Linux设备驱动开发

主讲：宋宝华

www.farsight.com.cn

今天的内容

- Linux设备驱动的现状
- 从non-os驱动到Linux驱动
- 内核设施
  - 自旋锁、信号量、互斥量、完成量
  - 异步通知、信号
  - 阻塞与非阻塞
  - 内存与I/O操作，DMA
  - 中断，top half/bottom half
- 字符设备驱动
- 复杂设备驱动的框架
  - LCD设备FRAMEBUFFER
  - FLASH设备MTD
  - TTY设备
  - 块设备
- 用户空间的设备驱动
- 设备驱动开发流程
  - 开发环境建设
  - 调试手段
  - 用户空间测试
- 设备驱动的学习方法

FARSIGHT

Linux设备驱动的现状

- 高需求
  - Linux内核的绝大多数代码为设备驱动
  - 新设备、新芯片、新驱动的需求
- 高门槛
  - 涉及到大量硬件操作
  - 涉及到内核基础知识
  - 涉及到并发控制与同步
  - 复杂的软件结构框架
- 高回报

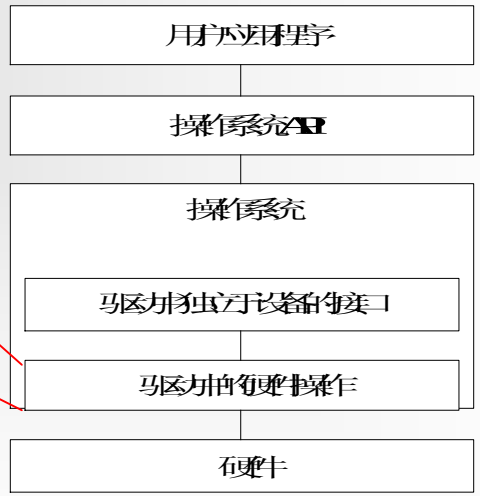
FARSIGHT

华清远见

从non-os驱动到Linux驱动

- non-os驱动
  - 单刀直入　简单　直接提供API
- Linux驱动
  - 兵团战役　复杂　间接提供API

non-os驱动与应用



on-os驱动与应用

FARSIGHT

并发和竞态

并发和竞态：

- 对称多处理器（SMP）的多个CPU
- 单CPU内进程与抢占它的进程
- 中断（硬中断、软中断、Tasklet、底半部）与进程之间

处理思路：

```
lock() //锁定，拿虎符
. . .
critical section //临界区，调动军队
. . .
unlock()  //解锁定，归还虎符
```

常用方法：

- 中断屏蔽
- 原子操作
- 自旋锁
- 信号量
- 互斥体

FARSIGHT

原子变量

接口

- 整型原子操作
- 设置原子变量的值
- *void atomic_set(atomic_t *v, int i); //设置原子变量的值为i*
- *atomic_t v = ATOMIC_INIT(0); //定义原子变量v并初始化为0*
- 获取原子变量的值
- *atomic_read(atomic_t *v); //返回原子变量的值*
- 原子变量加/减
- *void atomic_add(int i, atomic_t *v); //原子变量增加i*
- *void atomic_sub(int i, atomic_t *v); //原子变量减少i*
- 原子变量自增/自减
- *void atomic_inc(atomic_t *v); //原子变量增加1*
- *void atomic_dec(atomic_t *v); //原子变量减少1*
- 操作并测试
- *int atomic_inc_and_test(atomic_t *v);*
- *int atomic_dec_and_test(atomic_t *v);*
- *int atomic_sub_and_test(int i, atomic_t *v);*
- 操作并返回
- *int atomic_add_return(int i, atomic_t *v);*
- *int atomic_sub_return(int i, atomic_t *v);*
- *int atomic_inc_return(atomic_t *v);*
- *int atomic_dec_return(atomic_t *v);*
- 位原子操作
- 设置/清除/反转位
- *void set_bit(nr, void *addr);*
- *void clear_bit(nr, void *addr);*
- *void change_bit(nr, void *addr);*
- 测试位
- *test_bit(nr, void *addr);*
- 测试并操作位
- *int test_and_set_bit(nr, void *addr);*
- *int test_and_clear_bit(nr, void *addr);*
- *int test_and_change_bit(nr, void *addr);*

FARSIGHT

自旋锁 VS 信号量

- 自旋锁：
  - 忙等待，无调度开销
  - 进程抢占被禁止
  - 锁定期间不能睡觉

```
spinlock_t lock;
spin_lock_init(&lock);

spin_lock (&lock) ; //获取自旋锁，保护临界区
. . ./ /临界区
spin_unlock (&lock) ; //解锁
```

