



КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В человеческой сфере невозможна
никакая линейная классификация.

Э. Мунье

Содержание

2

- Классификация Флинна
- Расширение классификации Флинна
- Виды топологии соединительной сети

Систематика Флинна

3

- *Flynn M.J., Rudd K.W. Parallel architectures // ACM Computing Surveys. -1996. -Vol. 28, No. 1. -P. 67-70.*
- Классификация вычислительных систем по способам взаимодействия *потоков выполняемых команд* и *потоков обрабатываемых данных*.

	Одиночный поток команд (Single Instruction)	Множество потоков команд (Multiple Instruction)
Одиночный поток данных (Single Data)	SISD	MISD
Множество потоков данных (Multiple Data)	SIMD	MIMD

SISD

4

- Состоят из одного процессора, который выполняет один поток команд, оперируя одним потоком данных.
- Относится к фон-Неймановской архитектуре.



SIMD

5

- Состоят из одного процессора (контроллера) и нескольких модулей обработки данных (процессорных элементов), каждый из которых имеет свою собственную память для хранения данных.
- Контроллер принимает, анализирует и выполняет команды. Если в команде встречаются данные, то контроллер рассылает их для обработки на все процессорные элементы.
 - До половины логических инструкций обычного процессора связано с управлением выполнением машинных команд, а остальная их часть относится к работе с внутренней памятью процессора и выполнению арифметических операций. В SIMD компьютере управление выполняется контроллером, а "арифметика" отдана процессорным элементам.



MISD

6

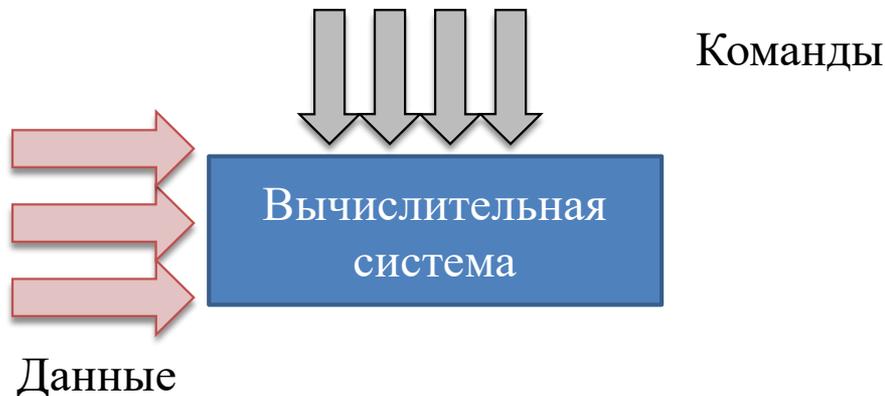
- Множественный поток команд, одиночный поток данных.
- Пустой класс.



MIMD

7

- Несколько устройств обработки команд, объединенных в единый комплекс и работающих каждое со своим потоком команд и данных.
- Очень большой класс, объединяющий практически все современные многопроцессорные вычислительные системы.



