

# СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ

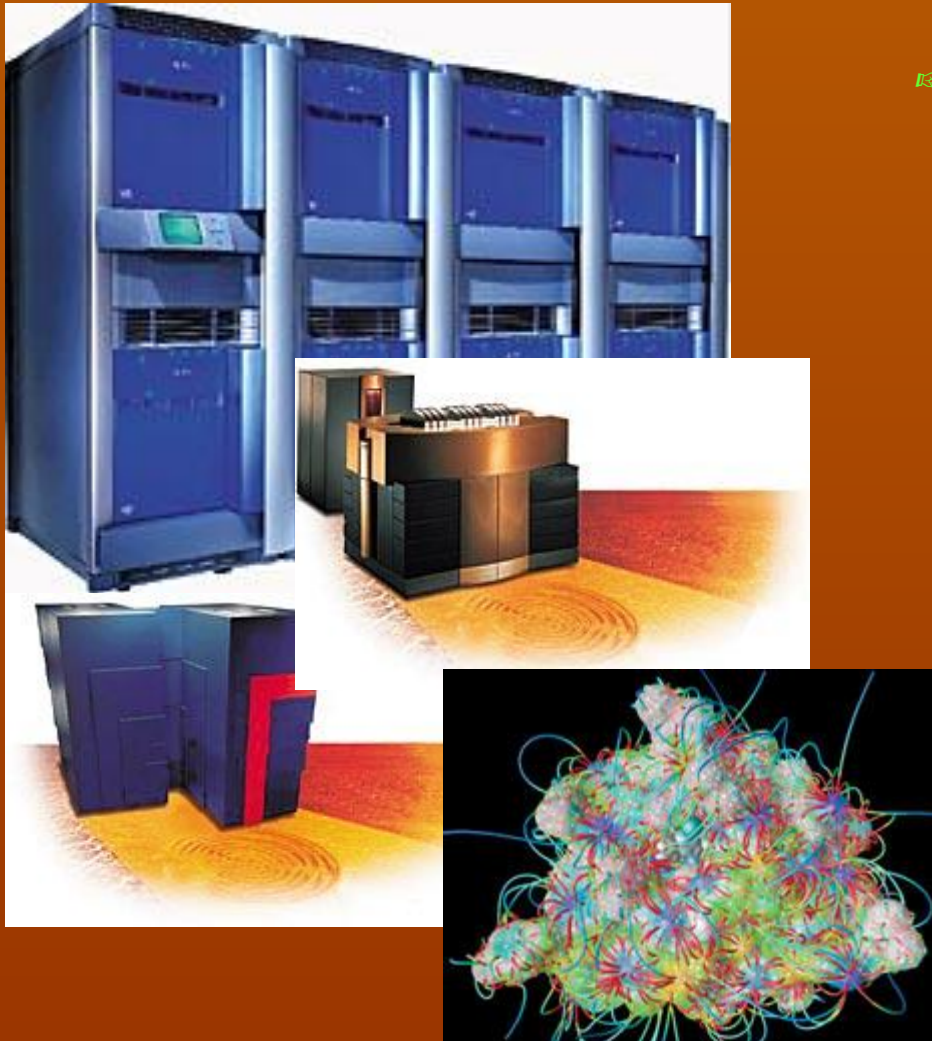
Что это?

Зачем это нужно?

Кто этим пользуется?

И его архитектура.

# Что это?



- Суперкомпьютер — мощная многопроцессорная вычислительная машина с быстродействием сотни миллионов — десятки миллиардов арифметических операций в секунду, емкостью оперативной памяти сотни Гбайт и внешней (дисковой) памяти десятки Тбайт, разрядностью машинного слова 64 или 128 бит



# Что же вообще такое – суперкомпьютеры?

- Считается, что супер - ЭВМ - это компьютеры с максимальной производительностью. Однако быстрое развитие компьютерной индустрии делает это понятие весьма и весьма относительным: то, что десять лет назад можно было назвать суперкомпьютером, сегодня под это определение уже не подпадает. Производительность первых супер - ЭВМ начала 70-х годов была сравнима с производительностью современных ПК на базе традиционных процессоров Pentium. По сегодняшним меркам ни те, ни другие к суперкомпьютерам, конечно же, не относятся. В любом компьютере все основные параметры взаимосвязаны. Трудно себе представить универсальный компьютер, имеющий высокое быстродействие и мизерную оперативную память либо огромную оперативную память и небольшой объем дисков. Отсюда простой вывод: супер - ЭВМ — не компьютер, имеющий не только максимальную производительность, но и максимальный ли объем оперативной и дисковой памяти и совокупности со специализированным программным обеспечением, с помощью которого этим монстром можно эффективно пользоваться. Суперкомпьютерам не раз пытались давать универсальные определения — иногда они получались серьезными, иногда ироничными. Например, как-то предлагалось считать суперкомпьютером машину, вес которой превышает одну тонну.

