



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Лекция 1

Архитектура и программирование массивно-параллельных вычислительных систем

- **Лекторы:**
 - Боресков А.В. (ВМиК МГУ)
 - Харламов А.А. (NVIDIA)



Посмотрим на частоты CPU:

- 2004 г. - Pentium 4, 3.46 GHz
- 2005 г. - Pentium 4, 3.8 GHz
- 2006 г. - Core Duo T2700, 2.33 GHz
- 2007 г. - Core 2 Duo E6700, 2.66 GHz
- 2007 г. - Core 2 Duo E6800, 3 GHz
- 2008 г. - Core 2 Duo E8600, 3.33 GHz
- 2009 г. - Core i7 950, 3.06 GHz



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Существующие многоядерные системы

Легко видно, что роста частоты практически нет

- Энерговыведение \sim второй степени частоты
- Ограничения техпроцесса



Существующие многоядерные системы

- Таким образом, повышение быстродействия следует ждать именно от параллельности
- Уже давно CPU используют параллельную обработку для повышения производительности
 - Конвейер
 - Multithreading
 - SSE



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

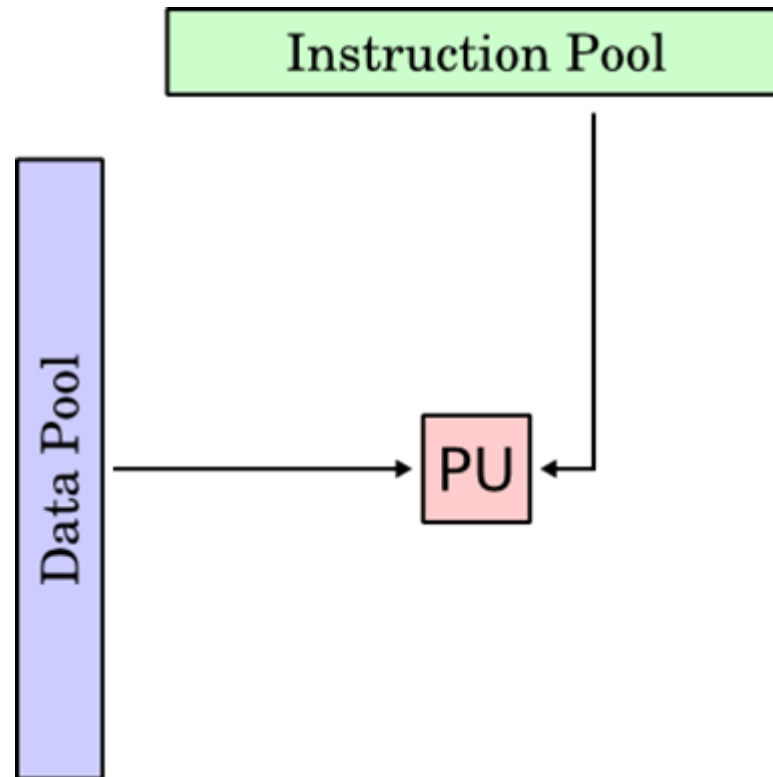
Классификация

	Single Instruction	Multiple Instruction
Single Data	SISD	MISD
Multiple Data	SIMD	MIMD



SISD

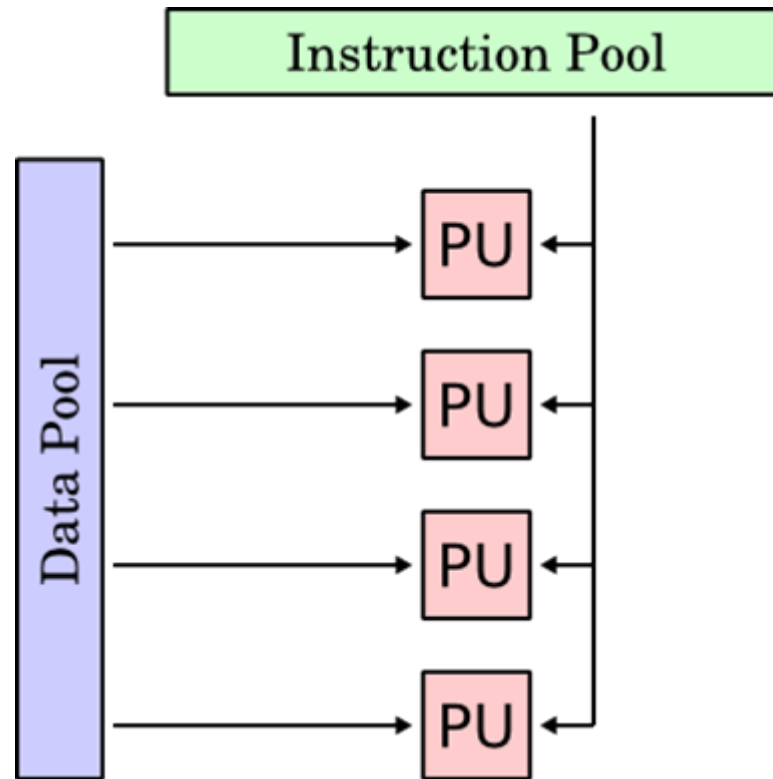
НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





