9 阻塞 IO

IO 是 Input stream/Output stream 的缩写，即输入输出。对于驱动程序来说的 IO 就是用户程序对设备资源的访问和操作。接下来简单的说说几种 IO 模型以及 Linux 对他们的支持。

9.1 阻塞和非阻塞、同步和异步与 IO 操作

阻塞和非阻塞、同步和异步是在 IO 操作中几种不可避免的状态。

先分开来看，通俗的讲：

1) 阻塞就是指某个操作如果不满足执行的条件，他会一直处于等待状态直至条件满足。
2) 非阻塞是指某个操作如果不满足执行的条件，他不会等待并且会返回未执行的结果。
3) 同步指多个操作同时发生时，这些操作需要排队逐个执行。
4) 异步指多个操作同时发生时，这些操作可以一起执行。

对于驱动来说 IO 操作一般可以理解为对外设的读写。一个完整的 IO 操作有两个阶段：

第一阶段：查看外设数据是否就绪；

第二阶段：数据就绪，读写外设数据。

再结合起来看。

阻塞 IO、非阻塞 IO：

当应用程序发出了 IO 请求。如果目标外设或数据没有准备好，对于阻塞 IO 来说，就会在 read 方法一直等待，直到数据准备好才会返回。而非阻塞 IO 会直接返回数据未准备好，应用程序再去处理 NG 的情况，重新读取或是其他。可见阻塞 IO 和非阻塞 IO 体现在 IO 操作的第一阶段。

同步 IO、异步 IO：

同步 IO 和异步 IO 实际上是针对应用程序和内核的交互来说的，应用程序发出 IO 请求后，如果数据没有就绪，需要应用程序不断的去轮询，直到准备就绪再执行第二阶段。对于异步 IO，应用程序发出 IO 请求之后，第一阶段和第二阶段全都交友内核完成，当然驱动程序也属于内核的一部分。

9.2 阻塞 IO

这里说的阻塞 IO 实际上是同步阻塞 IO。Linux 的阻塞式访问中，应用程序调用 read()函数从设备中读取数据时，如果设备或者数据没有准备好，就会进入休眠让出 CPU 资源，准备好时就会唤醒并返回数据给应用程序。 内核提供了等待队列机制来实现这里的休眠唤醒工作。

9.2.1 等待队列

等待队列也就是进程组成的队列，Linux 在系统执行会根据不同的状态把进程分成不同的队列，等待队列就是其中之一。

在驱动中使用等待队列步骤如下:

1)　创建并初始化等待队列

创建等待队列的方式为创建一个等待队列头，往队列头下添加项即为队列。队列头定义再 include/linux/wait.h 中，详情如下：

```
1.  struct __wait_queue_head {
2.      spinlock_t      lock;
3.      struct list_head    task_list;
4.  };
5.  typedef struct __wait_queue_head wait_queue_head_t;
```

定义好队列头之后，使用下面的函数来初始化队列头：

```
void init_waitqueue_head(wait_queue_head_t *q)
```

也可以使用宏定义

```
DECLARE_WAIT_QUEUE_HEAD_ONSTACK(name)
```

一次性完成队列头的创建和初始化，name 为队列头的名字。

2)　创建代表进程的等待队列项

等待队列项也定义在 include/linux/wait.h 头文件中，可以用宏定义：

```
DECLARE_WAITQUEUE(name, tsk)
```

一次性完成队列项的定义和初始化，name 为队列项的名字，tsk 为队列项指代的进程，一般设置为 current。current 是内核中的一个全局变量，表示当前进程。

3)　添加或移除等待队列项到等待队列中并进入休眠

设备或数据不可访问时，就把进程添加进队列，使用接口函数：

```
void add_wait_queue(wait_queue_head_t *q, wait_queue_t *wait)
```

q 为需要加入的队列头，wait 就是需要加入的队列项。

添加完成后使用函数

```
__set_current_state (state_value);
```

来设置进程状态，state_value 可以为：

TASK_UNINTERRUPTIBLE 休眠不可被信号打断；

TASK_INTERRUPTIBLE 休眠可被信号打断。

之后调用任务切换函数

```
schedule();
```

使当前进程进入休眠。如果被唤醒就会接着这个函数的位置往下运行。

紧接着，如果进程被设置成了 TASK_INTERRUPTIBLE 状态，有必要的话，还需要判断进程是不是被信号唤醒，如果是的话那就是误唤醒，需要让进程重新休眠。

使用函数

```
signal_pending(current)
```

来判断当前进程是否为信号唤醒，current 就是当前进程，如果是则返回真。

进程被唤醒后，使用

```
set_current_state(TASK_RUNNING)
```

设置当前进程为运行状态。

如果设备可访问了，队列项从队列头中移除，使用函数：

```
void remove_wait_queue(wait_queue_head_t *q, wait_queue_t *wait)
```

