

Лекция 3

Эволюция архитектуры ЭВМ

Ефимов Александр Владимирович
E-mail: alexandr.v.efimov@sibguti.ru

Курс «Архитектура вычислительных систем»
СибГУТИ, 2020

Понятие архитектуры

Архитектура ЭВМ – совокупность свойств и характеристик ЭВМ, призванных удовлетворить потребности пользователей



Архитектура вычислительного средства – это совокупность его свойств и характеристик



Архитектура вычислительного средства – это концепция взаимосвязи и функционирования его аппаратурных (Hardware) и программных (Software) компонентов

Модель вычислителя

$$c = \langle h, a \rangle$$

h – конструкция вычислителя

a – алгоритм его работы

$$a(p(D))$$

D – исходные данные

p – программа

$$h = \langle U, g \rangle$$

$U = \{u_i\}$ – множество устройств u_i , $i = \overline{1, k}$

g – структура сети связи между устройствами

Конструкция вычислителя

1. Последовательная обработка информации
2. Фиксированность структуры
3. Неоднородность составляющих устройств и связей между ними

Каноническая ЭВМ Дж. фон Неймана соответствует модели вычислителя

Принципы организации ЭВМ

Дж. фон Неймана

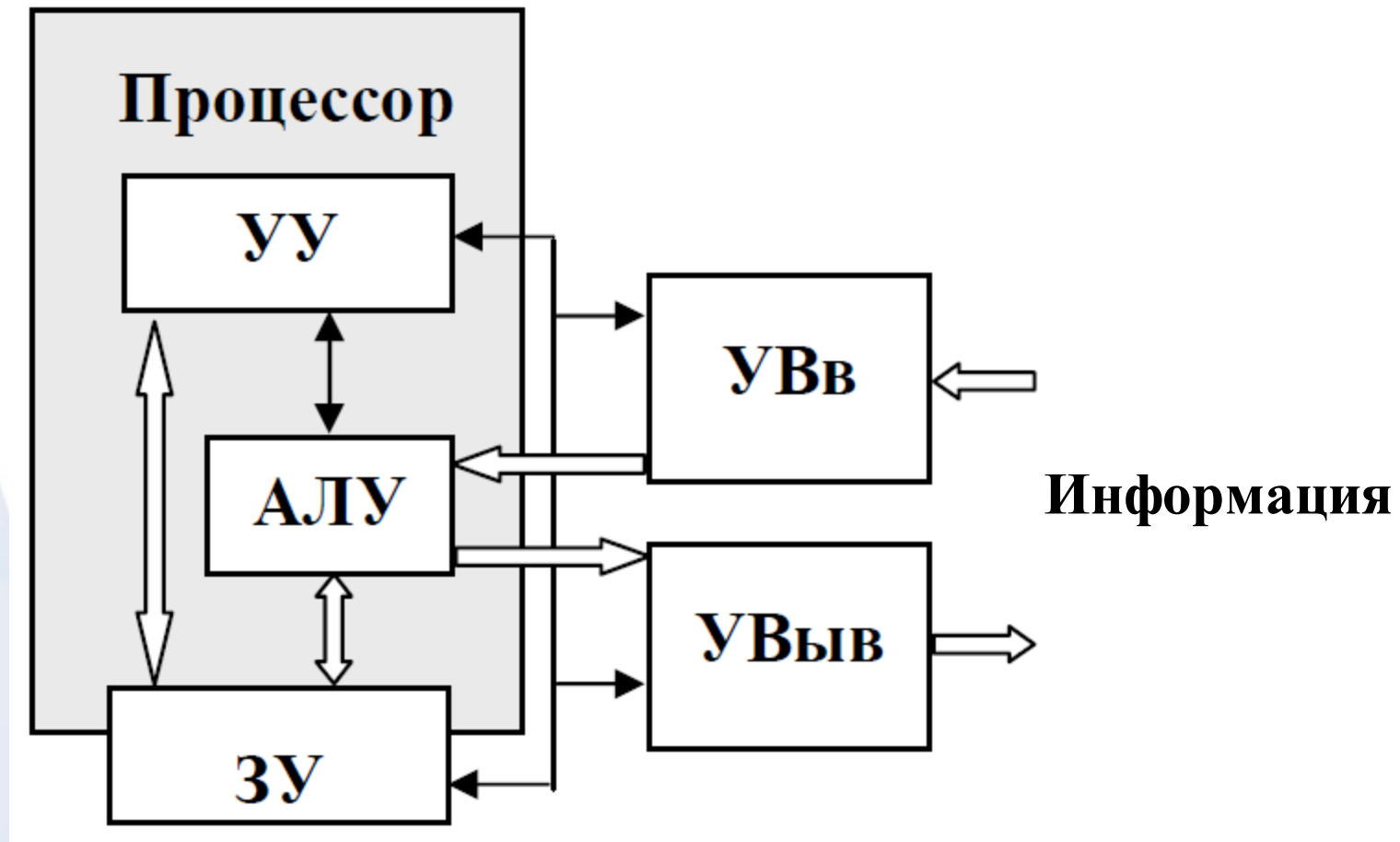


1903 – 1957

- Программное управление работой ЭВМ
- Условный переход
- Принцип хранимой программы
- Использование двоичной системы счисления
- Иерархичность запоминающих устройств

Функциональная структура ЭВМ

Дж. фон Неймана



Поколения ЭВМ

➤ Эффективность

$$E = \{\omega, v, \vartheta, \sigma\},$$

- ω – показатель производительности (в опер./с) или среднее число операций, выполняемых в секунду ЭВМ (процессором при работе с оперативной памятью);
- v – емкость оперативной памяти (в битах);
- ϑ – среднее время безотказной работы ЭВМ (или средняя наработка до отказа, в часах);
- σ – «цена операций», определяемая как отношение цены ЭВМ к ее показателю производительности (измеряется в долларах, отнесенных к опер./с).

