



Нижегородский государственный университет
им. Н.И.Лобачевского

Факультет Вычислительной математики и кибернетики

Образовательный комплекс

Введение в методы параллельного программирования

Раздел 1.

**Принципы построения параллельных
вычислительных систем**



Гергель В.П., профессор, д.т.н.
Кафедра математического
обеспечения ЭВМ

Содержание

- ❑ Пути достижения параллелизма
- ❑ Примеры параллельных вычислительных систем
 - Суперкомпьютеры
 - Кластеры
- ❑ Классификация многопроцессорных вычислительных систем
 - Мультипроцессоры
 - Мультикомпьютеры
- ❑ Характеристика типовых схем коммуникации
- ❑ Характеристика системных платформ для построения кластеров
- ❑ Заключение



Пути достижения параллелизма...

Под *параллельными вычислениями* понимаются процессы обработки данных, в которых одновременно могут выполняться несколько операций компьютерной системы



Пути достижения параллелизма...

- Достижение параллелизма возможно только при выполнении следующих требований:
 - **независимость функционирования отдельных устройств ЭВМ** (устройства ввода-вывода, обрабатывающие процессоры и устройства памяти),
 - **избыточность элементов вычислительной системы**
 - *использование специализированных устройств* (например, отдельные процессоры для целочисленной и вещественной арифметики, устройства многоуровневой памяти),
 - *дублирование устройств ЭВМ* (например, использование нескольких однопоточных обрабатывающих процессоров или нескольких устройств оперативной памяти),
 - Дополнительная форма обеспечения параллелизма - **конвейерная** реализация обрабатывающих устройств



Пути достижения параллелизма...

- Возможные режимы выполнения независимых частей программы:
 - *многозадачный режим (режим разделения времени)*, при котором для выполнения нескольких процессов используется единственный процессор (данный режим является псевдопараллельным, в каждый момент времени исполняемым может быть единственный процесс),
 - *параллельное выполнение*, когда в один и тот же момент времени может выполняться несколько команд обработки данных (обеспечивается при наличии нескольких процессоров или при помощи конвейерных и векторных обрабатывающих устройств),
 - *распределенные вычисления*, при которых для параллельной обработки данных используется несколько обрабатывающих устройств, достаточно удаленных друг от друга, а передача данных по линиям связи приводит к существенным временным задержкам.



Пути достижения параллелизма

*Основное внимание будем уделять второму
типу организации параллелизма, реализуемому
на многопроцессорных вычислительных
системах*



□ Суперкомпьютеры

Суперкомпьютер – это вычислительная система, обладающая предельными характеристиками по производительности среди имеющихся в каждый конкретный момент времени компьютеров



□ Суперкомпьютеры. Программа ASCI

(Accelerated Strategic Computing Initiative)

- 1996, система **ASCI Red**, построенная Intel, производительность 1 TFlops,
- 1999, **ASCI Blue Pacific** от IBM и **ASCI Blue Mountain** от SGI, производительность 3 TFlops,
- 2000, **ASCI White** с пиковой производительностью свыше 12 TFlops (реально показанная производительность на тесте LINPACK составила на тот момент 4938 GFlops)



□ Суперкомпьютеры. ASCI White...

- система IBM RS/6000 SP с 512-ю симметричными мультипроцессорными (SMP) узлами, каждый узел имеет 16 процессоров,
- все узлы системы являются симметричными мультипроцессорами IBM RS/6000 POWER3 с 64-х разрядной архитектурой и конвейерной организацией с 2 устройствами по обработке команд с плавающей запятой и 3 устройствами по обработке целочисленных команд, они способны выполнять до 8 команд за тактовый цикл и до 4 операций с плавающей запятой за такт, тактовая частота каждого процессора 375 MHz,
- оперативная память системы – 4 TB,
- емкость дискового пространства 180 TB



□ Суперкомпьютеры. ASCI White

- Операционная система представляет собой версию UNIX – IBM AIX,
- Программное обеспечение ASCI White поддерживает смешанную модель программирования – передача сообщений между узлами и многопоточность внутри SMP-узла,
- Поддерживаются библиотеки MPI, OpenMP, потоки POSIX и транслятор директив IBM, имеется параллельный отладчик IBM.



□ Суперкомпьютеры. Система BlueGene

- Работы над ним еще не закончены, в настоящий момент система имеет полное название “**BlueGene/L DD2 beta-System**” и представляет собой “первую очередь” полной вычислительной системы,
- Прогнозируемая пиковая производительность достигнет 360 TFlops,
- Характеристики текущего варианта системы:
 - 32 стойки по 1024 двухядерных 32-битных процессора PowerPC 440 0.7 GHz в каждой,
 - пиковая производительность – порядка 180 TFlops,
 - максимальная показанная производительность (на тесте LINPACK) – 135 TFlops



Примеры параллельных вычислительных систем...

□ Суперкомпьютеры. МВС-1000...

