Linux 那些事儿

系列丛书

之

我是 UHCI

[1] 原文为blog.csdn.net/fudan_abc 上的《linux 那些事儿之我是UHCI》，有闲情逸致的或者有批评建议的可以到上面做客，也可以email 到ilttv.cn@gmail.com

目录

引子

写一下 UHCI 吧,也顺便怀念一下 Intel,以及 Intel 的那几个女同事们,好久没联系了,你们可好?

UHCI 是 Intel 提出来的.虽然离开 Intel 一年多了,但我总觉得也许有一天我还会回到 Intel.所以关于 Intel 的东西,我多少会关注一下.我挺怀念 Intel 的,虽然钱也不多,但是那时候毕竟刚毕业,对钱的问题也没想太多.

UHCI 全名 Universal Host Controller Interface,它是一种 USB 主机控制器的接口规范,江湖中把遵守它的硬件称为 UHCI 主机控制器.在 Linux 中,把这种硬件叫做 HC,或者说 Host Controller,而把与它对应的软件叫做 HCD.即 HC Driver.Linux 中这个 HCD 所对应的模块叫做 uhci-hcd.

当我们看一个模块的时候,首先是看 Kconfig 和 Makefile 文件.在 drivers/usb/host/Kconfig 文件中:

```
161 config USB_UHCI_HCD
162         tristate "UHCI HCD (most Intel and VIA) support"
163         depends on USB && PCI
164         ---help---
165           The Universal Host Controller Interface is a standard by Intel for
166           accessing the USB hardware in the PC (which is also called the
USB
167           host controller). If your USB host controller conforms to this
168           standard, you may want to say Y, but see below. All recent
boards
169           with Intel PCI chipsets (like intel 430TX, 440FX, 440LX, 440BX,
170           i810, i820) conform to this standard. Also all VIA PCI chipsets
171           (like VIA VP2, VP3, MVP3, Apollo Pro, Apollo Pro II or Apollo Pro
172           133). If unsure, say Y.
173
174           To compile this driver as a module, choose M here: the
175           module will be called uhci-hcd.
```

众里寻他千百度之后,我发现了上面这段文字,注意那句 depends on USB && PCI.这句话的意思就是说这个选项是依赖于另外两个选项,CONFIG_USB 和 CONFIG_PCI,很显然这两个选项代表着 Linux 中 usb 的核心代码和 pci 的核心代码.

UHCI 作为 USB 主机控制器的接口,它依赖于 usb 核心这很正常,但为何它也依赖于 pci 核心呢?理由很简单,UHCI 主机控制器本身通常是 PCI 设备,即通常它会插在 PCI 插槽里,或者直接就集成在主板上.但总之,大多数的 UHCI 主机控制器是连在 PCI 总线上的.所以,很无奈的是,写 UHCI 驱动程序就不得不了解一点 PCI 设备驱动程序.

先用 lspci 命令看一下,

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22.1/drivers/usb/host # lspci | grep USB
00:1d.0 USB Controller: Intel Corporation Enterprise Southbridge UHCI USB #1
(rev 09)
00:1d.1 USB Controller: Intel Corporation Enterprise Southbridge UHCI USB #2
(rev 09)
00:1d.2 USB Controller: Intel Corporation Enterprise Southbridge UHCI USB #3
(rev 09)
00:1d.7 USB Controller: Intel Corporation Enterprise Southbridge EHCI USB (rev
09)
```

比如在我的计算机里,就有三个 UHCI 主机控制器,以及另一个主机控制器,EHCI 主机控制器,它们都是 pci 设备.

接着我们来看 Makefile.

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22.1/drivers/usb/host # cat Makefile
#
# Makefile for USB Host Controller Drivers
#

ifeq ($(CONFIG_USB_DEBUG),y)
        EXTRA_CFLAGS            += -DDEBUG
endif

obj-$(CONFIG_PCI)               += pci-quirks.o

obj-$(CONFIG_USB_EHCI_HCD)      += ehci-hcd.o
obj-$(CONFIG_USB_ISP116X_HCD)   += isp116x-hcd.o
obj-$(CONFIG_USB_OHCI_HCD)      += ohci-hcd.o
obj-$(CONFIG_USB_UHCI_HCD)      += uhci-hcd.o
obj-$(CONFIG_USB_SL811_HCD)     += sl811-hcd.o
obj-$(CONFIG_USB_SL811_CS)      += sl811_cs.o
obj-$(CONFIG_USB_U132_HCD)      += u132-hcd.o
```

很显然,我们要的就是与 CONFIG_USB_UHCI_HCD 对应的 uhci-hcd.o 这个模块.而与 uhci-hcd.o 最相关的就是与之同名的 C 文件.这是它的源文件.在 drivers/usb/host/uhci-hcd.c 的最后 7 行,我们看到:

```
969 module_init(uhci_hcd_init);
970 module_exit(uhci_hcd_cleanup);
971
972 MODULE_AUTHOR(DRIVER_AUTHOR);
973 MODULE_DESCRIPTION(DRIVER_DESC);
```

```
974 MODULE_LICENSE("GPL");
```

正如每个女人都应该有一支口红,每个模块都应该有两个宏,它们是 module_init 和 module_exit,分别用来初始化和注销自己.而这两行代码的意思就是说 uhci_hcd_init 这个函数将会在你加载这个模块的时候被调用,uhci_hcd_cleanup 则是将会在你卸载这个模块的时候被执行.

所以我们没有办法,只能从 uhci_hcd_init 开始我们的故事.

```
917 static int __init uhci_hcd_init(void)
918 {
919         int retval = -ENOMEM;
920
921         printk(KERN_INFO DRIVER_DESC " " DRIVER_VERSION "%s\n",
922                         ignore_oc ? ", overcurrent ignored" : "");
923
924         if (usb_disabled())
925                 return -ENODEV;
926
927         if (DEBUG_CONFIGURED) {
928                 errbuf = kmalloc(ERRBUF_LEN, GFP_KERNEL);
929                 if (!errbuf)
930                         goto errbuf_failed;
931                 uhci_debugfs_root = debugfs_create_dir("uhci", NULL);
932                 if (!uhci_debugfs_root)
933                         goto debug_failed;
934         }
935
936         uhci_up_cachep = kmem_cache_create("uhci_urb_priv",
937                 sizeof(struct urb_priv), 0, 0, NULL, NULL);
938         if (!uhci_up_cachep)
939                 goto up_failed;
940
941         retval = pci_register_driver(&uhci_pci_driver);
942         if (retval)
943                 goto init_failed;
944
945         return 0;
946
947 init_failed:
948         kmem_cache_destroy(uhci_up_cachep);
949
950 up_failed:
951         debugfs_remove(uhci_debugfs_root);
952
```

```
953 debug_failed:
954             kfree(errbuf);
955
956 errbuf_failed:
957
958             return retval;
959 }
```

我不知道这个函数算不算我们迄今为止最有技术含量的一个函数.我甚至怀疑,以前写代码的哥们喜欢用冗长的函数来吓唬我,后来,通过我像祥林嫂般的不断<<呐喊>>,他们也开始<<彷徨>>,他们也开始<<友邦惊诧>>,他们发现,那种冗长的代码就像雷锋塔一样,迟早要倒掉的.所以他们修正了自己写代码的风格,也算是<<从百草园到三味书屋>>了吧,只可惜,我在复旦荒废了四年光阴,毕业后文化程度远不及<<孔乙己>>,充其量也就是<<少年闰土>>的水准.所以,眼前这个函数,对我来说,只能说,简约,而不简单.莫非…难道…写代码的哥们都穿了利郎商务男装?要不就是他们都是陈道明的粉丝.

开户和销户

之所以说 uhci_hcd_init 有技术含量,并不是说它包含多么精巧的算法,包含多么复杂的数据结构.而是因为这其中涉及了很多东西.首先 924 行,usb_disable 涉及了 Linux 中的内核参数的概念.928 行的 kmalloc 和 936 行的 kmem_cache_create 涉及了 Linux 内核中内存申请的问题,931 行 debugfs_create_dir 则涉及到了文件系统,一个虚拟的文件系统 debugfs,而 941 行 pci_register_driver 则涉及到了 Linux 中 pci 设备驱动程序的注册.

这么多东西往这里一堆,其复杂程度立马就上来了.在这个共和国 58 周年的喜庆日子里,我是多么希望我们的伟大祖国繁荣昌盛啊!同时,我又是多么希望这个函数有且只有 921 那么一行 printk 语句啊!

第一,内核参数,什么是内核参数?看一下你的 grub 文件,

```
title SUSE Linux Enterprise Server 10 (kdb enabled)
    kernel (hd0,2)/boot/vmlinuz-2.6.22.1-test root=/dev/hda3
resume=/dev/hda2   splash=silent showopts
    initrd /boot/initrd-2.6.22.1-test
```

kernel 那行的都是内核参数,比如 root,比如 resume,比如 splash,比如 showopts.其中 root=代表的是你的 Root 文件系统的位置,resume=代表的是你用来做 software suspend 恢复的那个分区,而 usb 子系统也准备了这么一个参数,其名字就叫做 nousb.所以你可以往这一行后面加上 nousb,这就意味着你的系统不需要支持 usb,或者换一种说法,你把 usb 子系统给 disable 掉了.nousb 默认为 0,你设置了它就为 1.而 usb_disabled 返回的就是 nousb 的值.我们在 drivers/usb/core/usb.c 中也能看到这个函数:

```
852 /*
```

```
853   * for external read access to <nousb>
854   */
855 int usb_disabled(void)
856 {
857           return nousb;
858 }
```

第二,申请内存的两个函数 kmalloc 和 kmem_cache_create.对于 kmalloc,我们早已不陌生,而 kmem_cache_create,呵呵,传说中的 Slab 现身了.传统上,kmem_cache_create 是 Slab 分配器的接口函数,用于创建一个 cache,你要是不知道什么是 cache 的话,你就把它当作内存池,而这里创建了一个 cache 之后,以后你就可以用另一个函数 kmem_cache_zalloc 来申请内存,使用 kmem_cache_free 来释放内存,而当你玩腻了之后,你可以使用 kmem_cache_destroy 来彻底释放这个内存池.这其中一个很重要的特点是每次你用 kmem_cache_zalloc 申请的内存大小是一样的,这正是你在 kmem_cache_create 中的第二个参数所指定的,比如这里的具体情况就是 sizeof(struct urb_priv),即以后你看到你用 kmem_cache_zalloc 申请的内存总是这么大,而这里 kmem_cache_create 的返回值就是创建好的那个 cache.这里返回值被赋给了 uhci_up_cachep,它是一个 struct kmem_cache 的结构体指针.所以以后你使用 kmem_cache_zalloc 的时候只要把这个 uhci_up_cachep 作为参数即可.然后你就能得到你想要的内存.对于 kmem_cache_free 和 kmem_cache_destroy 也一样.

对这些函数最简单的理解方法就是,比如你去沃尔玛超市,你需要装东西,超市里给你提供了篮子,你可以把你需要的东西装在篮子里,白痴都知道超市里的篮子数量是有限的,但是基本上你不会碰到说你去超市发现篮子不够的情况,这是因为沃尔玛在开张之前就准备了足够多的篮子,比如它订做了一个仓库的篮子,每个篮子都一样大.即一开始沃尔玛方就调用了 kmem_cache_create 做了一池的篮子,而你每次去就是使用 kmem_cache_zalloc 去拿一个篮子即可,而当你付款之后你要离开了,你又调用 kmem_cache_free 去归还篮子,每个人都这样做的话,你下次去了你要用篮子你又可以 kmem_cache_zalloc 再拿一个.而一旦哪天沃尔玛宣武门分店连续亏损,店子做不下去了,它就可以调用 kmem_cache_destroy 把篮子全都毁掉,当然更形象的例子是它把篮子转移到别的店去,比如知春路分店,那么从整个沃尔玛公司来看,可以供来装东西的容器总容积还是没有变.正如你的计算机总的内存是不会变的.假如公司将来又打算在国贸开一家分店,那么它可以再次调用 kmem_cache_create.而对你来说,你并不需要知道一池内存到底有多少,就像你永远不用知道沃尔玛知春路店究竟有多少个篮子一样.

好了,第三个,debugfs_create_dir,传说中的 debugfs 也现身了.很多事情都是早已注定的,原本以为写设备驱动的只要懂一些硬件规范就可以了,后来终于在眼泪中明白,有些人一旦写代码就会越写越复杂.如今的内核代码早已不像那时候了那么单纯了,记得奶茶刘若英也在专门为此而唱了一首歌,叫做后来,歌中感叹,

后来我总算学会了如何去看代码,

可惜那简单的代码早已远去消失在人海,

后来终于在眼泪中明白,

有些代码一旦错过就不再.

那时候的代码,为什么就能那样简单,

而又是为什么,人年少时,没有好好的看代码,

在这相似的深夜里你是否一样也在静静追悔感伤,

如果当时我们能不那么贪玩,现在也不那么遗憾.

遗憾归遗憾,代码还是要看.以前我一直以为,Linux 中 PCI 子系统和 USB 子系统的掌门人 Greg 同志只是一个花拳绣腿的家伙,只是每天忙着到处演讲,开会,而不干正经事,后来我发现,其实不是的,Greg 其实还是干了很多有意义的事情,我不得不承认,Greg 是条汉子!debugfs 就是他开发的,这是一个虚拟的文件系统,Greg 同志在 2.6.11 中把它引入的,专门用于输出调试信息,这个文件系统默认是被挂载在/sys/kernel/debug 下面,比如

```
localhost:~ # mount
/dev/hda3 on / type reiserfs (rw,acl,user_xattr)
proc on /proc type proc (rw)
sysfs on /sys type sysfs (rw)
debugfs on /sys/kernel/debug type debugfs (rw)
udev on /dev type tmpfs (rw)
devpts on /dev/pts type devpts (rw,mode=0620,gid=5)
```

这个文件系统是专门为开发者准备的,在配置内核的时候可以选择编译进去也可以选择不编译进去.其对应的 Kconfig 文件是 lib/Kconfig.debug.

```
50 config DEBUG_FS
51         bool "Debug Filesystem"
52         depends on SYSFS
53         help
54           debugfs is a virtual file system that kernel developers use to put
55           debugging files into.  Enable this option to be able to read and
56           write to these files.
57
58           If unsure, say N.
```

很有意思的是这个文件系统居然依赖于另一个文件系统,sysfs.如果你用 make menuconfig 命令编译内核的话,你可以在 Kernel hacking 下面找到它,就叫 DEBUG_FS.我们不去深入研究这个文件系统,但是对于它的接口函数是有必要了解一下的.

首先第一个就是这里这个 debugfs_create_dir,这很简单,就是创建一个目录.像这里这么一行的作用就是在/sys/kernel/debug 下面创建一个叫做 uhci 的目录,比如你加载了 uhci-hcd 这个模块的话你就能像我一样看到 uhci 这么一个目录:

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22.1 # ls /sys/kernel/debug/
kprobes  uhci
```

这个函数的返回值是文件系统里最经典的一个结构体指针,struct dentry 的指针,而这里我们把返回值赋给了 uhci_debugfs_root,后者正是一个 struct dentry 指针,它被定义于 drivers/usb/host/uhci-debug.c 中,

```
20 static struct dentry *uhci_debugfs_root;
```

显然这个指针对我们 uhci-hcd 这个模块来说是到处都可以引用的.而从此之后要在 uhci 目录下创建文件就是用 debugfs_create_file 这个函数,我们将会在 uhci_start 函数中见到,到时候再说.而以后删除这个目录的任务就在 uhci_hcd_cleanup 中,它只要调用 debugfs_remove 函数即可.至于在这个目录下创建什么文件,具体有什么用,只能到时候再来看,现在时机尚未成熟,很多术语尚未交待.

现在剩下第四个问题,pci_register_driver,其实一路走来的兄弟们应该多少有点感觉,虽然我们没见过这个函数,但是我们能感觉出它和我们当初的那个 usb_register_driver 是一个性质的,一个是注册 usb 驱动,一个是注册 pci 驱动.这里的参数 uhci_pci_driver 是我们要关注的.

```
894 static const struct pci_device_id uhci_pci_ids[] = { {
895         /* handle any USB UHCI controller */
896         PCI_DEVICE_CLASS(PCI_CLASS_SERIAL_USB_UHCI, ~0),
897         .driver_data =   (unsigned long) &uhci_driver,
898         }, { /* end: all zeroes */ }
899 };
900
901 MODULE_DEVICE_TABLE(pci, uhci_pci_ids);
902
903 static struct pci_driver uhci_pci_driver = {
904         .name =          (char *)hcd_name,
905         .id_table =      uhci_pci_ids,
906
907         .probe =         usb_hcd_pci_probe,
908         .remove =        usb_hcd_pci_remove,
909         .shutdown =      uhci_shutdown,
910
911 #ifdef   CONFIG_PM
912         .suspend =       usb_hcd_pci_suspend,
913         .resume =        usb_hcd_pci_resume,
914 #endif   /* PM */
915 };
```

跟我们走过 usb-storage 的同志们应该是一看就知道怎么回事了吧?尤其是那个 uhci_pci_ids,这张表怎么看怎么觉得似曾相识.没错,它的作用正如我们当初那张 storage_usb_ids.所以我就不多说了.这里 PCI_CLASS_SERIAL_USB_UHCI 是 0x0c0300,03 表示类别为 03,这代表 USB,而 00 代表 UHCI,如果是 OHCI,就是 0x0c0310,而 EHCI 则是 0x0c0320.而最前面两位的 0c 呢?PCI spec 中专门有一节叫 Class Code,其中就有如下一张图:

Base Class 0Ch

This base class is defined for all types of serial bus controllers. Several sub-class values are defined. There are no specific register-level programming interfaces defined.

Base Class	Sub-Class	Interface	Meaning
0Ch	00	00h	FireWire (IEEE 1394).
	01h	00h	ACCESS.bus.
	02h	00h	SSA.
	03h	00h	Universal Serial Bus (USB).
	04h	00h	Fibre Channel.

可以看出,PCI spec 规定了,0c 代表所有的串行总线控制器,其中 03 为 USB.

所以我们不难知道,我们真正的故事将从哪个函数开始.老规矩,probe 函数,即 usb_hcd_pci_probe.在讲这个函数之前我们把这个超级简单的 uhci_hcd_cleanup 也给贴出来.

```
961 static void __exit uhci_hcd_cleanup(void)
962 {
963         pci_unregister_driver(&uhci_pci_driver);
964         kmem_cache_destroy(uhci_up_cachep);
965         debugfs_remove(uhci_debugfs_root);
966         kfree(errbuf);
967 }
```

我相信,看完我们这一节的你,不需要我多讲这个函数了吧,如果我再多讲两句,恐怕你就会用<<疯狂的石头>>里的那句经典台词说我不仅是侮辱你的人格,更是侮辱你的智商了.

总之吧,一个模块就是这样,你写一个注册函数,写一个注销函数,就 ok 了.我们出来行走江湖的,最重要是讲一个利字!Linux 中模块机制的便利就是,当你想用它的时候你可以用 modprobe 或者 insmod 加载它,当你不想用它的时候,你可以用 rmmod 卸载它.加载就是注册,卸载就是注销,就像银行里的开户和销户,但至少这种服务你可以随意享受,不像工商银行那样乱收费,而且收费的时候说要和国际接轨,服务的时候却说要有中国特色,存款利率说要和国际接轨,贷款利率却又说要有中国特色.赚钱的时候告诉国人说自己是海外上市企业,然后将大把大把从国人腰包里搜刮来的银子奉献给国外的同行,赔钱的时候告诉国人说,自己是全民所有制企业,财政部就手忙脚乱拿着纳税人的银子给他们家动辄几千亿的坏账买单...

PCI,我们来了

usb_hcd_pci_probe 带领我们开启了新的篇章.它就是神圣的 PCI 设备驱动程序.从此我们开始了 PCI 世界之旅,也将开始一段全新的体验.

细心的你或许注意到了,关于 hcd 的代码,被分布于两个目录,它们是 drivers/usb/core/以及 drivers/usb/host/,其中前者包含三个相关的文件,hcd-pci.c,hcd.c,hcd.h,这是一些公共的代码,因为我们知道,USB 主机控制器有很多种,光从接口来说,目前就有 UHCI,OHCI,EHCI,谁知道以后还会不会有更多呢.而这些主机控制器的驱动程序有一些代码是相同的,所以就把它提取出来,专门写在某几个文件里,因此有了这种格局.光就某一种具体的 hcd 的代码,还是在 drivers/usb/host/下面,比如与 uhci 相关的代码就是以下几个文件,

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22.1/drivers/usb/host # ls uhci-*
uhci-debug.c  uhci-hcd.c  uhci-hcd.h  uhci-hub.c  uhci-q.c
```

就 uhci 的驱动来说,其四大函数指针 probe/remove/suspend/resume 都是指向一些公共的函数,都定义于 drivers/usb/core/hcd-pci.c 中,只有一个 shutdown 指针指向的函数 uhci_shutdown 是它自己定义的,来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c 中.

