Лекция 3.1
Работа с PCI

Разработал: Максимов А.Н.

Версия 1.2. 01.2024

Содержание

- Найти сетевую карту на компьютере и определить ее vendor di, device id
- Разработать символьный драйвер для PCI устройства, который возвращает через IOCTL MAC адрес сетевой карты

PCI обзор

PCI (Peripheral component interconnect) - системная шина для подключения периферийных устройств.

Стандарт на шину PCI определяет:

- физические параметры (например, разъёмы и разводку сигнальных линий);
- электрические параметры (например, напряжения);
- логическую модель (типы циклов шины, адресацию на шине и т.д.);

Развитием стандарта PCI занимается организация PCI Special Interest Group. Дополнительную информаицию о PSI SIG можна найти на www.pcisig.com

Шины семейства PCI.

PCI это высокоскоростная шина для обмена между CPU и устройствами в.в. Спецификация PCI позвоялет перадавать 32 бита данных по параллельной шине с частотой 33 или 66 Мгц. Пиковая пропускная способность шины 266 Mbs.

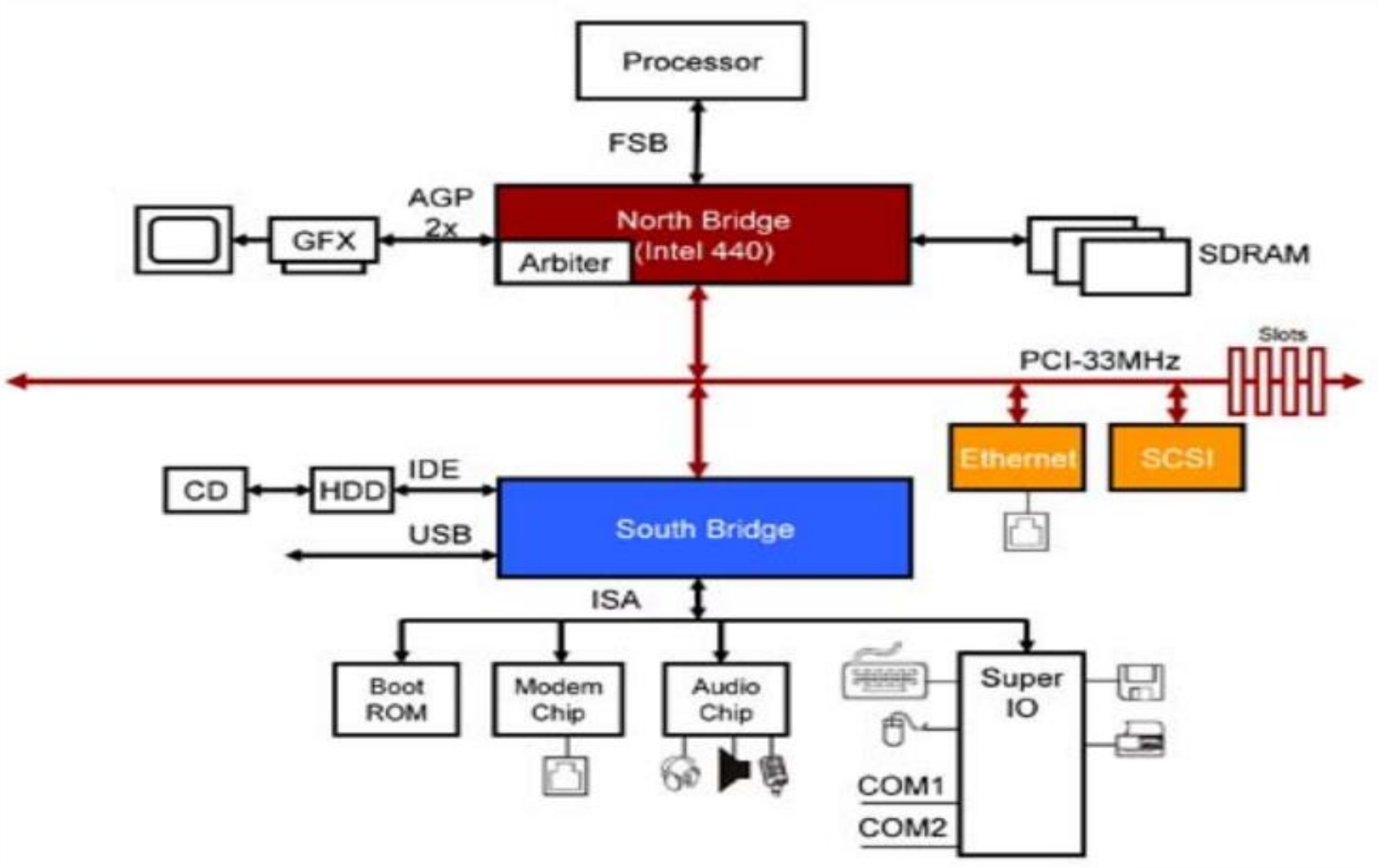
CardBus логически и электрически представляет собой полноценную 32-разрядную шину PCI, работающую на частоте 33 МГц, механические размеры и разъёмы позаимствованы у шины PCMCIA. Устройства CardBus могут поддерживать DMA.

