

Лекция 1

Введение

План

курса Лекции

1. введение;
2. история ВС и классификация;
3. моделирование и анализ параллельных вычислений
4. графовые модели программы, методы оптимизации
5. методы оценки параметров выполнения параллельных алгоритмов
6. параллельные алгоритмы умножения матриц, алгоритмы сортировки
7. технологии OpenMP и MPI
8. Hadoop MapReduce vs. Apache Spark
9. сети Петри.

Лабораторные работы

1. запуск параллельной программы и простой обмен сообщениями;
2. работа с векторами;
3. обработка матриц;
4. коллективные функции;
5. обработка потоков или численные методы – итоговая работа

Домашние задания

1. оценки работы ФУ;
2. графы и алгоритм оптимизации;
3. временные оценки алгоритмов;

Сроки сдачи: Лабораторные работы – 2 недели/1 лр., ДЗ – 1 неделя с момента выдачи

План

курса

Дифференцированный зачет

1. Практическое задание;
2. Программа;
3. Три вопроса без подготовки.

Система оценивания

| Лаб.работы | 90% / 5 | <90% / 5 | 50% / 4 | <50% / 4 | 50% / 3 |
|-------------------|-------------|----------|---------|----------|---------|
| оценка | отличн о | хорошо | хорошо | удовл | удовл |
| Домашние задания | 100% / 3 | <90% / 3 | 50% / 2 | <50% / 2 | 50% / 1 |
| оценка | отличн о | хорошо | хорошо | удовл | удовл |
| Диф.зачет часть 1 | 90% | 70 % | 40% | | |
| оценка | отличн о | хорошо | удовл | | |
| Диф.зачет часть 2 | 90% | 70 % | 40% | | |
| оценка | отличн о | хорошо | удовл | | |

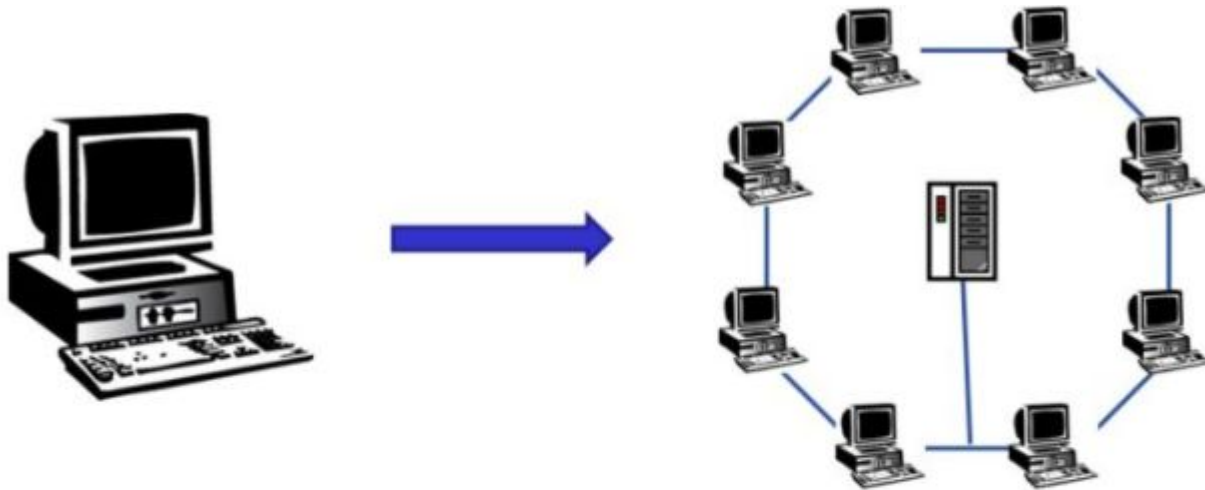
Параллельные вычисления

Параллельность вычислений

- когда в один и тот же момент выполняется одновременно несколько операций обработки данных.