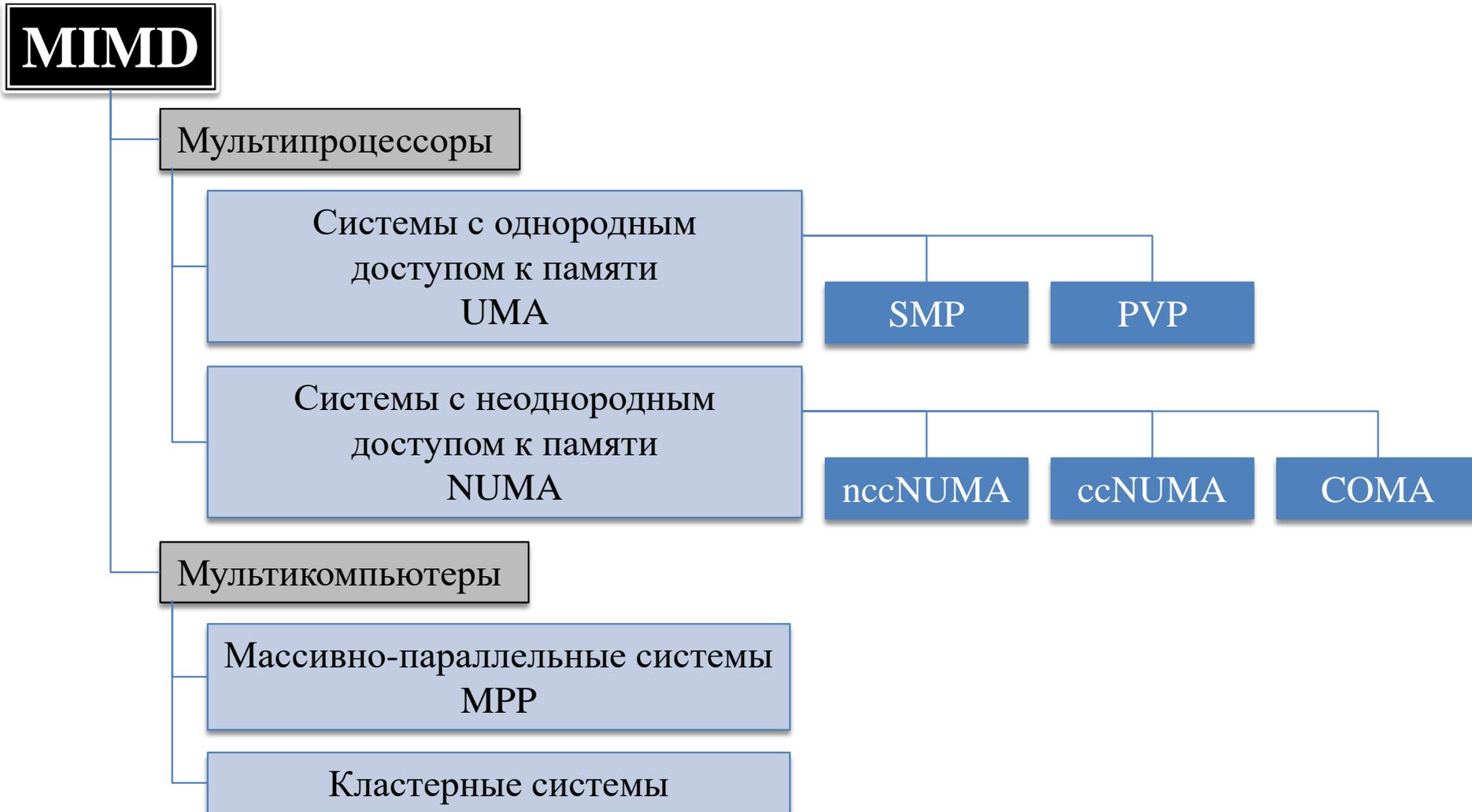
Детализация класса MIMD

8

- Признак классификации многопроцессорных вычислительных систем – наличие общей или распределенной оперативной памяти.
- *Мультипроцессоры* – системы с разделяемой памятью.
- *Мультикомпьютеры* – системы с распределенной памятью.

Детализация класса MIMD

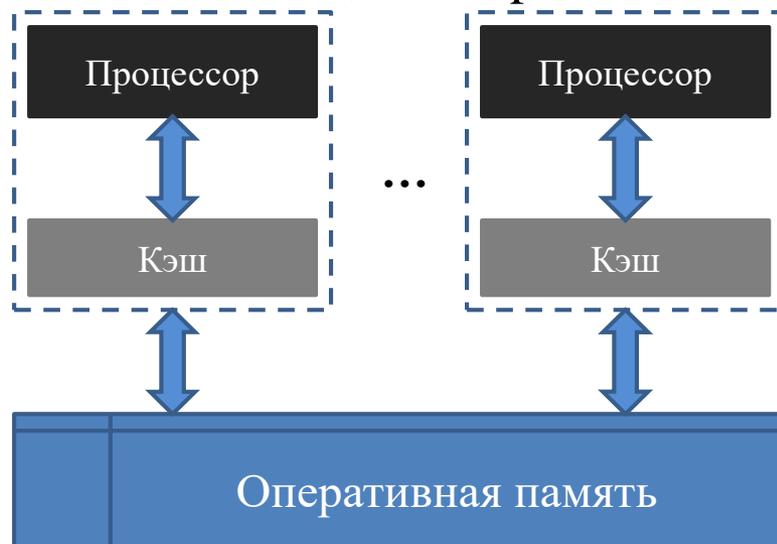
9



Мультипроцессоры UMA

10

- Однородный доступ к памяти (uniform memory access, UMA)
- Разновидности:
 - ▣ векторные параллельные процессоры (parallel vector processor, PVP)
 - Cray T90
 - ▣ симметричные мультипроцессоры (symmetric multiprocessor, SMP)
 - IBM eServer, Sun StarFire, HP Superdome, SGI Origin.



