© 2019 МГУ/ВМК/СП

Лекция 1

9 февраля

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Цель курса «Архитектура ЭВМ и язык ассемблера»

1. Формирование связного представления об организации современных вычислительных систем.
   - Аппаратура, системные программы, прикладные программы
2. Понимание взаимосвязей между архитектурными решениями на уровнях аппаратуры ЭВМ и ПО.
3. Понимание факторов, влияющих на качественные и количественные характеристики ЭВМ, производительность и безопасность всей вычислительной системы в целом.

- Язык Си как средство демонстрации …
  - того, как работает аппаратура …
  - и того, как следует использовать аппаратуру для реализации языка программирования
- Результат
  - Понимание причин хорошей/плохой производительности программы
  - Понимание причин ошибок
  - Основа для других курсов: ОС, сети, компиляторы, параллельная обработка данных …

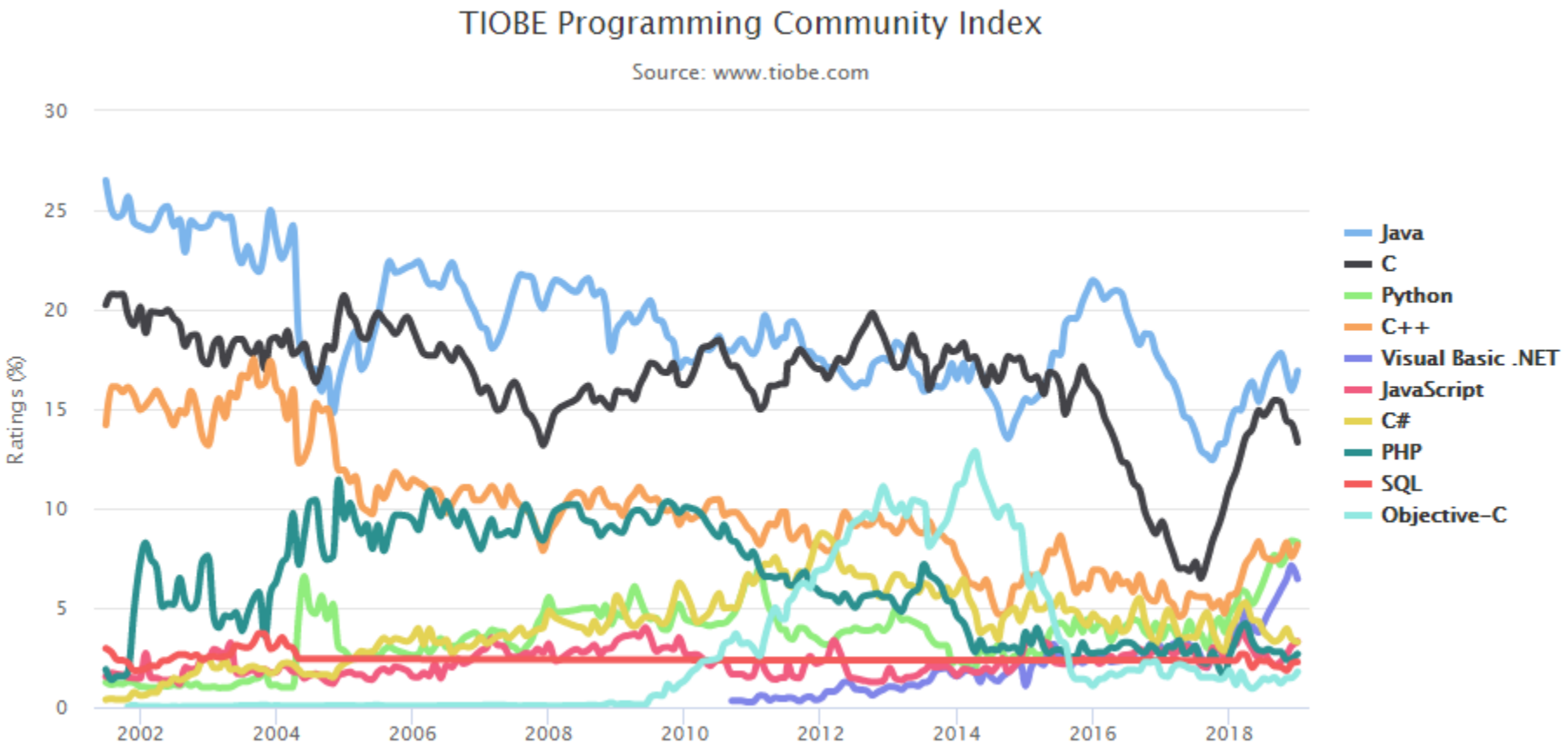
© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №1 Свойства чисел