SIMD

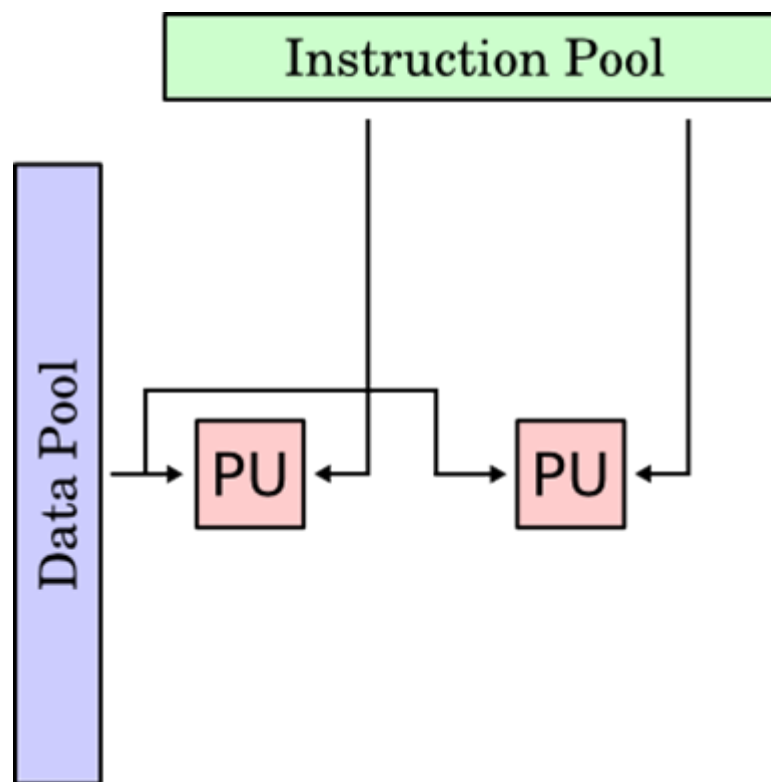
НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





MISD

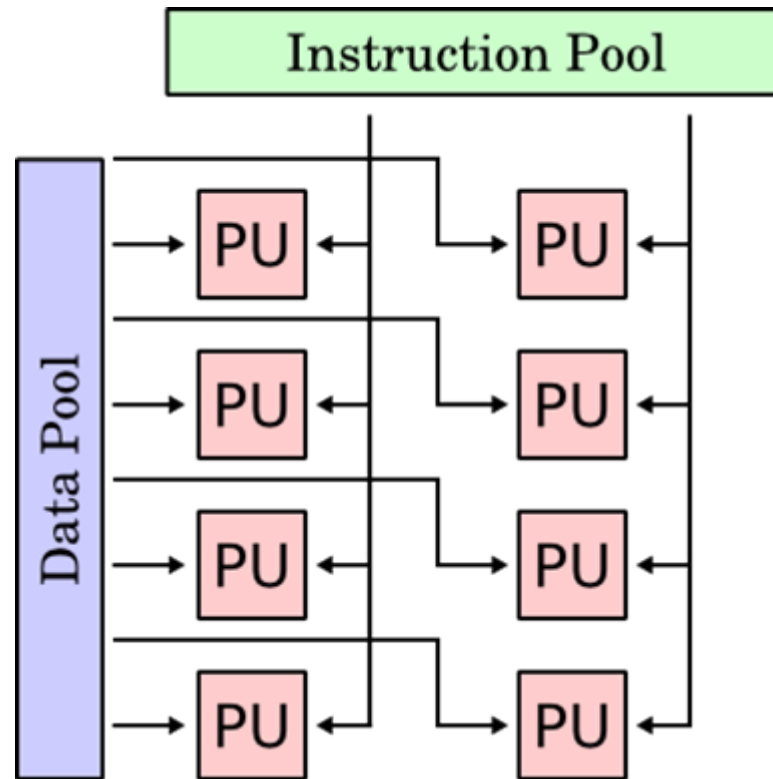
НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





MIMD

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





Intel Core 2 Duo

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER



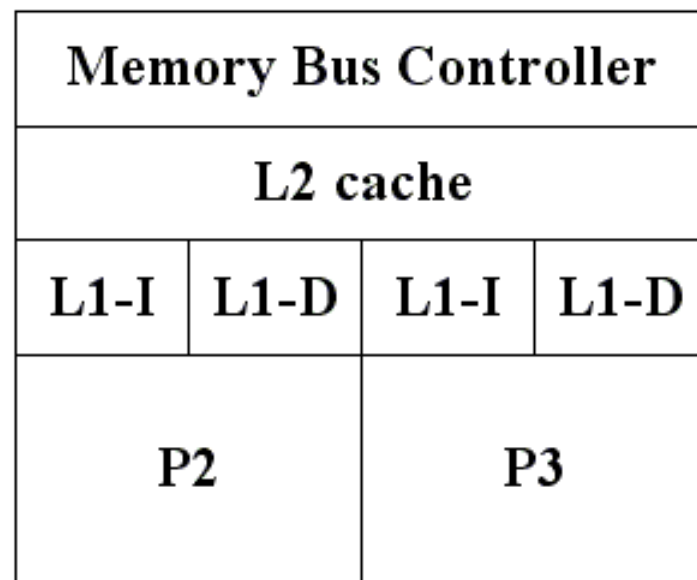
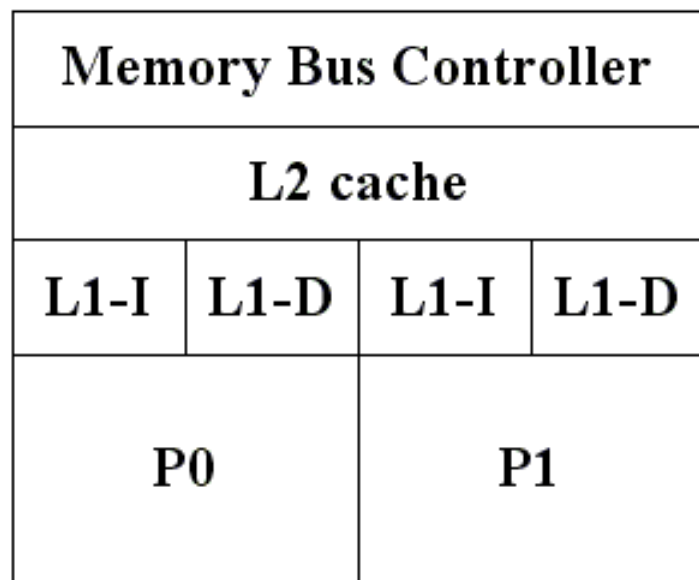
Memory Bus Controller			
L2 cache			
L1-I	L1-D	L1-I	L1-D
P0		P1	

- 32 Кб L1 кэш для каждого ядра
- 2/4 Мб общий L2 кэш
- Единый образ памяти для каждого ядра - необходимость синхронизации кэшей