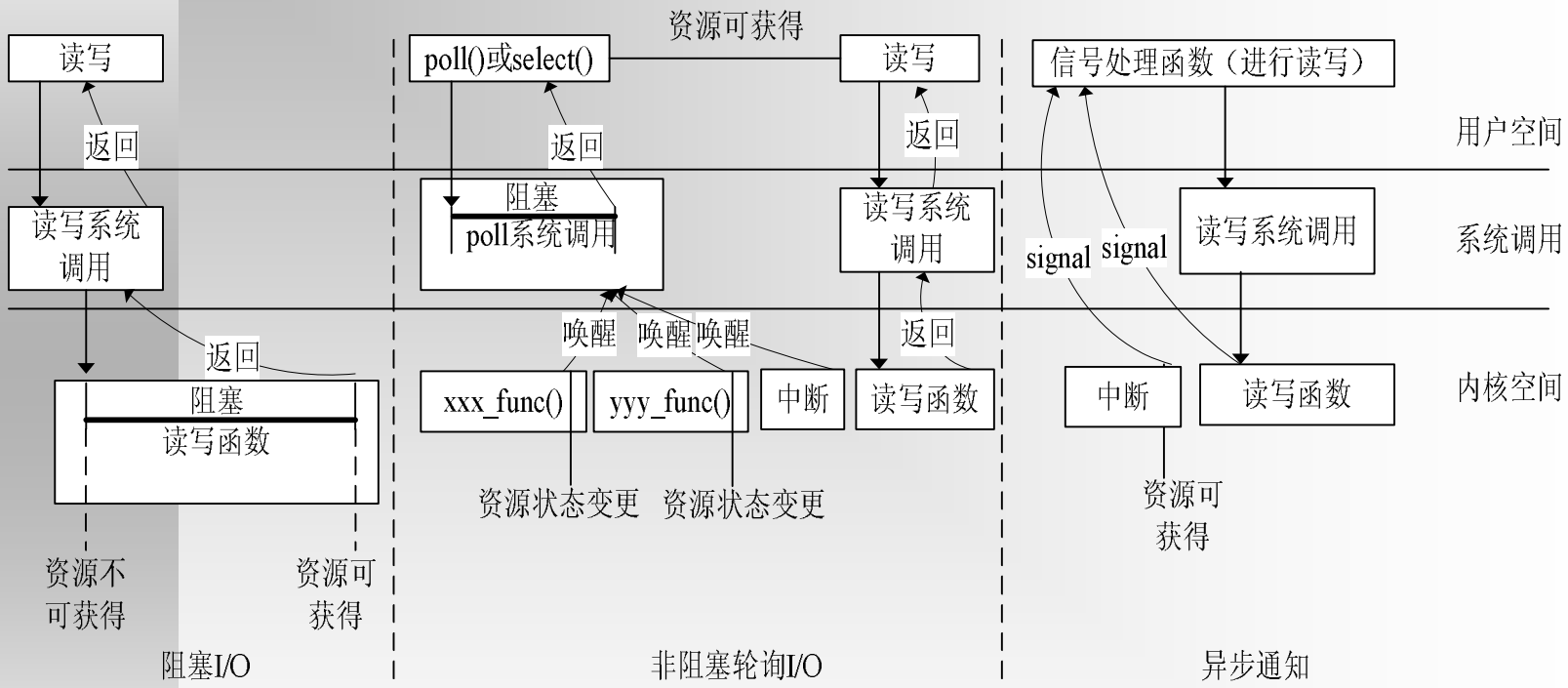
- 信号量
  - 拿不到就切换进程，有调度开销
  - 锁定期间可以睡觉，不用于中断上下文

```
//定义信号量
DECLARE_MUTEX(mount_sem);
down(&mount_sem);//获取信号量，保护临界区
. . .
critical section //临界区
. . .
up(&mount_sem);//释放信号量
```

FARSIGHT

华清远见

设备访问方式



FARSIGHT

阻塞非阻塞

等待队列：进程等待被唤醒的一种机制

阻塞与非阻塞使用模板

```
1  static ssize_t xxx_write(struct file *file, const char *buffer, size_t count,
2    loff_t *ppos)
3  {
4    ...
5    DECLARE_WAITQUEUE(wait, current); //定义等待队列
6    add_wait_queue(&xxx_wait, &wait);  //添加等待队列
7
8    ret = count;
9    /* 等待设备缓冲区可写 */
10   do
11   {
12     avail = device_writable(...);
13     if (avail < 0)
14       __set_current_state(TASK_INTERRUPTIBLE);//改变进程状态
15
16     if (avail < 0)
17     {
18       if (file->f_flags &O_NONBLOCK)  //非阻塞
19       {
20         if (!ret)
21           ret =  - EAGAIN;
22         goto out;
23       }
24       schedule();   //调度其他进程执行
25       if (signal_pending(current))//如果是因为信号唤醒
26       {
27         if (!ret)
28           ret =  - ERESTARTSYS;
29         goto out;
30       }
31     }
32   }while (avail < 0);
33
34   /* 写设备缓冲区 */
35   device_write(...)
36   out:
37   remove_wait_queue(&xxx_wait, &wait);//将等待队列移出等待队列头
38   set_current_state(TASK_RUNNING);//设置进程状态为TASK_RUNNING
39   return ret;
40 }
```

