

Лекция 2: Процессор. Устройство и история развития.

Центральным устройством современного компьютера является процессор (CPU – Central Processor Unit). Он осуществляет обработку данных и управление памятью. Процессор находится в постоянном взаимодействии с другими элементами компьютера.

Процессоры отличаются друг от друга. Основными критериями деления процессоров на классы являются:

1. поддерживаемый набор команд
2. разрядность

Подавляющее большинство современных компьютеров основано на наборе команд x86, разработанном фирмой Intel. Собственно фирма Intel и является лидером в производстве процессоров. Основным конкурентом является фирма AMD. В незначительных количествах процессоры x86 производит фирма VIA. Так же широко распространены процессоры на базе архитектуры ARM. Они производятся десятками фирм и используются в основном в мобильных устройствах. Разрядность современных x86 процессоров равна 64 bit. Ранее широко использовались процессоры с меньшей разрядностью, но их производство в настоящее время сокращается.

Устройство.

В составе классического процессора обязательно входят четыре основных блока:

1. арифметическо-логическое устройство (АЛУ)
2. блок управления
3. блок памяти
4. устройство ввода/вывода

Данная логическая организация процессора — архитектура — была определена в 1946 году Дж. Фон Нейманом. Сегодня практически все процессоры построены по архитектуре «фон Неймана».

Основными функциональными компонентами процессора являются:

1. ядро — основной компонент, непосредственно осуществляющий обработку информации; как минимум, содержит АЛУ, декодер и блок управления
2. модуль предсказания перехода — модуль, определяющий статистическими методами вероятность перехода в другую часть программы, для того, чтобы заранее переслать эту часть в декодер
3. сопроцессор — модуль операций с плавающей точкой
4. интерфейсный модуль системной шины — отвечает за получение информации (команд и данных) из системной шины и вывод в неё данных-результатов
5. кэш память первого уровня — небольшой модуль памяти, работающий на частоте процессора.

Принцип работы любого процессора в следующем. На вход в CPU по системной шине поступают сигналы в виде логических 0 и 1. Эти сигналы декодируются и на основании набора инструкций исполняются CPU. На выход в виде логических 0 и 1 поступают результаты работы CPU.

Набор инструкций CPU обеспечивается различной комбинацией логических вентилях, состоящих из одного или нескольких транзисторов. Основными логическими вентилями являются

- И
- ИЛИ
- НЕ
- НЕ-И

Дополнительно в вентилях могут присутствовать и другие электронные компоненты:

- резисторы
- диоды
- конденсаторы

Функционирование всех элементов CPU согласуется **таймером**. В современных CPU основной таймер работает на частоте с 2 ГГц и выше. Во время каждого такта таймера происходит обращение к специальной ячейке памяти в процессоре - **счетчику команд**, - который содержит адрес

следующей инструкции. Блок управления считывает команду и записывает её из памяти в **регистр инструкций (IR)**. Далее команда обрабатывается, для чего чаще всего передаётся в АЛУ; однако некоторые команды могут обрабатываться и самим блоком управления.

Таким образом получаем, что частота процессора не совсем равна количеству обрабатываемых операций в единицу времени. Для выполнения одной команды архитектуры x86 требуется пять тактов:

1. загрузка команды
2. декодирование
3. загрузка данных
4. выполнение
5. запись результата

Получается, что процессор с тактовой частотой в 100МГц выполняет лишь 20 млн. операций в секунду. Для улучшения ситуации используется **конвейерная обработка команд**. В этом случае, каждому этапу исполнения команды соответствует свой модуль в CPU. По очередному тактовому импульсу, команда передается на следующий модуль CPU, освобождая текущий модуль для следующей команды (напоминает работу грузчиков, передающих груз по цепочке). Недостаток этой технологии сказывается в случае перехода в программе. В этом случае приходится очищать конвейер от уже находящихся там команд и заполнять его заново, с нового места в программе. По этому, эффективная работа модуля предсказания перехода очень важна. Процессор, построенный с использованием конвейера называется **суперскалярным**.