- $X^2 \geq 0$?
  - float – всегда да
  - int ?
    - 40000 * 40000 = 1600000000
    - 50000 * 50000 = ?
- (x + y) + z = x + (y + z) ?
  - signed/unsigned int – всегда да
  - float
    - (1e20 + -1e20) + 3.14 → 3.14
    - 1e20 + (-1e20 + 3.14) → ??
- Свойства типов данных могут быть использованы для причинения вреда

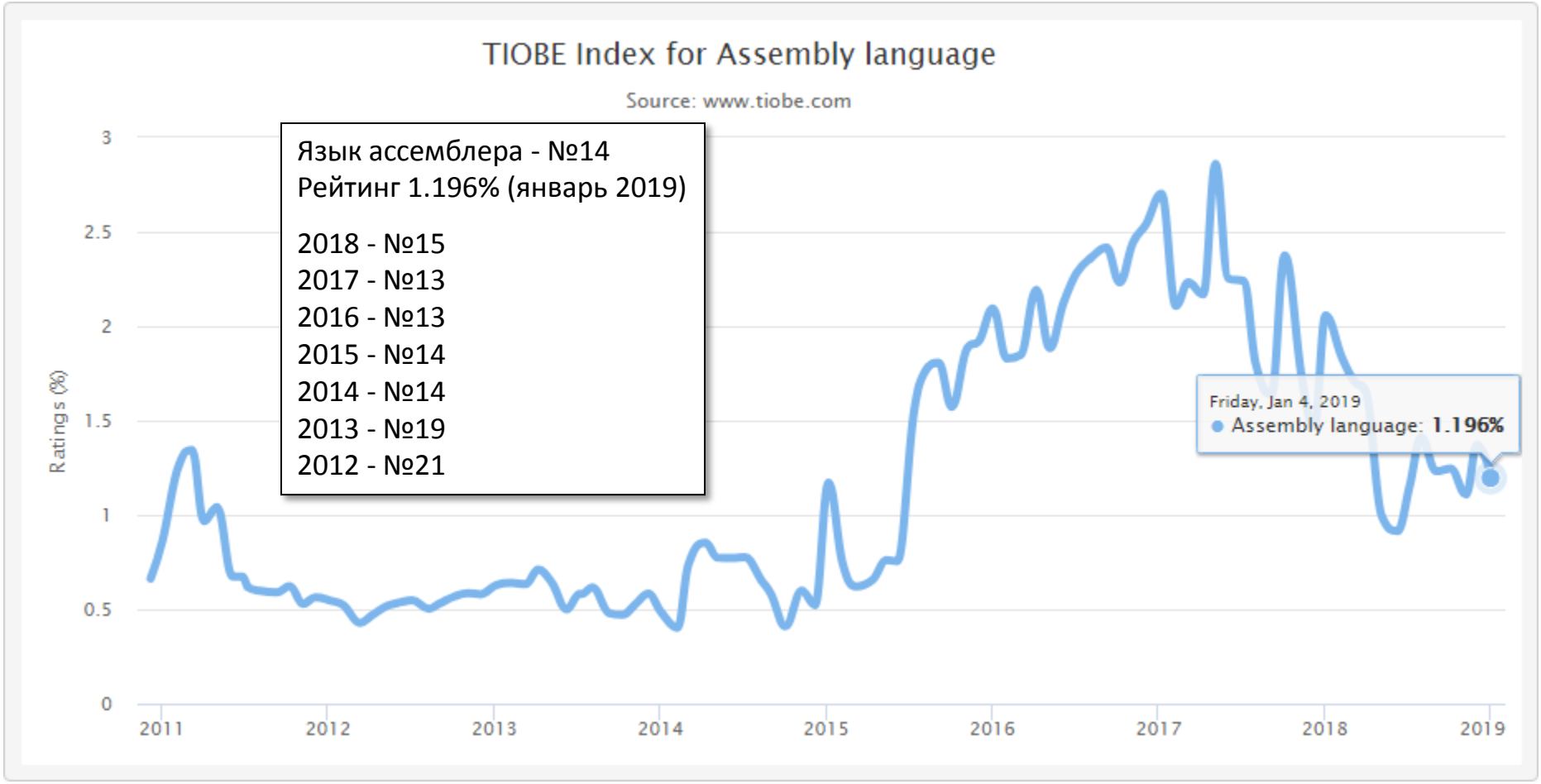
© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №2 Язык ассемблера



© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №2 Язык ассемблера



Язык ассемблера - №14
Рейтинг 1.196% (январь 2019)

2018 - №15
2017 - №13
2016 - №13
2015 - №14
2014 - №14
2013 - №19
2012 - №21

Компилятор Си составит программу ничуть не хуже

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №3 Отладка
Неопределенное поведение

```
double fun(int i) {
  volatile double d[1] = {3.14};
  volatile long int a[2];
  a[i] = 1073741824;
  return d[0];
}
```

```
fun(0)  →   3.14
fun(1)  →   3.14
fun(2)  →   3.1399998664856
fun(3)  →   2.00000061035156
fun(4)  →   3.14, а потом segmentation fault
```

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №3 Отладка
Ошибки работы с памятью

- Язык Си не предполагает защиты памяти, но зато задает четкие правила размещения данных в памяти
  - Выход за пределы массива
  - Некорректные указатели
  - malloc/free
- Ошибки при работе с памятью тяжело исправлять
  - Проявление ошибки может зависеть от окружения
  - Возникновение ошибки может быть «далеко» от ее проявления
- Как бороться с ошибками работы с памятью
  - Rust, Java, Ruby, …
  - Понимать устройство компьютера
  - Использовать программные инструменты для отладки
    - Valgrind, Pin, Address sanitizer, …

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №3 Отладка
Память Си-машины vs. Память компьютера

- Неправильная работа с памятью приводит не только к сбоям в работе программы
- Память компьютера ограничена
  - Глубина вызовов функций ограничена
  - Памятью необходимо управлять
  - Работа многих программ зависит от объема доступной памяти
- Обращение к разным переменным длится разное время
  - Настройка программы под особенности устройства памяти компьютера может дать ощутимое ускорение работы

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №4 Производительность
Асимптотическая сложность

```
void copyij(int src[2048][2048], int dst[2048][2048]) {
  int i,j;
  for (i = 0; i < 2048; i++)
    for (j = 0; j < 2048; j++)
      dst[i][j] = src[i][j];
}
```

