

# Организация ЭВМ и систем

---

## Лекция № 6

- **Переход от CISC к чертам RISC архитектуры в семействе IA32**
- **Основные черты RISC – процессоров**
- **Характеристика современных RISC – процессоров, основные направления развития**

# Экскурс в историю

В 70-е годы ученые выдвинули революционную по тем временам идею создания микропроцессора, "понимающего" только минимально возможное количество команд.

Замысел RISC- процессора (Reduced Instruction Set Computer, компьютер с сокращенным набором команд) родился в результате практических исследований частоты использования команд программистами, проведенных в 70-х годах в США и Англии. Их непосредственный итог - известное "*правило 80/20*": в 80% кода типичной прикладной программы используется лишь 20% простейших машинных команд из всего доступного набора.

# Основные особенности RISC - процессоров

1. Сокращенный набор команд (от 80-150 команд).
2. Большинство команд выполняется за 1 такт.
3. Большое количество регистров общего назначения.
4. Наличие жестких многоступенчатых конвейеров.
5. Все команды имеют простой формат и используются немногие способы адресации.
6. Наличие вместительной отдельной КЭШ памяти.
7. Применение оптимизирующих компиляторов, которые анализируют исходный код и частично меняют порядок следования команд.

Первый "настоящий" RISC-процессор с 31 командой был создан под руководством Дэвида Паттерсона из Университета Беркли, затем последовал процессор с набором из 39 команд. Они включали в себя 20 - 50 тыс. транзисторов. Плодами трудов Паттерсона воспользовалась компания Sun Microsystems, разработавшая архитектуру SPARC с 75 командами в конце 70-х годов. В 1981 г. в Станфордском университете стартовал проект MIPS по выпуску RISC-процессора с 39 командами. В итоге была основана корпорация Mips Computer в середине 80-х годов и сконструирован следующий процессор уже с 74 командами.

Примерно в то же время Intel разработала серию 80386, последних "истинных" CISC-процессоров в семействе x86. В последний раз повышение производительности было достигнуто только за счет усложнения архитектуры процессора: из 16-разрядной она превратилась в 32-разрядную, дополнительные аппаратные компоненты поддерживали виртуальную память и добавился целый ряд новых команд.

# RISC – процессоры 3-го поколения

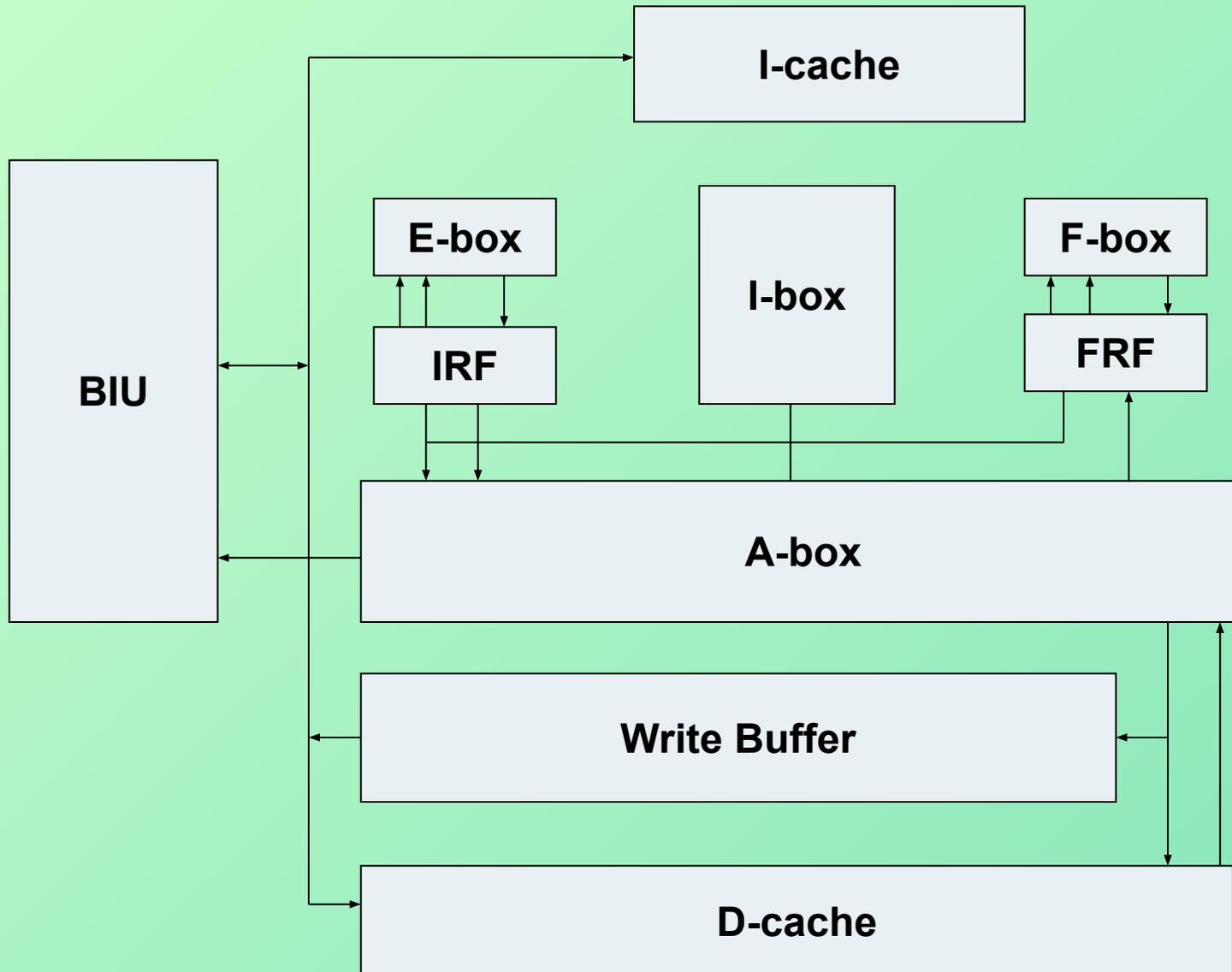
1. Ultra SPARC (ф. Sun Microsystem).
2. PowerPC 620 (ф. IBM/Motorola).
3. Alpha 21164 (ф. DEC).
4. R 10000 (ф. Mips Technology).
5. PA-8000 (ф. Hewlett Packard).

