> 作 者：道哥，10+年嵌入式开发老兵，专注于：C/C++、嵌入式、Linux。
>
> 关注下方公众号，回复【书籍】，获取 Linux、嵌入式领域经典书籍；回复【PDF】，获取所有原创文章(PDF 格式)。

目录

别人的经验，我们的阶梯！

大家好，我是道哥。

在前几篇文章中，我们一块讨论了：在 Linux 系统中，编写字符设备驱动程序的基本框架，主要是从代码流程和 API 函数这两方面触发。

这篇文章，我们就以此为基础，写一个有实际应用功能的驱动程序：

1. 在驱动程序中，初始化 GPIO 设备，自动创建设备节点;
2. 在应用程序中，打开 GPIO 设备，并发送控制指令设置 GPIO 口的状态;

示例程序目标

编写一个驱动程序模块：mygpio.ko。

当这个驱动模块被加载的时候，在系统中创建一个 mygpio 类设备，并且在 /dev 目录下，创建 4 个设备节点：

> /dev/mygpio0
>
> /dev/mygpio1

> /dev/mygpio2
>
> /dev/mygpio3

因为我们现在是在 x86 平台上来模拟 GPIO 的控制操作，并没有实际的 GPIO 硬件设备。

因此，在驱动代码中，与硬件相关部分的代码，使用宏 MYGPIO_HW_ENABLE 控制起来，并且在其中使用printk输出打印信息来体现硬件的操作。

在应用程序中，可以分别打开以上这 4 个 GPIO 设备，并且通过发送控制指令，来设置 GPIO 的状态。

编写驱动程序

> 以下所有操作的工作目录，都是与上一篇文章相同的，即：~/tmp/linux-4.15/drivers/。

创建驱动目录和驱动程序

```
$ cd linux-4.15/drivers/
$ mkdir mygpio_driver
$ cd mygpio_driver
$ touch mygpio.c
```