Память имеет иерархическую структуру

Скорость работы программы зависит от порядка выполняемых действий

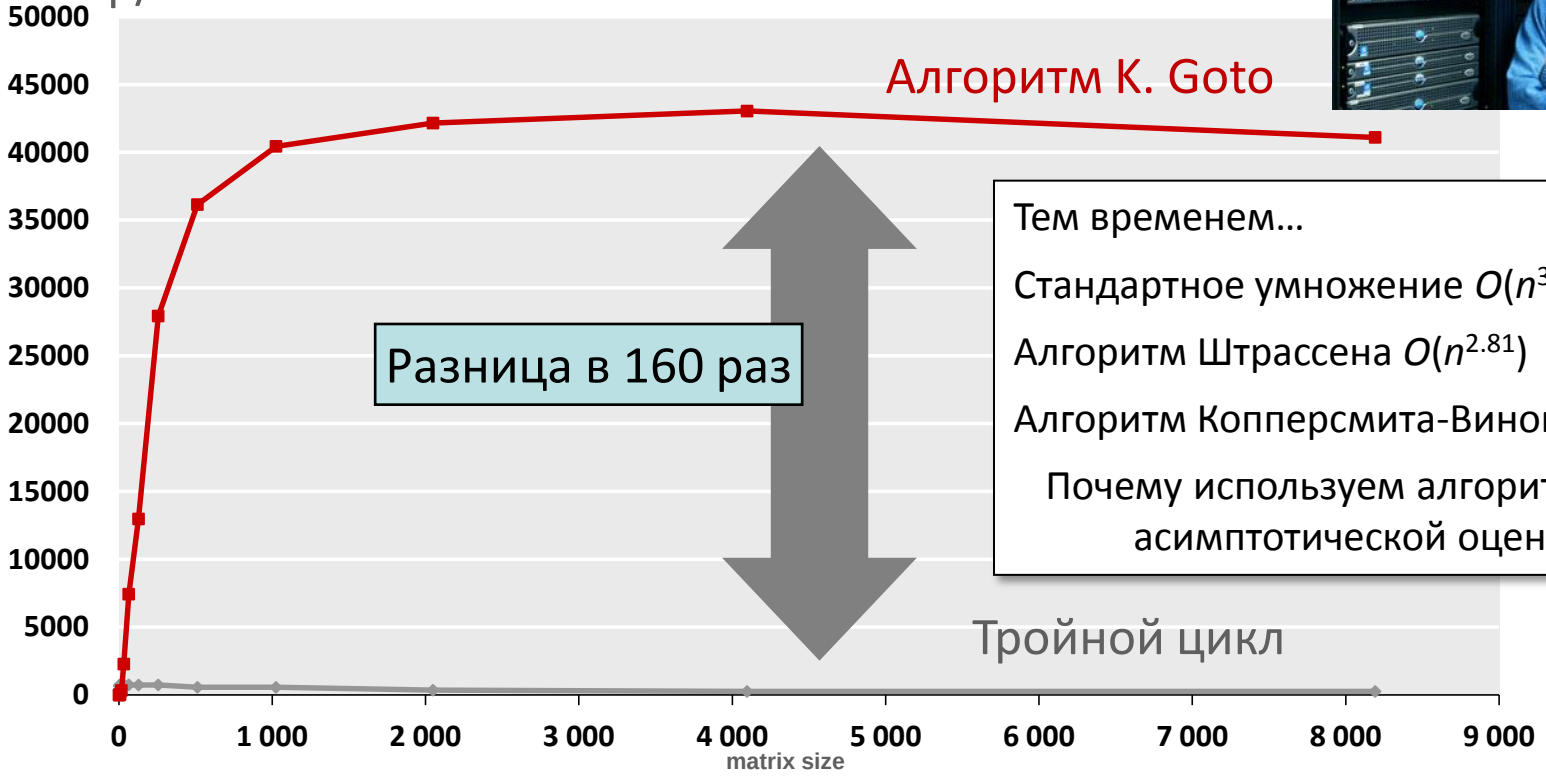
```
void copyji(int src[2048][2048], int dst[2048][2048]) {
  int i,j;
  for (j = 0; j < 2048; j++)
    for (i = 0; i < 2048; i++)
      dst[i][j] = src[i][j];
}
```

Медленней в 21 раз (Pentium 4)

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №4 Производительность
Асимптотическая сложность

Умножение матриц 2 x Core 2 Duo 3 GHz (double)
Библиотека GotoBLAS



Тем временем…

Стандартное умножение $O(n^3)$

Алгоритм Штрассена $O(n^{2.81})$

Алгоритм Копперсмита-Винограда $O(n^{2.38})$

Почему используем алгоритм с худшей асимптотической оценкой???