UMA: основные проблемы

11

- Обеспечение когерентности (однозначности) кэшей процессоров.
- Обеспечение синхронизации взаимодействия одновременно выполняемых потоков команд.

Когерентность кэшей

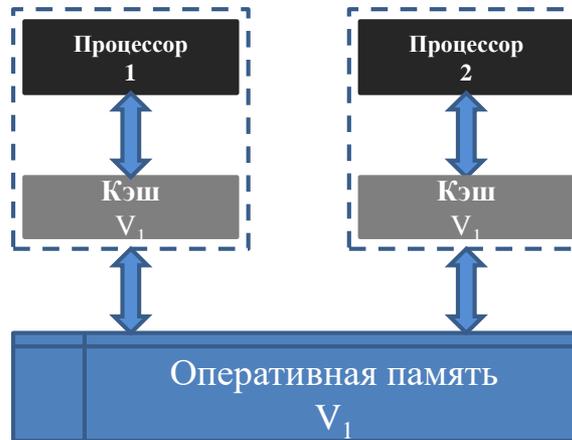
12

- При изменении данных необходимо проверять наличие "старых" значений в кэш-памяти всех процессоров (обеспечивается на аппаратном уровне, но становится сложным при большом количестве процессоров).

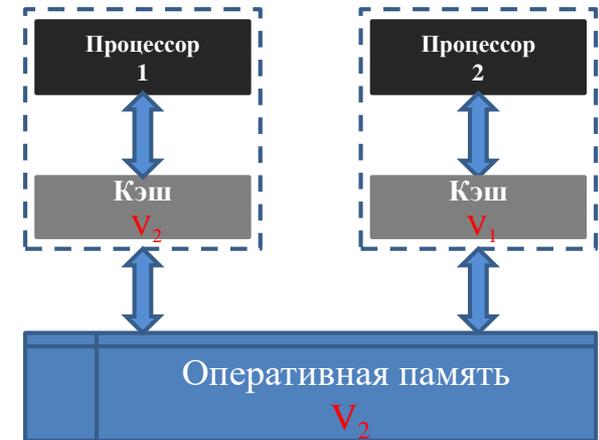
1. Процессор 1 читает значение переменной V



2. Процессор 2 читает значение переменной V



3. Процессор 1 пишет новое значение переменной V



Синхронизация потоков команд

13

- При использовании общих данных необходима синхронизация, поскольку временная последовательность команд может быть различной.
- Пример: циклическое вычисление $N:=N+1$ над общей переменной.

t	Процессор 1	Процессор 2	N
1	Чтение		1
2		Чтение	1
3		Добавление 1	2
4	Добавление 1		2
5	Запись		2
6		Запись	2

t	Процессор 1	Процессор 2	N
1	Чтение		1
2	Добавление 1		2
3	Запись		2
4		Чтение	2
5		Добавление 1	3
6		Запись	3