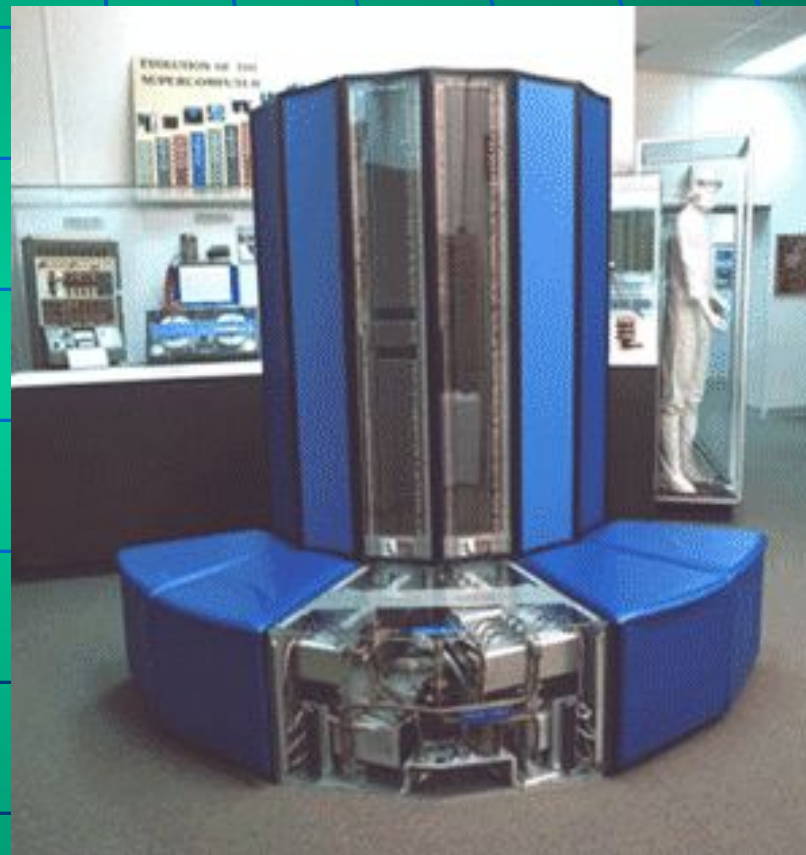
- Самая мощная ЭВМ на сегодняшний день — это система Intel ASCI RED, построенная по заказу Министерства энергетики США. Чтобы представить себе возможности этого суперкомпьютера, достаточно сказать, что он объединяет в себе 9632 (!) процессора Pentium Pro, имеет более 600 Гбайт оперативной памяти и общую производительность в 3200 миллиардов операций в секунду. Человеку потребовалось бы 100000 лет, чтобы даже с калькулятором выполнить все те операции, которые этот компьютер делает всего за 1 секунду! Создать подобную вычислительную систему — всё равно, что построить целый завод со своими системами охлаждения, бесперебойного питания и т.д. Понятно, что любой суперкомпьютер, даже в более умеренной конфигурации, должен стоить не один миллион долларов США: ради интереса прикиньте, сколько стоят, скажем, лишь 600 Гбайт оперативной памяти? Возникает естественный вопрос: какие задачи настолько важны, что требуются компьютеры стоимостью в несколько миллионов долларов? Или еще один: какие задачи настолько сложны, что хорошего Pentium IV для их решения недостаточно? Несколько лет назад был предложен и такой вариант: суперкомпьютер — это устройство, сводящее проблему вычислений к проблеме ввода/вывода. В самом деле, задачи, которые раньше вычислялись очень долго, на супер-ЭВМ выполняются мгновенно, и почти все время теперь уходит на более медленные процедуры ввода и вывода данных, производящиеся, как правило, с прежней скоростью. Так что же такое современный суперкомпьютер?



