

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель: *спроектировать вычислительную систему (ВС)*

Задачи:

1. определить назначение ВС (реализуемые функции, типы данных, типы операций)
2. определить требуемую точность, объём и скорость вычислений
3. определить основные концепции ее построения
4. выбрать архитектуру ВС
5. разработать аппаратную часть
 - *формирование функциональной организации ВС*
 - *формирование структурной организации ВС (компонентов)*
 - *распределение функций по компонентам*
6. разработать структуру программной части
 - *формирование системы команд процессорной части (или всех компонентов)*
 - *формирование структуры ПО ВС (или компонентов)*
 - *написание и отладка ПО*
7. протестировать ВС в разных режимах

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВС

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ = скорость вычислений

- Пиковая или предельная производительность ВС
- Реальная производительность ВС
- Эффективность

https://www.top500.org/lists/2016/06/

TOP 500
The List.

Home / Lists / June 2016 / List

Top500 List - June 2016

R_{max} and R_{peak} values are in TFlops. For more details about other fields, check the TOP500 description.

R_{peak} values are calculated using the advertised clock rate of the CPU. For the efficiency of the systems you should take into account the Turbo CPU clock rate where it applies.

previous 1 2 3 4 5 next

Rank	Site	System	Cores	R_{max} (TFlop/s)	R_{peak} (TFlop/s)	Power (kW)
1	National Supercomputing Center in Wuxi China	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway NRPC	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
2	National Super Computer Center in Guangzhou China	Tianhe-2 (MilkyWay-2) - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P	3,120,000	33,862.7	54,902.4	17,808

Ultra Servers
Performance · Scalability · Serviceability and Security
Efficiency · Flexibility

TOP 500 LIST

TOP #1 SYSTEMS

STATISTICS

Tweets by @top500supercomp

TOP500
@top500supercomp

Listen to the newest podcast
@ThisWeekinHPC Japan slips
exascale schedule & new products from
#DDN & #Aquila ow.ly/GJey304o4u8
#TOP500

18m

TOP500
@top500supercomp

(<https://www.top500.org/list/2016/06/>)

Пиковая или предельная производительность ВС

Это суммарная пиковая производительность всех её вычислителей (ядер/процессоров/ускорителей)

$$R_{peak} = \underbrace{V_{peak}^1 \cdot N_1}_{\text{Тип ядра 1}} + \underbrace{V_{peak}^2 \cdot N_2}_{\text{Тип ядра 2}} + \dots$$

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВС

Пиковая скорость работы процессора по выполнению собственных инструкций.

$$V_{\text{peak}} \left[\frac{\text{инстр}}{\text{сек}} \right] = f \cdot \sum_{i=1}^k [IPC \text{ (или } OPC)]_i \cdot N,$$

где V_{peak} — пиковая производительность ЦП,

f — максимальная тактовая частота центрального процессора,

k — количество исполнительных блоков в процессоре,

IPC (*instructions per cycle*) — максимальное число инструкций, выполняемых за один машинный такт каждым исполнительным блоком одного ядра,

OPC (*operations per cycle*) — максимальное число операций ЧПЗ заданной точности, выполняемых за один машинный такт каждым исполнительным блоком одного ядра,

N — количество ядер в процессоре.

Пиковая или предельная производительность процессора/ов ВС

Производительность измеряется в MIPS (миллион инструкций в секунду) и во FLOPS (количество операций над числами формата ЧПЗ (с плавающей запятой) в секунду).



Рейтинг MIPS
(Million Instructions Per Second)

$$= \text{МИЛЛИОН} \frac{\text{инстр}}{\text{сек}} = 10^6 \left[\frac{\text{инстр}}{\text{сек}} \right]$$

Рейтинг FLOPS
(Floating Point Operations per Second)

$$= \left[\frac{\text{опер. над числами с плав.запятой (ЧПЗ)}}{\text{сек}} \right]$$

- GFLOPS (Giga Floating Operations Per Second) – миллиард (10^9) операций над ЧПЗ в секунду;
- TFLOPS (Tera Floating Operations Per Second) – триллион (10^{12}) операций над ЧПЗ в секунду.
- PFLOPS (Peta Floating Operations Per Second) – квадриллион (10^{15}) операций над ЧПЗ в секунду.

