. Сетка в виде одномерного кольца использована, например, в вычислительных системах CDC Cyberplus на базе мощных скалярных процессоров и ZMOV на базе микропроцессоров. Двумерная сетка применена, например, в системах FEM (Finite Element Machine) и VFPP (Very Fast Parallel Processor). Двумерной сеткой связей обладают и такие ВС, как ILLIAC IV, ICL DAP и Goodyear MPP, но это — параллельные системы с общим управлением от единственного потока команд, относящиеся к классу SIMD.

## Сети внутренних связей 4

В последнее время широкое распространение в ВС, в особенности, с большим числом процессоров, получили двоичные (булевы) гиперкубы, составляющие основу класса связей в виде кубов. Этот класс отделен от класса многомерных сеток, поскольку они имеют существенные различия.

В квадратной сетке размерностью  $m$  каждый процессорный элемент (не учитывая крайние) связан с  $2m$  соседними элементами и при  $n$  элементах по ортогональным осям сетка объединяет  $N=n^m$  процессорных элементов.

Очевидно, что увеличивая или уменьшая  $n$  при сохранении значения  $m$ , можно изменять число элементов  $N$ .

В гиперкубе размерностью  $m$  каждый процессорный элемент связан с  $m$  соседними элементами, при этом в систему объединяются  $N = 2^m$  процессорных элементов, и обеспечивается максимальный путь не более чем в  $m$  шагов между любой парой процессорных элементов. Здесь нельзя изменить число входящих в систему элементов  $N$ , не изменяя размерность  $m$ . Это делает практически невозможным наращивание системы, однако, добавляет важнейшее достоинство – пределы изменения времени передачи информации одинаковы для всех процессорных элементов.

## Сети внутренних связей 5

В качестве примеров систем с двоичными гиперкубическими связями можно указать базовую экспериментальную систему Cosmic Cube, основанную на концепции гиперкубических архитектур. Гиперкубические связи имеет и система Thinking Connection Machine, представляющая собой параллельную систему класса SIMD с общим управлением от единственного потока команд. Таким образом, сеточные и гиперкубические связи характерны для систем с независимыми процессорами, имеющими свои устройства управления (MIMD), в особенности для высокопараллельных систем с большим числом процессоров. Типичным здесь является распределенная по процессорам память, но системы могут иметь и общую память. Упомянутые связи применяются и в параллельных системах с общим управлением (SIMD), в том числе в высокопараллельных системах с большим числом обрабатывающих устройств.

Заменяв каждый процессорный элемент, представляемый вершиной в исходном гиперкубе, группой процессорных элементов, связанных в кольцо, получаем архитектуру, называемую кубически связанными циклами. При относительно малом числе элементов в кольце эта архитектура близка по своим свойствам к гиперкубу, а при их большом числе — к кольцу. Рассматриваемую архитектуру имеет, например, ЭВМ BVM (Boolean Vector Machine).

## Сети внутренних связей 6

Следующий класс составляют иерархические архитектуры, связи для которых естественно определяются как рекурсивные. Они включают связи в виде дерева и пирамиды и шинные связи для многократно вложенных процессорных кластеров. Примеры — системы X-Tree, EGPA (Erlangen General Purpose Processor Array) и Cm\* соответственно.

Наконец, последний класс составляют перестраиваемые сети связей. Этот класс включает в себя любые сети связей между процессорными элементами, которые могут быстро изменяться под управлением программы. Такие перестройки осуществляют в зависимости от характера решаемых задач, обеспечивая на каждом шаге решения по возможности наилучшее соответствие структуры системы в данный момент времени структуре реализуемой части программы и повышая тем самым эффективность решения за счет адаптируемости структуры ВС.