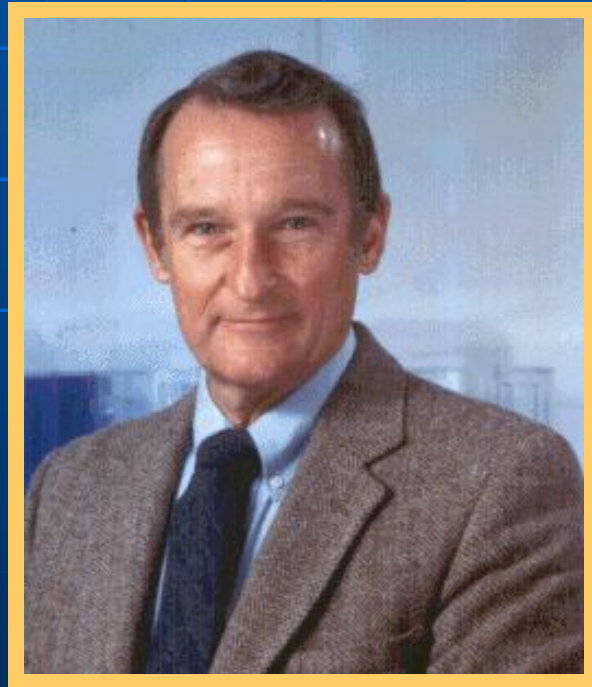
# Почему супер?



Суперкомпьютеры работают очень быстро не только за счет самой современной элементной базы, но и за счет принципиальных решений, заложенных в их архитектуру. Главное в ней - принцип параллельной обработки данных, воплощающий в жизнь идею одновременного выполнения нескольких действий.



Суперкомпьютеры Cray носят свое имя в честь изобретателя этих машин, американского инженера Сеймура Крея.



В 30-х Сеймур Крей был грозой домашних радиоприемников и телефонов, в 50-е начал работу над компьютером на транзисторах, а в 70-х изобрел первые в мире суперкомпьютер. Cray 1 установили в ядерной лаборатории в американском Лос-Аламосе в 1976 году.



Объем памяти той машины составлял рекордные по тем временам 8 мегабайт, быстродействие достигало 160 мегафлопс (миллиардов операций в секунду). Его машины обгоняют компьютеры других производителей на протяжении вот уже нескольких десятилетий.

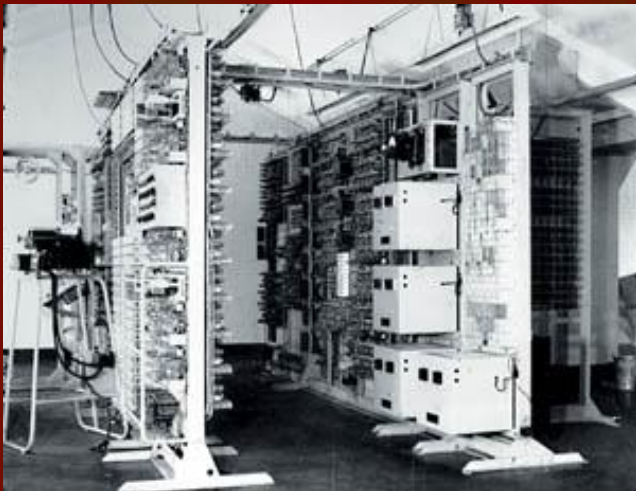


Американская компания Cray официально анонсировала свой новый суперкомпьютер Cray X1, в максимальной конфигурации использующий 4096 процессоров, 65,5 Тбайт оперативной памяти и достигающий производительности в 52,4 терафлопс (триллиона операций в секунду), что на сегодня является рекордным показателем.