Современные процессоры могут обрабатывать на каждой стадии конвейера более одной команды одновременно. Такая технология называется **суперконвейерной** архитектурой.

SIMD расширения.

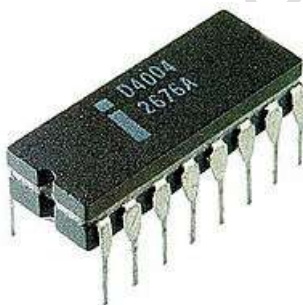
Задачи обработки данных, связанные с мультимедиа, потребовали дополнения набора команд процессора новыми командами. Для этого, начиная с процессора Pentium I MMX, в процессоре появились 8 новых 64-разрядных регистров и 57 новых команд для работы с ними. Это расширение получило название **MMX (MultiMediaExtensions)**. Технически, регистры

располагаются в математическом сопроцессоре. В сопроцессоре Pentium I MMX есть 8 80-разрядных регистров для операций с плавающей точкой. Расширение MMX использует только 64 бита каждого регистра. То есть, в каждом регистре может содержаться информация, эквивалентная 8 байтам и эти данные обрабатываются единой командой. Благодаря этой особенности эти расширения и получили название SIMD – Single Instruction Multiply Data. Например, звуковые данные чаще всего дискретизируются в 16 бит, а значит одна MMX команда обрабатывает данные сразу 4 тактов дискретизации звука. Благодаря особенностям использования памяти в процессоре Pentium невозможна одновременная работа математического сопроцессора и модуля MMX инструкций.

Далее были введены дополнительные наборы SIMD команд — MMX2, SSE, SSE2, SSE3, SSE4. Компания AMD разрабатывала свои наборы расширений — технологию 3DNow!. Набор инструкций 3DNow рассчитан на обработку трехмерной графики. Компания Intel на базе технологии суперконвейерного процессора породила ещё одну технологию — **Hyper-Threading**. Все современные ОС являются многопроцессными. Исполнение процессов может идти либо на одном процессоре, переключаясь между задачами (псевдо-параллельное исполнение), либо на разных процессорных ядрах параллельно. Процессор с технологией Hyper-Threading имитирует работу двух ядер на одном физическом процессоре. Технология реализована в процессорах фирмы Intel (реализовано начиная с 2002 года в процессорах Pentium IV) и AMD (реализовано в Ryzen 7 в 2017 году) и кроме процессора требует ещё специализированного чипсета, материнской платы и операционной системы с соответствующей поддержкой технологии.

История развития.

Авторство первого микропроцессора принадлежит фирме Intel. В 1969 году Intel получила заказ от японской фирмы на разработку чипа для калькулятора. Микросхема получалась узкоспециализированной и для каждого нового заказа приходилось разрабатывать новую микросхему «с нуля». Поэтому в ходе работы над заказом было предложено объединить в одной микросхеме функции многих, ранее располагавшихся отдельно микросхем. Идея была принята и работа началась. Был разработан принципиально новый для того времени метод проектирования микросхем произвольной логики, первым результатом которой, в 1971 году стал процессор **intel 4004**.



Процессор работал на частоте 0,1 МГц, мог адресоваться к памяти по шине 4 бита и содержал 2250 транзисторов. Развитием этого процессора в 1972 году стал intel 8008 – первый 8-миразрядный процессор.

В 1978 году разрабатывается **intel 8086** – первый 16тиразрядный процессор. Он мог уже адресовать до 1 Мб памяти, работал на частоте от 4 до 10 МГц и содержал 29000 транзисторов. На базе этого процессора (и его упрощённой формы intel 8088) IBM создает первую открытую серию персональных компьютеров IBM PC TX.

