

# Процессоры отличаются:

- Внутренней архитектурой
- Системой команд
- Внешним видом (корпусом)

# Набор команд

## Архитектуры CISC и RISC

- Две основные архитектуры набора команд - CISC и RISC

- CISC – Complete Instruction Set Computer

**Архитектура с полным набором команд**

Микропроцессоры Intel

- RISC – Reduced Instruction Set Computer

**Архитектура с сокращенным набором команд**

Популярны во всем мире, т.к. на такой архитектуре работают рабочие станции и серверы под управлением ОС Unix

# Принципы RISC-архитектуры

- Каждая команда выполняется за один такт (должен быть максимально коротким)
- Все команды имеют одинаковую длину и формат (упрощение логики управления процессором)
- **Обработка данных происходит только в регистрах процессора, обращение к памяти только при операциях чтения и записи**
- Система команд должна обеспечивать поддержку языка высокого уровня

50 инструкций в архитектурах 1 поколения  
Около 150 инструкций в современных RISC-процессорах

# Особенности CISC-архитектуры

- В систему команд добавлены «удобные» для программиста команды (маленькие подпрограммы)
  - ⇒ Ускорение разработки программ
  - ⇒ Команды CISC-процессора имеют разную длину и время выполнения
  - ⇒ Некоторые команды выполняются за несколько тактов
  - ⇒ Производительность ниже

- CISC и RISC – принципы и технологии.
- «Архитектура каждого конкретного процессора представляет собой результат множества компромиссов» (Хамахер и др.)
- CISC-процессоры – персональные компьютеры
- RISC-процессоры – высокопроизводительные серверы и рабочие станции

# Основные игроки на рынке процессоров

- Корпорация Intel
- Фирма AMD  
(Advanced Micro Devices)
- Cyrix
- Sun
- Motorola

# Intel 8086

- 1978 год
- 16-разрядный!!!  
(внутренняя архитектура)
- 20-разрядная шина адреса  
(1 Мб ОП)
- 16-разрядная шина данных

# Intel 80186 и 80286 (1982 год)

- 80186 – для встроенных интеллектуальных устройств
- 80286 – для ПК
  - Новые команды в системе команд
  - Защищенный режим (поддержка многозадачности)
  - Механизм переключения задач
  - Поддержка виртуальной памяти
  - 4-уровневая система защиты
- 24-разрядная шина адреса (16 Мб ОП)
- 16-разрядная шина данных



# Intel 80386 – 1985 год

- В 1985 году фирма **Intel** выпустила первый 32-разрядный микропроцессор, ставший родоначальником семейства **IA-32**
- **32-разрядная арифметика!!!**
- Регистры блока обработки чисел с фиксированной точкой стали 32-разрядными.
- К каждому из них можно обращаться как к одному двойному слову (32 разряда).

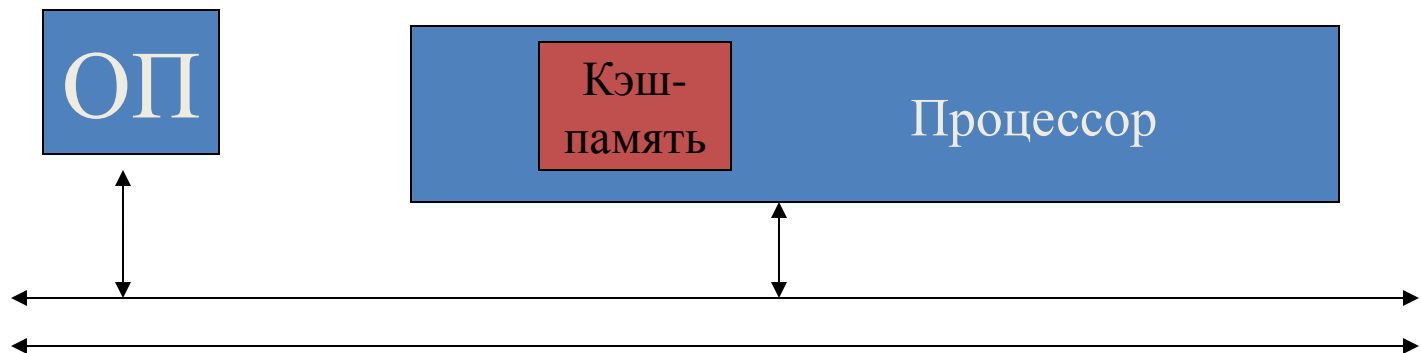
# Intel 80386

Архитектура 32-разрядного микропроцессора **существенно** отличается от архитектуры 16-разрядного