FARSIGHT

polling

- 驱动中POLL模板

```
1  static unsigned int xxx_poll(struct file *filp, poll_table *wait)
2  {
3    unsigned int mask = 0;
4    struct xxx_dev *dev = filp->private_data; /*获得设备结构体指针*/
6    ...
8    poll_wait(filp, &dev->wait, wait);
9
10   if (...)//可读
11   {
12     mask |= POLLIN | POLLRDNORM; /*标示数据可获得*/
13   }
15   if (...)//可写
16   {
17     mask |= POLLOUT | POLLWRNORM; /*标示数据可写入*/
18   }
19
20   ...
21   return mask;
22 }
```

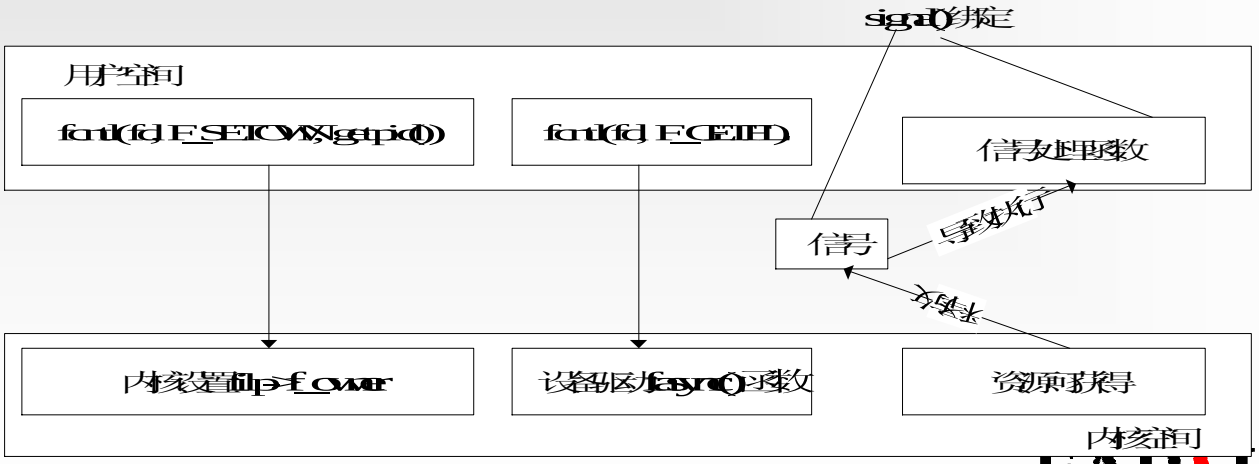
- 用户空间POLL模板

```
fd_set fds;
FD_ZERO(&fds);
FD_SET(fd, &fds);
select(fd + 1, &rfds, &wfds, NULL, NULL);
if (FD_ISSET(fd, &fds))
{
        printf("Poll monitor:can be access\n");
}
```

FARSIGHT

异步I/O

- 信号:软件意义上的“中断”
  - 驱动发出信号
    - kill_fasync(&dev->async_queue, SIGIO, POLL_IN);
  - 用户空间应用程序处理信号
    - *24 signal(SIGIO, input_handler);*
    - *25 fcntl(STDIN_FILENO, F_SETOWN, getpid());*
    - *26 oflags = fcntl(STDIN_FILENO, F_GETFL);*
    - *27 fcntl(STDIN_FILENO, F_SETFL, oflags | FASYNC);*
    - *8 void input_handler(int num)*
    - *9 { ...*
    - *14 len = read(STDIN_FILENO, &data, MAX_LEN);*
    - *15 ... }*



FARSIGHT

中断

- 两个半部

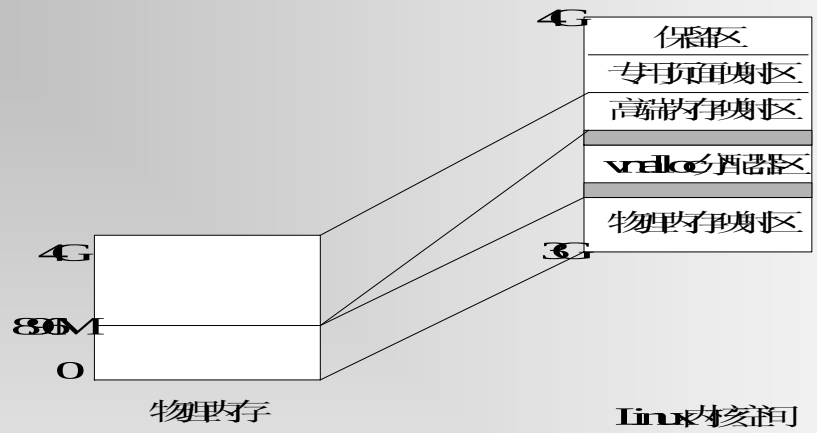
- 机制
  - tasklet
  - 工作队列

```
1  /*定义tasklet和底半部函数并关联*/
2  void xxx_do_tasklet(unsigned long);
3  DECLARE_TASKLET(xxx_tasklet, xxx_do_tasklet, 0);4
5  /*中断处理底半部*/
6  void xxx_do_tasklet(unsigned long)
7  {...
9  }
11 /*中断处理顶半部*/
12 irqreturn_t xxx_interrupt(int irq, void *dev_id, struct pt_regs *regs)
13 {      ...
15         tasklet_schedule(&xxx_tasklet);
16 ...}
```