В 1984 году IBM представляет улучшенную серию персональных компьютеров. Базирующуюся на только что вышедшем **intel 286** процессоре. Работал CPU на частоте 6-

12,5 МГц, содержал 134000 транзисторов и мог адресоваться к 16 Мб памяти. Главным новшеством процессора стал новый режим работы — защищенный режим работы. В этом режиме процессор мог адресоваться к более чем 1 Мб физической памяти (что аналогично реальному режиму работы процессора) и к 1 Гб виртуальной памяти. В защищенном режиме возможна работа многозадачных систем — систем в которых работает больше одного процесса одновременно. На таком процессоре стала возможен запуск портированных с больших компьютеров систем типа Unix или написанных специально для настольных компьютеров Windows и OS/2.

В 1985 году выходит процессор **Intel 386 (80386DX)**. Появились следующие возможности:

- кэш память (пока внешняя, на материнской плате)
- виртуальный режим (имитация одновременной работы нескольких — до 256 — процессоров 8086, что дает возможность запускать несколько разных не только процессов, но и ОС одновременно)
- 32-разрядное ядро процессора

Благодаря 32битной архитектуре, процессор мог адресоваться к 4 Гб памяти, работал на частоте 12-40 МГц и содержал 275000 транзисторов.



Выпускались так же 80386SX (уменьшенная шина данных

до 16 бит) и 80387 — математический сопроцессор для процессора 80386DX (процессор серии SX не поддерживался). 32-битная архитектура позволила увеличить объем доступной памяти до 4 Гб и ускорить обработку информации. До появления 386 процессора программы использовали различные, достаточно хитрые и запутанные модели памяти (tiny, small и так далее). Адресное пространство в 4 Гб позволило реализовать плоскую модель памяти — сквозная нумерация с 0 до $2^{32}-1$ байт памяти и произвольный доступ к ним.

Появилась полноценная защита процессов и поддержка многозадачности. Новые флаги позволяли пометить сегменты оперативной памяти, как принадлежащие привилегированным процессам и на уровне архитектуры процессора ограничить к ним доступ.

Основные регистры процессора были расширены до 32 разрядов, при сохранении старых 16 битных способов адресации к регистрам.

Аналоги процессора 386 производились и другими фирмами-AMD, Cyrix, TI.

В 1989 году выходит **Intel 486** (80486DX). Процессор содержит 1200000 транзисторов и работает на частоте 25-50 МГц.



В процессор внедрены следующие новшества:
добавлено 6 новых команд
интегрировано 6 Кб кэш памяти, что существенно подняло производительность
математический сопроцессор интегрирован в кристалл

основного CPU (выпускалась и версия без сопроцессора — 486SX, но она обладала существенно меньшей производительностью)

впервые реализована конвейерная архитектура.

В попытке ещё повысить частоту процессора Intel столкнулась с странным эффектом — при повышении частоты процессора, что естественно приводило к повышению частоты системной шины, материнская плата начинала работать нестабильно.

Решение было найдено в 1992 году в модели **386DX2**. Данный процессор работал на вдвое большей частоте, чем системная шина. Достигалось это за счёт нескольких технологических решений и позволяло продолжать наращивать частоту процессора без увеличения частоты системной шины.

В 1994 году выходит 486DX4, который работал на частоте в 4 раза превосходящей частоту шины. Процессор содержал уже 1600000 транзисторов, а самые производительные решения работали на частоте 120 МГц.

В этой линейке процессоров Intel впервые столкнулась с настолько большим тепловыделением процессора, что пришлось устанавливать вентилятор на процессор.

Предыдущие модели обходились без него.

Аналоги выпускались так фирмами Cyrix и AMD.

CPU Pentium (80586) вышел в 1993 году. Новшествами по сравнению с 486 были:

- суперскалярная архитектура — теперь внутренних конвейеров было два и процессор мог за такт обрабатывать 2 команды.
- впервые появляется модуль предсказания переходов; для него в процессоре выделен буфер с информацией о предыдущих 256 переходах
- разделена кэш память данных и кода (по 8 Кб), что позволило увеличить эффективность кэширования
- шина данных, но не адреса увеличена до 64 бит, что позволяет получить двухкратный выигрыш в скорости передачи данных по сравнению с CPU 80486



Выпускался в нескольких поколениях, отличавшихся частотой. В последнем поколении впервые появились SIMD расширения — MMX – и процессор получил название Pentium MMX. Процессор работал на частоте от 60 до 233 МГц и содержал до 4,5 млн транзисторов.