В точности одинаковая сложность ($2n^3$)

Kazushige Goto and Robert A. van de Geijn. 2008. Anatomy of high-performance matrix multiplication. ACM Trans. Math. Softw. 34, 3, Article 12 (May 2008)

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Проблема №5 Безопасность

- Оптимизации компилятора способны нарушать безопасность кода

```
memset(password, '\0', len);
free(password);
```

-O3 ⇒

```
free(password);
```

- Язык высокого уровня не специфицирует существенные для безопасности аспекты

```
int a[2], b;
memset(a, 0, 12);
```

- Соответствие исходного и исполняемого кода
  - Необходим доступ к системе сборки и конфигурационным файлам
- Исходный код может быть просто недоступен

G. Balakrishnan, T. Reps, D. Melski, and T. Teitelbaum. WYSINWYX: What You See Is Not What You eXecute. In Verified Software: Theories, Tools, Experiments, Bertrand Meyer and Jim Woodcock (Eds.). 2005. Lecture Notes In Computer Science, Vol. 4171. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 202-213. DOI=http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-69149-5_22

© 2019 МГУ/ВМК/СП

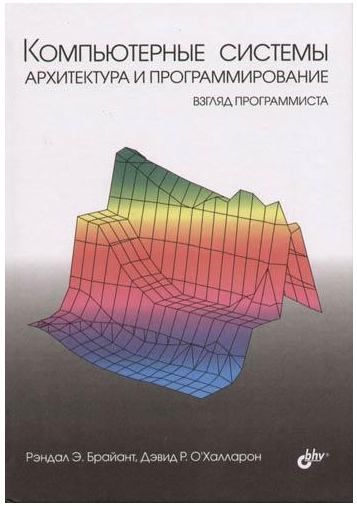
Зачем сейчас нужен язык ассемблера?

- Язык ассемблера позволяет понимать поведение машины

- Системное программное обеспечение создается людьми, в том числе выпускниками ВМК
  - Компиляторы и многие другие инструменты разработки программ
  - Операционные системы
  - Средства защиты информации
- Отладка ошибок разработчиком программы
- Настройка производительности программы
  - Почему оптимизация программы компилятором не дает ожидаемого результата
- Безопасность программного обеспечения (software security, cyber security)
  - Сертификация программ
  - Средства защиты
  - Вредоносный код: ботнеты, вирусы/черви, руткиты, …

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Литература

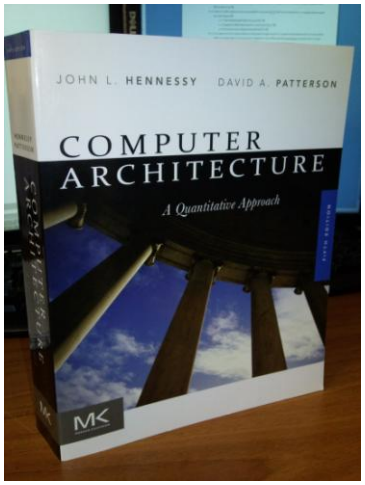


- Рэндал Э. Брайант, Дэвид О'Халларон. Компьютерные системы: архитектура и программирование (Computer Systems: A Programmer's Perspective). Издательство: БХВ-Петербург, 2005 г. — 1186 стр.
- Э. Таненбаум. Т. Остин. Архитектура компьютера. 6-е изд. Издательство: Питер, 2016. — 816 стр.
- Е.А. Кузьменкова, В.С. Махнычев, В.А. Падарян. Семинары по курсу «Архитектура ЭВМ и язык ассемблера»: учебно-методическое пособие. Часть 1. Издательство: МАКС ПРЕСС, 2014, 78 стр.
- Е.А. Кузьменкова, В.А. Падарян, М.А. Соловьев. Семинары по курсу «Архитектура ЭВМ и язык ассемблера»: учебно-методическое пособие. Часть 2. Издательство: МАКС ПРЕСС, 2014, 100 стр.