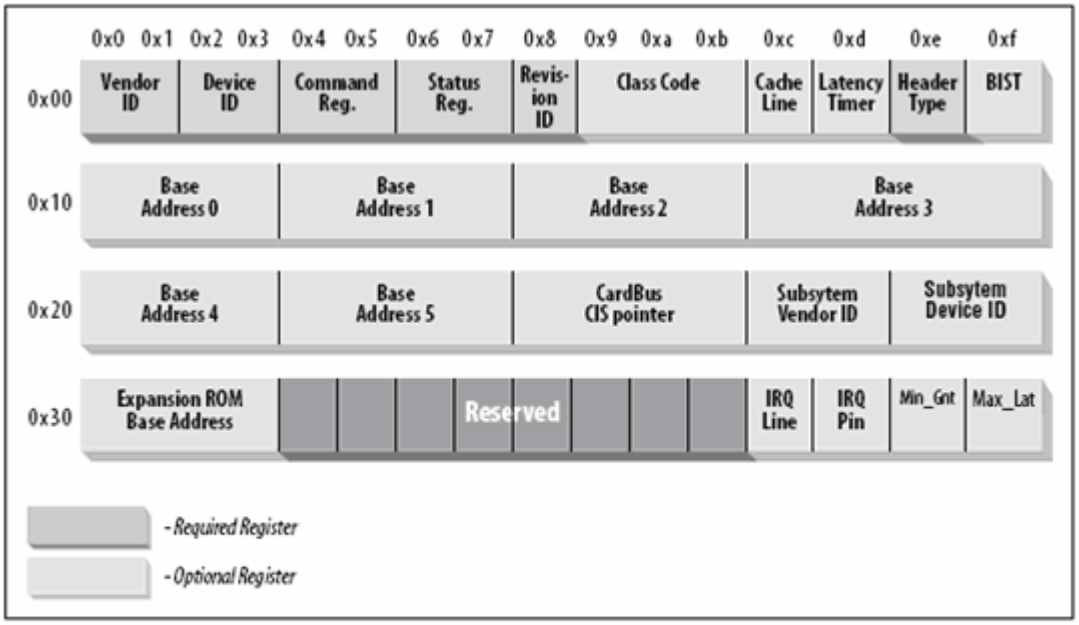
所以我们首先要看的 probe 函数,即 usb_hcd_pci_probe 是来自 drivers/usb/core/hcd-pci.c,

```
46 /**
47  * usb_hcd_pci_probe - initialize PCI-based HCDs
48  * @dev: USB Host Controller being probed
49  * @id: pci hotplug id connecting controller to HCD framework
50  * Context: !in_interrupt()
51  *
52  * Allocates basic PCI resources for this USB host controller, and
53  * then invokes the start() method for the HCD associated with it
54  * through the hotplug entry's driver_data.
55  *
56  * Store this function in the HCD's struct pci_driver as probe().
57  */
58 int usb_hcd_pci_probe (struct pci_dev *dev, const struct pci_device_id *id)
59 {
60          struct hc_driver        *driver;
61          struct usb_hcd          *hcd;
62          int                     retval;
63
64          if (usb_disabled())
65                  return -ENODEV;
66
```

```
     67          if (!id || !(driver = (struct hc_driver *) id->driver_data))
     68                  return -EINVAL;
     69
     70          if (pci_enable_device (dev) < 0)
     71                  return -ENODEV;
     72          dev->current_state = PCI_D0;
     73          dev->dev.power.power_state = PMSG_ON;
     74
     75          if (!dev->irq) {
     76                  dev_err (&dev->dev,
     77                          "Found HC with no IRQ.   Check BIOS/PCI %s
setup!\n",
     78                          pci_name(dev));
     79                  retval = -ENODEV;
     80                  goto err1;
     81          }
     82
     83          hcd = usb_create_hcd (driver, &dev->dev, pci_name(dev));
     84          if (!hcd) {
     85                  retval = -ENOMEM;
     86                  goto err1;
     87          }
     88
     89          if (driver->flags & HCD_MEMORY) {         // EHCI, OHCI
     90                  hcd->rsrc_start = pci_resource_start (dev, 0);
     91                  hcd->rsrc_len = pci_resource_len (dev, 0);
     92                  if (!request_mem_region (hcd->rsrc_start, hcd->rsrc_len,
     93                                  driver->description)) {
     94                          dev_dbg (&dev->dev, "controller already in
use\n");
     95                          retval = -EBUSY;
     96                          goto err2;
     97                  }
     98                  hcd->regs = ioremap_nocache (hcd->rsrc_start,
hcd->rsrc_len);
     99                  if (hcd->regs == NULL) {
    100                          dev_dbg (&dev->dev, "error mapping
memory\n");
    101                          retval = -EFAULT;
    102                          goto err3;
    103                  }
    104
    105          } else {                                  // UHCI
    106                  int       region;
```

```
    107
    108                 for (region = 0; region < PCI_ROM_RESOURCE; region++)
{
    109                         if (!(pci_resource_flags (dev, region) &
    110                                         IORESOURCE_IO))
    111                                 continue;
    112
    113                         hcd->rsrc_start = pci_resource_start (dev,
region);
    114                         hcd->rsrc_len = pci_resource_len (dev, region);
    115                         if (request_region (hcd->rsrc_start,
hcd->rsrc_len,
    116                                         driver->description))
    117                                 break;
    118                 }
    119                 if (region == PCI_ROM_RESOURCE) {
    120                         dev_dbg (&dev->dev, "no i/o regions
available\n");
    121                         retval = -EBUSY;
    122                         goto err1;
    123                 }
    124         }
    125
    126         pci_set_master (dev);
    127
    128         retval = usb_add_hcd (hcd, dev->irq, IRQF_SHARED);
    129         if (retval != 0)
    130                 goto err4;
    131         return retval;
    132
    133  err4:
    134         if (driver->flags & HCD_MEMORY) {
    135                 iounmap (hcd->regs);
    136  err3:
    137                 release_mem_region (hcd->rsrc_start, hcd->rsrc_len);
    138         } else
    139                 release_region (hcd->rsrc_start, hcd->rsrc_len);
    140  err2:
    141         usb_put_hcd (hcd);
    142  err1:
    143         pci_disable_device (dev);
    144         dev_err (&dev->dev, "init %s fail, %d\n", pci_name(dev), retval);
    145         return retval;
    146 }
```

PCI 设备驱动程序比 USB 设备驱动程序肯定要复杂,就像从未在各类国际级模特大赛 T 型台上出现过的林志玲被称为台湾第一名模一样,无可争议.其它我不说,光凭这幅经典的 PCI 标准配置寄存器的图就够我们这些新手们研究半天的.



看明白这张图就算对 PCI 设备驱动有了一点认识了,看不明白的话就说明还没入门.不过表慌,我也不懂,让我陪着你一起往下看,结合代码来看.不过你记住了,从此刻开始,这张图将被我们无数次的提起.为了便于称呼,我们给这张图取个好记的名字,就叫清明上坟图吧,下称上坟图.这张图在整个 PCI 世界里的作用就相当于我们学习化学的教材中最后几页里附上的那个化学元素周期表.写 PCI 设备驱动的人对于这张图的熟悉程度就要达到我们当时那种随口就能喊出氢氦锂铍硼碳氮氧氟氖钠镁铝硅磷硫氯氩钾钙的境界.

70 行,pci_enable_device(),在一个 pci 设备可以被使用之前,必须调用 pci_enable_device 进行激活,该函数会调用底层代码激活 PCI 设备上的 I/O 资源和内存资源.而 143 行那个 pci_disable_device 则恰恰是做一些与之相反的事情.这两个函数是任何一个 pci 设备驱动程序都会调用的.只有在 enable 了设备之后,驱动程序才可以访问它的资源.

72 行,73 行,现在知道我在 hub 驱动中讲电源管理的原因了吧,老实说,不懂电源管理,在当今的 Linux 内核中那绝对是寸步难行.这里我们的 dev 是 struct pci_dev 结构体指针,它有一个成员,pci_power_t current_state.用来记录该设备的当前电源状态,这个世界上除了我们熟知的 PCI Spec 以外,还有一个规范叫做 PCI Power Management Spec,它就专门为 PCI 设备定义那些电源管理方面的接口,按这个规范,PCI 设备一共可以有四种电源状态,被称为 D0,D1,D2,D3.正常的工作状态就是 D0.而 D3 是耗电最少的状态.你要不求甚解的话就可以认为 D3 就意味着设备 Power off 了.在 include/linux/pci.h 中有关于这些状态的定义.

```
74 #define PCI_D0          ((pci_power_t __force) 0)
```

```
75 #define PCI_D1          ((pci_power_t __force) 1)
76 #define PCI_D2          ((pci_power_t __force) 2)
77 #define PCI_D3hot       ((pci_power_t __force) 3)
78 #define PCI_D3cold      ((pci_power_t __force) 4)
79 #define PCI_UNKNOWN     ((pci_power_t __force) 5)
80 #define PCI_POWER_ERROR ((pci_power_t __force) -1)
```

而 PMSG_ON 我们在 hub 驱动中已经讲过了.不再多说.所以到现在你必须明白当初我的用心良苦了,当初分析电源管理的代码靠的就是一种男人的责任,<<奋斗>>中向南说过,责任不是说我们应该做什么,而是必须做什么.

75 行,dev->irq,struct pci_dev 有这么一个成员,unsigned int irq.这个意思很明显,中断号,它来自哪里?好,让我们第一次说一下这张清明上坟图了,每一个 PCI 设备都有一堆的寄存器,厂商就是按着这张图来设计自己的设备,这张图里全都是寄存器,但是并非所有的设备都要拥有这全部的寄存器,这其中有些是必选的,有些是可选的,就好比我们大学里面的必修课和选修课.比如,vendorID,deviceID,class 这就是必选的,它们就用来标志一个设备,而 subsystem vendorID,subsystem deviceID 也是很多厂商会利用的,因为可以进一步的细分设备.这里这个 class 就是对应于我们前面提到过的那个 class code.比如 USB 就是 0x0c03.

仔细数一数,这张图里一共是 64 个 bytes.而其中倒数第四个 bytes,即 byte 60,是 IRQ Line.这个寄存器记录的正是该设备可以使用的中断号.在系统初始化的时候这个值就已经被写进去了,所以对于写设备驱动的人来说,不需要考虑太多,鲁迅先生对此有一个建议,叫做拿来主义,直接用就是了.这就是 dev->irq 这行的意思.USB Host Controller 是必须有中断号的,否则肯定没法正常工作.

接下来,usb_create_hcd.这回才是正儿八经的进入到 usb hcd 的概念.这个函数来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
1480 /**
1481  * usb_create_hcd - create and initialize an HCD structure
1482  * @driver: HC driver that will use this hcd
1483  * @dev: device for this HC, stored in hcd->self.controller
1484  * @bus_name: value to store in hcd->self.bus_name
1485  * Context: !in_interrupt()
1486  *
1487  * Allocate a struct usb_hcd, with extra space at the end for the
1488  * HC driver's private data.  Initialize the generic members of the
1489  * hcd structure.
1490  *
1491  * If memory is unavailable, returns NULL.
1492  */
1493 struct usb_hcd *usb_create_hcd (const struct hc_driver *driver,
1494                 struct device *dev, char *bus_name)
1495 {
1496         struct usb_hcd *hcd;
```

```
1497
1498        hcd = kzalloc(sizeof(*hcd) + driver->hcd_priv_size,
GFP_KERNEL);
1499        if (!hcd) {
1500                dev_dbg (dev, "hcd alloc failed\n");
1501                return NULL;
1502        }
1503        dev_set_drvdata(dev, hcd);
1504        kref_init(&hcd->kref);
1505
1506        usb_bus_init(&hcd->self);
1507        hcd->self.controller = dev;
1508        hcd->self.bus_name = bus_name;
1509        hcd->self.uses_dma = (dev->dma_mask != NULL);
1510
1511        init_timer(&hcd->rh_timer);
1512        hcd->rh_timer.function = rh_timer_func;
1513        hcd->rh_timer.data = (unsigned long) hcd;
1514 #ifdef CONFIG_PM
1515        INIT_WORK(&hcd->wakeup_work, hcd_resume_work);
1516 #endif
1517
1518        hcd->driver = driver;
1519        hcd->product_desc = (driver->product_desc) ?
driver->product_desc :
1520                        "USB Host Controller";
1521
1522        return hcd;
1523 }
```

物以类聚

这年头情侣一多,黄瓜就不好卖了. -- 北大门口卖水果的小贩回忆 2005

开源社区的家伙大概都是光棍,因为他们展现给我们的不是情侣多,而是变态的数据结构多.尤其我们这一节里要经历的变态数据结构更是多,基本上这些变态的数据结构都聚集到了这一节,所谓物以类聚吧.这么一堆变态的数据结构,要是写博客的是谭浩强,估计你看了就崩溃了,也亏了是我在写.平心而论,经历了毕业这两年来的种种挫折之后,尤其是两次求职的那冷暖自知的种种辛酸之后,有些东西我也算是看得比较透了,写代码的这群混蛋们就是唯恐天下不乱,每写一个模块就给我们引进一堆复杂的数据结构,仿佛他们的理念就是,男人,就是要对别人狠一点.没办法,哥

们儿也是因为没钱,迫于生计才学 Linux,有钱了我才不会来看这无聊的代码呢,如果我要中 500 万,除了爹妈不换,剩下全换!

usb_create_hcd 的第一个参数 struct hc_driver,这个结构体掀开了我们对 usb host controller driver 的认识,它来自 drivers/usb/core/hcd.h:

```
149 struct hc_driver {
150         const char      *description;    /* "ehci-hcd" etc */
151         const char      *product_desc;   /* product/vendor string */
152         size_t          hcd_priv_size;   /* size of private data */
153
154         /* irq handler */
155         irqreturn_t     (*irq) (struct usb_hcd *hcd);
156
157         int     flags;
158 #define HCD_MEMORY      0x0001          /* HC regs use memory
(else I/O) */
159 #define HCD_USB11       0x0010          /* USB 1.1 */
160 #define HCD_USB2        0x0020          /* USB 2.0 */
161
162         /* called to init HCD and root hub */
163         int     (*reset) (struct usb_hcd *hcd);
164         int     (*start) (struct usb_hcd *hcd);
165
166         /* NOTE:   these suspend/resume calls relate to the HC as
167          * a whole, not just the root hub; they're for PCI bus glue.
168          */
169         /* called after suspending the hub, before entering D3 etc */
170         int     (*suspend) (struct usb_hcd *hcd, pm_message_t
message);
171
172         /* called after entering D0 (etc), before resuming the hub */
173         int     (*resume) (struct usb_hcd *hcd);
174
175         /* cleanly make HCD stop writing memory and doing I/O */
176         void    (*stop) (struct usb_hcd *hcd);
177
178         /* shutdown HCD */
179         void    (*shutdown) (struct usb_hcd *hcd);
180
181         /* return current frame number */
182         int     (*get_frame_number) (struct usb_hcd *hcd);
183
184         /* manage i/o requests, device state */
185         int     (*urb_enqueue) (struct usb_hcd *hcd,
```

```
186                                             struct usb_host_endpoint *ep,
187                                             struct urb *urb,
188                                             gfp_t mem_flags);
189             int     (*urb_dequeue) (struct usb_hcd *hcd, struct urb *urb);
190
191             /* hw synch, freeing endpoint resources that urb_dequeue can't */
192             void    (*endpoint_disable)(struct usb_hcd *hcd,
193                             struct usb_host_endpoint *ep);
194
195             /* root hub support */
196             int             (*hub_status_data) (struct usb_hcd *hcd, char
*buf);
197             int             (*hub_control) (struct usb_hcd *hcd,
198                                     u16 typeReq, u16 wValue, u16 wIndex,
199                                     char *buf, u16 wLength);
200             int             (*bus_suspend)(struct usb_hcd *);
201             int             (*bus_resume)(struct usb_hcd *);
202             int             (*start_port_reset)(struct usb_hcd *, unsigned
port_num);
203             void            (*hub_irq_enable)(struct usb_hcd *);
204                     /* Needed only if port-change IRQs are level-triggered */
205 };
```

说句良心话,你说这么长的一个结构体你要我怎么看?现在制药的都知道要制良心药,你们这些写代码的就不能写良心代码?算了,先不看这个结构体的细节了,反正吧,每个 hcd 都得对应这么一个结构体变量.比如咱们的 uhci,在 drivers/usb/host/uhci-hcd 中就有这么一段:

```
862 static const char hcd_name[] = "uhci_hcd";
863
864 static const struct hc_driver uhci_driver = {
865             .description =          hcd_name,
866             .product_desc =         "UHCI Host Controller",
867             .hcd_priv_size =        sizeof(struct uhci_hcd),
868
869             /* Generic hardware linkage */
870             .irq =                  uhci_irq,
871             .flags =                HCD_USB11,
872
873             /* Basic lifecycle operations */
874             .reset =                uhci_init,
875             .start =                uhci_start,
876 #ifdef CONFIG_PM
877             .suspend =              uhci_suspend,
878             .resume =               uhci_resume,
879             .bus_suspend =          uhci_rh_suspend,
```

```
880         .bus_resume =           uhci_rh_resume,
881 #endif
882         .stop =                 uhci_stop,
883
884         .urb_enqueue =          uhci_urb_enqueue,
885         .urb_dequeue =          uhci_urb_dequeue,
886
887         .endpoint_disable =     uhci_hcd_endpoint_disable,
888         .get_frame_number =     uhci_hcd_get_frame_number,
889
890         .hub_status_data =      uhci_hub_status_data,
891         .hub_control =          uhci_hub_control,
892 };
```

其实就是一堆乱七八糟的指针,也没什么了不起.不过我得提醒你了,在咱们整个故事中也就只有一个 struct hc_driver 变量,就是这一个 uhci_driver,以后凡是提到 hc_driver,指的就是 uhci_driver.不过你说这个 probe 函数咋知道的?probe 函数是 pci 那边的接口,而 hc_driver 是 usb 这边的接口,这两概念咋扯到一块去了呢?呵呵, usb_hcd_pci_probe 函数 67 行,看见没有,driver 在这里被赋值了,而等号右边那个 id->driver_data 又是什么?继续回去看,在 uhci_pci_ids 这张表里写得很清楚,driver_data 就是被赋值为&uhci_driver,所以说一切都是有因才有果的,不会无缘无故的出现一个变量.说到因果,就好比你问我"没房没老婆"是什么关系,我就只能告诉你三十岁以前是并列关系,三十岁以后是因果关系.

继续看,1496 行,一个变态的数据结构还不够,还得来一个更变态的.struct usb_hcd,这意思很明确,有一个 hcd 就得有这么一个结构体,也是来自 drivers/usb/core/hcd.h:

```
47 /*-------------------------------------------------------------------------*/
48
49 /*
50  * USB Host Controller Driver (usb_hcd) framework
51  *
52  * Since "struct usb_bus" is so thin, you can't share much code in it.
53  * This framework is a layer over that, and should be more sharable.
54  */
55
56 /*-------------------------------------------------------------------------*/
57
58 struct usb_hcd {
59
60         /*
61          * housekeeping
62          */
63         struct usb_bus          self;           /* hcd is-a bus */
64         struct kref             kref;           /* reference counter */
65
```

```
     66          const char              *product_desc;   /* product/vendor string
*/
     67          char                    irq_descr[24];   /* driver + bus # */
     68
     69          struct timer_list       rh_timer;        /* drives root-hub polling
*/
     70          struct urb              *status_urb;     /* the current status urb
*/
     71 #ifdef CONFIG_PM
     72          struct work_struct      wakeup_work;     /* for remote wakeup
*/
     73 #endif
     74
     75          /*
     76           * hardware info/state
     77           */
     78          const struct hc_driver  *driver;         /* hw-specific hooks */
     79
     80          /* Flags that need to be manipulated atomically */
     81          unsigned long           flags;
     82 #define HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE  0x00000001
     83 #define HCD_FLAG_SAW_IRQ        0x00000002
     84
     85          unsigned                rh_registered:1;/* is root hub registered?
*/
     86
     87          /* The next flag is a stopgap, to be removed when all the HCDs
     88           * support the new root-hub polling mechanism. */
     89          unsigned                uses_new_polling:1;
     90          unsigned                poll_rh:1;       /* poll for rh status? */
     91          unsigned                poll_pending:1; /* status has changed?
*/
     92          unsigned                wireless:1;      /* Wireless USB HCD */
     93
     94          int                     irq;             /* irq allocated */
     95          void __iomem            *regs;           /* device memory/io */
     96          u64                     rsrc_start;      /* memory/io resource
start */
     97          u64                     rsrc_len;        /* memory/io resource
length */
     98          unsigned                power_budget;    /* in mA, 0 = no limit
*/
     99
    100 #define HCD_BUFFER_POOLS        4
```

```
101         struct dma_pool         *pool [HCD_BUFFER_POOLS];
102
103         int                     state;
104 #       define  __ACTIVE                0x01
105 #       define  __SUSPEND               0x04
106 #       define  __TRANSIENT             0x80
107
108 #       define  HC_STATE_HALT           0
109 #       define  HC_STATE_RUNNING        (__ACTIVE)
110 #       define  HC_STATE_QUIESCING
(__SUSPEND|__TRANSIENT|__ACTIVE)
111 #       define  HC_STATE_RESUMING
(__SUSPEND|__TRANSIENT)
112 #       define  HC_STATE_SUSPENDED      (__SUSPEND)
113
114 #define HC_IS_RUNNING(state) ((state) & __ACTIVE)
115 #define HC_IS_SUSPENDED(state) ((state) & __SUSPEND)
116
117         /* more shared queuing code would be good; it should support
118          * smarter scheduling, handle transaction translators, etc;
119          * input size of periodic table to an interrupt scheduler.
120          * (ohci 32, uhci 1024, ehci 256/512/1024).
121          */
122
123         /* The HC driver's private data is stored at the end of
124          * this structure.
125          */
126         unsigned long hcd_priv[0]
127                         __attribute__ ((aligned (sizeof(unsigned long))));
128 };
```

所以 usb_create_hcd 这个函数就是为 struct usb_hcd 申请内存空间,并且初始化.我们来看它具体如何初始化的.

1498 行是申请内存,并且初值为 0.

接下来你得注意了,usb_create_hcd 中的 dev 可是 struct device 结构体指针,而刚才的 usb_hcd_pci_probe 中的 dev 是 struct pci_dev 结构体指针,struct pci_dev 虽然我们没说,但也该知道,表示的就是一个 pci 设备,它有一个成员 struct device dev,所以实际上我们看到我们在调用 usb_create_hcd 的时候第二个参数是&dev->dev.而这里 1503 行这个 dev_set_drvdata 就是一简单的内联函数,来自 include/linux/device.h:

```
491 static inline void
492 dev_set_drvdata (struct device *dev, void *data)
493 {
```

```
494             dev->driver_data = data;
495 }
```

struct device 这个结构体中有一个成员 void *driver_data,所以在我们这里,其效果就是令 dev->driver_data 等于咱们这里申请好的 hcd.

而 1504 行就是初始化一个引用计数,struct usb_hcd 也不是白贴出来了,至少我们可以看到它有一个成员 struct kref kref,这玩艺说白了就是一个引用计数的变量.

1506 行,我不知道该说什么了,反正我也贴出来了,你也看到了,struct usb_hcd 中有一个成员 struct usb_bus self,我们说了一个主机控制器就意味着一条总线,所以这里又出来另一个结构体,struct usb_bus,

```
273 /*
274  * Allocated per bus (tree of devices) we have:
275  */
276 struct usb_bus {
277             struct device *controller;      /* host/master side hardware */
278             int busnum;                     /* Bus number (in order of reg)
*/
279             char *bus_name;                 /* stable id (PCI slot_name etc)
*/
280             u8 uses_dma;                    /* Does the host controller use
DMA? */
281             u8 otg_port;                    /* 0, or number of OTG/HNP port
*/
282             unsigned is_b_host:1;           /* true during some HNP
roleswitches */
283             unsigned b_hnp_enable:1;        /* OTG: did A-Host enable HNP?
*/
284
285             int devnum_next;                /* Next open device number in
286                                             * round-robin allocation */
287
288             struct usb_devmap devmap;       /* device address allocation
map */
289             struct usb_device *root_hub;    /* Root hub */
290             struct list_head bus_list;      /* list of busses */
291
292             int bandwidth_allocated;        /* on this bus: how much of the
time
293                                             * reserved for periodic (intr/iso)
294                                             * requests is used, on average?
295                                             * Units: microseconds/frame.
```

```
    296                                         * Limits: Full/low speed reserve
90%,
    297                                         * while high speed reserves 80%.
    298                                         */
    299         int bandwidth_int_reqs;         /* number of Interrupt requests
*/
    300         int bandwidth_isoc_reqs;        /* number of Isoc. requests */
    301
    302 #ifdef CONFIG_USB_DEVICEFS
    303         struct dentry *usbfs_dentry;    /* usbfs dentry entry for the bus
*/
    304 #endif
    305         struct class_device *class_dev; /* class device for this bus */
    306
    307 #if defined(CONFIG_USB_MON)
    308         struct mon_bus *mon_bus;          /* non-null when associated */
    309         int monitored;                  /* non-zero when monitored */
    310 #endif
    311 };
```

有时候我真的很困惑,难道定义的结构体越多说明写代码的人腕儿越大?真的,我算是看明白了,这些人的思路是,一定得选最变态的数据结构,行数至少也得 30 行,什么 int 型呀,char 型呀,unsinged 型呀,能给它用的全给它用上,结构体前边有说明,里边有嵌套的结构体,结构体内写一堆注释,跨行,特长的那种,一套地道的 gcc 语法,倍儿有面子,再用上 ANSI C 的 struct 结构体初始化形式,一个结构体光指针就得十来个,再添加一些宏定义,编译开关,就是一个字儿--帅!写个模块就得定义十个八个的结构体,你要是只定义两三个啊,你都不好意思在开源社区里跟人家打招呼,你说这样的代码,一个模块得卖多少钱?我觉得怎么着也得两千美金吧,两千美金?!那是人力成本,四千美金起,你别嫌贵,还不打折,你得研究用户的购买心理,愿意掏两千美金买源程序的用户,根本不在乎再多掏两千,什么叫成功人士你知道吗?成功人士就是,买什么都买最复杂的,不买最好的,所以我们写代码的口号就是,不求最好,但求最复杂.

I/O 内存和 I/O 端口

usb_bus_init 来自 drivers/usb/core/hcd.c,很显然,它就是初始化 struct usb_bus 结构体指针.而这个结构体变量 hcd->self 的内存已经在刚才为 hcd 申请内存的时候一并申请了.