FARSIGHT

内存与I／O访问

- 内存空间与I／O空间
- Linux内核地址空间

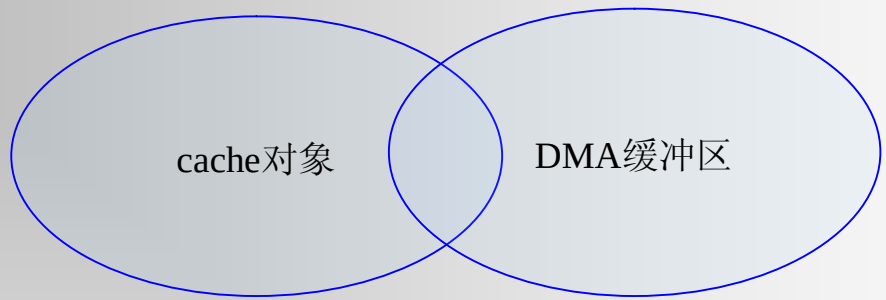


- 内存申请
  - kmalloc,get_free_pages:物理连续，线性映射
  - vmalloc:物理非连续，非线性映射
- 物理／虚拟地址映射
  - 静态映射
  - ioremap, ioremap_nocache
- mmap:映射到用户空间

FARSIGHT

DMA

- cache一致性问题

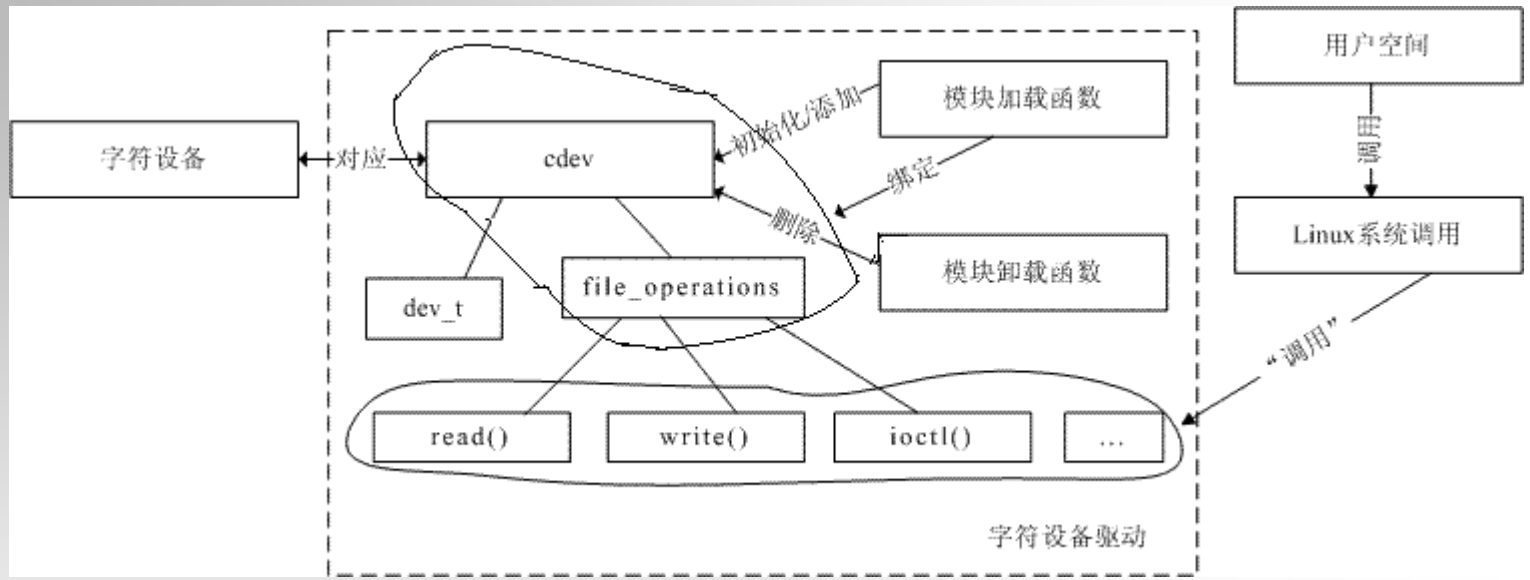


- 内存地址/总线地址
- DMA缓冲区
  - 一致性缓冲区
    - void * dma_alloc_coherent(struct device *dev, size_t size, dma_addr_t *handle, gfp_t gfp);
    - void dma_free_coherent(struct device *dev, size_t size, void *cpu_addr, dma_addr_t handle);
  - 流式DMA映射
  - *dma_addr_t dma_map_single(struct device *dev, void *buffer, size_t size, enum dma_data_direction direction);*
  - *void dma_unmap_single(struct device *dev, dma_addr_t dma_addr, size_t size,enum dma_data_direction direction);*

