Лекция 1. Организация функционирования распределённых вычислительных систем

Пазников Алексей Александрович

Ассистент Кафедры вычислительных систем
Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики

http://cpct.sibsutis.ru/~apaznikov

Информация о курсе

- **14** (ВМ-95) и **17** (ИУ-010) лекций
- **14** (ВМ-95) и **17** (ИУ-010) практических занятий
- **5** лабораторных
- Курсовая работа (ИУ-10)
- Экзамен (ВМ-95, ИУ-010)

Информация о курсе

Объект курса?

Распределённые вычислительные системы

Предмет курса?

Модели и алгоритмы организации функционирования

Цели распараллеливания

Что хочет пользователь?

- Сокращение времени решения задач.
- Решение задач, требующих огромных объёмов памяти.

В то же время

совершенствование средств ВТ на основе модели вычислителя *не даст кардинального улучшения технических характеристик*.

Распределённые ВС

Распределённая ВС – мультипроцессорные ВС с MIMD-архитектурой, в которых нет единого ресурса.

Представляется множеством взаимодействующих элементарных машин, оснащенных средствами коммуникаций и внешними устройствами.

Архитектурные особенности

- Иерархическая структура
- Мультиархитектурная организация
- Разнородность состава

Список TOP500 (июнь 2013)

	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	National University of Defense Technology China	**Tianhe-2 (MilkyWay-2)** - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P NUDT	**3,120,000**	**33,862.7**	54,902.4	17,808
2	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	**Titan** - **Cray XK7** , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	**560,640**	**17,590.0**	27,112.5	8,209
3	DOE/NNSA/LLNL United States	**Sequoia** - **BlueGene/Q**, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom IBM	**1,572,864**	**17,173.2**	20,132.7	7,890
4	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	**K computer**, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	**705,024**	**10,510.0**	11,280.4	12,660
5	DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	**Mira** - **BlueGene/Q**, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	**786,432**	**8,586.6**	10,066.3	3,945

Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P

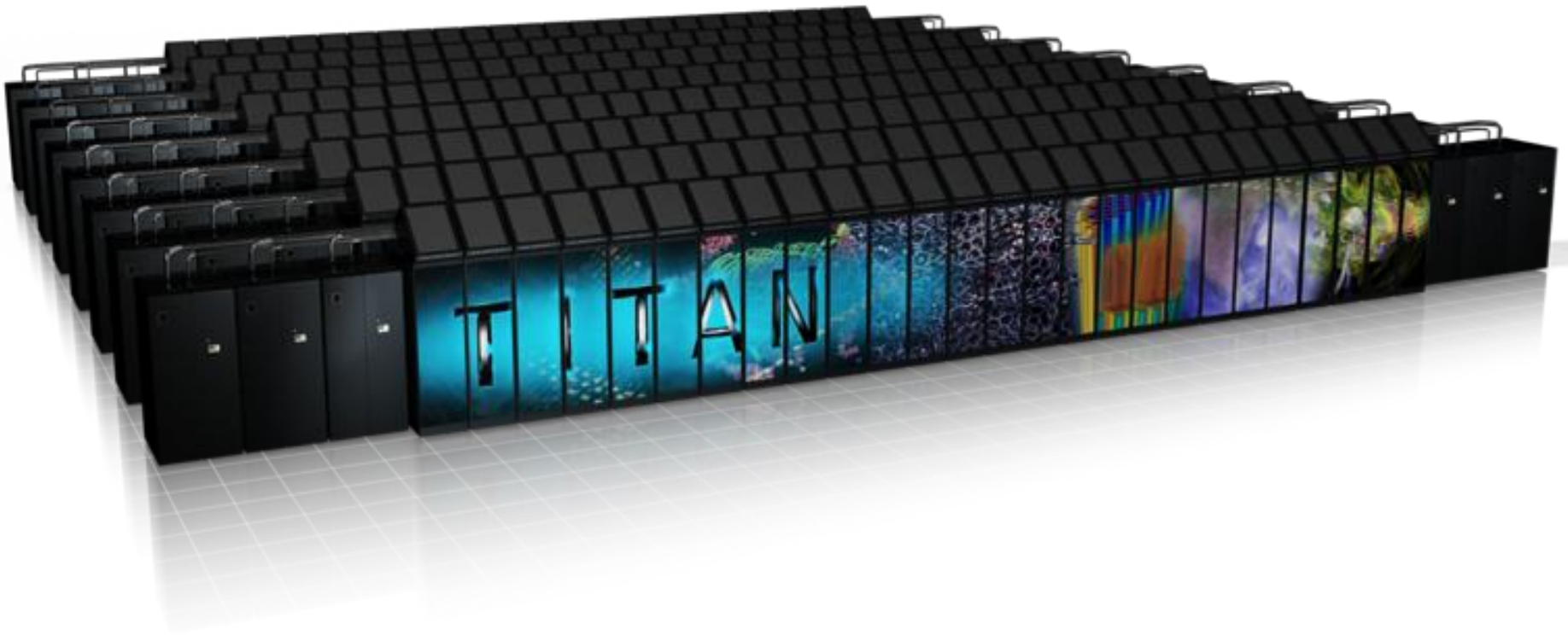
Расположение:	Национальный университет оборонных технологий (Китай)
Производитель:	NUDT
Количество ядер:	3,120,000
Производительность Linpack (Rmax)	33,862.7 teraFLOPS
Пиковая производительность (Rpeak)	54,902.4 teraFLOPS
Электрическая мощность:	17,808.00 кВт
Память:	1,024,000 гБ
Внутренняя сеть:	TH Express-2
Операционная система:	Kylin Linux
Компилятор:	icc
Математическая библиотека:	Intel MKL-11.0.0
MPI:	MPICH2 (GLEX channel)

Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P

Titan - Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x

Расположение:	Национальная лаборатория Оук-Ридж (США)
Производитель:	Cray Inc.
Количество ядер:	560,640
Производительность Linpack (Rmax)	17,590.0 teraFLOPS
Пиковая производительность (Rpeak)	27,112.5 teraFLOPS
Электрическая мощность:	8,209.00 кВт
Память:	710,144 гБ
Внутренняя сеть:	Cray Gemini interconnect
Операционная система:	Cray Linux Environment

Titan - Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x



Sequoia - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom

Расположение:	Ливерморская национальная лаборатория (США)
Производитель:	IBM
Количество ядер:	1,572,864
Производительность Linpack (Rmax)	17,173.2 teraFLOPS
Пиковая производительность (Rpeak)	20,132.7 teraFLOPS
Электрическая мощность:	7,890.00 кВт
Память:	1,572,864 гБ
Внутренняя сеть:	Custom Interconnect
Операционная система:	Linux

Sequoia - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom

K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect

Расположение:	Институт вычислительных систем (Япония)
Производитель:	Fujitsu
Количество ядер:	705,024
Производительность Linpack (Rmax)	10,510.0 teraFLOPS
Пиковая производительность (Rpeak)	11,280.4 teraFLOPS
Электрическая мощность:	12,659.89 кВт
Память:	1,410,048 гБ
Внутренняя сеть:	Custom Interconnect
Операционная система:	Linux

