### Шины, периферийные устройства, ввод/вывод и прерывания

#### Луцив Дмитрий Вадимович

Кафедра системного программирования СПбГУ





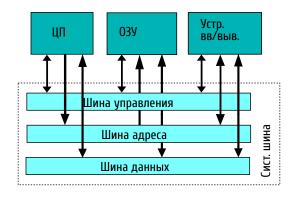
### Содержание

- 🕕 Шины и периферийные устройства
  - Периферийные устройства и контроллеры
- Прерывания
  - Основы аппаратных прерываний
  - Другие способы использования прерываний
- O DMA
  - DMA для высокопроизводительных устройств
  - DMA для устройств реального времени
- 4 Настройка устройств
- 5 Исторически значимые синхронные шины
  - Протокол
  - Устаревшие шины ISA и PCI

### Шины и периферийные устройства

• Периферийные устройства и контроллеры

# Вспоминаем: архитектура фон Неймана



### Оборудование и ПО

- Контроллер устройство в составе ЭВМ, обеспечивающее связь системной шины с внешним устройством
  - Например, контроллер жёсткого диска, контроллер порта USB
- Драйвер устройства ПО, предоставляемое производителем устройства или ОС
  - Реализует низкоуровневые операции работы с устройством
  - Позволяет абстрагироваться от модели оборудования. Например: для прикладного ПО и ОС все принтеры «одинаковые», т.к. разные драйвера принтеров реализует один и тот же стандартный программный интерфейс

### Взаимодействие контроллера с ЦП

### Устройство соединено с системной шиной

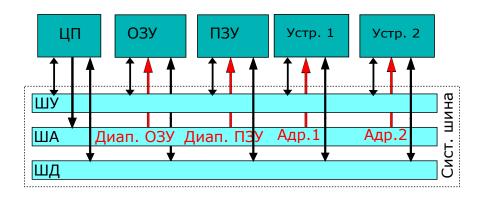
- реагирует на сигнал шины управления «работа с устройствами»
- проверяет, совпадает ли его идентификатор со значением на шине адреса
- по команде на шине управления может прочитать данные с шины данных или записать на неё
- может генерировать аппаратные прерывания (позже), сообщая об этом через шину управления

**Адрес устройства** — его идентификатор. Не является адресом в смысле адреса данных в 03У, но передаётся по шине адреса

- Соединение устройства с шиной порт (port)
- Инструкция записи в порт out адрес, регистр
- Инструкция чтения из порта in адрес, регистр

Порт — аппаратная и программная абстракция: механизм сопряжения контроллера устройства с системной шиной и механизм программного обращения к контроллеру Обычно говорят «номер порта» или «адрес порта». У устройства может быть и несколько портов.

### Внешние устройства и системная шина



### Немного истории

- В ранних и простых ЭВМ типичным было подключение устройств непосредственно к системной шине. Поэтому «порт» — разъём на корпусе и «порт» — способ доступа к устройству были практически синонимами
  - Пример: ZX Spectrum Interface 1 ♂ фактически это был контроллер
- Сейчас разъём на корпусе обычно способ присоединить устройство к контроллеру
  в ПК, а в устройстве «говорить» с контроллером в ПК будет ответный контроллер
  - Пример: универсальный USB-контроллер в ПК и USB-клавиатура со своим внутренним контроллером

### Прерывания

- Основы аппаратных прерываний
- Другие способы использования прерываний

Прерывания 9 / 32

### Ситуации

#### «Системные горячие клавиши»

#### Ctrl+Alt+Del на РС:

- немедленная перезагрузка (DOS)
- завершение и перезагрузка (Linux)
- вызова системного меню (Windows)

При этом ни ОС, ни, тем более, пользовательская программа, не проверяют всё время: не нажали ли Ctrl+Alt+Del?