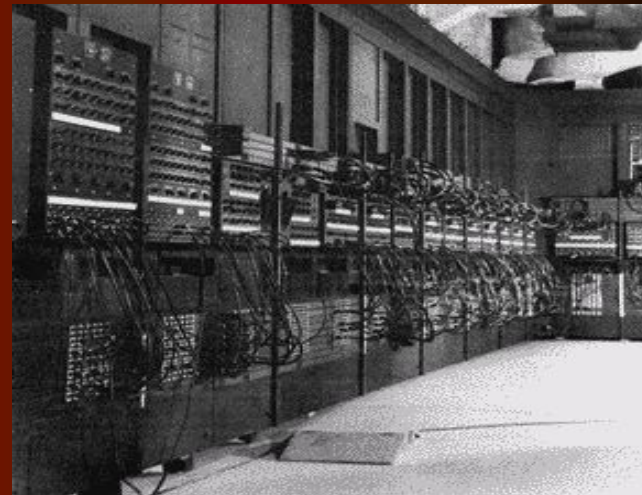


# С чего все начиналось?

Первым в истории суперкомпьютером по быстродействию и по роду решаемых задач следует, видимо, считать Colossus («Колосс») знаменитого математика Джона фон Неймана. Colossus I был специализированным компьютером и предназначался для расшифровки переписки верхушки вермахта. Кроме того, Colossus, в отличие от остальных первенцев вроде EDVAC и ENIAC, существовавших в одном-единственном опытно-эксплуатационном экземпляре, был *серийной* машиной.



Colossus



ENIAC



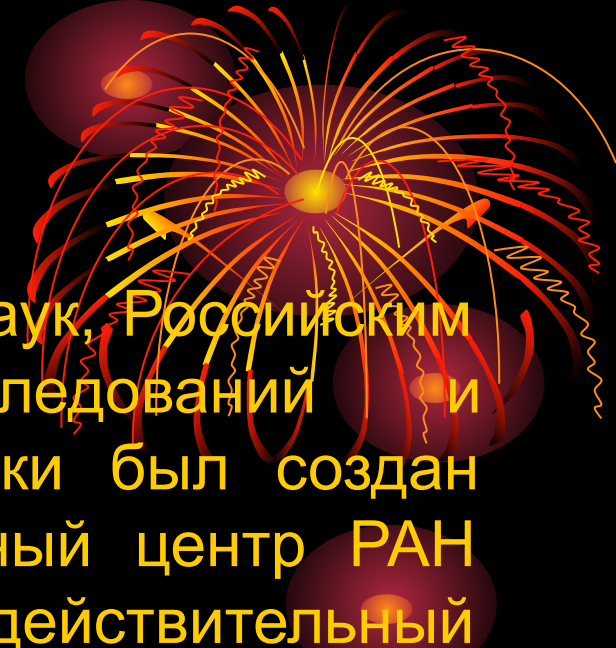
# Суперкомпьютер в России

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Институт Программных Систем РАН, компания "Т-Платформы" объявили о завершении строительства самого мощного в России, странах СНГ и Восточной Европы суперкомпьютера "СКИФ МГУ", построенного в рамках суперкомпьютерной программы "СКИФ-ГРИД». Общая стоимость комплексного проекта составила 231 млн. руб.









В 1996 г. Российской академией наук, Российским фондом фундаментальных исследований и Министерствами образования и науки был создан Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН (МСЦ РАН). Возглавил эту работу действительный член РАН, лауреат Государственной премии России **Геннадий Иванович Савин**. В 1999 году появился отечественный суперкомпьютер. Правда, его быстродействие было в 10 раз ниже, чем у зарубежных аналогов. В последующие годы этот отрыв постоянно сокращался, и сегодня МСЦ РАН входит в мировую десятку вычислительных центров-лидеров, работающих в сфере науки и образования.

# Как устроено?



✍ Для классификации параллельных компьютеров в качестве основного параметра выступает наличие общей или распределенной памяти. Есть и промежуточные архитектуры, где память физически распределена, но логически общедоступна.



# Классификация

- **Симметричная многопроцессорная архитектура SMP** (Symmetric MultiProcessing) характеризуется наличием общей физической памяти, разделяемой всеми процессорами.
- В **массивно-параллельной архитектуре MPP** (Massive Parallel Pro-cessing) память физически разделена. В этом случае система строи-тся из отдельных модулей, по сути модули представляют собой пол-нофункциональные компьютеры. Доступ к банку оперативной памяти из данного модуля имеют только процессоры из этого же модуля.
- **Гибридная архитектура NUMA** (Non-Uniform Memory Access) сочетает удобства систем с общей памятью и относительную дешевизну систем с отдельной памятью. По существу архитектура NUMA - это массивно-параллельная архитектура, где в качестве отдельных вы-числительных элементов выступают SMP-узлы.
- **Параллельно-векторные системы PVP** (Parallel Vector Processing) работают на специальных векторно-конвейерных процессорах, в которых предусмотрены команды однотипной обработки векторов независимых данных. Как правило, несколько таких процессоров ра-ботают одновременно с общей памятью (аналогично SMP) в рамках многопроцессорных конфигураций.