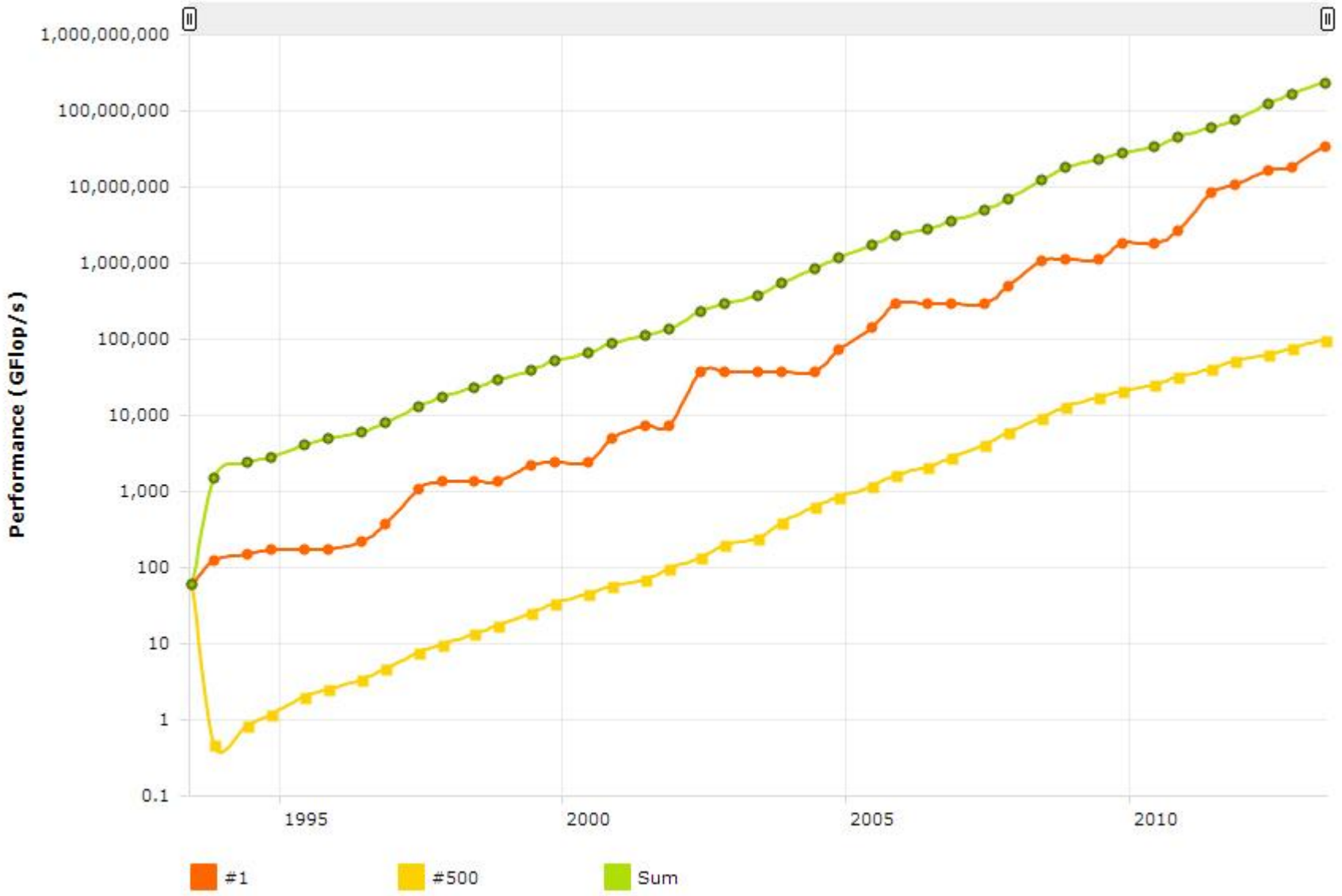
K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect

Mira - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom

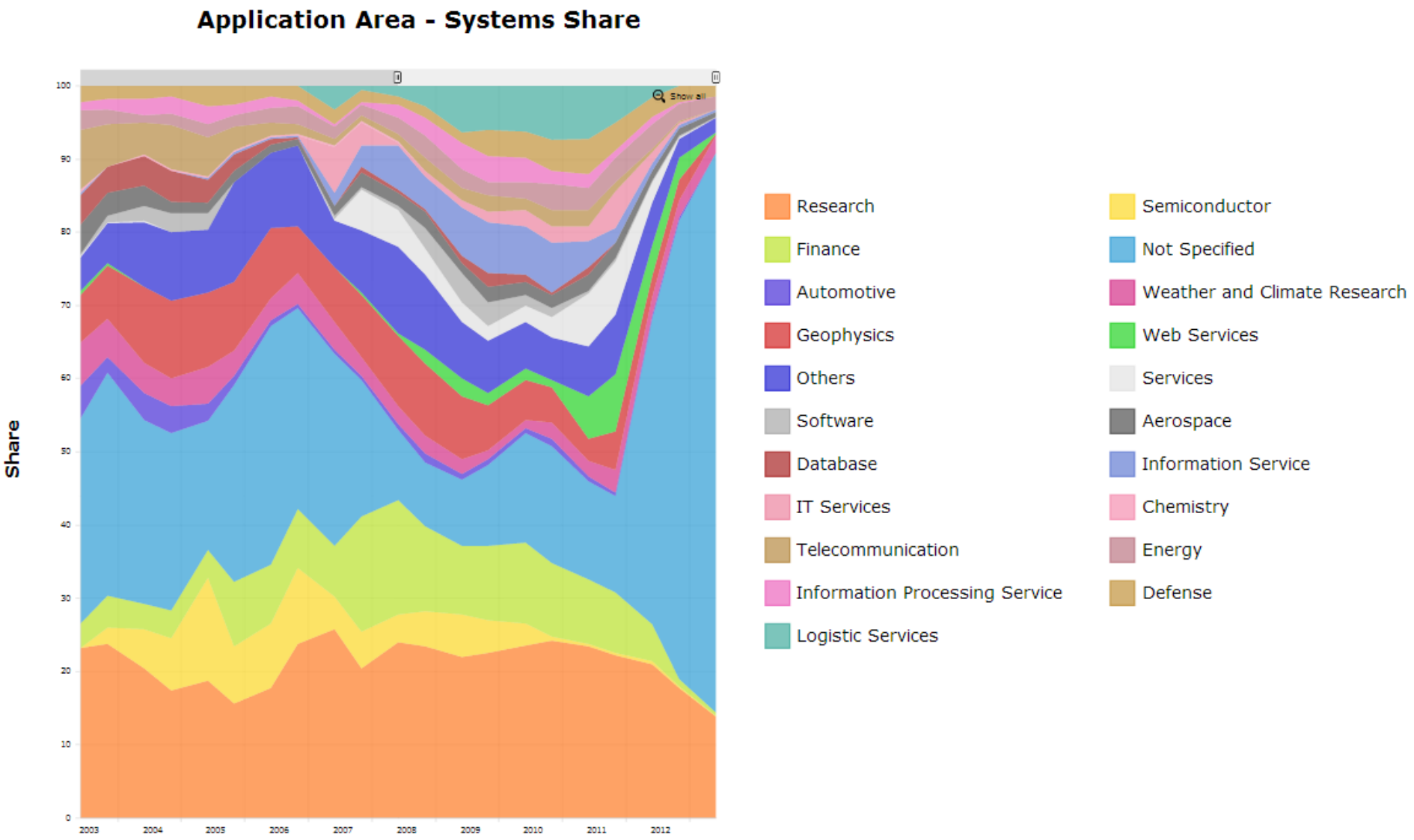
Расположение:	Аргонская национальная лаборатория (США)
Производитель:	IBM
Количество ядер:	786,432
Производительность Linpack (Rmax)	8,586.6 teraFLOPS
Пиковая производительность (Rpeak)	10,066.3 teraFLOPS
Электрическая мощность:	3,945.00 кВт
Внутренняя сеть:	Custom Interconnect
Операционная система:	Linux