mygpio.c 文件的内容如下(不需要手敲，文末有代码下载链接):

```
#include <linux/module.h>
#include <linux/kernel.h>
#include <linux/ctype.h>
#include <linux/device.h>
#include <linux/cdev.h>

// GPIO 硬件相关宏定义
#define MYGPIO_HW_ENABLE

// 设备名称
#define MYGPIO_NAME     "mygpio"

// 一共有4个 GPIO 口
#define MYGPIO_NUMBER   4

// 设备类
static struct class *gpio_class;

// 用来保存设备
struct cdev gpio_cdev[MYGPIO_NUMBER];

// 用来保存设备号
int gpio_major = 0;
int gpio_minor = 0;
```

```
#ifdef MYGPIO_HW_ENABLE
// 硬件初始化函数，在驱动程序被加载的时候(gpio_driver_init)被调用
static void gpio_hw_init(int gpio)
{
  printk("gpio_hw_init is called: %d. \n", gpio);
}

// 硬件释放
static void gpio_hw_release(int gpio)
{
  printk("gpio_hw_release is called: %d. \n", gpio);
}

// 设置硬件GPIO的状态，在控制GPIO的时候(gpio_ioctl)被调研
static void gpio_hw_set(unsigned long gpio_no, unsigned int val)
{
  printk("gpio_hw_set is called. gpio_no = %ld, val = %d. \n", gpio_no, val);
}
#endif

// 当应用程序打开设备的时候被调用
static int gpio_open(struct inode *inode, struct file *file)
{

  printk("gpio_open is called. \n");
  return 0;
}

// 当应用程序控制GPIO的时候被调用
static long gpio_ioctl(struct file* file, unsigned int val, unsigned long gpio_no)
{
  printk("gpio_ioctl is called. \n");

  // 检查设置的状态值是否合法
  if (0 != val && 1 != val)
  {
    printk("val is NOT valid! \n");
    return 0;
  }

    // 检查设备范围是否合法
  if (gpio_no >= MYGPIO_NUMBER)
  {
    printk("dev_no is invalid! \n");
    return 0;
  }

  printk("set GPIO: %ld to %d. \n", gpio_no, val);

#ifdef MYGPIO_HW_ENABLE
    // 操作 GPIO 硬件
  gpio_hw_set(gpio_no, val);
```

```
#endif

  return 0;
}

static const struct file_operations gpio_ops={
  .owner = THIS_MODULE,
  .open  = gpio_open,
  .unlocked_ioctl = gpio_ioctl
};

static int __init gpio_driver_init(void)
{
  int i, devno;
  dev_t num_dev;

  printk("gpio_driver_init is called. \n");

  // 动态申请设备号(严谨点的话，应该检查函数返回值)
  alloc_chrdev_region(&num_dev, gpio_minor, MYGPIO_NUMBER, MYGPIO_NAME);

  // 获取主设备号
  gpio_major = MAJOR(num_dev);
  printk("gpio_major = %d. \n", gpio_major);

  // 创建设备类
  gpio_class = class_create(THIS_MODULE, MYGPIO_NAME);

  // 创建设备节点
  for (i = 0; i < MYGPIO_NUMBER; ++i)
  {
    // 设备号
    devno = MKDEV(gpio_major, gpio_minor + i);

    // 初始化 cdev 结构
    cdev_init(&gpio_cdev[i], &gpio_ops);

    // 注册字符设备
    cdev_add(&gpio_cdev[i], devno, 1);

    // 创建设备节点
    device_create(gpio_class, NULL, devno, NULL, MYGPIO_NAME"%d", i);
  }

#ifdef MYGPIO_HW_ENABLE
    // 初始化 GPIO 硬件
  for (i = 0; i < MYGPIO_NUMBER; ++i)
  {
    gpio_hw_init(i);
  }
#endif
```

```
  return 0;
}

static void __exit gpio_driver_exit(void)
{
  int i;
  printk("gpio_driver_exit is called. \n");

  // 删除设备和设备节点
  for (i = 0; i < MYGPIO_NUMBER; ++i)
  {
    cdev_del(&gpio_cdev[i]);
    device_destroy(gpio_class, MKDEV(gpio_major, gpio_minor + i));
  }

  // 释放设备类
  class_destroy(gpio_class);

#ifdef MYGPIO_HW_ENABLE
    // 释放 GPIO 硬件
  for (i = 0; i < MYGPIO_NUMBER; ++i)
  {
    gpio_hw_release(i);
  }
#endif

  // 注销设备号
  unregister_chrdev_region(MKDEV(gpio_major, gpio_minor), MYGPIO_NUMBER);
}

MODULE_LICENSE("GPL");
module_init(gpio_driver_init);
module_exit(gpio_driver_exit);
```

相对于前几篇文章来说，上面的代码稍微有一点点复杂，主要是多了宏定义 MYGPIO_HW_ENABLE 控制部分的代码。

比如：在这个宏定义控制下的三个与硬件相关的函数：

> gpio_hw_init()
>
> gpio_hw_release()
>
> gpio_hw_set()

就是与GPIO硬件的初始化、释放、状态设置相关的操作。

代码中的注释已经比较完善了，结合前几篇文章中的函数说明，还是比较容易理解的。

从代码中可以看出：驱动程序使用 alloc_chrdev_region 函数，来动态注册设备号，并且利用了 Linux 应用层中的 udev 服务，自动在 /dev 目录下创建了设备节点。

另外还有一点：在上面示例代码中，对设备的操作函数只实现了 open 和 ioctl 这两个函数，这是根据实际的使用场景来决定的。

这个示例中，只演示了如何控制 GPIO 的状态。

你也可以稍微补充一下，增加一个read函数，来读取某个GPIO口的状态。

> 控制 GPIO 设备，使用 write 或者 ioctl 函数都可以达到目的，只是 ioctl 更灵活一些。

创建 Makefile 文件

```
$ touch Makefile
```

内容如下：

```
ifneq ($(KERNELRELEASE),)
  obj-m := mygpio.o
else
  KERNELDIR ?= /lib/modules/$(shell uname -r)/build
  PWD := $(shell pwd)
default:
  $(MAKE) -C $(KERNELDIR) M=$(PWD) modules
clean:
  $(MAKE) -C $(KERNEL_PATH) M=$(PWD) clean
endif
```

