

Производительность современных процессоров на базе RISC-V

Александр Лазарев, Ведущий инженер YADRO



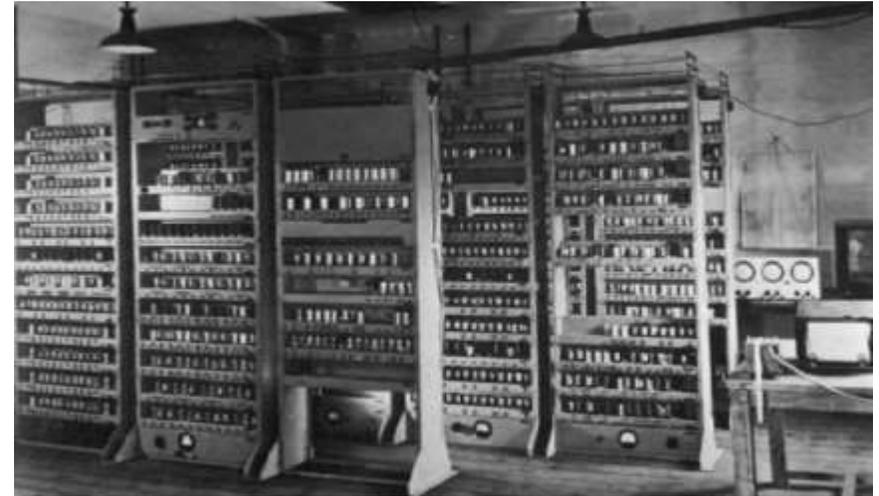
История Вычислительной техники

Harvard Mark I (практически полностью механическая, 1944) – **ENIAC** (1946) – **EDVAC** (1951): большие машины, занимающие целую комнату или даже здание

- Низкая скорость работы, низкая надёжность, асинхронная работа, отсутствие совместимости

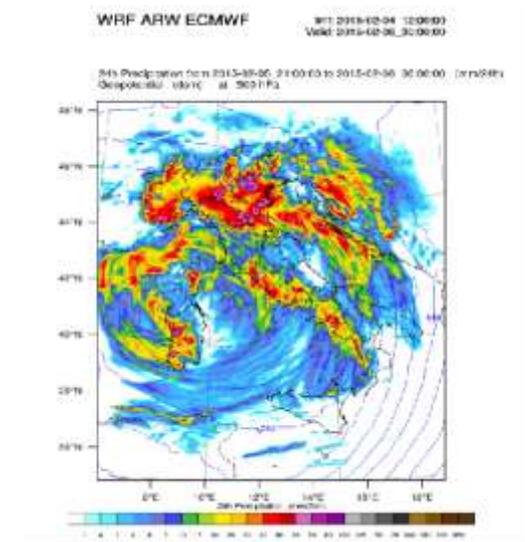
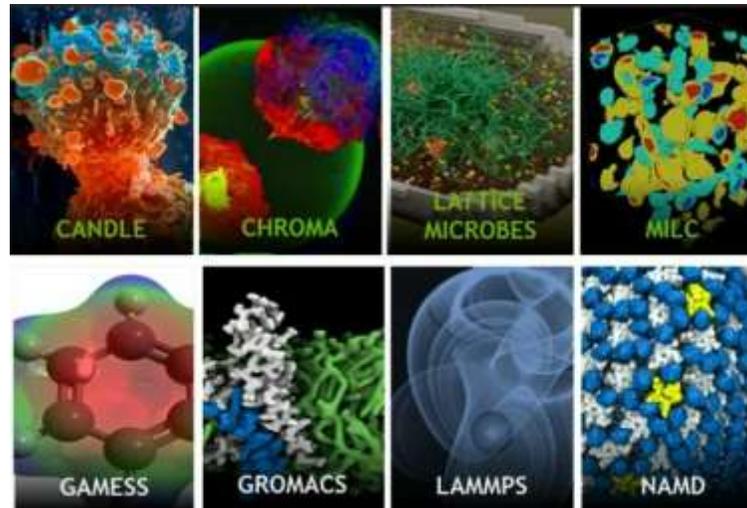
IBM 360 (1964): Машина с регистрами общего назначения (GPRs)

- Структура процессора – 16 регистров общего назначения из 32 разрядов
- 4 регистра с плавающей точкой из 64 разрядов
- Форматы данных: – 8-битные байты – 16-битные полуслова – 32-битные слова – 64-битные двойные слова