```
    688 /**
    689  * usb_bus_init - shared initialization code
    690  * @bus: the bus structure being initialized
    691  *
    692  * This code is used to initialize a usb_bus structure, memory for which is
    693  * separately managed.
```

```
694  */
695 static void usb_bus_init (struct usb_bus *bus)
696 {
697         memset (&bus->devmap, 0, sizeof(struct usb_devmap));
698
699         bus->devnum_next = 1;
700
701         bus->root_hub = NULL;
702         bus->busnum = -1;
703         bus->bandwidth_allocated = 0;
704         bus->bandwidth_int_reqs  = 0;
705         bus->bandwidth_isoc_reqs = 0;
706
707         INIT_LIST_HEAD (&bus->bus_list);
708 }
```

我相信你早已忘记了,当初在 hub 驱动中我就讲过,devnum_next 在总线初始化的时候会被设为 1,说的就是这里.现在证明当初我没有忽悠你吧.这里其它的赋值就不多说了,用到的时候我会告诉你的,相信我,这是同志的信任.

回到 usb_create_hcd 中来,又是几行赋值,飘过.

倒是 1511 行引起了我的注意,又是可恶的时间机制,init_timer,这个函数我们也见过多次了,usb-storage 里见过,hub 里见过,斑驳的陌生终于在时间的抚摸下变成了今日的熟悉.这里我们设置的函数是 rh_timer_func,而传递给这个函数的参数是 hcd.这个函数具体做什么我们走着瞧,不过你放心,咱们这个故事里会多次接触到这个 timer,想逃是逃不掉的,躲得过初一躲不过十五.

1515 行,INIT_WORK 咱们也在 hub 驱动里见过了,这里这个 hcd_resume_work 什么时候会被调用咱们也到时候再看.

剩下两行赋值,1518 行没啥好说的,struct usb_hcd 有一个 struct hc_driver 的结构体指针成员,所以就这样把它和咱们这个 uhci_driver 给联系起来了.而在 uhci_driver 中我们看到,其中有一个 product_desc 被赋值为"UHCI Host Controller",所以这里也赋给 hcd->product_desc,因为 struct hc_driver 和 struct usb_hcd 这两个结构体中都有一个成员 const char *product_desc,你说这不浪费吗?就一个破字符串,还得保存在两个地方,这些家伙九年制义务教育怎么学的?长此以往,国将不国矣!

至此,usb_create_hcd 结束了,返回了这个申请好赋好值的 hcd.我们继续回到 probe 函数中来.

89 到 124 这个 if-else 的确让我开心了一把,因为 if 里说的是 EHCI 和 OHCI 的情况,else 里针对的才是 UHCI,鉴于 EHCI 将由某人来写,而 OHCI 和 UHCI 性质一样,我们不会讲,所以这就意味着这个 if-else 我只要从 105 行开始看,即直接看 UHCI 那部分的代码.爽!

不过我们也得知道这里为何要判断HCD_MEMORY,这个宏的意思是表明该HC的寄存器是使用memory 的,而没有设置这个 flag 的 HC 的寄存器是使用 I/O 的.这些寄存器俗称 I/O 端口,或者说 I/O ports,这个 I/O 端口可以被映射在 Memory Space,也可以被映射在 I/O Space.UHCI 是属于后者,而 EHCI/OHCI 属于前者.

这里看上去必须多说几句,否则很难说清楚.以我们家 Intel 为代表的 i386 系列处理器中,内存和外部 IO 是独立编址独立寻址的,于是有一个地址空间叫做内存空间,另有一个地址空间叫做 I/O 空间.也就是说,从处理器的角度来说,i386 提供了一些单独的指令用来访问 I/O 空间.换言之,访问 I/O 空间和访问普通的内存得使用不同的指令.而在一些玩嵌入式的处理器中,比如 PowerPC,他们家就只使用一个空间,那就是内存空间,那像这种情况,外设的 I/O 端口的物理地址就被映射到内存地址空间中,这就是传说中的 Memory-mapped,内存映射.而我们家那种情况,外设的 I/O 端口的物理地址就被映射到 I/O 地址空间中,这就是传说中的 I/O-mapped,即 I/O 映射.

那么 EHCI/OHCI 呢,它们除了有寄存器以外,还有内存,而它们把这些统统映射到 Memory Space 中去,而 UHCI 只使用寄存器来通信,所以它只需要映射寄存器,即 I/O 端口,而它的 spec 规定,它是映射到 I/O 空间.Linux 中 I/O Memory 和 I/O ports 都被视作一种资源,它们分别被记录在/proc/iomem 和/proc/ioports 中.

所以我们可以在这里看到 uhci-hcd,

```
localhost:~ # cat /proc/ioports
0000-001f : dma1
0020-0021 : pic1
(此处省略若干行)
bca0-bcbf : 0000:00:1d.2
  bca0-bcbf : uhci_hcd
bcc0-bcdf : 0000:00:1d.1
  bcc0-bcdf : uhci_hcd
bce0-bcff : 0000:00:1d.0
  bce0-bcff : uhci_hcd
c000-cfff : PCI Bus #10
  cc00-ccff : 0000:10:0d.0
d000-dfff : PCI Bus #0e
  dcc0-dcdf : 0000:0e:00.1
    dcc0-dcdf : e1000
  dce0-dcff : 0000:0e:00.0
    dce0-dcff : e1000
e000-efff : PCI Bus #0c
  e800-e8ff : 0000:0c:00.1
    e800-e8ff : qla2xxx
  ec00-ecff : 0000:0c:00.0
    ec00-ecff : qla2xxx
fc00-fc0f : 0000:00:1f.1
  fc00-fc07 : ide0
```

而在这里看到 ehci-hcd,

```
localhost:~ # cat /proc/iomem
00000000-0009ffff : System RAM
  00000000-00000000 : Crash kernel
(此处省略若干行)
d8000000-d80fffff : PCI Bus #01
  d8000000-d80fffff : PCI Bus #02
    d80f0000-d80fffff : 0000:02:0e.0
      d80f0000-d80fffff : megasas: LSI Logic
d8100000-d81fffff : PCI Bus #0c
  d8100000-d813ffff : 0000:0c:00.1
e0000000-efffffff : reserved
f2000000-f7ffffff : PCI Bus #06
  f4000000-f7ffffff : PCI Bus #07
    f4000000-f7ffffff : PCI Bus #08
      f4000000-f7ffffff : PCI Bus #09
        f4000000-f5ffffff : 0000:09:00.0
          f4000000-f5ffffff : bnx2
f8000000-fbffffff : PCI Bus #04
  f8000000-fbffffff : PCI Bus #05
    f8000000-f9ffffff : 0000:05:00.0
      f8000000-f9ffffff : bnx2
(此处省略若干行)
fca00400-fca007ff : 0000:00:1d.7
  fca00400-fca007ff : ehci_hcd
fe000000-ffffffff : reserved
100000000-22fffffff : System RAM
```

要使用 I/O 内存首先要申请,然后要映射,而要使用 I/O 端口首先要申请,或者叫请求,对于 I/O 端口的请求意思是让内核知道你要访问这个端口,这样内核知道了以后它就不会再让别人也访问这个端口了.毕竟这个世界僧多粥少啊.申请 I/O 端口的函数是 request_region,这个函数来自 include/linux/ioport.h,

```
    116 /* Convenience shorthand with allocation */
    117 #define request_region(start,n,name)
__request_region(&ioport_resource, (start), (n), (name))
    118 #define request_mem_region(start,n,name)
__request_region(&iomem_resource, (start), (n), (name))
    119 #define rename_region(region, newname) do { (region)->name =
(newname); } while (0)
    120
    121 extern struct resource * __request_region(struct resource *,
    122                                           resource_size_t start,
```

```
123                                             resource_size_t n, const char
*name);
```

这里我们看到的那个 request_mem_region 是申请 I/O 内存用的.申请了之后,还需要使用 ioremap 或者 ioremap_nocache 函数来映射.

对于 request_region,三个参数 start,n,name 表示你想使用从 start 开始的 size 为 n 的 I/O port 资源,name 自然就是你的名字了.这三个概念在我们刚才贴出来的 cat /proc/ioports 里面显示的很清楚,name 就是 uhci-hcd.

那么对于 uhci-hcd,我们究竟需要请求哪些地址,需要多少空间呢?嗯,又要提到那张上坟图了.PCI 设备本身有一堆的地址空间,内存空间和 IO 空间.那么如何把这些空间映射到总线上来呢?用什么?寄存器.看上坟图中的那几个 Base Address 0,1,2,3,4,5,即每个设备都有 6 个地址空间,这叫做六个基址寄存器,有的设备还有一个 ROM,所以又有一个 Expansion ROM Base Address,它对应第七个区间,或者说区间 6,而在上坟图上对应的就叫做扩展 ROM 基址寄存器.每个寄存器都是四个字节.而我们在 include/linux/pci.h 中定义了,

```
227 /*
228  *  For PCI devices, the region numbers are assigned this way:
229  *
230  *      0-5     standard PCI regions
231  *      6       expansion ROM
232  *      7-10    bridges: address space assigned to buses behind the
bridge
233  */
234
235 #define PCI_ROM_RESOURCE        6
```

所以在我们的代码中我们看到循环条件就是从 0 到 PCI_ROM_RESOURCE 之前,即循环六次,因为有六个区间,区间也叫 region.那么这些寄存器究竟取的什么值呢?这就是在 PCI 总线初始化的时候做的事情了,它会把你每个基址寄存器赋上值,而实际上就是映射于总线上的地址,总线驱动的作用就是让各个设备都需要的地址资源都得到满足,并且没有设备与设备之间的地址发生冲突.PCI 总线驱动做了这些之后,我们 PCI 设备驱动就简单了,在需要使用的时候直接请求即可,正如这里的 request_region.那么我们传递给 request_region 的具体参数是什么呢?

两个函数,pci_resource_start 和 pci_resource_len,就是去获得一个区间的起始地址和长度,所以我们就很好理解这段代码了.至于 109 行这个 if 判断,pci_resource_flags 是用来判断一个资源是哪种类型的,include/linux/ioport.h 中一共定义了四种资源:

```
36 #define IORESOURCE_IO           0x00000100      /* Resource type */
37 #define IORESOURCE_MEM          0x00000200
38 #define IORESOURCE_IRQ          0x00000400
39 #define IORESOURCE_DMA          0x00000800
```

它们是 IO,Memory,中断,DMA.对应我们在/proc 下看到的 ioports,iomem,interrupt,dma 四个文件.所以这里的意思就是判断说如果不是 IO Port 资源,那么就不予理睬.因为 UHCI 主机控制器只需要理财 I/O Port.

request_region 函数如果成功将返回非 NULL,失败了才返回 NULL.所以代码的意思就是一旦成功就跳出循环.反之,如果循环都结束了还未能请求到,那就说明出错了.那么你说为何一旦成功就跳出循环?老实说,这个问题足足困扰了我 13 秒钟,别小看 13 秒钟,有这么长时间刘翔都已经完成一次 110 米跨栏了.让 spec 来告诉你.

看到没有,20-23h,四个字节,这里正好对应 UHCI 的 IO 空间基址寄存器.换言之,UHCI 就定义了一个基址寄存器,所以我们只需要使用一个基址寄存器就可以映射我们需要的地址了.所以,成功一次我们就可以结束循环了.

又一次,我们回到了 usb_hcd_pci_probe 中,126 行,pci_set_master 函数.还是看那张上坟图,注意到第三个寄存器,叫做 Command Reg.,其实就是命令寄存器.让我们用 PCI spec 来告诉你这个命令寄存器的格局:

看到其中有一位叫做 Bus Master 了么?没错,就是那个 Bit 2.用毛德操先生的话说就是 PCI 设备要进行 DMA 操作就得具有竞争成为总线主的能力.而这个 Bus Master 位就是用来打开或关闭 PCI 设备竞争成为总线主的能力的.在完成 PCI 总线的初始化时,所有 PCI 设备的 DMA 功能都是关闭的,所以这里要调用 pci_set_master 启用 USB 主机控制器竞争成为总线主的能力.就是说 PCI 设备有没有这么一种能力是可以设置的.

USB spec 2.0 中 10.2.9 节在讲到 USB Host Interface 的时候,说了 USB HC 是应该具备这种能力的:

The Host Controller provides a high-speed bus-mastering interface to and from main system memory. The physical transfer between memory and the USB wire is performed automatically by the Host Controller.

同时在 UHCI spec 里面我们也能找到这么一句话,For the implementation example in this document, the Host Controller is a PCI device. PCI Bus master capability in the Host Controller permits high performance data transfers to system memory.

所以我们需要启用这种能力.

不过你要问了,究竟什么是 PCI 的 Bus Master?从我们读电子的人的角度来看,连接到 PCI 总线上的设备有两种,即主控设备和目标设备.或者说一个是 master 设备,一个是 target-only 设备,用我们专业的术语来看,这两者最直接的区别就是 target-only 最少需要 47 根 pin,而 master 最少需要 49 根 pin,就是说它们所必须支持的总线信号就是不一样的.PCI 设备如果是以一个 target-only 的方式工作,那么它就完全是在主机的 CPU 的控制之下工作,比如设备接收到某一个外部事件,然后中断主机,然后主机 CPU 读写设备,这样设备就可以工作了.这样的设备也被一小撮人称为 slave 设备,或者说从设备.这就是典型的奴才型的设备,主说什么就是什么,完全没有自己的见解.而 master 类型的设备就比这个要复杂了,master 设备能够不在主机 CPU 的干预下访问主机的地址空间,包括主存和其它 PCI 设备,很显然,DMA 就属于这种情况,即不需要主机

CPU 干涉的情况下 USB 主机控制器通过 DMA 直接读写内存.所以我们需要打开这种能力.不过 PCI 总线在同一时刻只能供一对设备完成传输.至于有了竞争力能不能竞争得到 Master,那就得看人品了.上天给了你一幅天使的面孔和魔鬼的身材,但你能不能成为明星就得看造化了,当然只要你遵守圈中的潜规则,你离成功就不远了.

传说中 DMA

下一个函数,usb_add_hcd,drivers/usb/core/hcd.c 中:

```
1548 /**
1549  * usb_add_hcd - finish generic HCD structure initialization and register
1550  * @hcd: the usb_hcd structure to initialize
1551  * @irqnum: Interrupt line to allocate
1552  * @irqflags: Interrupt type flags
1553  *
1554  * Finish the remaining parts of generic HCD initialization: allocate the
1555  * buffers of consistent memory, register the bus, request the IRQ line,
1556  * and call the driver's reset() and start() routines.
1557  */
1558 int usb_add_hcd(struct usb_hcd *hcd,
1559                 unsigned int irqnum, unsigned long irqflags)
1560 {
1561         int retval;
1562         struct usb_device *rhdev;
1563
1564         dev_info(hcd->self.controller, "%s\n", hcd->product_desc);
1565
1566         set_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags);
1567
1568         /* HC is in reset state, but accessible.  Now do the one-time init,
1569          * bottom up so that hcds can customize the root hubs before
khubd
1570          * starts talking to them.  (Note, bus id is assigned early too.)
1571          */
1572         if ((retval = hcd_buffer_create(hcd)) != 0) {
1573                 dev_dbg(hcd->self.controller, "pool alloc failed\n");
1574                 return retval;
1575         }
1576
1577         if ((retval = usb_register_bus(&hcd->self)) < 0)
1578                 goto err_register_bus;
1579
1580         if ((rhdev = usb_alloc_dev(NULL, &hcd->self, 0)) == NULL) {
```

```
1581                dev_err(hcd->self.controller, "unable to allocate root
hub\n");
1582                retval = -ENOMEM;
1583                goto err_allocate_root_hub;
1584        }
1585        rhdev->speed = (hcd->driver->flags & HCD_USB2) ?
USB_SPEED_HIGH :
1586                        USB_SPEED_FULL;
1587        hcd->self.root_hub = rhdev;
1588
1589        /* wakeup flag init defaults to "everything works" for root hubs,
1590         * but drivers can override it in reset() if needed, along with
1591         * recording the overall controller's system wakeup capability.
1592         */
1593        device_init_wakeup(&rhdev->dev, 1);
1594
1595        /* "reset" is misnamed; its role is now one-time init. the controller
1596         * should already have been reset (and boot firmware kicked off
etc).
1597         */
1598        if (hcd->driver->reset && (retval = hcd->driver->reset(hcd)) < 0)
{
1599                dev_err(hcd->self.controller, "can't setup\n");
1600                goto err_hcd_driver_setup;
1601        }
1602
1603        /* NOTE: root hub and controller capabilities may not be the same
*/
1604        if (device_can_wakeup(hcd->self.controller)
1605                        &&
device_can_wakeup(&hcd->self.root_hub->dev))
1606                dev_dbg(hcd->self.controller, "supports USB remote
wakeup\n");
1607
1608        /* enable irqs just before we start the controller */
1609        if (hcd->driver->irq) {
1610                snprintf(hcd->irq_descr, sizeof(hcd->irq_descr),
"%s:usb%d",
1611                                hcd->driver->description,
hcd->self.busnum);
1612                if ((retval = request_irq(irqnum, &usb_hcd_irq, irqflags,
1613                                hcd->irq_descr, hcd)) != 0) {
1614                        dev_err(hcd->self.controller,
```

```
1615                                        "request interrupt %d failed\n",
irqnum);
1616                        goto err_request_irq;
1617                }
1618                hcd->irq = irqnum;
1619                dev_info(hcd->self.controller, "irq %d, %s 0x%08llx\n",
irqnum,
1620                                (hcd->driver->flags & HCD_MEMORY) ?
1621                                        "io mem" : "io base",
1622                                        (unsigned long
long)hcd->rsrc_start);
1623        } else {
1624                hcd->irq = -1;
1625                if (hcd->rsrc_start)
1626                        dev_info(hcd->self.controller, "%s 0x%08llx\n",
1627                                        (hcd->driver->flags &
HCD_MEMORY) ?
1628                                        "io mem" : "io base",
1629                                        (unsigned long
long)hcd->rsrc_start);
1630        }
1631
1632        if ((retval = hcd->driver->start(hcd)) < 0) {
1633                dev_err(hcd->self.controller, "startup error %d\n",
retval);
1634                goto err_hcd_driver_start;
1635        }
1636
1637        /* starting here, usbcore will pay attention to this root hub */
1638        rhdev->bus_mA = min(500u, hcd->power_budget);
1639        if ((retval = register_root_hub(hcd)) != 0)
1640                goto err_register_root_hub;
1641
1642        if (hcd->uses_new_polling && hcd->poll_rh)
1643                usb_hcd_poll_rh_status(hcd);
1644        return retval;
1645
1646 err_register_root_hub:
1647        hcd->driver->stop(hcd);
1648 err_hcd_driver_start:
1649        if (hcd->irq >= 0)
1650                free_irq(irqnum, hcd);
1651 err_request_irq:
1652 err_hcd_driver_setup:
```

```
1653            hcd->self.root_hub = NULL;
1654            usb_put_dev(rhdev);
1655 err_allocate_root_hub:
1656            usb_deregister_bus(&hcd->self);
1657 err_register_bus:
1658            hcd_buffer_destroy(hcd);
1659            return retval;
1660 }
```

1566 行,设置一个 flag,至于设了干嘛用,等遇到了再说.

1572 行,hcd_buffer_create,初始化一个 buffer 池.现在是时候说一说 DMA 了.我们知道一个 USB 主机控制器控制着一条 USB 总线,而 USB 主机控制器的一项重要工作是什么呢?在内存和 USB 总线之间传输数据.这个过程可以使用 DMA 或者不使用 DMA,不使用 DMA 的方式即所谓的 PIO 方式.DMA 代表着 Direct Memory Access,即直接内存访问.那么使用 DMA 如何做呢?不需要 CPU 干预对吧,内存总是需要的吧,我比如说我有一个 UHCI 控制器,我告诉它,内存中某个地方放了一堆数据,你去取吧,然后它就自己去取,取完了它就跟我说一声,告诉我它取完了.

那么在整个 USB 子系统中是如何处理这些事情的呢?好,苦等了这么久,我终于有机会来向你解释这个问题了,现在我终于可以说电视剧中男主角对女主角常说的那句话,你听我解释,你听我解释呀!回去看我们在 usb-storage 中,在 hub driver 中,我们调用过一个函数 usb_buffer_alloc,当时很多网友问我这个函数究竟是如何处理 DMA 或不 DMA 的?

关于 DMA,合理的做法是先创建一个内存池,然后每次都从池子里要内存.具体说就是先由 HCD 这边建池子,然后设备驱动那边就直接索取.我们来看代码,来自 drivers/usb/core/buffer.c 中的 hcd_buffer_create,

```
40 /**
41  * hcd_buffer_create - initialize buffer pools
42  * @hcd: the bus whose buffer pools are to be initialized
43  * Context: !in_interrupt()
44  *
45  * Call this as part of initializing a host controller that uses the dma
46  * memory allocators.  It initializes some pools of dma-coherent memory
that
47  * will be shared by all drivers using that controller, or returns a negative
48  * errno value on error.
49  *
50  * Call hcd_buffer_destroy() to clean up after using those pools.
51  */
52 int hcd_buffer_create(struct usb_hcd *hcd)
53 {
54          char            name[16];
55          int             i, size;
56
```

```
57          if (!hcd->self.controller->dma_mask)
58                  return 0;
59
60          for (i = 0; i < HCD_BUFFER_POOLS; i++) {
61                  if (!(size = pool_max [i]))
62                          continue;
63                  snprintf(name, sizeof name, "buffer-%d", size);
64                  hcd->pool[i] = dma_pool_create(name,
hcd->self.controller,
65                                  size, size, 0);
66                  if (!hcd->pool [i]) {
67                          hcd_buffer_destroy(hcd);
68                          return -ENOMEM;
69                  }
70          }
71          return 0;
72 }
```

别的我们先不说,先看 64 行,调用了 dma_pool_create 函数,这个函数就是真正去创建内存池的函数,或者更准确地讲,创建一个 DMA 池,内核中定义了一个结构体,struct dma_pool,就是专门代表一个 DMA 池的,而这个函数的返回值就是生成的那个 DMA 池.如果创建失败就调用 hcd_buffer_destroy,还是来自同一个文件,