编译驱动模块

```
$ make
```

得到驱动程序： mygpio.ko 。

加载驱动模块

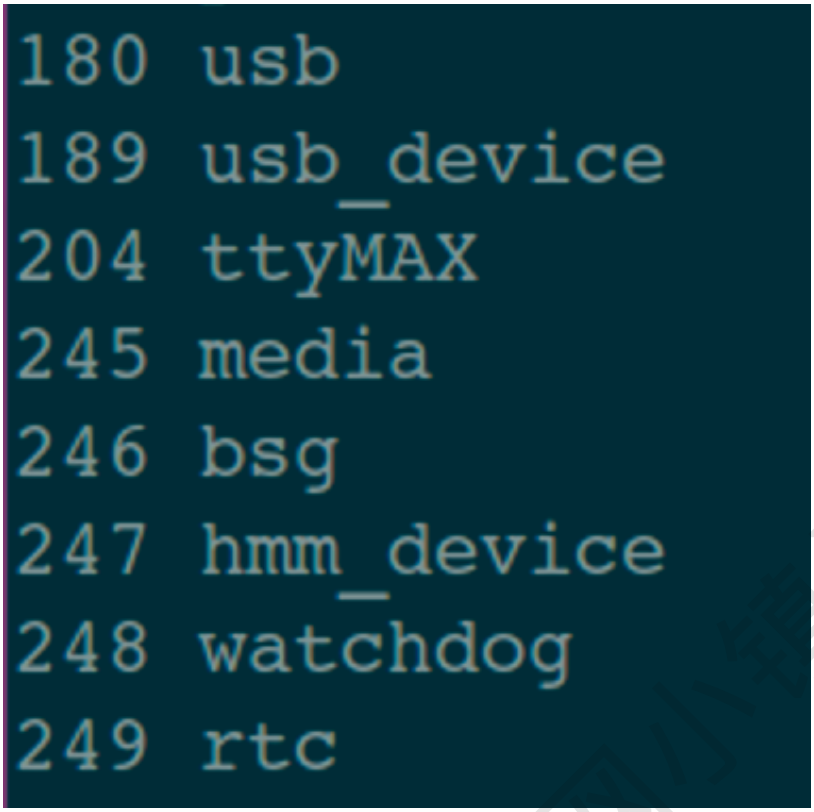
在加载驱动模块之前，先来检查一下系统中，几个与驱动设备相关的地方。

先看一下 /dev 目录下，目前还没有设备节点(/dev/mygpio[0-3])。

```
$ ls -l /dev/mygpio*
ls: cannot access '/dev/mygpio*': No such file or directory
```