Mini PCI версия шины PCI для использования в ноутбуках стандартизированная в рамках стандарта PCI версии 2.2. Использует 32-разрядную шину PCI, работающую на частоте 33 МГц. PCI устройства могут быть подключены к шине mini PCI через переходник.

PCI-X (PCI **eXtended)** 64 разрядное расширение шины PCI для использования в сервеных приложениях. Разработана в 1998 IBM, HP и Compaq. Частота шины может различноной от 66 (PCI-X версия 1.0) до 533 МГц(PCI-X версия 2.0). Пропускная способность от 1.06 Гб/с в первоначальной реализации до 4.3 Гб/с у версии 2.0.

PCI Express (PCIe или PCI-E) дальнейшее развитие технологии PCI. PCIe использует последовательную шину для передачи данных. PCIe поддерживает до 32 последовательных линков. Каждый PCIe лину имеет пропускную способность до 250Мб/с в каждом направлении обеспечивая до 8Гб/с в каждом направлении. Текущая ваеряис спецификации - PCIe 2.0.

Типичная архитектура системы с PCI



Работа с PCI

- Linux предоставляет специальные функции для определения куда физически отображается область памяти
- Функции шины PCI (Peripheral Component Interconnect) определены в стандарте на шину
- Устройство на шине идентифицируется парой значений:

```
#define VENDOR_ID    0x1039
#define DEVICE_ID    0x6325
```

Посмотреть перечень pci устройств

Для получения иформации можно воспользоваться утилитой

apt-get install pciutils

lspci -n

02:00.0 0604: 8086:032c (rev 09)

03:00.0 0c04: 1077:2312 (rev 02)

03:00.1 0c04: 1077:2312 (rev 02)

04:00.0 0200: 14e4:1659 (rev 21)

05:00.0 0200: 14e4:1659 (rev 21)

lspci -vvv

Посмотреть перечень pci устройств

Ядро Linux представляет устройства PCI как псевдоустройства в файловой системе sysfs

ls -la /sys/bus/pci/devices

drwxr-xr-x 2 root root 0 2023-08-03 10:38 .

drwxr-xr-x 5 root root 0 2023-08-03 10:38 ..

lrwxrwxrwx 1 root root 0 2023-08-03 10:38 0000:00:00.0 -> ../../../devices/pci0000:00/0000:00:00.0

lrwxrwxrwx 1 root root 0 2023-08-03 10:38 0000:00:01.0 -> ../../../devices/pci0000:00/0000:00:01.0

lrwxrwxrwx 1 root root 0 2023-08-03 10:38 0000:00:01.1 -> ../../../devices/pci0000:00/0000:00:01.