FARSIGHT

字符设备驱动

- 结构

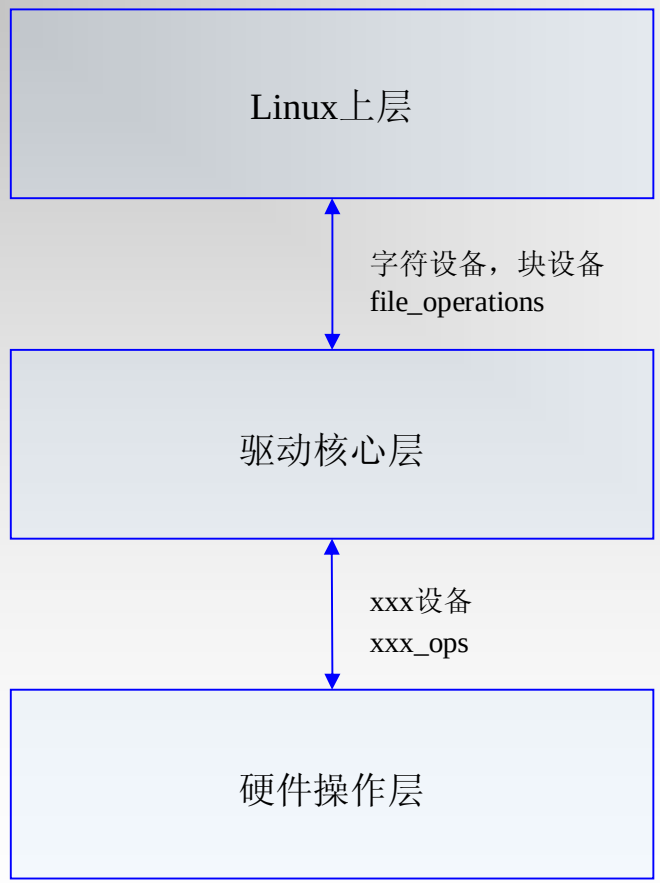


- file_operations

```
1 struct file_operations xxx_fops =
2 {
3   .owner = THIS_MODULE,
4   .read = xxx_read,
5   .write = xxx_write,
6   .ioctl = xxx_ioctl,
7   ...
8 };
```

复杂设备驱动

- 复杂设备驱动的framework
  - 层次化
  - 结构化
  - 上层不依赖于具体硬件，下层与硬件接口

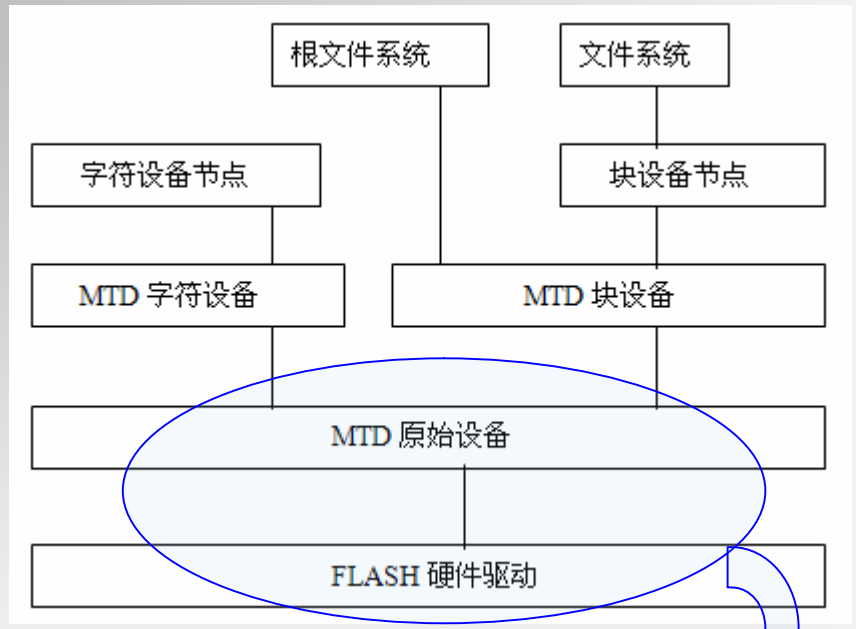


Framebuffer

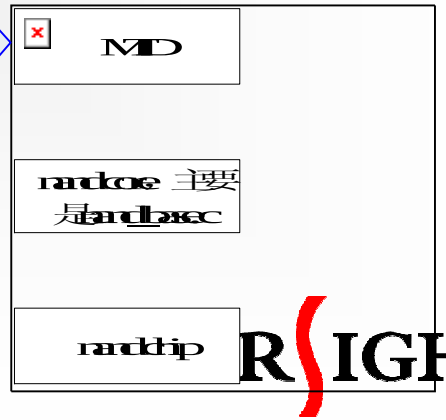
- 从硬件无关到硬件相关：
  - file_operations->fb_info->fb_ops
- 从注册cdev到注册framebuffer