4)　主动唤醒或等待事件

进程休眠后使用下面两个函数来主动唤醒整个队列：

```
void wake_up(wait_queue_head_t *q)
void wake_up_interruptible(wait_queue_head_t *q)
```

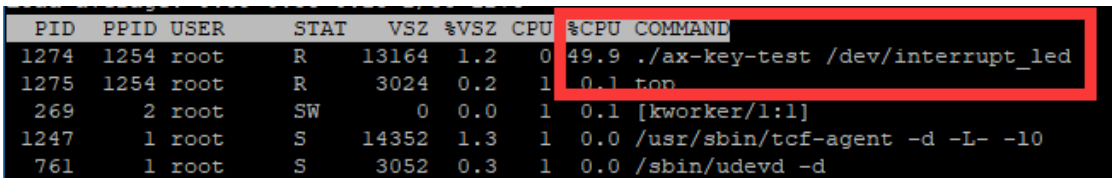
wake_up 函数可以唤醒处于 TASK_INTERRUPTIBLE 和 TASK_UNINTERRUPTIBLE 状态的进程。 wake_up_interruptible 函数只能唤醒处于 TASK_INTERRUPTIBLE 状态的进程。

除了主动唤醒之外，还可以设置成等待某个条件满足后自动唤醒，Linux 提供了这些宏：

```
/* 此函数会把进程设置为 TASK_UNINTERRUPTIBLE， condition 为真(条件)时会唤醒队列 wq，会一直阻塞等待 condition 为真 */
wait_event(wq, condition)
/* 与 wait_event 类似，不过加了超时机制，timeout 为超时时间单位为 jiffies，时间到了之后即使条件不满足也会唤醒队列 wq */
wait_event_timeout(wq, condition, timeout)
/*与 wait_event 类似，但是会把进程设置为 TASK_INTERRUPTIBLE */
wait_event_interruptible(wq, condition)
/*与 wait_event_ timeout 类似，，但是会把进程设置为 TASK_INTERRUPTIBLE */
wait_event_interruptible_timeout(wq, condition, timeout)
```

9.3 实验

我们前面做的按键实验中，测试程序中读取 key 状态的方式都是在 while 循环中不断的去调用 read 方法。而我们在驱动程序中实现的 read 方法也只是简单的返回按键当前的值。这样做就导致测试程序和驱动程序都一直处于活跃状态，导致 cpu 占用率很高。以上一章的例程为例，使用./ax-key-test /dev/interrupt_led&命令让 ax-key-test 程序在后台运行。再使用 top 命令来查看 cpu 的占用情况，如下图：



双 cpu 的 soc 光是一个按键程序就占用了 49.9%几乎是一个 cpu 的资源，显然是不可取的。

分析一下，应用程序轮询 read 函数读取按键状态，大部分时候读到的都是未被按下的状态，而我们需要捕捉到的仅是按键被按下的状态，那是不是可以理解为，按键未按下就等同于我们需要的数据还没有准备好呢？在此基础上，我们就可以使用等待队列来是驱动程序中的 read 进程在按键没有按下时进入休眠，应用程序的 read 函数就得不到返回值，就不会一直轮询，从而降低 cpu 占用率。然后在按键按下时，唤醒进程，又能达到驱动程序捕捉按键被按下的动作的要求。

9.3.1 原理图

led 部分和章节 1.3.1 相同。

key 部分和章节 6.1 相同。

9.3.2 设备树

和章节 6.2 相同。

9.3.3 驱动程序

使用 petalinux 新建名为”ax-bio-drv”的驱动程序，并执行 petalinux-config -c rootfs 命令选上新增的驱动程序。

在 ax-bio-drv.c 文件中输入下面的代码：

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/ide.h>
#include <linux/types.h>
#include <linux/errno.h>
#include <linux/cdev.h>
#include <linux/of.h>
#include <linux/of_address.h>
#include <linux/of_gpio.h>
#include <linux/device.h>
#include <linux/delay.h>
#include <linux/init.h>
#include <linux/gpio.h>
#include <linux/semaphore.h>
#include <linux/timer.h>
#include <linux/of_irq.h>
#include <linux/irq.h>
#include <asm/uaccess.h>
#include <asm/mach/map.h>
#include <asm/io.h>