Процессор требовал наличие новой материнской платы, но с целью привлечь к процессу обновления компьютеров владельцев более старых машин был выпущен Pentium OverDrive – процессор Pentium с разъемом, пригодным для установки в материнские платы с процессором 486. Работал он на частотах до 166МГц и был вполне доступным способом обновления компьютера.

Компании AMD и Cyrix выпустили свои аналогичные процессоры. Cyrix выпустила 6x86 работавший на частоте до 150 МГц и обладавшим более совершенной архитектурой и - соответственно — большей производительностью. К сожалению процессор грелся существенно сильнее чем изделия Intel и соответственно перегорал от перегрева чаще. AMD выпускает линейку процессоров AMD K5 и AMD K5-MMX. Главной особенностью была стоимость, которая была на 30% ниже, чем аналогичные процессоры Intel.

В 1997 году выходит **Pentium II**, наследник недолго просуществовавшего Pentium Pro (Pro производился параллельно с Pentium I и предназначался для высокопроизводительных станций; высокая цена обусловила низкую распространенность процессора). Изменения в модели были эволюционными: улучшено предсказание переходов, увеличены частоты работы и объемы кэш памяти.



Процессор работал на частоте до 450 МГц и содержал 7,5 млн транзисторов.

В 1999 году вышел **Pentium III**. Архитектурно процессор от Pentium II не отличается. Работает на частоте до 1,2 ГГц. В апреле 1998 года Intel решает выпустить дешевый процессор, названный celeron. Отличался сильно уменьшенным объемом кэш памяти и меньшими частотами работы.

AMD выпустила в 1998 году свой процессор **AMD K6-2**. В отличие от процессоров Intel, AMD создает свой набор SIMD инструкций — 3DNow! . В отличие от набора MMX, 3DNow! рассчитан на работу с числами с плавающей точкой, что важно при расчете трёхмерных сцен. Процессор работал на частоте 233 — 550 МГц и содержал 9,3 млн транзисторов.



В 1999 году вышел **AMD K6-3**. Позиционировался как замена Pentium III по более низкой стоимости. Работал на частоте до 570 МГц и содержал 21,3 млн транзисторов.

Компания VIA купила компанию Cyrix в 1999 году и в 2000 году выпускает **VIA Cyrix III**.



В процессоре присутствовали оба набора SIMD инструкций — MMX и 3DNow!, работал на частоте до 700 МГц. В начале 2000 года Intel представила процессор на совершенно новом ядре Netburst — **Pentium 4**.



Новая архитектура ядра позволила сильно повысить частоту работы процессоров — максимальная частота достигала 3,6 ГГц. Последнее поколение Pentium4 содержало 188млн транзисторов. Архитектурно было добавлено:

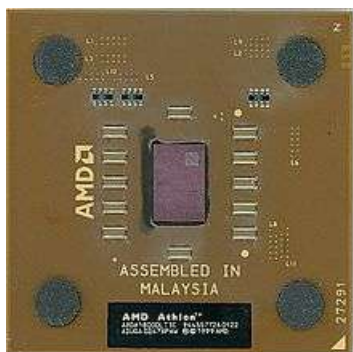
- новые наборы инструкций SSE2
- второй блок АЛУ
- увеличена кэш память до 512 кб

Выпускалась и мобильная версия процессора — Pentium M. Последние образцы показали тепловыделение на уровне 120 Ватт, что поставило крест на дальнейшем увеличении частоты

- Увеличено число конвейеров до 9
- добавлены конвейеры в математический сопроцессора
- расширены инструкции 3DNow чтобы они стали эквивалентны SSE – получился enhanced 3DNow



Дальнейшее развитие технология получила в 2001 году в процессоре **Athlon XP**. Благодаря улучшению в техпроцессе процессор стал способен работать на частоте до 2333 МГц.