UMA: пути решения проблем

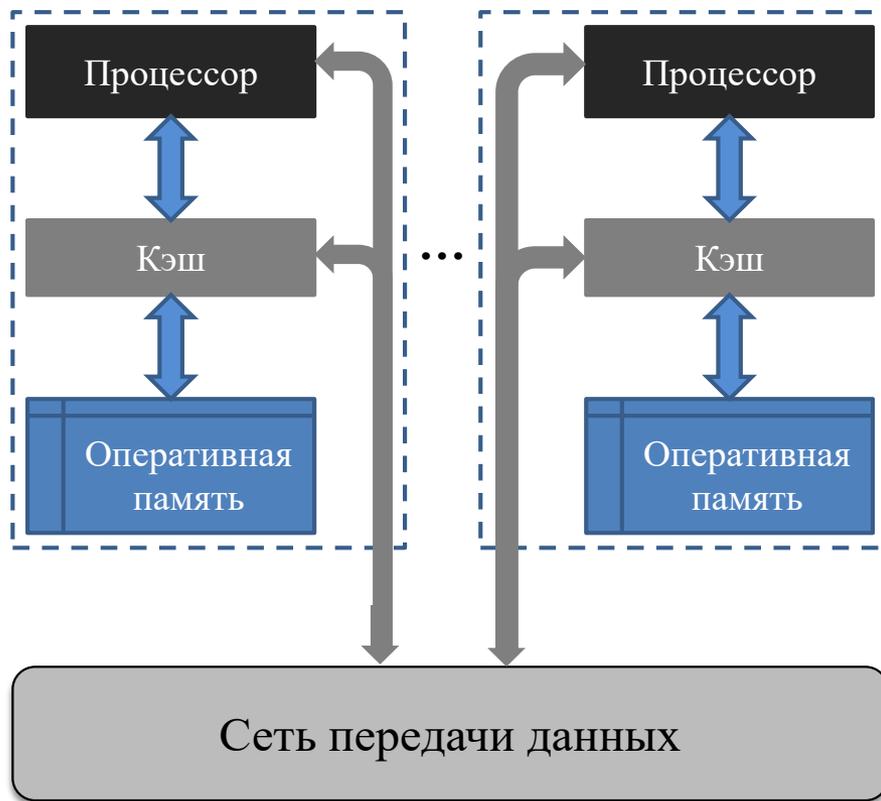
14

- Организация разделения ресурсов между несколькими потоками команд
 - определение доступности запрашиваемых ресурсов (ресурс свободен или занят);
 - выделение свободного ресурса одному из запросивших его процессов;
 - блокировка процессов, запросивших занятые ресурсы.

Мультипроцессоры NUMA

15

- Физически распределенная память и неоднородный доступ к памяти (non-uniform memory access, NUMA),
 - ▣ *COMA, cache-only memory architecture*
 - KSR-1, DDM
 - ▣ *ccNUMA, cache-coherent NUMA*
 - SGI Origin 2000, Sun HPC 10000, IBM/Sequent NUMA-Q 2000
 - ▣ *nccNUMA, non-cache coherent NUMA*
 - Cray T3E.



Мультипроцессоры NUMA

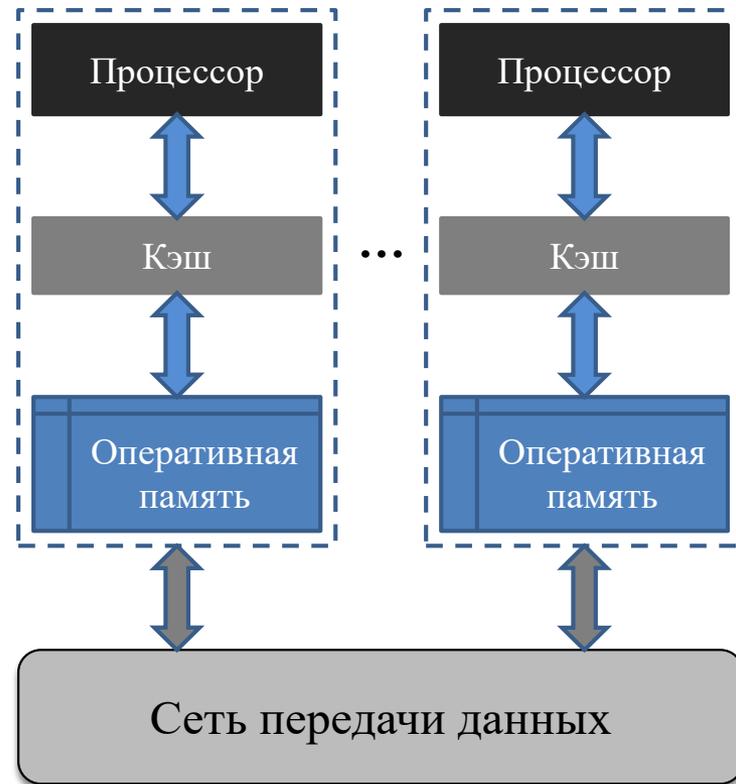
16

- 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).

Мультикомпьютеры

17

- Не обеспечивают общий доступ ко всей имеющейся в системах памяти.
 - Каждый процессор системы может использовать только свою локальную память.
 - Для доступа к данным удаленных процессоров необходимо явно выполнить операции передачи сообщений.
- Разновидности:
 - *массивно-параллельные системы (massively parallel processor, MPP)*
 - IBM RS/6000 SP2, Intel PARAGON, ASCI Red, транспьютерные системы Parsytec
 - *кластеры (clusters)*
 - AC3 Velocity, NCSA NT Supercluster.