➤ Архитектурные свойства ЭВМ

- способы и режимы обработки информации;
- конструктивные особенности (составы устройств и структуры);
- алгоритмы управления вычислительными процессами или алгоритмы функционирования машин;
- возможности программного обеспечения (языки, ОС и т.п.);
- свойства элементной базы, характер проектирования и производства ЭВМ.

1-е поколение (до 1950-х гг.)

- ✓ Операционные системы отсутствовали
- ✓ Механические реле → электронные лампы
- ✓ Коммутационные панели → перфокарты



Разработчики:

Конрад Цузе (Konrad Zuse)
Говард Айкен (Howard Aiken)
Джон фон Нейман (John von Neumann)
Дж. Преспер Эккерт (J. Presper Eckert)
Вильям Мочли (William Mauchley)

Первое поколение ЭВМ (1949 – 1951)

➤ Показатели эффективности

ω = 10 опер./с

ν = 10 бит

ϑ = 1–10 ч

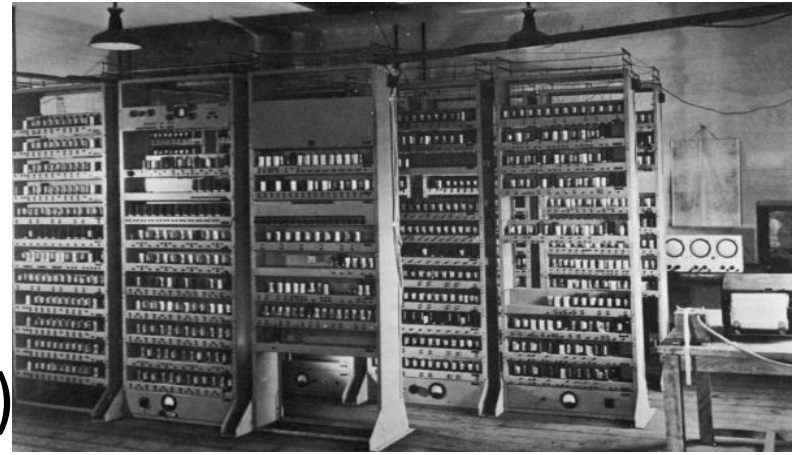
σ = 10 дол./опер. · с⁻¹

➤ Архитектурные свойства

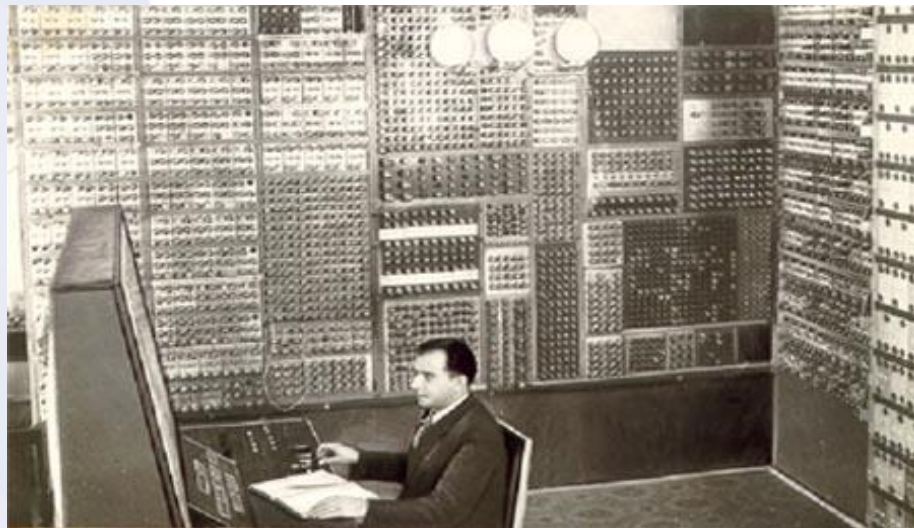
- Последовательная обработка информации в монопрограммном режиме
- Состав вычислительных устройств и структура – канонические
- Алгоритм управления вычислительными процессами – универсальный и последовательный, адаптирован под фиксированную структуру ЭВМ
- Возможности программного обеспечения ЭВМ первого поколения: машинные языки (двоичные коды) для записи алгоритмов обработки информации и стандартные подпрограммы (например, для вычисления элементарных функций)
- Элементную базу составляли электронные лампы.
- Проектирование машин было «ручным», а их производство – индивидуальным.

2-ое поколение (1950 – сер. 1960-х гг.)