Intel Core 2 Quad

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





Intel Core i7

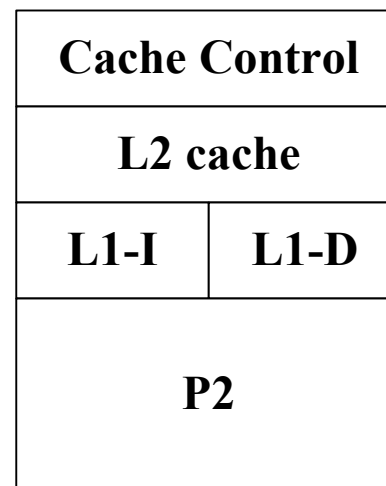
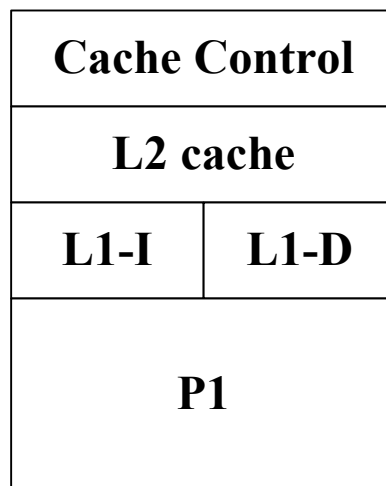
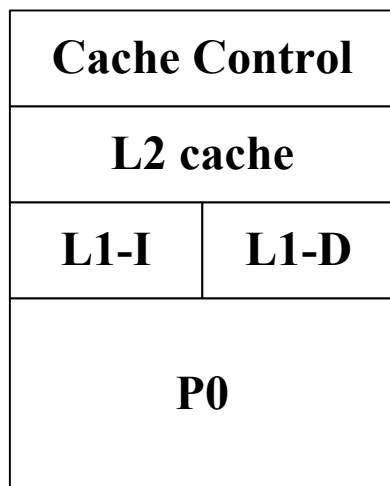
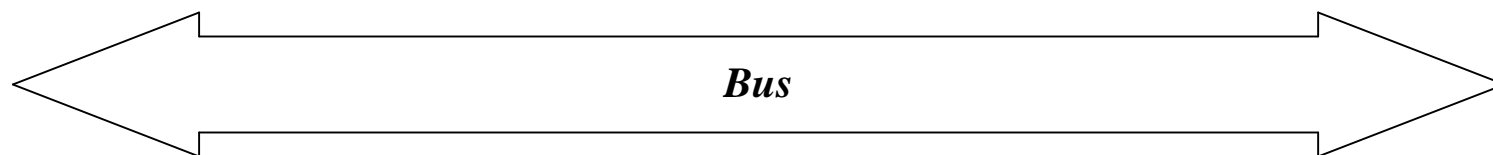
НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER



Memory Bus Controller							
L3 cache							
L2 cache		L2 cache		L2 cache		L2 cache	
L1-I	L1-D	L1-I	L1-D	L1-I	L1-D	L1-I	L1-D
P0		P1		P2		P3	



Symmetric Multiprocessor Architecture (SMP)





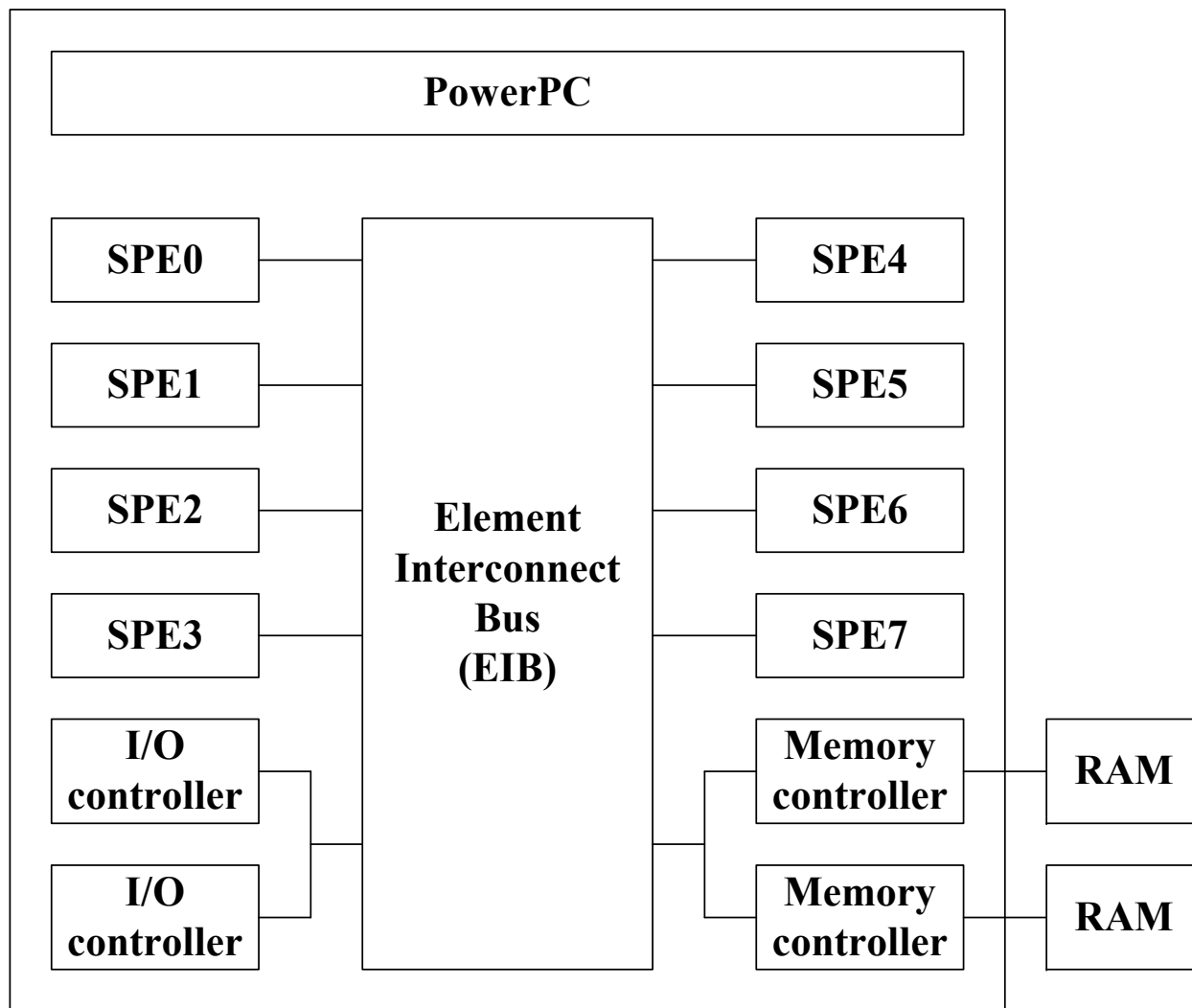
Symmetric Multiprocessor Architecture (SMP)