Самыми крупными разработчиками RISC процессоров считаются Sun Microsystems (архитектура SPARC), IBM (многокристальные процессоры Power, однокристальные PowerPC), Digital Equipment (Alpha), Mips Technologies (семейство Rxx00), а также Hewlett-Packard (архитектура PA-RISC).

# Основные черты RISC – процессоров 3-го поколения

- Все ЦП являются 64-х разрядными и суперскалярными (запускаются не менее 4-х команд за такт).
- Встроенные конвейерные блоки арифметики с плавающей точкой.
- Многоуровневая КЭШ память. Большинство RISC процессоров кэшируют предварительно дешифрованные команды.
- Применяется алгоритм динамического прогнозирования ветвлений и метод переназначения регистров (позволяет реализовать внеочередное выполнение команд).
- Изготавливаются по КМОП технологии с 4-мя слоями металлизации.

# Структура процессора Alpha 21064



- I-cache – КЭШ команд.
- IRF – регистровый файл целочисленной арифметики.
- F-box – устройство арифметики с плавающей точкой.
- E-box – устройство целочисленной арифметики (7 ступеней конвейера).
- I-box – командное устройство(управляет КЭШ команд, выборка и дешифрация команд).
- A-box – устройство управления загрузкой/сохранением данных. Управляет процессом обмена данными м/у IRF, FRF, КЭШ данных и внешней памятью.
- Write Buffer – буфер обратной записи.
- D-cache – КЭШ данных.
- BIU – интерфейсный блок, с помощью которого подключаются внешняя КЭШ память, размером 128 Кб - 8 Мб.

# Процессор Alpha 21264

Процессор Alpha 21264 отличается значительной новизной по сравнению с предшественником 21164. Он обладает кэш-памятью первого уровня большего объема, дополнительными функциональными блоками, более эффективными средствами предсказания ветвлений, новыми инструкциями обработки видеоданных и широкой шиной.

Alpha 21264 читает до четырех инструкций за один такт и может одновременно исполнять до шести инструкций. Самое большое его отличие от модели 21164 - это способность выполнять команды (впервые для Alpha) с изменением их очередности (Out-of-Order).

Эффективность выполнения Out-of-Order определяется количеством инструкций, которыми может манипулировать ЦП в целях определения оптимального порядка выполнения команд. Чем больше инструкций ЦП может для этого использовать, тем лучше, тем дальше он может заглядывать вперед. Процессоры Intel класса P6 (Pentium Pro, Pentium II, Xeon) могут одновременно обращаться не менее, чем с 40 командами. У других процессоров данный показатель значительно больше: PA-8000 фирмы HP оперирует 56 командами, а процессор Alpha справляется с 80 командами.

Как и большинство RISC-процессоров, Alpha содержит набор из 32 целочисленных и 32 регистров с плавающей запятой, все они имеют разрядность 64 бита. Для повышения эффективности внеочередного выполнения команд процессор 21264 дополнительно к обычному набору регистров снабжен еще 48 целочисленными регистрами и 40 регистрами с плавающей запятой.

Каждый регистр может временно хранить значения текущих команд. Если обрабатывается какая-либо инструкция, нет необходимости перегружать результат в целевой регистр - вместо этого ЦП просто переименовывает временный регистр (Register Renaming).

Подобное переименование регистров есть и в других процессорах. Однако в 21264 реализована уникальная хитрость - он имеет задублированный набор целочисленных регистров, каждый из 80 целочисленных регистров дублируется еще раз. Таким образом, на чипе в целом - 160 целочисленных регистров. Это одна из причин, почему, несмотря на сложность выполнения Out-of-Order, допустима высокая частота процессора 21264.

