



## КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В человеческой сфере невозможна  
никакая линейная классификация.  
Э. Мулье

Суперкомпьютеры и их применение

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Содержание

2

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

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## SISD

4

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



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

## MISD

6

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



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

# 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.



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# 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.

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

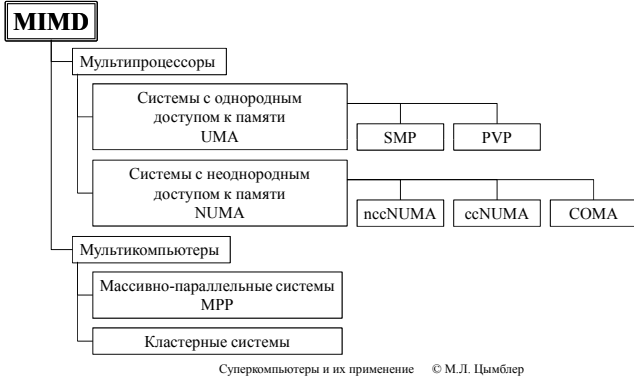
---

---

---

# Детализация класса MIMD

9



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

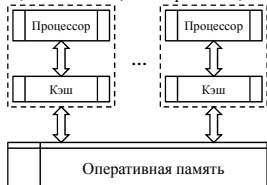
---

---

## 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.



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## UMA: основные проблемы

11

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

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

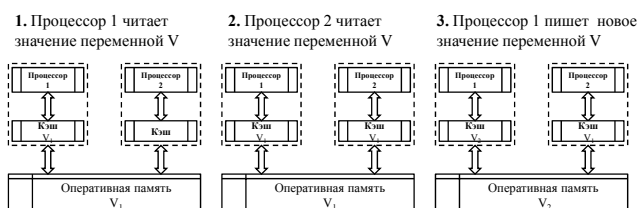
---

---

## 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).



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## 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).

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

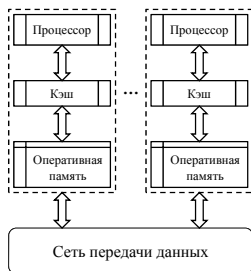
---

---

## 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.



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

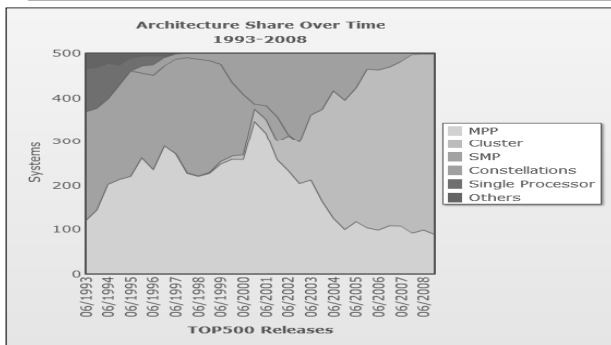
---

---

---

## Кластеры

19



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

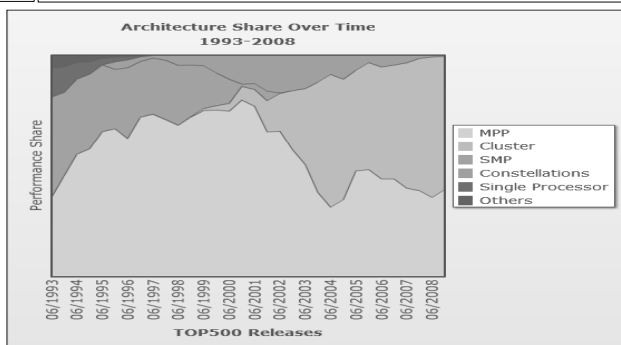
---

---

---

## Кластеры

20



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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*).

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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*).

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

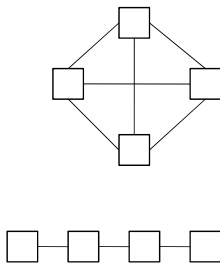
---

---

## Топология соединительной сети мультимикрокомпьютеров

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.



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

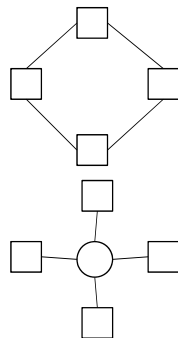
---

---

## Топология соединительной сети мультимикрокомпьютеров

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.



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

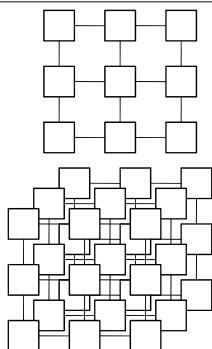
---



## Топология соединительной сети мультимикомпьютеров

25

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



Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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	$2p$

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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).

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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).

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---

## Заключение

32

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Классификация Флинна           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ SISD</li> <li>■ SIMD</li> <li>■ MISD</li> <li>■ MIMD</li> </ul> </li> <li>□ Расширение (класса MIMD) классификации Флинна           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Мультипроцессоры               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ UMA                   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ SMP</li> <li>■ PVP</li> </ul> </li> <li>■ NUMA                   <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ccNUMA</li> <li>■ ncNUMA</li> <li>■ COMA</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>■ Мультикомпьютеры               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ MPP</li> <li>■ Кластеры</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Виды топологии соединительной сети мультикомпьютеров           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ полный граф</li> <li>■ линейка</li> <li>■ кольцо</li> <li>■ звезда</li> <li>■ решетка</li> <li>■ гиперкуб</li> </ul> </li> <li>□ Характеристики топологии соединительной сети мультикомпьютеров           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ диаметр</li> <li>■ связность</li> <li>■ ширина бинарного деления</li> <li>■ стоимость</li> </ul> </li> </ul> |
|---|--|

Суперкомпьютеры и их применение © М.Л. Цымблер

---

---

---

---

---

---

---

---