再来查看一下 /proc/devices 目录下，也没有 mygpio 设备的设备号。

```
$ cat /proc/devices
```



为了方便查看打印信息，把dmesg输出信息清理一下：

```
$ sudo dmesg -c
```

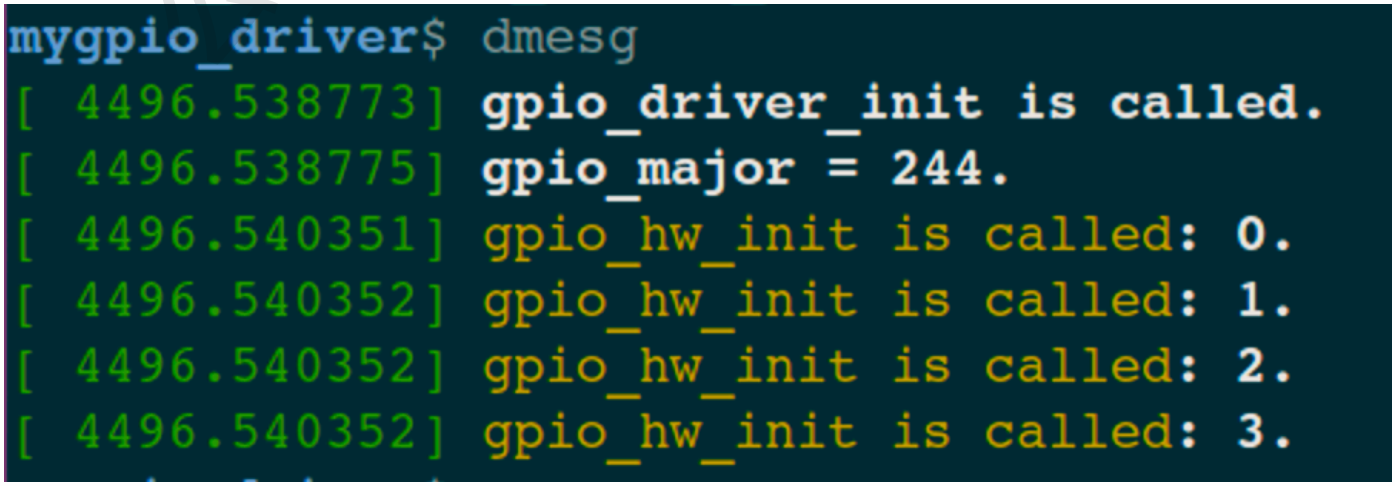
现在来加载驱动模块，执行如下指令:

```
$ sudo insmod mygpio.ko
```

当驱动程序被加载的时候，通过 module_init( ) 注册的函数 gpio_driver_init() 将会被执行，那么其中的打印信息就会输出。

还是通过 dmesg 指令来查看驱动模块的打印信息：

```
$ dmesg
```



可以看到：操作系统为这个设备分配的主设备号是 244，并且也打印了GPIO硬件的初始化函数的调用信息。

此时，驱动模块已经被加载了!

来查看一下 /proc/devices 目录下显示的设备号：

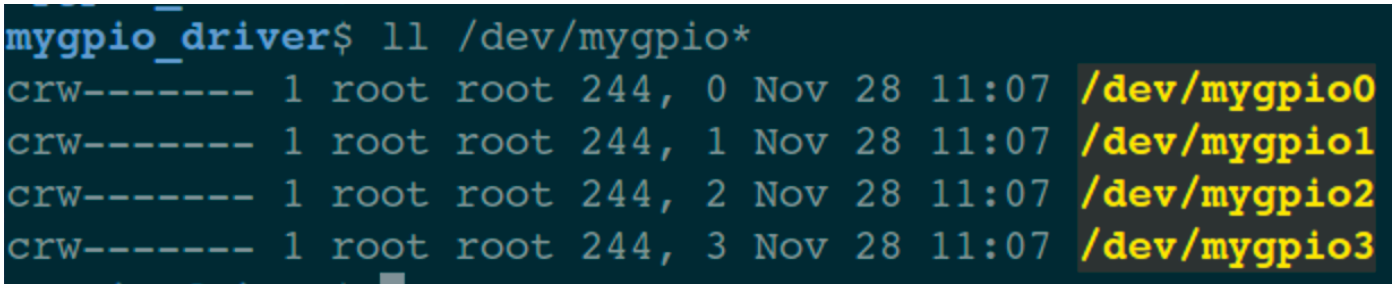
```
$ cat /proc/devices
```

设备已经注册了，主设备号是: 244 。

设备节点

由于在驱动程序的初始化函数中，使用 cdev_add 和 device_create 这两个函数，自动创建设备节点。

所以，此时我们在 /dev 目录下，就可以看到下面这4个设备节点：



现在，设备的驱动程序已经加载了，设备节点也被创建好了，应用程序就可以来控制 GPIO 硬件设备了。

应用程序

应用程序仍然放在 ~/tmp/App/ 目录下。

```
$ mkdir ~/tmp/App/app_mygpio
$ cd ~/tmp/App/app_mygpio
$ touch app_mygpio.c
```