Mira - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom

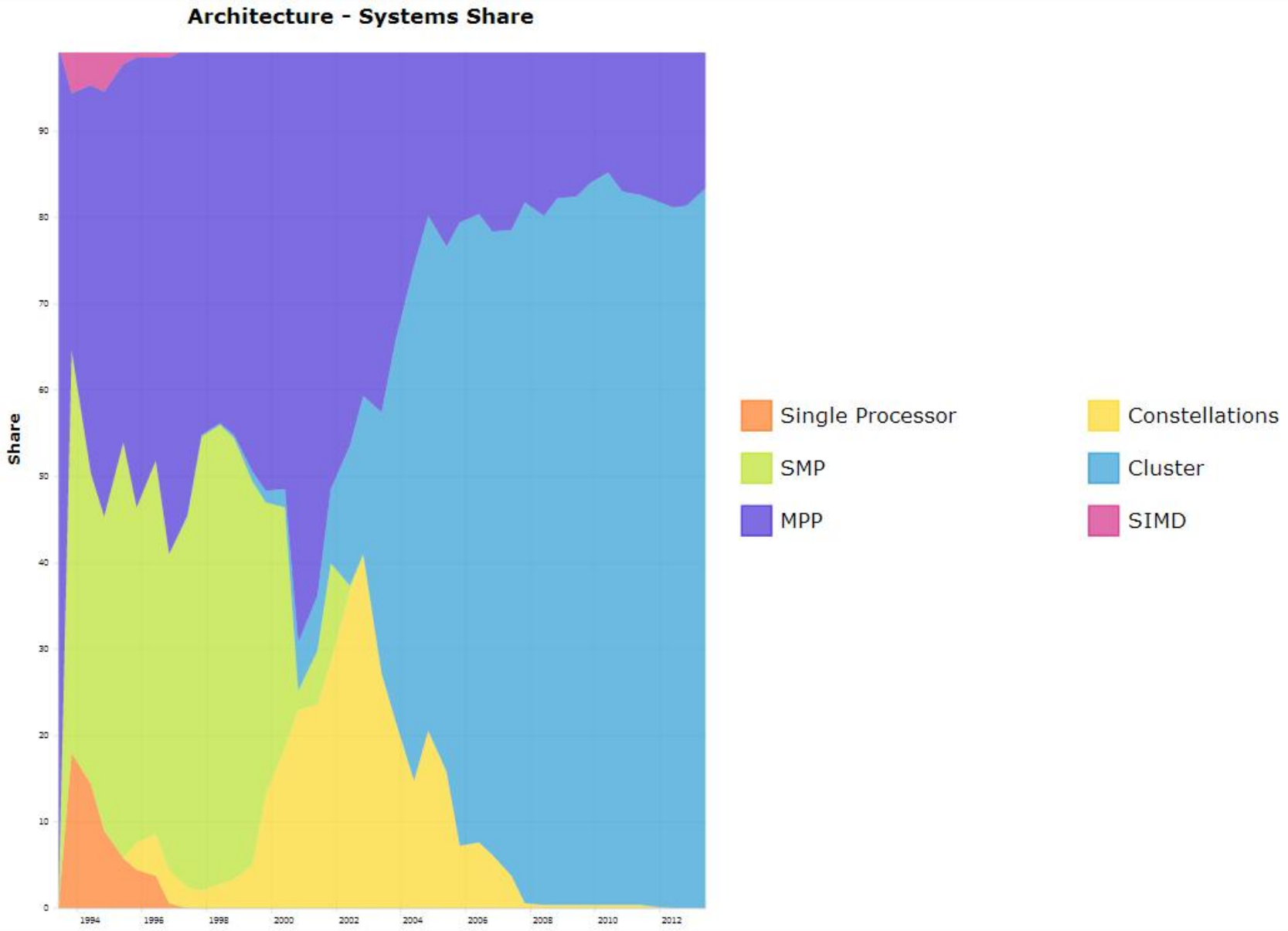
Список TOP500



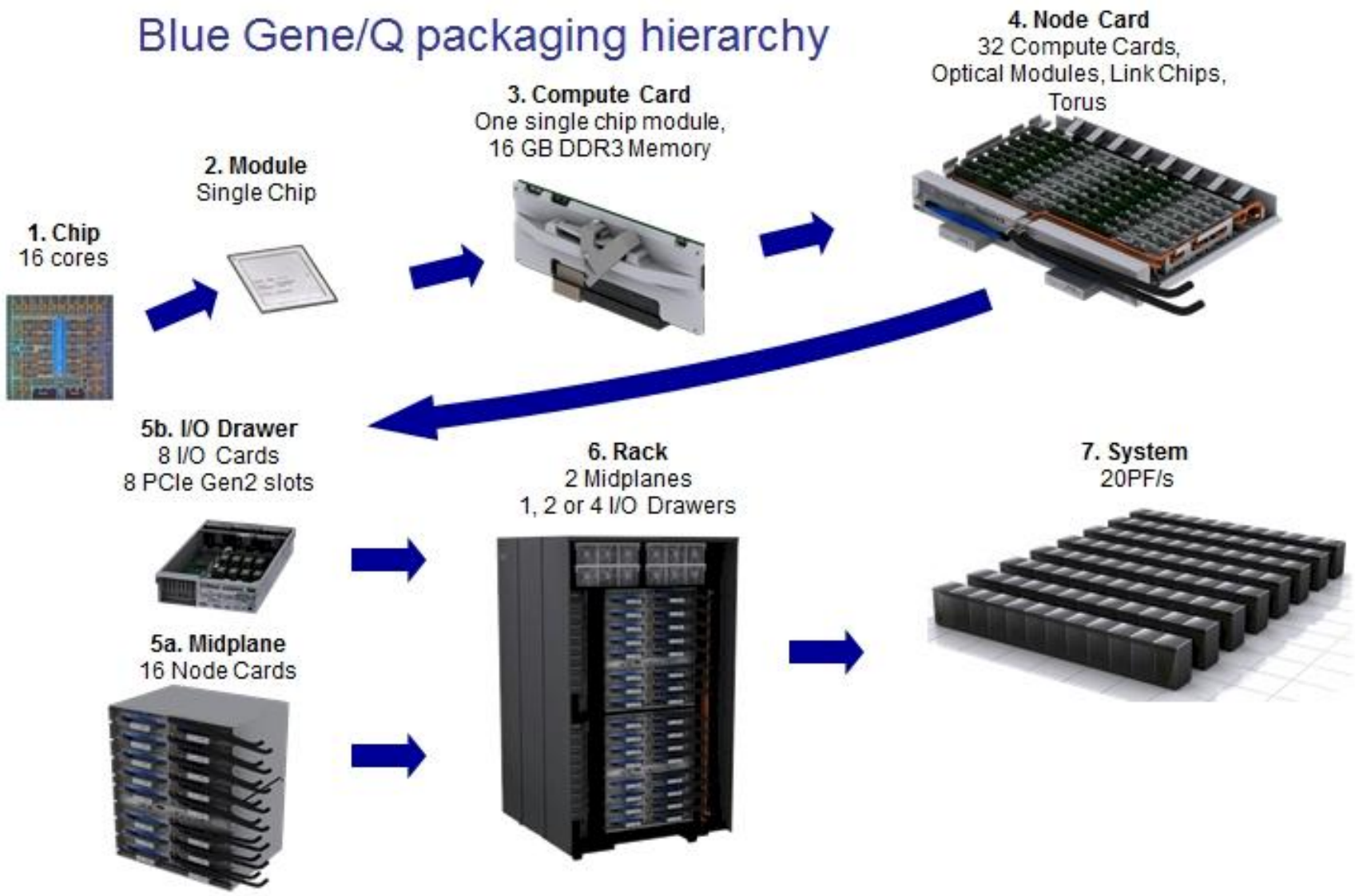
Список TOP500 – области применения



Список TOP500 – типы систем