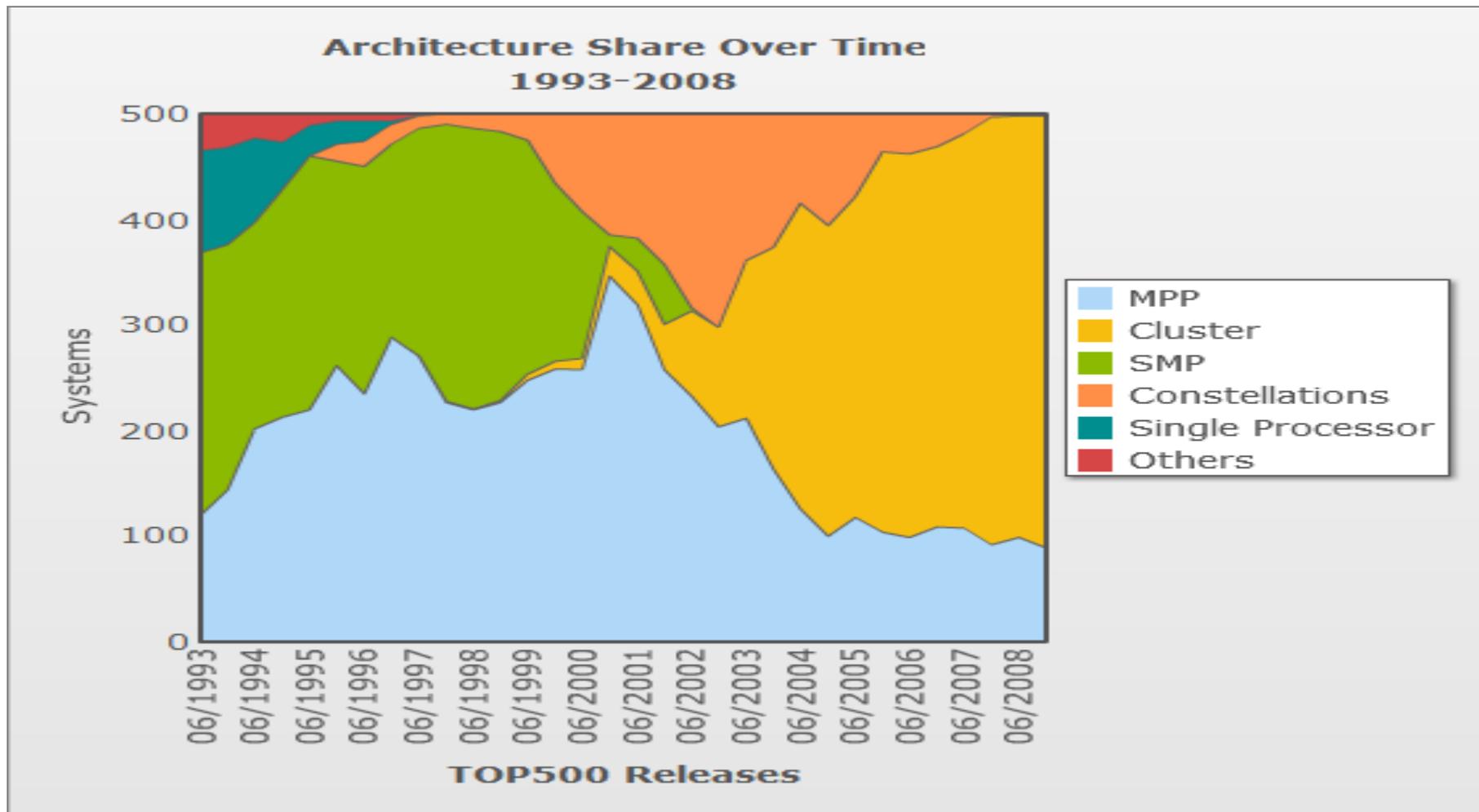
Кластеры

18

- Набор рабочих станций или персональных компьютеров общего назначения, объединенных в систему с помощью одной из стандартных сетевых технологий (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Myrinet и др.) на базе шинной архитектуры или коммутатора.
 - Однородные кластеры
 - Неоднородные кластеры