```
75 /**
76  * hcd_buffer_destroy - deallocate buffer pools
77  * @hcd: the bus whose buffer pools are to be destroyed
78  * Context: !in_interrupt()
79  *
80  * This frees the buffer pools created by hcd_buffer_create().
81  */
82 void hcd_buffer_destroy(struct usb_hcd *hcd)
83 {
84          int             i;
85
86          for (i = 0; i < HCD_BUFFER_POOLS; i++) {
87                  struct dma_pool         *pool = hcd->pool[i];
88                  if (pool) {
89                          dma_pool_destroy(pool);
90                          hcd->pool[i] = NULL;
91                  }
92          }
93 }
```

看得出这里调用的是 dma_pool_destroy,其作用不言自明.

那么创建池子和销毁池子的函数我们知道了,如何从池子里索取或者把索取的释放回去呢?对应的两个函数分别是,dma_pool_alloc 和 dma_pool_free,而这两个函数正是与我们说的 usb_buffer_alloc 以及 usb_buffer_free 相联系的.于是我们来看这两个函数的代码,来自 drivers/usb/core/usb.c:

```
568 /**
569  * usb_buffer_alloc - allocate dma-consistent buffer for
URB_NO_xxx_DMA_MAP
570  * @dev: device the buffer will be used with
571  * @size: requested buffer size
572  * @mem_flags: affect whether allocation may block
573  * @dma: used to return DMA address of buffer
574  *
575  * Return value is either null (indicating no buffer could be allocated), or
576  * the cpu-space pointer to a buffer that may be used to perform DMA to
the
577  * specified device.  Such cpu-space buffers are returned along with the
DMA
578  * address (through the pointer provided).
579  *
580  * These buffers are used with URB_NO_xxx_DMA_MAP set in
urb->transfer_flags
581  * to avoid behaviors like using "DMA bounce buffers", or tying down I/O
582  * mapping hardware for long idle periods.  The implementation varies
between
583  * platforms, depending on details of how DMA will work to this device.
584  * Using these buffers also helps prevent cacheline sharing problems on
585  * architectures where CPU caches are not DMA-coherent.
586  *
587  * When the buffer is no longer used, free it with usb_buffer_free().
588  */
589 void *usb_buffer_alloc(
590         struct usb_device *dev,
591         size_t size,
592         gfp_t mem_flags,
593         dma_addr_t *dma
594 )
595 {
596         if (!dev || !dev->bus)
597                 return NULL;
598         return hcd_buffer_alloc(dev->bus, size, mem_flags, dma);
599 }
600
601 /**
```

```
602  * usb_buffer_free - free memory allocated with usb_buffer_alloc()
603  * @dev: device the buffer was used with
604  * @size: requested buffer size
605  * @addr: CPU address of buffer
606  * @dma: DMA address of buffer
607  *
608  * This reclaims an I/O buffer, letting it be reused.  The memory must
have
609  * been allocated using usb_buffer_alloc(), and the parameters must
match
610  * those provided in that allocation request.
611  */
612 void usb_buffer_free(
613         struct usb_device *dev,
614         size_t size,
615         void *addr,
616         dma_addr_t dma
617 )
618 {
619         if (!dev || !dev->bus)
620                 return;
621         if (!addr)
622                 return;
623         hcd_buffer_free(dev->bus, size, addr, dma);
624 }
```

很显然,它们调用的就是 hcd_buffer_alloc 和 hcd_buffer_free,于是进一步跟踪,来自 drivers/usb/core/buffer.c:

```
 96 /* sometimes alloc/free could use kmalloc with GFP_DMA, for
 97  * better sharing and to leverage mm/slab.c intelligence.
 98  */
 99
100 void *hcd_buffer_alloc(
101         struct usb_bus   *bus,
102         size_t                  size,
103         gfp_t                   mem_flags,
104         dma_addr_t              *dma
105 )
106 {
107         struct usb_hcd          *hcd = bus_to_hcd(bus);
108         int                     i;
109
110         /* some USB hosts just use PIO */
111         if (!bus->controller->dma_mask) {
```

```
112                 *dma = ~(dma_addr_t) 0;
113                 return kmalloc(size, mem_flags);
114         }
115
116         for (i = 0; i < HCD_BUFFER_POOLS; i++) {
117                 if (size <= pool_max [i])
118                         return dma_pool_alloc(hcd->pool [i], mem_flags,
dma);
119         }
120         return dma_alloc_coherent(hcd->self.controller, size, dma, 0);
121 }
122
123 void hcd_buffer_free(
124         struct usb_bus   *bus,
125         size_t                  size,
126         void                    *addr,
127         dma_addr_t              dma
128 )
129 {
130         struct usb_hcd          *hcd = bus_to_hcd(bus);
131         int                     i;
132
133         if (!addr)
134                 return;
135
136         if (!bus->controller->dma_mask) {
137                 kfree(addr);
138                 return;
139         }
140
141         for (i = 0; i < HCD_BUFFER_POOLS; i++) {
142                 if (size <= pool_max [i]) {
143                         dma_pool_free(hcd->pool [i], addr, dma);
144                         return;
145                 }
146         }
147         dma_free_coherent(hcd->self.controller, size, addr, dma);
148 }
```

看见了吧,最终调用的就是dma_pool_alloc和dma_pool_free.那么主机控制器到底支持不支持 DMA 操作呢?看见上面这个 dma_mask 了么?默认情况下,dma_mask 在总线枚举的时候被函数 pci_scan_device 中设置为了 0xffffffff.struct device 结构体有一个成员 u64 *dma_mask,如果一个 PCI 设备不能支持 DMA,那么应该在 probe 函数中调用 pci_set_dma_mask 把这个 dma_mask 设置为 NULL.不过一个没有精神分裂症的 PCI 设备

通常是支持 DMA 的.这个掩码更多的作用是,比如你的设备只能支持 24 位的寻址,那你就得通过设置 dma_mask 来告诉 PCI 层,你需要把 dma_mask 设置为 0x00ffffff.因为标准的 PCI 设备都是 32 位的寻址的,所以标准情况就是设置的 0xffffffff.不过开发者们的建议是不要直接使用这些数字,而是使用它们定义在 include/linux/dma-mapping.h 中的这些宏:

```
16 #define DMA_64BIT_MASK   0xffffffffffffffffULL
17 #define DMA_48BIT_MASK   0x0000ffffffffffffULL
18 #define DMA_40BIT_MASK   0x000000ffffffffffULL
19 #define DMA_39BIT_MASK   0x0000007fffffffffULL
20 #define DMA_32BIT_MASK   0x00000000ffffffffULL
21 #define DMA_31BIT_MASK   0x000000007fffffffULL
22 #define DMA_30BIT_MASK   0x000000003fffffffULL
23 #define DMA_29BIT_MASK   0x000000001fffffffULL
24 #define DMA_28BIT_MASK   0x000000000fffffffULL
25 #define DMA_24BIT_MASK   0x0000000000ffffffULL
```

不过目前在 drivers/usb/目录下面没有哪个驱动会调用 pci_set_dma_mask,因为现代总线上的大部分设备都能够处理 32 位地址,换句话说大家的设备都还算是正经,但如果你们家生产出来一个不伦不类的设备那么你就别忘了在 probe 阶段用 pci_set_dma_mask 设置一下,否则你就甭指望设备能够正确的进行 DMA 传输.关于这个函数的使用,可以参考 drivers/net 下面的那些驱动,很多网卡驱动都调用了这个函数,虽然其中很多其实就是设置 32 位.

要不,总结一下?以上这几个 DMA 函数我们就不细讲了.但需要对某些地方单独拿出来讲.

第一,hcd_buffer_alloc 函数中,111 行,判断,如果 dma_mask 为 NULL,说明这个主机控制器不支持 DMA,那么使用原始的方法申请内存,即 kmalloc.然后申请好了就直接返回,而不会继续去执行下面的那个 dma_pool_alloc 函数.同样的判断在 hcd_buffer_free 中也是一样的,没有 DMA 的就直接调用 kfree 释放内存,而不需要调用 dma_pool_free 了.

第二,你应该注意到这里还有另外两个函数我们根本没提起, dma_alloc_coherent 和 dma_free_coherent,这两个函数也是用来申请 DMA 内存的,但是它们适合申请比较大的内存,比如 N 个 page 的那种,而 DMA 池的作用本来就是提供给小打小闹式的内存申请的.当前的 USB 子系统里在 drivers/usb/core/buffer.c 中定义了一个数组:

```
25 /* FIXME tune these based on pool statistics ... */
26 static const size_t       pool_max [HCD_BUFFER_POOLS] = {
27           /* platforms without dma-friendly caches might need to
28            * prevent cacheline sharing...
29            */
30           32,
31           128,
32           512,
33           PAGE_SIZE / 2
34           /* bigger --> allocate pages */
35 };
```

HCD_BUFFER_POOLS 这个宏的值为 4.结合 hcd_buffer_alloc 函数里面那个循环来看,可以知道,你要是申请个 32 个字节以内,128 个字节以内,512 个字节以内,或者最多二分之一个 PAGE_SIZE 以内的,就直接使用这个内存池了,否则的话,就得用那个 dma_alloc_coherent 了.释放的时候也一样.

第三,struct usb_hcd 结构体有这么一个成员,struct dma_pool *pool [HCD_BUFFER_POOLS], 这个数组的值是在 hcd_buffer_create 中赋上的,即当时以这个 pool_max 为模型创建了 4 个池子,所以 hcd_buffer_alloc 里就可以这样用.

第四,至于像 dma_pool_create/dma_pool_alloc/dma_alloc_coherent 这些函数具体怎么实现的我想任何一个写设备驱动程序的都不用关心吧,倒是我有两个同事会比较感兴趣,因为他们是研究内存管理的.

Ok,讲完了 hcd_buffer_create 让我们还是回到 usb_add_hcd 中来,继续往下走.

来来，我是一条总线，线线线线线

下一个函数,1577 行,usb_register_bus.我们说过,一个 USB 主机控制器就意味着一条 USB 总线,因为主机控制器控制的正是一条总线.古人说,猫走不走直线,完全取决于耗子,而数据走不走总线,完全取决于主机控制器.

所以这里作为主机控制器的驱动,我们必须从软件的角度来说,注册一条总线.来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
712 /**
713  * usb_register_bus - registers the USB host controller with the usb core
714  * @bus: pointer to the bus to register
715  * Context: !in_interrupt()
716  *
717  * Assigns a bus number, and links the controller into usbcore data
718  * structures so that it can be seen by scanning the bus list.
719  */
720 static int usb_register_bus(struct usb_bus *bus)
721 {
722         int busnum;
723
724         mutex_lock(&usb_bus_list_lock);
725         busnum = find_next_zero_bit (busmap.busmap, USB_MAXBUS,
1);
726         if (busnum < USB_MAXBUS) {
727                 set_bit (busnum, busmap.busmap);
728                 bus->busnum = busnum;
729         } else {
```

```
    730                 printk (KERN_ERR "%s: too many buses\n",
usbcore_name);
    731                 mutex_unlock(&usb_bus_list_lock);
    732                 return -E2BIG;
    733         }
    734
    735         bus->class_dev = class_device_create(usb_host_class, NULL,
MKDEV(0,0),
    736                                              bus->controller,
"usb_host%d", busnum);
    737         if (IS_ERR(bus->class_dev)) {
    738                 clear_bit(busnum, busmap.busmap);
    739                 mutex_unlock(&usb_bus_list_lock);
    740                 return PTR_ERR(bus->class_dev);
    741         }
    742
    743         class_set_devdata(bus->class_dev, bus);
    744
    745         /* Add it to the local list of buses */
    746         list_add (&bus->bus_list, &usb_bus_list);
    747         mutex_unlock(&usb_bus_list_lock);
    748
    749         usb_notify_add_bus(bus);
    750
    751         dev_info (bus->controller, "new USB bus registered, assigned bus
number %d\n", bus->busnum);
    752         return 0;
    753 }
```

Linux 中名字里带一个 register 的函数那是数不胜数,也许这是一种时尚,随着你对 Linux 内核渐渐的熟悉,你慢慢就会觉得其实叫 register 的函数都很简单,简单得就像 90 后的女生作人流一样.甚至你会发现,Linux 内核中的模块没有不用 register 函数的,就像新闻联播里:开会没有不隆重的,闭幕没有不胜利的,讲话没有不重要的,决议没有不通过的,鼓掌没有不热烈的,人心没有不鼓舞的,领导没有不重视的,进展没有不顺利的,问题没有不解决的,完成没有不超额的,成就没有不巨大的,竣工没有不提前的,接见没有不亲切的,中日没有不友好的,中美没有不合作的,交涉没有不严正的,会谈没有不圆满的.

其实一路走来的兄弟们应该能够很容易的看懂这个函数,这个函数首先让我们想起了在 hub 驱动中讲的那个 choose_address.当时我们有一个 devicemap,而现在有一个 busmap.很显然,原理是一样的.在 drivesr/usb/core/hcd.c 中有定义:

```
 88 /* used when allocating bus numbers */
 89 #define USB_MAXBUS                  64
 90 struct usb_busmap {
```

```
91          unsigned long busmap [USB_MAXBUS / (8*sizeof (unsigned
long))];
92 };
93 static struct usb_busmap busmap;
```

和当时我们在 hub 驱动中对 devicemap 的分析一样,当时的结论是该 map 一共有 128 位,同理可知这里 busmap 则一共有 64 位.也就是说一共可以有 64 条 USB 总线.我想,对我们这些凡夫俗子来说,这么多条足够了吧.不够?你以为你在织十字绣?

735 行, class_device_create,这个函数是 Linux 设备模型中一个很基础的函数,我家 Intel 的企业文化中有六大价值观,去 Intel 面试的时候我特逗的一点就是把那六大价值观给背了下来,然后面试的时候跟面试官一条一条说,把人家逗乐了.这六大价值观中有一个叫做 Result Orientation,用中文说就是以结果为导向.那现在我想是该使用这一价值观的时候了.Linux 2.6 设备模型中提供了大把大把的基础函数,它们都在 drivers/base 目录下面,这下面的函数你如果有兴趣当然可以看一看,不过我不推荐你这么做,除非你的目的就是要彻底研究这个设备模型是如何实现的.对这些基础函数,我觉得比较好的认识方法就是以结果为导向,看看它们执行之后具体有什么效果,用直观的效果来体现它们的作用.

那好,那么这里 class_device_create 的效果是什么?我们知道设备模型和 sysfs 结合相当紧密,最能反映设备模型的效果的就是 sysfs.所以凭一种男人的直觉,我们应该到/sysfs 下面去看效果.不过我现在更愿意给你提供更多的背景,

首先,什么是 class?C++的高手们一定不会不知道 class 吧,虽说哥们儿从未写过 C++程序,可是好歹也看过两遍那本 Thinking in C++的第一卷,所以 class 还是知道的.class 就是类,设备模型中引入类的意义在于让一些模糊的东西变得更加清晰,更加直观,比如同样是 scsi 设备,可能你是磁盘她是磁带,但你们都属于一类,这一类就是 scsi_device.于是就可以在/sys/class 下面建立一个文件夹,从这里来体现同一个类别的各种设备.比如,偶的某台机器里/sys/class 下面可以看到这些类,此时此刻还没有加载 usbcore.

```
localhost:~ # ls /sys/class/
backlight   graphics   mem    net        spi_master   vc
dma         input      misc   pci_bus    tty          vtconsole
```

而咱们这里的 class_device_create 的第一个参数是 usb_host_class,它是什么东西呢?

让我们把镜头切给 usbcore 的初始化函数,usb_init().我们在 hub driver 中已经说过,usb_init 是 Linux 中整个 usb 子系统的起点.一切的一切都从这里开始.而这个函数中有这么一段:

```
877         retval = usb_host_init();
878         if (retval)
879                 goto host_init_failed;
```

我们来看它具体做了什么事情,usb_host_init 来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
671 static struct class *usb_host_class;
```

```
672
673 int usb_host_init(void)
674 {
675         int retval = 0;
676
677         usb_host_class = class_create(THIS_MODULE, "usb_host");
678         if (IS_ERR(usb_host_class))
679                 retval = PTR_ERR(usb_host_class);
680         return retval;
681 }
```

让我们在上面提到的那台机器机器中加载 usbcore,看看在/sys/class/下面会发生点什么.

```
localhost:~ # modprobe usbcore
localhost:~ # ls /sys/class/
backlight  dma  graphics  input  mem  misc  net  pci_bus  spi_master  tty
usb_device  usb_host  vc  vtconsole
```

看出区别了么?多了两个目录,usb_host 和 usb_device,换言之,多了两个类.所以我们不难知道,这里 class_create 函数的效果就是在/sys/class/下面创建一个叫做 usb_host 的目录.而 usb_device 是在另一个函数中创建的,usb_devio_init.方法是一样的,也是调用 class_create 函数.关于 usb_device 我们就不去多说了,继续看我们这个 usb_host.我们这里调用 class_create 然后返回值赋给了 usb_host_class,而这正是我们传递给 class_device_create 的第一个参数,所以你不看代码也应该知道我们的目标是在 /sys/class/usb_host/下面建立一个文件或者是一个目录,那么结合代码来看,你就不难发现我们要建立的是一个叫做 usb_hostn 的文件或者是目录,具体是什么,让我们用结果来说话, 首先我们没有加载 uhci-hcd,这时候可以看出这个目录是空的.

```
localhost:~ # ls /sys/class/usb_host/
```

然后我们把这个模块加载,再来看看效果.

```
localhost:~ # modprobe uhci-hcd
localhost:~ # ls -l /sys/class/usb_host/
total 0
drwxr-xr-x 2 root root 0 Oct   4 22:26 usb_host1
drwxr-xr-x 2 root root 0 Oct   4 22:26 usb_host2
drwxr-xr-x 2 root root 0 Oct   4 22:26 usb_host3
drwxr-xr-x 2 root root 0 Oct   4 22:26 usb_host4
```

因为我这台机器有 4 个 uhci 主机控制器,所以我们可以看出,分别为每个主机控制器建立了一个目录.而 usb_host 后面的这个 1,2,3,4 就是刚才说的 busnum,即总线编号,因为一个主机控制器控制着一条总线.同时我们把 class_device_create 的返回值赋给了 bus->class_dev.struct usb_bus 中有一个成员 struct class_device *class_dev,这个成员被称作 class device,这个结构体对写驱动的人来说意义不大,但是从设备模型的角度来说是必要的,实际上对写驱动的人来说,你完全可以不理睬设备模型中 class 这个部分,你可以我行我素,

你可以尽可能少的支持设备模型,因为这对你访问设备没有太多影响.你甚至可以让你的设备根本就不在/sysfs 下面体现出来,你有权这么做,因为你是叛逆的 80 后.但是一个聪明的人,你应该知道,有些东西是相互的,你用代码去支持设备模型,将来你使用设备的时候就能享受到设备模型为你提供的方便.相反,如果你为了省事不去支持设备模型,那么将来你会遭报应的,因为你使用设备的时候会发现有很多不便.这道理就像我们中华民族广大妇女的传统美德善待婆婆一样!虽然是今非昔比,已没有了主仆之分,但亦应该在互相尊重人格平等的基础上,更加地善待婆婆,才是最聪明的选择.因为每一个女人都有可能成为将来的婆婆.如果世上的女人都能为后人作出榜样,这个社会就会变的和谐起来,请做一个善良的聪明女人吧!

所以这里有 743 行这么一个举动,调用 class_set_devdata,这就算是写代码的人对设备模型的支持,因为 struct class_device 中也有一个成员 void *class_data,被称为 class-specific data,而在 include/linux/device.h 中定义了 class_set_devdata 和一个与之对应的函数 class_get_devdata.

```
279 static inline void *
280 class_get_devdata (struct class_device *dev)
281 {
282         return dev->class_data;
283 }
284
285 static inline void
286 class_set_devdata (struct class_device *dev, void *data)
287 {
288         dev->class_data = data;
289 }
```

结合我们这里具体对这个函数调用的代码可知,最终咱们这个 host 对应的 class_device 的 class_data 被赋值为 bus.这样有朝一日我们要通过 class_device 找到对应的 bus 的时候我们只要调用 class_get_devdata 即可.设备模型的精髓就在于把一个设备相关联的种种元素都给联系起来,设备模型提供了大量建立这种纽带的函数,我们要做的就是调用这些函数.

好,继续,746 行,很显然又是队列操作. usb_bus_list 是一个全局队列,在 drivers/usb/core/hcd.c 中定义:

```
84 /* host controllers we manage */
85 LIST_HEAD (usb_bus_list);
86 EXPORT_SYMBOL_GPL (usb_bus_list);
```

每次注册一条总线就是往这个队列里添加一个元素.struct usb_bus 中有一个成员 struct list_head bus_list.所以这里直接调用 list_add 即可.

749 行,usb_notify_add_bus,看到这个函数我几乎晕阙.因为细讲这个函数意味着我得少打两盘麻将而你却未必会更能理解 usb 子系统.真的,时间有限,生命有限,你别天真的以为挤时间就真的像挤乳沟一样容易.我只想用一句话来解释这个函数,按我们 Intel 以结果为导向的理论来说,这个函数在此情此景执行的结果是/proc/bus/usb 下面会多一些文件,比如,

```
localhost:~ # ls /proc/bus/usb/
001   002   003   004   devices
```

这几个文件都是刚才这个函数执行之后的效果.

好了,usb_register_bus 算是看完了,再一次回到 usb_add_hcd 中来.1580 行,usb_alloc_dev 被调用,这个函数我们可不陌生.不过我们下节再看吧.这节剩下的时间我们为 usb_notify_add_bus 再多说两句话,这个函数牵涉到 Linux 中的 notify 机制,这是 Linux 内核中一种常用的事件回调处理机制.传说中的那个神奇的内核调试工具 kdb 中就是利用了这种机制进入 kdb 的.这种机制在网络设备驱动中的应用,那就像"成都小吃"在北京的分布一样,满大街都是.而在 usb 子系统中,以前并没有使用这种机制,只是 Greg 同学在 2005 年底提出来要加进来的.其实我个人觉得,usb 中不使用这种机制也能照样转.只不过 Greg 是 Linux 中 USB 掌门人,就算地球不转了大家还是要围着他转.

主机控制器的初始化（一）

好了,usb_alloc_dev,多么熟悉啊,在讲 hub 驱动时这就是那个八大函数的第一个.这里做的就是为 Root Hub 申请了一个 struct usb_device 结构体,并且初始化,将返回值赋给指针 rhdev.回顾这个函数我们可以知道,Root Hub 的 parent 指针指向了 Controller 本身.

1585 行,确定 rhdev 的 speed,UHCI 和 OHCI 都是源于曾经的 USB1.1,而 EHCI 才是来自 USB2.0.只有 USB2.0 才定义了高速的设备,以前的设备只有两种速度,低速和全速.也只有 EHCI 的驱动才定义了一个 flag,HCD_USB2.所以咱们这里记录的 rhdev->speed 就是 USB_SPEED_FULL.不过我需要再次提醒一下,hcd->driver 在咱们的故事里就是那个 hc_driver,即 uhci_driver,有且只有这一个 driver.

1593 行,device_init_wakeup.也是咱们在 hub 驱动中见过的.第二个参数是 1 就意味着我们把 Root Hub 的 Wakeup 能力打开了.正如注释里说的那样,你要是看不惯,你可以在自己的 driver 里面把它关掉.

1598 行,如果 hc_driver 中有 reset 函数,就调用它,咱们的 uhci_driver 里面显然是有的.回去看它的定义,知道它就是 uhci_init.所以这时候就要调用这个函数了,显然它的名字告诉我们它的作用是做一些初始化.它来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
483 static int uhci_init(struct usb_hcd *hcd)
484 {
485         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
486         unsigned io_size = (unsigned) hcd->rsrc_len;
487         int port;
488
489         uhci->io_addr = (unsigned long) hcd->rsrc_start;
490
```

```
    491         /* The UHCI spec says devices must have 2 ports, and goes on to
say
    492          * they may have more but gives no way to determine how many
there
    493          * are.  However according to the UHCI spec, Bit 7 of the port
    494          * status and control register is always set to 1.  So we try to
    495          * use this to our advantage.  Another common failure mode
when
    496          * a nonexistent register is addressed is to return all ones, so
    497          * we test for that also.
    498          */
    499         for (port = 0; port < (io_size - USBPORTSC1) / 2; port++) {
    500                 unsigned int portstatus;
    501
    502                 portstatus = inw(uhci->io_addr + USBPORTSC1 + (port *
2));
    503                 if (!(portstatus & 0x0080) || portstatus == 0xffff)
    504                         break;
    505         }
    506         if (debug)
    507                 dev_info(uhci_dev(uhci), "detected %d ports\n", port);
    508
    509         /* Anything greater than 7 is weird so we'll ignore it. */
    510         if (port > UHCI_RH_MAXCHILD) {
    511                 dev_info(uhci_dev(uhci), "port count misdetected? "
    512                                 "forcing to 2 ports\n");
    513                 port = 2;
    514         }
    515         uhci->rh_numports = port;
    516
    517         /* Kick BIOS off this hardware and reset if the controller
    518          * isn't already safely quiescent.
    519          */
    520         check_and_reset_hc(uhci);
    521         return 0;
    522 }
```