Структура современных ВС



Структура современных ВС

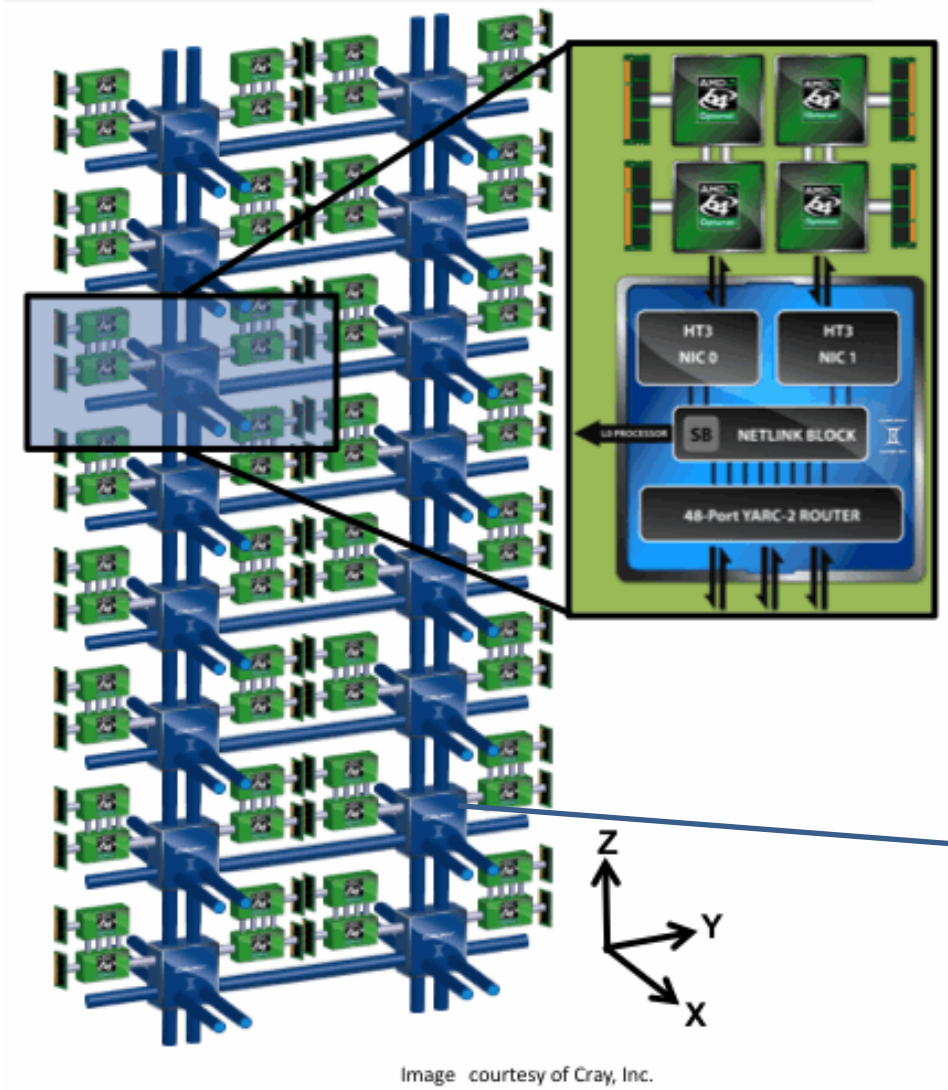
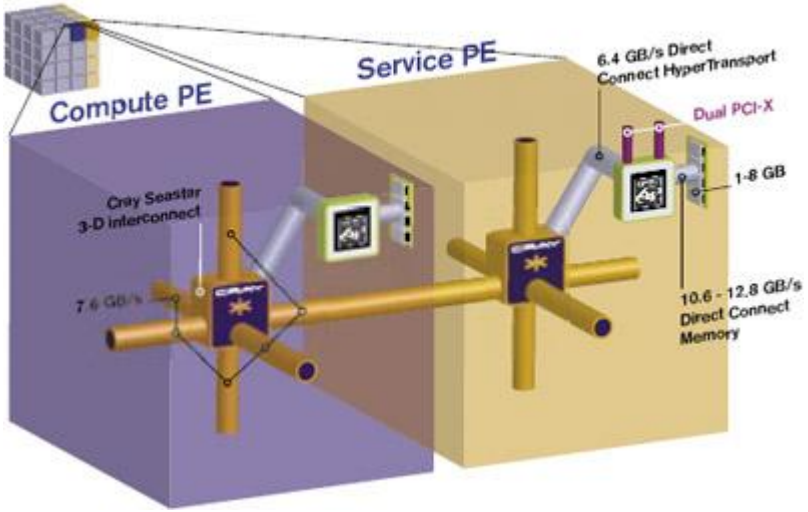
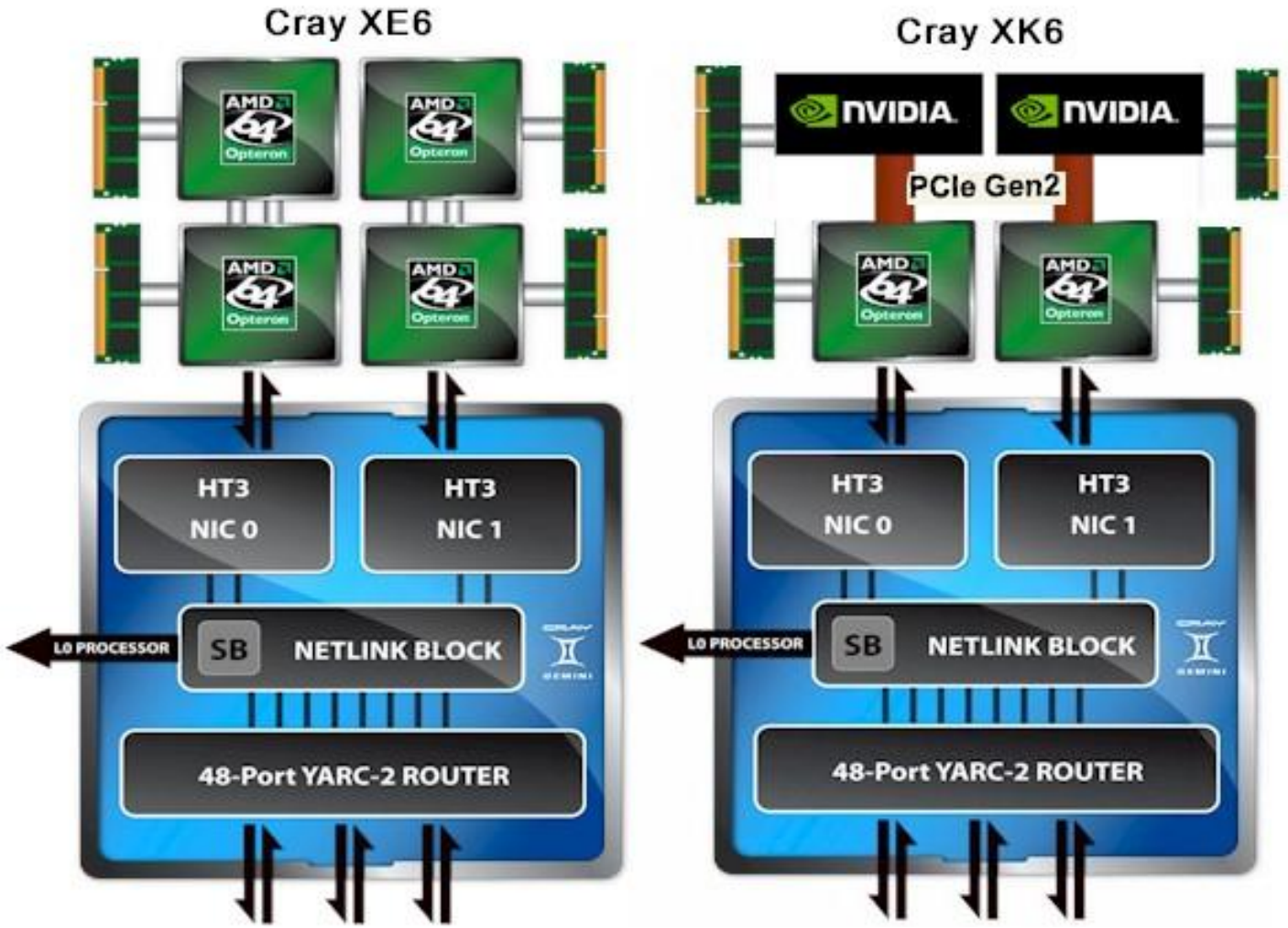


Image courtesy of Cray, Inc.