# Какие и сколько?

Архитектуры	Системы изготовителей	Кол-во	Системы	Кол-во изготовителей	Из них новых
Скалярные	133	9	450	6	3
Векторные	332	4	50	3	0

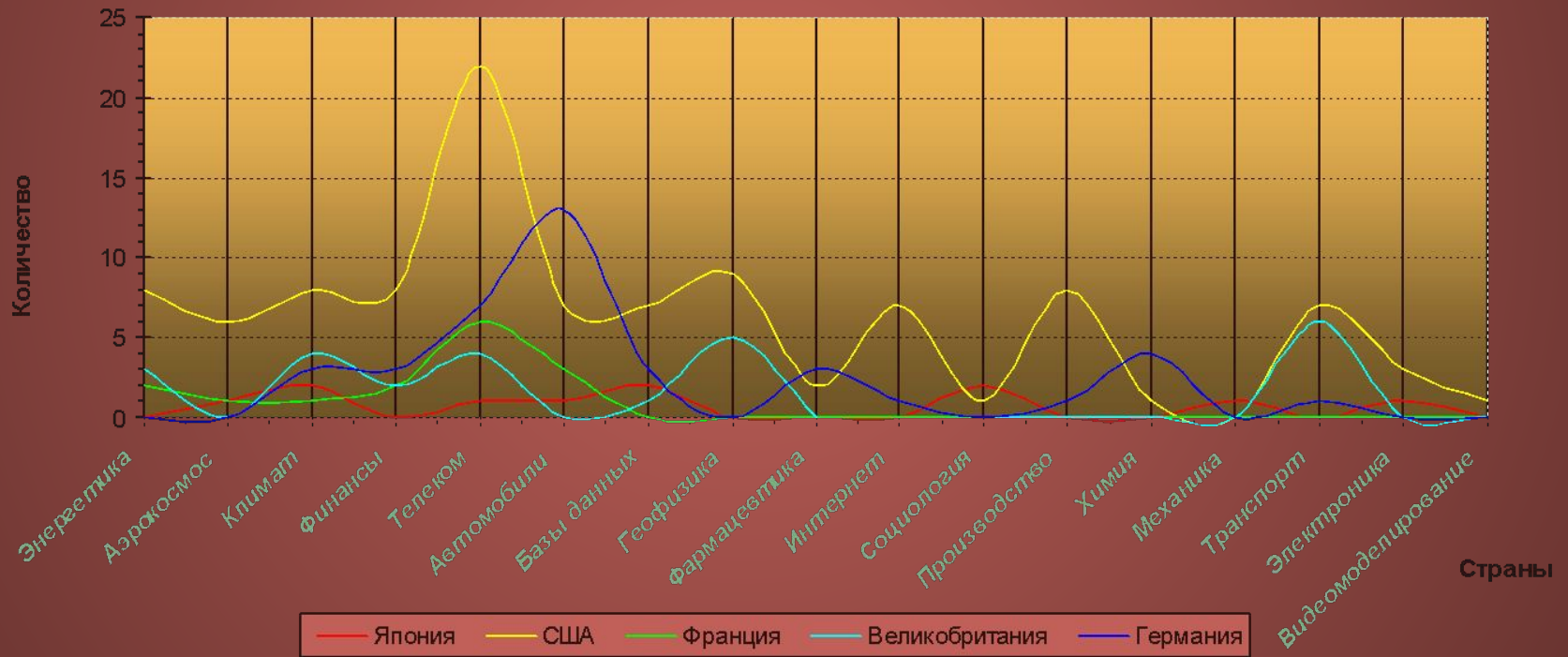
*Источник: <ftp://ftp.research.microsoft.com>*

Судя по статистическим данным векторно-конвейерные системы явно сдают под натиском более простых в изготовлении и программировании скалярных суперкомпьютеров. Однако это не совсем так, поскольку период увлечения сравнительно более дешевыми массивно-параллельными системами на основе серийно выпускаемых микропроцессоров достиг, похоже, своего пика. Ныне пользователи high-end-суперкомпьютеров, уставшие от разительного несоответствия между теоретической и реальной производительностью таких систем, все с большим интересом обращают взоры на новейшие векторно-конвейерные архитектуры.