- ✓ Системы пакетной обработки
- ✓ Электронные лампы → транзисторы
- ✓ ОС: FMS (Fortran Monitor System)
IBSYS (для IBM 7094)



**Electronic Delay Storage
Automatic Calculator (EDSAC)**



**Малая Электронная Счётная Машина
(МЭСМ)**



**Сергей Алексеевич
Лебедев**



Морис Уилкс

Второе поколение ЭВМ (1955 – 1960)

➤ Показатели эффективности

$$\omega = 10^6 \text{ опер./с}$$

$$\nu = 10^7 \text{ бит}$$

$$\vartheta = 10^2 \text{ ч}$$

$$\sigma = 10 \text{ дол./опер.} \cdot \text{с}^{-1}$$

➤ Архитектурные свойства

- Последовательная обработка информации
- *Мультипрограммирование* - режим обработки данных, при котором ресурсы ЭВМ одновременно используются более чем одной программой
- В процессор введены структурные решения, ускорившие процесс реализации арифметических операций, а также схемы прерывания, обеспечившие работу ЭВМ в реальном масштабе времени
- Возможность подключения каналов связи для обеспечения теледоступа
- Универсальный алгоритм управления вычислительными процессами стал последовательно-параллельным
- Программное обеспечение: диспетчеры, языки для записи алгоритмов обработки информации (АЛГОЛ 60, ФОРТРАН) и соответствующие трансляторы
- Основы элементной и логико-конструктивной баз ЭВМ второго поколения составляли соответственно полупроводниковые приборы и вентили
- Мелкосерийное производство

Система пакетной обработки



Ранняя система пакетной обработки: а — программист приносит карты для IBM 1401; б — IBM 1401 записывает пакет заданий на магнитную ленту; в — оператор приносит входные данные на ленте к IBM 7094; г — IBM 7094 выполняет вычисления; д — оператор переносит ленту с выходными данными на IBM 1401; е — IBM 1401 печатает выходные данные

3-е поколение (1965 – 1980)

- ✓ Транзисторы → интегральные микросхемы
- ✓ Системы разделения времени
- ✓ ОС: OS /360, CTSS, MULTICS



PDP-1



IBM System
/360



БЭСМ-6



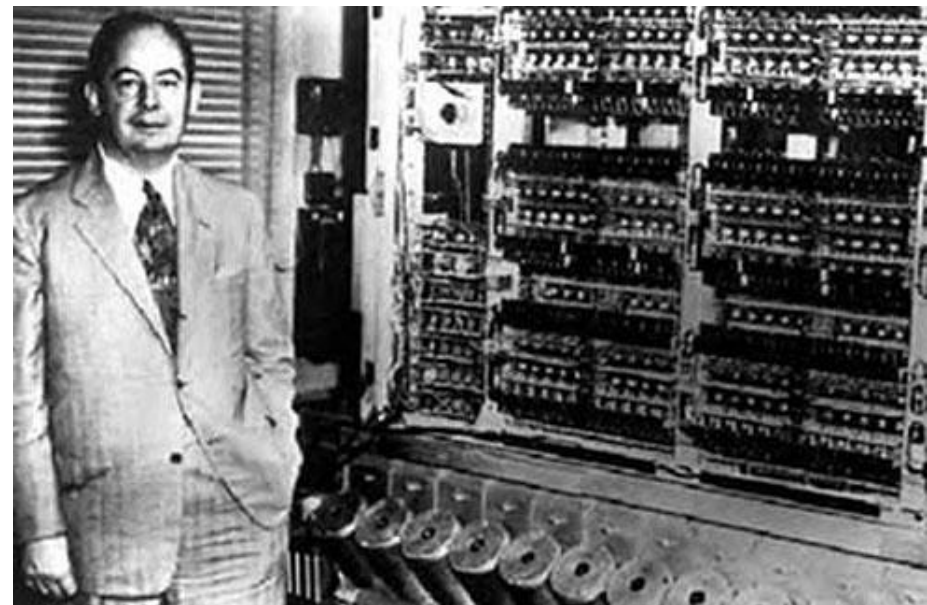
БЭСМ-1

БЭСМ-1 и БЭСМ-2: 1953 – 1958
 М-20: 1957
 М-40 и М-50: 1957 – 1959
 БЭСМ-4: 1962

EDVAC: 1950 – 1952
 MADAM: 1951
 JOHNIAC: 1953



БЭСМ-4



EDVAC

Третье поколение ЭВМ (1963 – 1965)