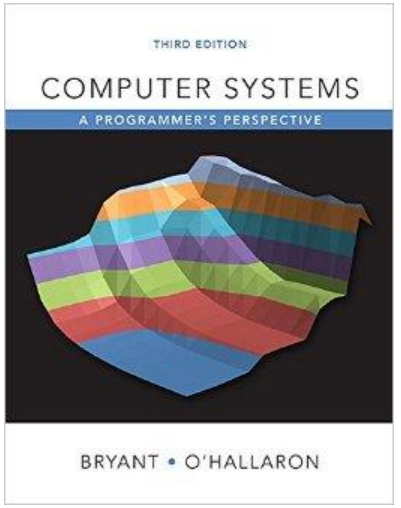
© 2019 МГУ/ВМК/СП

Дополнительная (англоязычная) литература

- John L. Hennessy and David A. Patterson. Computer Architecture, 5th Edition: A Quantitative Approach. Morgan Kaufmann Publishers 2012.
  - Часть тем курса рассматривается в первых двух главах (~130 страниц)



- Randal E. Bryant, David R. O'Hallaron. Computer Systems: A Programmer’s Perspective (3rd Edition). Pearson 2015. – 1120 p.



© 2019 МГУ/ВМК/СП

Из чего состоит курс

- Лекции
  - 48 часов / 24 лекции
  - Два письменных коллоквиума **c1** и **c2**
  - Письменный экзамен **ex**
- Семинары
  - 72 часа / 36 занятий
    - Аудитория
    - Машинный зал
  - Домашние задания
    - всего – 6 заданий
    - 4 задания сдаются в системе Ejudge
  - Зачет с оценкой
  - Комиссия: машинный зал
- Сайт поддержки http://asmcourse.cs.msu.ru/

Итоговая оценка

0.2 * c1 + 0.2 * c2 + 0.6 * ex

- удовлетворительно >= 40%
- хорошо >=60%
- отлично >=80%

Пропуск коллоквиума – штраф -5%.

Ограничение на количество посылок задачи:

- простые задачи – 16,
- обычные задачи – 24,
- повышенной сложности – 32.

На сайте поддержки курса в разделе «Экзамены и контрольные» детально описаны правила выставления оценок за лекционный курс и практикум http://asmcourse.cs.msu.ru/?page_id=1020

© 2019 МГУ/ВМК/СП

План лекций

- Введение на примерах
  - 4 лекции
- Архитектура набора команд, производительность и безопасность программ
  - 10 лекций
- Система программирования (языка Си)
  - 3 лекции
- Архитектура ЭВМ
  - 6 лекций

Ориентировочное время проведения коллоквиумов
1. 13 или 20 марта, зависит от переноса праздничных дней
2. 24 апреля