Рассмотрим ВС: ПК на основе процессора Intel Core i7-4770K

Описание Процессор Intel Core i7-4770K OEM

Четырехъядерный процессор Intel Core i7-4770K на базе архитектуры Haswell построен по 22-нанометровому техпроцессу и способен разогнаться до 3900 МГц от базовой частоты 3500 МГц. Присутствует фирменная графическая подсистема HD Graphics 4600 с тактовой частотой до 1250 МГц, а также кэш третьего уровня. Предусмотрена поддержка до 32 гигабайт DDR3-памяти, работающей на частоте 1333 или 1600 МГц с максимальной скоростью обмена данными до 25,6 Гбайт/с. При этом тепловыделение не превышает 84 Ватт при максимальной температуре корпуса 72,72 °С.



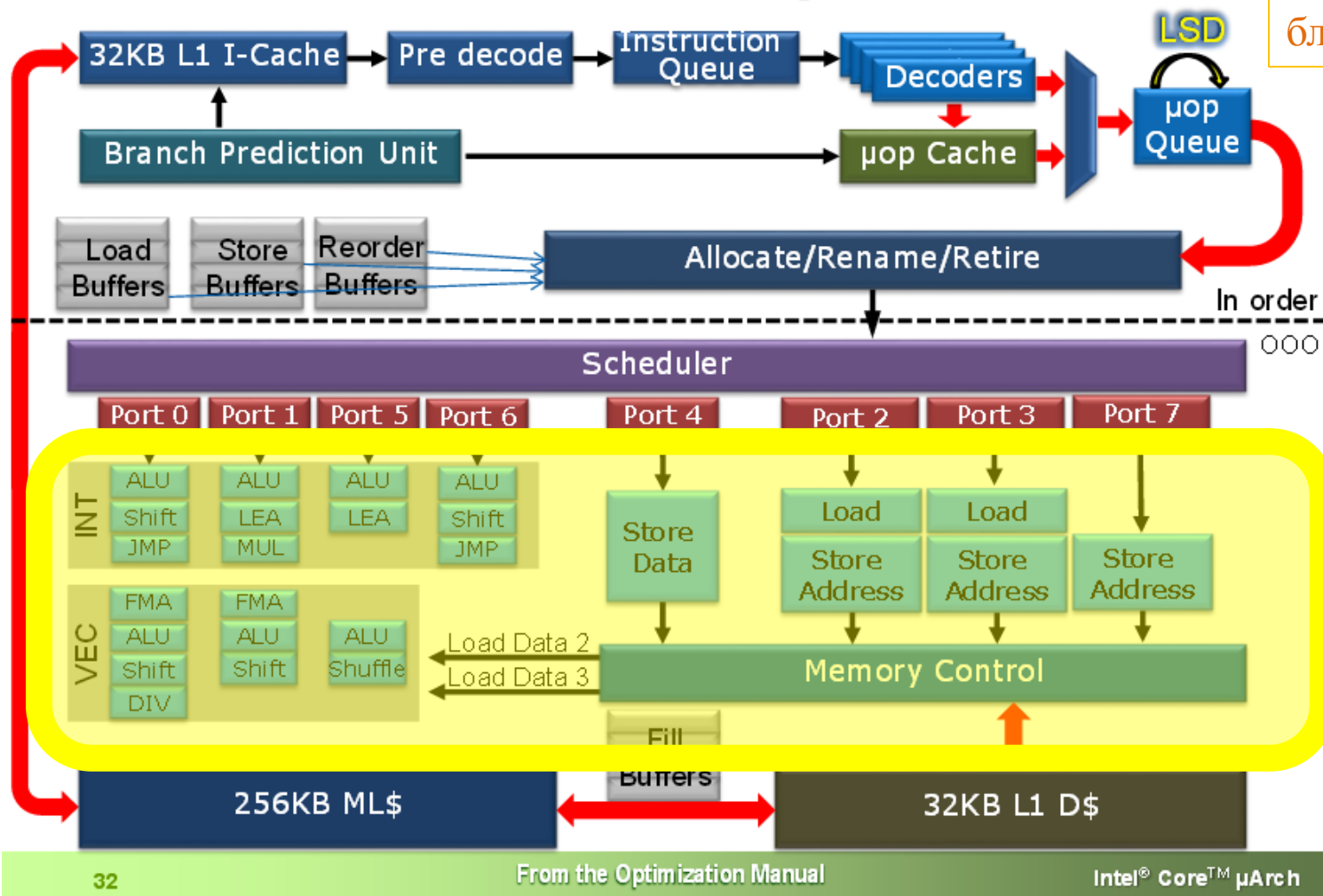
$$f = 3,9 \text{ ГГц} = 3,9 \times 10^9 \frac{\text{тактов}}{\text{сек}}$$