# Где используется?

Распределение суперкомпьютеров по странам и областям использования



# Зарубежные суперкомпьютеры

- Организация TOP500 Super computer sites с 1993 года публикует статистику по 500 наиболее мощным суперкомпьютерам. По данным на июнь 2003 года 5 лучших компьютеров: 1. Система Earth Simulator (ES), созданная японскими агентствами NASDA, JAERI and JAMSTEC с производительностью 40 TFLOPS, предназначена для точного прогнозирования погодных условий



- 2. Компьютер ASCI Q. Национальная лаборатория США, г. Лос - Аламос. Производитель Hewlett - Packard. 3072 серверов Alpha Server ES45s, 12288 процессоров EV-68 1.25 ГГц. Быстродействие 13,88 TFLOPS .Суперкомпьютерная система Q в Национальной лаборатории Лос Аламоса (LANL) -компонент Программы Углубленных Моделирований и вычислений (ASCI) -сотрудничества между департаментом Ядерной Безопасности Министерства Энергетики США и национальных лабораторий Лос Аламоса. Задачей ASCI является создание и использование возможностей для обеспечения безопасности хранения ядерного запаса.





- **3.** Кластер G5 в Блэксбурге, США, содержит 1100 компонентов Apple G5, каждый из которых содержит 970 процессоров IBM Power PC, частотой в 2GHz. Каждый узел имеет 4GB КЭШ-памяти и 160GB SATA накопителей. 176TB общих накопителей. 4 главных узла для запуска компиляций/работы. 1 узел управления. Быстродействие 10,28 TFLOPS. Производитель – Apple G5/Mellanox.





Tungsten, самый последний кластер NCSA, будет использовать более чем 1450 двойных процессоров Dell Power Edge, 1750 серверов, управляемых Red Hat Linux, специальную сеть высокого быстродействия Myrinet 2000, группу ввода-вывода с более чем 120 ТВ памяти. Этот комплекс создан для вычислений по решению проблем окружающей среды. Как ожидается, Tungsten будет обладать производительностью в 17.7TFLOPS.



Тихоокеанская Северо-западная Национальная лаборатория Ричланда, США, обладает пятым в мире по производительности суперкомпьютером MPP2. Его производительность равняется 11 TFLOPS? Что достигнуто благодаря 980 процессорам HP/Linux Titanium 2 (Madison), каждый с тактовой частотой в 1,5 ГГц. Система управляется операционной системой Linux версии Red Hat Linux Advanced Server. Комплекс предназначен для решения сложных вычислительных процессов, связанных с экологическими и биологическими процессами.



# Векторно-конвейерные компьютеры



- Две главные особенности таких машин: наличие функциональных конвейерных устройств и набора векторных команд. В отличие от обычных команд векторные оперируют целыми массивами независимых данных, то есть команда вида  $A = B + C$  может означать сложение двух массивов, а не двух чисел. Характерный представитель данного направления — семейство векторно – конвейерных компьютеров CRAY, куда входят, например, CRAY EL, CRAY J90, CRAY T90 (в марте этого года американская компания TERA перекупила подразделение CRAY у компании Silicon Graphics, Inc .).



**Массивно-параллельные компьютеры с распределенной памятью** Идея построения компьютеров этого класса тривиальна: серийные микропроцессоры соединяются с помощью сетевого оборудования — вот и все. Достоинств у такой архитектуры масса: если нужна высокая производительность, то можно добавить процессоры, а если ограничены финансы или заранее известна требуемая вычислительная мощность, то легко подобрать оптимальную конфигурацию. К этому же классу можно отнести и простые сети компьютеров, которые сегодня все чаще рассматриваются как дешевая альтернатива крайне дорогим суперкомпьютерам. (Правда, написать эффективную параллельную программу для таких сетей довольно сложно, а в некоторых случаях просто невозможно). К массивно-параллельным можно отнести компьютеры Intel Paragon, ASCI RED, IBM SP1, Parsytec, в какой-то степени IBM SP2 и CRAY T3E/T3E.



# Кластерные компьютеры

- Этот класс суперкомпьютеров, строго говоря, нельзя назвать самостоятельным, скорее, он представляет собой комбинации предыдущих трех. Из нескольких процессоров, традиционных или векторно-конвейерных, и общей для них памяти формируется вычислительный узел.