- Каждый процессор
- Имеет свои L1 и L2 кэши
- Подсоединен к общей шине
- **Отслеживает доступ других процессоров к памяти** для обеспечения единого образа памяти (например, один процессор хочет изменить данные, кэшированные другим процессором)



Cell

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

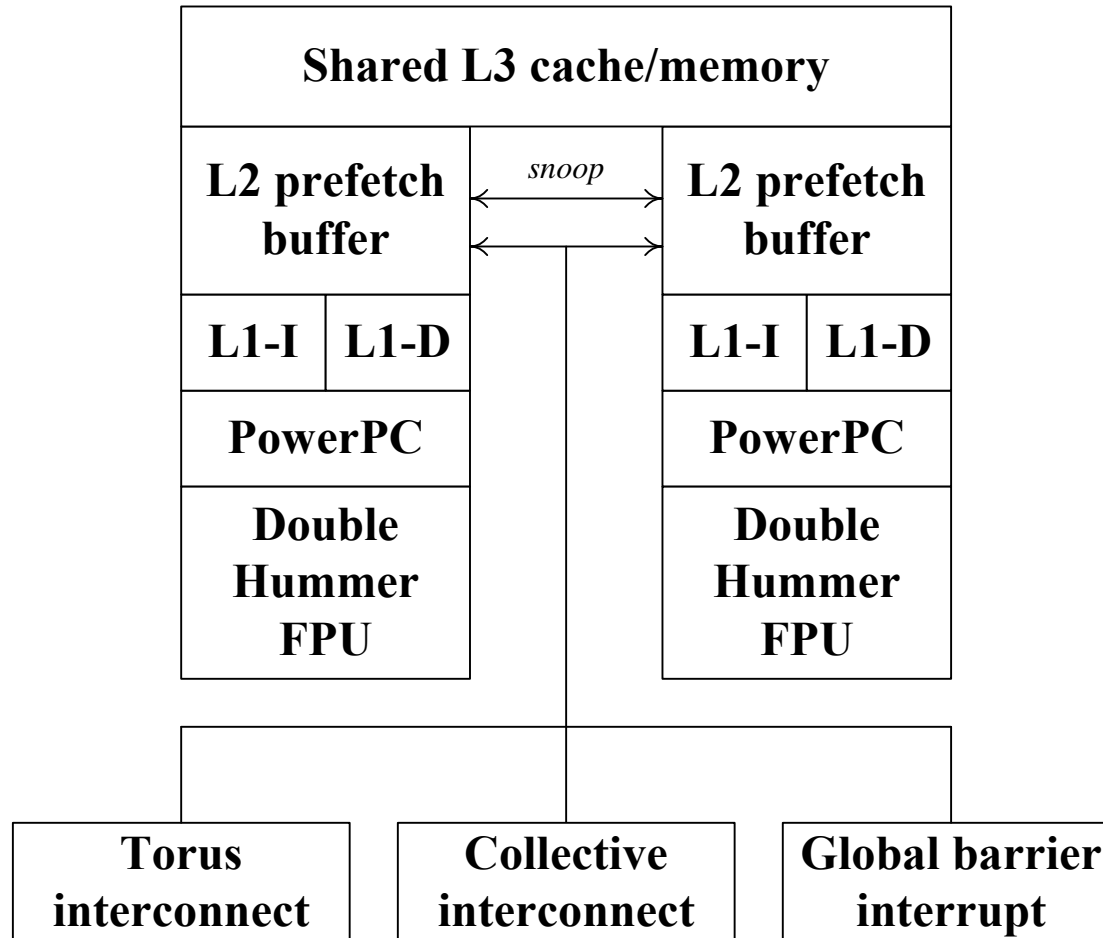
Cell

- Dual-threaded 64-bit PowerPC
- 8 Synergistic Processing Elements (SPE)
- 256 Kb on-chip на каждый SPE