MTD

- 层次结构



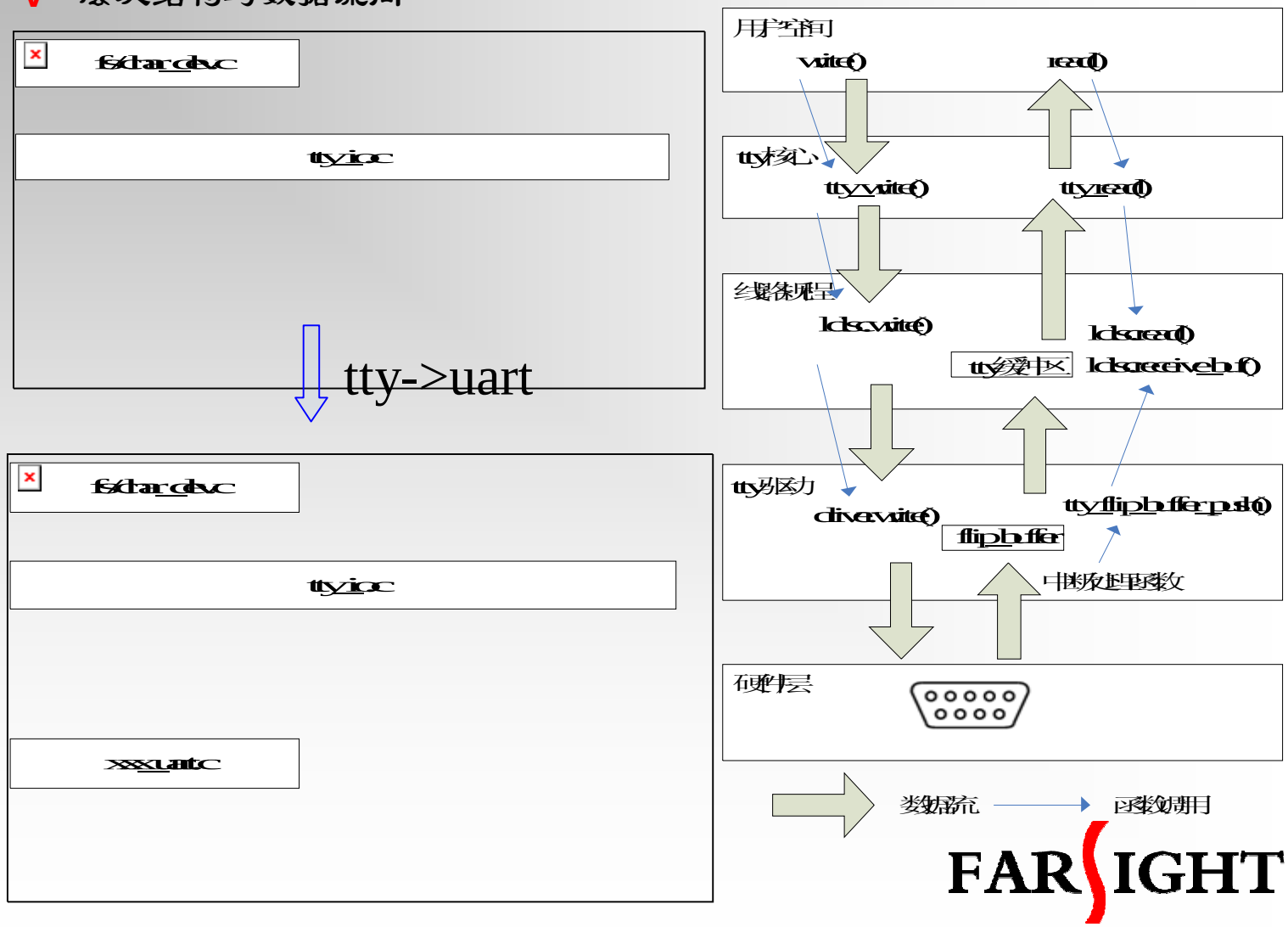
- 字符／块设备->mtd_info->nand_chip



RIGHT

TTY设备驱动

- 层次结构与数据流向



块设备驱动

- 数据结构
  - block_device_operations
  - gendisk
  - request与bio：表征等待进行的I/O请求
- I/O请求

华清远见

用户空间的设备驱动

- 从用户空间访问内存和I／O
- userspace接口
  - User Mode SCSI
  - User Mode USB
  - User Mode I2C
  - UIO:drivers/uio/

FARSIGHT

华清远见

开发环境建设

Linux

Linux

FARSIGHT

驱动调试

- printk()
- /proc
- oops
- 监视工具
- kcore
- kdb
- kgdb
- 仿真器

FARSIGHT

/printk

- 最简单，最常用的方法
  - ø 调整打印级别：# echo 5 > /proc/sys/kernel/printk
  - ø 使用宏：通过make menuconfig选择是否包含打印信息
- *#ifdef CONFIG_XXXDEBUG*
- *#xxx_debug(fmt,arg...) printk(KERN_DEBUG fmt,##arg)*
- *#else*
- *#xxx_debug(fmt,arg...)*
- *#endif*