Информация об устройстве

Более детально:

lrwxrwxrwx 1 root root 0 2023-08-03 10:38 0000:04:00.0 -> ../../../devices/pci0000:00/0000:00:0b.0/0000:04:00.0

0000 : PCI domain (each domain can contain up to 256 PCI buses)

04 : the bus number the device is attached to

00 : the device number

.0 : PCI device function

cd 0000:04:00.0

$ ls –la

-r--r--r-- 1 root root 4096 2023-08-03 10:38 class

-rw-r--r-- 1 root root 4096 2023-08-03 11:34 config

-r--r--r-- 1 root root 4096 2023-08-03 10:38 device

lrwxrwxrwx 1 root root 0 2023-08-03 10:38 driver -> ../../../../bus/pci/drivers/tg3

...

-r--r--r-- 1 root root 4096 2023-08-03 10:38 subsystem_device

-r--r--r-- 1 root root 4096 2023-08-03 10:38 subsystem_vendor

-r--r--r-- 1 root root 4096 2023-08-03 10:38 vendor

Работа с PCI. Области памяти

- CPU и устройство на шине PCI обмениваются информацией через общую память. Обычно разделяемая память содержит регистры команд и статусные регистры Переферийные устройства обладают собственной памятью. CPU может обращаться к этой памяти. Доступ устройства к памяти системы осуществляется при помощи механизма DMA

- Для шины PCI есть три области адресов:
  - PCI Configuration
  - PCI I/O
  - PCI Memory

Работа с PCI

- Linux предоставляет специальные функции для определения куда физически отображается область памяти
- Функции шины PCI (Peripheral Component Interconnect) определены в стандарте на шину
- Устройство на шине идентифицируется парой значений:

```
#define VENDOR_ID    0x1039
#define DEVICE_ID 0x6325
```

Работа с PCI. Области памяти

- CPU и устройство на шине PCI обмениваются информацией через общую память. Обычно разделяемая память содержит регистры команд и статусные регистры Переферийные устройства обладают собственной памятью. CPU может обращаться к этой памяти. Доступ устройства к памяти системы осуществляется при помощи механизма DMA

- Для шины PCI есть три области адресов:
  - PCI Configuration
  - PCI I/O
  - PCI Memory

Работа с PCI. Конфигурационная область

PCI Configuration

32 байта

31			0	Dwords
Status Register		Command Register	Device ID / Vendor ID	1 - 0
BIST / Header Type		Latency Timer / Cache Line Size	Class Code Class/SubClass/ProgIF / Revision ID	3 - 2
Base Address 1			Base Address 0	5 - 4
Base Address 3			Base Address 2	7 - 6
Base Address 5			Base Address 4	9 - 8
Subsystem Device ID		Subsystem Vendor ID	CardBus CIS Pointer	11 - 10
reserved		capabilities pointer	Expansion ROM Base Address	13 - 12
Maximum Latency	Minimum Grant	Interrupt Pin / Interrupt Line	reserved	15 - 14

Модель устройств. Bus PCI

Шина PCI в каталоге /sys/bus/pci/ имеет две директории : 'devices' and 'drivers'.

PCI bus сопоставляет устройства сравнивая PCI Device ID для всех устройств и драйверов.

```
struct bus_type pci_bus_type = {
  .name       = "pci",
  .match      = pci_bus_match,
  .uevent     = pci_uevent,
  .probe      = pci_device_probe,
  .remove     = pci_device_remove,
  .shutdown   = pci_device_shutdown,
  .dev_attrs  = pci_dev_attrs,
  .pm         = PCI_PM_OPS_PTR,
};
```

(*linux-2.6.28\drivers\pci\pci-driver.c*)

Драйвер PCI

pci driver должен выполнить следующие задачи в init_module:

- Определить struct pci_driver
- Инициализировать struct pci_driver structure
- Зарегистрироватьstruct pci_driver pci_register_driver