BlueGene/L

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





BlueGene/L

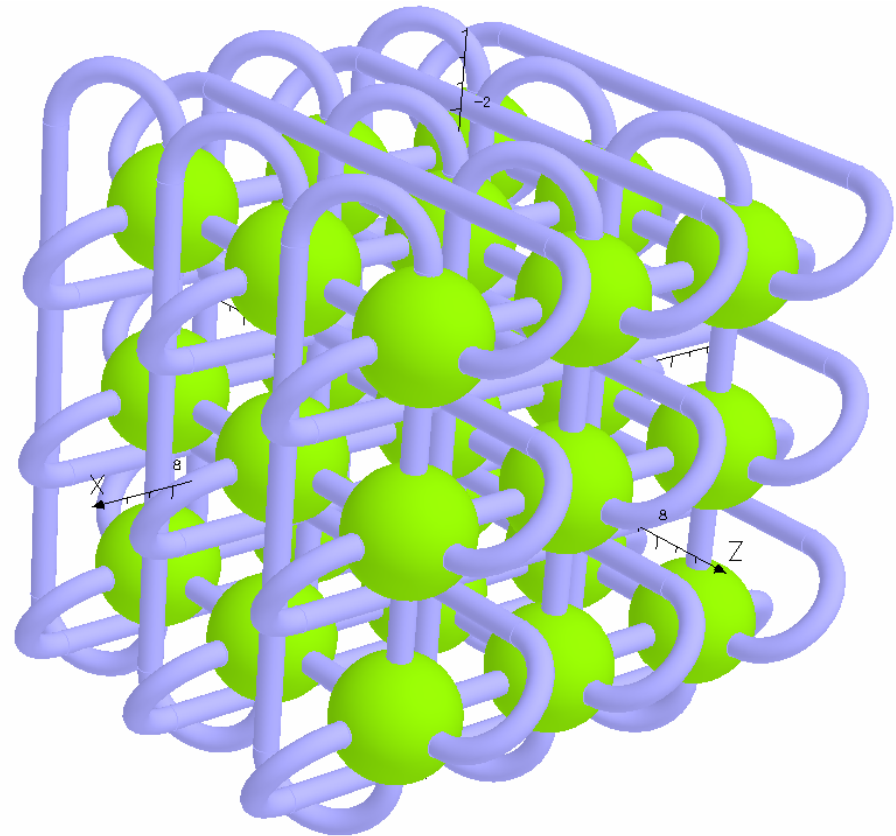
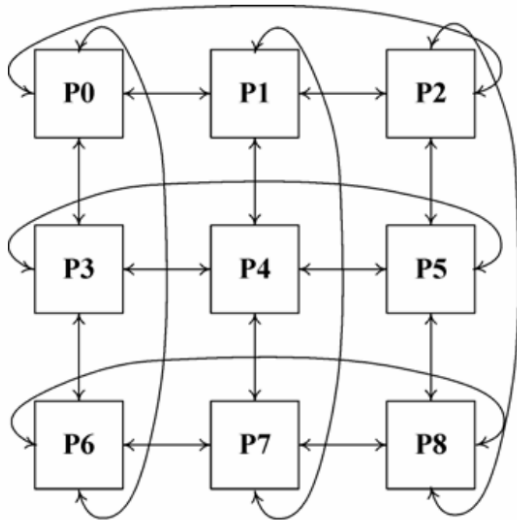
НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

- 65536 dual-core nodes
- node
 - 770 Mhz PowerPC
 - Double Hammer FPU (4 Flop/cycle)
 - 4 Mb on-chip L3 кэш
 - 512 Mb off-chip RAM
 - 6 двухсторонних портов для 3D-тора
 - 3 двухсторонних порта для collective network
 - 4 двухсторонних порта для barrier/interrupt



2D и 3D тор

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Кластеры

- + Произвольная топология
- + Полноценные узлы (HW/SW)
- - Энергопотребление
- - Плотность вычислительной мощности



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

GPU: другой подход

- Ранние 3D-ускорители (1996-2002)
- Шейдеры (2002)
- GPGPU и шейдерные языки (2004)
- CUDA (2006)
- NVIDIA Fermi (2010)
- NVIDIA Kepler (2011-2012)
- NVIDIA Maxwell (2013)



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Эволюция GPU

- Voodoo - растеризация треугольников, наложение текстуры и буфер глубины
- Очень легко распараллеливается
- На своих задачах легко обходил CPU



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Эволюция GPU

- Быстрый рост производительности
- Добавление новых возможностей
 - Мультитекстурирование (RivaTNT2)
 - T&C&L
 - Вершинные программы (шейдеры)
 - Фрагментные программы (GeForceFX)
 - Текстуры с floating point-значениями



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Эволюция GPU: шейдеры

- Работают с 4D float-векторами
- Специальный ассемблер
- Компилируется драйвером устройства
- Отсутствие переходов и ветвления
- Вводились как vendor-расширения



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Эволюция GPU: шейдеры

- Появление шейдерных языков высокого уровня (Cg, GLSL, HLSL)
- Поддержка ветвлений и циклов (GeForce 6xxx)
- Появление GPU, превосходящие CPU в 10 и более раз по Flop'ам



Отличия CPU от GPU

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

- Очень высокая степень параллелизма
- Основная часть чипа занята логикой, а не кэшем
- Ограничения по функциональности



GPGPU

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

- Использование GPU для решения не графических задач
- Вся работа с GPU идет через графический API (OpenGL, D3D)
- Программы используют сразу два языка – один традиционный (C++) и один шейдерный
- Ограничения, присущие графическим API



