

Лекция 2.
**Архитектура параллельных
вычислительных систем. Часть 2.
Классификация ПВС**

Основы параллельного
программирования.
М.А. Сокольская



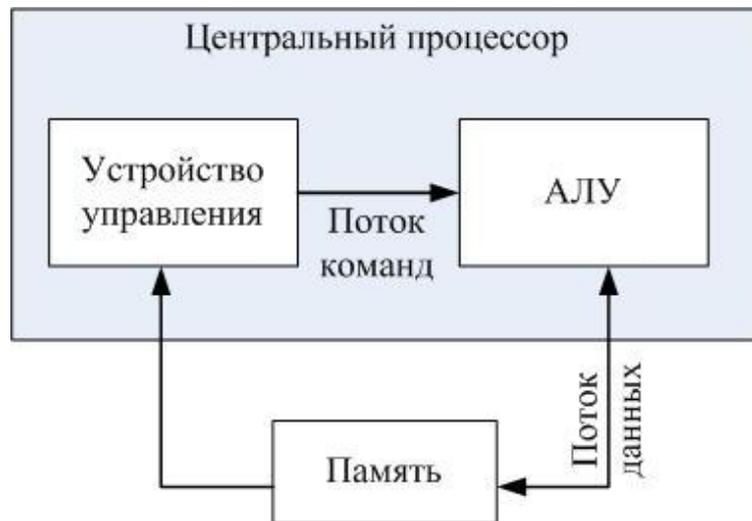
Классификация вычислительных систем...

- **Систематика Флинна (Flynn)**

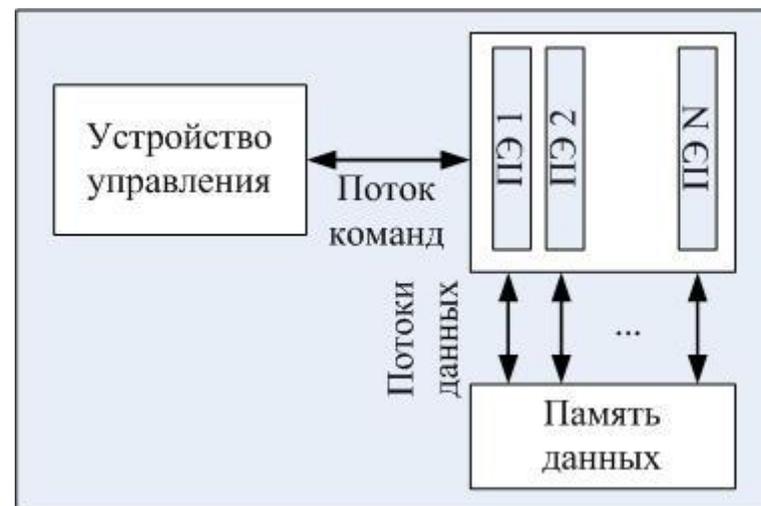
- классификация по способам взаимодействия последовательностей (*потоков*) выполняемых команд и обрабатываемых данных:
 - **SISD** (Single Instruction, Single Data)
 - **SIMD** (Single Instruction, Multiple Data)
 - **MISD** (Multiple Instruction, Single Data)
 - **MIMD** (Multiple Instruction, Multiple Data)

*Практически все виды параллельных систем, несмотря на их существенную разнородность, относятся к одной группе **MIMD***