Структура struct pci_driver включает структуру device_driver для регистрации в модели устройств .

```
struct pci_driver {
    struct list_head node;
    char *name;
    const struct pci_device_id *id_table;

    int  (*probe)  (struct pci_dev *dev, const struct
pci_device_id *id);
     void (*remove) (struct pci_dev *dev);
      int  (*suspend) (struct pci_dev *dev,
pm_message_t state);
      int  (*suspend_late) (struct pci_dev *dev,
pm_message_t state);
      int  (*resume_early) (struct pci_dev *dev);
       int  (*resume) (struct pci_dev *dev);
void (*shutdown) (struct pci_dev *dev);

      struct pm_ext_ops *pm;
      struct pci_error_handlers *err_handler;
      struct device_driver    driver;
      struct pci_dynids dynids;
};
```

(*linux-XXX\include\linux\pci.h*)

Функции pci_driver

int (*probe) (struct pci_dev *dev, const struct pci_device_id *id); // Вставить устройство.

void (*remove) (struct pci_dev *dev); // Удалить устройство (NULL если устройство не HOT plug)

int (*suspend) (struct pci_dev *dev, pm_message_t state); // Усыпить

int (*suspend_late) (struct pci_dev *dev, pm_message_t state);

int (*resume_early) (struct pci_dev *dev);

int (*resume) (struct pci_dev *dev); //Пробудить

void (*shutdown) (struct pci_dev *dev);

Пример

```
#include <linux/pci.h>
static struct pci_device_id rtl8139_pci_tbl[] = {
      {0x10ec, 0x8139, PCI_ANY_ID, PCI_ANY_ID, 0, 0, RTL8139 },
      {0x10ec, 0x8138, PCI_ANY_ID, PCI_ANY_ID, 0, 0, RTL8139 },
     {0,}
};
MODULE_DEVICE_TABLE (pci, rtl8139_pci_tbl)

static struct pci_driver rtl8139_pci_driver = {
      .name        =  "foo8139",
      .id_table     =  rtl8139_pci_tbl,
      .probe        =   foo_probe,
      .remove      =   foo_remove,
};

static int init_module (void) {
   return pci_register_driver(&rtl8139_pci_driver);
}
```

Пример

```
int foo_probe(struct pci_dev *dev, const struct pci_device_id *id) // Реализация probe
{
  port_addr = pci_resource_start(dev,0);
  major = register_chrdev(0,"MyPCI",&fops);

  printk(KERN_INFO "Load driver PCI %d\n",major);
  return 0;
}

void foo_remove(struct pci_dev *dev)
{
    unregister_chrdev(major,"MyPCI");
}

void cleanup_module(void)
{
   pci_unregister_driver(&rtl8139_pci_driver);
}
```

Нахождение устройства на шине PCI

```
int  fooprobe  (struct pci_dev *dm7820_pci, const struct pci_device_id *id) {

  printk ("Get physics BAR0...");
  dm7820_PCIMem.real = pci_resource_start (dm7820_pci,0);
  dm7820_PCIMem.size = pci_resource_len   (dm7820_pci,0);
  if ((dm7820_PCIMem.real==0)||(dm7820_PCIMem.size==0))
      {printk ("failed.\n"); return -1;}
  else
      printk ("%u...OK.\n",(uint32)dm7820_PCIMem.real);
  printk ("Checks physics BAR0...");
  if (pci_resource_flags (dm7820_pci,0)&IORESOURCE_MEM)
     printk ("OK.\n");
  else {printk ("failed.\n"); return -1;}
  printk ("Get virtual BAR0...");
  dm7820_PCIMem.virtual=ioremap(dm7820_PCIMem.real,dm7820_PCIMem.size);
  if (dm7820_PCIMem.virtual==0) {printk ("failed.\n"); return -1;}
  else  printk ("%u...OK.\n",(uint32)dm7820_PCIMem.virtual);
  printk ("Request region BAR0...\t\t");
  if (request_mem_region (dm7820_PCIMem.real,dm7820_PCIMem.size,DM7820_NAME))
printk ("OK.\n");
  else {printk ("failed.\n"); return -1;
}
```

ioremap_nocache исключена и зменана на ioremap

Задание

Разработать минимальный драйвер для pci адаптера сетевой карты.