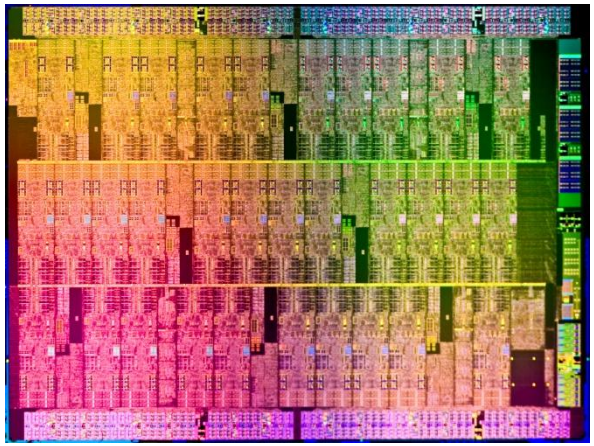
Cray XT4 Scalable Architecture



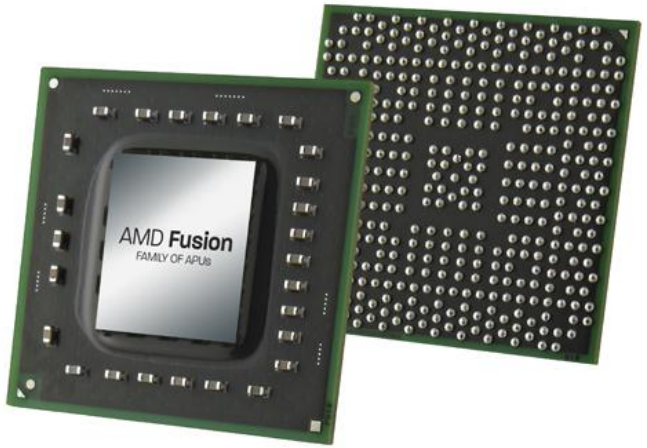
Структура современных ВС



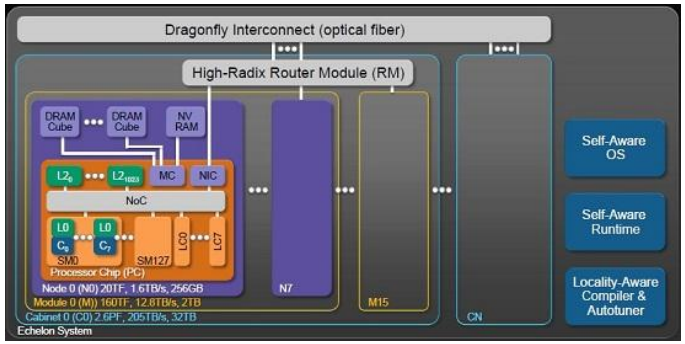
Перспективные процессорные архитектуры



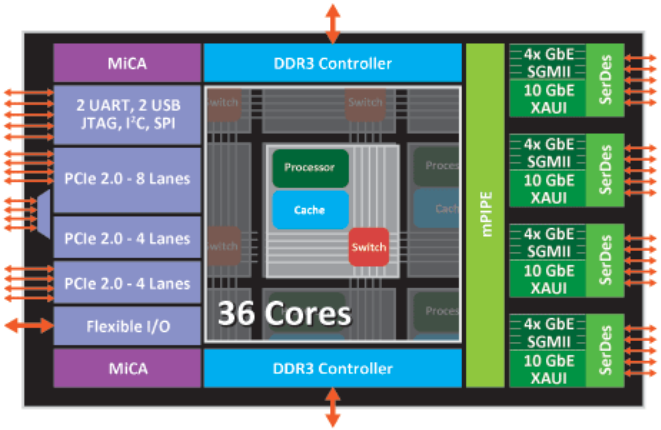
Intel MIC



AMD Fusion

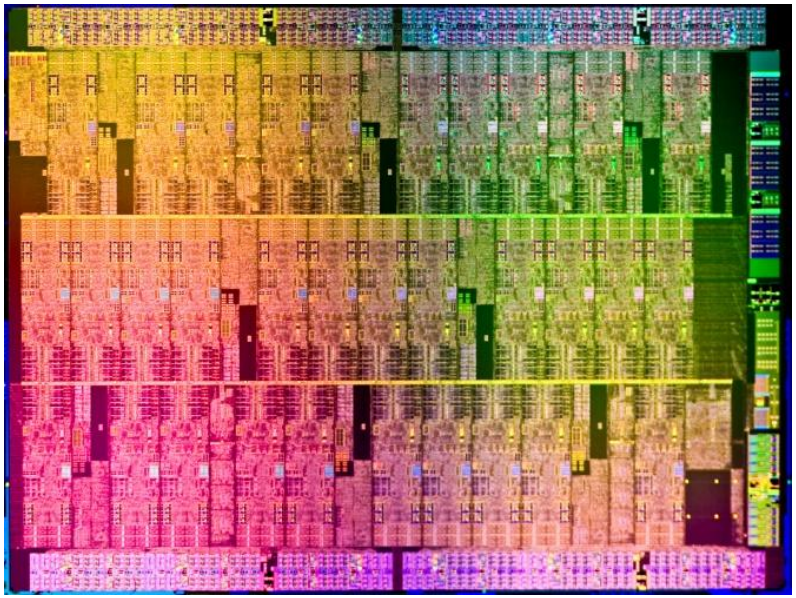


Nvidia Echelon



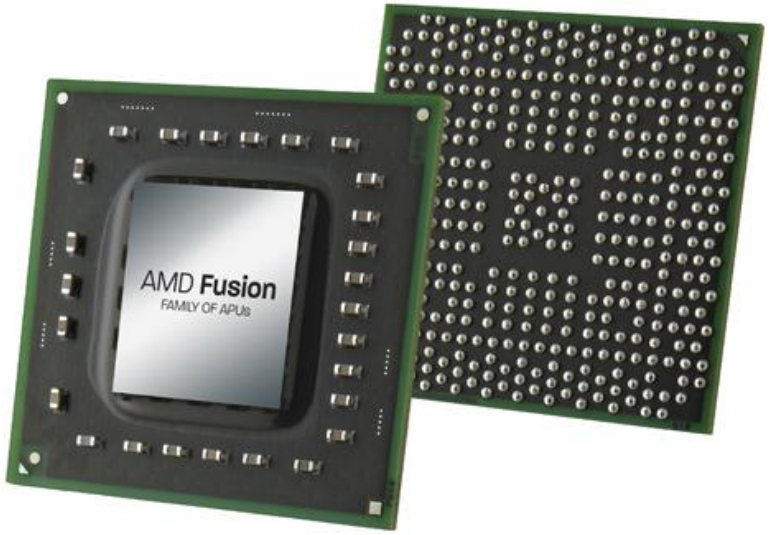
Tilera Tile-Gx

Intel MIC



- Более 50 процессорных ядер
- Более 1 teraFLOPS
- Средства разработки: OpenMP, OpenCL, Intel Cilk Plus
- 512-битные векторные АЛУ

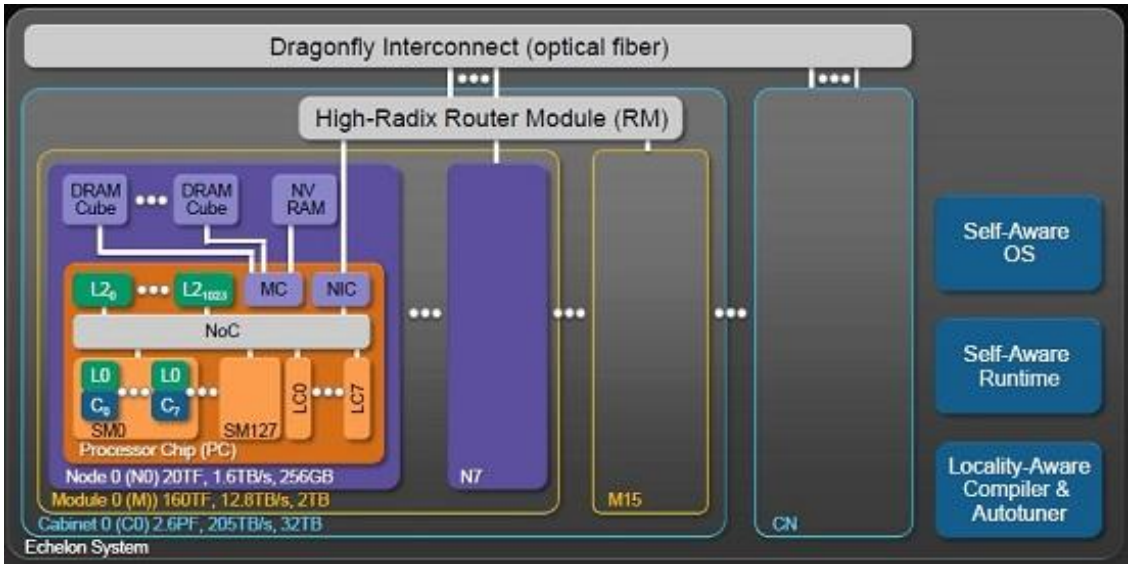
AMD Fusion



Объединение центрального многозадачного универсального процессора с графическим параллельным многоядерным процессором в одном кристалле