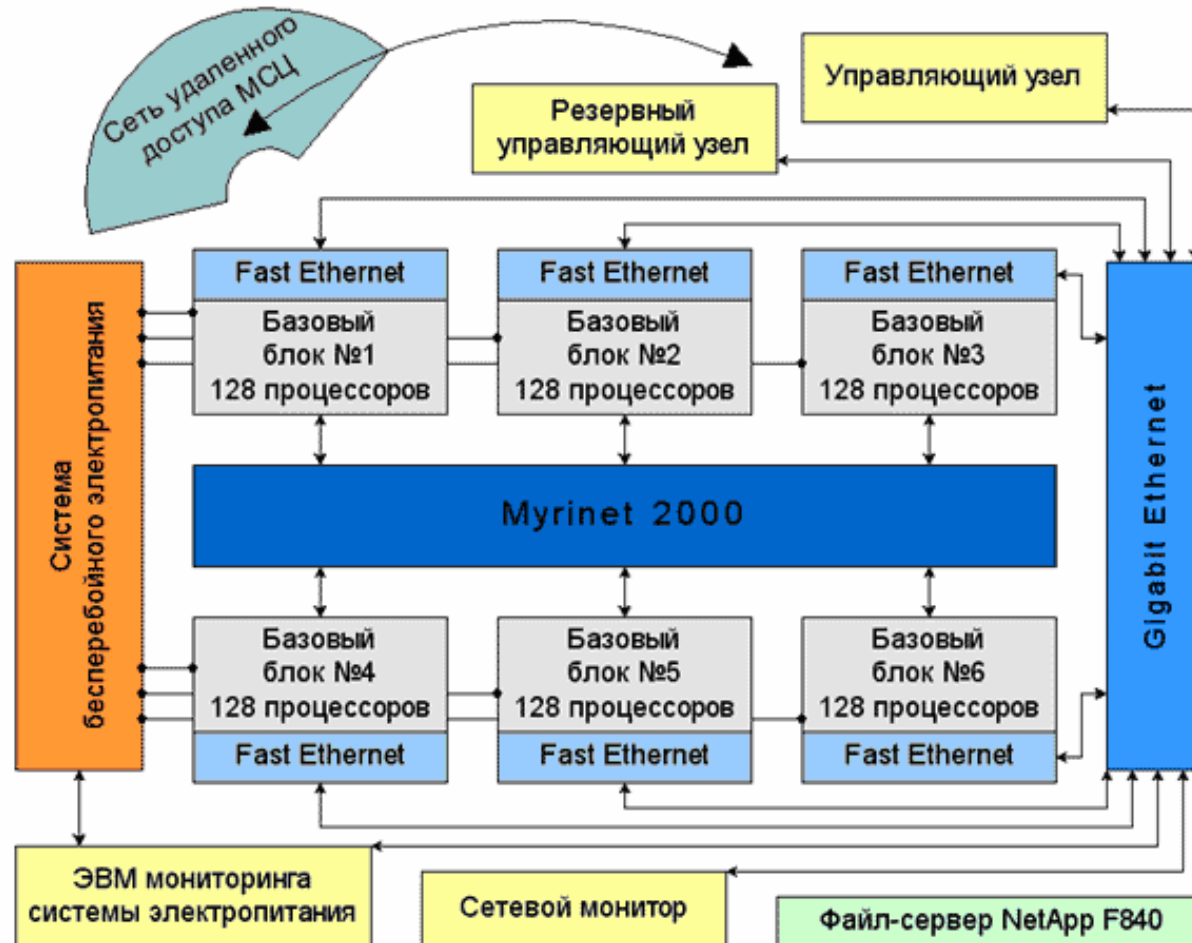
(Межведомственный Суперкомпьютерный Центр РАН)

- Пиковая производительность 1024 GFlops, максимально показанная на тесте LINPACK производительность 734 GFlops,
- 384 двухпроцессорных модуля на базе Alpha 21264 667 MHz (кэш L2 4 Mb), собранные в виде 6 базовых блоков, по 64 модуля в каждом,
- Каждый вычислительный модуль имеет по 2 Gb оперативной памяти, HDD 20 Gb, сетевые карты Myrinet (2000 Mbit) и Fast Ethernet (100 Mbit),
- Операционные системы управляющего сервера и вычислительных модулей – ОС Linux RedHat 6.2 с поддержкой SMP.



Примеры параллельных вычислительных систем...

□ Суперкомпьютеры. МВС-1000



□ Суперкомпьютеры. МВС-15000...

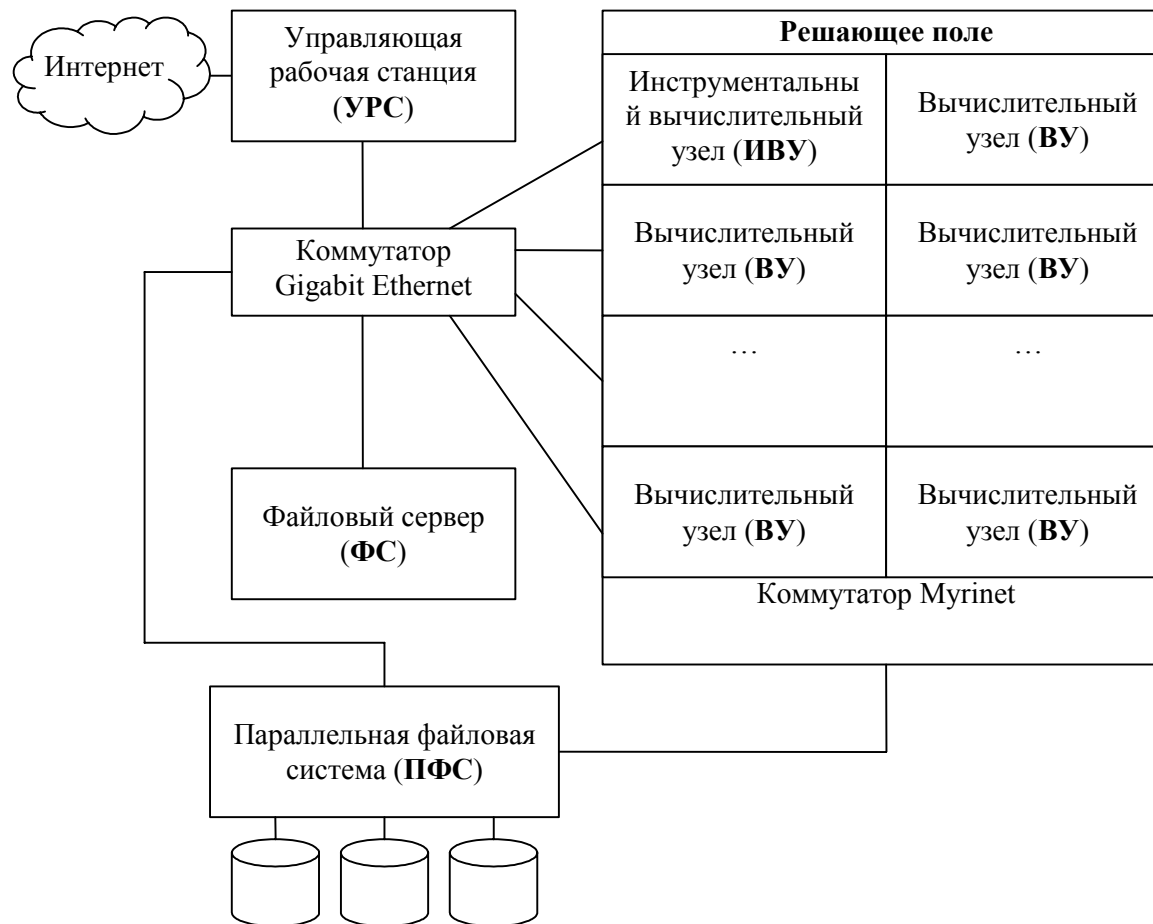
(Межведомственный Суперкомпьютерный Центр РАН)