Драйвер должен:

-Иметь функции probe, remove

-Регистрироваться в системе

Предварительно необходимо:

1.Посмотреть при помощи lspci vendor_id, device_id сетевого адаптера realtek

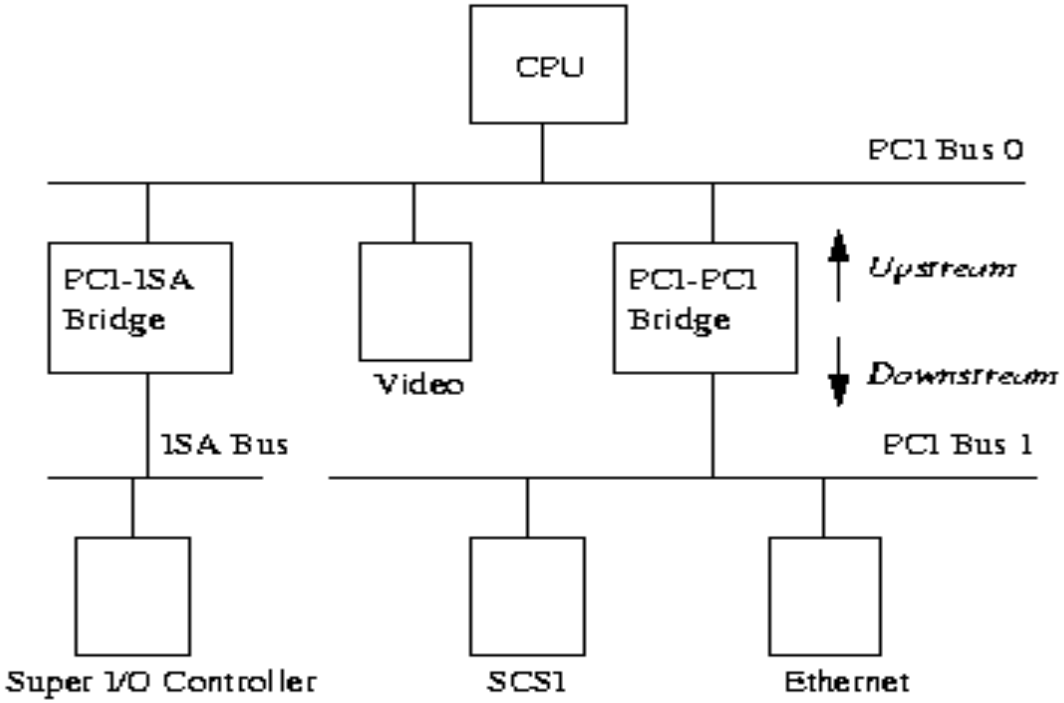
2.Посмотреть и записать MAC адрес сетевого адаптера realtek

3.Выключить сетевой адаптер при помощи sudo ifconfig *eth0* down (или sudo ifdown *eth0*)

4.Выгрузить модуль сетевого драйвера realtek

Пример архитектуры системы

Работа с памятью



Взаимодействие с устройством

Устройства взаимодействуют в CPU через специальные регистры:

- управляющий регистр;
- регистр состояния;
- входной регистр;
- выходной регистр.

Регистры могут:

- расположены в специальном адресном пространстве (в пространстве портов ввода/вывода);
- отображаться в память.

Операции чтения обмена с устройствами могут дать неожиданный результат

Получение доступа к портам ввода-вывода

```
#include <linux/ioport.h>
struct resource *request_region(unsigned long first, unsigned long n,
const char *name);

void release_region(unsigned long start, unsigned long n);

int check_region(unsigned long first, unsigned long n); /*Устарела с версии 2.4.xx*/
```

Посмотреть распределение портов можно:

/proc/ioports

Команды для работы взаимодействия через порты в.в.