➤ Показатели эффективности

$$\omega = 10^7 \text{ опер./с}$$

$$\nu = 10^8 \text{ бит}$$

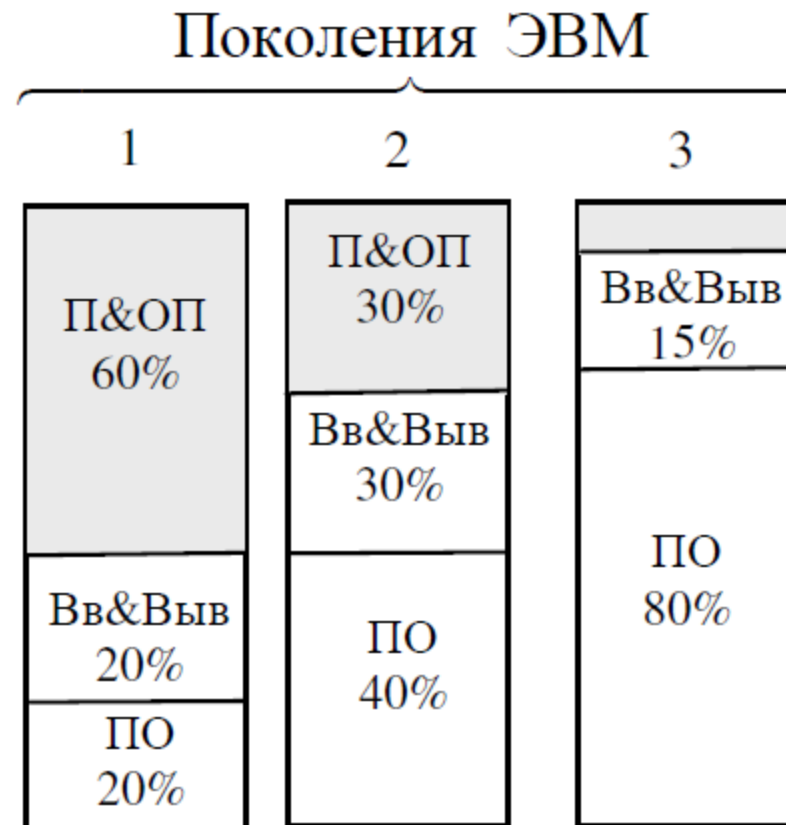
$$\vartheta = 10^3 \text{ ч}$$

$$\sigma = 10^{-1} \text{ дол./опер.} \cdot \text{с}^{-1}$$

➤ Архитектурные свойства

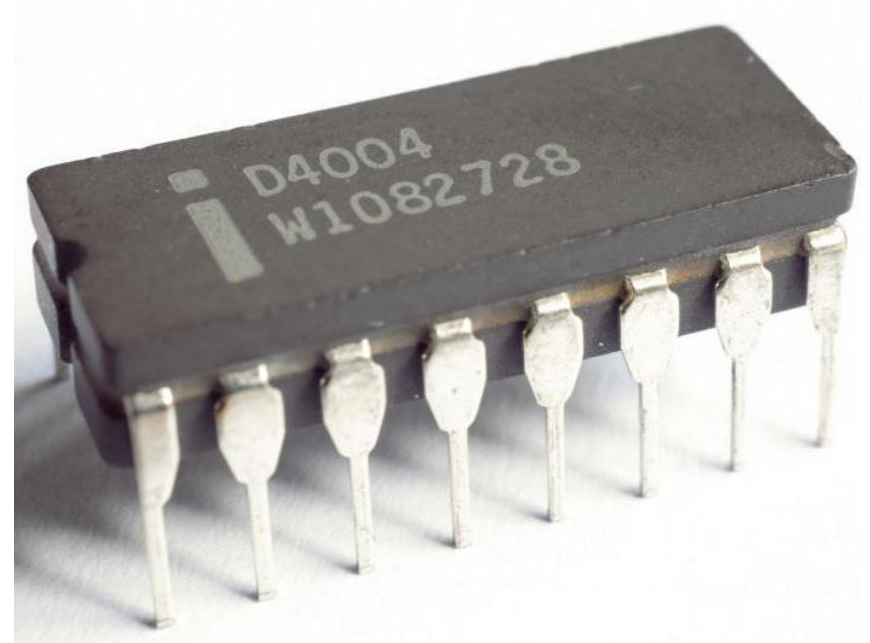
- Последовательная обработка информации
- Мультипрограммные режимы: *пакетная обработка и разделение времени.*
- Состав вычислительных устройств дополнен спецпроцессорами, оптическими устройствами ввода-вывода информации, накопителями (на магнитных лентах и дисках) большой емкости и др.
- Единый ресурс, через который осуществлялись взаимодействия между процессором и остальными устройствами
- Процедурный и структурный способы вычислений
- Последовательно-параллельный алгоритм управления вычислительными процессами
- Операционные системы и системы автоматизации программирования
- Элементная база опиралась на интегральную технологию (комплекты ИС)
- Серийное и автоматизированное производство