Основные понятия

Компьютерные сети (Computer NetWork, от net — сеть и work — работа) — совокупность компьютеров, соединенных с помощью каналов связи и средств коммутации в единую систему для обмена сообщениями и доступа пользователей к программным, техническим, информационным и организационным ресурсам сети

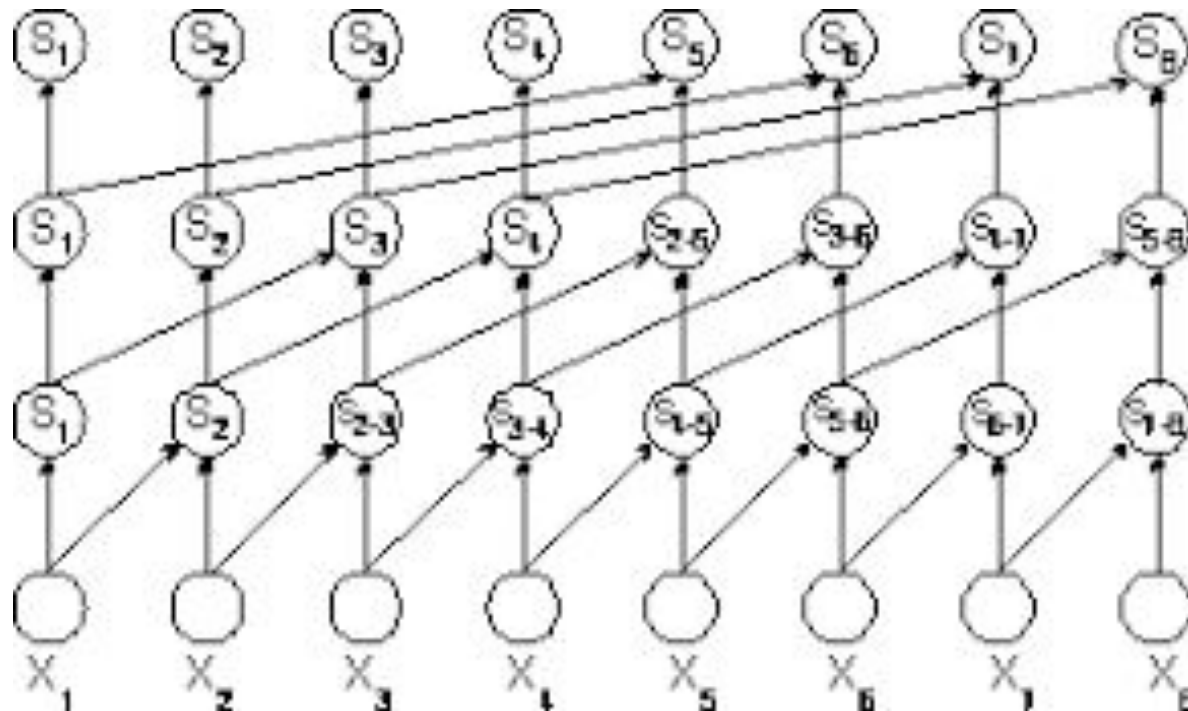


Объединение компьютеров в сети позволило:

- **Значительно ускорить расчеты за счет распределения вычислительных задач между машинами**
- **Повысить надежность хранения данных и общую отказоустойчивость системы**

Основные понятия

Параллельные вычисления (parallel computing) — способ организации компьютерных вычислений, при котором программы разрабатываются как набор взаимодействующих вычислительных процессов, работающих параллельно (одновременно)