Систематика Флинна

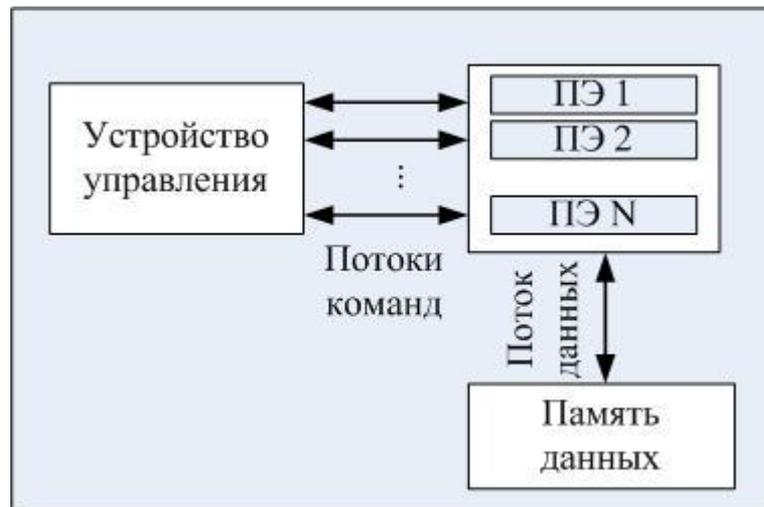


SISD

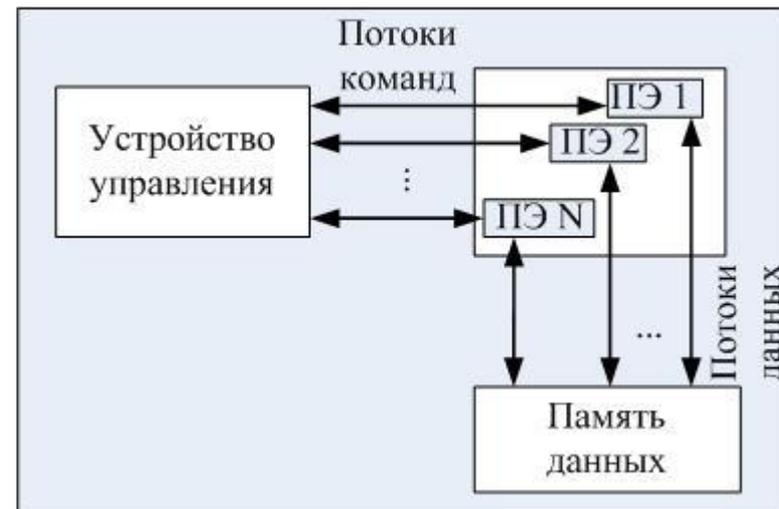


SIMD

Систематика Флинна



MISD



MIMD

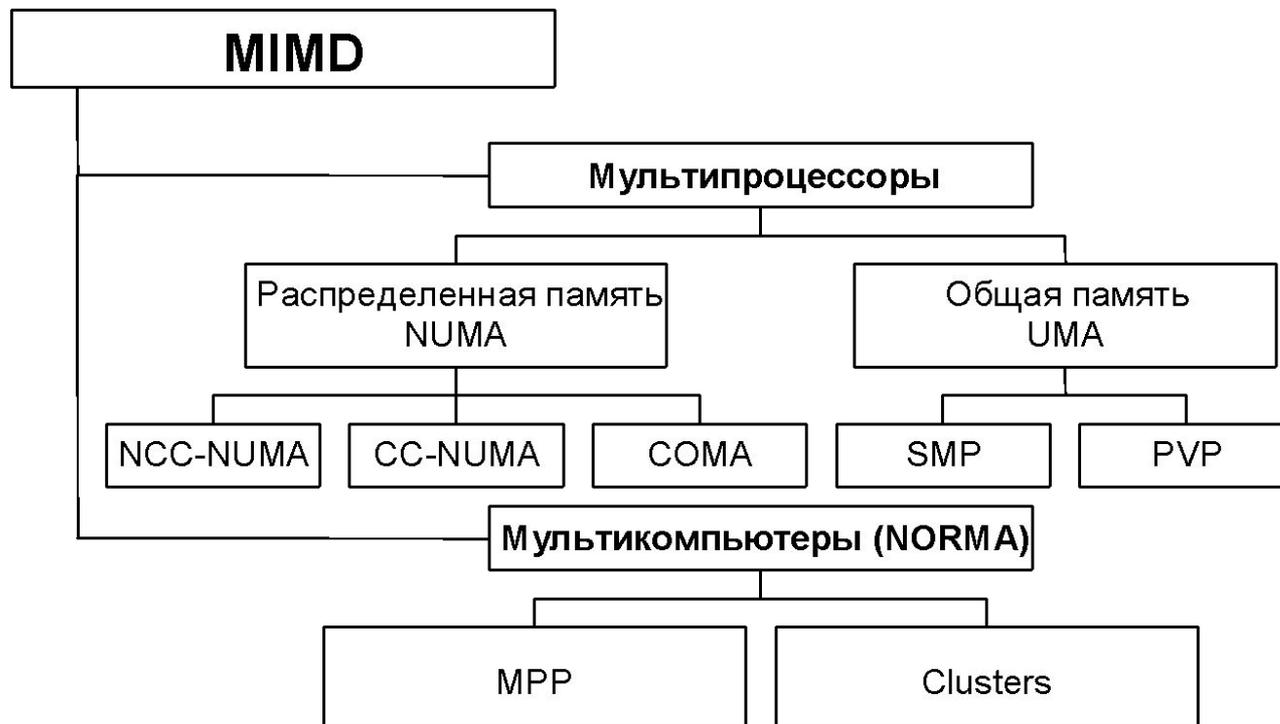
Классификация вычислительных систем...

Детализация систематики Флинна...

- дальнейшее разделение типов многопроцессорных систем основывается на используемых способах организации оперативной памяти,
- позволяет различать два важных типа многопроцессорных систем:
 - ***multiprocessors*** (***мультипроцессоры*** или системы с общей разделяемой памятью),
 - ***multicomputers*** (***мультикомпьютеры*** или системы с распределенной памятью).

Классификация ПВС

Детализация систематики Флинна...



Классификация по взаимодействию с оперативной памятью

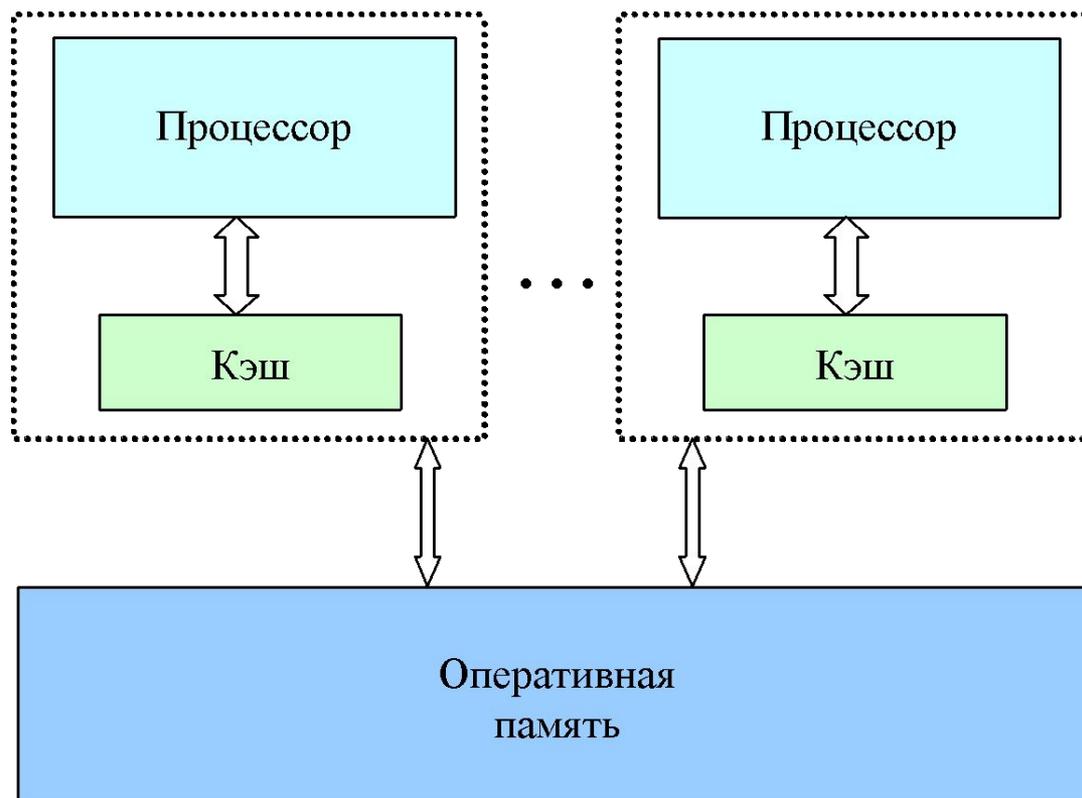
Типы многопроцессорных систем:

- ***multiprocessors***
(***мультипроцессоры*** или системы с общей разделяемой памятью),
- ***multicomputers***
(***мультикомпьютеры*** или системы с распределенной памятью).

Мультипроцессоры с единой общей памятью

- Мультипроцессоры с использованием единой общей памяти (*shared memory*)...
 - обеспечивается однородный доступ к памяти (*uniform memory access or UMA*),
 - являются основой для построения:
 - векторных параллельных процессоров (*parallel vector processor or PVP*). Примеры: Cray T90,
 - симметричных мультипроцессоров (*symmetric multiprocessor or SMP*). Примеры: IBM eServer, Sun StarFire, HP Superdome, SGI Origin.

Мультипроцессоры (UMA)



Мультипроцессоры (UMA)

Проблемы:

- Доступ с разных процессоров к общим данным и обеспечение, в этой связи, *однозначности (когерентности) содержимого разных кэшей (cache coherence problem)*,
- Необходимость *синхронизации взаимодействия* одновременно выполняемых потоков команд

Мультипроцессоры (NUMA)

С использованием физически распределенной памяти (*distributed shared memory* or *DSM*):

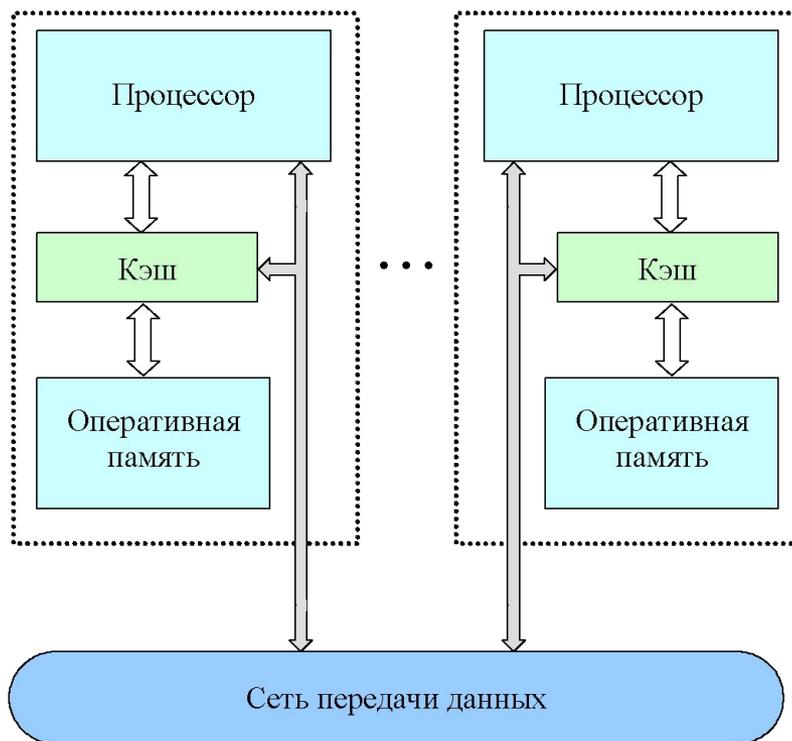
- *неоднородный доступ к памяти (non-uniform memory access* or *NUMA*),

Среди систем такого типа выделяют:

- *Cache-only memory architecture* or *COMA* (системы KSR-1 и DDM),
- *cache-coherent NUMA* or *CC-NUMA* (системы SGI Origin 2000, Sun HPC 10000, IBM/Sequent NUMA-Q 2000),
- *non-cache coherent NUMA* or *NCC-NUMA* (система Cray T3E).

Мультимикропроцессоры (NUMA)

Мультимикропроцессоры с использованием физически распределенной памяти...



Мультипроцессоры (NUMA)

- Мультипроцессоры с использованием физически распределенной памяти:
 - упрощаются проблемы создания мультипроцессоров (известны примеры систем с несколькими тысячами процессоров),
 - возникают проблемы эффективного использования распределенной памяти (время доступа к локальной и удаленной памяти может различаться на несколько порядков).

Мультипроцессоры (NUMA)

- **Мультипроцессоры с использованием физически распределенной памяти:**
 - упрощаются проблемы создания мультипроцессоров (известны примеры систем с несколькими тысячами процессоров),
 - возникают проблемы эффективного использования распределенной памяти (время доступа к локальной и удаленной памяти может различаться на несколько порядков).