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

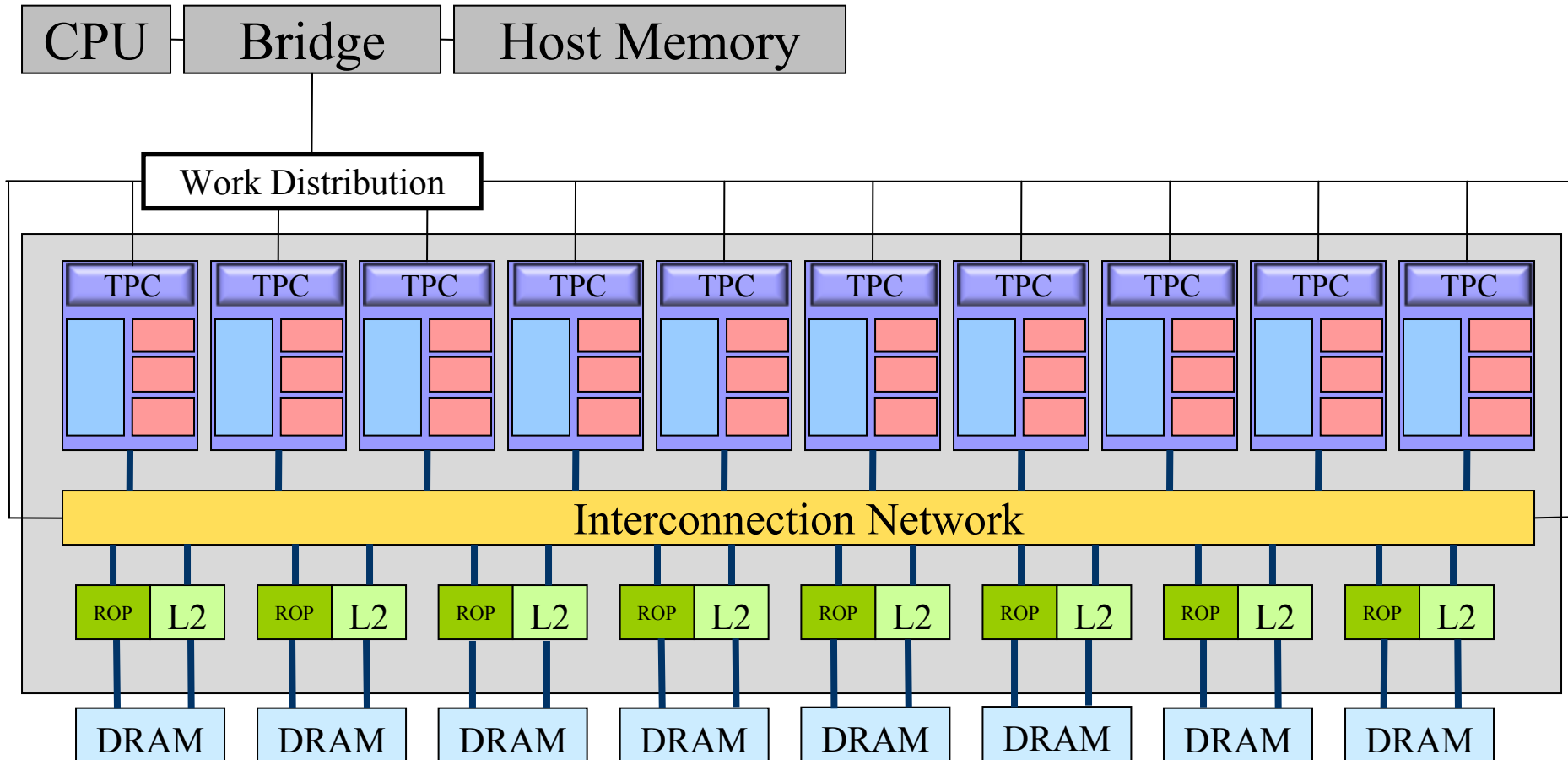
Вклад NVIDIA

- GeForce
- Quadro
- Tesla
- Fermi



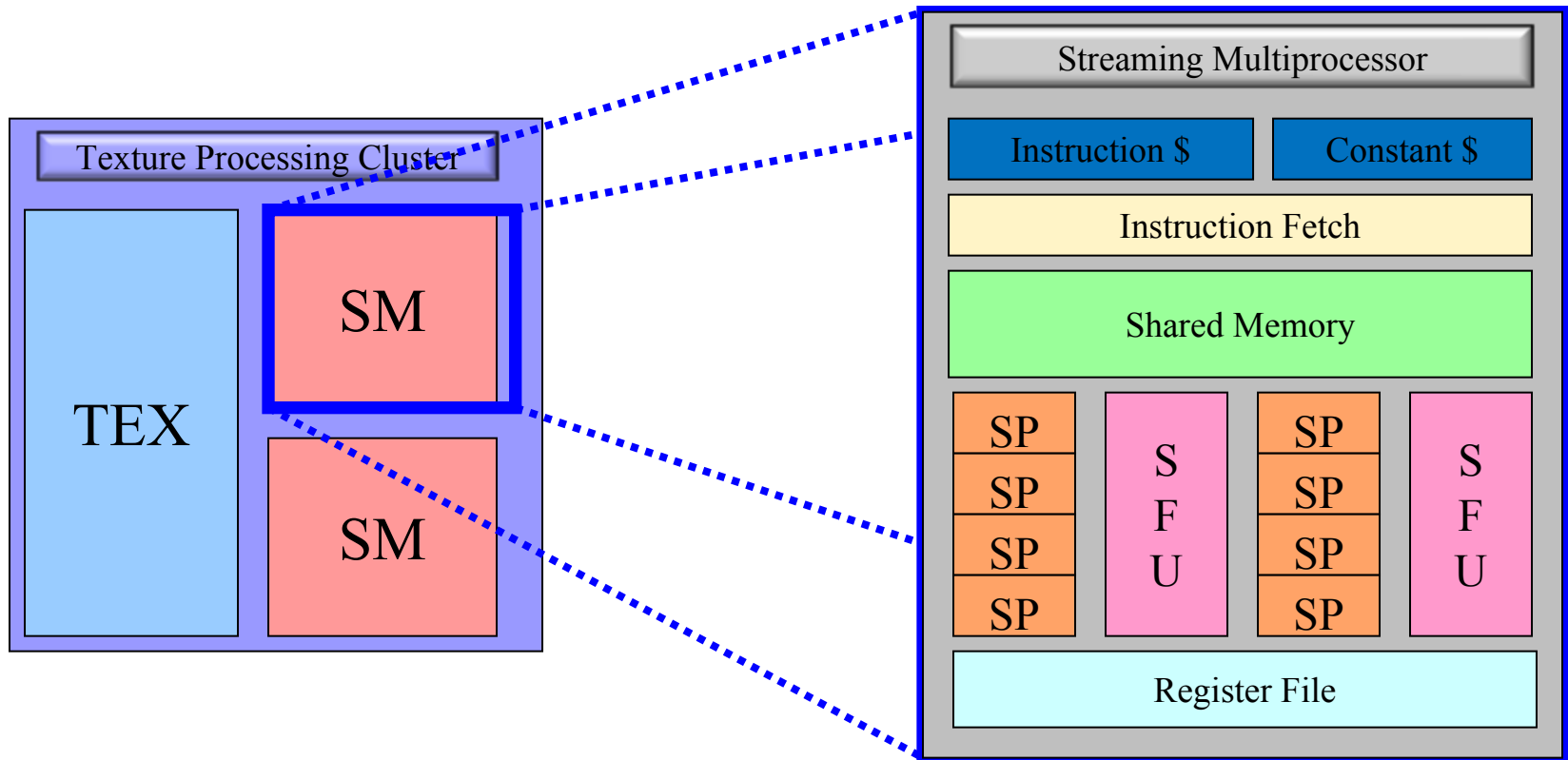
Архитектура Tesla 10

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER



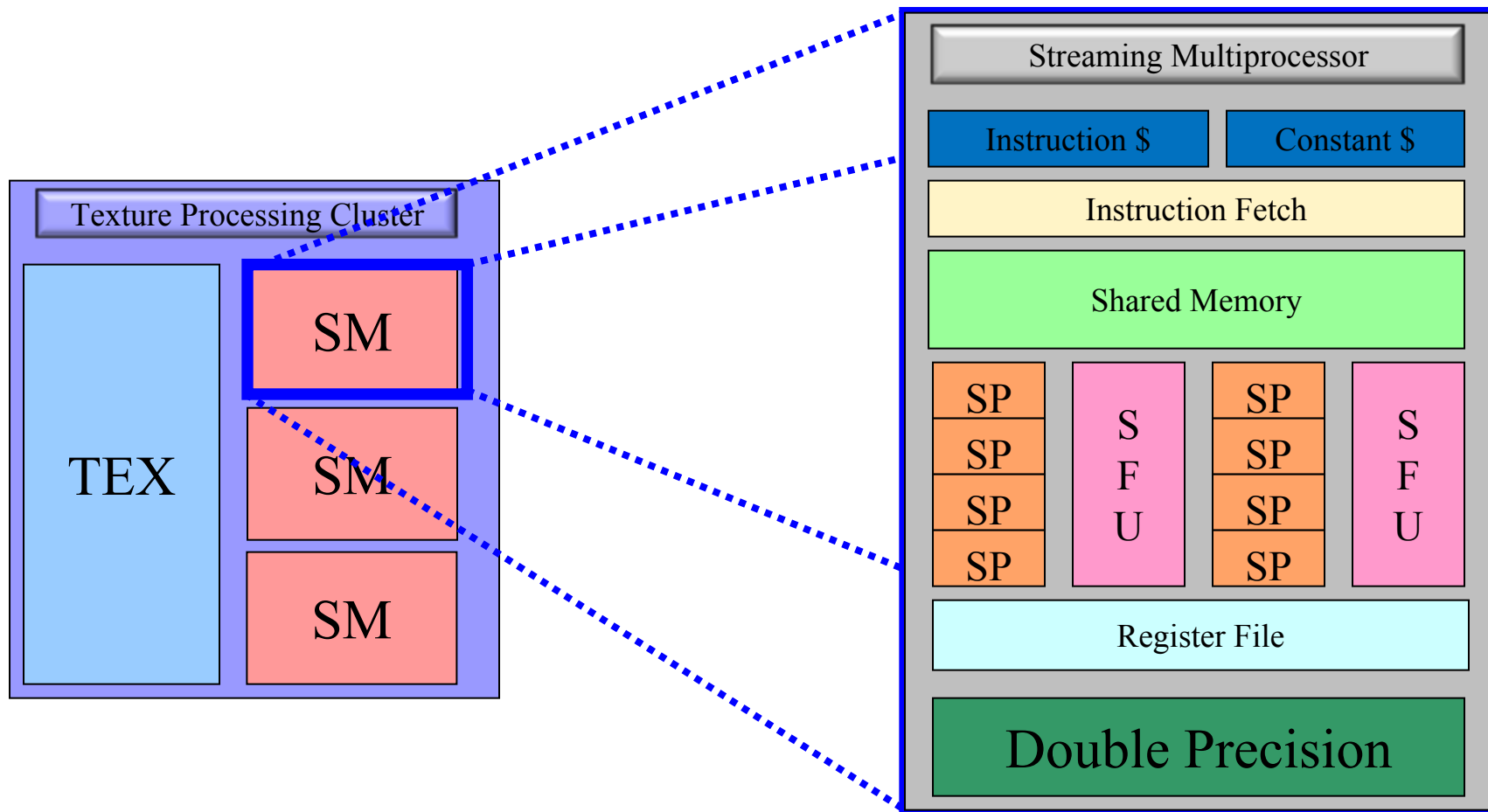


Архитектура Tesla 8



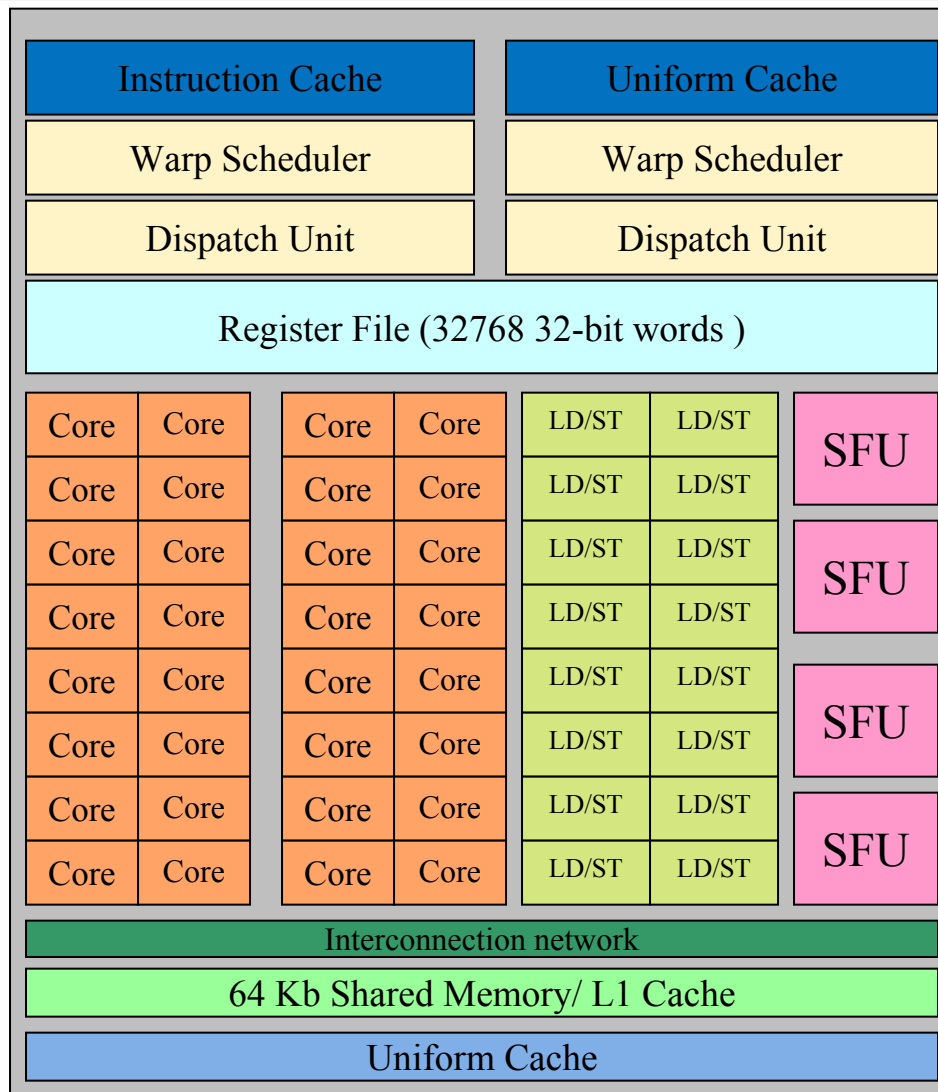


Архитектура Tesla 10





Архитектура Fermi





НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Архитектура Fermi

- Unified L2 cache (768 Kb)
- Up to 1 Tb of memory (64 bit addressing)
- Unified address space
- ECC protection (DRAM, registers, shared, cache)
- Simultaneous CPU->GPU, GPU->CPU, kernel execution
- 10x faster context switching, concurrent kernel execution (up to 16 kernels)



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Архитектура Fermi

- 32 cores per SM
- Dual Thread schedule – simultaneous execution of 2 warps
- 48 Kb shared + 16 Kb cache или 16 Kb shared + 48 Kb cache
- Cheap atomics