- *Bytes*

unsigned inb(unsigned port);

void outb(unsigned char byte, unsigned port);

- Words

unsigned inw(unsigned port);

void outw(unsigned char byte, unsigned port);

- *“Long" integers*

unsigned inl(unsigned port);

void outl(unsigned char byte, unsigned port);

Реализация функций может отличаться на разных платформах.

Команды для работы взаимодействия через порты в.в.

- *byte strings*

void insb(unsigned port, void *addr, unsigned long count);

void outsb(unsigned port, void *addr, unsigned long count);

- *word strings*

void insw(unsigned port, void *addr, unsigned long count);

void outsw(unsigned port, void *addr, unsigned long count);

- long strings

void insl(unsigned port, void *addr, unsigned long count);

void outsl(unsigned port, void *addr, unsigned long count);

Передача нескольких значений. Может быть более эффективно, чем соответствующий цикл на C, если у процессора есть специальные команды

Получение адреса области портов ввода-вывода.

Адрес области портов ввода вывода может быть получен:

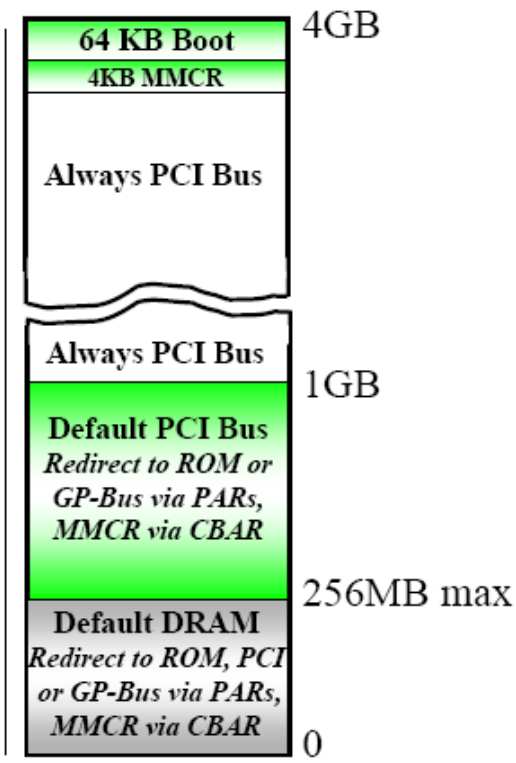
- Через параметры модуля;
- Известен заранее и закодирован в драйвере
- Запрошен у платформы
- Прочитан из области конфигурирования шины PCI

Практический пример.

Чтение портов ввода-вывода. Реализовать макросы изменения, установки и очистки бит в регистрах.

Обмен через память

- Обмен через область разделяемой памяти - наиболее распространенный способ взаимодействия.
- При взаимодействии важен порядок операций.
- Иногда возникает неожиданный результат



Резервирование области памяти

Область память должна быть выделена до использования. Функции определены в <linux/ioports.h>

struct resource * request_mem_region(unsigned long start,unsigned long len, char *name);

- возвращает NULL, если ошибка

void release_mem_region(unsigned long start,unsigned long len);

Уточнить назначение регионов памяти можно в **/proc/iomem**

Отображение памяти ввода-вывода в виртуальную память ядра

Для обращения к разделяемой памяти драйверу необходим виртуальный адрес области памяти.

Для реализации этой задачи используется функция ioremap:

```
#include <asm/io.h>;
void *ioremap(unsigned long phys_addr,unsigned long size);
```

(реализация ioremap_nocash аналогична ioremap на большинстве платформ)

Функция возвращает виртуальный адрес, соответствующий заданному физическому или NULL в случае неудачи.

```
void iounmap(void *address);
```

Отличие от обычной памяти

- Запросы чтения и записи могут быть кэшированы
- Компилятор может произвести оптимизацию и использовать регистры вместо памяти
- Компилятор может произвести изменение порядка команд
- CPU может переупорядочить команды

Решение проблем с памятью

- Кэширование I/O портов и памяти в.в. запрещается аппаратно или ядром Linux
- Можно использовать квалификатор volatile
- Для указания компилятору того, что нельзя использовать регистры вместо записи в память.
- Для предотвращения изменения порядка можно использовать барьеры памяти (Memory barriers).