Блоки целочисленных операций в обеих группах идентичны не полностью. Одна из них содержит блок умножения, а вторая - специальную логику для обработки движущихся изображений (MPEG). Для этого набор команд Alpha был дополнен пятью новыми командами. Самая интересная из них - PERR - служит для оценки движения, т. е. выполнения задачи, возникающей как при сжатии, так и декомпрессии MPEG. Команда PERR выполняет работу девяти обычных инструкций. Таким образом, процессор 21264 может декодировать видеопоследовательности MPEG-2, а также DVD-аудиоданные AC-3 в режиме реального времени без использования дополнительных периферийных устройств.

В процессора 21264 в отличие от его предшественников практически полностью реорганизована иерархия кэш-памяти . Он снабжен одним 64-Кбайт кэшем первого уровня (L1) для инструкций и еще одним 64-Кбайт кэшем первого уровня для данных; оба являются двукратно-ассоциативными. Кэш-память второго уровня (L2) была вынесена за пределы чипа - к ней можно обращаться через 128-бит backside-шину.

[По материалам *В.Михайлов, ComputerWeekly, 41\_98 с.25*]

# Сравнительные характеристики Alpha 21164 и 21264

CPU	21164	21264
Тактовая частота, МГц	600	600
Кэш L1	Емкость:8(I)+8(D)	Емкость: 64(I)+64(D)
Блокируется при числе попаданий равном	2	8
Число ФИУ	4	6
Емкость файла	32(I)	80(I), 2 копии
Регистров	32(FP)	72(FP)
Переименование регистров	нет	да
Внеочередное выполнение команд	нет	да
Динамическое предсказание переходов	да	усовершенствованное
Шина верхнего кэша	системная	выделенная
Поддержка мультимедиа	нет	Да
Число транзисторов	9,3 млн	15,2 млн
Площадь, мм <sup>2</sup>	298	302

# Процессоры PA-RISC компании Hewlett-Packard

Процессор PA-8000 вобрал в себя все известные методы ускорения выполнения команд. В его основе лежит концепция "интеллектуального выполнения", которая базируется на принципе внеочередного выполнения команд. Это свойство позволяет PA-8000 достигать пиковой производительности благодаря широкому использованию механизмов автоматического разрешения конфликтов по данным и управлению аппаратными средствами. Эти средства хорошо дополняют другие архитектурные компоненты, заложенные в структуру кристалла: большое число исполнительных функциональных устройств, средства прогнозирования направления переходов и выполнения команд по предположению, оптимизированная организация кэш-памяти и высокопроизводительный шинный интерфейс.

Высокая производительность РА-8000 во многом определяется наличием большого набора функциональных устройств, который включает в себя 10 исполнительных устройств: два арифметико-логических устройства (АЛУ) для выполнения целочисленных операций, два устройства для выполнения операций сдвига/слияния данных, два устройства для выполнения умножения/сложения чисел с плавающей точкой, два устройства деления/вычисления квадратного корня и два устройства выполнения операций загрузки/записи.

Средства внеочередного выполнения команд процессора РА-8000 обеспечивают аппаратное планирование загрузки конвейеров и лучшее использование функциональных устройств. В каждом такте на выполнение могут выдаваться до четырех команд, которые поступают в 56-строчный буфер переупорядочивания. Этот буфер позволяет поддерживать постоянную занятость функциональных устройств и обеспечивает эффективную минимизацию конфликтов по ресурсам.

Кристалл может анализировать все 56 командных строк одновременно и выдавать в каждом такте по 4 готовых для выполнения команды в функциональные устройства. Это позволяет процессору автоматически выявлять параллелизм уровня выполнения команд.

Суперскалярный процессор PA-8000 обеспечивает полный набор средств выполнения 64-битовых операций, включая адресную арифметику, а также арифметику с фиксированной и плавающей точкой. При этом кристалл полностью сохраняет совместимость с 32-битовыми приложениями и с предыдущими и будущими реализациями PA-RISC. Это первый процессор, в котором реализована 64-битовая архитектура PA-RISC.

# Пиковая производительность современных RISC - процессоров

Микропроцессор	Частота, МГц	Производительность, MFLOPS
DEC Alpha 21164	700	1400
DEC Alpha 21264	800	1600
HP PA-8000	180	720
HP PA-8200	236	944
HP PA-8500	400	1600
SGI/MIPS R10000	250	500
SGI/MIPS R12000	300	600
Sun UltraSPARC II	300	600
Sun UltraSPARC III	600	1200

# Области применения RISC - процессоров

1. Рабочие станции высшего ценового класса (12-15 тыс.\$). Работают под ОС VMS, Unix.
2. Персональные рабочие станции (3-7 тыс. \$). ОС: Windows NT, Solaris.
3. Серверы.
4. RISC ПК.

# Вопросы для самоконтроля

1. С чем связано появление RISC-процессоров?
2. Основные особенности RISC-процессоров.
3. Назовите фирмы-разработчики RISC процессоров.
4. Архитектурные особенности процессоров Alpha.
5. Архитектурные особенности процессора PA-8000.
6. Области применения RISC-процессоров.