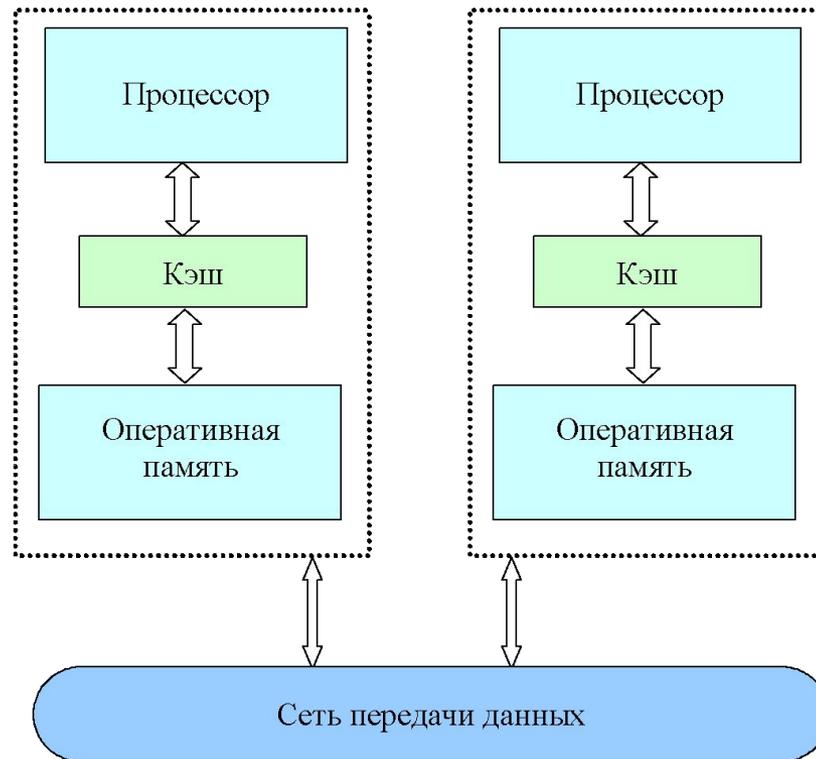
Классификация ПВС

- **Мультикомпьютеры...**

- не обеспечивают общий доступ ко всей имеющейся в системах памяти (*no-remote memory access or NORMA*),
- каждый процессор системы может использовать только свою локальную память,
- для доступа к данным, располагаемым на других процессорах, необходимо явно выполнить операции передачи сообщений (*message passing operations*).

Классификация ПВС

Мультикомпьютеры



• Мультикомпьютеры

Данный подход используется при построении двух важных типов многопроцессорных вычислительных систем:

- *массивно-параллельных систем (massively parallel processor or MPP)*, например: IBM RS/6000 SP2, Intel PARAGON, ASCI Red, транспьютерные системы Parsytec,
- *кластеров (clusters)*, например: AC3 Velocity и NCSA NT Supercluster.

- **Мультикомпьютеры. Кластеры...**

Кластер - множество отдельных компьютеров, объединенных в сеть, для которых при помощи специальных аппаратно-программных средств обеспечивается возможность унифицированного управления (single system image), надежного функционирования (availability) и эффективного использования (performance)

• Мультикомпьютеры. Кластеры...

Преимущества:

- Могут быть образованы на базе уже существующих у потребителей отдельных компьютеров, либо же сконструированы из типовых компьютерных элементов;
- Повышение вычислительной мощности отдельных процессоров позволяет строить кластеры из сравнительно небольшого количества отдельных компьютеров (*lowly parallel processing*),
- Для параллельного выполнения в алгоритмах достаточно выделять только крупные независимые части расчетов (*coarse granularity*).

• Мультикомпьютеры. Кластеры

Недостатки:

- Организация взаимодействия -> к значительным временным задержкам,
- Дополнительные ограничения на тип разрабатываемых параллельных алгоритмов и программ (*низкая интенсивность потоков передачи данных*)

Мультикомпьютеры. MPP-системы

MPP – Massive Parallel Processing или массивно-параллельные системы.

Система строится из отдельных модулей, содержащих процессор, локальный банк операционной памяти (ОП), коммуникационные процессоры (роутеры) или сетевые адаптеры, иногда – жесткие диски и/или другие устройства ввода/вывода. По сути, такие модули представляют собой полнофункциональные компьютеры

Топологии сети передачи данных в ПВС

Линейка - система, в которой все процессоры перенумерованы по порядку и каждый процессор, кроме первого и последнего, имеет линии связи только с двумя соседними процессорами.

Кольцо - данная топология получается из линейки процессоров соединением первого и последнего процессоров линейки

Звезда - система, в которой все процессоры имеют линии связи с некоторым управляющим процессором.

Решетка - система, в которой граф линий связи образует прямоугольную сетку (обычно двух- или трехмерную).

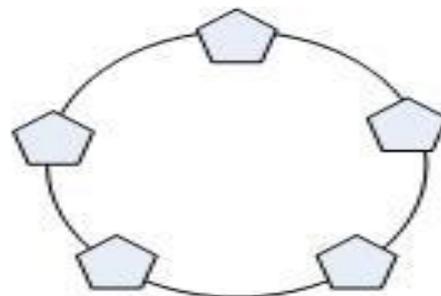
Полный граф - система, в которой между любой парой процессоров существует прямая линия связи.