$$N = 4$$

микроархитектура – Intel Haswell

Рассмотрим микроархитектуру процессора Intel Haswell

Haswell Core μ Arch



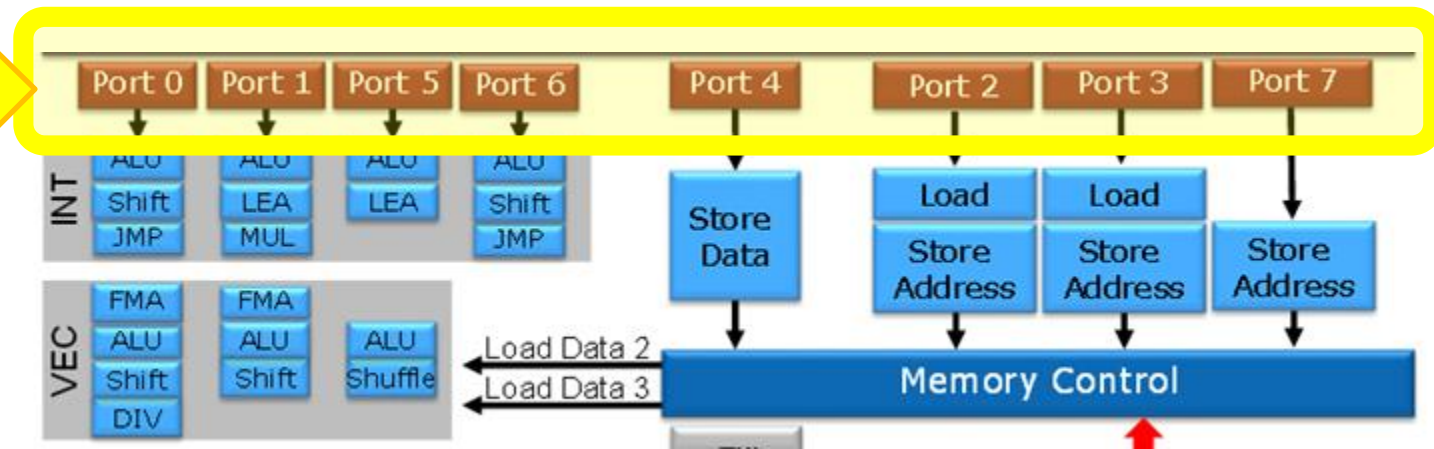
Желтым отмечены
исполнительные
блоки процессора

Рейтинг MIPS

Дополнительно для расчета требуется посчитать :

- p - число одновременно работающих исполнительных устройств, исполняющих инструкции, которое совпадает с числом портов от диспетчера микроопераций
- IPC - число инструкций, исполняемых каждым устройством за такт

для одного ядра микроархитектуры Intel Haswell: $p = 8$ $IPC=1$



$$\text{Суммарно для 1 ядра} = \sum_{i=1}^k IPC_i = 8 \text{ инстр/такт}$$

Рейтинг MIPS

Подставим все полученные данные в расчетную формулу.