- Увеличение разрядности шины данных и шины адреса до 32 бит (4 Гб ОП)
- Впервые на кристалле микропроцессора кэш-память 1 уровня (L1) – для временного хранения команд и данных (Основной кэш (L2) – на системной плате)
- К используемым в реальном режиме четырем регистрам CS, DS, SS и ES добавлены еще два: FS и GS

# Intel 80386

- **Кэширование** – способ увеличения быстродействия системы за счет хранения часто используемых данных и кодов в «кэш-памяти 1-го уровня» (быстрой памяти), находящейся внутри микропроцессора.
- Кэш-память – очень быстрое запоминающее устройство (время выборки из ОЗУ  $\approx 60\text{-}70$  нс; из кэша –  $10\text{-}20$  нс, т.е. в 3-4 раза быстрее)



# Кэширование

## Идея

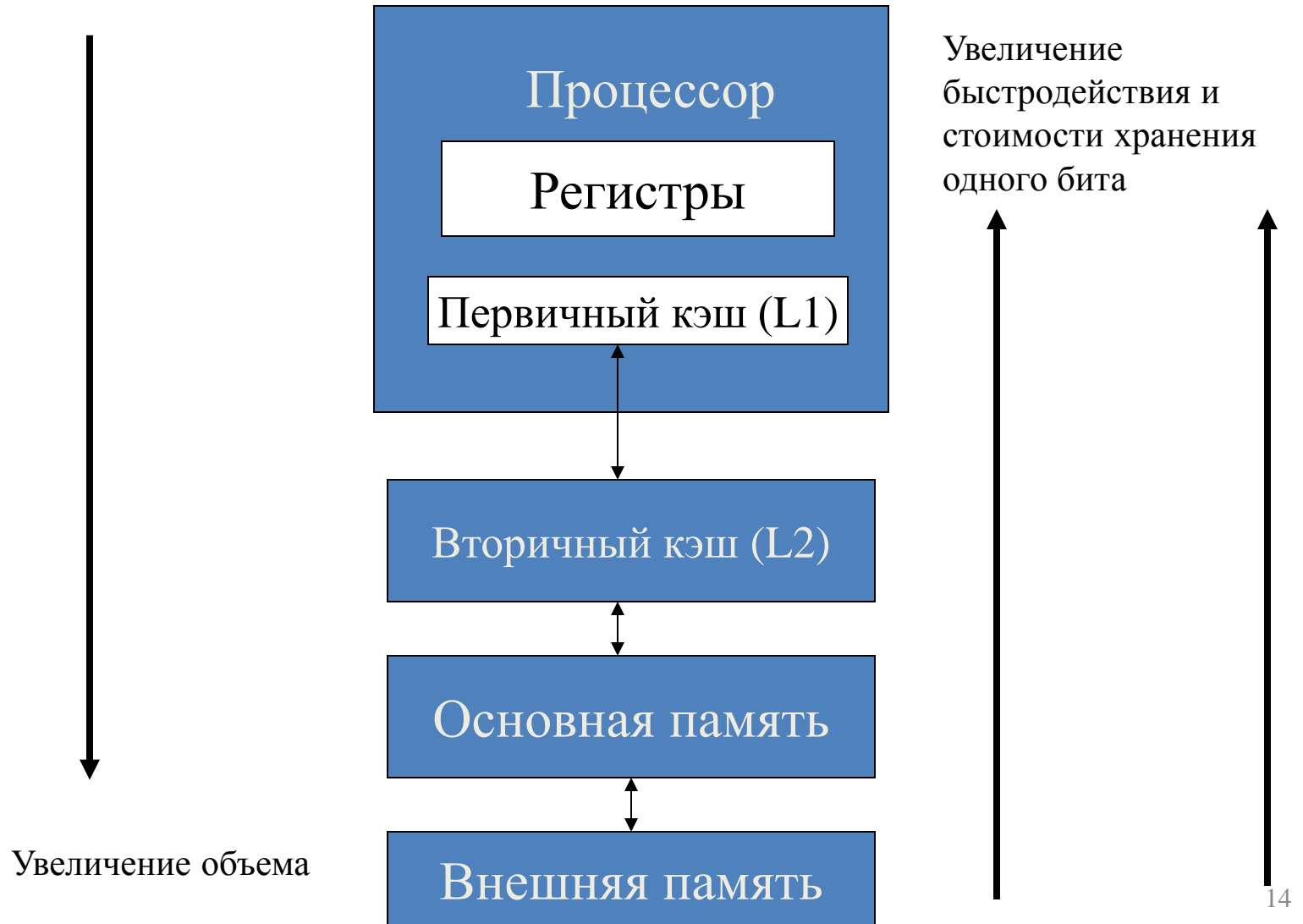
- Команды из ОП выбираются и пересылаются в процессор, а их копии помещаются в кэш.
- Данные из основной памяти также пересылаются в процессор, а их копии помещаются в кэш.
- Если команда или данные понадобятся еще раз, они будут прочитаны не из памяти, а из кэша (например, циклы).
- Внутренняя скорость выполнения команд, прочитанных из такого кэша (на одном кристалле с процессором) выше, чем скорость выборки команд и данных из ОП.