Гиперкуб - данная топология представляет собой частный случай структуры решетки, когда по каждой размерности сетки имеется только два процессора (т.е. гиперкуб содержит 2^N процессоров при размерности N). Характеризуется следующим рядом отличительных признаков:

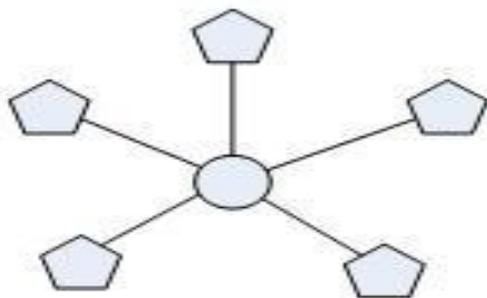
- - два процессора имеют соединение, если двоичные представления их номеров имеют только одну различающуюся позицию;
- - в N -мерном гиперкубе каждый процессор связан ровно с N соседями;
- - N -мерный гиперкуб может быть разделен на два $(N-1)$ -мерных гиперкуба;
- - кратчайший путь между двумя любыми процессорами имеет длину, совпадающую с количеством различающихся битовых значений в номерах процессоров (данная величина известна как расстояние Хэмминга).



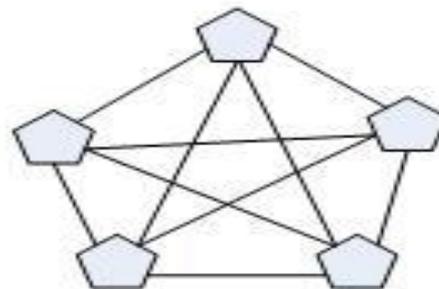
а) линейка



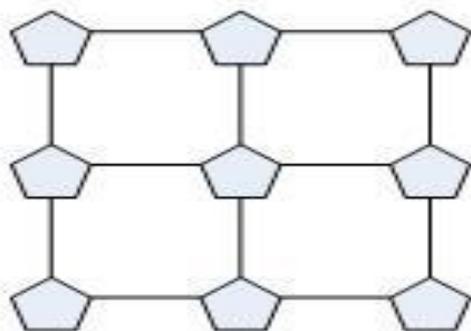
б) кольцо



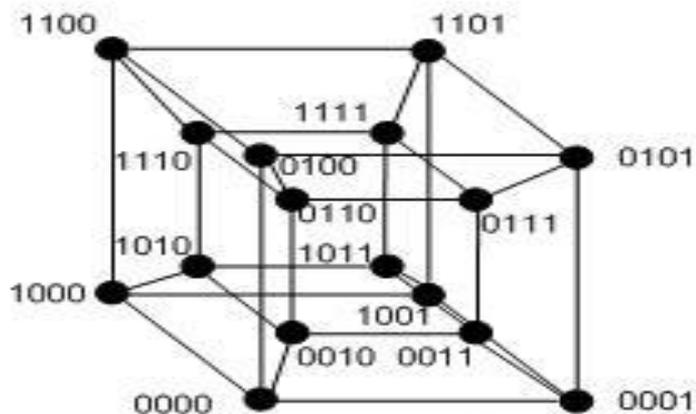
в) звезда



г) полный граф



д) 2-мерная решётка



д) четырехмерный гиперкуб

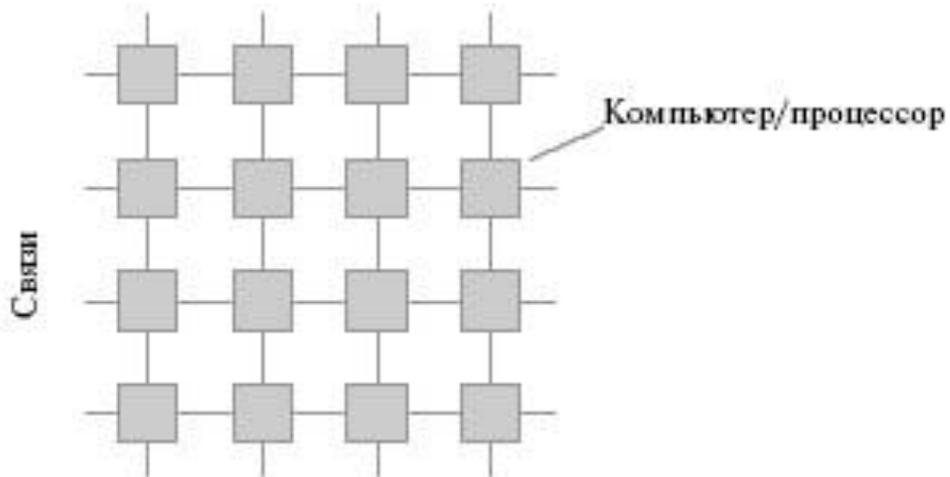
Расстояние между процессорами

Архитектура кластерной системы (способ соединения процессоров друг с другом) в большей степени определяет ее производительность, чем тип используемых в ней процессоров.

Критическим параметром, влияющим на величину производительности такой системы, является **расстояние между процессорами**.

Расстояние между процессорами.

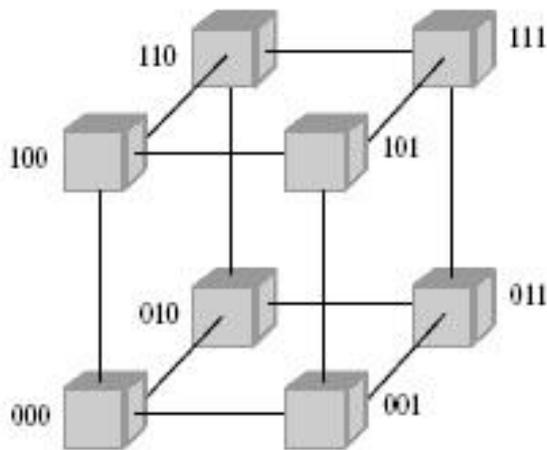
Соединение 16 процессоров – плоская решетка



Какое максимальное расстояние между двумя процессорами?