- Общее количество узлов 276 (552 процессора).
Каждый узел представляет собой:
 - 2 процессора IBM PowerPC 970 с тактовой частотой 2.2 GHz, кэш L1 96 Kb и кэш L2 512 Kb,
 - 4 Gb оперативной памяти на узел,
 - 40 Gb жесткий диск IDE,
- Операционная система SuSe Linux Enterprise Server версии 8 для платформ x86 и PowerPC;
- Пиковая производительность 4857.6 GFlops и максимально показанная на тесте LINPACK 3052 GFlops.



Примеры параллельных вычислительных систем...

□ Суперкомпьютеры. МВС-15000



□ Кластеры

Кластер – группа компьютеров, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС) и способных работать в качестве единого вычислительного ресурса.

Предполагает более высокую надежность и эффективность, нежели ЛВС, и существенно более низкую стоимость в сравнении с другими типами параллельных вычислительных систем (за счет использования типовых аппаратных и программных решений).



□ Кластеры. Beowulf...

- В настоящее время под кластером типа “*Beowulf*” понимается вычислительная система, состоящая из одного серверного узла и одного или более клиентских узлов, соединенных при помощи сети Ethernet или некоторой другой сети передачи данных. Это система, построенная из готовых серийно выпускающихся промышленных компонент, на которых может работать ОС Linux, стандартных адаптеров Ethernet и коммутаторов.



□ Кластеры. Beowulf...

– 1994, научно-космический центр NASA Goddard Space Flight Center, руководители проекта - Томас Стерлинг и Дон Бекер:

- 16 компьютеров на базе процессоров 486DX4, тактовая частота 100 MHz,
- 16 Mb оперативной памяти на каждом узле,
- Три параллельно работавших 10Mbit/s сетевых адаптера,
- Операционная система Linux, компилятор GNU, поддержка параллельных программ на основе MPI.



□ Кластеры. Beowulf

- 1998, Система Avalon, Лос-Аламосская национальная лаборатория (США) , руководители проекта - астрофизик Майкл Уоррен:
 - 68 процессоров (позднее расширен до 140) Alpha 21164A с тактовой частотой 533 MHz,
 - 256 Mb RAM, 3 Gb HDD, Fast Ethernet card на каждом узле,
 - Операционная система Linux;
 - Пиковая производительность в 149 GFlops и показанная на тесте LINPACK 48.6 GFlops.



□ Кластеры. AC3 Velocity Cluster

- 2000, [Корнельский университет](#) (США), результат совместной работы университета и Advanced Cluster Computing Consortium, образованного компаниями Dell, Intel, Microsoft, Giganet:
 - 64 четырехпроцессорных сервера Dell PowerEdge 6350 на базе Intel Pentium III Xeon 500 MHz, 4 GB RAM, 54 GB HDD, 100 Mbit Ethernet card,
 - 1 восьмипроцессорный сервер Dell PowerEdge 6350 на базе Intel Pentium III Xeon 550 MHz, 8 GB RAM, 36 GB HDD, 100 Mbit Ethernet card,
 - Операционная система Microsoft Windows NT 4.0 Server Enterprise Edition,
 - Пиковая производительность AC3 Velocity 122 GFlops, производительность на тесте LINPACK 47 GFlops.



□ Кластеры. NCSA NT Supercluster

– 2000, Национальный центр суперкомпьютерных технологий (National Center for Supercomputing Applications):

- 38 двухпроцессорных систем Hewlett-Packard Kayak XU PC workstation на базе Intel Pentium III Xeon 550 MHz, 1 Gb RAM, 7.5 Gb HDD, 100 Mbit Ethernet card,
- Операционная система ОС Microsoft Windows,
- Пиковая производительностью в 140 GFlops и производительность на тесте LINPACK в 62 GFlops.



□ Кластеры. Thunder

– 2004, Ливерморская Национальная Лаборатория (США):

- 1024 сервера, по 4 процессора Intel Itanium 1.4 GHz в каждом,
- 8 Gb оперативной памяти на узел,
- общая емкость дисковой системы 150 Tb,
- операционная система CHAOS 2.0,
- Пиковая производительность 22938 GFlops и максимально показанная на тесте LINPACK 19940 GFlops (5-ая позиция списка Top500).