Распределение стоимости между компонентами ЭВМ

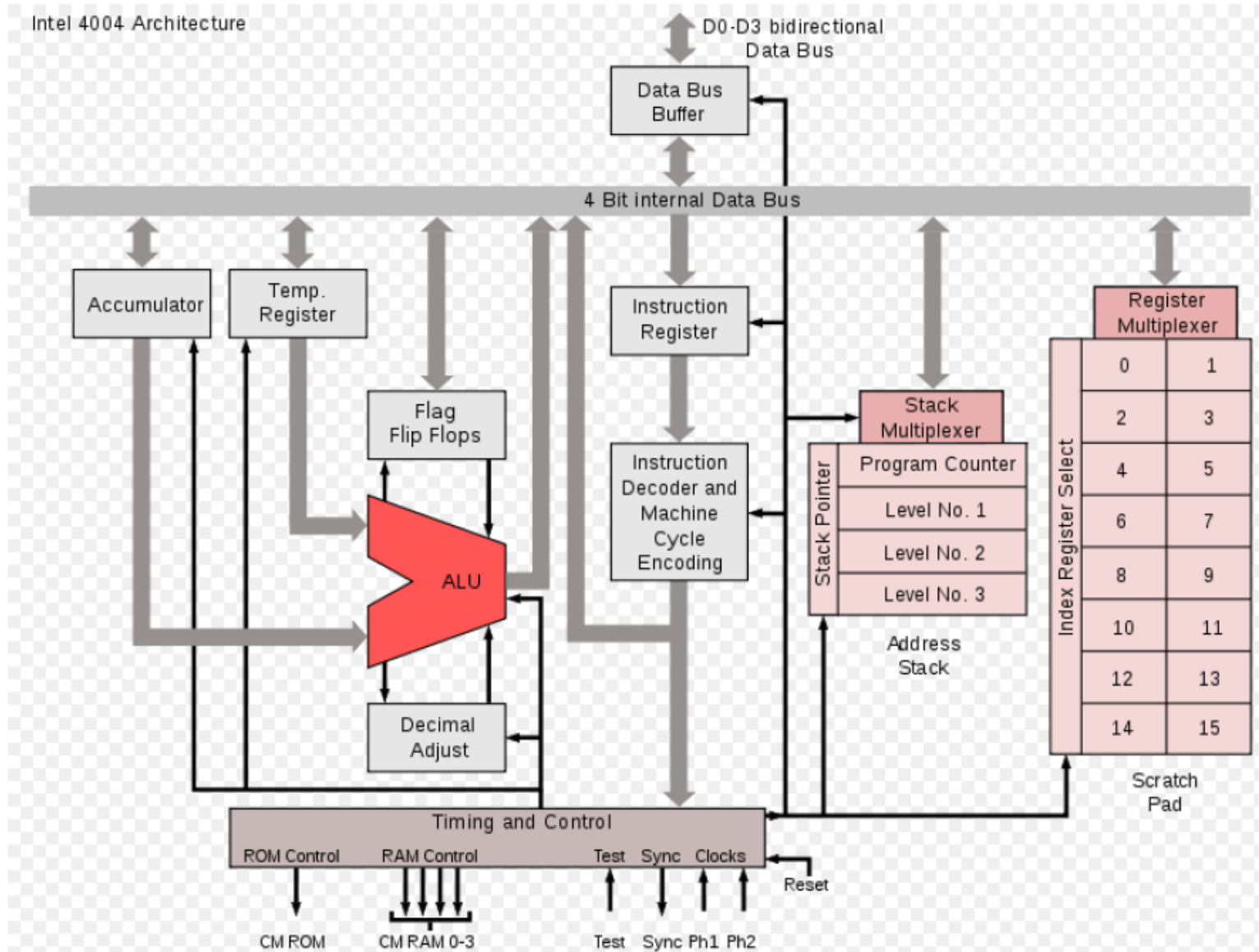


Первый процессор Intel 4004

- Первый в мире процессор общего назначения и интегральном исполнении
- 1971 г.
- 740 кГц
- 0,06 MIPS
- 2250 транзисторов
- 12 мм²
- 10 мкм техпроцесс