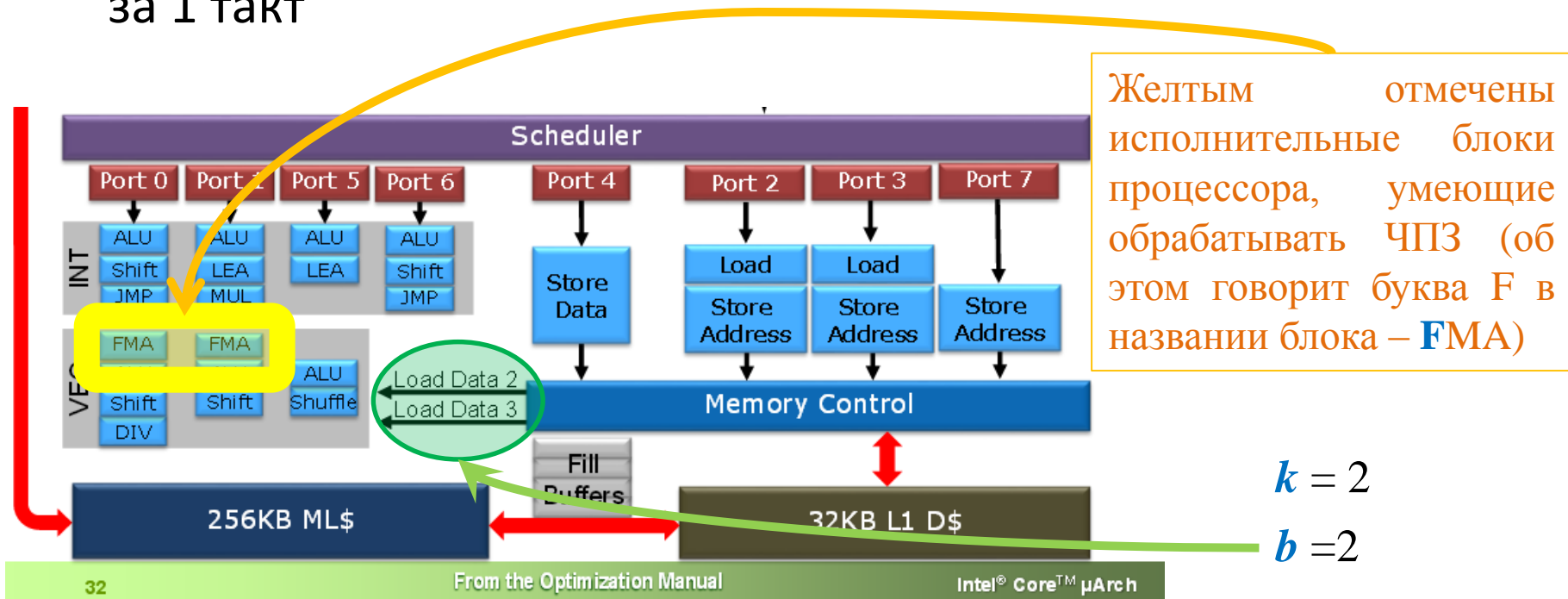
$$V_{\text{peak}} \left[\frac{\text{инстр}}{\text{сек}} \right] = f \cdot \sum_{i=1}^k IPC_i \cdot N = 3,9 \times 10^9 \frac{\text{такты}}{\text{сек}} \cdot \sum_{i=1}^8 1 \frac{\text{инстр}}{\text{такт}} \cdot 4 =$$

$$= 124,8 \times 10^9 \frac{\text{инстр}}{\text{сек}} = 124,8 \times 10^9 \frac{\text{инстр}}{\text{сек}} = 124,8 \times 10^3 \frac{\text{млн.инстр}}{\text{сек}} = \mathbf{124800 \text{ MIPS}}$$

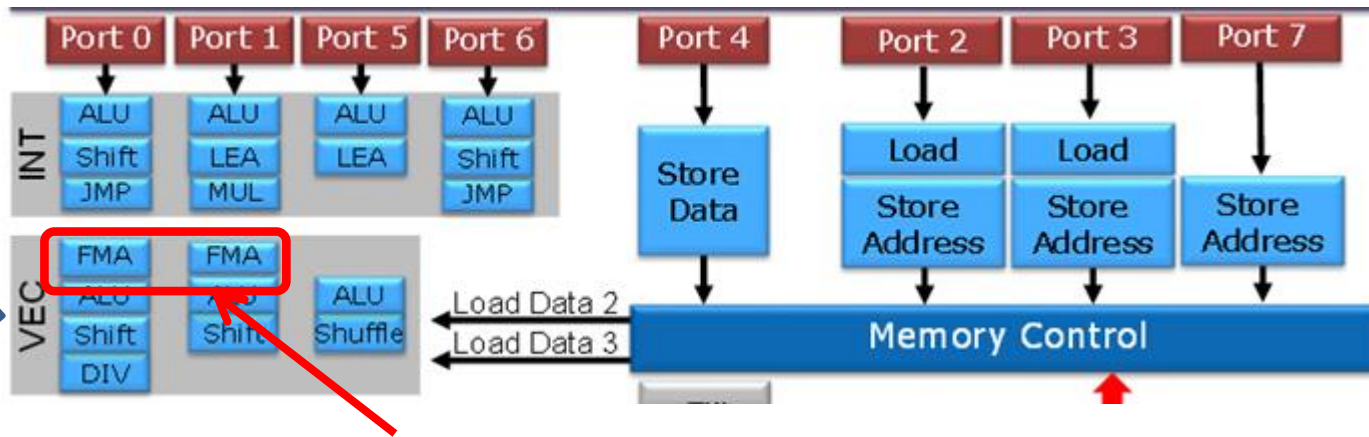
Рейтинг FLOPS

Для расчета требуется посчитать :