Основные понятия

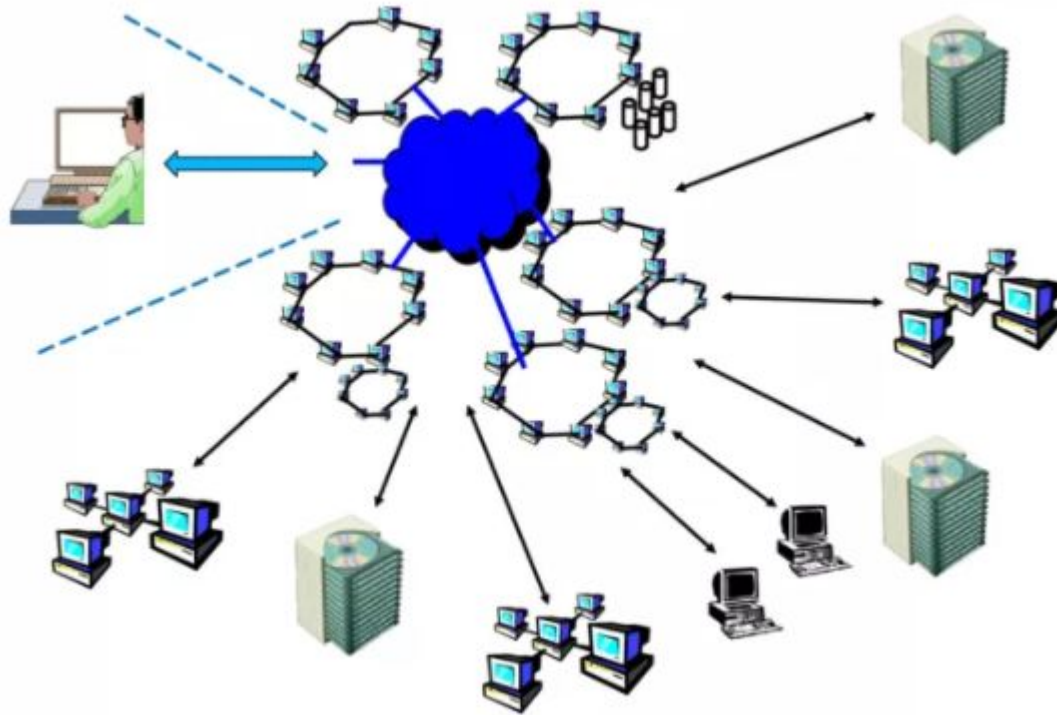
Распределенные вычисления (distributed computing) — способ организации компьютерных вычислений с помощью набора независимых компьютеров, который представляется пользователям единой объединенной системой

Распределённые вычисления — способ решения трудоёмких вычислительных задач с использованием нескольких компьютеров, чаще всего объединённых в параллельную вычислительную систему (википедия).



Основные понятия

Грид-вычисления (*grid* — решётка, сеть) — это форма распределённых вычислений, в которой «виртуальный суперкомпьютер» представлен в виде кластеров, соединённых с помощью сети, слабосвязанных гетерогенных компьютеров, работающих вместе для выполнения огромного количества заданий (операций, работ).



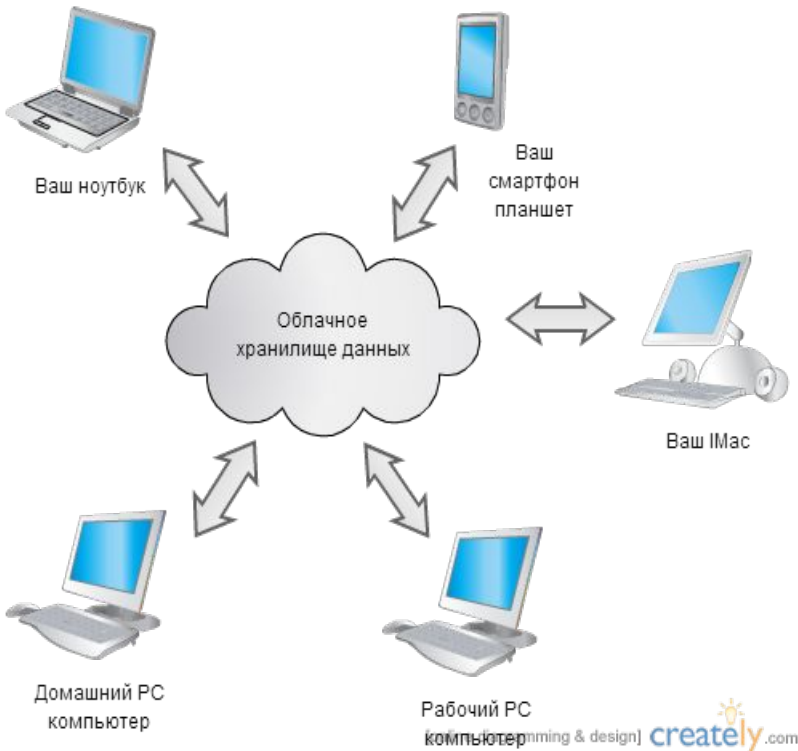
Основные понятия

Облачные вычисления (*cloud* — облако) — это предоставление вычислительных служб (серверов, хранилища, баз данных, сетевого оборудования, программного обеспечения, аналитики, интеллектуального анализа и т. д.) через Интернет (так называемое "облако").