可恶!又出来一个新的结构体.struct uhci_hcd,很显然,这是 uhci 特有的.

```
    371 struct uhci_hcd {
    372
    373         /* debugfs */
    374         struct dentry *dentry;
    375
    376         /* Grabbed from PCI */
```

```
377         unsigned long io_addr;
378
379         struct dma_pool *qh_pool;
380         struct dma_pool *td_pool;
381
382         struct uhci_td *term_td;          /* Terminating TD, see UHCI bug
*/
383         struct uhci_qh *skelqh[UHCI_NUM_SKELQH];          /* Skeleton
QHs */
384         struct uhci_qh *next_qh;          /* Next QH to scan */
385
386         spinlock_t lock;
387
388         dma_addr_t frame_dma_handle;      /* Hardware frame list */
389         __le32 *frame;
390         void **frame_cpu;                 /* CPU's frame list */
391
392         enum uhci_rh_state rh_state;
393         unsigned long auto_stop_time;             /* When to AUTO_STOP
*/
394
395         unsigned int frame_number;                /* As of last check */
396         unsigned int is_stopped;
397 #define UHCI_IS_STOPPED           9999            /* Larger than a
frame # */
398         unsigned int last_iso_frame;             /* Frame of last scan */
399         unsigned int cur_iso_frame;              /* Frame for current scan
*/
400
401         unsigned int scan_in_progress:1;         /* Schedule scan is
running */
402         unsigned int need_rescan:1;              /* Redo the schedule
scan */
403         unsigned int dead:1;                     /* Controller has died */
404         unsigned int working_RD:1;               /* Suspended root hub
doesn't
405                                                    need to be polled */
406         unsigned int is_initialized:1;           /* Data structure is usable
*/
407         unsigned int fsbr_is_on:1;               /* FSBR is turned on */
408         unsigned int fsbr_is_wanted:1;           /* Does any URB want
FSBR? */
409         unsigned int fsbr_expiring:1;            /* FSBR is timing out */
410
```

```
411         struct timer_list fsbr_timer;           /* For turning off FBSR */
412
413         /* Support for port suspend/resume/reset */
414         unsigned long port_c_suspend;           /* Bit-arrays of ports */
415         unsigned long resuming_ports;
416         unsigned long ports_timeout;            /* Time to stop
signalling */
417
418         struct list_head idle_qh_list;          /* Where the idle QHs live
*/
419
420         int rh_numports;                        /* Number of root-hub
ports */
421
422         wait_queue_head_t waitqh;               /* endpoint_disable
waiters */
423         int num_waiting;                        /* Number of waiters */
424
425         int total_load;                         /* Sum of array values */
426         short load[MAX_PHASE];                  /* Periodic allocations
*/
427 };
```

写代码的人永远都不会体会到我们读代码人的痛苦,我真的觉得如果这些变态的数据结构再多出现几个的话我就不想看了.我的忍耐是有底线的,我甚至怀疑今年那部号称十足的悲剧的电影<<十分爱>>中女主角之所以说出那句经典的"那些男人只知道女人的底裤在哪里,永远都不知道女人的底线在哪里,总是想挑战女人的极限."是不是因为当时她也在看 Linux 内核代码?

主机控制器的初始化（二）

485 行,hcd_to_uhci,来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h,

```
429 /* Convert between a usb_hcd pointer and the corresponding uhci_hcd */
430 static inline struct uhci_hcd *hcd_to_uhci(struct usb_hcd *hcd)
431 {
432         return (struct uhci_hcd *) (hcd->hcd_priv);
433 }
434 static inline struct usb_hcd *uhci_to_hcd(struct uhci_hcd *uhci)
435 {
436         return container_of((void *) uhci, struct usb_hcd, hcd_priv);
437 }
```

很显然,这两个函数完成的就是 uhci_hcd 和 usb_hcd 之间的转换.至于你说 hcd->hcd_priv 是什么?首先我们看到 struct usb_hcd 中有一个成员 unsigned long hcd_priv[0],以前我天真的以为这表示数组的长度为 1.直到有一天,在互联网上,我遇到了大侠 albcamus,经他指点,我才恍然大悟,原来这就是传说中的零长度数组.除了感慨 gcc 的强大之外,更是感慨,读十年语文,不如聊半年 QQ 啊!网络真是个好东西!

你可以执行这个命令:

localhost:~ # info gcc "c ext" zero

你会知道什么是 gcc 中所谓的零长度数组.这是 gcc 对 C 的扩展.在标准 C 中我们定义数组时其长度至少为 1,而我们在 Linux 内核中结构体的定义里却经常看到最后一个元素定义为这种零长度数组,它不占结构的空间,但它意味着这个结构体的长度是充满了变数的,即我们这里 sizeof(hcd_priv)==0,其作用就相当于一个占位符,用我们大学校园里的话来说,就是我一向深恶痛绝的占座一族.然后当我们要申请空间的时候我们可以这样做,

hcd = kzalloc(sizeof(*hcd) + driver->hcd_priv_size, GFP_KERNEL);

实际上,这就是 usb_create_hcd 中的一行,只不过当时我们没讲,然而现在我知道,逃避不是办法,我们必须面对.driver->hcd_priv_size 对我们来说,我们可以在 uhci_driver 中找到,它就是 sizeof(struct uhci_hcd),所以最终 hcd->hcd_priv 代表的就是这个 struct uhci_hcd,只不过需要一个强制转换.这样我们就能理解 hcd_to_uhci 了吧.当然,反过来,uhci_to_hcd 的意思就更不用说了.不过我倒是想友情提醒一下,我们现在是在讲 uhci 主机控制器的驱动程序,那么在我们这个故事里,有一些结构体变量是唯一的,比如以后我们凡是见到那个 struct uhci_hcd 的结构体指针,那就是咱们这里这个 uhci,凡是见到那个 struct usb_hcd 的结构体指针,那就是咱们这里这个 hcd.即以后我们如果见到某个指针名字叫做 uhci 或者叫做 hcd,那就不用再多解释了.此 uhci 即彼 uhci,此 hcd 即彼 hcd.

接下来, io_size 和 io_addr 的赋值都很好懂.

然后是决定这个 Root Hub 到底有几个端口.端口号是从 0 开始的,UHCI 的 Root Hub 最多不能超过 8 个端口,即 port 号不能超过 7.这段代码的含义注释里面说的很清楚,首先 UHCI 定义了这么一类寄存器,叫做 PORTSC 寄存器,全称就是 PORT STATUS AND CONTROL REGISTER,端口状态和控制寄存器,只要有一个 port 就有这么一个寄存器,而每个这类寄存器都是 16 个 bits,即两个 bytes,因此从地址安排上来说,每一个端口占两个 bytes,而 Spec 规定 Port 1 的地址位于基址开始的第 10h 和 11h,Port 2 的地址向后顺推,即位于基址开始的第 12h 和 13h,再有更多就向后顺推,USBPORTSC1 这个宏的值是 16,还有一个叫做 USBPORTSC2 的宏值为 18,这两个宏用来标志 Port 的偏移量,显然 16 就是 10h,而 18 就是 12h,UHCI 定义的寄存器中,PORTSC 是最后一类寄存器,它后面没有更多的寄存器了,但是它究竟有几个 PORTSC 寄存器就是我们所不知道的了,否则我们也就不用判断有多少个端口了.于是这段代码的意思就是从 USBPORTSC1 开始往后走,一直循环下去,读取这个寄存器的值,即 portstatus,按 SPEC 规定,这个寄存器的值中 bit7 是一个保留位,应该一直为 1,所以如果不为 1,那么就不用往下走了,说明已经没有寄存器了.另一种常见的错误是读出来都为 1,经验表明,这种情况也表示没有寄存器了.说明一下,inw 就是读 IO 端口的函数,w 就表示按 word 读.很显然这里要按 word 读,因为 PORTSC 寄存器是 16bits,一个 word.inw 所接的参数就是具体的 IO 地址,即基址加偏移量.

510 行,UHCI_RH_MAXCHILD 就是 7,port 不能大于 7,如果大于,那么说明出错了,于是设置 port 为 2,因为 UHCI spec 规定每个 Root Hub 最少有两个 port.

于是,uhci->rh_numports 最后用来记录 Root Hub 的端口数.

然后是 520 行,check_and_reset_hc(),这个函数特虚伪,看似超简单其实暴复杂.定义于 drivers/usb/host/uhci-hcd.c 中.

```
164 /*
165  * Initialize a controller that was newly discovered or has lost power
166  * or otherwise been reset while it was suspended.  In none of these cases
167  * can we be sure of its previous state.
168  */
169 static void check_and_reset_hc(struct uhci_hcd *uhci)
170 {
171         if (uhci_check_and_reset_hc(to_pci_dev(uhci_dev(uhci)),
uhci->io_addr))
172                 finish_reset(uhci);
173 }
```

看上去就两行,可这两行足以让我等菜鸟们看半个小时了.首先第一个函数,uhci_check_and_reset_hc 来自 drivers/usb/host/pci-quirks.c,

```
 85 /*
 86  * Initialize a controller that was newly discovered or has just been
 87  * resumed.  In either case we can't be sure of its previous state.
 88  *
 89  * Returns: 1 if the controller was reset, 0 otherwise.
 90  */
 91 int uhci_check_and_reset_hc(struct pci_dev *pdev, unsigned long base)
 92 {
 93         u16 legsup;
 94         unsigned int cmd, intr;
 95
 96         /*
 97          * When restarting a suspended controller, we expect all the
 98          * settings to be the same as we left them:
 99          *
100          *      PIRQ and SMI disabled, no R/W bits set in USBLEGSUP;
101          *      Controller is stopped and configured with EGSM set;
102          *      No interrupts enabled except possibly Resume Detect.
103          *
104          * If any of these conditions are violated we do a complete reset.
105          */
106         pci_read_config_word(pdev, UHCI_USBLEGSUP, &legsup);
```

```
    107         if (legsup & ~(UHCI_USBLEGSUP_RO | UHCI_USBLEGSUP_RWC))
{
    108                 dev_dbg(&pdev->dev, "%s: legsup = 0x%04x\n",
    109                                 __FUNCTION__, legsup);
    110                 goto reset_needed;
    111         }
    112
    113         cmd = inw(base + UHCI_USBCMD);
    114         if ((cmd & UHCI_USBCMD_RUN) || !(cmd &
UHCI_USBCMD_CONFIGURE) ||
    115                         !(cmd & UHCI_USBCMD_EGSM)) {
    116                 dev_dbg(&pdev->dev, "%s: cmd = 0x%04x\n",
    117                                 __FUNCTION__, cmd);
    118                 goto reset_needed;
    119         }
    120
    121         intr = inw(base + UHCI_USBINTR);
    122         if (intr & (~UHCI_USBINTR_RESUME)) {
    123                 dev_dbg(&pdev->dev, "%s: intr = 0x%04x\n",
    124                                 __FUNCTION__, intr);
    125                 goto reset_needed;
    126         }
    127         return 0;
    128
    129 reset_needed:
    130         dev_dbg(&pdev->dev, "Performing full reset\n");
    131         uhci_reset_hc(pdev, base);
    132         return 1;
    133 }
```

而第二个函数 finish_reset 来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c.

```
    126 /*
    127  * Finish up a host controller reset and update the recorded state.
    128  */
    129 static void finish_reset(struct uhci_hcd *uhci)
    130 {
    131         int port;
    132
    133         /* HCRESET doesn't affect the Suspend, Reset, and Resume Detect
    134          * bits in the port status and control registers.
    135          * We have to clear them by hand.
    136          */
    137         for (port = 0; port < uhci->rh_numports; ++port)
    138                 outw(0, uhci->io_addr + USBPORTSC1 + (port * 2));
```

```
139
140         uhci->port_c_suspend = uhci->resuming_ports = 0;
141         uhci->rh_state = UHCI_RH_RESET;
142         uhci->is_stopped = UHCI_IS_STOPPED;
143         uhci_to_hcd(uhci)->state = HC_STATE_HALT;
144         uhci_to_hcd(uhci)->poll_rh = 0;
145
146         uhci->dead = 0;         /* Full reset resurrects the controller */
147 }
```

这两个函数我们一起来看.

pci_read_config_word 这个函数的作用正如同它的字面一一一样.读寄存器,读什么寄存器?就是那张上坟图呗.

在 drivers/usb/host/quirks.c 中有一打的关于这些宏的定义,

```
20 #define UHCI_USBLEGSUP          0xc0            /* legacy support */
21 #define UHCI_USBCMD             0               /* command register
*/
22 #define UHCI_USBINTR            4               /* interrupt register */
23 #define UHCI_USBLEGSUP_RWC      0x8f00          /* the R/WC bits */
24 #define UHCI_USBLEGSUP_RO       0x5040          /* R/O and
reserved bits */
25 #define UHCI_USBCMD_RUN         0x0001          /* RUN/STOP bit */
26 #define UHCI_USBCMD_HCRESET     0x0002          /* Host Controller
reset */
27 #define UHCI_USBCMD_EGSM        0x0008          /* Global Suspend
Mode */
28 #define UHCI_USBCMD_CONFIGURE   0x0040          /* Config Flag */
29 #define UHCI_USBINTR_RESUME     0x0002          /* Resume
interrupt enable */
```

UHCI_USBLEGSUP 是一个寄存器,它是一个比较特殊的寄存器,LEGSUP 全称为 LEGACY SUPPORT REGISTER,UHCI spec 的第五章第二节专门介绍了这个寄存器.这里 pci_read_config_word 这个函数这么一调用就是把这个寄存器的值读出来,而结果被保存在变量 legsup 中,接着下一行就来判断它的值.这里首先我们介绍三个概念,我们注意到寄存器的每一位都有一个属性,比如 RO,RW,RWC,前两个很好理解,RO 就是 Read Only,只读,RW 就是 Read/Write,可读可写.RWC 就是 Read/Write Clear.寄存器的某位如果是 RWC 的属性,那么表示该位可以被读可以被写,然而,与 RW 不同的是,如果你写了一个 1 到该位,将会把该位清为 0,倘若你写的是一个 0,则什么也不会发生,对这个世界不产生任何改变.(UHCI Spec 中是这么说的:R/WC Read/Write Clear. A register bit with this attribute can be read and written. However, a write of a 1 clears (sets to 0) the corresponding bit and a write of a 0 has no effect.)

而UHCI_USBLEGSUP_RO为0x5040,即0101 0000 0100 0000,它用来标志着个LEGSUP寄存器的 bit 6,bit 12,bit 14 这三位为 1,这几位是只读的(bit 14 是保留位).UHCI_USBLEGSUP_RWC 为 0x8f00,即 1000 1111 0000 0000,即标志着 LEGSUP 寄存器的 bit 8,bit 9,bit 10,bit 11,bit 15 为 1,这几位的属性是 RWC 的.这里让这两个宏或一下,然后按位去反,然后让 legsup 和它们相与,其效果就是判断 LEGSUP 寄存器的 bit 0,bit 1,bit 2,bit 3,bit 4,bit 5,bit 7,bit 13 是否为 1,这几位其实就是 RW 的.这里的注释说,这几位任何一位为 1 则表示需要 reset,其实这种注释是不太负责任的,仔细看一下 UHCI spec 我们会发现,RW 的这些位并不是因为它们是 RW 位它们就应该被 reset,而是因为它们的作用,实际上 bit0~bit5,bit7,bit13 这几位都是一些 enable/disable 的开关,特别是中断相关的使能位,当我们还没有准备就绪的时候,我们理应把它们关掉,这就相当于我新买了一个手机,而我还没有号码,那我出于省电的考虑,基本上会选择把手机先关掉,等到我有了号了,我才会去把手机打开.而其它的位都是一些状态位,它们为 0 还是为 1 只是表明不同的状态,那还不随它们去,它们爱表示什么状态就表示什么状态呗,状态位对我们是没有什么影响的.

113 行, UHCI_USBCMD 表征 UHCI 的命令寄存器,这也是 UHCI Spec 中定义的寄存器.这个寄存器为 00h 和 01h 处.所以 UHCI_USBCMD 的值为 0.

关于这个寄存器,需要考虑的是这么几位,首先是 bit 0,这一位被称作 RS bit,即 Run/Stop,当这一位被设置为 1,表示 HC 开始处理执行调度,调度什么?比如,传说中的 URB.显然,现在时机还未成熟,所以这一位必须设置为 0.咱们这里代码的意思是如果它为 1,就执行 reset.UHCI_USBCMD_RUN 的值为 0x0001,即表征 bit 0.另两个需要考虑的是 bit 3 和 bit 6.bit 3 被称为 EGSM,即 Enter Global Suspend Mode,这一位为 1 表示 HC 进入 Global Suspend Mode,这期间是不会有 USB 交易的.把这一位设置为 0 则是跳出这个模式,显然咱们这里的判断是如果这一位被设置为了 0,就执行 reset,否则就没有必要.因为 reset 的目的是为了清除当前存在于总线上的任何交易,让主机控制器和设备都忘了过去,重新开始新的生活.而 bit 被称为 CF,即 Configure Flag,设置了这一位表示主机控制器当前正在被配置的过程中,显然如果主机控制器还在这个阶段我们就没有必要 reset 了.从逻辑上来说,关于这个寄存器的判断,我们的理念是,如果 HC 是停止的,并且它还是挂起的,并且它还是配置的.这种情况我们没有必要做 reset 的.

接下来,121 行,读另一个寄存器,UHCI_USBINTR,值为 4.UHCI spec 中定义了一个中断使能寄存器.其 I/O 地址位于 04h 和 05h.很显然一开始我们得关中断.关于这个寄存器的描述如下图所示:

谢天谢地,bit 15 到 bit 4 是保留位,并且默认应该是 0,所以我们无需理睬.而剩下几位在现阶段应该要关掉,即 disable 掉,或者说应该设置为 0,唯有 bit 1 是个例外,Resume Interrupt Enable,正如 uhci_check_and_reset_hc 函数前的注释里说的一样,调用这个函数有两种可能的上下文,一种是这个主机控制器刚刚被发现的时候,这是一次性的工作,另一种是电源管理中的 resume 的时候,虽然此时此刻我们调用这个函数是处于第一种上下文,但显然第二种情景发生的频率更高,可能性更大.这也应了那句关于女人的老话,女人就像书架上的书,虽然你买了她,但在你买之前她多多少少被几个男人翻过.而对于 resume 的情况,显然这个 Resume 中断使能的寄存器必须被 enable.(这里也能解释为何刚才我们不仅不应该清掉 LEGSUP 寄存器里面的状态位,还应该尽量保持它们.因为我们如果是从 suspend 回到 resume,我们当然希望之前的状态得到保留,否则状态改变了那不就乱了么?那也就不叫恢复了.)

最终,127 行,如果前面的三条 goto 语句都没有执行,那么说明并不需要执行 reset,这里就直接返回了,返回值为 0.反之如果前面任何一条 goto 语句执行了,那么就往下走,执行 uhci_reset_hc,然后返回 1.

函数 uhci_reset_hc 也来自 drivers/usb/host/pci-quirks.c:

```
55 /*
56  * Make sure the controller is completely inactive, unable to
57  * generate interrupts or do DMA.
58  */
59 void uhci_reset_hc(struct pci_dev *pdev, unsigned long base)
60 {
61         /* Turn off PIRQ enable and SMI enable.  (This also turns off the
62          * BIOS's USB Legacy Support.)  Turn off all the R/WC bits too.
63          */
64         pci_write_config_word(pdev, UHCI_USBLEGSUP,
UHCI_USBLEGSUP_RWC);
65
66         /* Reset the HC - this will force us to get a
67          * new notification of any already connected
68          * ports due to the virtual disconnect that it
69          * implies.
70          */
71         outw(UHCI_USBCMD_HCRESET, base + UHCI_USBCMD);
72         mb();
73         udelay(5);
74         if (inw(base + UHCI_USBCMD) & UHCI_USBCMD_HCRESET)
75                 dev_warn(&pdev->dev, "HCRESET not completed
yet!\n");
76
77         /* Just to be safe, disable interrupt requests and
78          * make sure the controller is stopped.
79          */
80         outw(0, base + UHCI_USBINTR);
81         outw(0, base + UHCI_USBCMD);
82 }
```

这个函数其实就是一堆寄存器操作.读寄存器或者写寄存器.这种代码完全就是纸老虎,看上去挺恐怖,一堆的宏啊,寄存器啊,其实这些东西对我们这种经历过应试教育的人来说完全就是小 case.

首先 64 行, pci_write_config_word 就是写寄存器,写的还是 UHCI_USBLEGSUP 这个寄存器,即 LEGSUP 寄存器,写入 UHCI_USBLEGSUP_RWC,根据我们对 RWC 的解释,这样做的后果就是让这几位都清零.凡是 RWC 的 bit 其实都是在传达某种事件的发生,而清零往往代表的是认可这件事情.

然后 71 行,outw 的作用就是写端口地址,这里写的是 UHCI_USBCMD,即写命令寄存器,而 UHCI_USBCMD_HCRESET 表示什么意思呢?UHCI spec 中是这样说的:

Host Controller Reset (HCRESET). When this bit is set, the Host Controller module resets its internal timers, counters, state machines, etc. to their initial value. Any transaction currently in progress on USB is immediately terminated. This bit is reset by the Host Controller when the reset process is complete.

显然,这就是真正的执行硬件上的 reset.把计时器,计数器,状态机全都给复位.当然这件事情是需要一段时间的,所以这里调用 udelay 来延时 5ms.最后再读这一位,因为正如上面这段英文里所说的那样,当 reset 完成了之后,这一位会被硬件 reset,即这一位应该为 0.

最后 80 行和 81 行,写寄存器,把 0 写入中断使能寄存器和命令寄存器,这就是彻底的 Reset,关掉中断请求,并且停止 HC.