Примеры параллельных вычислительных систем...

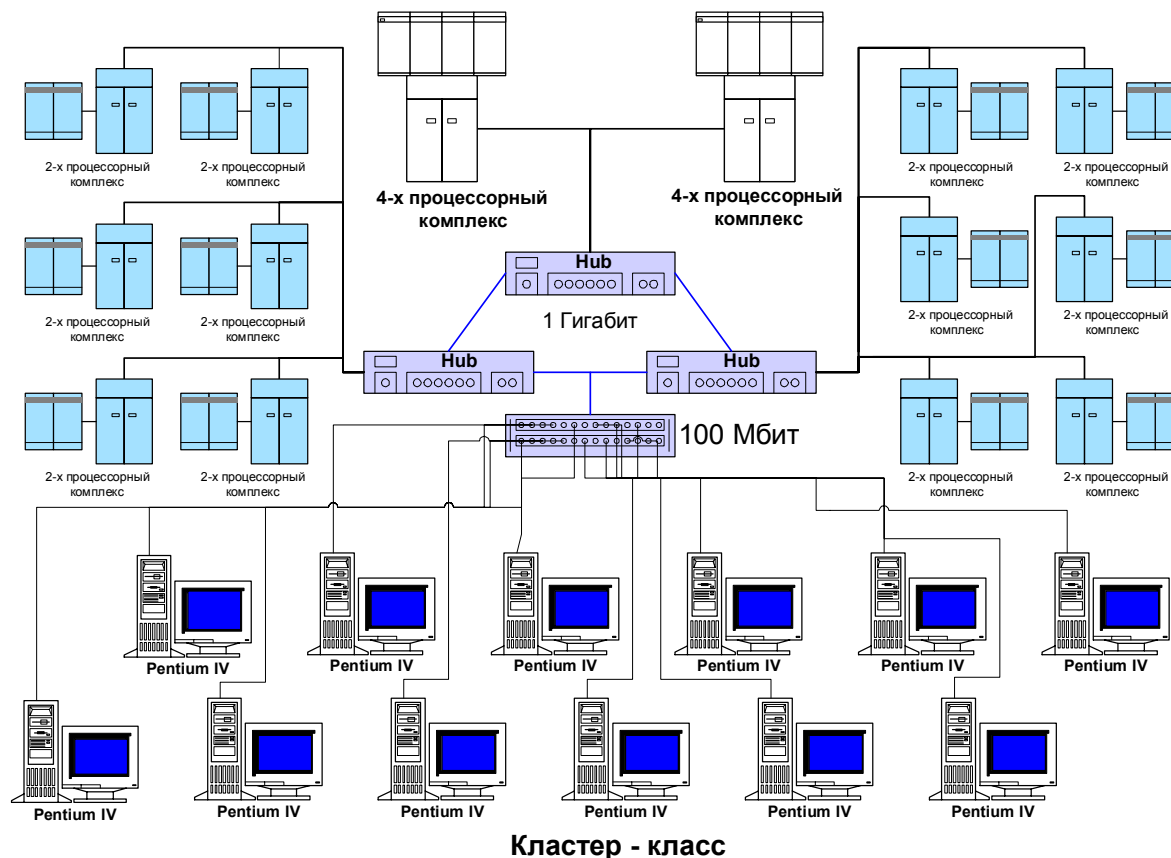
□ Кластеры. Вычислительный кластер ННГУ...

- 2001, Нижегородский государственный университет, оборудование передано в рамках Академической программы Интел:
 - 2 вычислительных сервера, каждый из которых имеет 4 процессора Intel Pentium III 700 МГц, 512 MB RAM, 10 GB HDD, 1 Гбит Ethernet card,
 - 12 вычислительных серверов, каждый из которых имеет 2 процессора Intel Pentium III 1000 МГц, 256 MB RAM, 10 GB HDD, 1 Гбит Ethernet card,
 - 12 рабочих станций на базе процессора Intel Pentium 4 1300 МГц, 256 MB RAM, 10 GB HDD, 10/100 Fast Ethernet card,
 - Операционная система Microsoft Windows.



Примеры параллельных вычислительных систем...

❑ Кластеры. Вычислительный кластер ННГУ



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**.*



Классификация вычислительных систем...