### Ситуации

#### «Системные горячие клавиши»

#### Ctrl+Alt+Del на РС:

- немедленная перезагрузка (DOS)
- завершение и перезагрузка (Linux)
- вызова системного меню (Windows)

При этом ни ОС, ни, тем более, пользовательская программа, не проверяют всё время: не нажали ли Ctrl+Alt+Del?

• Значит прерывание по Ctrl+Alt+Del на USB-клавиатуре генерируется программно драйвером клавиатуры

10 / 32

### Ситуации

#### «Системные горячие клавиши»

#### Ctrl+Alt+Del на РС:

- немедленная перезагрузка (DOS)
- завершение и перезагрузка (Linux)
- вызова системного меню (Windows)

При этом ни ОС, ни, тем более, пользовательская программа, не проверяют всё время: не нажали ли Ctrl+Alt+Del?

• Значит прерывание по Ctrl+Alt+Del на USB-клавиатуре генерируется программно драйвером клавиатуры

#### Мышь

- Ни прикладные программы, ни ОС не опрашивают мышь постоянно
- Тем не менее «что-то» реагирует на движение мыши и отображает на экране движущийся указатель

Прерывания Основы аппаратных прерываний

10 / 32

### Аппаратное прерывание

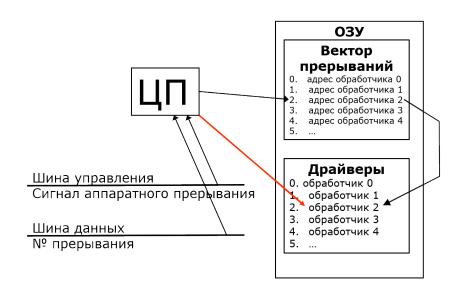
**Аппаратное прерывание** — сигнал, сообщающий ЦП о возникновении ситуации, требующей немедленной обработки

- Обычно этот сигнал генерируют контроллеры внешних устройств
- Обработка ситуации выполняется программно
- Текущая выполняемая программа «не замечает» того, что процессор «отвлёкся», и после обработки ситуации продолжается

### Обработка прерываний

- Запускается и работает ОС
  - ОС регистрирует адреса специальных процедур обработчиков прерываний;
    обработчик прерывания часть драйвера устройства
  - Прерываний от разных устройств множество (они имеют номера), адреса обработчиков помещаются в специальный массив в ОЗУ — вектор прерываний
- Запускается и работает прикладное ПО
  - Выполняется программа
  - Получив сигнал от устройства (например, мыши), контроллер посылает сигнал ЦП о необходимости его обработки (проверить, на сколько переместили мышь, какие кнопки нажали)
  - ЦП заканчивает выполнение очередной инструкции, а вместо следующей производит вызов процедуры — обработчика прерывания. Эта процедура — не часть прикладной программы
  - После завершения обработчика прерывания продолжается выполнение прикладной программы

Прерывания Основы аппаратных прерываний 🗓



13 / 32

# Обработка прерываний

### Прикладное ПО

- double calculate(...)
  - ..
  - ...
  - . ...
- int main()
  - ..
    - double r = calculate(...)
    - ..
    - .
    - . <sub>.</sub> .

### Драйвер мыши

- read\_mouse\_state()
  - ..

  - interrupt\_handler()
    - .
    - read\_mouse\_state()
    - ...

### Косвенный вызов АРІ ОС (в недавнем прошлом)

- Прерывание генерируется программно, на PC машинная команда int <номер>
- Вектор прерываний фактически хранит адреса части системных функций
- Это позволяет менять адреса системного кода, не меняя машинного кода пользовательских программ

#### Где это использовалось?

- Вызов API BIOS для управления графикой (int 10h) и DOS (int 21h)
  - Пример

```
mov ah, 0eh ; function number = 0Eh : Display Character mov al, '!' ; AL = code of character to display int 10h ; call INT 10h, BIOS video service
```

- Вызов API ядра Windows (int 2Eh)
- Вызов API ядра Linux (int 80h)

Этот способ удобный, но механизм прерываний небыстрый

### Вызов АРІ ОС в наши дни

 Windows и Linux используют специально разработанные инструкции (syscall, sysenter) и техники (vDSO). Подробнее здесь