终于,我们结束了 uhci_check_and_reset_hc,如果执行了 reset,那么返回值应该为 1.这种情况我们将执行 finish_reset 函数.这个函数的代码前面已经贴出来了,小学六年级的同学也应该能看懂,因为它只是做一些简单的赋值.唯一有一行写寄存器的循环操作,其含义又在注释里写的很明了了.至于这些赋值究竟意味着什么,等我们遇到了再说.

于是我们又跳出了 check_and_reset_hc(uhci),这次我们回到了 uhci_init,不过幸运的是,这个函数也该结束了.返回值为 0,我们于是来了个三级跳,回到了 usb_add_hcd.

有一种资源，叫中断

结束了 uhci_init 回到亲爱的 usb_add_hcd 之后,1604 行到 1606 行是调试语句,飘过.

有一种液体叫眼泪,曾经以为,闭上眼睛,眼泪就不会流出来了.的确,眼泪流回了心里.

有一种资源叫中断,曾经以为,关掉中断,USB 主机就不会工作了.的确,USB 主机没有中断基本就挂了…

1609 行,中断.看 driver 有没有一个 irq 函数,如果没有,就简单的记录 hcd->irq 为-1,hcd->irq 就是用来记录传说中的中断号的.如果有,那就有事情要做了.显然咱们的 uhci_driver 里面是有的,它的赋值就是 uhci_irq.当然,现在不用执行它,只是需要为它做点事情.最重要的当然就是 request_irq 这个函数.我们先来看看它直观的效果.

加载 uhci-hcd 之前:

```
localhost:~ # cat /proc/interrupts
           CPU0
  0:      29906   IO-APIC-edge      timer
  1:         10   IO-APIC-edge      i8042
  8:          2   IO-APIC-edge      rtc
```

```
  9:          3   IO-APIC-fasteoi   acpi
 12:        115   IO-APIC-edge      i8042
 14:       6800   IO-APIC-edge      ide0
 16:        780   IO-APIC-fasteoi   eth0
NMI:          0
LOC:       1403
ERR:          0
MIS:          0
```

加载 uhci-hcd 模块:

```
localhost:~ # modprobe usbcore
localhost:~ # modprobe uhci-hcd
```

加载 uhci-hcd 模块之后:

```
localhost:~ # cat /proc/interrupts

           CPU0
  0:      32625   IO-APIC-edge      timer
  1:         10   IO-APIC-edge      i8042
  8:          2   IO-APIC-edge      rtc
  9:          3   IO-APIC-fasteoi   acpi
 12:        115   IO-APIC-edge      i8042
 14:       6915   IO-APIC-edge      ide0
 16:        870   IO-APIC-fasteoi   eth0, uhci_hcd:usb1
 17:          0   IO-APIC-fasteoi   uhci_hcd:usb4
 18:          0   IO-APIC-fasteoi   uhci_hcd:usb2
 19:          0   IO-APIC-fasteoi   uhci_hcd:usb3
NMI:          0
LOC:       1403
ERR:          0
MIS:          0
```

众所周知,/proc/interrupts 列出了计算机中中断资源的使用情况.这其中 uhci_hcd:usb1/usb2/usb3/usb4 这几个字符串就是 request_irq 中的倒数第二个参数,即我们看到的实参 hcd->irq_descr,而这个字符串的赋值就是 1610 行那个 snprintf 语句的职责.hcd->driver->description 就是"uhci-hcd",hcd->self.busnum 就是 1,2,3,4 这些.因为这台机器一共四个 usb 主机控制器,它们的编号就是 1,2,3,4.

那么 request_irq 的具体作用是什么?请求中断资源,或者更准确地说是安装中断处理函数或者叫中断句柄(interrupt handler).

这个函数的第一个参数就是中断号.咱们的 irqnum 是一路传下来的,即最初的那个 dev->irq.

这其中第二个参数就是中断句柄.这里我们传递的是 usb_hcd_irq.这个函数将会在响应中断的时候被调用.

第三个参数,irqflags,我们在 probe 中调用 usb_add_hcd 的时候,传递的第三个参数是 IRQF_SHARED,这个参数也被传递给了 request_irq,所以这里的 irqflags 为 IRQF_SHARED,这表示该中断可以被多个 device 共享.这也是为什么我们可以看到 uhci-hcd:usb1 和网卡驱动 eth0 用的是同一个中断号.之所以要共享,是因为当今世界中断资源相当的紧张,在现实中我们经常喊这么一句口号:要节约用水,尽量和女友一起洗澡.而在操作系统中,这句口号变为:要节约资源,尽量和别的设备共享中断号.

第四个参数就是那个字符串.第五个参数主要是用来标志使用中断的设备,它是一个指针,这个参数只是用来区分不同的设备,你可以不用它,即你可以把它设置为 NULL.但更多的情况是它被设置为指向驱动程序私有的数据.我们传递的是 hcd 本身,这样我们在 usb_hcd_irq 函数中就可以使用它,因为事实上我们在 usb_hcd_irq 中把它当作了一个参数来用.

这样 request_irq 就明白了,以后释放中断资源的时候我们只要调用另一个函数,free_irq 即可.这个函数将会在 usb_remove_hcd 的时候被调用.

最后 1618 行,我们也把 irqnum 记录在了 hcd->irq 中.

最后的最后,再强调一下,usb_hcd_irq 是咱们这个故事中很重要的角色,它将在未来主机控制器需要中断的时候被调用.希望你不要把她忘怀.作为一个中断函数,如果不是它以后有一定的利用价值,咱们现在完全没有必要为它注册,这很符合常理,非常符合常理!正如南京鼓楼法院审判长对彭宇事件给出的结论一样,”从常理分析,如果不是彭宇撞的老太太,他完全不用送她去医院.”好一个常理,雷锋为火车拖地板,按照常理来说是不可能的,所以只有一个解释,地板是他弄脏的,所以他才去拖;董存瑞舍生炸碉堡,按照常理来说是不可能的,所以只有一个解释,那碉堡是董存瑞安插在那里的;黄继光堵枪眼,按照常理来说是不可能的,所以只有一个解释,里面的联合国军是他招来的;王杰扑在地雷上面,牺牲了自己,保住了十二名民兵同志的生命,按照常理来说是不可能的,所以只有一个解释,那地雷是王杰让爆的;欧阳海舍去自己生命,拉开了在铁轨上的惊马,按照常理来说是不可能的,所以只有一个解释,那匹惊马是欧阳海拉到铁轨上去的;赖宁,一个十岁小孩子,要跑去抢救山火,按照常理来说是不可能的,所以只有一个解释,那把山火是他放的;解放军战士们在灾区不要命的抢救父老乡亲,用身体堵大坝,按照常理来说是不可能不应该的,所以只有一个解释,洪水是解放军引来的;我们给希望工程捐款,按照常理来说是不可能的,所以只有一个解释,那些孩子是被我们弄辍学的…常理最终告诉我们,我们 80 后从小要学习的英雄人物,全他妈的都是些坏蛋.

一个函数引发的故事（一）

接下来,1632 行,下一个函数,driver->start 被调用.对于咱们的 uhci_driver,其 start 指针指向的是 uhci_start 函数,经过了人间大炮一级准备,二级准备之后,这个函数基本上就算介于三级准备和发射之间了.这个函数算是整个故事中最重要的一个函数,理解它是理解整个 uhci 的关键.来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
538 /*
539  * Allocate a frame list, and then setup the skeleton
540  *
541  * The hardware doesn't really know any difference
542  * in the queues, but the order does matter for the
543  * protocols higher up.  The order in which the queues
544  * are encountered by the hardware is:
545  *
546  *  - All isochronous events are handled before any
547  *    of the queues. We don't do that here, because
548  *    we'll create the actual TD entries on demand.
549  *  - The first queue is the high-period interrupt queue.
550  *  - The second queue is the period-1 interrupt and async
551  *    (low-speed control, full-speed control, then bulk) queue.
552  *  - The third queue is the terminating bandwidth reclamation queue,
553  *    which contains no members, loops back to itself, and is present
554  *    only when FSBR is on and there are no full-speed control or bulk
QHs.
555  */
556 static int uhci_start(struct usb_hcd *hcd)
557 {
558         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
559         int retval = -EBUSY;
560         int i;
561         struct dentry *dentry;
562
563         hcd->uses_new_polling = 1;
564
565         spin_lock_init(&uhci->lock);
566         setup_timer(&uhci->fsbr_timer, uhci_fsbr_timeout,
567                         (unsigned long) uhci);
568         INIT_LIST_HEAD(&uhci->idle_qh_list);
569         init_waitqueue_head(&uhci->waitqh);
570
571         if (DEBUG_CONFIGURED) {
572                 dentry = debugfs_create_file(hcd->self.bus_name,
573                                 S_IFREG|S_IRUGO|S_IWUSR,
uhci_debugfs_root,
574                                 uhci, &uhci_debug_operations);
575                 if (!dentry) {
576                         dev_err(uhci_dev(uhci), "couldn't create uhci "
577                                         "debugfs entry\n");
578                         retval = -ENOMEM;
579                         goto err_create_debug_entry;
```

```
    580                 }
    581                 uhci->dentry = dentry;
    582         }
    583
    584         uhci->frame = dma_alloc_coherent(uhci_dev(uhci),
    585                         UHCI_NUMFRAMES * sizeof(*uhci->frame),
    586                         &uhci->frame_dma_handle, 0);
    587         if (!uhci->frame) {
    588                 dev_err(uhci_dev(uhci), "unable to allocate "
    589                                 "consistent memory for frame list\n");
    590                 goto err_alloc_frame;
    591         }
    592         memset(uhci->frame, 0, UHCI_NUMFRAMES *
sizeof(*uhci->frame));
    593
    594         uhci->frame_cpu = kcalloc(UHCI_NUMFRAMES,
sizeof(*uhci->frame_cpu),
    595                         GFP_KERNEL);
    596         if (!uhci->frame_cpu) {
    597                 dev_err(uhci_dev(uhci), "unable to allocate "
    598                                 "memory for frame pointers\n");
    599                 goto err_alloc_frame_cpu;
    600         }
    601
    602         uhci->td_pool = dma_pool_create("uhci_td", uhci_dev(uhci),
    603                         sizeof(struct uhci_td), 16, 0);
    604         if (!uhci->td_pool) {
    605                 dev_err(uhci_dev(uhci), "unable to create td
dma_pool\n");
    606                 goto err_create_td_pool;
    607         }
    608
    609         uhci->qh_pool = dma_pool_create("uhci_qh", uhci_dev(uhci),
    610                         sizeof(struct uhci_qh), 16, 0);
    611         if (!uhci->qh_pool) {
    612                 dev_err(uhci_dev(uhci), "unable to create qh
dma_pool\n");
    613                 goto err_create_qh_pool;
    614         }
    615
    616         uhci->term_td = uhci_alloc_td(uhci);
    617         if (!uhci->term_td) {
    618                 dev_err(uhci_dev(uhci), "unable to allocate terminating
TD\n");
```

```
619                 goto err_alloc_term_td;
620         }
621
622         for (i = 0; i < UHCI_NUM_SKELQH; i++) {
623                 uhci->skelqh[i] = uhci_alloc_qh(uhci, NULL, NULL);
624                 if (!uhci->skelqh[i]) {
625                         dev_err(uhci_dev(uhci), "unable to allocate
QH\n");
626                         goto err_alloc_skelqh;
627                 }
628         }
629
630         /*
631          * 8 Interrupt queues; link all higher int queues to int1 = async
632          */
633         for (i = SKEL_ISO + 1; i < SKEL_ASYNC; ++i)
634                 uhci->skelqh[i]->link =
LINK_TO_QH(uhci->skel_async_qh);
635         uhci->skel_async_qh->link = UHCI_PTR_TERM;
636         uhci->skel_term_qh->link = LINK_TO_QH(uhci->skel_term_qh);
637
638         /* This dummy TD is to work around a bug in Intel PIIX controllers
*/
639         uhci_fill_td(uhci->term_td, 0, uhci_explen(0) |
640                         (0x7f << TD_TOKEN_DEVADDR_SHIFT) |
USB_PID_IN, 0);
641         uhci->term_td->link = UHCI_PTR_TERM;
642         uhci->skel_async_qh->element = uhci->skel_term_qh->element
=
643                         LINK_TO_TD(uhci->term_td);
644
645         /*
646          * Fill the frame list: make all entries point to the proper
647          * interrupt queue.
648          */
649         for (i = 0; i < UHCI_NUMFRAMES; i++) {
650
651                 /* Only place we don't use the frame list routines */
652                 uhci->frame[i] = uhci_frame_skel_link(uhci, i);
653         }
654
655         /*
656          * Some architectures require a full mb() to enforce completion of
```

```
657             * the memory writes above before the I/O transfers in
configure_hc().
658             */
659            mb();
660
661            configure_hc(uhci);
662            uhci->is_initialized = 1;
663            start_rh(uhci);
664            return 0;
665
666 /*
667  * error exits:
668  */
669 err_alloc_skelqh:
670            for (i = 0; i < UHCI_NUM_SKELQH; i++) {
671                    if (uhci->skelqh[i])
672                            uhci_free_qh(uhci, uhci->skelqh[i]);
673            }
674
675            uhci_free_td(uhci, uhci->term_td);
676
677 err_alloc_term_td:
678            dma_pool_destroy(uhci->qh_pool);
679
680 err_create_qh_pool:
681            dma_pool_destroy(uhci->td_pool);
682
683 err_create_td_pool:
684            kfree(uhci->frame_cpu);
685
686 err_alloc_frame_cpu:
687            dma_free_coherent(uhci_dev(uhci),
688                              UHCI_NUMFRAMES * sizeof(*uhci->frame),
689                              uhci->frame, uhci->frame_dma_handle);
690
691 err_alloc_frame:
692            debugfs_remove(uhci->dentry);
693
694 err_create_debug_entry:
695            return retval;
696 }
```

这个函数简直就是一个大杂烩,所有变态的代码全都集中在这一个函数里边了.我始终觉得我们看到的这些函数,谈论的这些代码,远比唐笑打武警的话题来得枯燥乏味,但是,天下没有轻松的成

功,成功,要付代价.在这个浮躁的社会中,也许很难再有人能够静下心来看代码了.都说现在的程序员是做一天程序撞一天钟,我们这些读程序的又何尝不是这种心态呢?

面对这越来越枯燥的代码,我想我们不能再像过去那样分析了.记得一位泡妞大师曾经教育过我,读懂 Linux 内核代码和读懂女人的心一样,不是不可能,只是需要你多下点功夫,多用点时间在她们身上,多多沟通,多多了解,增进两个人的感情.这套理论我觉得很有道理,所以我想从现在开始我决定多用点时间多下点功夫来读代码,要和代码多多沟通才能对它有多多了解.所以我决定用出我的杀手锏,kdb.也许你不熟悉 kdb,没有关系,我只是通过 kdb 来展示一些函数调用关系.我主要会使用 kdb 的 bp 命令来设置一些断点,通过 kdb 的 bt 命令来显示函数调用堆栈.很显然,了解了函数的调用关系对读懂代码是很有帮助的.

首先我们在加载 uhci-hcd 的时候设置断点 uhci_start.于是我们会在 uhci_start 被调用的时候进入 kdb,用 bt 命令看一下 Stack 的 traceback.

```
kdb>bt
Stack traceback for pid 3498
0xdd5ac550 3498 3345 1 0 R 0xdd5ac720 *modprobe
esp             eip             Function (args)
0xd4a89d40 0xc0110000 lapic_resume+0x185
0xd4a89d48 0xe0226e41 [uhci_hcd]uhci_start
0xd4a89d54 0xe0297132 [usbcore]usb_add_hcd+0x3fb
0xd4a89da0 0xe02a0a9b [usbcore]usb_hcd_pci_probe+0x263
```

其实 Stack 中还有更多的函数,篇幅原因,跟咱们这里没有太多关系的函数就不列出来了.但是至少从这个 traceback 中我们可以很清楚的知道我们目前我们的处境,我们在 uhci_start 中,而调用它的函数是 usb_add_hcd,后者则是被 usb_hcd_pci_probe 函数调用,而 usb_hcd_pci_probe 函数正是我们故事的真正开始处.

但单单是 kdb 还不足以显示我们的决心.有人说,女人如画,不同的画中有不同的风景,代码也是如此,左看右看,上看下看,角度不同风景各异.对于 uhci-hcd 这样变态的模块,用常规的方法恐怕是很难看明白了,我们必须引入一种新的方法,图解法.从 uhci_start 函数开始,我们将接触到一堆乱七八糟的庞大的复杂的数据结构,这些数据结构的关系如果不能理解,那么我们很难读懂这代码.所以我决定把 uhci_start 作为实验田,通过图解法把众多复杂的结构众多的链表之间的关系给描绘出来.

一个函数引发的故事（二）

571 行之前全是些初始化的代码,先飘过,用到了再回来看.

571 行到 582 行,上次我们看到 DEBUG_CONFIGURED 是在 uhci 的初始化代码中,即 uhci_hcd_init 函数中,这是一个编译开关,打开开关就是 1,不打开就是 0,我们假设打开.因为我们有必要了解一下 debugfs 的更多,毕竟我们当初已经接触过 debugfs 了.而且当时已经看到函

数 debugfs_create_dir 在/sys/kernel/debug 下面建立了一个 uhci 的目录,而现在我们看到的这个 debugfs_create_file 很自然,就是在/sys/kernel/debug/uhci 下面建立文件,比如:

```
localhost:~ # ls -l /sys/kernel/debug/uhci/
total 0
-rw-r--r-- 1 root root 0 Oct   8 13:18 0000:00:1d.0
-rw-r--r-- 1 root root 0 Oct   8 13:18 0000:00:1d.1
-rw-r--r-- 1 root root 0 Oct   8 13:18 0000:00:1d.2
-rw-r--r-- 1 root root 0 Oct   8 13:18 0000:00:1d.3
```

可以看见,在这个目录下面针对每个 uhci 主机控制器各建立了一个文件,文件名就是该设备的 pci 名,即域名+总线名+插槽号+功能号.(domain,bus,device,function)

接下来从 584 行到 628 行,全都是内存申请相关的,包括可恶的 DMA.不过这些函数我们已经不再陌生,dma_alloc_coherent,dma_pool_create 都已经讲过,但要说清楚这些实际的代码,则必须借助一张经典的图,来自 UHCI spec:

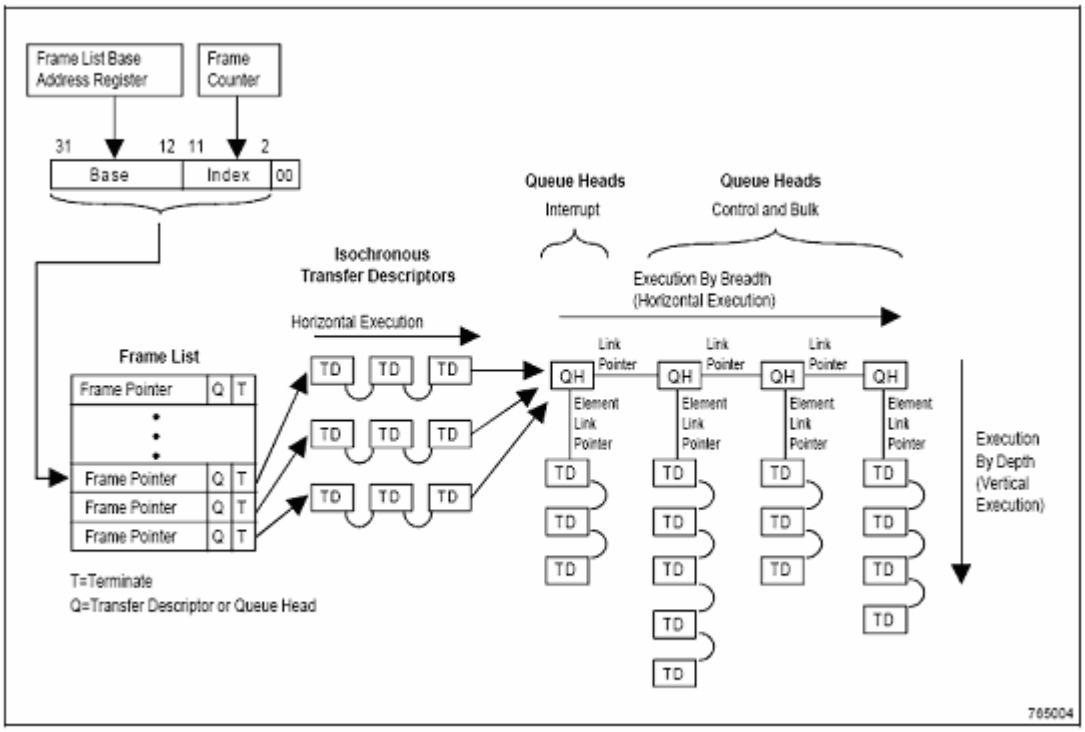


Figure 4. Example Schedule

这张图叫做调度图.有了这张图,你就可以运筹帷幄之内决胜千里之外.这张图对于我们研究 uhci 的意义,就好比 1993 年那部何家劲版的少年张三丰中那张藏宝图,所有的人都想得到它,因为得到了它就意味着得到一切.而对于所有写 uhci 主机驱动的人来说,他们对于这幅图的共同心声是:输了你,赢了世界又如何?

之所以这幅图如此重要,是因为 uhci 主机控制器的原理完全集中在这幅图中.

Frame List,有人管它叫框架表,有人管它叫帧链表.我觉得怎么叫都不爽,所以还是用英文吧,就叫它 Frame List,而 Frame 我也不翻译过来了,理由是,我在伟大的微软拼音输入法里竟然没有找到” 帧”这个字.主机控制器最重要的一个职责是调度.那么它如何调度呢?首先你得把这个 Frame List 的起始地址告诉它,由这个 List 将会牵出许多的 TD 和 QH 来.

首先 Frame List 是一个数组,最多 1024 个元素.每一个元素代表一个 frame,时间上来说就是 1ms.而和每一个 Frame 相联系的是 transaction,即交易.比如说一次传输,就可以算作一笔交易.而 TD 和 QH 就是用来表征这些交易的.Frame List 的每一个元素会包含指针指向 TD 或者 QH,实际上 Frame List 的每一个元素被称作一个 Frame List Pointer,它一共有 32 个 bit,其中 bit31 到 bit4 则表示的是 TD 或者 QH 的地址,bit1 则表示指向的到底是 QH 还是 TD.

而从硬件上来说,访问这个 Frame List 的方法是使用一个基址寄存器和一个计数器.即图中我们看到的那个 Frame List Base Address Register 和 Frame Counter.下面这张图也许更能说明这两个东西的作用.

实际上在主机控制器中有一个时钟,用我们电子专业的术语来说就是主机控制器内部肯定有一个晶体振荡器,从而实现一个周期为 1msec 的信号,于是 Frame List Base Address Register 和 Frame Counter 就去遍历这张 Frame List,它们在这张表里一毫秒前进一格,走到 1023 了就又再次归零.

那么驱动程序的责任是什么呢?为上面那张调度图准备好相应的数据结构.填充 Frame List Pointer,建立并填充 TD,建立并填充 QH.说了这么些,那么到底什么是 TD 什么是 QH 呢?

来看 TD,TD 实际上描述的就是最终要在 USB 总线上传输的数据包,它的学名叫 Transaction Descriptor,它是主机控制器的基本执行单位.UHCI spec 定义了两类 TD,Iso TD 和 non-ISO TD.即等时 TD 和非等时 TD.我们知道 USB 一共四种传输方式,中断,批量,控制,等时.这其中等时传输最帅,所以它的 TD 也会有所不同,虽然从数据结构的格式来说是一样的,但是作用不一样.从这张调度图来看,等时的 TD 也是专门被列出来了.主机控制器驱动程序负责填充 TD,主机控制器将会去获取 TD,然后执行相应的数据传输.

然后来看 QH,QH 就是队列头(Queue Head).从这张调度图里我们也能看到,QH 实际上把各个非等时 TD 给连接了起来,组织成了若干队列.

从图中我们看到一个现象,对主机控制器来说,四种传输方式是有优先级的区别的,等时传输最帅,所以它总是最先被满足,最先被执行,然后是中断传输,再然后才是控制传输和 Bulk 传输.等时传输和中断传输都叫做周期传输,或者说定期传输.

再强调一下,驱动程序的任务就是填充这张图,然后硬件的作用就是按照这张图去执行,这种分工是很明确的.

Ok,现在让我们结合代码和结构体定义来看看.

首先 584 行,使用 dma_alloc_coherent 申请内存,赋给 uhci->frame,而与此同时建立了 dma 映射,frame_dma_handle,frame 是以后我们从软件方面来指代这个 frame list 的,而 frame_dma_handle 因为是物理地址,我们要让它和真正的硬件联系起来,稍后在一个叫做 configure_hc 的函数中你会看到,我们会把它写入 Frame List 的基址寄存器.这样我们以后操作 uhci->frame 就等于真正的操作硬件了.这更意味着以后我们只要把申请的 TD 啊,QH 啊,和 uhci->frame 联系起来就可以了.这里我们也注意到,UHCI_NUMFRAMES 就是一个宏,它的值正是 1024.到目前为止,一切看起来都那么和谐.

而 594 行这个 frame_cpu 则是和 frame 相对应的,它是一个纯粹软件意义上的 frame list.即 frame 身上承担着硬件的使命,而 frame_cpu 则属于我们从软件角度来说记录这张 frame list 的.

609 行这两个 dma_poll_create 就是创建内存池,给我们在下面为 TD 和 QH 申请内存带来方便.

616 行调用的这个 uhci_alloc_td 以及 623 行调用的 uhci_alloc_qh 则都是来自 drivers/usb/host/uhci-q.c,先看前者,uhci_alloc_td,顺便把它的搭档也一并贴出来.