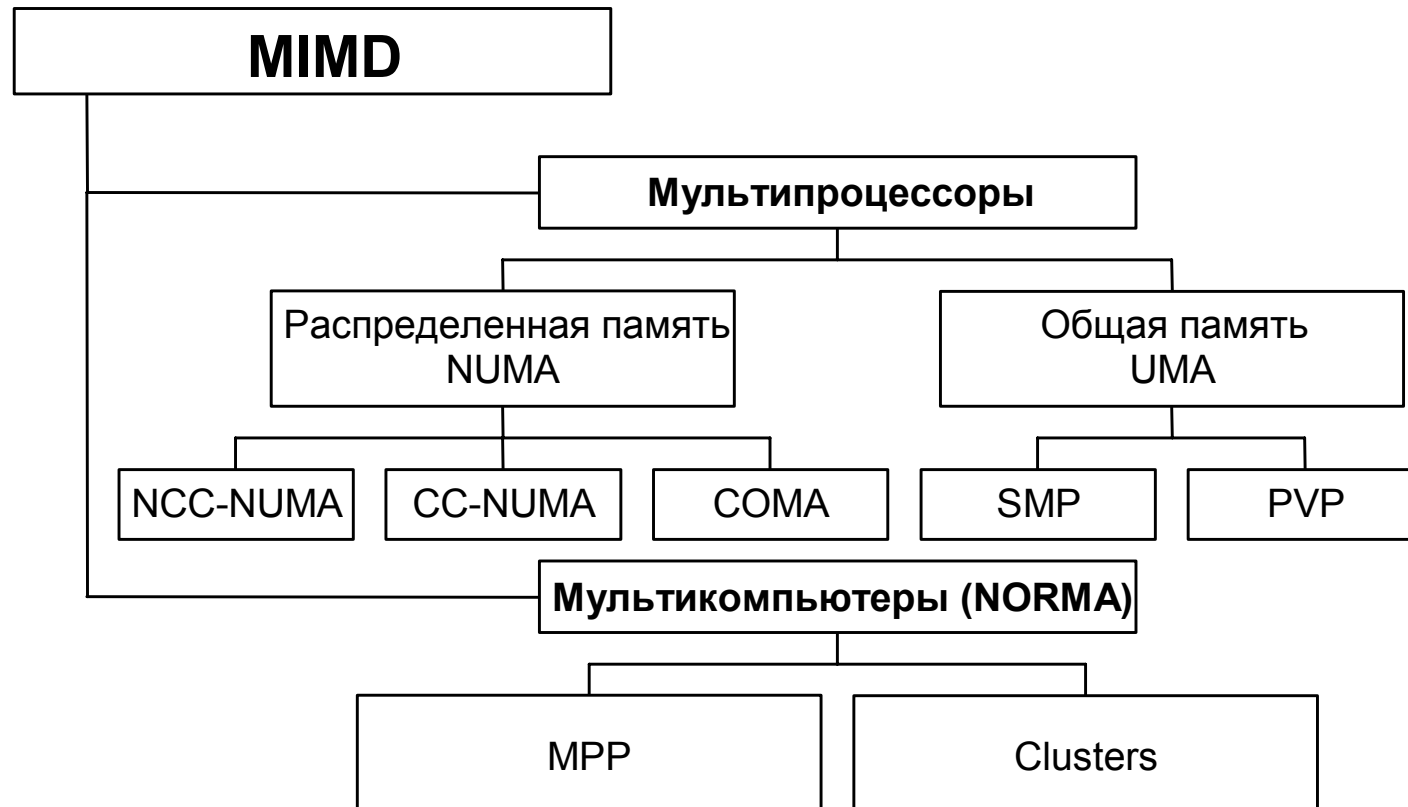
□ Детализация систематики Флинна...

- 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 вычислительных систем...

□ Детализация систематики Флинна...



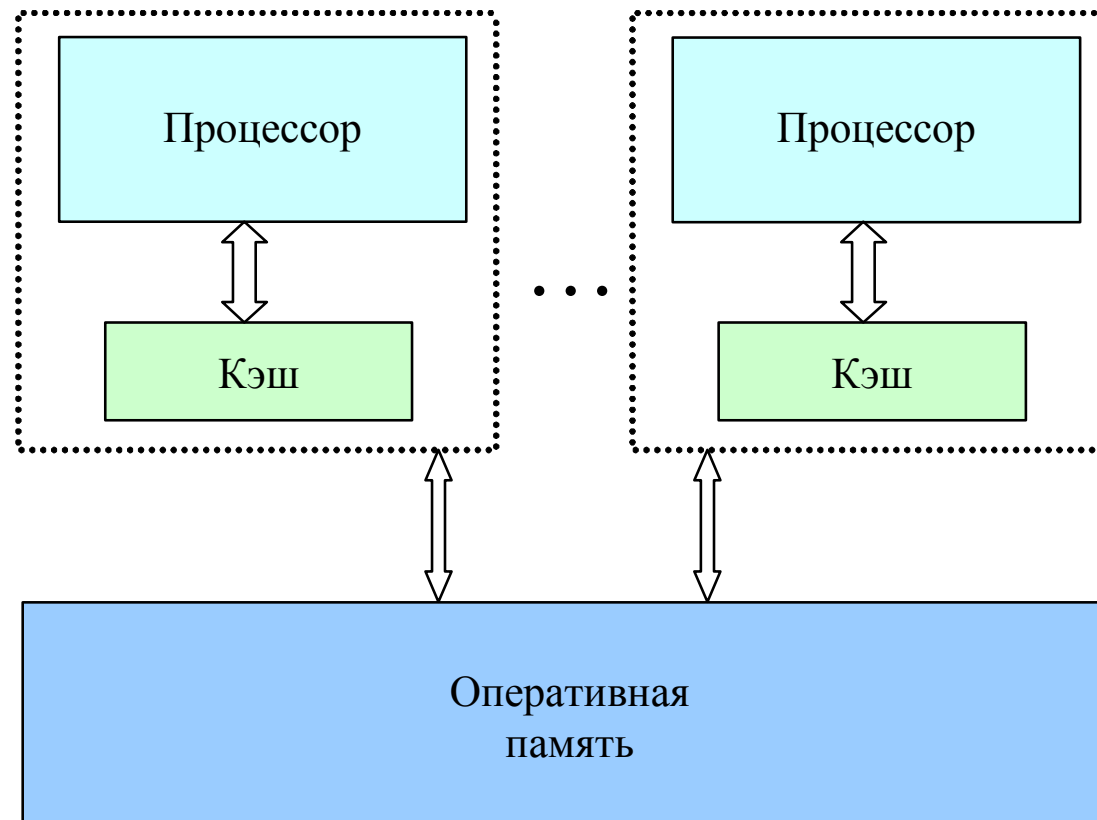
Классификация вычислительных систем...

- ❑ **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.



Классификация вычислительных систем...

- ❑ **Мультимикропроцессоры** с использованием единой *общей памяти...*



Классификация вычислительных систем...