Расстояние между процессорами.

Теория показывает, что если в системе максимальное расстояние между процессорами больше 4, то такая система не может работать эффективно.



Для получения более компактной конфигурации необходимо решить задачу о нахождении **фигуры, имеющей максимальный объем при минимальной площади поверхности.**

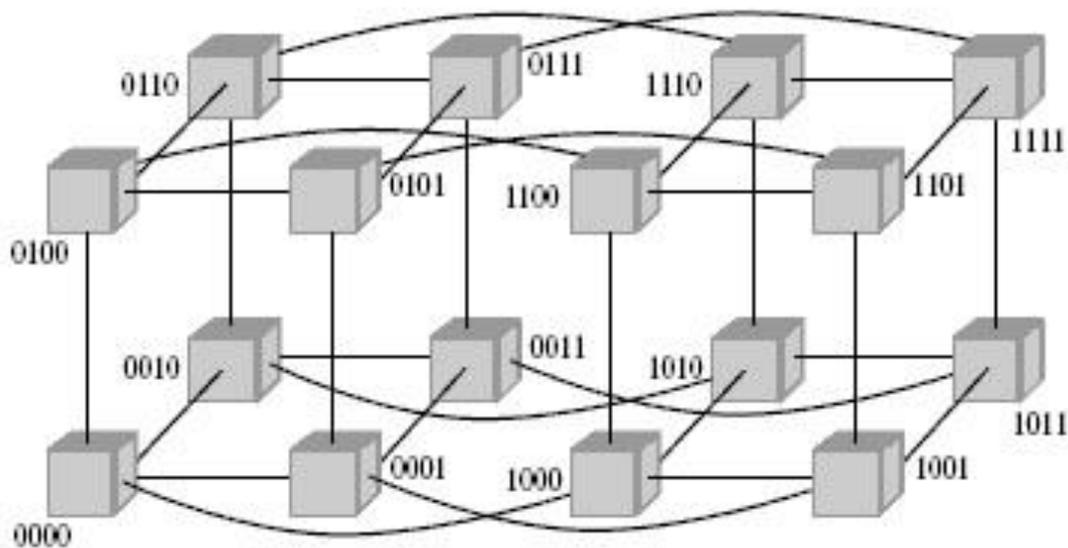
Гиперкуб - данная топология представляет собой частный случай структуры решетки, когда по каждой размерности сетки имеется только два процессора (т.е. гиперкуб содержит 2^N процессоров при размерности N). Характеризуется следующим рядом отличительных признаков:

- - два процессора имеют соединение, если двоичные представления их номеров имеют только одну различающуюся позицию;
- - в N -мерном гиперкубе каждый процессор связан ровно с N соседями;
- - N -мерный гиперкуб может быть разделен на два $(N-1)$ -мерных гиперкуба;
- - кратчайший путь между двумя любыми процессорами имеет длину, совпадающую с количеством различающихся битовых значений в номерах процессоров (данная величина известна как расстояние Хэмминга).

Расстояние между процессорами. Гиперкуб.

Куб – при 8-ми процессорах.

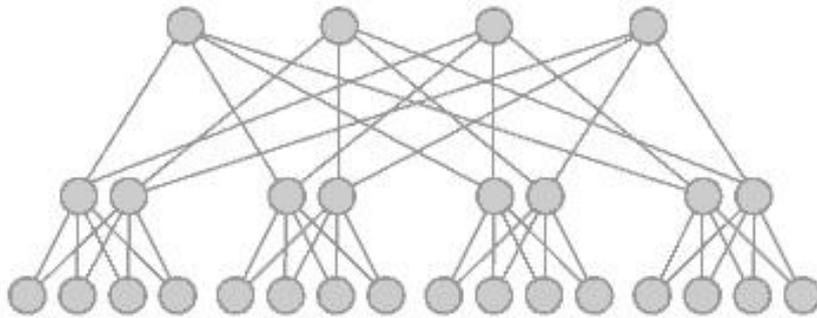
Больше восьми процессоров - гиперкуб



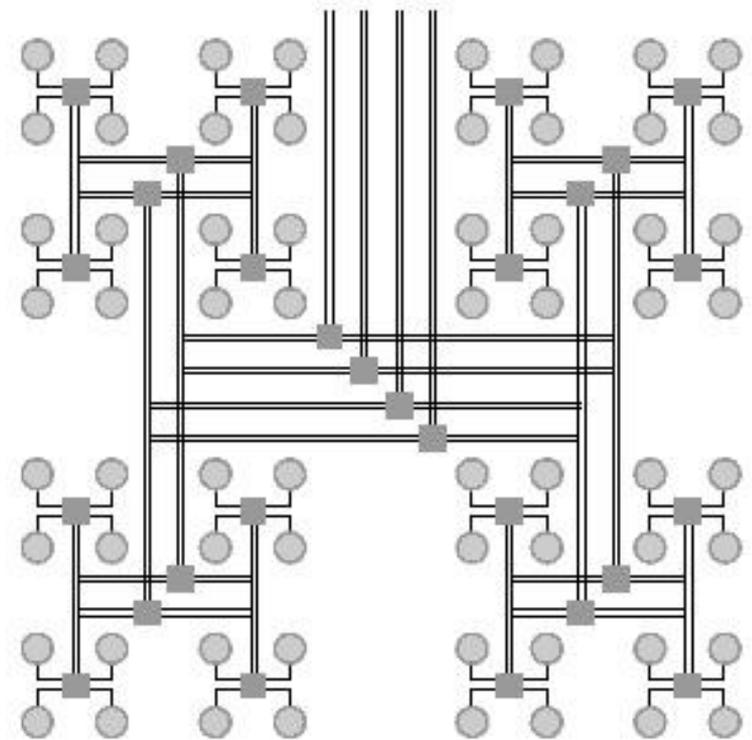
Гиперкуб –
схема вторая по
эффективности,
но самая
наглядная
На картинке –
3-мерный
гиперкуб

Архитектура с топологией "толстого дерева" (fat-tree)

Одна из самых эффективных.