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Архитектура

- Масштабируемость:
 - [+] [-] SM внутри TPC
 - [+] [-] TPC
 - [+] [-] DRAM партиции
- Схожие архитектуры:
 - Tesla 8: 8800 GTX
 - Tesla 10: GTX 280
 - Tesla 20: GTX 460



НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Технические детали

- **RTM CUDA Programming Guide**
- **Run CUDAHelloWorld**
 - Печатает аппаратно зависимые параметры
 - Размер shared памяти
 - Кол-во SM
 - Размер warp'a
 - Кол-во регистров на SM
 - Т.д.



CPU

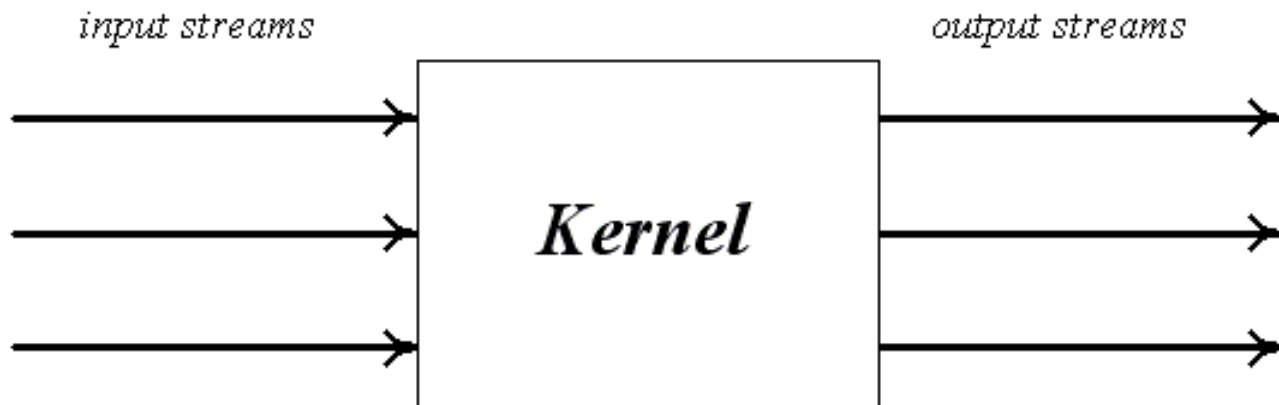
НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

- Параллельное программирование CPU требует специальных API
 - MPI, OpenMP
- Программирование ресурсов CPU ограничено
 - Multithreading
 - SSE
 - Ограничивает пропускная способность памяти



SIMD

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER



- Так как каждый элемент может быть обработан независимо от других, то их можно обрабатывать параллельно
- Можно соединять между собой отдельные ядра для получения более сложной схемы обработки



SIMT (Single Instruction, Multiple Threads)

- Параллельно на каждом SM выполняется большое число отдельных нитей (threads)
- Нити подряд разбиваются на warp'ы (по 32 нити) и SM управляет выполнением warp'ов
- Нити в пределах одного warp'а выполняются физически параллельно
- Большое число warp'ов покрывает латентность



NVIDIA Tesla

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

- PCI-Express или rackmount
- 448/512 CUDA-ядер
- 3/6 GB RAM
- 500 GFLOPS double precision
- 1 TFLOP single precision
- ECC memory error protection



NVIDIA Tesla

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER





НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

Перспективы

- NVIDIA Kepler
 - 2011-2012 г.
 - Техпроцесс 28 нм
 - FLOPS/Ватт: 3x Fermi
- NVIDIA Maxwell
 - 2013 г.
 - Техпроцесс 22 нм



Перспективы

НОЦ "ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ"
APPLIED PARALLEL COMPUTING E&R CENTER

CUDA GPU Roadmap