# Обработка внутренних событий ЦП

Вызов драйвера виртуальной памяти, когда страница памяти выгружена или не проинициализирована

### Обработка внутренних событий ЦП

Вызов драйвера виртуальной памяти, когда страница памяти выгружена или не проинициализирована

0 виртуальной памяти позже

#### **DMA**

- DMA для высокопроизводительных устройств
- DMA для устройств реального времени

DMA 18 / 32

#### Что такое DMA?

Внешние устройства могут передавать значительные объёмы информации. Основные способы взаимодействия:

- Чтение и запись в порты. Обмен небольшими порциями данных загружает ЦП
- Выделение контроллеру устройства области памяти и выдача команд, которые выполняются отложено

### Что такое DMA?

Внешние устройства могут передавать значительные объёмы информации. Основные способы взаимодействия:

- Чтение и запись в порты. Обмен небольшими порциями данных загружает ЦП
- Выделение контроллеру устройства области памяти и выдача команд, которые выполняются отложено

DMA (Direct Memory Access) — механизм прямого обмена данными между оперативной памятью и контроллерами устройств

DMA — подвид memory-mapped I/O, в противоположность port-mapped I/O.

Механизм поддерживается многими контроллерами устройств, предназначенными для передачи значительных объёмов данных. Для небольших данных (например, работа с системными часами) необходимости его использовать нет.

# Сообщение о завершении операции

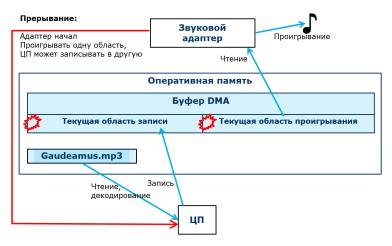
Для того чтобы сообщить о завершении операции, контроллер генерирует аппаратное прерывание. Обработчик прерывания находится в драйвере соответствующего устройства

### DMA для потоковых устройств реального времени

А когда Sound Blaster «доиграет» фрагмент звука, он сгенерирует прерывание, и будет ждать, пока ЦП не выдаст ему ещё данных?..

### DMA для потоковых устройств реального времени

А когда Sound Blaster «доиграет» фрагмент звука, он сгенерирует прерывание, и будет ждать, пока ЦП не выдаст ему ещё данных?..

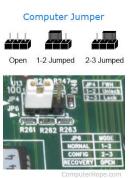


# Настройка устройств

Настройка устройств 22 / 32

### Как настраивалось оборудование до середины 1990-х?

#### Классический способ — jumpers, DIP switches



Настраивались *системные ресурсы* — адреса портов, характеристики DMA, номера аппаратных прерываний. Пример Sound Blaster для DOS: Port 220, IRQ 7, DMA 1

Настройка устройств

### Как настраивается оборудование сейчас?

- С середины 1980-х разные технологии для передачи метаданных по системной шине
- Первая широко внедрённая Plug-n-Play. Первая широко использующая ОС для РС

— Windows 95 (жаргон конца 1990-х — Plug and Pray)

Настройка устройств 24 / 32

### Как настраивается оборудование сейчас?

- С середины 1980-х разные технологии для передачи метаданных по системной шине
- Первая широко внедрённая Plug-n-Play. Первая широко использующая ОС для РС
  Windows 95 (жаргон конца 1990-х Plug and Pray)

Посмотреть, какие ресурсы выделены устройствам в популярных ОС можно:

- B Windows при помощи Диспетчера устройств
- B Linux при помощи lsdev (собирает информацию из /proc/interrupts, /proc/ioports и /proc/dma)

Настройка устройств 24 / 32

### Исторически значимые синхронные шины

- Протокол
- Устаревшие шины ISA и PCI

### Что такое протокол?

Протокол — набор соглашений о способах передачи данных различных видов

### Что такое протокол?

Протокол — набор соглашений о способах передачи данных различных видов

- Определение аналогично определению кодировки
- Протоколы могут инкапсулировать и расширять друг друга