Преимущества

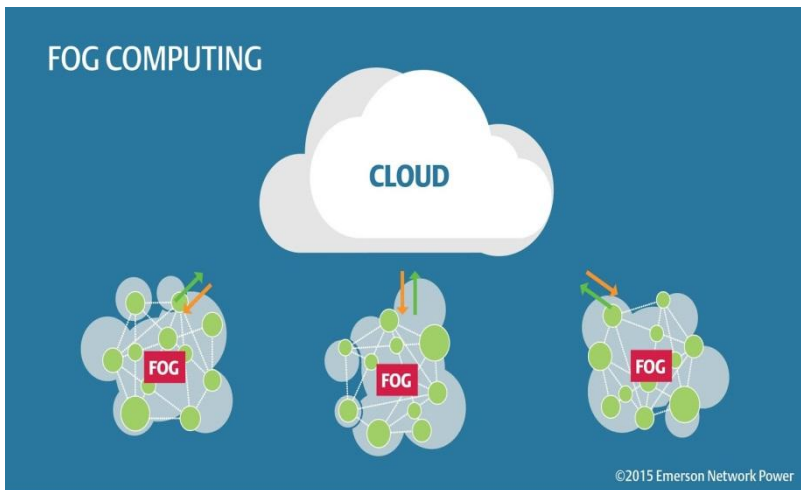
Ва

- Возможность доступа к данным с любого компьютера, имеющего выход в Интернет.
- Возможность организации совместной работы с данными.
- Высокая вероятность сохранения данных даже в случае аппаратных сбоев.
- Клиент платит только за то место в хранилище, которое фактически использует, но не за аренду сервера, все ресурсы которого он может и не использовать.
- Клиенту нет необходимости заниматься приобретением, поддержкой и обслуживанием собственной инфраструктуры по хранению данных, что, в конечном счёте, уменьшает общие издержки производства.
- Все процедуры по резервированию и сохранению целостности данных производятся провайдером «облачного» центра, который не вовлекает в этот процесс



Основные понятия

Туманные вычисления (*fog* — туман) — это модель вычислений, в которой данные, их обработка и приложения находятся не в облаке, а в вычислительных центрах на границе сети (максимально близко к устройству).

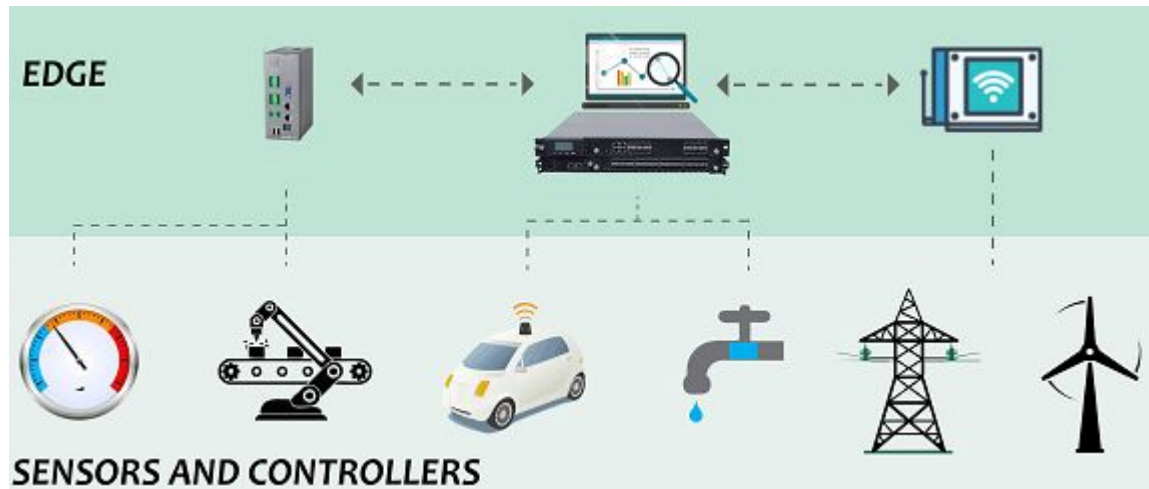


Туманные вычисления решают ряд самых распространенных сегодня проблем:

- высокая задержка в сети;
- трудности, связанные с подвижностью конечных точек;
- потеря связи;
- высокая стоимость полосы пропускания;
- непредвиденные сетевые заторы;
- большая географическая распределенность систем и клиентов.

Основные понятия

Граничные вычисления (*edge* — край) — это модель вычислений, в которой для хранения данных, их анализа и принятия решений используются ресурсы устройств, работающих «на земле» (персональных компьютеров, гаджетов, бытовых приборов, дронов, видеокамер и так далее), а не центральных узлов сети.



Основные понятия

Где распределенные
вычисления?
Где параллельные
вычисления?

Где GRID
вычисления?

CLOUD | Data Centers

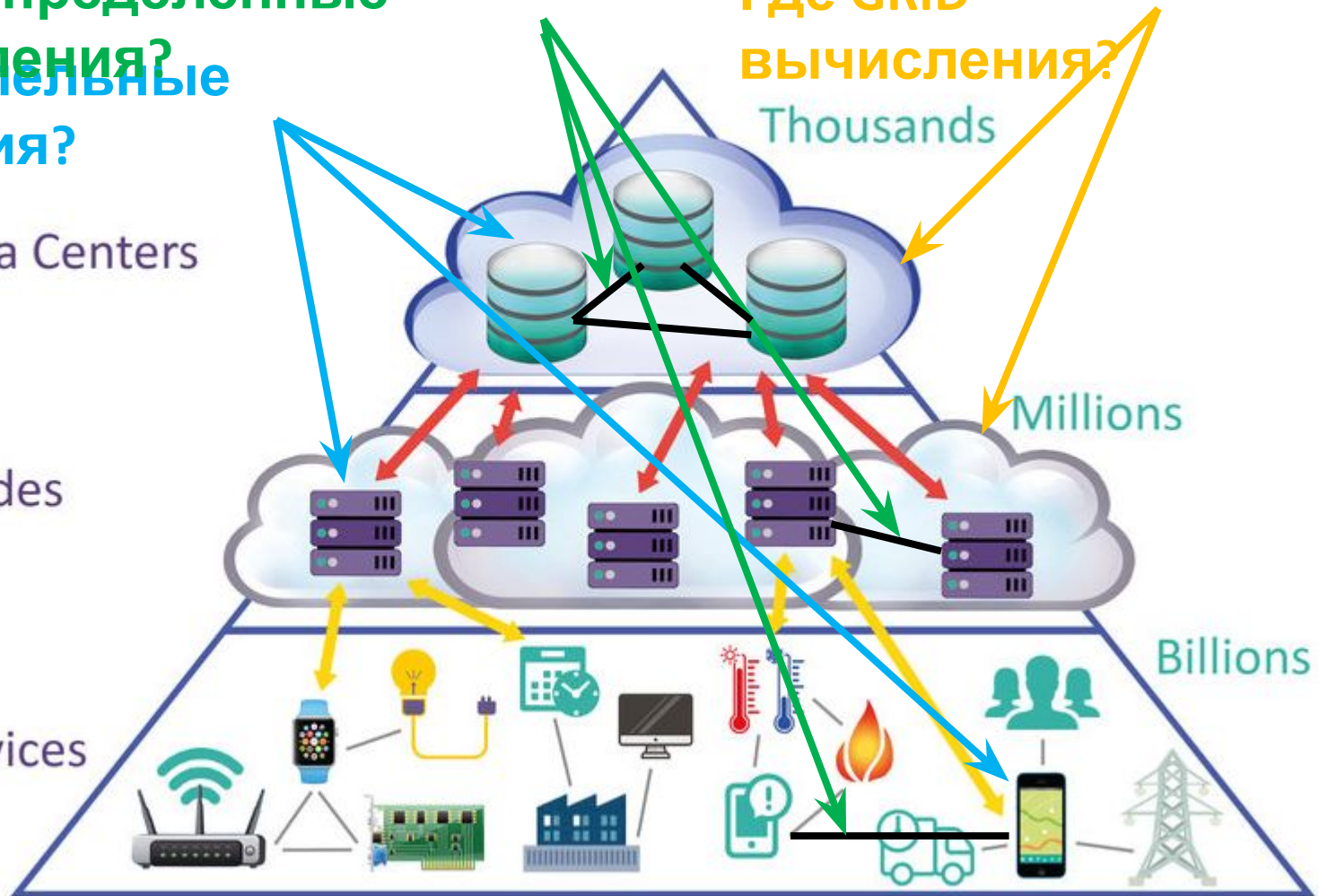
Thousands

FOG | Nodes

Millions

EDGE | Devices

Billions



Области, в которых высокопроизводительные вычисления

имеют особую значимость:

- **Невозможность или недопустимость натуральных экспериментов:**
изучение процессов при ядерном взрыве или серьезных воздействий на природу
- **Изучение влияния экстремальных условий** (температур, магнитных полей, радиации и др.) — старение материалов, безопасность конструкций, боевое применение
- **Моделирование наноустройств и наноматериалов**
- **Науки о жизни** — изучение генома человека, разработка новых лекарственных препаратов и т.п.
- **Науки о Земле** — обработка геоинформации: полезные ископаемые; селевая, сейсмическая и т.п. безопасность, прогнозы погоды, модели изменения климата...
- **Моделирование при разработке новых технических устройств** — инженерные расчеты
- **Астрономия** – космологические модели, моделирование звездных атмосфер, обработка наблюдений, задачи движения n-тел

Тесты производительности компьютеров