Вид «сбоку»



Вид «сверху»

Характеристики некоторых топологий сети

Топология	Диаметр	Ширина	Связность бисекции	Стоимость
Полный граф	1	$p^2/4$	$p-1$	$p(p-1)/2$
Звезда	2	1	1	$p-1$
Полное двоичное дерево	$2\log((p+1)/2)$	1	1	$p-1$
Линейка	$p-1$	1	1	$p-1$
Кольцо	$\lfloor p/2 \rfloor$	2	2	p
Решетка $N=2$	$2(\sqrt{p} - 1)$	\sqrt{p}	2	$2(p - \sqrt{p})$
Решетка-тор $N=2$	$2\lfloor \sqrt{p}/2 \rfloor$	$2\sqrt{p}/2$	4	$2p$
Гиперкуб	$\log p$	$p/2$	$\log p$	$(p \log p)/2$

Характеристики топологий сети

Диаметр – показатель, определяемый как максимальное расстояние между двумя процессорами сети (под расстоянием обычно понимается величина кратчайшего пути между процессорами)

Связность (*connectivity*) – показатель, характеризующий наличие разных маршрутов передачи данных между процессорами сети. Показатель может быть определен, например, как минимальное количество дуг, которое надо удалить для разделения сети передачи данных на две несвязные области.

Характеристики топологий сети

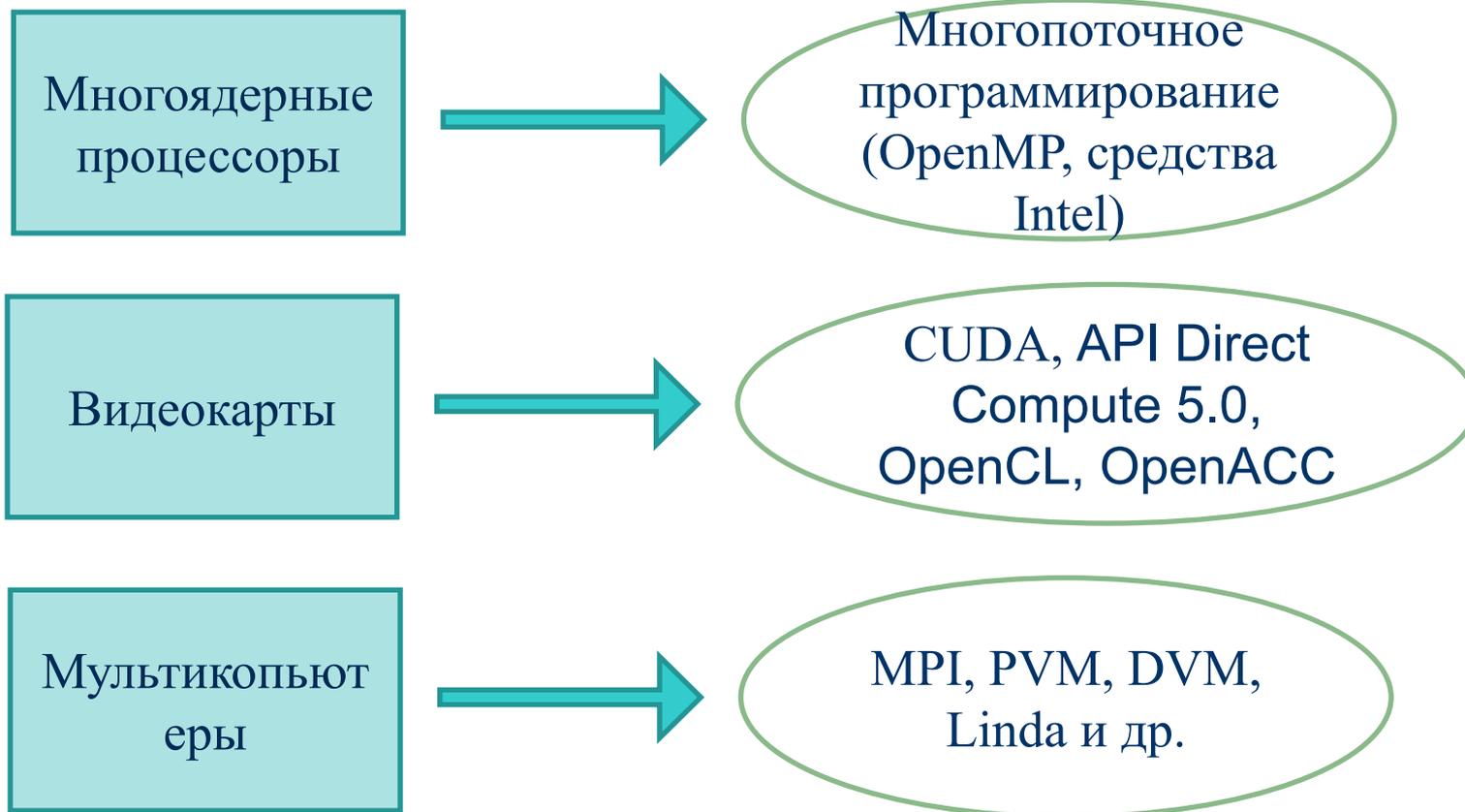
Ширина бинарного деления (*bisection width*) – показатель, определяемый как минимальное количество дуг, которое надо удалить для разделения сети передачи данных на две несвязные области одинакового размера;

Стоимость – показатель, который может быть определен, например, как общее количество линий передачи данных в многопроцессорной вычислительной системе.