### Что такое протокол?

Протокол — набор соглашений о способах передачи данных различных видов

- Определение аналогично определению кодировки
- Протоколы могут инкапсулировать и расширять друг друга

Пример: модель ISO/OSI ♂, в которой высокоуровневые протоколы инкапсулированы в низкоуровневые

### Industry Standard Architecture (ISA)

- «Родная» шина IBM РС: разъёмы ISA ☐ позволяли непосредственно подключить устройство к системной шине
- 8, затем 16-разрядная
- В компьютерах с 32-битной шиной данных (процессоры 80386 и новее) для общения с 16- и 8-разрядными устройствами шина переходила в специальный режим
- Поздние версии уже поддерживали Plug-and-Play, хотя и с трудом

### Industry Standard Architecture (ISA)

- «Родная» шина IBM РС: разъёмы ISA ☐ позволяли непосредственно подключить устройство к системной шине
- 8, затем 16-разрядная
- В компьютерах с 32-битной шиной данных (процессоры 80386 и новее) для общения с 16- и 8-разрядными устройствами шина переходила в специальный режим
- Поздние версии уже поддерживали Plug-and-Play, хотя и с трудом
- Изредка используется до сих пор

### Peripheral Component Interconnect (PCI)

- 32-разрядная 🗗 (немногие реализации 64-разрядные)
- Отделена от процессора:
  - Взаимодействие с устройствами по специальному протоколу
  - Поддерживаются арбитраж, связь нескольких шин друг с другом

### Peripheral Component Interconnect (PCI)

- 32-разрядная 🗗 (немногие реализации 64-разрядные)
- Отделена от процессора:
  - Взаимодействие с устройствами по специальному протоколу
  - Поддерживаются арбитраж, связь нескольких шин друг с другом
- Есть вариант разъёма для ноутбуков Mini PCI

### Протокол РСІ

- РСІ поддерживает несколько видов сообщений, биты каждого из которых передаются смешанно последовательно-параллельно: по много бит, но несколькими последовательными сигналами
- Примеры сообщений
  - Чтение или запись в ОЗУ
  - Чтение или запись в порт
  - Сообщения для настройки устройства
  - ο.

### Протокол РСІ

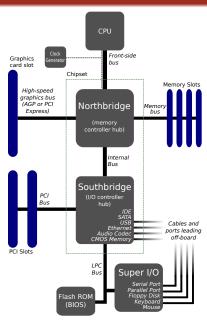
- РСІ поддерживает несколько видов сообщений, биты каждого из которых передаются смешанно последовательно-параллельно: по много бит, но несколькими последовательными сигналами
- Примеры сообщений 🗗 :
  - Чтение или запись в ОЗУ
  - Чтение или запись в порт
  - Сообщения для настройки устройства
  - .

А зачем последовательные сигналы? Для экономии количества проводов и контактов. А почему это важно? А об этом позже =)

### Северный и южный мосты в машине с шиной РСІ

Доосмысление принципа фон Неймана: иерархия запоминающих устройств — иерархия шин  $\ ^{\circ}$ :

- Ближе к процессору через северный мост, быстро и немного
- Дальше от процессора через южный мост, медленно, много, и «зоопарк»



### Упражнения и вопросы

#### **Упражнения**

- Выберите несколько внутренних контроллеров своего ПК, выясните, какие системные ресурсы им выделены
- Идентифицируйте внутренние разъёмы расширения системной платы своего ПК

### Вопросы

- Что такое аппаратное прерывание?
- Что такое драйвер, контроллер и порт?
- Что такое вектор и обработчик прерываний?
- Опишите принцип работы механизма DMA
- Каковы особенности DMA для устройств реального времени?
- Что такое северный и южный мосты?
- Что такое протокол?
- Чем отличаются шины РСІ и ISA?

# Вопросы



EDU.DLUCIV.NAME ☐