Производительность процессора была выше, чем у

аналогичного по частоте Pentium IV, поэтому на процессорах AMD ставились индексы производительности, а не частоты. Например, процессор Athlon XP 1800+ обладал частотой в 1200 МГц.

Выпускались так же мобильные версии AthlonXP-M и удешевленные версии Duron.

В 2005 году Intel выпускает новую линейку процессоров — **Intel Core**. Это дальнейшее развитие архитектуры Pentium III и мобильного Pentium M. От архитектуры NetBurst пришлось отказаться из-за принципиальных ограничений этой архитектуры. Сначала выпускались только мобильные, а с 2006 года выпускались **Core 2 Duo**. Основными нововведениями были:

- полноценные два ядра — процессоры стали двухядерными. Вместе с технологией HyperThreading это дает 4 виртуальных процессора
- технологии энергосбережения. Начиная с этой линейки Intel перестаёт выпускать отдельно мобильные и настольные процессоры
- увеличенный кэш до 2-6 Мб
- в процессор перенесена из линейки процессоров AMD 64 технология EM64T – 64 битные инструкции

Тактовые частоты процессоров остались от 2,3 до 3,3 ГГц, производительность повысилась за счёт количества ядер в процессоре. Процессор с 4 Мб кэш памяти содержит 291 млн транзисторов.



В 2009 году начали выпускаться три линейки процессоров **Core I.**

- core i3
- core i5
- core i7

В мае 2017 к ним добавилась линейка core i9.

Основное нововведение этой серии процессоров - это интегрированный видеоконтроллер и контроллер памяти. Встраивание видеоядра позволило существенно упростить логику чипсета. Возможностей встроенного видеоядра достаточно для большинства пользователей, так что необходимость в дискретном видеоадаптере отпала. А встраивание контроллера памяти позволило упростить логику чипсета.

Средний процессор i5 отличается от i3 добавленной технологией TurboBoost – временное увеличение частоты одного из ядер за счёт сокращения частоты других. Этим добивается ускорение работы ресурсоёмкого приложения без увеличения тепловыделения процессора. Core i7 содержит большее число ядер, чем core i5.

В 2003 году AMD выпускает линейку процессоров **AMD K8.**

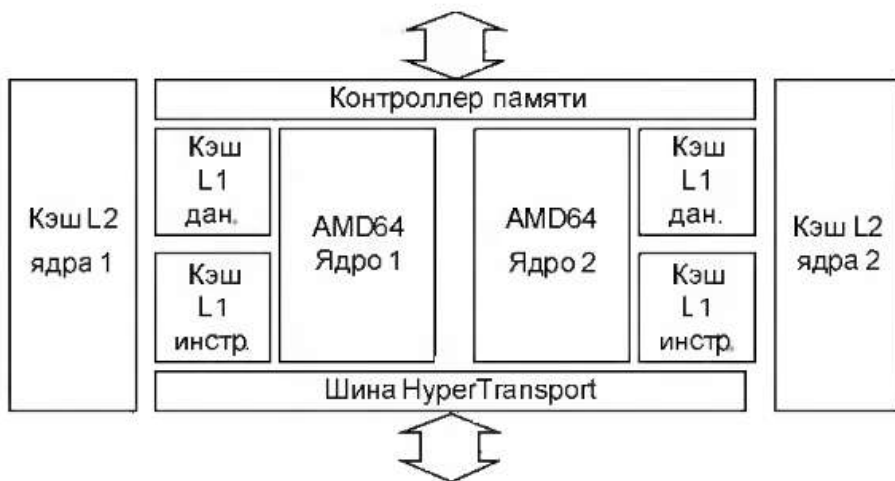


В процессорах были реализованы следующие нововведения:

- 64-битная архитектура AMD64 – адресация к памяти и разрядность команд поднята до 64 бит, что увеличивает доступное адресное пространство до теоретических 16 экзбайт. Фактически пока существующие процессоры имеют ограничение в 1 терабайт памяти
- интегрирован контроллер памяти

- интегрирована технология hypertransport для поддержки многопроцессорных систем

Именно на базе hypertransport и строятся многоядерные процессоры AMD, например один из первых – AMD Athlon X2



Аналогично строились и AMD Phenom X4 или серверные процессоры на архитектуре Bulldozer.