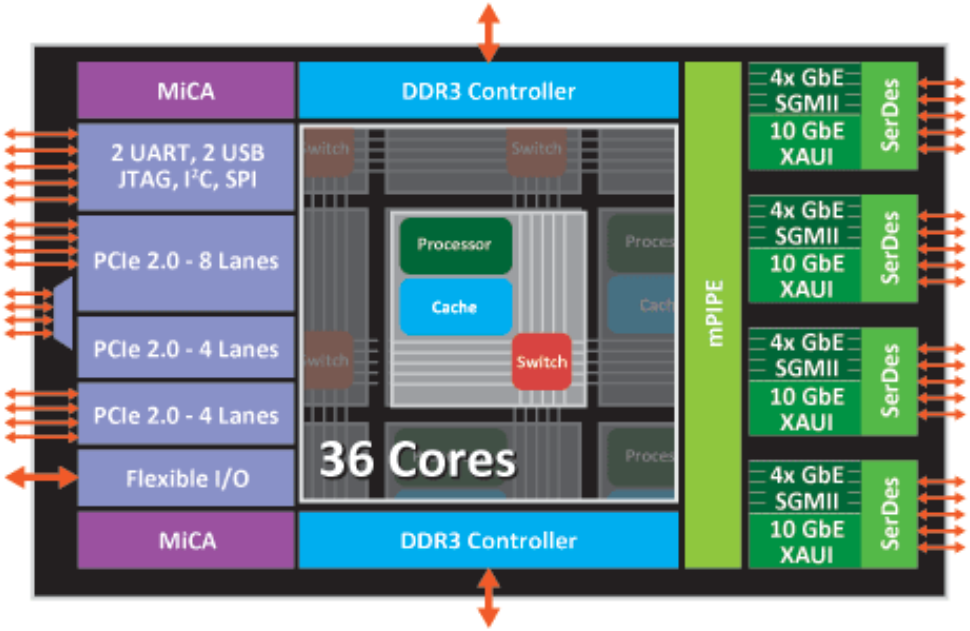
- 2-4 ядра K12
- GPU класса HD 5000
- 0,5-1 Мб кэша L2 на ядро (кэш L3 отсутствует)

Nvidia Echelon



- 128 потоковых блоков по 8 ядер
- 4 операции двойной точности за такт
- 6-уровневый кэш объёмом 256 Мб
- Внешняя память до 256 Гб.

Tilera Tile-Gx



- До 100 ядер, связанных по не полному графу
- Трёхуровневый кэш до 26 МБ
- До 1 ТБ памяти

Программное обеспечения распределённых ВС

- **Распределённая ОС** (GNU/Linux)
- **Средства разработки параллельных программ** (MPI, OpenMP, CUDA, Cray Chapel)
- **Системы управления ресурсами** (TORQUE, SLURM)
- **Системы обеспечения отказоустойчивости** (самоконтроль, самодиагностика, контрольные точки)
- **Диспетчеры пространственно-распределённых ВС** (GridWay, Pegasus)

Средства создания параллельных программ

Общая память

- POSIX Threads
- OpenMP
- Intel TBB
- Intel Cilk
- CUDA
- OpenCL

Распределённая память

- Sockets
- MPI
- HPF
- PVM

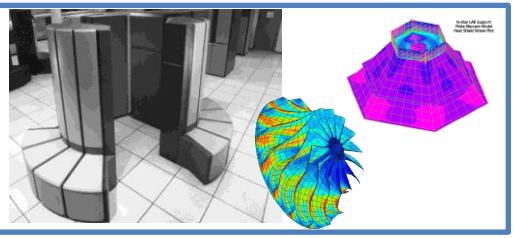
PGAS

- Cray Chapel
- IBM X10
- Unified Parallel C

Этапы развития распределённых ВС (на примере ВС фирмы Cray)

1 ГФЛОПС – 1988: Cray Y-MP; 8 процессоров

- Задачи гидродинамики



1 ТФЛОПС – 1998: Cray T3E; 1 024 процессоров

- Моделирование процессов магнетизма

1 ПФЛОПС – 2008: Cray XT5; 150 000 процессоров

- Моделирование сверхпроводимости

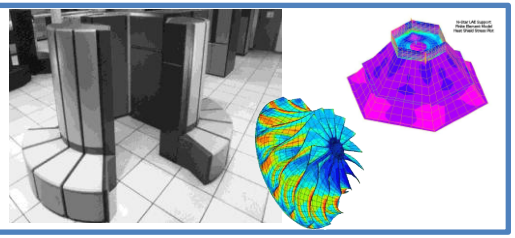
1 ЭФЛОПС – 2018: _____; ~10 000 000 процессоров

- ???

Этапы развития распределённых ВС (на примере ВС фирмы Cray)

1 ГФЛОПС – 1988: Cray Y-MP; 8 процессоров

- Задачи гидродинамики
- Fortran77 + векторизация



1 ТФЛОПС – 1998: Cray T3E; 1 024 процессоров

- Моделирование процессов магнетизма
- Fortran + MPI (Message Passing Interface)

1 ПФЛОПС – 2008: Cray XT5; 150 000 процессоров

- Моделирование сверхпроводимости
- C/C++/Fortran + MPI + векторизация

1 ЭФЛОПС – 2018: _____; ~10 000 000 процессоров

- ???
- C/C++/Fortran + MPI + CUDA/OpenCL/OpenMP/OpenACC

Или, может быть, что-то совершенно иное?

Цели организации функционирования:

- Минимум времени решения задачи
- Максимальная надёжность
- Максимум прибыли
- Минимизации энергопотребления
- ...

Могут быть составные показатели.

Режимы функционирования ВС

I Монопрограммный режим

Решение одной сложной задачи – для решения задачи используются все ресурсы ВС.

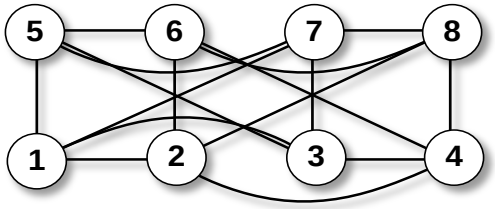
II Мультипрограммный режим

Обработка набора задач – учитывается не только количество задач, но их параметры: число ветвей, время решения и др.

Обслуживание потока задач – задачи поступают в случайные моменты времени, их параметры случайны.