Языки и системы программирования

Базовые языки параллельного программирования: C, Fortran, Lisp, Erlang и их производные (расширения, библиотеки, диалекты).

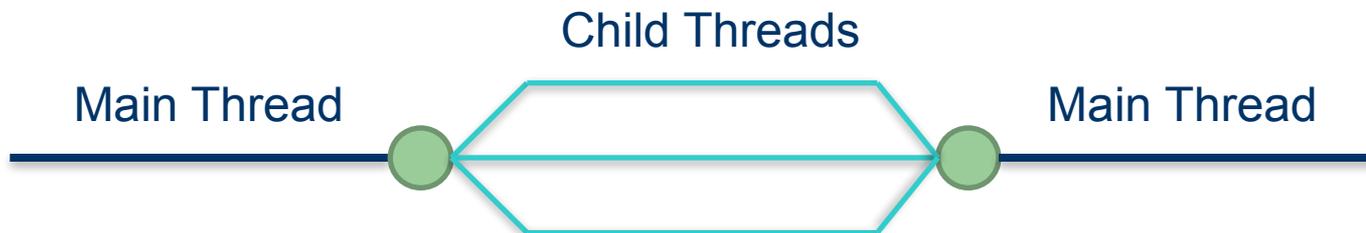
Языки и системы параллельного программирования



Технология программирования OpenMP.

OpenMP является одной из популярных технологий программирования систем с общей памятью.

Стандарт OpenMP был разработан для языков Fortran, C и C++.



Система параллельного программирования PVM.

PVM (Parallel Virtual Machine) позволяет объединить набор разных компьютеров, связанных сетью, в общую вычислительную систему, называемую параллельной виртуальной машиной.

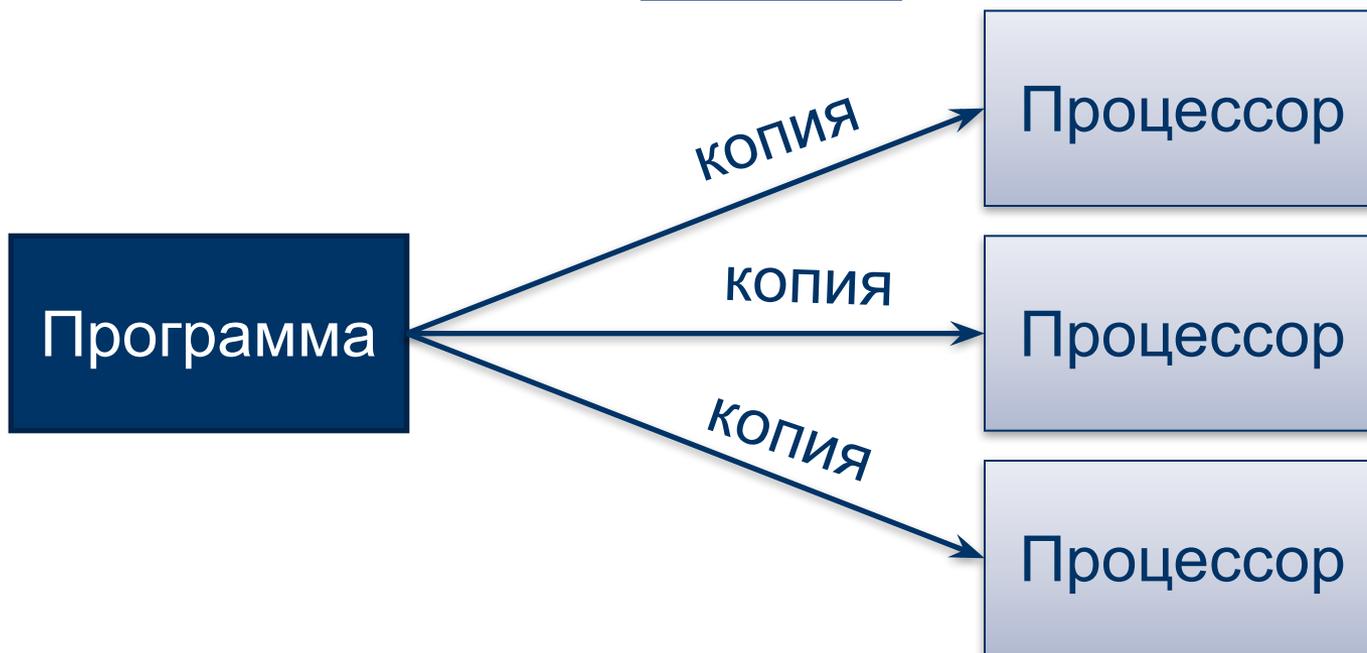
Компьютеры сети могут быть многопроцессорными машинами любого типа.

PVM поддерживает языки Fortran, C, C++, а также имеются средства сопряжения с языками Perl, Java.

Технология MPI



вычислительные системы с распределённой памятью



Технология программирования CUDA.

CUDA (Compute Unified Device Architecture) - программно аппаратное решение, позволяющее использовать видеопроцессоры для вычислений общего назначения.