文件内容如下：

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <assert.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/ioctl.h>

#define MY_GPIO_NUMBER    4

// 4个设备节点
char gpio_name[MY_GPIO_NUMBER][16] = {
  "/dev/mygpio0",
  "/dev/mygpio1",
  "/dev/mygpio2",
  "/dev/mygpio3"
};


int main(int argc, char *argv[])
{
  int fd, gpio_no, val;

    // 参数个数检查
  if (3 != argc)
  {
    printf("Usage: ./app_gpio gpio_no value \n");
    return -1;
  }

  gpio_no = atoi(argv[1]);
  val = atoi(argv[2]);

    // 参数合法性检查
  assert(gpio_no < MY_GPIO_NUMBER);
  assert(0 == val || 1 == val);

  // 打开 GPIO 设备
  if((fd = open(gpio_name[gpio_no], O_RDWR | O_NDELAY)) < 0){
    printf("%s: open failed! \n", gpio_name[gpio_no]);
    return -1;
```

```
    }

    printf("%s: open success! \n", gpio_name[gpio_no]);

    // 控制 GPIO 设备状态
    ioctl(fd, val, gpio_no);

    // 关闭设备
    close(fd);
}
```

以上代码也不需要过多解释，只要注意参数的顺序即可。

接下来就是编译和测试了：

```
$ gcc app_mygpio.c -o app_mygpio
```

执行应用程序的时候，需要携带2个参数：GPIO 设备编号(0 ~ 3)，设置的状态值(0 或者 1)。

这里设置一下/dev/mygpio0这个设备，状态设置为1：

```
$ sudo ./app_mygpio 0 1
[sudo] password for xxx: <输入用户密码>
/dev/mygpio0: open success!
```

如何确认/dev/mygpio0这个GPIO的状态确实被设置为1了呢？当然是看 dmesg 指令的打印信息：

```
$ dmesg
```

```
[ 5406.792554] gpio_open is called.
[ 5406.792621] gpio_ioctl is called.
[ 5406.792622] set GPIO: 0 to 1.
[ 5406.792623] gpio_hw_set is called. gpio_no = 0, val = 1.
```

通过打印信息可以看到：确实执行了【设置 mygpio0 的状态为 1】的动作。

再继续测试一下：设置 mygpio0 的状态为 0：