1. k - число устройств для обработки ЧПЗ
2. Обратить внимание на b - количество шин, поставляющих информацию этим устройствам
3. OPC - число операций, выполняемых каждым устройством за 1 такт



Как посчитать k - число операций, исполняемых каждым устройством за 1 такт?



Тип операции **FMA** – fused multiply-addition – склеенные 2 операции сложения и умножения в 1 моп за такт. Оба устройства относятся к классу **векторных**, т.е. за 1 такт обрабатывается несколько пар данных (элементов вектора). Чтобы понять сколько именно пар, нужно рассмотреть внимательно описание микроархитектуры CPU и блока FMA (например, здесь <https://ru.wikipedia.org/wiki/FMA> или <https://compress.ru/article.aspx?id=23845>).

Как посчитать k - число операций, исполняемых каждым устройством за 1 такт?

Размер вектора для FMA3 = 256 бит

IEEE 754-2008 http://ali.ayad.free.fr/IEEE_2008.pdf

Тип данных	Размер (байт)	Точность	Разрядность (бит)			
			s знак	p порядок	m мантисса	всего
binary32 (float)	4	Одинарная (SP)	1	8	23	32
binary64 (double)	8	Двойная (DP)	1	11	52	64
binary128 (long double)	16	учетверённая	1	15	112	128

Один вектор содержит $\frac{256}{64} = 4$ элемента данных двойной точности (DP=64 разряда) или $\frac{256}{32} = 8$ элементов данных одинарной точности (SP=32 разряда). 1 векторная операция=4 (8) скалярным операциям за такт. Для FMA **2** векторные операции за такт.

$$\sum_{i=1}^{\min(k,b)} OPC_i = \begin{cases} 2 \times \frac{256}{32} \times 2 = 2 \times 8 \times 2 = 32 \text{ SP FLOP/такт} \\ 2 \times \frac{256}{64} \times 2 = 2 \times 4 \times 2 = 16 \text{ DP FLOP/такт} \end{cases}$$