© 2019 МГУ/ВМК/СП

История первых компьютеров

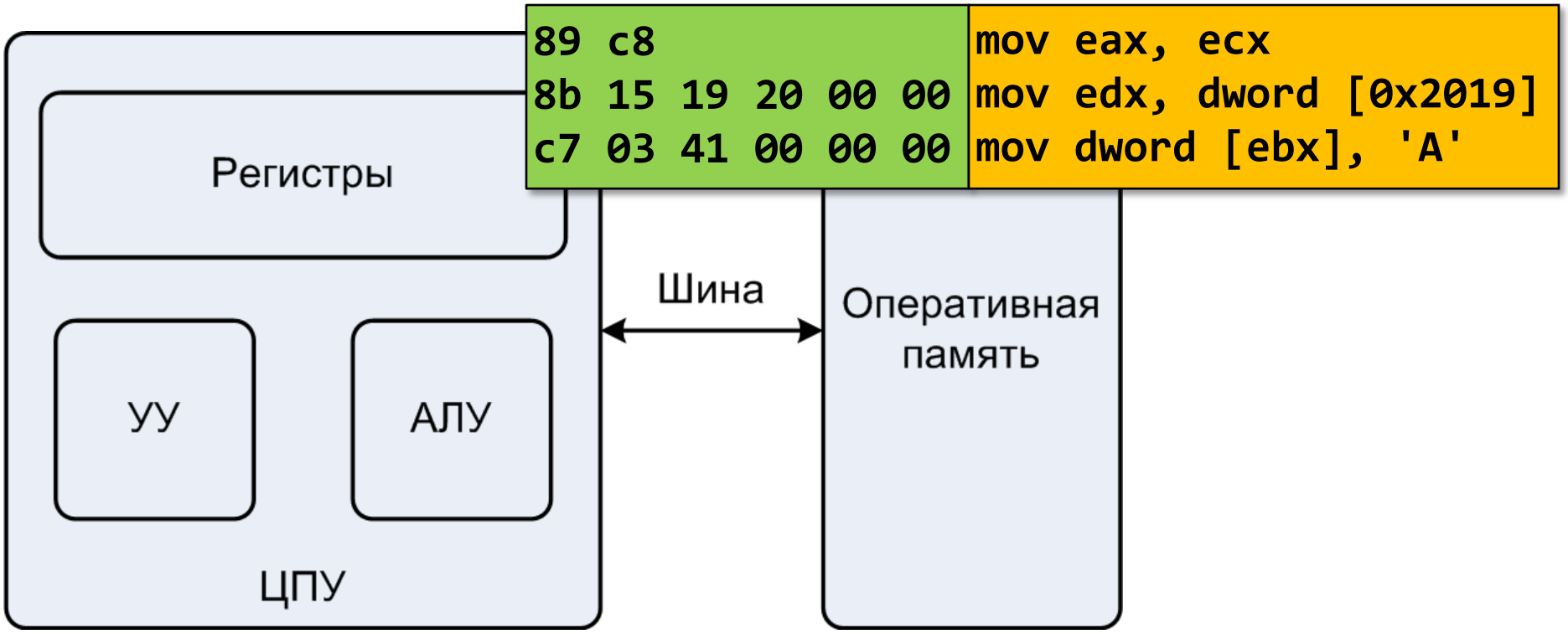
- Чарлз Бэббидж, Ада Лавлайс 1820 – 1833
- Конрад фон Цузе
  - Z1 1938г., Z2 1939 г., Z3 1941г., Z4 1945г.
- Экерт и Моучли
  - ENIAC 1946 г.
  - фон Нейман
    - First Draft of a Report on the EDVAC, 30 июня 1945
- Атанасов и Берри
  - ABC 1942 г.
- Mark I
  - 1949 г.
- Исаак Брук
  - M-1 1951 г.
- Сергей Лебедев
  - МЭСМ 1950 г.
  - БЭСМ-1 1952 г.

Применение первых компьютеров
- задачи математической физики
- шифрование/дешифрование сообщений
- управление (военной) техникой

Современное применение компьютеров
- хранение информации и предоставление удобного доступа для работы с ней
- передача информации
- управление технологическими процессами
- и многое другое …

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Архитектура фон Неймана

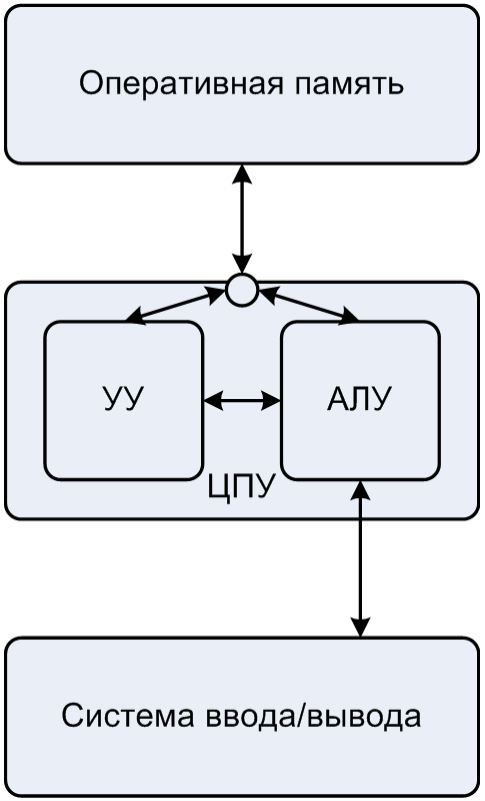


1. Двоичное кодирование информации
2. Неразличимость команд и данных
3. Адресуемость памяти
4. Последовательное выполнение команд