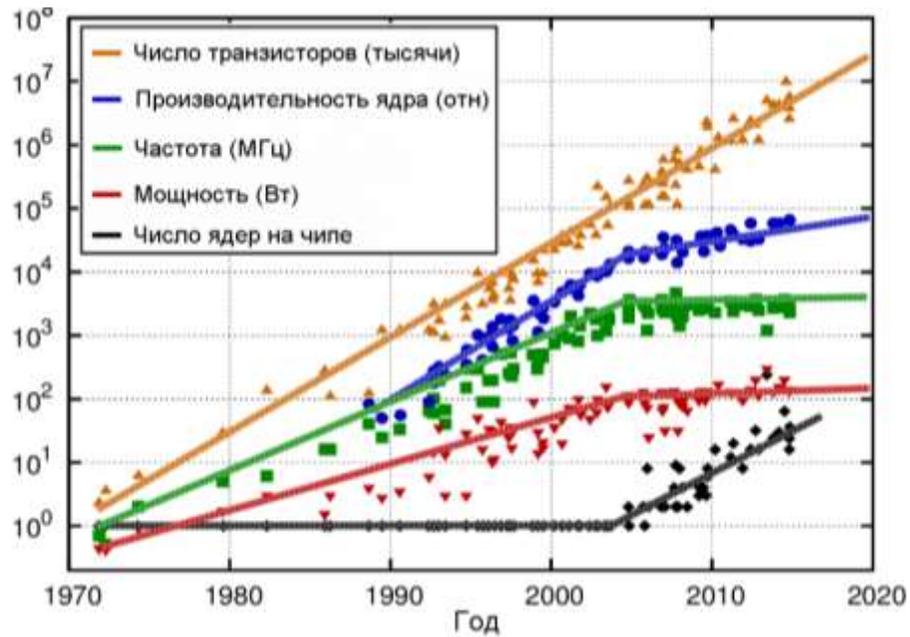
Суперкомпьютеры

- Научные исследования в области климата
- Аналитика трендов в финансовом секторе
- Исследования в области разработка полезных ископаемых
- Молекулярная динамика, фармакология
- Исследования аэродинамики, crash-тесты