# Иерархия памяти

Обычно в компьютере имеется два уровня кэш-памяти.

- Первичный кэш располагается на микросхеме процессора, называется кэшем первого уровня (L1)
- Вторичный кэш располагается между первичным кэшем и остальной памятью, имеет больший объем и называется кэшем второго уровня (L2).

# Иерархия памяти



# Иерархия памяти

1. Быстрее всего осуществляется доступ к данным, хранящимся в регистрах процессора  
(самый маленький объем)
2. Кэш процессора (L1) – небольшой объем
3. Вторичный кэш (L2) – объем больше
4. Основная память (ОП) – значительно больше и намного медленнее кэша  
(в типичном компьютере время доступа к ОП в 10 раз дольше времени доступа к кэшу L1).
5. Дисковая память – огромный объем недорогой памяти. Очень медленные

# Управление иерархией памяти

«Идея управления иерархической системой памяти состоит в том, чтобы переместить команды и данные , которые будут использоваться в ближайшее время, как можно ближе к процессору.»

Каждый элемент, к которому обращается процессор помещается в кэш и остается там (локализация по времени).

Копируется не только сам элемент программы или данных, но несколько близлежащих (локализация в пространстве).

«Когда кэш полон и обращение происходит к отсутствующему слову памяти, принимается решение какой из блоков удалить из кэша, чтобы добавить новый блок, содержащий требуемое слово.»



# Intel 80386

## Упрощенные модели i386

- Intel 386 SX (поддержка только 16-разр.)
- Intel 386 DX (32-разр.)

# Intel 80486 – 1989 год

- В состав кристалла микропроцессора входит блок обработки чисел с плавающей запятой (сопроцессор)
- На кристалле микропроцессора располагается также внутренняя кэш-память.
- Объем кэш-памяти составляет 8 Кбайт (для кэширования и кодов, и данных)
- Архитектура = ядро + периферийные блоки
- Ядро работает на повышенной частоте
- Упрощенная модель - i486 SX
- Intel 486 DX 2 – удвоенная частота для ядра
- Intel 486 DX 4 – утроенная частота для ядра

# Скалярная архитектура Intel 80486

В микропроцессоре i486 появился важный элемент архитектуры – конвейер.