/* 设备节点名称 */
#define DEVICE_NAME       "bio_led"
/* 设备号个数 */
#define DEVID_COUNT       1
/* 驱动个数 */
#define DRIVE_COUNT       1
/* 主设备号 */
#define MAJOR_U
/* 次设备号 */
#define MINOR_U           0

```

```
/* 把驱动代码中会用到的数据打包进设备结构体 */
struct alinx_char_dev {
/** 字符设备框架 **/
    dev_t               devid;          //设备号
    struct cdev         cdev;           //字符设备
    struct class        *class;         //类
    struct device       *device;        //设备
    struct device_node *nd;             //设备树的设备节点
/** gpio **/
    int                 alinx_key_gpio;  //gpio 号
/** 并发处理 **/
    atomic_t            key_sts;        //记录按键状态，为 1 时被按下
/** 中断 **/
    unsigned int        irq;            //中断号
/** 定时器 **/
    struct timer_list   timer;          //定时器
/** 等待队列 **/
    wait_queue_head_t   wait_q_h;       //等待队列头
};
/* 声明设备结构体 */
static struct alinx_char_dev alinx_char = {
    .cdev = {
        .owner = THIS_MODULE,
    },
};

/** 回掉 **/
/* 中断服务函数 */
static irqreturn_t key_handler(int irq, void *dev)
{
    /* 按键按下或抬起时会进入中断 */
    /* 开启 50 毫秒的定时器用作防抖动 */
    mod_timer(&alinx_char.timer, jiffies + msecs_to_jiffies(50));
    return IRQ_RETVAL(IRQ_HANDLED);
}

/* 定时器服务函数 */
void timer_function(unsigned long arg)
{
    /* value 用于获取按键值 */
    unsigned char value;
    /* 获取按键值 */
    value = gpio_get_value(alinx_char.alinx_key_gpio);
    if(value == 0)
```

```
78.     {
79.         /* 按键按下，状态置 1 */
80.         atomic_set(&alinx_char.key_sts, 1);
81. /** 等待队列 **/
82.         /* 唤醒进程 */
83.         wake_up_interruptible(&alinx_char.wait_q_h);
84.     }
85.     else
86.     {
87.         /* 按键抬起 */
88.     }
89. }
90.
91. /** 系统调用实现 **/
92. /* open 函数实现，对应到 Linux 系统调用函数的 open 函数 */
93. static int char_drv_open(struct inode *inode_p, struct file *file_p)
94. {
95.     printk("gpio_test module open\n");
96.     return 0;
97. }
98.
99.
100. /* read 函数实现，对应到 Linux 系统调用函数的 write 函数 */
101. static ssize_t char_drv_read(struct file *file_p, char __user *buf, size_t len, loff_t *lof
    f_t_p)
102. {
103.     unsigned int keysts = 0;
104.     int ret;
105.
106.     /* 读取 key 的状态 */
107.     keysts = atomic_read(&alinx_char.key_sts);
108.     /* 判断当前按键状态 */
109.     if(!keysts)
110.     {
111.         /* 按键未被按下(数据未准备好) */
112.         /* 以当前进程创建并初始化为队列项 */
113.         DECLARE_WAITQUEUE(queue_mem, current);
114.         /* 把当前进程的队列项添加到队列头 */
115.         add_wait_queue(&alinx_char.wait_q_h, &queue_mem);
116.         /* 设置当前进成为可被信号打断的状态 */
117.         __set_current_state(TASK_INTERRUPTIBLE);
118.         /* 切换进程，是当前进程休眠 */
119.         schedule();
120.
```

```
121.         /* 被唤醒，修改当前进程状态为 RUNNING */
122.         set_current_state(TASK_RUNNING);
123.         /* 把当前进程的队列项从队列头中删除 */
124.         remove_wait_queue(&alinx_char.wait_q_h, &queue_mem);
125.
126.         /* 判断是否是被信号唤醒 */
127.         if(signal_pending(current))
128.         {
129.             /* 如果是直接返回错误 */
130.             return -ERESTARTSYS;
131.         }
132.         else
133.         {
134.             /* 被按键唤醒 */
135.         }
136.     }
137.     else
138.     {
139.         /* 按键被按下(数据准备好了) */
140.     }
141.
142.     /* 读取 key 的状态 */
143.     keysts = atomic_read(&alinx_char.key_sts);
144.     /* 返回按键状态值 */
145.     ret = copy_to_user(buf, &keysts, sizeof(keysts));
146.     /* 清除按键状态 */
147.     atomic_set(&alinx_char.key_sts, 0);
148.     return 0;
149. }
150.
151. /* release 函数实现，对应到 Linux 系统调用函数的 close 函数 */
152. static int char_drv_release(struct inode *inode_p, struct file *file_p)
153. {
154.     printk("gpio_test module release\n");
155.     return 0;
156. }
157.
158. /* file_operations 结构体声明，是上面 open、write 实现函数与系统调用函数对应的关键 */
159. static struct file_operations ax_char_fops = {
160.     .owner   = THIS_MODULE,
161.     .open    = char_drv_open,
162.     .read    = char_drv_read,
163.     .release = char_drv_release,
164. };
```