2 блока FMA

Рейтинг FLOPS для Intel HASWELL

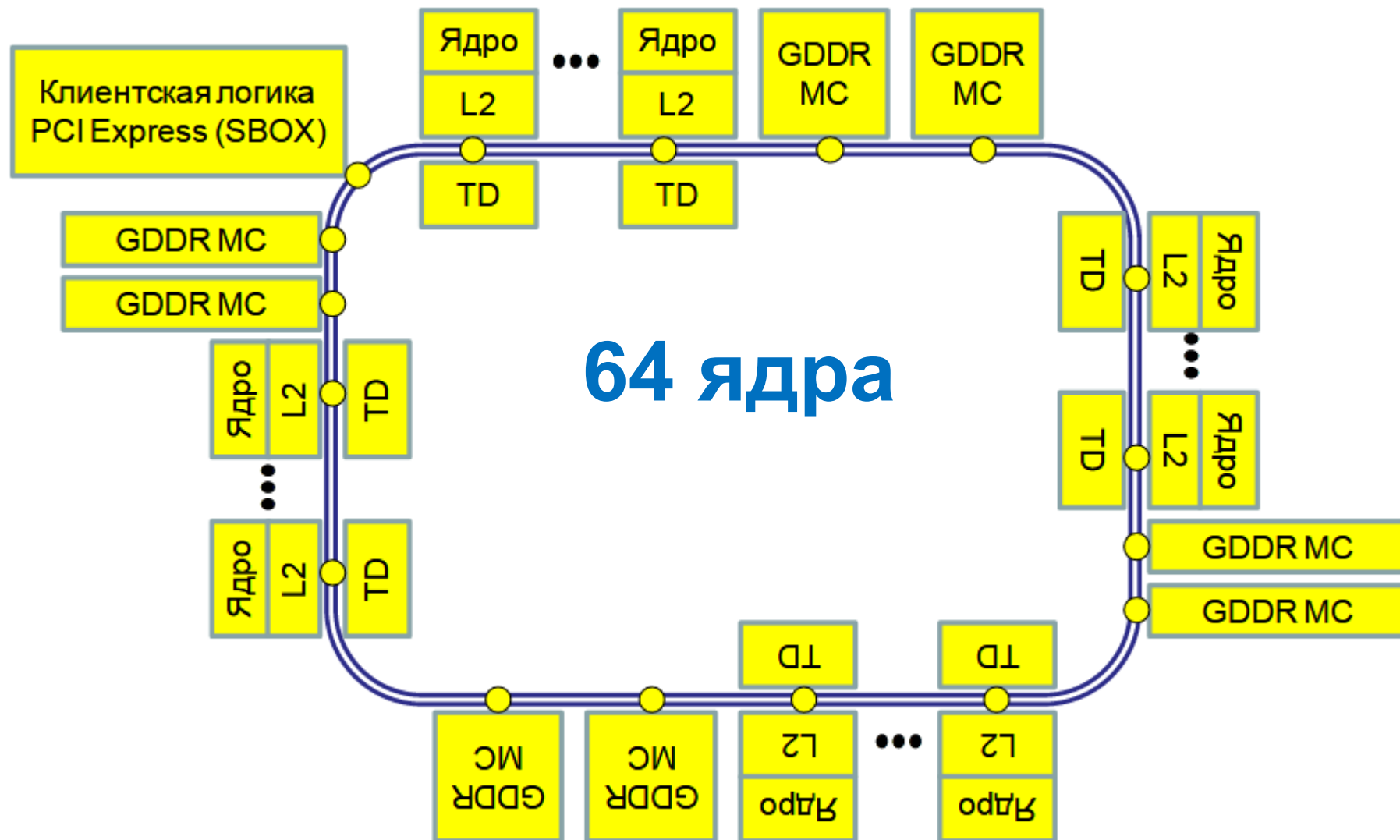
$$V_{\text{peak}} \left[\frac{\text{инстр}}{\text{сек}} \right] = f \cdot \sum_{i=1}^k OPC_i \cdot N$$

$$V_{\text{peak}}[SP\ FLOPS] = 3,9 \times 10^9 \frac{\text{такты}}{\text{сек}} \cdot 32 \frac{\text{SP FLOP}}{\text{такт}} \cdot 4 =$$

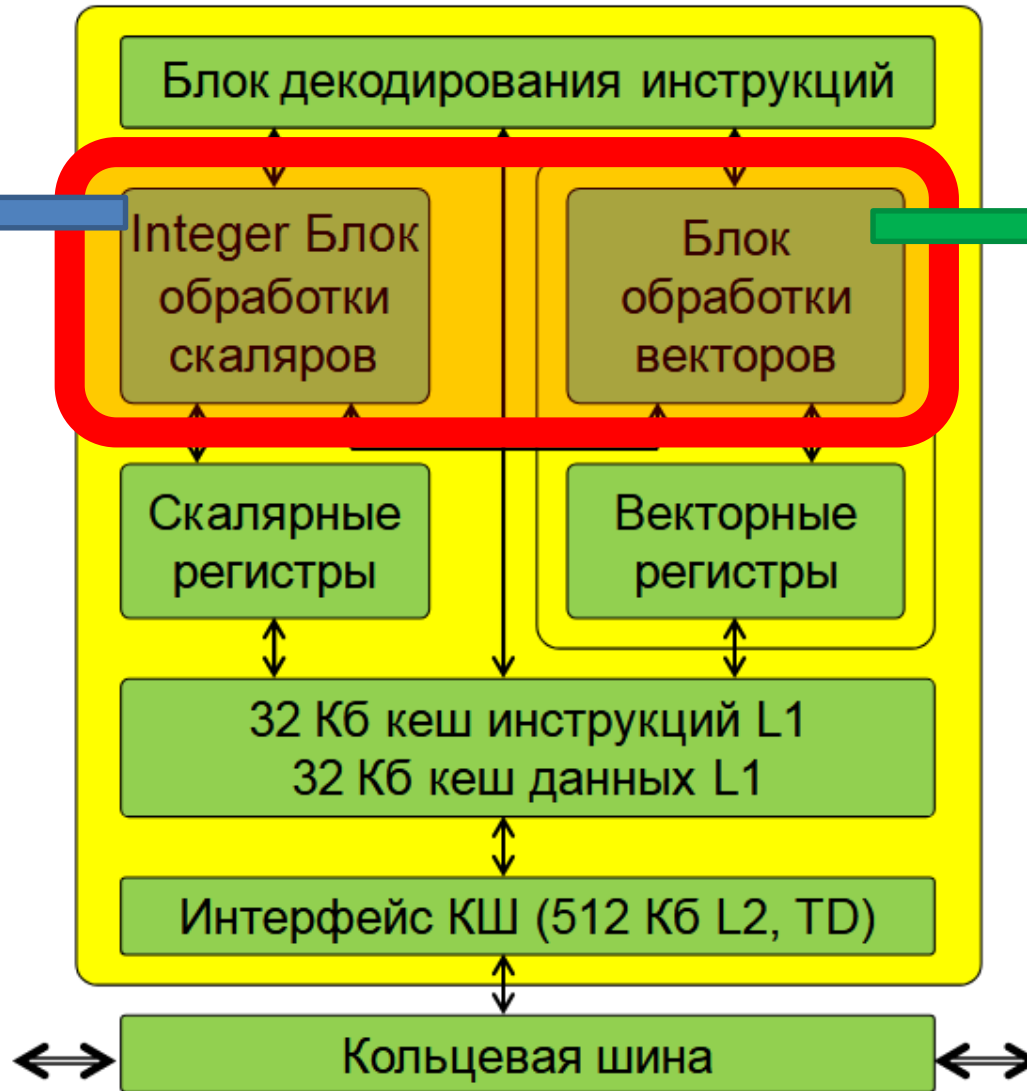
$$= 499,2 \times 10^9 \frac{\text{SP FLOP}}{\text{сек}} = \mathbf{499,2\ GFLOPS(SP)}$$