- ❑ **Мультипроцессоры** с использованием единой *общей памяти*

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



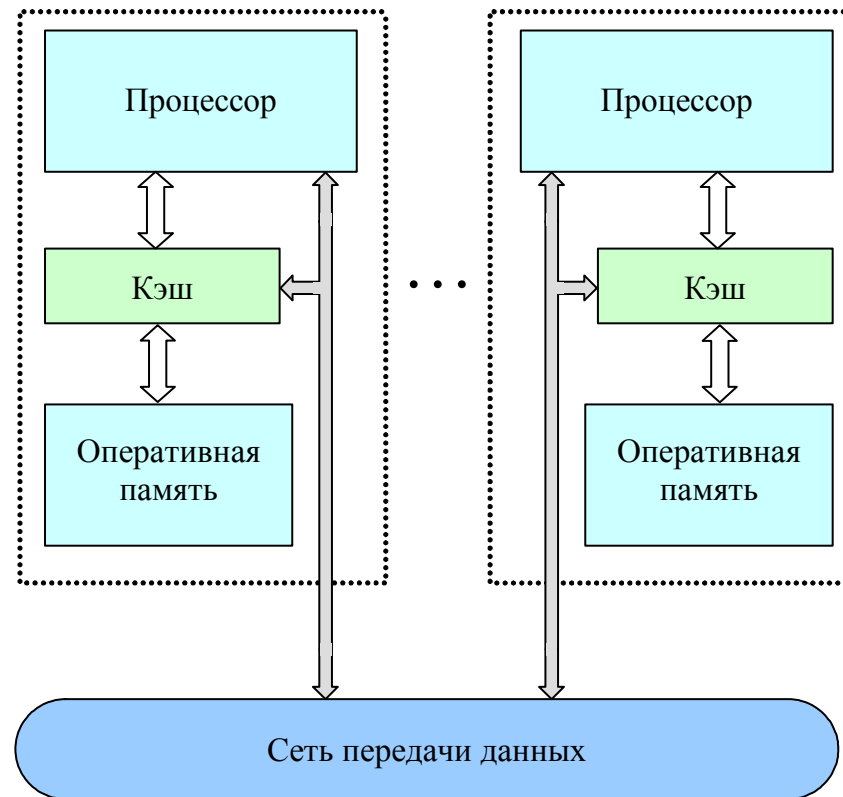
Классификация вычислительных систем...

- ❑ **Мультипроцессоры** 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).



Классификация вычислительных систем...

- ❑ **Мультимикропроцессоры с использованием физически распределенной памяти...**



Классификация вычислительных систем...

- ❑ **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 вычислительных систем...

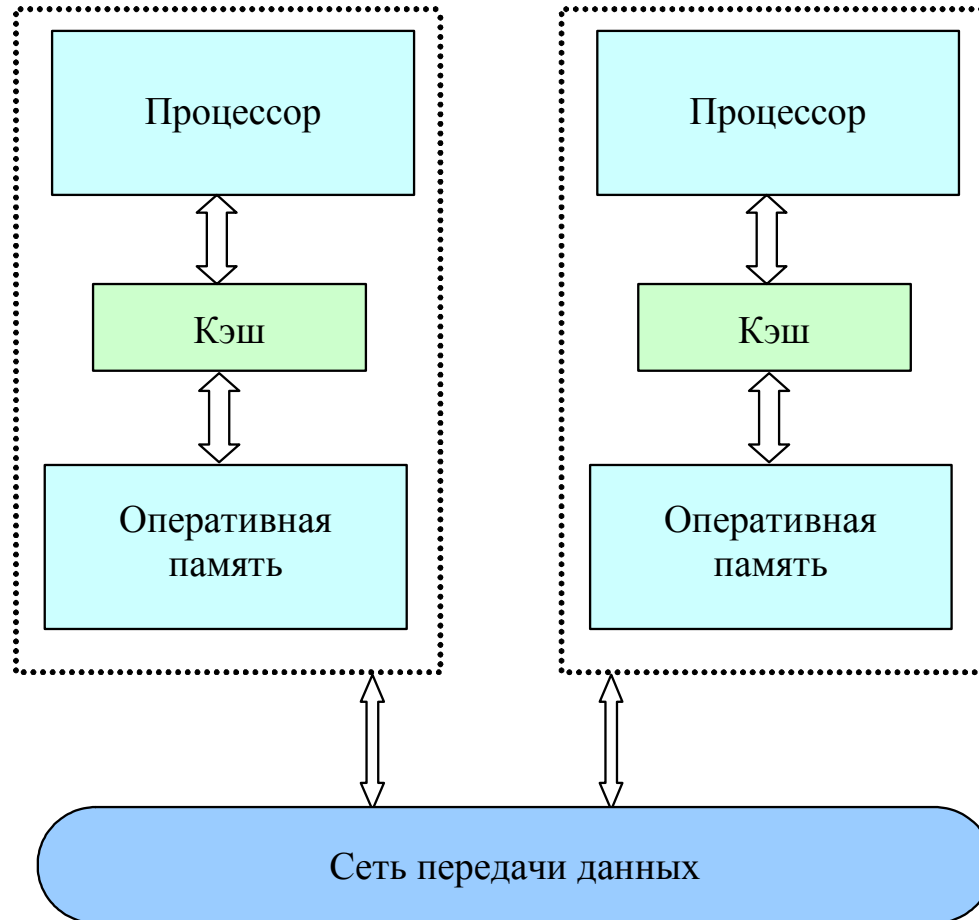
□ Мультикомпьютеры...

- 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 вычислительных систем...

□ Мультикомпьютеры...



Классификация вычислительных систем...

□ 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.



Классификация вычислительных систем...

□ 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*)*



Классификация вычислительных систем...

□ 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*).