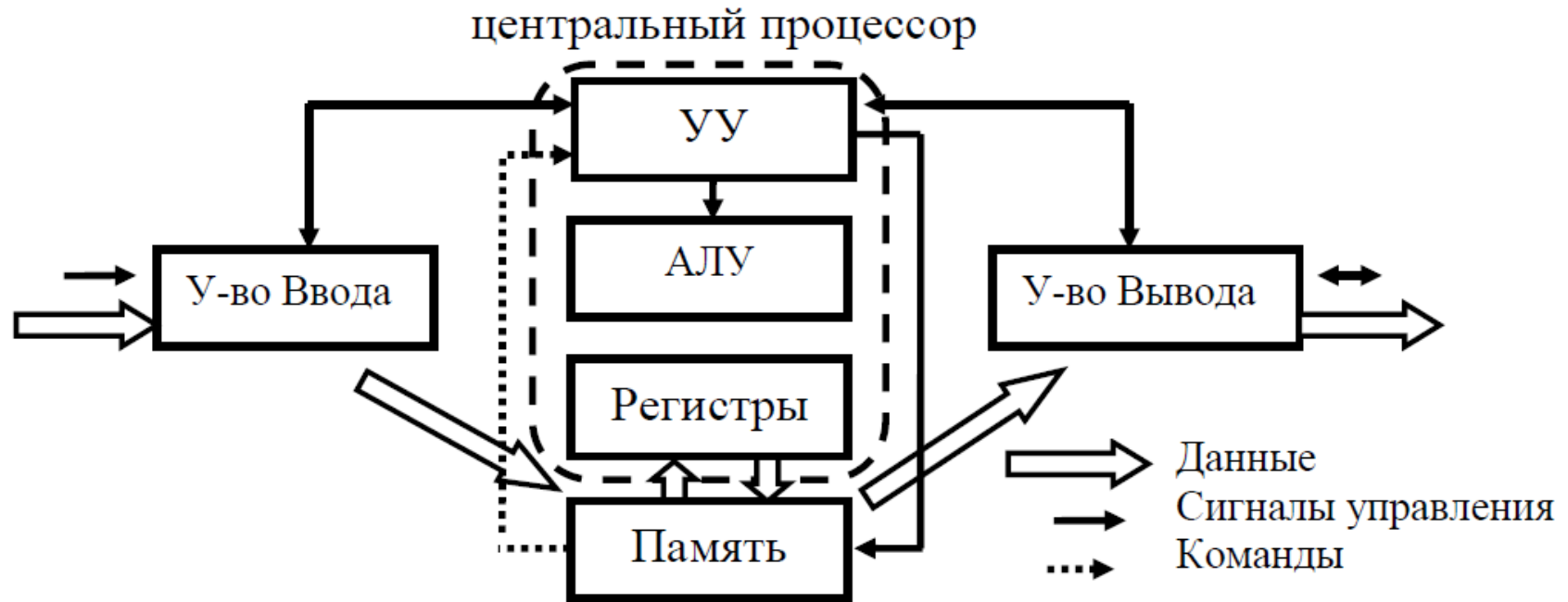
Функциональная структура Intel 4004



Фон Неймановская модель компьютера

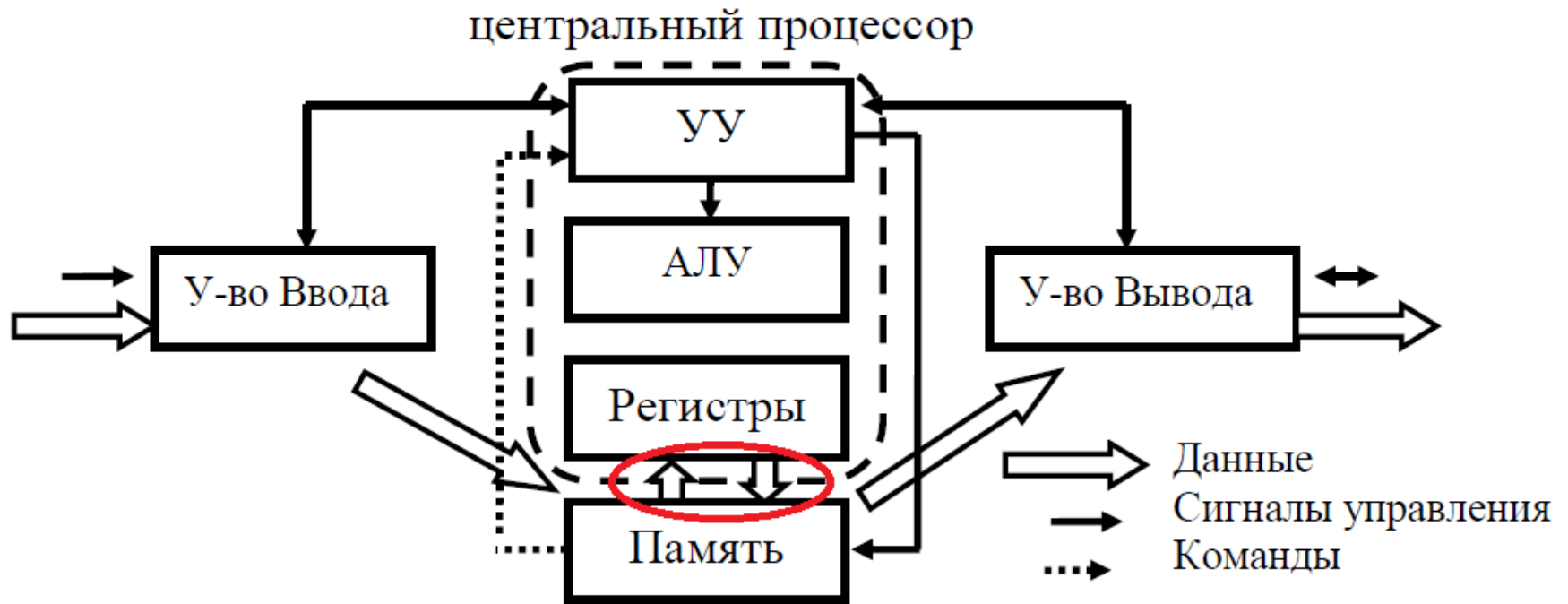
- ❑ Разделение программируемой вычислительной машины на компоненты:
 - Центральный обрабатывающий блок (Central Processing Unit, CPU)
 - блок управления (Control Unit) (декодирование инструкций, порядок операций)
 - тракт данных (Datapath) (регистры, арифметико-логическое устройство, шины)
 - Память: хранение инструкций и их операндов
 - Подсистема ввода/вывода (Input/Output, I/O subsystem): шина I/O, интерфейсы, устройства
- ❑ Концепция хранения программ: инструкции из набора команд выбираются из общей памяти и исполняются последовательно

Обобщённая функциональная структура



Ограничения?

Обобщённая функциональная структура



1. Общая память команд и данных (узкое место).
2. Последовательное исполнение инструкций по одной

Этапы исполнения инструкций в ЦП

- ***Выборка инструкции***

Загрузить инструкцию программы из памяти в УУ.
Программный счетчик указывает на следующую для обработки инструкцию.

- ***Декодирование инструкции***

Определить размер инструкции и требуемые действия (управляющие сигналы)

- ***Выборка операндов***

Найти и получить данные операндов

- ***Исполнение***

Вычислить значение результата или статус

- ***Сохранение результатов***

Принцип программного управления

Программа управляет выполнением самой себя.