Кластеры

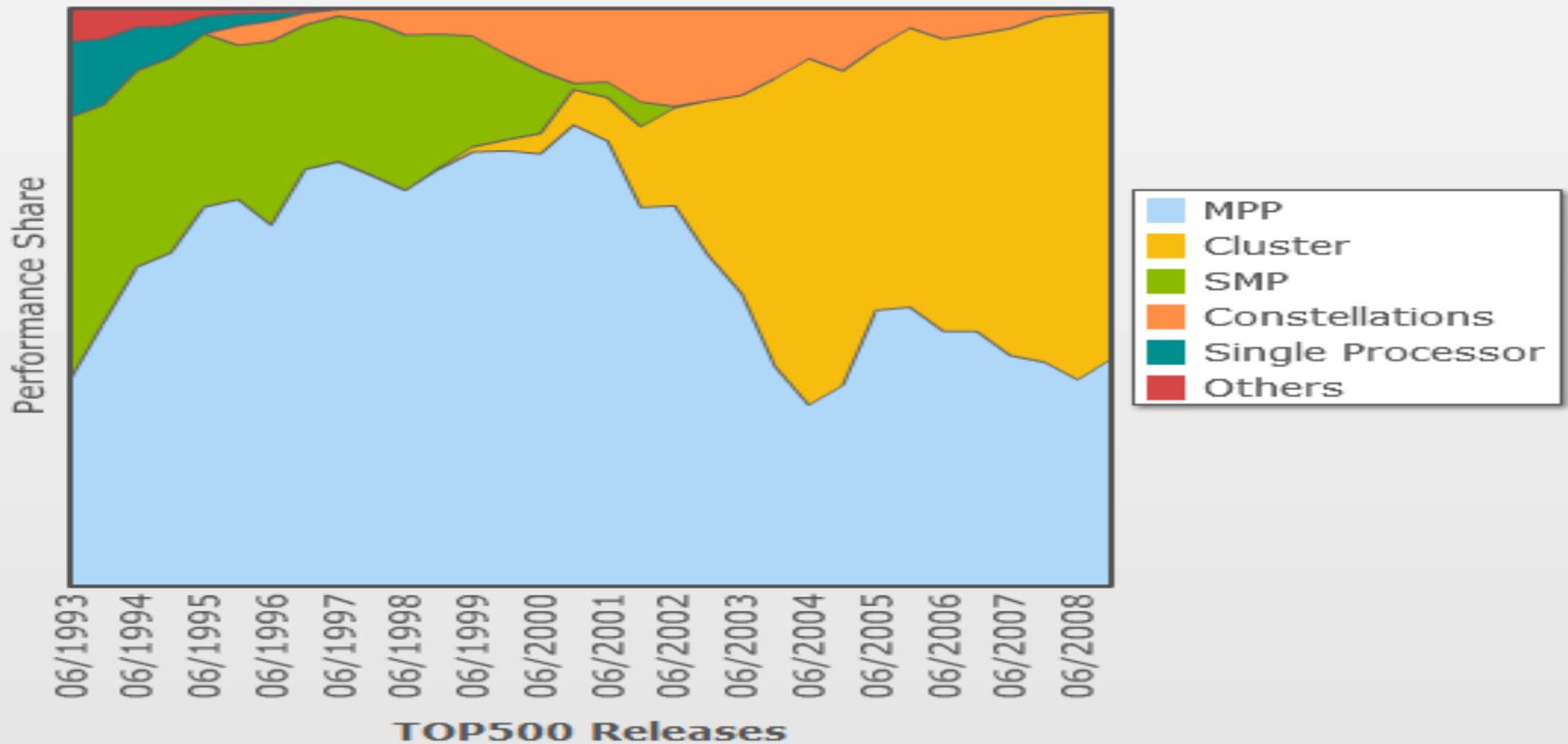
19



Кластеры

20

Architecture Share Over Time
1993-2008



Кластеры: преимущества

21

- Могут быть образованы на базе существующих у потребителей отдельных компьютеров или 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*).