Классификация вычислительных систем

❑ Мультикомпьютеры. Кластеры

Недостатки:

- 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*)



Характеристика типовых схем коммуникации...

При организации параллельных вычислений в мультикомпьютерах для взаимодействия, синхронизации и взаимоисключения параллельно выполняемых процессов используется передача данных между процессорами вычислительной среды.

Топология сети передачи данных - структура линий коммутации между процессорами вычислительной системы



Характеристика типовых схем коммуникации...

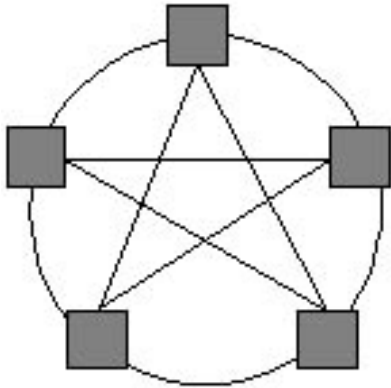
□ Топология сети передачи данных...

- **полный граф** (*completely-connected graph or clique*) – система, в которой между любой парой процессоров существует прямая линия связи,
- **линейка** (*linear array or farm*) – система, в которой все процессоры перенумерованы по порядку и каждый процессор, кроме первого и последнего, имеет линии связи только с двумя соседними,
- **кольцо** (*ring*) – данная топология получается из линейки процессоров соединением первого и последнего процессоров линейки,
- **звезда** (*star*) – система, в которой все процессоры имеют линии связи с некоторым управляющим процессором,
- **решетка** (*mesh*) – система, в которой граф линий связи образует прямоугольную сетку,
- **гиперкуб** (*hypercube*) – данная топология представляет частный случай структуры решетки, когда по каждой размерности сетки имеется только два процессора.

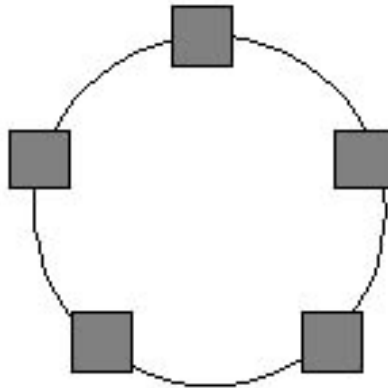


Характеристика типовых схем коммуникации...

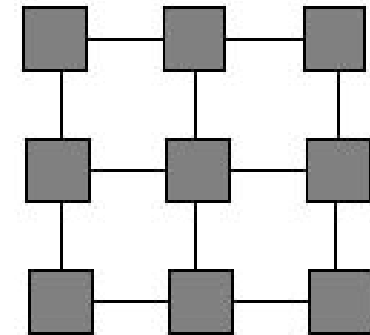
□ Топология сети передачи данных



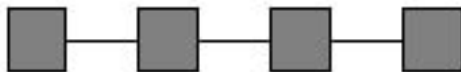
Полный граф (*completely-connected graph or clique*)



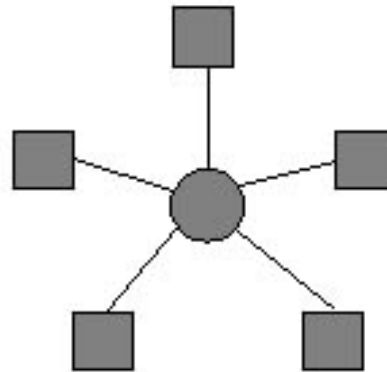
Кольцо (*ring*)



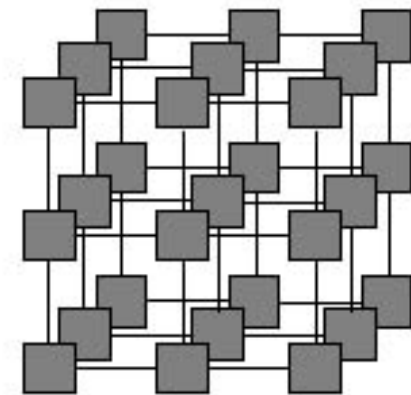
Решетка (*mesh*)



Линейка (*linear array or farm*)



Звезда (*star*)



□ Топология сети вычислительных кластеров

Для построения кластерной системы во многих случаях 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



Характеристика типовых схем коммуникации...

□ Характеристики топологии сети...

- *диаметр* – максимальное расстояние между двумя процессорами сети; характеризует максимально-необходимое время для передачи данных между процессорами,
- *связность (connectivity)* – минимальное количество дуг, которое надо удалить для разделения сети передачи данных на две несвязные области,
- *ширина бинарного деления (bisection width)* – 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.



Характеристика типовых схем коммуникации

□ Характеристики топологии сети

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	$\text{Log}(p)$	$p/2$	$\text{Log}(p)$	$p \text{Log}(p)/2$
Решетка (N=2)	$2 \lfloor \sqrt{p}/2 \rfloor$	$2\sqrt{p}$	4	$2p$



Характеристика системных платформ для построения кластеров

□ Будет добавлено



Заключение

- ❑ Приведена общая характеристика способов организации параллельных вычислений
- ❑ Рассмотрено различие между многозадачным, параллельным и распределенным режимами выполнения программ
- ❑ Приведен ряд примеров параллельных вычислительных систем
- ❑ Дано описание одного из наиболее известных способов классификации параллельных вычислительных систем – *систематики Флинна*
- ❑ **Даны ключевые определения мультипроцессора и мультикомпьютера**
- ❑ Рассмотрены основные характеристики сетей передачи данных в многопроцессорных вычислительных системах



Вопросы для обсуждения

- ❑ В чем заключаются основные способы достижения параллелизма?
- ❑ В чем могут состоять различия параллельных вычислительных систем?
- ❑ Что положено в основу классификация Флинна?
- ❑ В чем состоит принцип разделения многопроцессорных систем на мультипроцессоры и мультикомпьютеры?
- ❑ В чем состоят положительные и отрицательные стороны кластерных систем?
- ❑ Какие топологии сетей передачи данных наиболее широко используются при построении многопроцессорных систем?
- ❑ В чем состоят особенности сетей передачи данных для кластеров?
- ❑ Каковы основные характеристики сетей передачи данных?
- ❑ Какие системные платформы могут быть использованы для построения кластеров?