1. Тесты производителей, разрабатываемые компаниями-изготовителями компьютеров для внутреннего применения - оценивания качества собственных продуктов.
2. Стандартные тесты, разработанные для сравнения широкого спектра компьютеров, часто претендуют на роль полностью универсальных средств измерения производительности.
3. Пользовательские тесты, учитывающие специфику конкретного применения ВС.

Категории

ТЕСТОВ

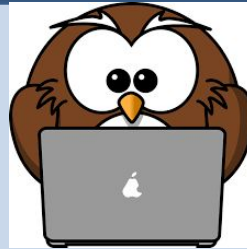
1. Система тестов SPEC (CPU2000 и HPC96);
2. Тесты производительности процессора
 - **LINPACK** - Тест состоит в решении системы линейных уравнений с помощью LU-факторизации; Трудоемкость: $2n^3/3 + 2n^2$
 - **STREAM** - Синтетический тест*, оценивающий скорость работы с памятью с простой арифметикой и без
3. Тесты производительности файловой системы.
 - **Bonnie** - тестируется ряд стандартных файловых операций: вывод (посимвольно и блоками), обновление, чтение (посимвольно и блоками), перемещение по файлу.
4. Тесты производительности сети
 - **ttcp** - определяет скорость обменов по протоколам TCP между двумя машинами.
 - **netperf** - тесты скорости передачи (bandwidth) и задержки (latency) по протоколам TCP
 - **comm** - тесты для измерения латентности и пропускной способности каналов в рамках MPI и PVM.
 - **MPI-тесты** - система тестов для определения эффективности программно-аппаратной среды выполнения параллельных приложений (на базе MPI). Тесты разработаны в лаборатории Parallel.
5. Комбинированные тесты. Тестовые программы и пакеты, тестирующие сразу несколько элементов архитектуры компьютера (ЦП, память, файловая система, сеть, и т.д.)

А также:

Benchmark, Novabench, Prime95, 3DMark Futuremark, PCMark Futuremark,

Что, с чем и как сравниваем?