```
165.
166. /* 模块加载时会调用的函数 */
167. static int __init char_drv_init(void)
168. {
169.     /* 用于接受返回值 */
170.     u32 ret = 0;
171.
172. /** 并发处理 **/
173.     /* 初始化原子变量 */
174.     atomic_set(&alinx_char.key_sts, 0);
175.
176. /** gpio 框架 **/
177.     /* 获取设备节点 */
178.     alinx_char.nd = of_find_node_by_path("/alinxkey");
179.     if(alinx_char.nd == NULL)
180.     {
181.         printk("alinx_char node not find\r\n");
182.         return -EINVAL;
183.     }
184.     else
185.     {
186.         printk("alinx_char node find\r\n");
187.     }
188.
189.     /* 获取节点中 gpio 标号 */
190.     alinx_char.alinx_key_gpio = of_get_named_gpio(alinx_char.nd, "alinxkey-gpios", 0);
191.     if(alinx_char.alinx_key_gpio < 0)
192.     {
193.         printk("can not get alinxkey-gpios");
194.         return -EINVAL;
195.     }
196.     printk("alinxkey-gpio num = %d\r\n", alinx_char.alinx_key_gpio);
197.
198.     /* 申请 gpio 标号对应的引脚 */
199.     ret = gpio_request(alinx_char.alinx_key_gpio, "alinxkey");
200.     if(ret != 0)
201.     {
202.         printk("can not request gpio\r\n");
203.         return -EINVAL;
204.     }
205.
206.     /* 把这个 io 设置为输入 */
207.     ret = gpio_direction_input(alinx_char.alinx_key_gpio);
208.     if(ret < 0)
```

```
209.     {
210.         printk("can not set gpio\r\n");
211.         return -EINVAL;
212.     }
213.
214. /** 中断 **/
215.     /* 获取中断号 */
216.     alinx_char.irq = gpio_to_irq(alinx_char.alinx_key_gpio);
217.     /* 申请中断 */
218.     ret = request_irq(alinx_char.irq,
219.                       key_handler,
220.                       IRQF_TRIGGER_FALLING | IRQF_TRIGGER_RISING,
221.                       "alinxkey",
222.                       NULL);
223.     if(ret < 0)
224.     {
225.         printk("irq %d request failed\r\n", alinx_char.irq);
226.         return -EFAULT;
227.     }
228.
229. /** 定时器 **/
230.     alinx_char.timer.function = timer_function;
231.     init_timer(&alinx_char.timer);
232.
233. /** 等待队列 **/
234.     init_waitqueue_head(&alinx_char.wait_q_h);
235.
236. /** 字符设备框架 **/
237.     /* 注册设备号 */
238.     alloc_chrdev_region(&alinx_char.devid, MINOR_U, DEVID_COUNT, DEVICE_NAME);
239.
240.     /* 初始化字符设备结构体 */
241.     cdev_init(&alinx_char.cdev, &ax_char_fops);
242.
243.     /* 注册字符设备 */
244.     cdev_add(&alinx_char.cdev, alinx_char.devid, DRIVE_COUNT);
245.
246.     /* 创建类 */
247.     alinx_char.class = class_create(THIS_MODULE, DEVICE_NAME);
248.     if(IS_ERR(alinx_char.class))
249.     {
250.         return PTR_ERR(alinx_char.class);
251.     }
252.
```