- . Если мощности одного узла недостаточно, создается кластер из нескольких узлов, объединенных высокоскоростными каналами. По такому принципу построены CRAY SV1, HP Exemplar, Sun Star Fire, NEC SX-5, последние модели IBM SP2 и другие. В настоящее время именно это направление считается наиболее перспективным. Два раза в год составляется список пятисот самых мощных вычислительных установок мира. Согласно последней редакции списка top500, вышедшей в ноябре прошлого года, первое место занимает массивно-параллельный компьютер IntelA SCI Red. На второй позиции стоит компьютер ASCI Blue - Pacific от IBM, объединяющий 5808 процессоров Power PC 604e/332MHz. Оба эти суперкомпьютера созданы в рамках американской национальной программы Advanced Strategic Computing Initiative, аббревиатура которой и присутствует в названии. Производительность компьютера, стоящего на последнем, 500-м, месте в списке самых мощных, составляет 33,4 миллиарда операций в секунду.



# Параллельные компьютеры с общей памятью.

- Вся оперативная память в таких компьютерах разделяется несколькими одинаковыми процессорами, обращающимися к общей дисковой памяти.



- Проблем с обменом данными между процессорами и синхронизацией их работы практически не возникает. Вместе с тем главный недостаток такой архитектуры состоит в том, что по чисто техническим причинам число процессоров, имеющих доступ к общей памяти, нельзя сделать большим. В данное направление суперкомпьютеров входят многие современные SMP-компьютеры (Symmetric)

# Виртуальная многопроцессорность

Основной смысл технологии Hyper - Threading заключается в поддержке много потокового исполнения программ. Эта технология позволяет на одном физическом процессоре одновременно исполнять два задания или два фрагмента кода одной программы. Таким образом, один процессор воспринимается операционной системой как два логических устройства, интенсивная работа которых осуществляется параллельно. Производительность таких систем, как правило, значительно превышает аналогичные параметры компьютеров, построенных на основе процессоров традиционной архитектуры. Нередки случаи, когда производительность однопроцессорных решений с реализацией Hyper – Threading повышается на 30%. А это для конфигурации с 3 ГГц процессором эквивалентно применению модели с частотой работы 4 ГГц. Остается добавить, что аудитории были продемонстрированы различные смеси задач, в которых рост производительности превышал 60%, что соответствует уже, по крайней мере, процессору 5 ГГц — уровень пока практически недостижимый даже для овер клокеров, оперирующих традиционными средствами охлаждения. Поддержка технологии Hyper Threading осуществляется многозадачными операционными системами. В качестве таких систем можно привести, например Linux (с версии ядра 2.4) и Windows XP. А вот популярные



Традиционная  
двухпроцессорная система



Процессор Intel® Pentium® 4  
с поддержкой технологии  
Hyper-Threading



AS = Архитектурное состояние (регистры и пр.)

APIC = улучшенный программируемый контроллер прерываний

# Заключение

- К сожалению, чудеса в нашей жизни совершаются редко. Гигантская производительность параллельных компьютеров и суперЭВМ с лихвой компенсируется стоимостью и сложностью их использования. Но даже вопросы, возникающие вокруг суперкомпьютеров, ставят в тупик. Например, простой пример жизни: землекоп выкопает яму за один час. Как вы думаете, 60 землекопов выкопают яму за одну минуту? Так и в компьютере: начиная с некоторого момента, они будут просто мешать друг другу, не ускоряя, а замедляя работу. Но все вопросы, сопровождающие суперкомпьютер, конечно же, решаются. Да, использовать суперкомпьютер сложнее, чем РС: нужны дополнительные знания и технологии, высококвалифицированные специалисты, более сложная структура информации. Написать эффективную параллельную программу сложнее, чем последовательную, да и вообще создание параллельного программного обеспечения для параллельных компьютеров – основная проблема суперкомпьютерных вычислений. Но без суперЭВМ сегодня не обойтись, и отрадно, что в нашей стране есть понимание необходимости развития этих технологий. В ноябре 2000 года в Президиуме РАН состоялось открытие межведомственного суперкомпьютерного центра. В процессе становления суперкомпьютерные центры в Дубне, Черноголовке, Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша и т.п. Создана и развивается линия отечественных суперкомпьютеров МВС-100. За рубежом также происходит интенсивное развитие суперкомпьютеров всех типов (векторные, кластерные и т.п.), и использование их практически во всех отраслях человеческой жизни. А иначе и нельзя, так как параллельные компьютеры и вычисления – не будущее, а реальность.



*Спасибо  
за внимание!*