Кластеры: недостатки

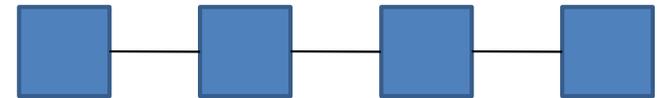
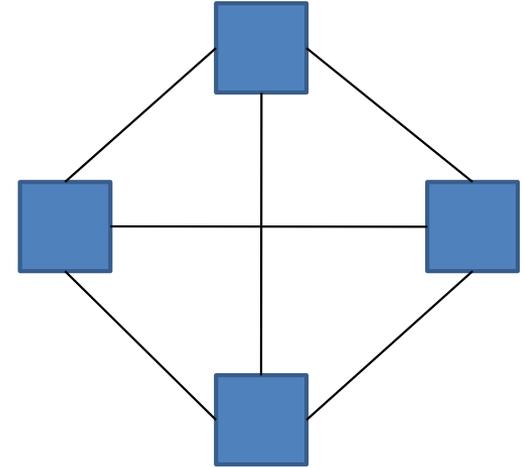
22

- Организация взаимодействия вычислительных узлов кластера при помощи передачи сообщений обычно приводит к значительным временным задержкам.
- Дополнительные ограничения на тип разрабатываемых параллельных алгоритмов и программ (*низкая интенсивность потоков передачи данных*).

Топология соединительной сети мультимпьютеров

23

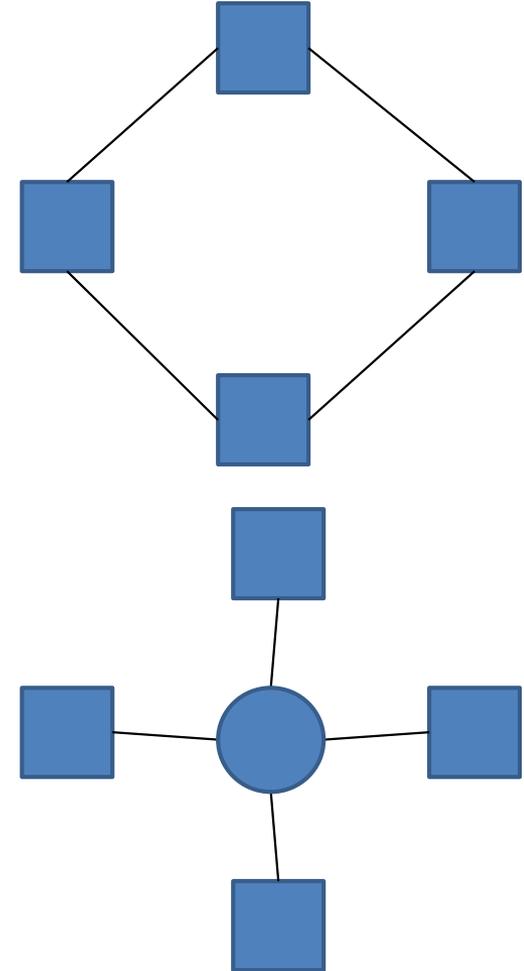
- *Полный граф* – система, в которой между любой парой процессоров существует прямая линия связи.
- *Линейка* – система, в которой все процессоры перенумерованы по порядку и каждый процессор, кроме первого и последнего, имеет линии связи только с двумя соседними.



Топология соединительной сети мультимпьютеров

24

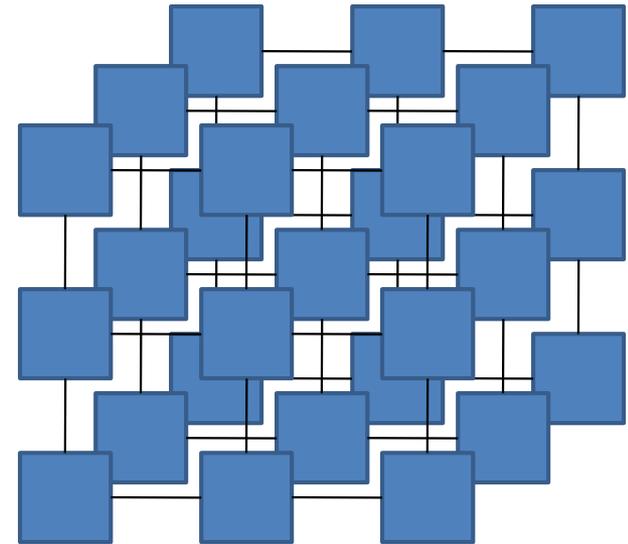
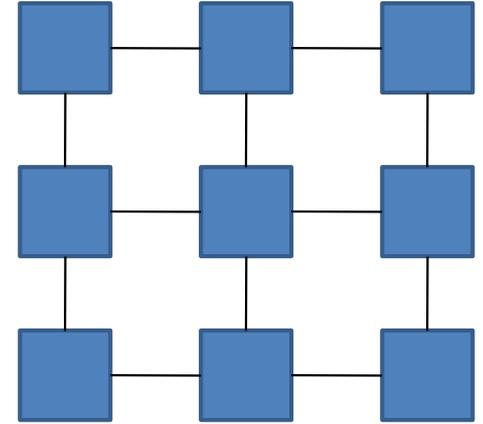
- *Кольцо* – данная топология получается из линейки процессоров соединением первого и последнего процессоров линейки.
- *Звезда* – система, в которой все процессоры имеют линии связи с некоторым управляющим процессором.