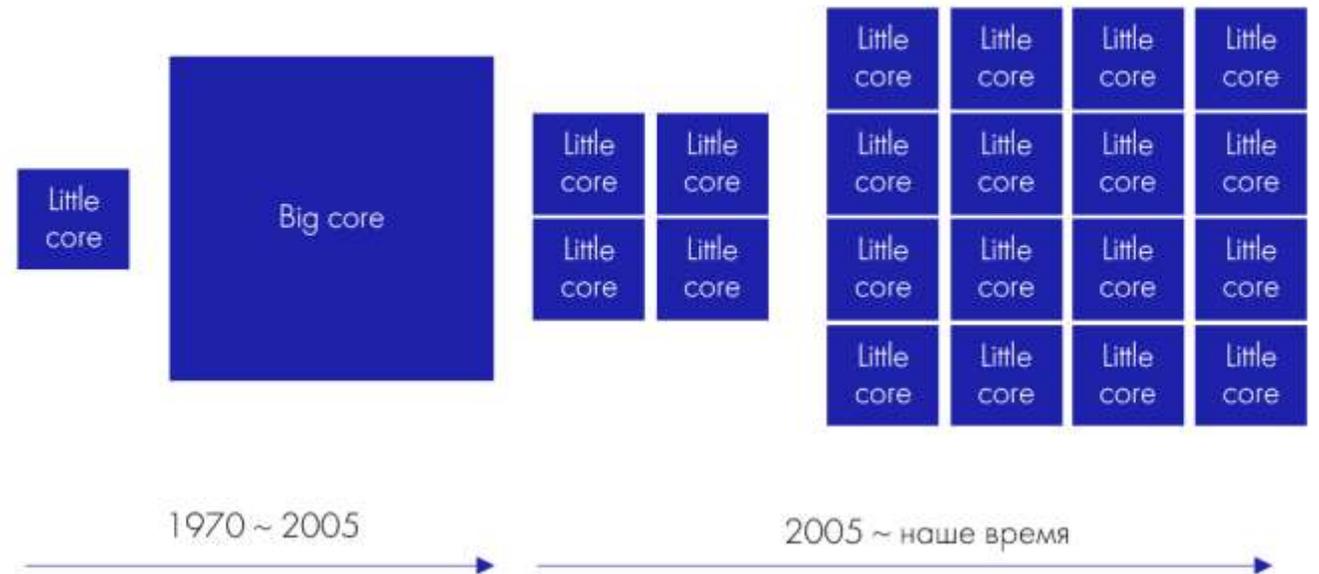


Современные тренды

Закон Мура



Закон Мура и многоядерность



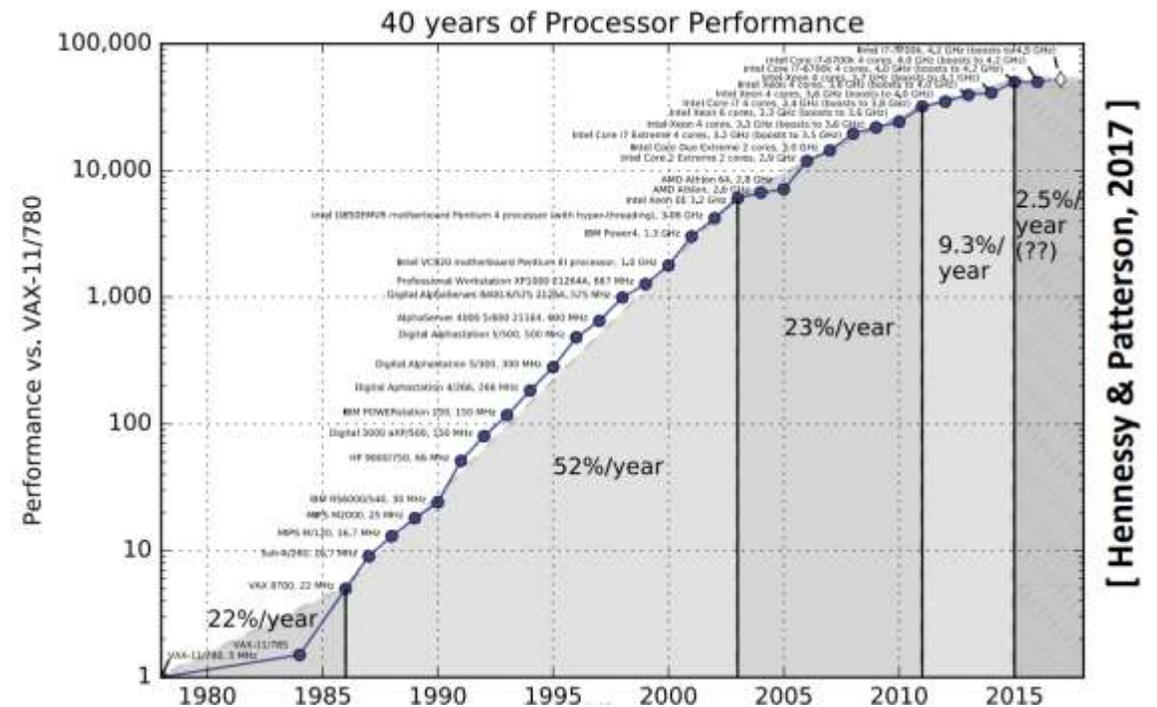
1. <https://www.quora.com/What-computer-technology-invention-made-computers-smaller-faster-and-inexpensive>



Производительность

$$\frac{\textit{Time}}{\textit{Program}} = \frac{\textit{Instructions}}{\textit{Program}} \times \frac{\textit{Cycles}}{\textit{Instructions}} \times \frac{\textit{Time}}{\textit{Cycles}}$$

- Количество инструкций, из которых состоит программа (зависит от программы, компилятора, и архитектуры набора команд ISA)
- Количество тактов процессорного времени, необходимых на выполнение одной инструкции CPI (зависит от ISA и микроархитектуры)
- Тактовой частоты процессора (микроархитектура и технология изготовления)