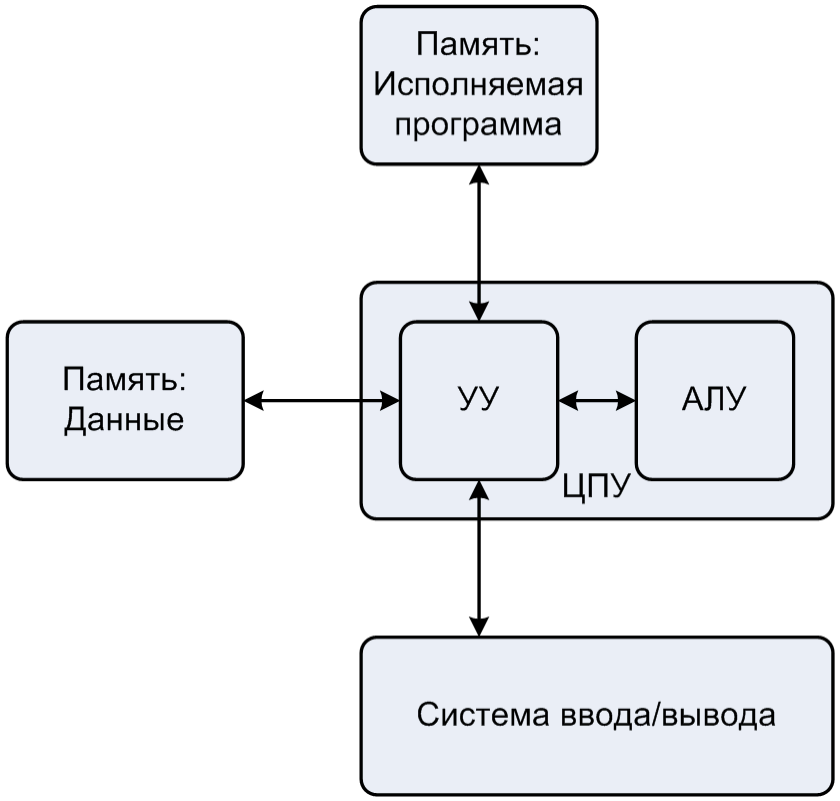
Вспоминаем Си-машину…

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Единственный вариант архитектуры?



Еще один вариант изображения архитектуры фон Неймана…



Гарвардская архитектура

Вспоминаем Си-машину…

© 2019 МГУ/ВМК/СП

(Модельный) цикл работы ЭВМ

1. **Извлечение инструкции из памяти**
   Используя текущее значение *счетчика команд,* процессор извлекает некоторое количество байт из памяти и помещает их в *буфер команд*
2. **Декодирование команды**
   Процессор просматривает содержимое *буфера команд* и определяет *код операции* и ее *операнды*
   Длина декодированной команды прибавляется к текущему значению *счетчика команд*
3. **Загрузка операндов**
   Извлекаются значения операндов
   Если операнд размещен в ячейках памяти – вычисляется *исполнительный адрес*
4. **Выполнение операции над данными**
5. **Запись результата**
   Результат может быть записан в том числе и в *счетчик команд* для изменения естественного порядка выполнения

© 2019 МГУ/ВМК/СП

Промежуточные итоги: ключевые термины и понятия

- Регистр, имя регистра, значение регистра, разрядность регистра, машинное слово
- Память, ячейка памяти, адрес ячейки памяти, время доступа к памяти
- Цикл, тактовая частота, счетчик команд
- Машинная команда, код операции, операнд, адресность команды
  Исполнительный (действительный) адрес
  англ. *effective (executive) address*
- Способ адресации
  прямая, непосредственная, косвенная