Топология соединительной сети мультимпьютеров

25

- *Решетка* – система, в которой граф линий связи образует прямоугольную сетку.
- *Гиперкуб* – частный случай структуры решетки, когда по каждой размерности сетки имеется два процессора.



Топология сети кластеров

26

- Для построения кластерной системы часто используют *коммутатор (switch)*, через который процессоры кластера соединяются между собой.
 - Одновременность выполнения нескольких коммуникационных операций является ограниченной.
 - В любой момент времени каждый процессор может принимать участие только в одной операции приема-передачи данных.

Характеристики топологии сети

27

- *Диаметр* – максимальное расстояние между двумя процессорами сети; характеризует максимально необходимое время для передачи данных между процессорами.
- *Связность* – минимальное количество дуг, которое надо удалить для разделения сети передачи данных на две несвязные области.
- *Ширина бинарного деления* – минимальное количество дуг, которое надо удалить для разделения сети передачи данных на две несвязные области одинакового размера.
- *Стоимость* – общее количество линий передачи данных в многопроцессорной вычислительной системе.

Характеристики топологии сети

28

Топология	Диаметр	Ширина бисекции	Связность	Стоимость
Полный граф	1	$p^2/4$	$(p-1)$	$p(p-1)/2$
Звезда	2	1	1	$p-1$
Линейка	$p-1$	1	1	$p-1$
Кольцо	$\lfloor p/2 \rfloor$	2	2	p
Гиперкуб	$\log_2 p$	$p/2$	$\log_2 p$	$p \log_2 p/2$
Решетка ($N=2$)	$2\lfloor \sqrt{p}/2 \rfloor$	$2\sqrt{p}$	4	$2p$

MS Windows HPC Server 2008

29

- Интегрированная платформа для поддержки высокопроизводительных вычислений на кластерных системах.
- MS Windows HPC Server 2008 состоит из ОС MS Windows Server 2008 и MS HPC Pack – набора интерфейсов, утилит и инфраструктуры управления.
- Вместе с HPC Pack поставляется SDK, содержащий необходимые инструменты разработки программ для CCS, включая собственную реализацию MPI (MS MPI).

MS Compute Cluster Server 2003

30

- В качестве вычислительных узлов кластера могут быть использованы 64-битные процессоры семейства x86 (минимум 512 Мб оперативной памяти и 4 Гб свободного дискового пространства).
- На вычислительных узлах кластера должна быть установлена операционная система MS Windows Server 2003 (Standard, Enterprise или Compute Cluster Edition).

MS Compute Cluster Server 2003

31

- В состав ССР входит система планирования заданий (просмотр состояния запущенных задач, сбор статистики, запуск программ в определенное время, завершение зависших задач и др.).
- В состав ССР входит MS MPI – версия реализации стандарта MPI 2 от Argonne National Labs. MS MPI совместима с MPICH 2 и поддерживает полнофункциональный API с более чем 160 функциями.
- MS Visual Studio 2005 включает параллельный отладчик, работающий с MS MPI.

Заключение

32

- Классификация Флинна
 - SISD
 - SIMD
 - MISD
 - MIMD
- Расширение (класса MIMD) классификации Флинна
 - Мультипроцессоры
 - UMA
 - SMP
 - PVP
 - NUMA
 - ccNUMA
 - nccNUMA
 - COMA
 - Мультикомпьютеры
 - MPP
 - Кластеры
- Виды топологии соединительной сети мультимпьютеров
 - полный граф
 - линейка
 - кольцо
 - звезда
 - решетка
 - гиперкуб
- Характеристики топологии соединительной сети мультимпьютеров
 - диаметр
 - связность
 - ширина бинарного деления
 - стоимость