Структура команд:

1А ~	КОП	A1		
2А ~	КОП	A1	A2	
3А ~	КОП	A1	A2	A3
БА ~	КОП			
БДС ~	КОП	Адреса	Теги	Дескрипторы

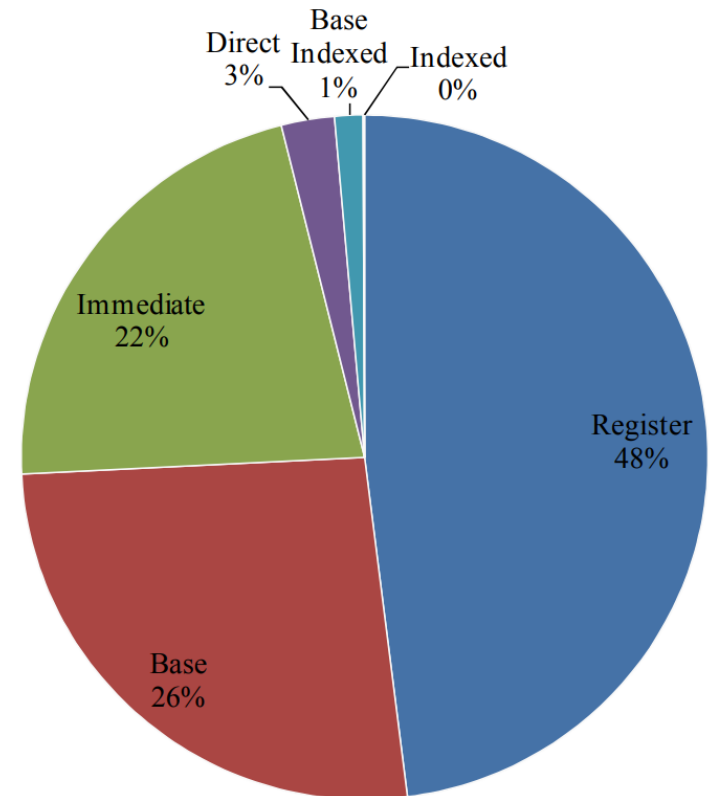
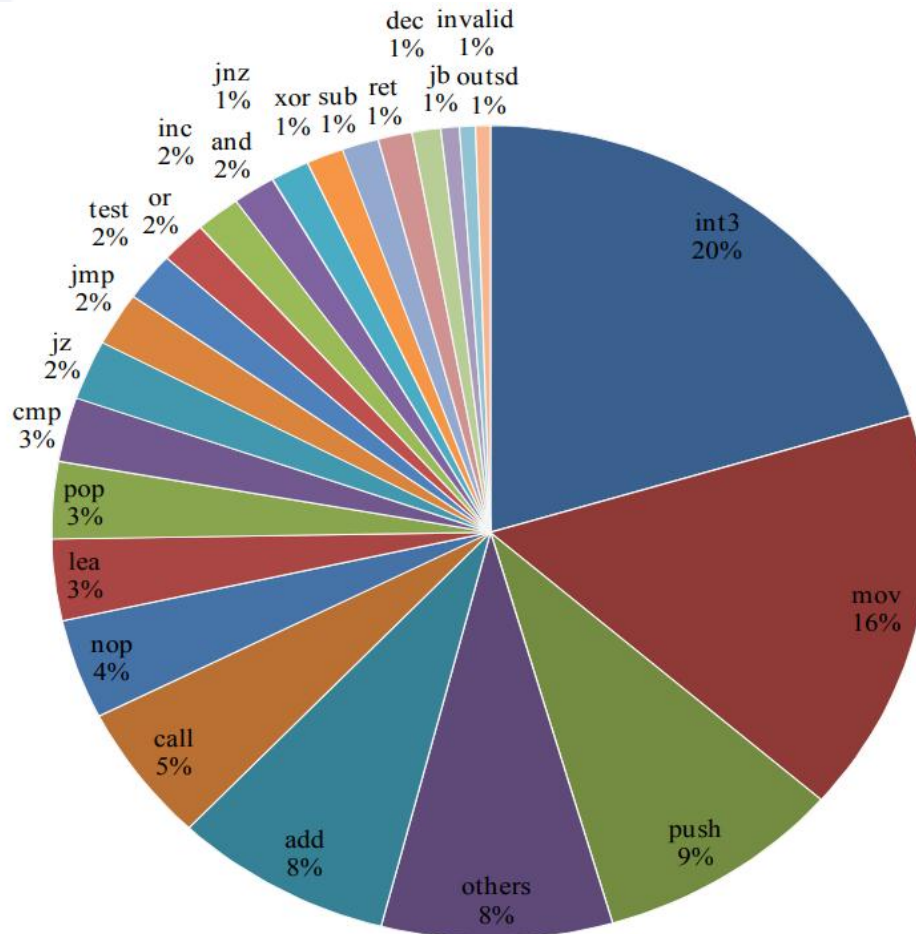
Архитектура системы команд

- Организация программируемых мест хранения (память, регистры)
- Типы и структуры данных
- Набор инструкций
- Кодирование инструкций
- Режимы адресации и доступа к элементам данных и инструкциям
- Условия возникновения исключений

Набор инструкций

Тип операции	Примеры
Арифметико-логический	Операции целочисленной арифметики и логики: Add, Or
Передача данных	Load/Store/Move
Управляющий	Ветвление, переход, вызов процедуры и возврат, прерывания
Вещественный	Операции с плавающей точкой: Add, Multiply
Системный	Системные вызовы ОС, инструкции по управлению виртуальной памятью
Десятичный	Десятичные Add, Multiply, перевод десятичных чисел в двоичные или в символы
Строковый	Строковые move, compare, search
Векторный	Операции, примененные ко многим данным сразу (Intel MMX/SSE/AVX/...)