```
253.     /* 创建设备节点 */
254.     alinx_char.device = device_create(alinx_char.class, NULL,
255.                                       alinx_char.devid, NULL,
256.                                       DEVICE_NAME);
257.     if (IS_ERR(alinx_char.device))
258.     {
259.         return PTR_ERR(alinx_char.device);
260.     }
261. 
262.     return 0;
263. }
264. 
265. /* 卸载模块 */
266. static void __exit char_drv_exit(void)
267. {
268. /** gpio **/
269.     /* 释放 gpio */
270.     gpio_free(alinx_char.alinx_key_gpio);
271. 
272. /** 中断 **/
273.     /* 释放中断 */
274.     free_irq(alinx_char.irq, NULL);
275. 
276. /** 定时器 **/
277.     /* 删除定时器 */
278.     del_timer_sync(&alinx_char.timer);
279. 
280. /** 字符设备框架 **/
281.     /* 注销字符设备 */
282.     cdev_del(&alinx_char.cdev);
283. 
284.     /* 注销设备号 */
285.     unregister_chrdev_region(alinx_char.devid, DEVID_COUNT);
286. 
287.     /* 删除设备节点 */
288.     device_destroy(alinx_char.class, alinx_char.devid);
289. 
290.     /* 删除类 */
291.     class_destroy(alinx_char.class);
292. 
293.     printk("timer_led_dev_exit_ok\n");
294. }
295. 
296. /* 标记加载、卸载函数 */
```

```
297. module_init(char_drv_init);
298. module_exit(char_drv_exit);
299.
300. /* 驱动描述信息 */
301. MODULE_AUTHOR("Alinx");
302. MODULE_ALIAS("alinx char");
303. MODULE_DESCRIPTION("BIO LED driver");
304. MODULE_VERSION("v1.0");
305. MODULE_LICENSE("GPL");
```

这次的程序在上一章中断的驱动程序基础上修改，只要修改集中在 read 函数中。

这次我们把自旋锁换成了原子变量，仅对 key_sts 这个状态值的读写做保护。

代码的 **50** 行先定义了一个等待队列头。

在入口函数的 **234** 行吧队列头进行了初始化。

应用程序通过 read 方法来读取 key 的状态，所以，先到 read 函数中做一些改动。前面提到过，key 被按下才认为是数据准备好了。

进入 read 函数后 **107~109** 行我们先判断 key 的状态，如果 key 没有被按下，就使用等待队列，等待按键被按下。

113 行以当前进程创建并初始化名为 queue_mem 的队列项。

115 行把队列项加入队列头。

117 行设置进程为可被信号打断的状态，然后 **119** 行调用 schedule 切换进程，使当前进程休眠。

休眠了就需要相应的唤醒契机，我们是在等待按键被按下，所以，唤醒就可以放在按键的中断中去执行，在 93 行定时器的回掉中，最终确定案件被按下的同时，调用 wake_up_interruptible(&alinx_char.wait_q_h);唤醒等待队列。

唤醒之后我们就又回到了 **122** 行，接着刚才休眠的位置继续运行，先调用 set_current_state(TASK_RUNNING);把当前进程的状态设为 RUNNING。

124 行再把队列项从队列头中删除。

由于进程是可以被信号唤醒的，所以还需要判断进程是否是被信号还信，如果是则直接返回错误。

如果不是，就把按键的值返回给用户。

9.3.4 测试程序

和第六章的测试程序相同。

9.3.5 运行测试

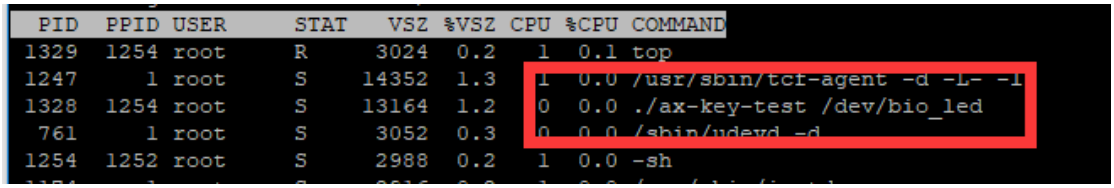
测试步骤如下：

```
mount -t nfs -o nolock 192.168.1.107:/home/alinx/work /mnt
cd /mnt
mkdir /tmp/qt
mount qt_lib.img /tmp/qt
```

```
cd /tmp/qt
source ./qt_env_set.sh
cd /mnt
insmod ./ax-concled-dev.ko
insmod ./ax-bio-dev.ko
cd ./build-ax-key-test-ZYNQ-Debug
./ax-key-test /dev/bio_led&
top
```

IP 和路径根据实际情况调整。按键的现象与上一章相同。

此外，我们再看一下测试程序的 cpu 占用量。



几乎可以忽略了，因为测试程序没有改动，所以看来是等待队列起作用了。

如果想要关闭后台运行的程序，可以使用 kill 命令加上 top 命令中对应的 PID，比如我们这里想要关闭 ax-key-test 程序，就是用命令 kill 1328 即可