```
106 static struct uhci_td *uhci_alloc_td(struct uhci_hcd *uhci)
107 {
108         dma_addr_t dma_handle;
109         struct uhci_td *td;
110
111         td = dma_pool_alloc(uhci->td_pool, GFP_ATOMIC,
&dma_handle);
112         if (!td)
113                 return NULL;
114
115         td->dma_handle = dma_handle;
116         td->frame = -1;
117
118         INIT_LIST_HEAD(&td->list);
119         INIT_LIST_HEAD(&td->fl_list);
120
121         return td;
122 }
123
124 static void uhci_free_td(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_td *td)
125 {
126         if (!list_empty(&td->list)) {
127                 dev_warn(uhci_dev(uhci), "td %p still in list!\n", td);
128                 WARN_ON(1);
129         }
130         if (!list_empty(&td->fl_list)) {
131                 dev_warn(uhci_dev(uhci), "td %p still in fl_list!\n", td);
```

```
132                 WARN_ON(1);
133         }
134
135         dma_pool_free(uhci->td_pool, td, td->dma_handle);
136 }
```

这意思很明了.再来看后者,uhci_alloc_qh 以及它的搭档 uhci_free_qh.

```
247 static struct uhci_qh *uhci_alloc_qh(struct uhci_hcd *uhci,
248                 struct usb_device *udev, struct usb_host_endpoint *hep)
249 {
250         dma_addr_t dma_handle;
251         struct uhci_qh *qh;
252
253         qh = dma_pool_alloc(uhci->qh_pool, GFP_ATOMIC,
&dma_handle);
254         if (!qh)
255                 return NULL;
256
257         memset(qh, 0, sizeof(*qh));
258         qh->dma_handle = dma_handle;
259
260         qh->element = UHCI_PTR_TERM;
261         qh->link = UHCI_PTR_TERM;
262
263         INIT_LIST_HEAD(&qh->queue);
264         INIT_LIST_HEAD(&qh->node);
265
266         if (udev) {             /* Normal QH */
267                 qh->type = hep->desc.bmAttributes &
USB_ENDPOINT_XFERTYPE_MASK;
268                 if (qh->type != USB_ENDPOINT_XFER_ISOC) {
269                         qh->dummy_td = uhci_alloc_td(uhci);
270                         if (!qh->dummy_td) {
271                                 dma_pool_free(uhci->qh_pool, qh,
dma_handle);
272                                 return NULL;
273                         }
274                 }
275                 qh->state = QH_STATE_IDLE;
276                 qh->hep = hep;
277                 qh->udev = udev;
278                 hep->hcpriv = qh;
279
280                 if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_INT ||
```

```
281                                     qh->type ==
USB_ENDPOINT_XFER_ISOC)
282                             qh->load = usb_calc_bus_time(udev->speed,
283
usb_endpoint_dir_in(&hep->desc),
284                                             qh->type ==
USB_ENDPOINT_XFER_ISOC,
285
le16_to_cpu(hep->desc.wMaxPacketSize))
286                                     / 1000 + 1;
287
288             } else {                /* Skeleton QH */
289                     qh->state = QH_STATE_ACTIVE;
290                     qh->type = -1;
291             }
292             return qh;
293 }
294
295 static void uhci_free_qh(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
296 {
297             WARN_ON(qh->state != QH_STATE_IDLE && qh->udev);
298             if (!list_empty(&qh->queue)) {
299                     dev_warn(uhci_dev(uhci), "qh %p list not empty!\n", qh);
300                     WARN_ON(1);
301             }
302
303             list_del(&qh->node);
304             if (qh->udev) {
305                     qh->hep->hcpriv = NULL;
306                     if (qh->dummy_td)
307                             uhci_free_td(uhci, qh->dummy_td);
308             }
309             dma_pool_free(uhci->qh_pool, qh, qh->dma_handle);
310 }
```

这个就明显复杂一些了.关于 uhci_alloc_qh,它的执行有两条路径,一种是 udev 有所指,一种是 udev 为空.我们这里传进来的是 NULL,所以暂时可以不看另一种路径,到时候需要看的时候再去看.这么一来就意味着此时此刻我们不需要看 266 到 287 这些行了.而这意味着这个函数我们现在能看到的就是一些简单的赋值操作而已.但是我们必须理解为什么这里有两种情况,因为这正是 uhci-hcd 这个驱动的精妙之处.

为了堆砌出那幅调度图,一个很简单的方法是,每次有传输任务,建立一个或者几个 TD,把 urb 转换成 urb,然后把 TD 挂入 frame list pointer,不就可以了么?朋友,如果生活真的是这么简单,如果世界真的是这么单纯,那么也许现在我依然是一张洁白的宣纸,绝不是现在这

张被上海的梅雨湿润过的废纸.

一个函数引发的故事（三）

从调度图我们可以看出,等时传输不需要什么 QH,只要把几个 TD 连接起来,让 Frame List Pointer 指向第一个 TD 就可以了.换言之,我们需要为等时传输准备一个队列,然后每一个 Frame 都让 Frame List Pointer 指向队列的头部.

那么对于中断传输应该如何操作呢?实际上我们把为中断传输建立了 8 个队列.不同的队列代表了不同的周期,这 8 个队列分别代表的是 1ms,2ms,4ms,8ms,16ms,32ms,64ms,128ms,usb spec 里规定,对于全速/低速设备来说,其渴望周期撑死也不能超过 255ms.那么这 8 个队列的队列头就叫做 Skeleton QH,而对于正儿八经的传输来说,我们需要另外专门的建立 QH,并往该 QH 中连接上我们相关的 TD,这类 QH 就是这里所称的 Normal QH,道上的兄弟更是喜欢把往 QH 上连接 TD 称之为为 QH 装备上 TD.而这几个 Skeleton QH 是不会被装备任何 TD 的,它们就相当于一群模特,让别的中断 QH 知道自己该放置在何处.不过 Skeleton QH 并非只是为中断传输准备的,实际上,我们准备了 11 个 Skeleton QH,除了中断传输的 8 个以外,还有一个为等时传输准备的 qh,一个为表征大部队结束的 qh,一个为处理 unlink 而设计的 qh.这三个都有点特殊,我们遇到了再讲.

回到代码中来,从 uhci_start 函数的角度来看,我们注意到 uhci_alloc_qh 返回值是 qh,而 qh 是一个 struct uhci_qh 结构体变量,而刚才 uhci_alloc_td 函数的返回值 td,是一个 struct uhci_td 结构体变量.TD 和 QH 这两个概念说起来轻松,可是化成代码来表示的这两个结构体绝对不是省油的灯.先看 struct uhci_td,来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h 中:

```
232 /*
233  * The documentation says "4 words for hardware, 4 words for software".
234  *
235  * That's silly, the hardware doesn't care. The hardware only cares that
236  * the hardware words are 16-byte aligned, and we can have any amount
of
237  * sw space after the TD entry.
238  *
239  * td->link points to either another TD (not necessarily for the same urb or
240  * even the same endpoint), or nothing (PTR_TERM), or a QH.
241  */
242 struct uhci_td {
243         /* Hardware fields */
244         __le32 link;
245         __le32 status;
246         __le32 token;
247         __le32 buffer;
248
```

```
    249         /* Software fields */
    250         dma_addr_t dma_handle;
    251
    252         struct list_head list;
    253
    254         int frame;                      /* for iso: what frame? */
    255         struct list_head fl_list;
    256 } __attribute__((aligned(16)));
```

再看 struct uhci_qh,依然来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
    126 struct uhci_qh {
    127         /* Hardware fields */
    128         __le32 link;                    /* Next QH in the schedule */
    129         __le32 element;                  /* Queue element (TD) pointer
*/
    130
    131         /* Software fields */
    132         dma_addr_t dma_handle;
    133
    134         struct list_head node;          /* Node in the list of QHs */
    135         struct usb_host_endpoint *hep;   /* Endpoint information */
    136         struct usb_device *udev;
    137         struct list_head queue;         /* Queue of urbps for this QH */
    138         struct uhci_td *dummy_td;        /* Dummy TD to end the queue
*/
    139         struct uhci_td *post_td;        /* Last TD completed */
    140
    141         struct usb_iso_packet_descriptor *iso_packet_desc;
    142                                         /* Next urb->iso_frame_desc
entry */
    143         unsigned long advance_jiffies;   /* Time of last queue advance */
    144         unsigned int unlink_frame;       /* When the QH was unlinked */
    145         unsigned int period;            /* For Interrupt and Isochronous
QHs */
    146         short phase;                     /* Between 0 and period-1 */
    147         short load;                     /* Periodic time requirement, in us
*/
    148         unsigned int iso_frame;          /* Frame # for iso_packet_desc
*/
    149         int iso_status;                 /* Status for Isochronous URBs */
    150
    151         int state;                      /* QH_STATE_xxx; see above */
    152         int type;                       /* Queue type (control, bulk, etc)
*/
```

```
    153         int skel;                       /* Skeleton queue number */
    154
    155         unsigned int initial_toggle:1;  /* Endpoint's current toggle value
*/
    156         unsigned int needs_fixup:1;     /* Must fix the TD toggle values
*/
    157         unsigned int is_stopped:1;      /* Queue was stopped by
error/unlink */
    158         unsigned int wait_expired:1;    /* QH_WAIT_TIMEOUT has
expired */
    159         unsigned int bandwidth_reserved:1;      /* Periodic bandwidth
has
    160                                                 * been allocated */
    161 } __attribute__((aligned(16)));
```

某种意义上来说,struct usb_hcd,struct uhci_hcd 这些结构体和 struct uhci_td,struct uhci_qh 之间的关系就好比宏观经济学与微观经济学的关系.它们都是为了描述主机控制器,只是一个是从宏观角度,一个是从微观角度.从另一个角度来说,这些宏观的数据结构实际上是软件意义上的,而这些微观的数据结构倒是和硬件有着对应关系.从硬件上来说, Frame List,Isochronous Transfer Descriptors(简称 TD),Queue Heads(简称 QH),以及 queued Transfer Descriptors(也简称 TD)这都是 UHCI spec 定义的数据结构.

先看 struct uhci_td,对于结构体,我们的原则是,一个结构体的元素我们用到哪个讲哪个,而不是首先就把所有元素说一遍,因为那样除了把你吓倒之外没有别的好处.uhci_alloc_td 中,定义了两个局部变量,一个是 dma_handle,一个是 td.dma_handle 传递给了 dma_pool_alloc 函数,我们于是知道它记录的是 td 的 dma 地址.td 内部有一个成员,dma_addr_t dma_handle,它被赋值为 dma_handle.td 内部另一个成员,int frame,它用来表征这个 td 所对应的 frame,目前初始化 frame 为-1.另外,td 还有两个成员,struct list_head list 和 struct list_head fl_list,这是两个队列.uhci_alloc_td 中用 INIT_LIST_HEAD 把它们俩进行了初始化.而反过来 uhci_free_td 的工作就是反其道而行之,调用 dma_pool_free 去释放这个内存.在释放之前检查了一下这两个队列是否为空,如果不为空会先提出警告.

再来看 struct uhci_qh,在 uhci_alloc_qh 中,首先也是定义两个局部变量,qh 和 dma_handle.使用的也是同样的套路.qh 调用 dma_pool_alloc 来申请.然后用 memset 给它清零.dma_handle 同样传递给了 dma_pool_alloc,并且之后也赋值给了 qh->dma_handle.qh 同样有一个成员 dma_addr_t dma_handle.qh 中也有两个成员是队列,struct list_head node 和 struct list_head queue,同样也是在这里被初始化.此外,还有四个成员被赋了值,element,link,state,type.关于这四个赋值,我们暂时不提,用到了再说.不过我们应该回到 uhci_start 的上下文去看一下 uhci_alloc_qh 被调用的具体情况,622 行这里有一个循环,UHCI_NUM_SKELQH 是一个宏,这个宏的值为 11,所以这里就是申请了 11 个 qh,这正是我们前面介绍过的那个 11 个 Skeleton QH.与此同时我们注意到 struct uhci_hcd 中有一个成员 struct uhci_qh *skelqh[UHCI_NUM_SKELQH],即有这么一个数组,数组 11 个元素,而这里就算是为这 11 个元素申请了内存空间了.

接下来,要具体解释这里的代码我们还得把下面这一把宏贴出来.来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
272 /*
273  *        Skeleton Queue Headers
274  */
275
276 /*
277  * The UHCI driver uses QHs with Interrupt, Control and Bulk URBs for
278  * automatic queuing. To make it easy to insert entries into the schedule,
279  * we have a skeleton of QHs for each predefined Interrupt latency.
280  * Asynchronous QHs (low-speed control, full-speed control, and bulk)
281  * go onto the period-1 interrupt list, since they all get accessed on
282  * every frame.
283  *
284  * When we want to add a new QH, we add it to the list starting from the
285  * appropriate skeleton QH.  For instance, the schedule can look like this:
286  *
287  * skel int128 QH
288  * dev 1 interrupt QH
289  * dev 5 interrupt QH
290  * skel int64 QH
291  * skel int32 QH
292  * ...
293  * skel int1 + async QH
294  * dev 5 low-speed control QH
295  * dev 1 bulk QH
296  * dev 2 bulk QH
297  *
298  * There is a special terminating QH used to keep full-speed bandwidth
299  * reclamation active when no full-speed control or bulk QHs are linked
300  * into the schedule.  It has an inactive TD (to work around a PIIX bug,
301  * see the Intel errata) and it points back to itself.
302  *
303  * There's a special skeleton QH for Isochronous QHs which never appears
304  * on the schedule.  Isochronous TDs go on the schedule before the
305  * the skeleton QHs.  The hardware accesses them directly rather than
306  * through their QH, which is used only for bookkeeping purposes.
307  * While the UHCI spec doesn't forbid the use of QHs for Isochronous,
308  * it doesn't use them either.  And the spec says that queues never
309  * advance on an error completion status, which makes them totally
310  * unsuitable for Isochronous transfers.
311  *
312  * There's also a special skeleton QH used for QHs which are in the process
```

```
313  * of unlinking and so may still be in use by the hardware.  It too never
314  * appears on the schedule.
315  */
316
317 #define UHCI_NUM_SKELQH           11
318 #define SKEL_UNLINK               0
319 #define skel_unlink_qh            skelqh[SKEL_UNLINK]
320 #define SKEL_ISO                  1
321 #define skel_iso_qh               skelqh[SKEL_ISO]
322           /* int128, int64, ..., int1 = 2, 3, ..., 9 */
323 #define SKEL_INDEX(exponent)      (9 - exponent)
324 #define SKEL_ASYNC                9
325 #define skel_async_qh             skelqh[SKEL_ASYNC]
326 #define SKEL_TERM                 10
327 #define skel_term_qh              skelqh[SKEL_TERM]
328
329 /* The following entries refer to sublists of skel_async_qh */
330 #define SKEL_LS_CONTROL           20
331 #define SKEL_FS_CONTROL           21
332 #define SKEL_FSBR                 SKEL_FS_CONTROL
333 #define SKEL_BULK                 22
```

好家伙,光注释就看得我一愣一愣的,可惜还是没看懂.但基本上我们能感觉出,当前我们的目标是为了建立 qh 数据结构,并把相关的队列给连接起来.

633 行,SKEL_ISO 是 1,SKEL_ASYNC 是 9.所以这里就是循环 7 次,实际上,在这个 11 个元素的数组中,2 到 9 就是对应于中断传输的那 8 个 Skeleton QH,所以这里就是为这 8 个 qh 的 link 元素赋值.道上有一个规矩,对于这 8 个 qh,周期为 128ms 的那个 qh 被称为 int128,周期为 64ms 的被称为 int64,于是就有了 int128,int64,…,int1 分别对应这个数组的 2,3,…,9 号元素.今后我们对这几个 QH 的称呼也是如此,skel int128 QH,skel int64 QH,…,skel int2 QH,skel int1 QH. 而这里我们还看到另一个家伙,skel_async_qh.它表示 async queue,指的是 low-speed control,full-speed control,bulk 这三种队列,它们都被称作异步队列.与之对应的就是刚才这个 SKEL_ASYNC 宏,我们说 SKEL_ASYNC 等于 9,而我们同时知道 skel int1 QH 实际上也是 skelqh[]数组的 9 号元素,所以实际上 skel_async_qh 和 skel int1 QH 是共用了同一个 qh,这是因为 skel int1 QH 表示中断传输的周期为 1ms,而控制传输和 Bulk 传输也是每一个 ms 或者说每一个 frame 都会被调度的,当然前提是带宽足够.所以这里的做法就是把 skel int128 QH 到 skel int2 QH 的 link 指针全都赋为 LINK_TO_QH(uhci->skel_async_qh).

LINK_TO_QH 是一个宏,定义于 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
174 #define LINK_TO_QH(qh)            (UHCI_PTR_QH |
cpu_to_le32((qh)->dma_handle))
```

UHCI_PTR_QH 等一系列宏也来自同一文件:

```
76 #define UHCI_PTR_BITS           __constant_cpu_to_le32(0x000F)
77 #define UHCI_PTR_TERM           __constant_cpu_to_le32(0x0001)
78 #define UHCI_PTR_QH             __constant_cpu_to_le32(0x0002)
79 #define UHCI_PTR_DEPTH          __constant_cpu_to_le32(0x0004)
80 #define UHCI_PTR_BREADTH        __constant_cpu_to_le32(0x0000)
```

这样我们就要看 struct uhci_qh 这个结构体中的成员__le32 link 了.这是一个指针,这个指针指向下一个 QH,换言之,它包含着下一个 QH 或者下一个 TD 的地址.不过它一共 32 个 bits,其中只有 bit31 到 bit4 这些位是用来记录地址的,bit3 和 bit2 是保留位,bit1 则用来表示该指针指向的是一个 QH 还是一个 TD.bit1 如果为 1,表示本指针指向的是一个 QH,如果为 0,表示本指针指向的是一个 TD.(刚才这个宏 UHCI_PTR_QH 正是起这个作用的,实际上 QH 总是 16 字节对齐的,即它的低四位总是为 0,所以我们总是把低四位拿出来废物利用,比如这里的 LINK_TO_QH 就是把这个 struct uhci_qh 的 bit1 给设置成 1,以表明它指向的是一个 QH.)而 bit0 表示本 QH 是否是最后一个 QH.如果 bit0 位 1,则说明本 QH 是最后一个 QH 了,所以这个指针实际上是无效的,而 bit0 为 0 才表示本指针有效,因为至少本 QH 后面还有 QH 或者还有 TD.我们看到 skel_async_qh 的 link 指针被赋予了 UHCI_PTR_TERM.