FARSIGHT

/proc

- **从用户空间获取内核信息的方法**
- 7 ssize_t simple_proc_read(char *page, char **start, off_t off, int count,
- 8 int*eof, void *data)
- 23 ssize_t simple_proc_write(struct file *filp, const char __user *buff, unsigned
- 24 long len, void *data)
- 55 int __init simple_proc_init(void)
- 56 {
- 57 proc_entry = create_proc_entry("sim_proc", 0666, NULL); //创建/proc
- 58 if (proc_entry == NULL)
- 59 {...
- 62 }
- 63 else
- 64 {
- 65 proc_entry->read_proc = simple_proc_read;
- 66 proc_entry->write_proc = simple_proc_write;
- 67 proc_entry->owner = THIS_MODULE;
- 68 }
- 72 ...}
- **使用方法**： cat, echo

FARSIGHT

oops

```
8  static ssize_t oopsexam_write(struct file *filp, const char *buf, size_t len, loff_t
9    *off)
10 {
11   int *p=0;
12   *p  = 1;  //故意访问0地址
13   return len;
14 }
```

```
Unable to handle kernel NULL pointer dereference at virtual address 00000000
 printing eip:
c381a013
*pde = 00000000
Oops: 0002 [#1]
PREEMPT SMP
Modules linked in: oops_example
CPU:    0
EIP:    0060:[<c381a013>]    Not tainted VLI
EFLAGS: 00010286   (2.6.15.5)
EIP is at oopsexam_write+0x4/0x11 [oops_example]
eax: 00000002   ebx: c2b35480   ecx: 00000000   edx: c381a00f
esi: 00000002   edi: 080e9408   ebp: c2007fa4   esp: c2007f68
ds: 007b   es: 007b   ss: 0068
Process bash (pid: 2453, threadinfo=c2006000 task=c2021570)
Stack: c015e036 c2b35480 080e9408 00000002 c2007fa4 00000000 c2b35480
ffffff7
      080e9408 c2006000 c015e1d1 c2b35480 080e9408 00000002 c2007fa4
00000000
      00000000 00000000 00000001 00000002 c0102f9f 00000001 080e9408
00000002
Call Trace:
 [<c015e036>] vfs_write+0xc5/0x18f
 [<c015e1d1>] sys_write+0x51/0x80
 [<c0102f9f>] sysenter_past_esp+0x54/0x75
Code:  Bad EIP value.
```

华清远见

strace

```
4  main()
5  {
6    int fd, num, pos;
7    char wr_ch[200] = "This is a test of globalmem";
8    char rd_ch[200];
9    //打开/dev/globalmem
10   fd = open("/dev/globalmem", O_RDWR, S_IRUSR | S_IWUSR);
11   if (fd != -1 )
12   {
13    //清除globalmem
14    if(ioctl(fd, MEM_CLEAR, 0) < 0)
15    {
16          printf("ioctl command failed\n");
17   }
18    //读globalmem
19    num = read(fd, rd_ch, 200);
20    printf("%d bytes read from globalmem\n",num);
21
22   //写globalmem
23    num = write(fd, wr_ch, strlen(wr_ch));
24    printf("%d bytes written into globalmem\n",num);
25    ...
26    close(fd);
27   }
28 }
```

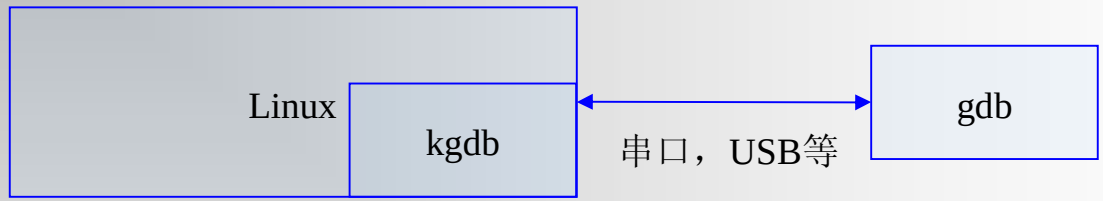
```
execve("./globalmem_test", ["./globalmem_test"], [/* 24 vars */]) = 0
...
open("/dev/globalmem", O_RDWR)        = 3        ---------打开的/dev/globalmem的fd是3
ioctl(3, FIBMAP, 0)                   = 0
read(3, 0xbff17920, 200)              = 200      ---------读取到200个字节
...
write(1, "200 bytes read from globalmem\n", 30200 bytes read from globalmem
) = 30                                -----向标准输出设备(fd为1)写入printf中的字符串
write(3, "This is a test of globalmem", 27) = 27
write(1, "27 bytes written into globalmem\n", 3227 bytes written into globalmem
) = 32
...
```