$$V_{\text{peak}}[DP\ FLOPS] = 3,9 \times 10^9 \cdot 16 \cdot 4 = \mathbf{249,6\ GFLOPS(DP)}$$

Микроархитектура Intel xeon phi



Основные компоненты ядра Intel Xeon Phi



для MIPS

$$IPC = 2$$

для FLOPS

$$k = 1 \text{ (FMA)}$$

$$OPC = 2 \times \frac{512}{64} = 16$$

$$\sum_{i=1}^k OPC_i = 16 \text{ (DP)}$$

или
32 (SP)

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ INTEL xeon phi

$$f_{\text{МАКС}} = 1.50 \text{ GHz}$$

$$N = 64$$

в MIPS

$$V_{\text{peak}} \left[\frac{\text{инстр}}{\text{сек}} \right] = f \cdot \sum_{i=1}^k IPC_i \cdot N = 1,5 \times 10^9 \cdot \sum_{i=1}^2 1 \cdot 64 = 192000 \text{ MIPS}$$

во FLOPS

$$V_{\text{peak}} \left[\frac{\text{инстр}}{\text{сек}} \right] = f \cdot \sum_{i=1}^k OPC_i \cdot N = 1,5 \times 10^9 \times 16 \times 64 = 1,536 \text{ TFLOPS}$$

$$= 1,536 \text{ TFLOPS (DP)}$$

$$= 3,072 \text{ TFLOPS (SP)}$$

РЕАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВС

Это скорость работы ВС по выполнению собственных инструкций/операций с учётом:

- времени обращения к оперативной памяти за операндами,
- времени выполнения операций ввода/вывода,
- ошибок/исключений в ходе выполнения реальной программы.

ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО ОПЫТНЫМ ПУТЁМ

ТЕСТ 1

$$R_{real}^{MIPS} = \frac{n_{\text{инструкций}}}{t_{\text{выполнения}}}$$

ТЕСТ 2

$$R_{real}^{FLOPS} = \frac{n_{\text{операций ЧПЗ}}}{t_{\text{выполн}}}$$

ПРИМЕРЫ:

- Встроенный тест в ОС - WinSAT
- Спец. ПО - AIDA64, Everest
- Программы - Linpack

РЕАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВС

Чаще всего используется тест Linpack и оценивается максимальная достигнутая производительность

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband IBM	2,397,824	143,500.0	200,794.9	9,783
2	DOE/NNSA/LLNL United States	Sierra - IBM Power System S922LC, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband IBM / NVIDIA / Mellanox	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438
3	National Supercomputing Center in Wuxi China	Sunway TaihuLight - Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway NRCP	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371
4	National Super Computer Center in Guangzhou China	Tianhe-2A - TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000 NUDT	4,981,760	61,444.5	100,678.7	18,482