КОНВЕЙЕР – специальное устройство, реализующее такой метод обработки команд внутри микропроцессора, при котором исполнение команды разбивается на несколько этапов.

# Скалярная архитектура Intel 80486

i486 имеет 5-ступенчатый конвейер:

- 1) выборка команды из кэш-памяти или ОП;
- 2) декодирование команды;
- 3) генерация адреса (определение операндов в памяти);
- 4) выполнение операции с помощью арифметико-логического устройства;
- 5) запись результата.

Таким образом, на конвейере может находиться одновременно пять команд на различной стадии выполнения  $\Rightarrow$  существенно возрастает скорость вычислений.

Микропроцессоры, имеющие один конвейер, называются скалярными

# Длительность выполнения команд при последовательной и конвейерной обработке

| Количество команд | Время                          |                           |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------|
|                   | при последовательной обработке | при конвейерной обработке |
| 1                 | 100                            | 150                       |
| 2                 | 200                            | 240                       |
| 10                | 1000                           | 420                       |
| 100               | 10000                          | 3120                      |

## Одновременно с Intel 80486

- Более дешевые и высокопроизводительные по сравнению с Intel 486 DX 4 процессоры фирм AMD и Cyrix
- AMD – K5
- Am5x86-P75
- Cyrix 5x86
- (на данном этапе чуть обогнали)

# Intel Pentium (586) – 1993 год

Суперскалярная архитектура

Микропроцессоры, имеющие более одного конвейера, называются суперскалярными.

- Pentium - 2 конвейера (+ 1 для вещественных чисел)

Усовершенствованный блок вычислений с плавающей точкой

В Pentium обычные математические функции вычислений с плавающей точкой (+, \*, / ) реализованы аппаратно (целочисленная конвейеризация дополнена 8-тактowymi конвейерными командами вычислений с плавающей точкой).

**Итого 3 конвейера – 2 для целочисленных операций (5-тактowe),  
1 – для операций с плавающей точкой (8-тактowe).**

# Intel Pentium (586)

Раздельное кэширование кода и данных

Pentium содержит уже 2 блока кэш-памяти:

один для кода, один для данных (по 8 Кб)  $\Rightarrow$  увеличивается скорость работы компьютера за счет одновременного быстрого доступа к коду и данным.

Расширенная 64-битовая шина данных

$\Rightarrow$  Ускорение работы с памятью (за один такт считывается/записывается сразу несколько 8-байтных команд/данных )

Расширенная 64-битовая шина адреса

(объем ОП памяти)

32-разрядная внутренняя архитектура!!!



# Intel Pentium (586)

Предсказание правильного адреса перехода

Под переходом понимается запланированное алгоритмом изменение последовательного характера выполнения программы.

Типичная программа на каждые 6-8 команд содержит 1 команду перехода (условные операторы, операторы цикла, оператор безусловного перехода и т.д.)

⇒ через каждые 6-8 команд необходимо очищать и заполнять заново конвейер ⇒ теряются преимущества конвейеризации.

# Механизм предсказания перехода

Вводится специальный буфер адресов перехода, который хранит информацию о последних переходах (для Pentium – о 256 переходах).

Для команды, управляющей ветвлением, в буфере запоминаются сама команда, адрес перехода и предположение о том, какая ветвь программы будет выполнена следующей.

Блок предсказания адреса перехода прогнозирует решение программы.

Он основывается на предположении, что ветвь, которая была пройдена, будет использоваться снова (т.е. прогнозируется переход на начало цикла).

Если предсказание верно, переход осуществляется без задержки  $\Rightarrow$  увеличение скорости работы. Вероятность правильного предсказания составляет около 80%.