Memory barriers. Логика работы

Барьер вставляется между операциями, которые должны быть видны аппаратуре в определенном порядке.

Пример:

```
writel(dev->registers.addr, io_destination_address);  // Подготовка данных
writel(dev->registers.size, io_size);                  // Подготовка данных
writel(dev->registers.operation, DEV_READ);            // Подготовка данных
wmb( );   // БАРЬЕР НА ЗАПИСЬ – гарантирует, что все команды записи, указанные до него выполнены
writel(dev->registers.control, DEV_GO);
```

Memory barriers

Барьер вставляется между операциями, которые должны быть видны аппаратуре в определенном порядке.

Аппаратно независимые. Влияют только на поведение компилятора. Не влияют не переупорядочивание CPU

#include <asm/kernel.h>

void barrier(void);

Аппаратно зависимые

#include <asm/system.h>

void rmb(void);

void wmb(void);

void mb(void);

Безопасны на всех архитектурах.

Еще один пример использования барьеров

```
while (count--) {
outb(*(ptr++), port);
wmb( );
}
```

Запись необходимо произвести сейчас, без оптимизации.

Функции обмена через разделяемую память в.в.

Для обеспечения портабельности кода лучше использовать специальные функции:

unsigned int ioread8(void *addr);

unsigned int ioread16(void *addr);

unsigned int ioread32(void *addr);

void iowrite8(u8 value, void *addr);

void iowrite16(u16 value, void *addr);

void iowrite32(u32 value, void *addr);

Чтение или запись нескольких байт:

void ioread8_rep(void *addr, void *buf, unsigned long count);

void ioread16_rep(void *addr, void *buf, unsigned long count);

void ioread32_rep(void *addr, void *buf, unsigned long count);

void iowrite8_rep(void *addr, const void *buf, unsigned long count);

void iowrite16_rep(void *addr, const void *buf, unsigned long count);

void iowrite32_rep(void *addr, const void *buf, unsigned long count);

Дополнительные утилиты:

void memset_io(void *addr, u8 value, unsigned int count);

void memcpy_fromio(void *dest, void *source, unsigned int count);

void memcpy_toio(void *dest, void *source, unsigned int count);

Непосредственное чтение или запись по адресу полученному от ioremap может не работать на

Как узнать параметры области память в.в

- Современные периферийные устройства для PC не используют фиксированных адресов памяти
- Устройство получает физический адрес неиспользованной области памяти CPU в процессе конфигурирования системы (обычно это обязанность BIOS)
- Расположение и размер области памяти запоминается в специальной non-volatile battery-powered RAM ('configuration memory')

Пример работы с памятью в.в

```
printk ("Get virtual BAR...\t\t");
  device->virtual=ioremap_nocache (device->real,device->size);
  if (device->virtual==0) {printk ("failed.\n"); return -1;} else  printk
("%u...OK.\n",(uint32)device->virtual);


  printk ("Request region BAR...\t\t");
  if (request_mem_region (device->real,device->size,CAN527_NAME)) printk
("OK.\n"); else {printk ("failed.\n"); return -1;}


  printk ("Set IRQ...");
  status=request_irq(device->irq,device-
>irq_handler,SA_SHIRQ,CAN527_NAME,device);
  if (status!=0) {printk ("failed.\n"); return -1;} else  printk ("%i...OK.\n",device->irq);
```

Литература

1. **Meetup Toulouse, Understanding D-Bus** https://bootlin.com/pub/conferences/2016/meetup/dbus/josserand-dbus-meetup.pdf
2. http://woody2143.github.io/desktop/2016/01/19/running-scripts-on-screen-lockunlock.html
3. **http://www.opopop.net/Harnessing_DBus/**
4. **How to identify what processes are consuming dbus sockets?** https://access.redhat.com/solutions/438023
5. **https://michlstechblog.info/blog/linux-list-all-available-service-at-dbus/**

RISoft