FARSIGHT

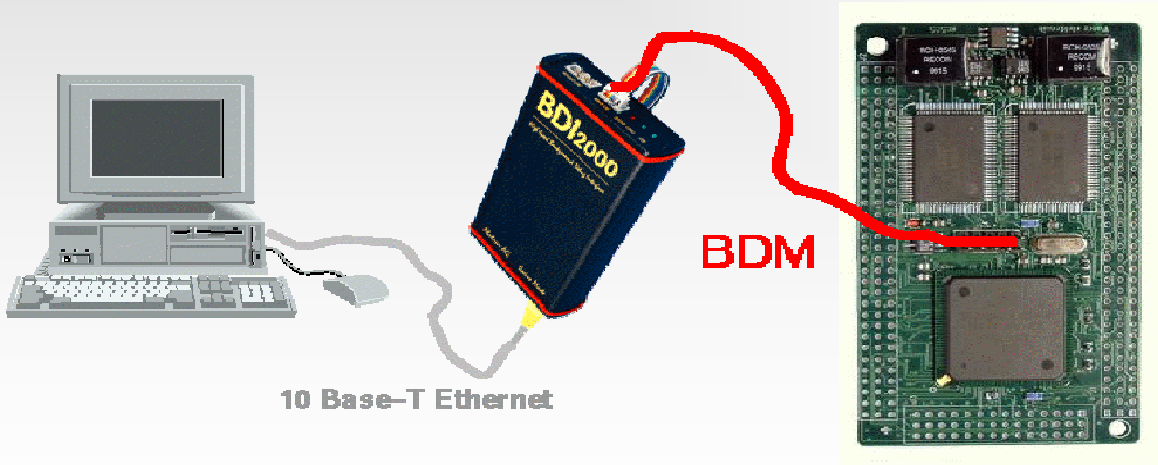
华清远见

源代码级调试

- 目标机“插桩”：
- 打上kgdb补丁，这样主机上的gdb可与目标机的kgdb通过串口或网口通信。



- 使用仿真器：
  - 仿真器可直接连接目标机的JTAG/BDM，这样主机的gdb就可以通过与仿真器的通信来控制目标机



FARSIGHT

用户空间测试

- 编写用户空间的程序访问设备驱动
  - read
  - write
  - ioctl
- 做成含测试菜单的程序
  - 每一个菜单体现一种功能

FARSIGHT

设备驱动学习方法

- 牢固掌握内核编程基础知识
  - 并发、同步
  - 内存与I／O访问
  - 中断两个半部
- 理解复杂设备驱动架构的特点
- 参考同类设备驱动的源代码
- 动手实践
  - 在PC上实践globalmem和globalfifo
  - 在开发板上学习真实设备的驱动
  - 在工作中学习

FARSIGHT

华清远见

Linux设备驱动开发详解

- 主要出发点：
  - 力求用最简单的实例讲解复杂的知识点，以免实例太复杂搅浑读者（驱动理论部分）
  - 对Linux设备驱动多种复杂设备的框架结构进行了全面的介绍（驱动框架部分）
  - 更面向实际的嵌入式工程，讲解开发必备的软硬件基础，及开发手段（调试与移植部分）
  - 提供讨论与交流平台（华清远见，www.linuxdriver.cn，数个QQ群）

FARSIGHT

华清远见Linux驱动课程

- 嵌入式Linux驱动初级班
- 通过本课程的学习，学员可以掌握Linux下字符设备、块设备、网络设备的驱动程序开发，同时掌握嵌入式Linux的系统开发和分析方法。

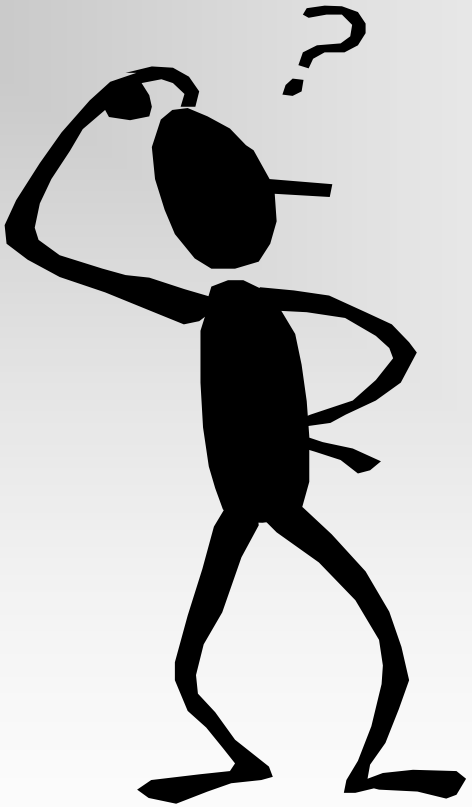
- 嵌入式Linux驱动开发高级班
- 本课程以案例教学为主，系统地介绍Linux下有关FrameBuffer、MMC卡、USB设备的驱动程序开发。

- 班级规模及环境
- 为了保证培训效果，增加互动环节，我们坚持小班授课，每期报名人数限15人，多余人员安排到下一期进行。人手一套开发板和开发用的PC主机。

FARSIGHT

华清远见

让我们一起讨论！



FARSIGHT

www.farsight.com.cn

谢谢！