Статистика использования инструкций

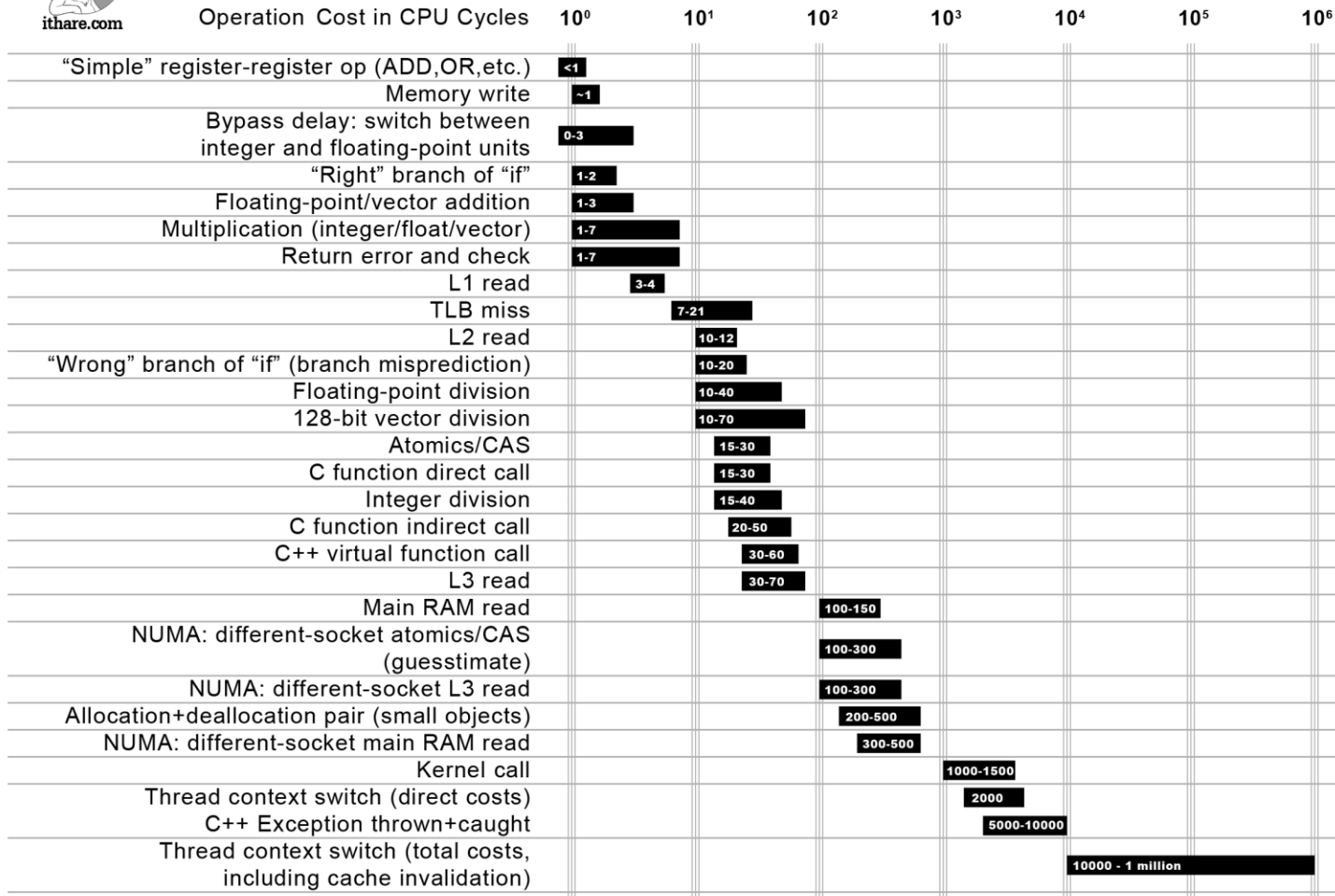


Amr Hussam Ibrahim, Mohamed Bakr Abdelhalim, Hanadi Hussein, & Ahmed Fahmy “An Analysis of x86-64 Instruction Set for Optimization of System Softwares” International Journal of Advanced Computer Science, Vol. 1, No. 4, Pp. 152-162, Oct. 2011.

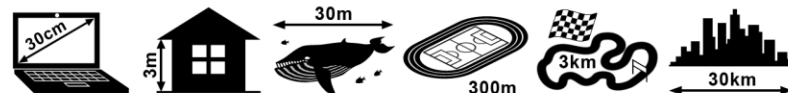
Длительность исполнения инструкций



Not all CPU operations are created equal



Distance which light travels while the operation is performed



Роль СО РАН в развитии ВТ

- ✓ 1962 – 1965 гг. – разработка концептуальных основ построения вычислительных средств, базирующихся на новых принципах обработки информации (с нефоннеймановской архитектурой). Эти средства стали называть *вычислительными системами* (ВС) или параллельными ВС.
- ✓ Первая параллельная ВС (с программируемой структурой) – это система «Минск-222». Она была разработана и построена Институтом математики Сибирского отделения АН СССР (г. Новосибирск) совместно с Конструкторским бюро завода им. Г.К. Орджоникидзе (г. Минск) в 1965 – 1966 гг.
- ✓ Американская система ILLIAC-IV была построена в 1972 г. Реализованная единственная конфигурация ILLIAC-IV многие годы оставалась самой мощной ВС (2×10^8 опер./с), однако она по архитектурным свойствам и функциональной гибкости уступала конфигурациям системы “Минск-222”.

Литература

Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005; 2-е издание, 2008.

Хорошевский В.Г. Инженерные анализ функционирования вычислительных машин и систем. – М.: “Радио и связь”, 1987.