Программа
А



292
МС

Программа
А



297
МС

Программа
Б



293
МС

Программа

А

Программа

А



234

МС

МС

297

МС

FLOPS = FLoating-point Operations Per Second



Характеристики Flops

Достоинства

- эта единица ва может быть истолкована как абсолютная величина и вычислена теоретически;
- очень многие задачи инженерной и научной практики в конечном итоге сводятся к решению СЛАУ;
- подавляющее большинство компьютеров (включая суперкомпьютеры) построены по классической архитектуре с использованием стандартных процессоров.

Недостатки

- неоднозначность определения;
- подверженность влиянию многих факторов:
 - ✓ разрядность операндов;
 - ✓ пропускная способность каналов связи;
 - ✓ производительность основной памяти;
 - ✓ синхронность работы кэш-памяти разных уровней
 - ✓ ...

Тесты производительности компьютеров

LINPACK - решение плотной СЛАУ методом LU-декомпозиции

(LINear equations software PACKage)

- Этот набор тестов представляет собой совокупность программ решения задач линейной алгебры.
- Параметры:
 - порядок матрицы (например, 100x100);
 - формат значений элементов матриц (одинарная или двойная точность в представлении элементов);
 - способ компиляции (с оптимизацией или без оптимизации).
- На тестах Linpack при больших размерностях обрабатываемых матриц почти все компьютеры демонстрируют производительность в диапазоне от 0.8 до 0.95 от пикового значения.

Пакет

HPL

- HPL ориентирован на компьютеры с распределенной памятью (MPP-компьютеры).
- Матрица системы заполняется случайными вещественными числами с двойной точностью (8 байт).
- Для пакета необходим параллельный компьютер, на котором установлена система MPI (Message Passing Interface).
- В основу тестов HPL положены методы LU-факторизации.

Пиковая

производительность

| Производительность суперкомпьютеров | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| Название | год | флопсы |
| флопс | 1941 | 10^0 |
| килофлопс | 1949 | 10^3 |
| мегафлопс | 1964 | 10^6 |
| гигафлопс | 1987 | 10^9 |
| терафлопс | 1997 | 10^{12} |
| петафлопс | 2008 | 10^{15} |
| эксафлопс | 2019 или позже ^{[1][2]} | 10^{18} |
| зеттафлопс | не ранее 2030 ^[1] | 10^{21} |
| иоттафлопс | н/д | 10^{24} |
| ксерофлопс | н/д | 10^{27} |



$$\Phi = П * Я * С * Ч$$

Ч

Ф – пиковая производительность во Flops;

П – число процессоров;

Я – число ядер в процессоре;

С – суперскалярность (число операций над 64-разрядными числами за такт);

Ч – частота процессора.

Пример: IntelCore 2 (С = 4, Ч = 3ГГц): $\Phi = 2*4*3 = 24$

GFlops

Пиковая и реальная

производительности

Задание: Найти пиковую производительность для ВС:

- 1) AMD Phenom 9500 sAM2: с тактовой частотой 2,2 ГГц, 4 ядра, 4Flops/такт;
- 2) Sandy : с тактовой частотой 3900 МГц, , 4 ядра, 8 Флопсов/такт;
- 3) Intel Haswell: с тактовой частотой 3900 МГц, 4 ядра, 16 Флопсов/такт;

Суперкомпьют

Суперкомпьютер американской корпорации IBM: eServer Blue Gene Solution:

212992 процессоров PowerPC 440,

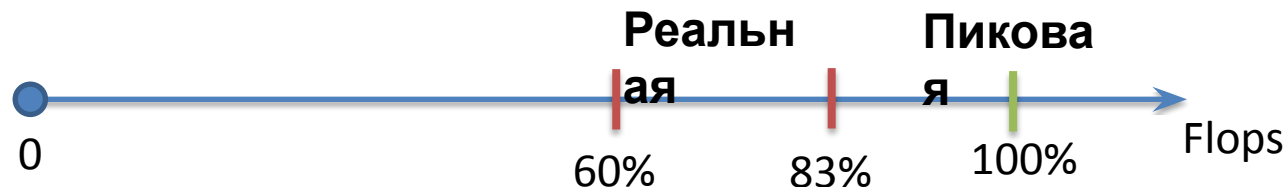
тактовая частота каждого из процессоров 700 МГц;

число ядер 1;

4Flops/такт;

Итого: 596,4 терафлопс

LINPACK: 478,2 терафлопс



Почему распространение параллелизма тормозило?