Современные процессоры AMD являются эволюционным развитием этой линейки процессоров.

В феврале 2019 года вышли процессоры **Intel Pentium Gold**.

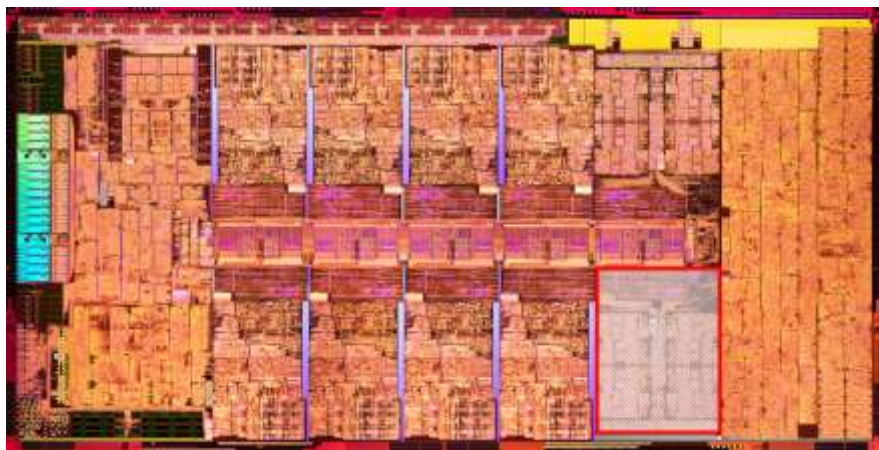
Старшая модель, Pentium G5620 впервые в истории серийных процессоров Intel достигла частоты в 4 ГГц. Так же были выпущены процессоры Pentium Gold G5600F, где заблокировано встроенное графическое ядро.

В 2021 году компания Intel выпускает процессоры линейки Alder Lake-S. В старших моделях этой линейки впервые для Intel применена технология давно использующаяся в мобильных процессорах – в них присутствует два типа процессорных ядер

- **P-Core** (серия golden Cove) – производительные ядра
- **E-Core** (серия Gracemount) – энергоэффективные ядра

При этом интересны отличия старшей модели core i9-12900K от «младшего» core i7-12700k. Рассмотрим снимок core i7-12700k

под микроскопом.



Полупроводниковый кристалл, на котором основан Core i7-12700K, – тот же самый, что и у старшего процессора в семействе. В нём лишь деактивирован один из двух четырёхъядерных кластеров из ядер Gracemont. Ну и разумеется есть небольшие различия по максимальным частотам в пользу core i9. За счет этого core i7 оказался значительно менее прожорливым (более чем на 50 Ватт) и более «холодным» чем core i9 при этом практически не уступая в производительности.

В целом назначение E-Core понятны – снизить энергопотребление в нетребовательных к ресурсам задачах. Но и в нагруженных задачах, за счет использования этих ядер в качестве дополнительных они способны увеличить производительность процессора до 15%.

Компания VIA продолжает выпускать процессоры, но не занимает хоть сколько нибудь существенной доли рынка. В 2008 году выпускается процессор **VIA Nano** (или VIA Isaiah) – 64-битный процессор, работающий на частоте от 1 до 1,8 ГГц.



На 2016 год последним процессором в линейке является VIA Nano X2. Процессор является двухядерным, аппаратно поддерживает шифрование AES и имеет производительность, сопоставимую с младшими процессорами линейки Intel Core. Процессоры VIA в основном используются во встраиваемых компьютерах, так как имеют малое энергопотребление, тепловыделение и соответствующую цену.

В декабре 2019 VIA объявила о разработке своего дочернего подразделения SenTaur процессора на архитектуре x86 с блоками ИИ. Не много ни мало, VIA объявляет о частотах в 2,5 ГГц и прямой конкуренции с Intel Xeon и AMD Epic. Поставки планируются на вторую половину 2020 года.