Оценка производительности по Linpack



- Top500 – Мировой рейтинг производительности суперкомпьютеров
 - #1 – Frontier, 8.7 млн ядер способны вычислять 1.194 Eflop/s – комбинация центральных и графических процессоров выдаёт ~138 Гигафлопс на ядро (+/- столько же у #3 LUMI и #4 Leonardo), #2 Fugaku на центральных процессорах выдаёт только лишь 60 Гигафлопс на ядро
 - #1 – Frontier также является самым энергоэффективным суперкомпьютером мира по версии Green500, выдавая 52,60 гигафлопс на Ватт*. #3 Lumі также выдает больше 50ти Гигафлопс на ватт, а вот #2 Fugaku способен выдать лишь 15 Гигафлопс на Ватт.
 - #1 – Frontier также является самой быстрой системой искусственного интеллекта на планете, обеспечивая производительность 6,88 ExaFlops в смешанной точности в бенчмарке HPL-AI (bfloat, float16), используя «тензорные ядра»**
 - Разница в производительности и энергоэффективности суперкомпьютеров на базе центральных процессоров и комбинации центральных и графических уже достигает порядка (сравнивая #1 Frontier 130 Гигафлопс на ядро и 52.60 Гигафлопс на Ватт против 12.24 Гигафлопс на ядро и 3.30 Гигафлопс на Ватт у #10 Thianne-2A
 - Самым большим суперкомпьютером мира по прежнему является #7 Sunway с 10.6 млн ядер
- Top50 – рейтинг производительности суперкомпьютеров России
 - #1 – «Червоненкис», 1.6 млн ядер способны вычислять 21.5 Pflop/s – используются в основном графические процессоры
 - Уровень потребления энергии лучшего суперкомпьютера – 1 Мегаватт
- Выводы
 - Энергоэффективность является важным фактором для выбора дизайна суперкомпьютера
 - В российском сегменте Top50 нет оценки производительности суперкомпьютеров по HPL-AI
 - Пока нет ни одного суперкомпьютера на базе RISC-V, но выделяется тренд на новые архитектурные решения. Ранее доминировали - Intel в части центральных процессоров и Nvidia в сегменте графических процессоров, сейчас уже есть много решений от AMD





Оценка производительности по наборам Spec

- SpecCPU2006 int/fp
 - Упор на C, простота симулирования, идеален для оценки стартовых позиций при разработке микропроцессора
 - ¾ бенчмарков написаны на Си, что даёт возможность простейшего симулирования отдельных частей
 - Возможность оценить целочисленные вычисления отдельно от вычислений с плавающей точкой
 - Простота использования с GNU
 - Рейтинги не обновляются с 2018го, в последнее время первенствовал Intel с производительностью 10+ Rate to GHz. (среднее геометрическое по всем бенчмаркам в наборе нормированное по частоте процессора). Westmere – 7-8, Itanium – 9+, Sandy Bridge – 10+, Power9 – 9, Power7 – 9, Sparc и Opteron – 6 (усреднённые данные для SPECint_rate/GHz полученные в SPEED режиме)
 - Данный набор бенчмарков используется для оценки производительности процессоров для мобильных устройств. Производители процессоров на базе RISC-V использовали 7ку в качестве желаемого уровня производительности (упоминается в анонсах XT910 и XiangShang)
- SpecCPU2017
 - Упор на многопоточность и вычисления с плавающей точкой, хорошо подходит для тестирования функционала СнК (Система на Кристалле)
- SpecOMP, SpecMPI, SpecHPC
 - Разновидности наборов бенчмарков для оценки производительности суперкомпьютеров по критериям Spec
 - SpecOMP – оценка производительности работы с общей памятью
 - SpecMPI – оценка производительности работы с распределённой памятью
 - SpecHPC – набор бенчмарков для оценки HPC производительности, т.е. среднее геометрическое по результатам наиболее распространённых в мире высокопроизводительных систем (HPC) бенчмарков.



Как улучшить производительность?

Провести анализ пользовательских приложений

Построить модели производительности (транзакционные, микроархитектурные)