Вложение параллельных программ в ВС

Вложение High Performance Linpack в подсистему:

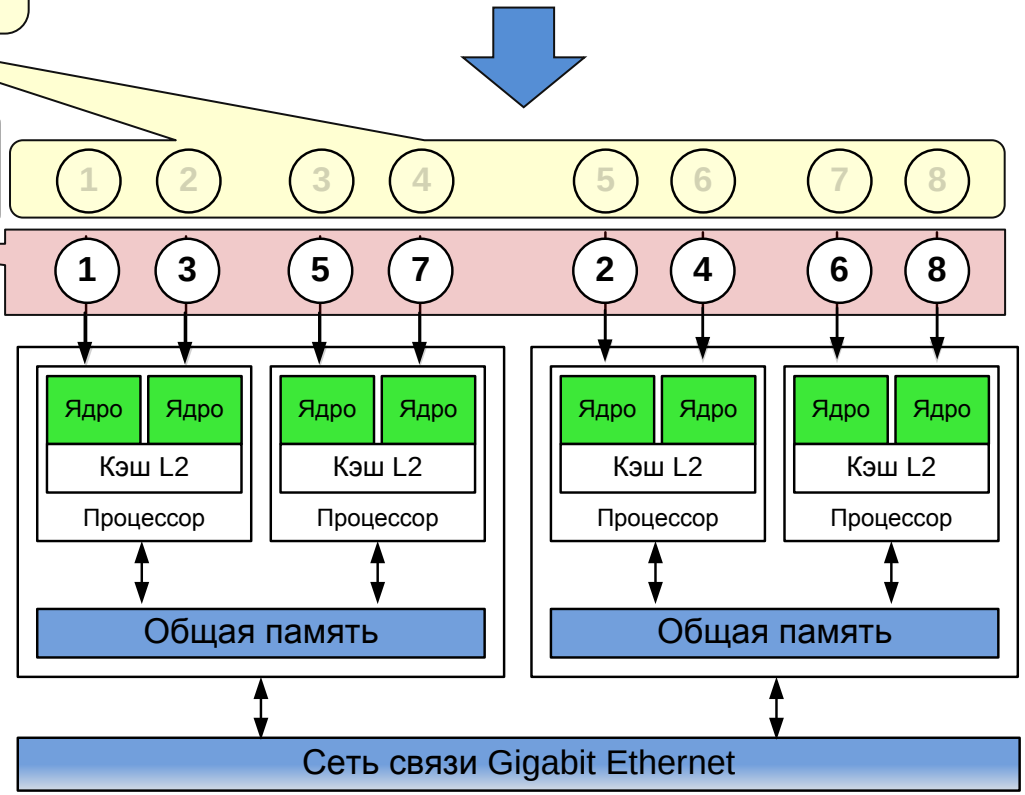


Граф программы

High Performance Linpack (HPL)

стандартными MPI-утилитами –
время выполнения 118 сек. (44 GFLOPS)

разработанными средствами –
время выполнения 100 сек. (53 GFLOPS)



Иерархическая ВС:

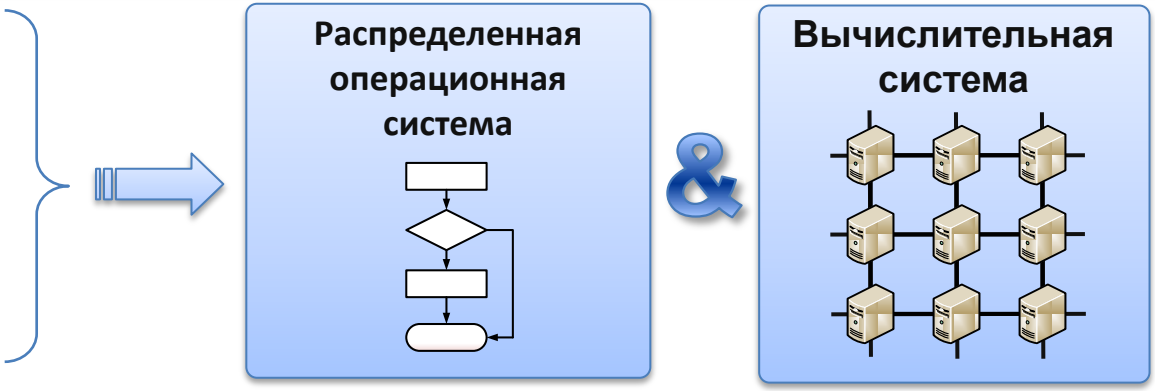
2 узла по 2 Intel Xeon 5150

Сеанс работы пользователей в пакетном режиме

1. Поставить задачу в очередь.
2. Проверить состояние задачи.
3. Внести коррективы в задачу (её параметры).
4. Получить результат решения задачи.

Системы управления ресурсами распределённых ВС (RMS - Resource Management System)

Параллельное мультипрограммирование



Поток параллельных задач

– единичный ранг

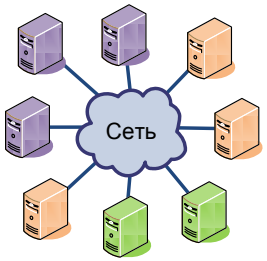
Монозадачный режим

Вложение программ в ВС, коллективные обмены

Мультизадачные режимы

Обслуживание потоков задач

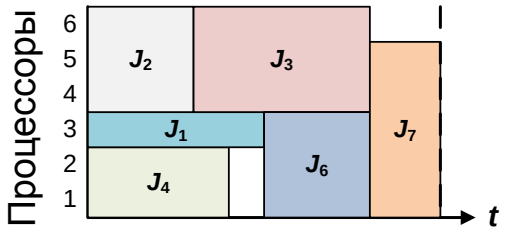
Генерация подсистем в пределах ВС



- **Техника теории игр**
- **Стохастическое программирование**

Обработка наборов задач

Формирование расписаний решения параллельных задач



Точные, эвристические и стохастические методы и алгоритмы

I Монопрограммный режим

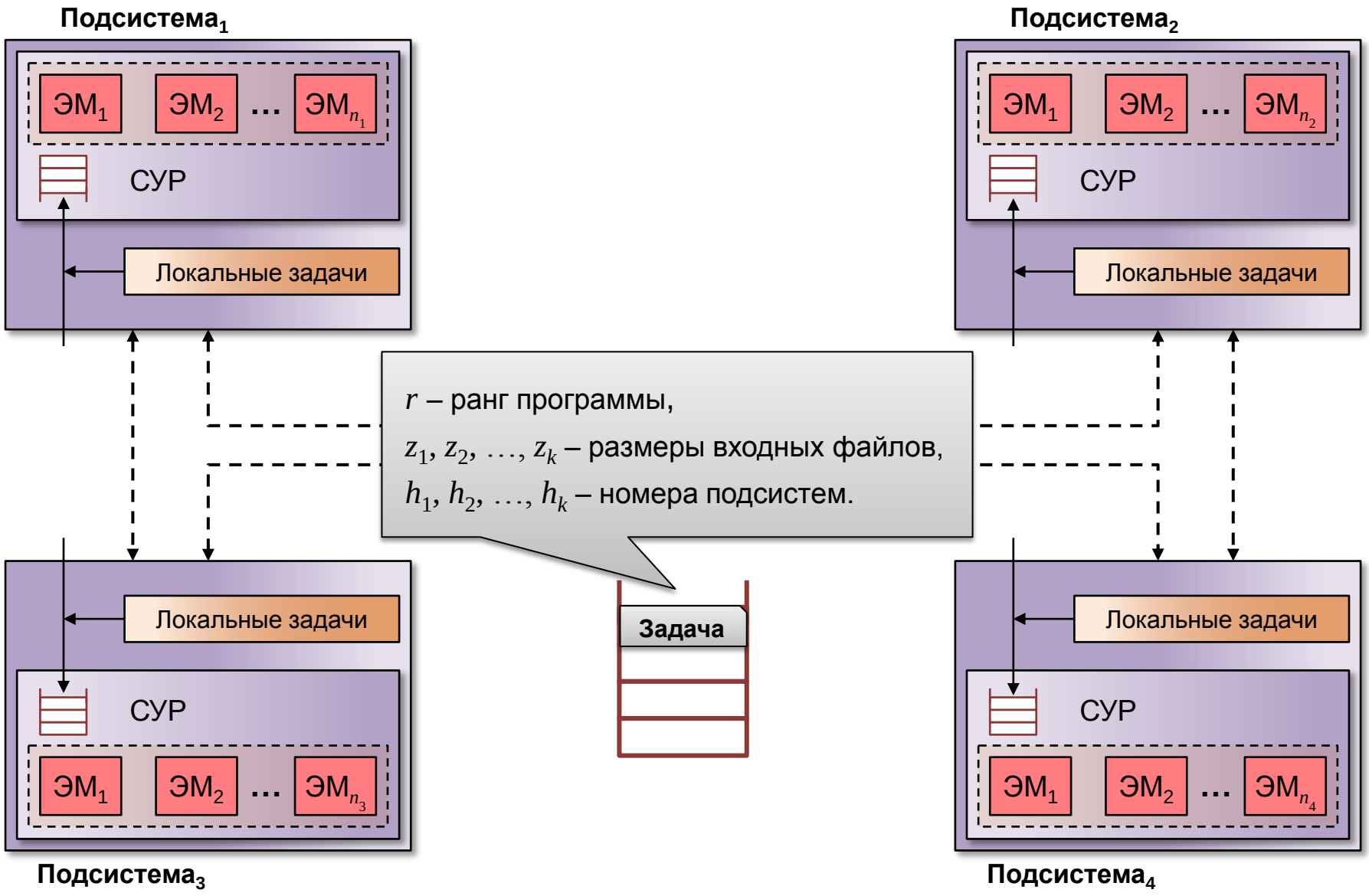
Решение одной сложной задачи – для решения задачи используются все ресурсы ВС.