# Архитектурные особенности процессоров Pentium

- Суперскалярная архитектура
- Раздельное кэширование кода и данных
- Предсказание правильного адреса перехода
- Усовершенствованный блок вычислений с плавающей точкой
- Расширенная 64-битовая шина данных и шина адреса

# Pentium Pro – 1995 год

- Кэш-память использует собственную шину, независимую от системной

= архитектура с двумя независимыми шинами

Увеличение пропускной способности каналов передачи данных

- ⇒ 3 конвейера по 14 ступеней
- ⇒ 64-разрядная шина данных, 36-разрядная шина адреса
- ⇒ 16 Кб внутренней кэш-памяти (8+8)
- ⇒ 256 Кб - кэш второго уровня (в одном модуле с микропроцессором, но на отдельной микросхеме)

# Pentium MMX – 1997 год

- Ускорение 2D- и 3D-графики за счет дополнительных регистров и типов данных
- + 57 команд команд для эффективной обработки звука, видео, графики.

(операции, для которых Pentium требовалось выполнить десятки или сотни команд закодированы одной инструкцией)

- !!! Под конкретное ПО – ОС Windows 95.

# Pentium II – 1997 год

- Улучшенные технические характеристики (Pentium Pro + средства MMX)
- Рост тактовой частоты
- Кэш-память L1 – 32 Кб (16+16)
- Кэш-память L2 – 32 Кб

# Pentium III – 1999 год

- Усовершенствовано ядро процессора
- Улучшена работа кэша L2 (объем 256 Кб)
- 10-ступенчатый конвейер

# Pentium 4 – 2000 год

## (7 поколение компьютеров)

- По-прежнему, 32-разрядная внутренняя архитектура!!!
- Улучшенные характеристики традиционных блоков и технологий
- Новые технологии
  - Данные считываются 4 раза за 1 такт
  - Гиперконвейерная обработка данных
  - 20-ступенчатый конвейер (не очень хорошо)
  - Блок быстрого выполнения команд работает на удвоенной частоте ядра
  - Кэш-память с отслеживанием выполнения команд
  - Кэш-память L2 (256 Кб) интегрирована в микросхему.
  - Кэши L1, L2 соединены и обеспечивается быстрая передача данных между ними



# Процессоры Intel Celeron

Упрощенная версия  
процессоров Pentium II, III и 4 (для дешевых  
ПК)

- уменьшен объем кэша L2 в 2 раза
- Уменьшена разрядность шин
- Отсутствует ряд расширенных функций

# Процессоры AMD

- Более 20 лет конкурентной борьбы с корпорацией Intel
- 7 поколение компьютеров в 2000 году представлено AMD K7 (Athlon)

Первыми наладили производство процессора 8 поколения – с 64-разрядной внутренней архитектурой!!!

Сперва для промышленного применения –  
AMD Opteron

Затем для настольных ПК – AMD64

!!! Требуется новая ОС, новое прикладное ПО

Athlon64 – одновременная поддержка и 32- и 64-разрядного ПО

# МНОГОЯДЕРНЫЕ процессоры

- Новая эра началась в 2005 году  
(появилась информация о производстве  
9-ядерных процессоров корпорации IBM для  
игровой приставки Play Station 3)

⇒ AMD и Intel начали производство  
двухъядерных процессоров

# Многоядерные процессоры Intel

- Intel Pentium D
- Intel Pentium 4 Extreme Edition
  - На кристалле формируется 2 стандартных процессора Pentium,
  - добавляются схемы для синхронизации их работы
- (ГРЕЕТСЯ!!!)
- Intel Core 2
  - Интегрирует 2 ядра вместе

# Семейство Intel Core 2

## 2006 год

- Intel Core 2 Duo
- Intel Core 2 Extreme – 4-ядерный  
– для серверов и игровых ПК

## 2007 год

- Intel Core 2 Quad  
– для настольных ПК массового спроса

«Представленные летом 2006 года x86-процессоры Intel с новой микроархитектурой Core впервые за последние годы резко опередили процессоры AMD по производительности, обладая при этом более низким энергопотреблением» (Кузьминский)

# Семейство Intel Core 2



актовая частота в 2 раза меньше,  
аленькое тепловыделение.

В 2 раза выше производительность по сравнению с Pentium 4.