Программа "Ускоренной стратегической компьютерной инициативы"
(Accelerated Strategic Computing Initiative – ASCI) - США, 1995 год:

увеличение производительности суперЭВМ в 3 раза каждые 18 месяцев

и достижение уровня производительности в 100 триллионов операций в секунду (100 TFlops) в 2004 г.

Почему программа провалилась:

- до недавнего времени высокая *стоимость* высокопроизводительных систем;
- необходимость "параллельного" *обобщения* традиционной - последовательной - технологии решения задач на ЭВМ;
- Отставание инструментария разработки в своем развитии:
 - ПО от техники;
 - Алгоритмов от ПО;
 - Математики от алгоритмов;
- Отсутствие пользовательской среды;
- Отличие суперЭВМ от классических ЭВМ.

Кому принадлежит ведущая роль в распространении параллельных вычислений?

- Прикладные программисты?
- Системные программисты?
- Пользователи-ученые (физики, химики, ...)?
- Математики?
- Специалисты в области численных методов?

Общие проблемы, возникающих при использовании

параллельных вычислительных систем

- высокая стоимость параллельных систем

Закон Гроша (Grosch):

*производительность компьютера
возрастает пропорционально квадрату
его стоимости*



| Цена | Производительность |
|------|--------------------|
| 20\$ | 400 Flops |
| 40\$ | 1600 Flops |
| 20\$ | 400 Flops |
| 40\$ | 800 Flops |

Общие проблемы, возникающих при использовании

~~параллельных вычислительных систем~~

- **потери производительности для организации**

параллелизма
гипотеза Минского (Minsky):

ускорение, достигаемое при использовании параллельной системы, пропорционально двоичному логарифму от числа процессоров

$$R \approx \text{Log}_2 n$$

(т.е. при 1000 процессорах возможное ускорение оказывается равным 10)

- **постоянное совершенствование последовательных компьютеров**

Закон Мура (Moore):

мощность последовательных процессоров возрастает практически в 2 раза каждые 18-24 месяцев

Общие проблемы, возникающих при использовании

~~параллельных вычислительных систем~~

- существование последовательных вычислений

Закон Амдаля (Amdahl)

ускорение процесса вычислений при использовании p процессоров ограничивается величиной

$$S \leq \frac{1}{f + (1 - f)/p},$$

где f есть доля последовательных вычислений в применяемом алгоритме обработки данных

- зависимость эффективности параллелизма от учета характерных свойств параллельных систем;
- существующее программное обеспечение ориентировано в основном на последовательные ЭВМ

Направления деятельности

- **разработка параллельных вычислительных систем;**
- **анализ эффективности параллельных вычислений** для оценки *получаемого ускорения вычислений и степени использования* всех возможностей компьютерного оборудования при параллельных способах решения задач;
- **формирование общих принципов разработки параллельных алгоритмов** для решения сложных вычислительно трудоемких задач;
- **создание и развитие системного программного обеспечения для параллельных вычислительных систем** (например, MPI (*Message Passing Interface*)), программные реализации которого позволяют разрабатывать параллельные программы и, кроме того, снизить в значительной степени остроту важной проблемы параллельного программирования – обеспечение мобильности (переносимости между разными вычислительными системами) создаваемого прикладного программного обеспечения).
- **создание и развитие параллельных алгоритмов** для решения прикладных задач в разных областях практических приложений.

Литература

- Баденко В. Л. Высокопроизводительные вычисления: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 180 с.
- Воеводин В.В. Суперкомпьютерная грань компьютерного мира <http://www.parallel.ru/vvv/intro2hpc.html>
- Потапов В.В. Высокопроизводительные вычисления: проблемы и решения, <https://habrahabr.ru/post/117021/>
 - список Top500, <http://www.top500.org>
- список наиболее производительных вычислительных систем в России Top50, <http://www.supercomputers.ru>
 - классификация вычислительных систем, <http://www.parallel.ru/computers/taxonomy>