II Мультипрограммный режим

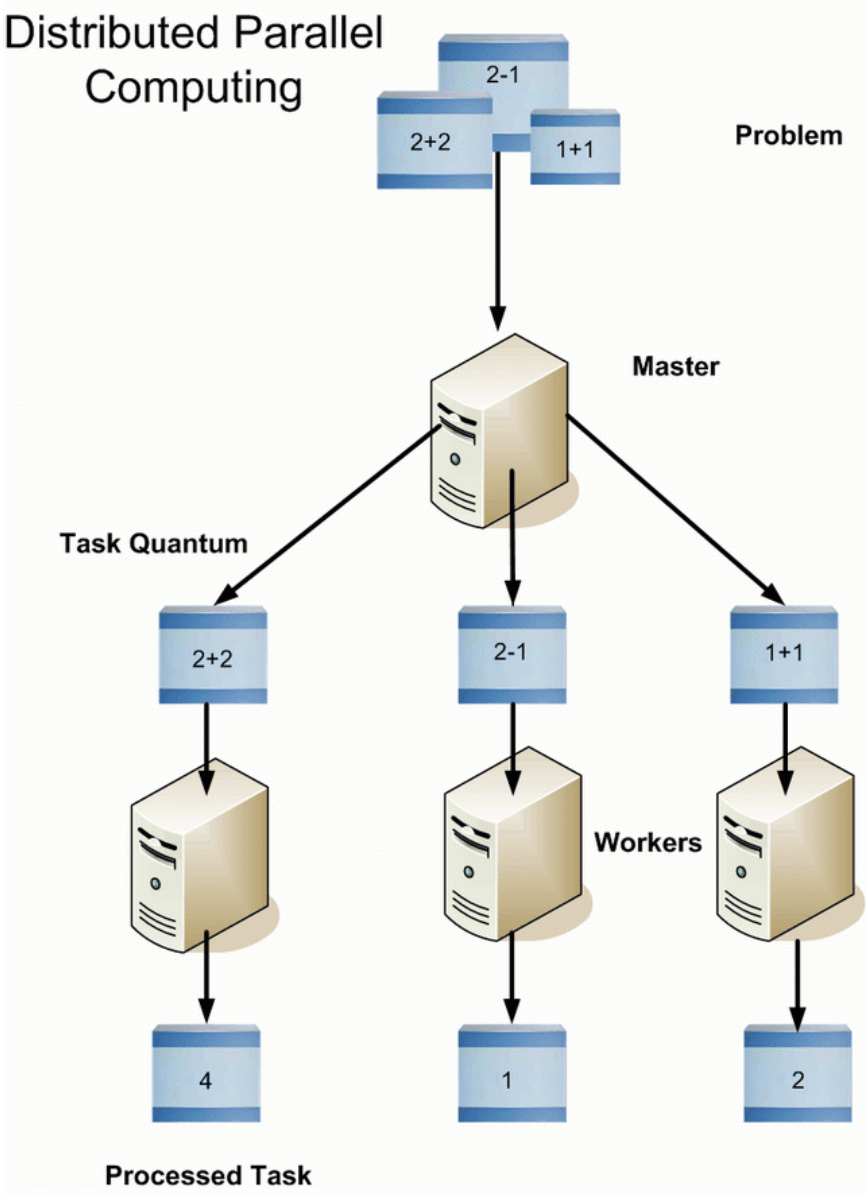
Обработка набора задач – учитывается не только количество задач, но их параметры: число ветвей, время решения и др.

Обслуживание потока задач – задачи поступают в случайные моменты времени, их параметры случайны.

Диспетчеризация параллельных задач



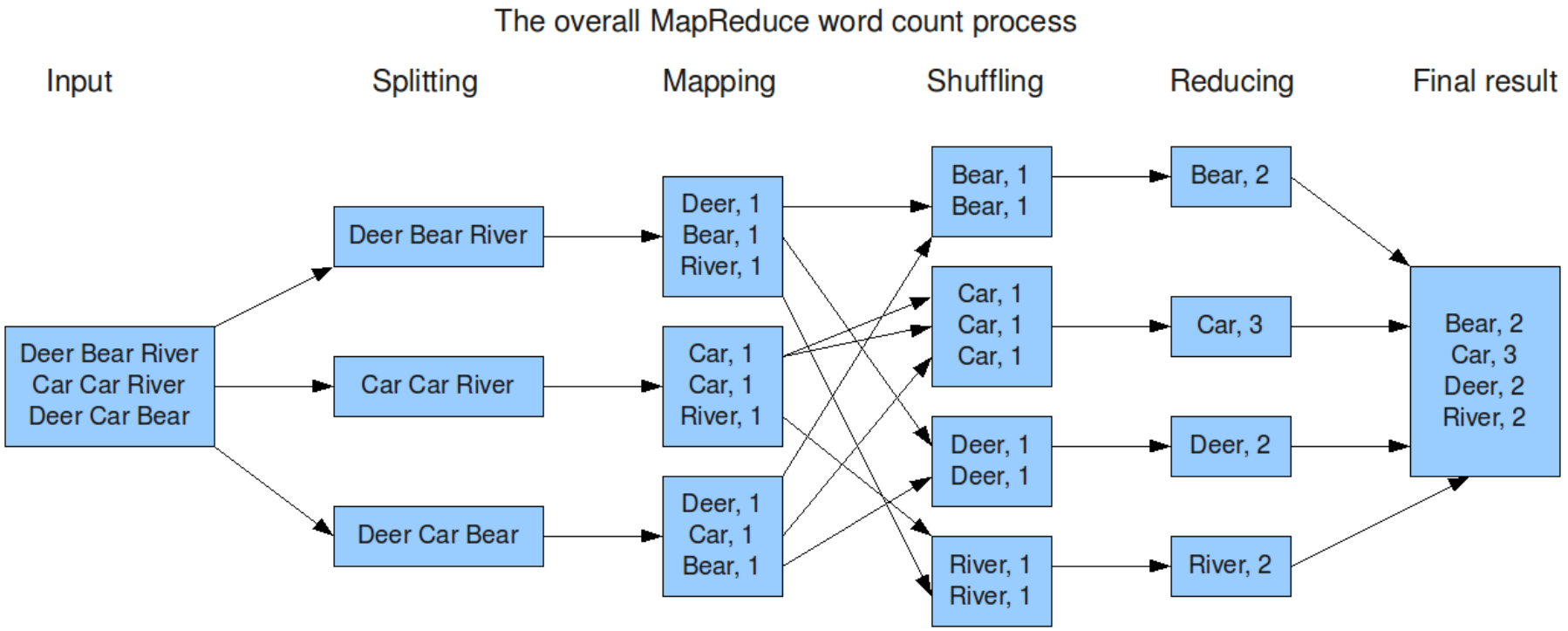
Распределённые вычисления (Вычисления высокой пропускной способности, HTC)



- живучесть, отказоустойчивость (миграция, контрольные точки)
- длительное время решения большого количество заданий
- слабо связанные задания
- большой объём задействованных ресурсов

CONDOR, MOSIX, BOINC, MapReduce

Алгоритмы MapReduce



Высокопроизводительные вычисления (HPC)

- сильно связанные параллельные ветви – интенсивный обмен сообщениями – быстрые каналы связи
- единая точка доступа к ресурсам
- параллельные программы

Конец слайдов

П.Пикассо. «Герника»