Разработать предложения по оптимизации аппаратно-программного обеспечения

**Повысить
эффективность
конвейера**

Коллизии конвейера
Кастомизация стадий

**Скорость доступа к
памяти**

Кэширование
Локализация данных
DMA-ускорители

**Параллельные
вычисления**

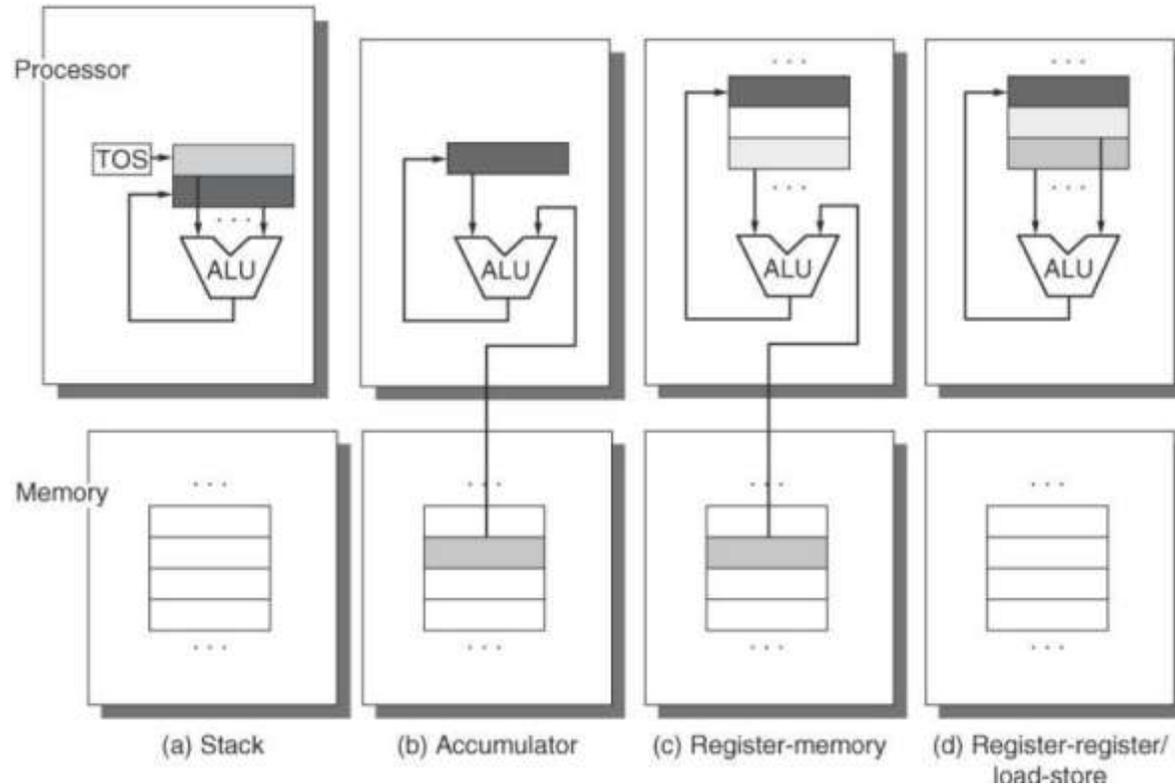
Многоядерность
Суперскалярность



Backup



Архитектура процессора



- **Stack** – стек выступает как источник и назначение, вершина указана явно, push & pop имеют один операнд, без памяти
- **Accumulator** – аккумулятор выступает как источник и назначение, еще один источник указан явно, нет стека и регистрового файла
- **Register-memory** – регистры используются как быстрое, маленькое, временное хранилище. Явный операнды. Операции - load, add, store
- **Register-register/load-store** – все операции между регистрами, load/store отдельные операции

CISC – Register-memory, позволяет добиться хорошей производительности при частых обращениях в память

RISC – load/store концепция позволяет добиться более высокой частоты

RISC-V в HPC

- Экспериментальная фаза
- Только начало, ожидания (momentum)
 - Расширяемая архитектура: возможности для инноваций;
 - ISA, система памяти, ускорители;
 - HPC приложения в облаке, бизнес причины для вендоров;
 - Эффективность и безопасность – критерии наравне с производительностью;
 - Открытая архитектура: “crowd sourcing”;
- Масштабируемость
 - По частоте, по количеству ядер, по количеству узлов;
 - По пропускной способности памяти, по энергоэффективности;
 - По интерконнекту;
 - По расширениям ISA;
- RISC-V Special Interest Group (SIG): High Performance Computing
 - 294 участников, 157 тем, последний пост: 20 сент., открыта: 23.07.19



Experimental university sample: 2 (of 6) HiFive Unmatched boards, SiFive Freedom U740 SoC, 16GB of 64-bit DDR memory, gigabit Ethernet, Infiniband Host Channel Adapter (HCA, 56GB/s, RDMA).
Couldn't run the SW stack

Измерение производительности

- Абсолютная производительность, при ограничении питания, для определённой задачи
- Исторический Linpack (1979 г.р.) малоприменим для многих задач;
- HPC Challenge бенчмарк. Набор бенчмарков – набор результатов;
- Множество бенчмарков в своих областях
 - Суперкомпьютеры: моделирование в различных областях;
 - Сервера: Субд, рантаймы, графика, крипто, видео, и т.д.



Классическая дилемма:

- Задержка <-> Пропускная способность
 - Один (быстрый) ответ <-> Множество ответов



Средства анализа, методологии

- На реальных системах
 - Семплирование (статистический анализ)
 - Инструментация кода
 - Topdown, Bottomup анализ
 - Flamegraph
- На fpga
- На симуляторах
 - Полная информация
 - Трассировка