```
$ sudo ./app_mygpio 0 0
```

```
[ 5779.393809] gpio_open is called.
[ 5779.393878] gpio_ioctl is called.
[ 5779.393879] set GPIO: 0 to 0.
[ 5779.393879] gpio_hw_set is called. gpio_no = 0, val = 0.
```

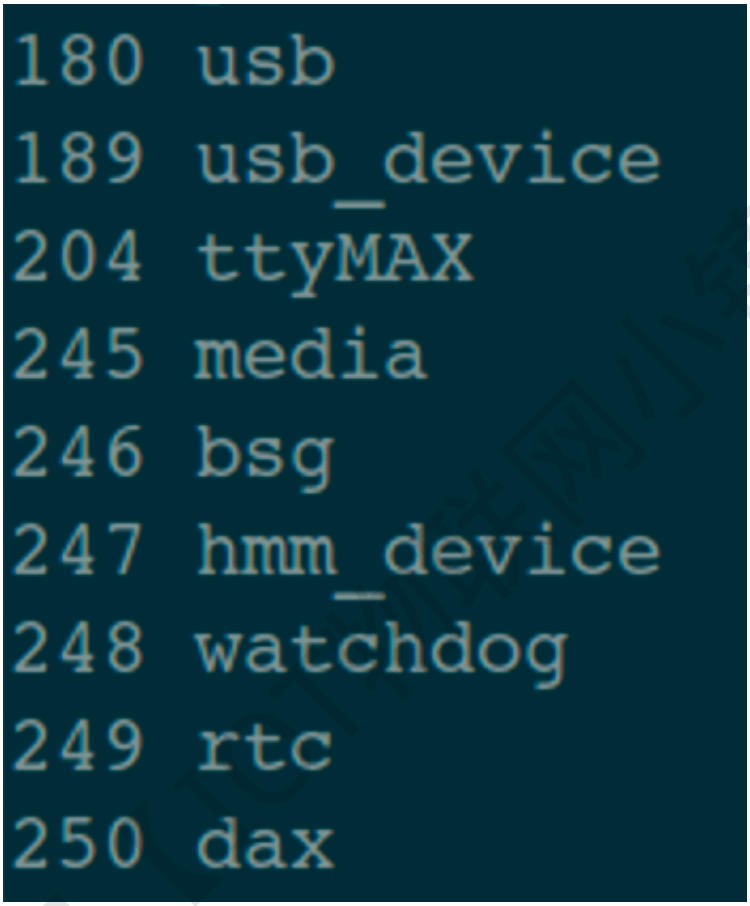
当然了，设置其他几个GPIO口的状态，都是可以正确执行的！

卸载驱动模块

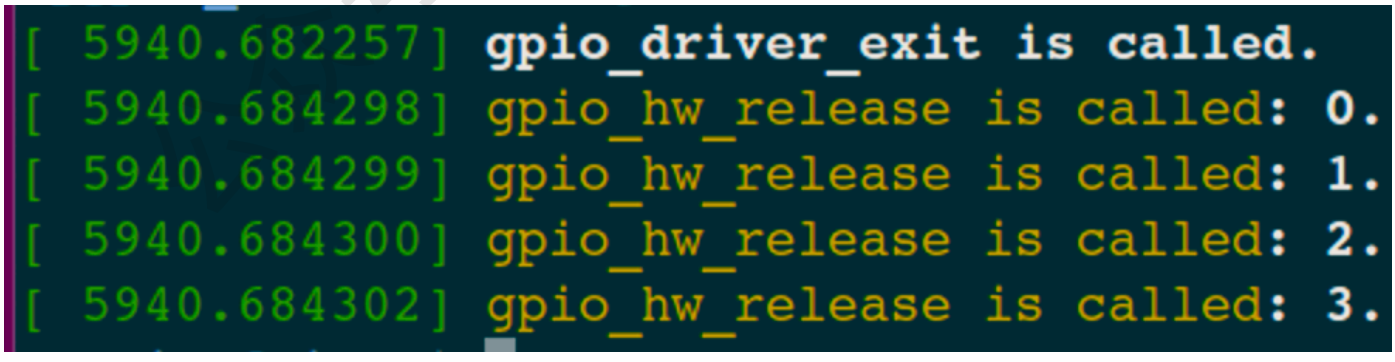
卸载指令：

```
$ sudo rmmod mygpio
```

此时，/proc/devices 下主设备号 244 的 mygpio 已经不存在了。



再来看一下 dmesg的打印信息：



可以看到：驱动程序中的 gpio_driver_exit( ) 被调用执行了。

并且，/dev 目录下的 4 个设备节点，也被函数 device_destroy() 自动删除了！

------ End ------

文中的测试代码，已经放在网盘了。

在公众号【IOT物联网小镇】后台回复关键字：1128，即可获取下载地址。

谢谢！

推荐阅读

【1】《Linux 从头学》系列文章

【2】C语言指针-从底层原理到花式技巧，用图文和代码帮你讲解透彻

【3】原来gdb的底层调试原理这么简单

【4】内联汇编很可怕吗？看完这篇文章，终结它！

其他系列专辑：精选文章、应用程序设计、物联网、 C语言。

星标公众号，第一时间看文章！

C/C++、物联网、嵌入式、Lua语言

Linux 操作系统、应用程序开发设计

扫码关注公众号

道哥 个人微信

喜欢请分享，满意点个赞，最后点在看。