Усовершенствования:

- 14-ступенчатый (целочисленный) конвейер  $\Rightarrow$   
4 команды одновременно выполняются за каждый такт
- Кэш L2 на кристалле двухядерного процессора – один на 2 ядра  
«Применение общего кэша позволяет динамически распределять его емкость между ядрами. При этом исчезает необходимость дублировать общие для обоих ядер данные, как это происходит при использовании каждым ядром собственного кэша второго уровня.» (Кузьмицкий)

# Новое в технологии Core

## Предсказание переходов

Кроме традиционных средств предсказания переходов для Pentium 4 (буфер «целей» перехода BTV, калькулятор адресов перехода BAC и стек адресов возврата RAS)

в Core имеется еще два предсказателя.

1. *Детектор циклов* - служит для правильного предсказания выхода из цикла.

Обычное предсказание переходов на основе предыстории будет предсказывать очередное выполнение цикла. Чтобы предсказать выход из цикла, специальные счетчики отслеживают число итераций цикла до его завершения и используют эти данные в будущем для предсказания, когда из этого цикла следует выйти.

# Новое в технологии Core

## Предсказание переходов

Кроме традиционных средств предсказания переходов для Pentium 4 (буфер «целей» перехода BTB, калькулятор адресов перехода BAC и стек адресов возврата RAS)

в Core имеется еще два предсказателя.

2. *Предсказатель косвенных переходов* - относится к переходам, адрес которых не кодируется в команде непосредственно, а задается содержимым регистра (такие переходы предсказывать сложнее).

Этот предсказатель содержит таблицу, в которую заносятся вероятные адреса косвенных переходов. Когда фронтальная часть процессора обнаруживает косвенный переход и предсказывает, что он произойдет, он запрашивает эту таблицу, выбирая из нее соответствующий целевой адрес перехода



# Процессор Intel® Core™2 Duo

- высокая производительность
- энергоэкономичность



- изготовлены по 45-нанометровой производственной технологии с использованием соединений гафния.
- общая кэш-память второго уровня объёмом до 6 МБ
- системная шина с частотой до 1333 МГц (для настольных ПК) и до 800 МГц (для портативных ПК)

# Двухъядерный процессор Intel® Core™2 Extreme

- «Двухъядерные процессоры Intel Core 2 Extreme обеспечивают энергосбережение и высокую производительность в играх, а также потрясающее качество видео и звука.» [[www.intel.ru](http://www.intel.ru)]



# 4-ядерный процессор Intel® Core™2 Extreme

- обеспечивает еще более высокую производительность и пониженное энергопотребление
- Процессор Intel Core 2 Extreme QX9650
  - частота 3,0 ГГц
  - 12 МБ общей кэш-памяти второго уровня
  - системная шина с частотой 1333 МГц



# Четырехъядерный процессор Intel® Core™2 Quad

«обеспечивает высочайшую скорость  
выполнения ресурсоемких задач  
в многозадачных средах и  
максимальную производительность  
многопоточных приложений»



- Четыре ядра,
- до 12 МБ общей кэш-памяти второго уровня  
(до 6 МБ на каждые 2 ядра),
- системная шина с частотой до 1333 МГц

# Многоядерные процессоры AMD

2006 год

AMD Athlon 64 X2 Dual Core

(два 64-разрядных процессора на 1 кристалле)

- 2 ядра, у каждого свой кэш L2

Ядра сильнее интегрированы, чем у Intel,  
меньше нагрев процессора

# Прогноз

«Многоядерные микропроцессоры предоставляют большую вычислительную мощность посредством параллелизма, предлагают лучшую системную организацию, работают на меньших тактовых частотах»

«Основной путь развития микропроцессоров – рост числа ядер в микросхеме» (Кузьминский)

## 2007 год

- Был продемонстрирован прототип микропроцессора Intel, имеющего производительность уровня небольших суперкомпьютеров — 1 TFLOPS.
- Довольно крупная микросхема прототипа состоит из 80 процессорных ядер на одном кристалле, работающих на частоте 3,1 ГГц.
- Подобный процессор позволил бы компьютеру выполнять, например, автоматический перевод с одного языка на другой в реальном времени.