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВС (*по производительности*)

Отношение максимальной реально измеренной производительности ВС к её теоретически рассчитанной пиковой производительности

$$E = \frac{R_{max}}{R_{peak}}$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВС (по производительности)

Ran k	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Эффективность (%)	Power (kW)
1	Summit United States	2,397,824	143,500.0	200,794.9	71,47	9,783
2	Sierra United States	1,572,480	94,640.0	125,712.0	75,28	7,438
3	Sunway TaihuLight - China	10,649,600	93,014.6	125,435.9	74,15	15,371
4	Tianhe-2A China	4,981,760	61,444.5	100,678.7	61,03	18,482

$$E = R_{max}/R_{peak} \approx 60 \div 90\%$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВС (*по производительности*)

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)	Эффективнос ть Rmax/ Rpeak
1	Sunway, China	10,649,600	93,014.6	125,435.9	15,371	74 %
2	Tianhe-2, China	3,120,000	33,862.7	54,902.4	17,808	62 %
3	Titan – Cray, United States	560,640	17,590.0	27,112.5	8,209	64 %
4	Sequoia, United States	1,572,864	17,173.2	20,132.7	7,890	85 %
5	K computer, Japan	705,024	10,510.0	11,280.4	12,660	89 %

$$E = R_{max}/R_{peak} \approx 60 \div 90\%$$

ТРЕБУЕМАЯ МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

$$V_{\text{real}} = X \text{ FLOPS}$$



$$V_{\text{peak}} = \frac{X}{E (\approx 0,7)} \text{ FLOPS}$$



k — количество исполнительных блоков



Микроархитектура и число процессоров

Задание 1. Производительность ВС

- 1) Определить единицы измерения пиковой производительности ВС.
- 2) Рассмотреть конкретный пример ВС (можно top500.org или для своего домашнего ПК), построить схему архитектуры ВС
- 3) Измерить R_{\max} – взять с сайта или скачать и запустить тест (**обычно Linpack может считать долго!!! наберитесь терпения**)
- 4) Вывести формулу расчёта пиковой производительности выбранной ВС
- 5) Рассчитать R_{peak} , E

$$E = \frac{R_{\max} - \text{Maximal (LINPACK) performance achieved}}{R_{\text{peak}} - \text{Theoretical peak performance}}$$

Источники:

1. Сайт ferra.ru. Логинов Вячеслав, Haswell: заглянем под крышечку, 2013, <http://www.ferra.ru/ru/system/review/Intel-Haswell-inside/#363742>
2. Сайт компании Intel с описанием процессоров <http://ark.intel.com/#@Processors>
3. URL: <http://www.top500.org/>
4. Шнитман В. Современные высокопроизводительные компьютеры: Информационно-аналитические материалы Центра информационных технологий, URL: <http://citforum.ru/hardware/svk/contents.shtml>
5. Тесты производительности процессора. URL: <http://www.parallel.ru/computers/benchmarks/perf.html>
6. NAS Parallel Benchmarks. URL: <http://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html>
7. Сайт CSA (Computational Science Alliance)/раздел Сравнительная производительность. URL: <http://www.csa.ru/CSA/performance1.shtml>
8. Черняк Л. Флопсы и лошадиные силы // Открытые системы. 2011. № 07. URL: <http://www.osp.ru/os/2011/07/13010474/>
9. Сайт корпорации SPEC. URL: <http://www.spec.org/>
10. Bailey D. H. Twelve Ways to Fool the Masses When Giving Performance Results on Parallel Computers, Ref: Supercomputing Review. Aug. 1991. P. 54—55. URL: <http://www.pdc.kth.se/training/twelve-ways.html>. Пер. на русск.: Двенадцать способов обмана, представляя производительность параллельных компьютеров. URL: <http://favorit-studio.com/novostu-vusokix-technologiy/desyatsposobov-obmana-na-rezultatax-izmereniya-proizvoditelnosti-gpu.html>
11. Иванова Е. М. Сравнительная оценка производительности вычислительных систем // Информационные технологии. 2013. № 8. С. 22-26.
12. Алгоритмы*, Блог компании Intel, Программирование* Как и зачем мерить FLOPSы <http://habrahabr.ru/company/intel/blog/144388/>