Темы заданий для самостоятельной работы

- ❑ Приведите дополнительные примеры параллельных вычислительных систем
- ❑ Выполните рассмотрение дополнительных способов классификации компьютерных систем
- ❑ Рассмотрите способы обеспечения когерентности кэшей в системах с общей разделяемой памятью
- ❑ Подготовьте обзор программных библиотек, обеспечивающих выполнение операций передачи данных для систем с распределенной памятью
- ❑ Рассмотрите топологию сети передачи данных в виде двоичного дерева
- ❑ Выделите эффективно реализуемые классы задач для каждого типа топологий сети передачи данных



Литература...

- ❑ **Воеводин** В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: [БХВ-Петербург](#), 2002.
- ❑ **Корнеев** В.В. Параллельные вычислительные системы. – М.: Нолидж, 1999.
- ❑ **Таненбаум** Э. (2002) . Архитектура компьютера. – СПб.: Питер.



Литература...

- ❑ **Barker**, M. (Ed.) (2000). Cluster Computing Whitepaper at <http://www.dcs.port.ac.uk/~mab/tfcc/WhitePaper/>.
- ❑ **Buyya**, R. (Ed.) (1999). High Performance Cluster Computing. Volume 1: Architectures and Systems. Volume 2: Programming and Applications. - Prentice Hall PTR, Prentice-Hall Inc.
- ❑ **Culler**, D., Singh, J.P., Gupta, A. (1998) Parallel Computer Architecture: A Hardware/Software Approach. - Morgan Kaufmann.
- ❑ **Dally**, W.J., Towles, B.P. (2003). Principles and Practices of Interconnection Networks. - Morgan Kaufmann.
- ❑ **Flynn**, M.J. (1966) Very high-speed computing systems. Proceedings of the IEEE 54(12): P. 1901-1909.



Литература...

- ❑ **Hockney**, R. W., Jesshope, C.R. (1988). Parallel Computers 2. Architecture, Programming and Algorithms. - Adam Hilger, Bristol and Philadelphia. (русский перевод 1 издания: Хокни Р., Джессхоуп К. Параллельные ЭВМ. Архитектура, программирование и алгоритмы. - М.: Радио и связь, 1986)
- ❑ **Kumar** V., Grama A., Gupta A., Karypis G. (1994). Introduction to Parallel Computing. - The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. (2nd edn., 2003)
- ❑ **Kung**, H.T. (1982). Why Systolic Architecture? Computer 15 № 1. P. 37-46.
- ❑ **Patterson**, D.A., Hennessy J.L. (1996). Computer Architecture: A Quantitative Approach. 2d ed. - San Francisco: Morgan Kaufmann.



Литература

- ❑ **Pfister**, G. P. (1995). In Search of Clusters. - Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ (2nd edn., 1998).
- ❑ **Sterling**, T. (ed.) (2001). Beowulf Cluster Computing with Windows. - Cambridge, MA: The MIT Press.
- ❑ **Sterling**, T. (ed.) (2002). Beowulf Cluster Computing with Linux. - Cambridge, MA: The MIT Press
- ❑ **Tanenbaum**, A. (2001). Modern Operating System. 2nd edn. – Prentice Hall (русский перевод Таненбаум Э. Современные операционные системы. – СПб.: Питер, 2002)
- ❑ **Xu**, Z., Hwang, K. (1998). Scalable Parallel Computing Technology, Architecture, Programming. – Boston: McGraw-Hill.



Следующая тема

- ❑ **Модели вычислений. Показатели эффективности.**



Авторский коллектив

Гергель В.П., профессор, д.т.н., руководитель

Гришагин В.А., доцент, к.ф.м.н.

Абросимова О.Н., ассистент (раздел 10)

Лабутин Д.Ю., ассистент (система ПараЛаб)

Курылев А.Л., ассистент (лабораторные работы 4, 5)

Сысоев А.В., ассистент (раздел 1)

Гергель А.В., аспирант (раздел 12, лабораторная работа 6)

Лабутина А.А., аспирант (разделы 7,8,9, лабораторные работы
1, 2, 3, система ПараЛаб)

Сенин А.В., аспирант (раздел 11, лабораторные работы по
Microsoft Compute Cluster)

Ливерко С.В. (система ПараЛаб)



Целью проекта является создание образовательного комплекса "Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование", обеспечивающий рассмотрение вопросов параллельных вычислений, предусматриваемых рекомендациями Computing Curricula 2001 Международных организаций IEEE-CS и ACM. Данный образовательный комплекс может быть использован для обучения на начальном этапе подготовки специалистов в области информатики, вычислительной техники и информационных технологий.

Образовательный комплекс включает учебный курс "Введение в методы параллельного программирования" и лабораторный практикум "Методы и технологии разработки параллельных программ", что позволяет органично сочетать фундаментальное образование в области программирования и практическое обучение методам разработки масштабного программного обеспечения для решения сложных вычислительно-трудоемких задач на высокопроизводительных вычислительных системах.

Проект выполнялся в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского на кафедре математического обеспечения ЭВМ факультета вычислительной математики и кибернетики (<http://www.software.unn.ac.ru>). Выполнение проекта осуществлялось при поддержке компании Microsoft.