另外这里还为 skel_term_qh 的 link 给赋了值,我们看到它就指向自己.skel_term_qh 是 skelqa[]数组的第十个元素.其作用暂时还不明了.但以后自然会知道的.

struct uhci_td 里面同样也有个指针,__le32 link,它同样指向另一个 TD 或者 QH,而 bit1 和 bit0 的作用和 struct uhci_qh 中的 link 是一模一样的,bit1 为 1 表示指向 QH,为 0 表示指向 TD.bit0 为 1 表示指针无效,即本 TD 是最后一个 TD 了,bit0 为 0 表示指针有效.所以

639 行 uhci_fill_td,来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
138 static inline void uhci_fill_td(struct uhci_td *td, u32 status,
139                 u32 token, u32 buffer)
140 {
141         td->status = cpu_to_le32(status);
142         td->token = cpu_to_le32(token);
143         td->buffer = cpu_to_le32(buffer);
144 }
```

实际上就是填充 struct uhci_td 中的三个成员,__le32 status,__le32 token,__le32 buffer.咱们来看传递给它的参数,status 和 buffer 都是 0,只是有一个 token 不为 0, uhci_explen 来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
208 /*
209  * for TD <info>: (a.k.a. Token)
210  */
211 #define td_token(td)            le32_to_cpu((td)->token)
212 #define TD_TOKEN_DEVADDR_SHIFT  8
213 #define TD_TOKEN_TOGGLE_SHIFT   19
214 #define TD_TOKEN_TOGGLE         (1 << 19)
```

```
    215 #define TD_TOKEN_EXPLEN_SHIFT    21
    216 #define TD_TOKEN_EXPLEN_MASK     0x7FF    /* expected length,
encoded as n-1 */
    217 #define TD_TOKEN_PID_MASK        0xFF
    218
    219 #define uhci_explen(len)          ((((len) - 1) & TD_TOKEN_EXPLEN_MASK)
<< \
    220                                     TD_TOKEN_EXPLEN_SHIFT)
    221
    222 #define uhci_expected_length(token) ((((token) >>
TD_TOKEN_EXPLEN_SHIFT) + \
    223                                     1) & TD_TOKEN_EXPLEN_MASK)
    224 #define uhci_toggle(token)       (((token) >>
TD_TOKEN_TOGGLE_SHIFT) & 1)
    225 #define uhci_endpoint(token)     (((token) >> 15) & 0xf)
    226 #define uhci_devaddr(token)      (((token) >>
TD_TOKEN_DEVADDR_SHIFT) & 0x7f)
    227 #define uhci_devep(token)        (((token) >>
TD_TOKEN_DEVADDR_SHIFT) & 0x7ff)
    228 #define uhci_packetid(token)     ((token) & TD_TOKEN_PID_MASK)
    229 #define uhci_packetout(token)    (uhci_packetid(token) != USB_PID_IN)
    230 #define uhci_packetin(token)     (uhci_packetid(token) == USB_PID_IN)
```

真是一波未平一波又起.麻烦的东西一个又一个的跳出来.让我一次次的感觉到心力交瘁.关于 token,UHCI spec 为 TD 定义了 4 个双字,即四个 DWord,其中第三个 DWord 叫做 TD TOKEN. 一个 DWord 一共 32 个 bits.这 32 个 bits 中,bit31 到 bit21 表示 Maximum Length,即这次传输的最大允许字节.bit20 是保留位,bit19 表示 Data Toggle,bit18 到 bit15 表示 Endpoint 的地址,即我们曾经说的端点号,bit14 到 bit8 表示设备地址,bit7 到 bit0 表示 PID,即 Packet ID. 以上这一把的宏就是为了提取出一个 Token 的各个部分,比如 uhci_toggle,就是 token 右移 19 位,然后和 1 相与,结果当然就是 token 的 bit19,正是刚才说的 Data Toggle.而 uhci_expected_length 则是获取 bit31 到 bit21 即 Length 这一段(加上 1 是因为 Spec 规定,这一段为 0 表示 1 个 byte,为 1 表示 2 个 bytes,为 2 表示 3 个 bytes…)

于是我们很快就能明白这个 uhci_fill_td 具体做了什么. (0x7f << TD_TOKEN_DEVADDR_SHIFT)表示把 7f 左移 8 位,USB_PID_IN 等于 0x69,UHCI spec 规定这就表示 PID IN.然后 uhci_explen(len)的作用和 uhci_expected_length 的作用恰恰相反,它把一个 length 转换成 bit31 到 bit21,这样三块或一下,就构造了一个新的 token.至于这个 token 构造好了之后填充给这 td 究竟有什么用,我们看不出来,实际上注释说了,这是为了 fix 一个 bug,若干年前,Intel PIIX 控制器有一个 bug,当时为了绕开这个 bug,引入了这么一段,如今这一事件过了快十年了,开源社区里恐怕除了我也没有几个人记得当初究竟发生了什么.虽然自从我加入 Intel 之后,Intel 不断的传出负面消息,先是裁员啊,然后是部门甩卖啊,虽然我的那些老同事们总是说,Intel 就是因为有我这样的垃圾员工,才会弄出那么多 bug 来,然而,尽管我是人渣,但毕竟不是败类,老实说,这个 bug 确实不是我引入的.关于这个 bug 的详情,我们在后面会讲,它和一个叫做 FSBR 的东西有关.只不过我们现在看到的是 term_td 的 link 指针被设置为了 UHCI_PTR_TERM,和 skel_term_qh 的 link 赋值一样,又是那个休止符.其实这里的道理很简

单,就相当于我们每次申请一个链表的时候总是把最后一个指针设置成 NULL 一样.只不过这里不是叫作 NULL,是叫作 UHCI_PTR_TERM,但其作用都是一样,就相当于五线谱中的休止符.注意 uhci->term_td 正是我们一开始调用 uhci_alloc_td 的时候申请并且做的初始化.

642 行,struct uhci_qh 中另一个成员为__le32 element.它指向一个队列中的第一个元素.LINK_TO_TD 来自 drivesr/usb/host/uhci-hcd.h:

```
269 #define LINK_TO_TD(td)          (cpu_to_le32((td)->dma_handle))
```

理解了 LINK_TO_QH 自然就能理解 LINK_TO_TD.这里咱们令 skel_async_qh 以及 skel_term_qh 的 element 等于这个 uhci->term_td.

649 行,这个循环可够夸张的,UHCI_NUMFRAMES 的值为 1024,所以这个循环就是惊世骇俗的 1024 次.仿佛写代码的人受了北京大学经济学院院长刘伟的熏陶.既然你刘伟说:"我把堵车看成是一个城市繁荣的标志,是一件值得欣喜的事情.如果一个城市没有堵车,那它的经济也可能凋零衰败.1998 年特大水灾刺激了需求,拉动增长,光水毁房屋就几百万间,所以水灾拉动中国经济增长 1.35%."于是写代码的人说:"我把循环次数看成是一个程序高效的标志,是一件值得欣喜的事情.如果一个程序没有循环,那它的效率也可能惨不忍睹..."

一个函数引发的故事（四）

uhci_frame_skel_link 来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
 94 /*
 95  * Calculate the link pointer DMA value for the first Skeleton QH in a frame.
 96  */
 97 static __le32 uhci_frame_skel_link(struct uhci_hcd *uhci, int frame)
 98 {
 99         int skelnum;
100
101         /*
102          * The interrupt queues will be interleaved as evenly as possible.
103          * There's not much to be done about period-1 interrupts; they
have
104          * to occur in every frame.  But we can schedule period-2
interrupts
105          * in odd-numbered frames, period-4 interrupts in frames
congruent
106          * to 2 (mod 4), and so on.  This way each frame only has two
107          * interrupt QHs, which will help spread out bandwidth utilization.
108          *
109          * ffs (Find First bit Set) does exactly what we need:
110          * 1,3,5,...  => ffs = 0 => use period-2 QH = skelqh[8],
```

```
111             * 2,6,10,... => ffs = 1 => use period-4 QH = skelqh[7], etc.
112             * ffs >= 7 => not on any high-period queue, so use
113             *        period-1 QH = skelqh[9].
114             * Add in UHCI_NUMFRAMES to insure at least one bit is set.
115             */
116            skelnum = 8 - (int) __ffs(frame | UHCI_NUMFRAMES);
117            if (skelnum <= 1)
118                    skelnum = 9;
119            return LINK_TO_QH(uhci->skelqh[skelnum]);
120 }
```

俗话说,彪悍的人生不需要解释,彪悍的代码不需要注释.但是像这个函数这样,仅仅几行代码,却用了一堆的注释,不可谓不彪悍也.首先__ffs 是一个位操作函数,其意思已经在注释里说的很清楚了,给它一个输入参数,它为你找到这个输入的参数的第一个被 set 的位,被 set 就是说为 1.这个函数涉及到汇编代码,对我这个汇编语言不会编,微机原理闹危机的人来说,显然是不愿意仔细去看这个函数具体是怎么实现的,只是知道,每个体系结构都实现了自己的这个函数__ffs.比如,i386 的就在 include/asm-i386/bitops.h 中,而 x8664 的就在 include/asm-x86_64/bitops.h 中.在我家 Intel 以结果为导向的理念指导下,我们来看一下这个函数的返回值,很显然,正如注释里说的那样,如果输入参数是 1,3,5,7,9 等等奇数,那么返回值必然是 0,因为 bit0 肯定是 1.如果参数是 2,6,10,14,18,22,26 这一系列的数,那么返回值就是 1,因为 bit0 一定是 0,而 bit1 一定是 1.如果参数是 4,12,20,28,36 这一系列的数,那么返回值就是 2,因为 bit0 和 bit1 一定是 0,而 bit2 一定是 1.参加过初中数学奥赛的兄弟们一定不难看出,其实第一组数就是除以 2 余数为 1 的数列,第二组数就是除以 4 余数为 2 的数列,第三组就是除以 8 余数为 4 的数列,用我们当年奥赛的术语取模符号(mod)来说,就是第一组是 1 mod 2,第二组是 2 mod 4,第三组是 4 mod 8,如此下去,返回值为 0 的一共有 512 个,返回值为 1 的一共有 256 个,返回值为 2 的一共有 128 个,返回值为 3 的一共有 64 个,返回值为 4 的一共有 32 个,返回值为 5 的一共有 16 个,返回值为 6 的一共有 8 个,返回值为 7 的一共有 4 个,返回值为 8 的一共有 2 个,返回值为 9 的一共有 1 个(这一个就是 512).N 年前我们就知道,1+2+4+…+512=1023.

结合咱们这里代码的 116 行,frame 为 0 的话,__ffs 的返回值为 10,所以 skelnum 就应该为-2,frame 为 1 到 1023 这个过程中,skelnum 为 8 的次数为 512,为 7 的次数为 256,为 6 的次数为 128,为 5 的次数为 64,为 4 的次数为 32,为 3 的次数为 16,为 2 的次数为 8,为 1 的次数为 4,为 0 的次数为 2,为-1 的次数为 1.而 117 行这个 if 语句就使得 skelnum 小于等于 1 的那几次都把 skelnum 设置为 9,这总共有 8 次.(为 1 的 4 次,为 0 的 2 次,为-1 的 1 次,为-2 的一次)

因此我们就知道 skelnum 的取值范围是 2 到 9,而这也就意味着我们这里这个 uhci_frame_skel_link 函数的返回值实际上就是 uhci->skelqh[]这个数组中的 7 个元素.前面我们已经知道这个数组一共有 11 个元素,除了 skelqh[2]到 skelqh[9]这 8 个元素以外,skelqh[1]是为等时传输准备的,skel[10]是休止符(即 skel_term_qh),skel[0]表示没有连接的孤魂野鬼状态.要深刻理解这个数组需要时间的沉淀,但是很明显,uhci_frame_skel_link 的效果就是为为 skelqh[2]和 skelqh[9]找到了归宿.在 1024 个 frame 中,有 8 个 frame 指向了 skelqh[2],即 skel int128 QH,1024 除以 8 等于 128,岂不正是每隔 128ms 这个 qh 会被访问到么?同理,16 个 frame 指向了 skelqh[3],即 skel int64 QH,1024 除以 16 等于 64,也

正意味着每隔 64ms 会被访问到.一直到 skelqh[8],即 skel int2 QH,有 512 个 frame 指向了它,所以这就代表每隔 2ms 会被访问的那个队列.剩下的 skelqh[9],即 skel int1 QH,总共也有 8 次,不过你别误会,skel int1 QH 代表的是 1ms 周期,显然应该是 1024 个 frame 都指向它.可是你别忘了,刚才我们不是把 skel int2 QH 到 skel int8 QH 的 link 指针都指向了 skel int1 QH 了么?

还没明白?我们说了要用图解法来理解这个问题.所以我们不妨先画出此时此刻这整个框架.

```
framelist[]
[   0 ]----> QH -------\
[   1 ]----> QH --------> QH ----> UHCI_PTR_TERM
  ...          QH -------/
[1023]----> QH ------/
              ^^            ^^                  ^^
           7 QHs for        1 QH for    f      End Chain
           INT (2-128ms)    1ms-INT(plus CTRL Chain,BULK Chain)
```

skel 实际上就是 skeleton,框架或者骨骼的意思.这个 skelqh 数组扮演着一个框架的作用.实际上一个 QH 对应着一个 Endpoint,即从主机控制器的角度来说,它为每一个 endpoint 建立一个队列,这就要求每个队列有一个队列头,而许多个 endpoint 的队列如何组织呢?我们按上图构建了一个框架之后,将来有了一个端点,就为它建立相应的队列,根据需要来建立,然后把它插入到框架中的对应位置.我们走着瞧.一切自会明了.以后我们还会继续通过画以上这样的 Skeleton 图(或者叫框架图)来理解 UHCI 主机控制器的驱动程序.汤唯告诉我们说床戏是"用身体诠释爱情",而写代码的人告诉我们说 Skeleton 是用队列诠释调度.

一个函数引发的故事（五）

接着走,661 行,configure_hc,来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c,

```
175 /*
176  * Store the basic register settings needed by the controller.
177  */
178 static void configure_hc(struct uhci_hcd *uhci)
179 {
180         /* Set the frame length to the default: 1 ms exactly */
181         outb(USBSOF_DEFAULT, uhci->io_addr + USBSOF);
182
183         /* Store the frame list base address */
184         outl(uhci->frame_dma_handle, uhci->io_addr +
USBFLBASEADD);
185
```

```
186         /* Set the current frame number */
187         outw(uhci->frame_number & UHCI_MAX_SOF_NUMBER,
188                         uhci->io_addr + USBFRNUM);
189
190         /* Mark controller as not halted before we enable interrupts */
191         uhci_to_hcd(uhci)->state = HC_STATE_SUSPENDED;
192         mb();
193
194         /* Enable PIRQ */
195         pci_write_config_word(to_pci_dev(uhci_dev(uhci)), USBLEGSUP,
196                         USBLEGSUP_DEFAULT);
197 }
```

USBSOF_DEFAULT 和 USBSOF 定义于 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
 43 #define USBFRNUM          6
 44 #define USBFLBASEADD      8
 45 #define USBSOF            12
 46 #define    USBSOF_DEFAULT          64        /* Frame length is exactly 1
ms */
```

UHCI spec 中定义了一个 START OF FRAME(SOF) MODIFY REGISTER,这里称作 SOF 寄存器,其地址位于 Base+(0Ch)处,0Ch 即这里的 12.这个寄存器的值的修改意味着的 frame 周期的改变,通常我们没有必要修改这个寄存器,直接设置为默认值即可,默认值为 64,按照 UHCI spec 中 2.1.6 的陈述,这意味着对于常见的 12MHz 的时钟输入的情况,frame 周期将为 1ms.(The default value is decimal 64 which gives a SOF cycle time of 12000. For a 12 MHz SOF counter clock input, this produces a 1 ms Frame period.)

紧接着 USBFLBASEADD 用来表示另一个寄存器,UHCI spec 中称之为 FLBASEADD,即 FRAME LIST BASE ADDRESS REGISTER,它一共有 32 个 bits,位于 Base+(08-0Bh),这个寄存器应该包含 Frame List 在系统内存中的起始地址.其中,bit31 到 bit12 对应于内存地址信号[31:12].而 bit11 到 bit0 则是保留位,必须全为 0.frame_dma_handle 正是我们前面调用 dma_alloc_coherent 为 uhci->frame 申请内存的时候映射的 DMA 地址.显然这个地址我们需要写到这个寄存器里,这样主机控制器才会知道去怎么样去访问这个 Frame List.基地址的概念是计算机中经常用的,其实生活中也经常用,比如你一个朋友来北京玩,你告诉她去秀水街买假名牌,假设你因为一向孝顺父母,经常去秀水街给他们买假名牌,因而对整条秀水街都特熟悉,那么可能你不用带她去,你直接告诉她说第几家店卖什么,第几家店的什么商品还不错,但是你首先必须告诉她秀水街本身的地理位置,或者说地址,这就是基地址.

接下来, UHCI_MAX_SOF_NUMBER 是定义于 drivers/usb/host/uhci-hcd.h 的宏,值为 2047,用二进制来表示就是 11 个 1,即 111 1111 1111,而 USBFRNUM 这里我们看到了是 6,它对应于 UHCI spec 中的寄存器 FRNUM(FRAME NUMBER REGISTER),地址为 Base+(06-07h),这个寄存器一共 16 个 bits,这其中 bit10 到 bit0 包含了当前的 Frame 号,所以把 uhci->frame_number 与 UHCI_MAX_SOF_NUMBER 相与就是得到它的 bit10 到

bit0 这 11 个 bits,即得到 Frame 号然后写入到 FRNUM 寄存器中去.unsigned int frame_number 是 struct uhci_hcd 的一个成员.

然后,设置 uhci_to_hcd(uhci)->state 为 HC_STATE_SUSPENDED,注意我们当初在 finish_reset 中也有设置过这个状态,只不过当时是设置成了 HC_STATE_HALT.凡事都是有因有果的,我们做了这些设置,到时候自然会用到的.别以为写代码的都是无聊做些没意义的事情.

195 行,pci_write_config_word,写寄存器,写的又是 USBLEGSUP,不过这次写的是 USBLEGSUP_DEFAULT,这个宏的值为 0x2000,这是 UHCI spec 中规定的默认值.

这样我们就算是配置好了 HC,到这里就算万事俱备,只欠东风了.662 行就设置 uhci->is_initialized 为 1,这意图再明显不过了.

回到 uhci_start 中,还剩下最后一个函数,start_rh(),rh 表示 Root Hub.这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
324 static void start_rh(struct uhci_hcd *uhci)
325 {
326         uhci_to_hcd(uhci)->state = HC_STATE_RUNNING;
327         uhci->is_stopped = 0;
328
329         /* Mark it configured and running with a 64-byte max packet.
330          * All interrupts are enabled, even though RESUME won't do
anything.
331          */
332         outw(USBCMD_RS | USBCMD_CF | USBCMD_MAXP,
uhci->io_addr + USBCMD);
333         outw(USBINTR_TIMEOUT | USBINTR_RESUME | USBINTR_IOC |
USBINTR_SP,
334                         uhci->io_addr + USBINTR);
335         mb();
336         uhci->rh_state = UHCI_RH_RUNNING;
337         uhci_to_hcd(uhci)->poll_rh = 1;
338 }
```

又一次设置了 uhci_to_hcd(uhci)->state,只不过这次设置的是 HC_STATE_RUNNING.

然后设置 is_stopped 为 0.

然后是写寄存器 USBCMD,这次写的是什么呢?先看 drivers/usb/host/uhci-hcd.h 中关于这个命令寄存器定义的宏:

```
15 /* Command register */
16 #define USBCMD              0
17 #define    USBCMD_RS            0x0001   /* Run/Stop */
```

```
18 #define    USBCMD_HCRESET          0x0002   /* Host reset */
19 #define    USBCMD_GRESET           0x0004   /* Global reset */
20 #define    USBCMD_EGSM             0x0008   /* Global Suspend Mode */
21 #define    USBCMD_FGR              0x0010   /* Force Global Resume */
22 #define    USBCMD_SWDBG            0x0020   /* SW Debug mode */
23 #define    USBCMD_CF               0x0040   /* Config Flag (sw only) */
24 #define    USBCMD_MAXP             0x0080   /* Max Packet (0 = 32, 1 =
64) */
```

结合 Spec 和这里的注释来看,USBCMD_RS 表示 RUN/STOP.1 表示 RUN,0 表示 STOP.USBCMD_CF 表示 Configure Flag,在配置阶段结束的时候,应该把这个 flag 设置好.USBCMD_MAXP 则表示 FSBR 最大包的 size.这位为 1 表示 64bytes,为 0 表示 32bytes.关于 FSBR 我们以后会知道.

然后写另一个寄存器,USBINTR,表示中断使能寄存器.这个寄存器我们前面曾经提过.当时我们贴出了关于它的图片,知道它的 bit3,bit2,bit1,bit0 分别表示四个开关,为 1 就是使能,为 0 就是使不能,drivers/usb/host/uhci-hcd.h 中也定义了这些相关的宏,

```
36 /* Interrupt enable register */
37 #define USBINTR            4
38 #define    USBINTR_TIMEOUT         0x0001   /* Timeout/CRC error
enable */
39 #define    USBINTR_RESUME          0x0002   /* Resume interrupt enable
*/
40 #define    USBINTR_IOC             0x0004   /* Interrupt On Complete
enable */
41 #define    USBINTR_SP              0x0008   /* Short packet interrupt
enable */
```

显而易见的是,咱们这里就是把这四个开关全部打开.这四种中断的意思都在注释里说的很清楚了,第一种是超时,第二种是从 Suspended 进入 Resume,第三种是完成了一个交易,第四种是接收到的包小于预期的长度.在这四种情况下,USB 主机控制器可以向系统主机或者说向系统的 CPU 发送中断请求.

最后设置 uhci->rh_state 为 UHCI_RH_RUNNINNG.并设置 uhci_to_hcd(uhci)->poll_rh 为 1.到这里 uhci_start 就可以返回了,没什么意外的话就返回 0.于是咱们还是回到 usb_add_hcd 中去.

Root Hub 的注册

回到 usb_add_hcd 之后,1638 行,得出 rhdev 的 bus_mA,这个咱们在 Hub 驱动中已经讲过.有些主机控制器是需要设置 power_budget,咱们没有设置过,就是默认值 0,所以这里得到的是

bus_mA 就是 0,0 表示没有限制,hub 驱动中我们看到了对于没有限制的情况我们是给每个端口设置为最多 500mA,因为通常来讲计算机的 usb 端口能提供的最多就是 500mA.

1639 行,register_root_hub,来自 drivers/usb/core/hcd.c.

```
783 /**
784  * register_root_hub - called by usb_add_hcd() to register a root hub
785  * @hcd: host controller for this root hub
786  *
787  * This function registers the root hub with the USB subsystem.  It sets up
788  * the device properly in the device tree and then calls usb_new_device()
789  * to register the usb device.  It also assigns the root hub's USB address
790  * (always 1).
791  */
792 static int register_root_hub(struct usb_hcd *hcd)
793 {
794         struct device *parent_dev = hcd->self.controller;
795         struct usb_device *usb_dev = hcd->self.root_hub;
796         const int devnum = 1;
797         int retval;
798
799         usb_dev->devnum = devnum;
800         usb_dev->bus->devnum_next = devnum + 1;
801         memset (&usb_dev->bus->devmap.devicemap, 0,
802                         sizeof usb_dev->bus->devmap.devicemap);
803         set_bit (devnum, usb_dev->bus->devmap.devicemap);
804         usb_set_device_state(usb_dev, USB_STATE_ADDRESS);
805
806         mutex_lock(&usb_bus_list_lock);
807
808         usb_dev->ep0.desc.wMaxPacketSize =
__constant_cpu_to_le16(64);
809         retval = usb_get_device_descriptor(usb_dev,
USB_DT_DEVICE_SIZE);
810         if (retval != sizeof usb_dev->descriptor) {
811                 mutex_unlock(&usb_bus_list_lock);
812                 dev_dbg (parent_dev, "can't read %s device descriptor
%d\n",
813                                 usb_dev->dev.bus_id, retval);
814                 return (retval < 0) ? retval : -EMSGSIZE;
815         }
816
817         retval = usb_new_device (usb_dev);
818         if (retval) {
```

```
    819                 dev_err (parent_dev, "can't register root hub for %s,
%d\n",
    820                                 usb_dev->dev.bus_id, retval);
    821         }
    822         mutex_unlock(&usb_bus_list_lock);
    823
    824         if (retval == 0) {
    825                 spin_lock_irq (&hcd_root_hub_lock);
    826                 hcd->rh_registered = 1;
    827                 spin_unlock_irq (&hcd_root_hub_lock);
    828
    829                 /* Did the HC die before the root hub was registered? */
    830                 if (hcd->state == HC_STATE_HALT)
    831                         usb_hc_died (hcd);      /* This time clean up */
    832         }
    833
    834         return retval;
    835 }
```

这个函数的意图很明显,我们说过,Host Controller 通常是带有一个 Root Hub 的,常言说得好,不想吃天鹅肉的癞蛤蟆不是好癞蛤蟆,同样,不集成 Root Hub 的主机控制器也不是好主机控制器,常言又说了,吃了天鹅肉的癞蛤蟆还是癞蛤蟆,同样,集成了 Root Hub 的主机控制器也还是主机控制器.实际上,当我们的 uhci_start 执行完了之后,主机控制器已经可以开始工作了,至少它已经可以开始处理 urb 了.我们不妨就从这个函数开始展开.不过在展开这个函数之前,我们先了断一下 usb_add_hcd 这个函数,我们注意到在 register_root_hub 之后,也就只剩下一个函数了,它就是 usb_hcd_poll_rh_status,这个函数将是整个故事中出现次数最多的一个函数.但是在这里我们看到,调用完 usb_hcd_poll_rh_status 之后,usb_add_hcd 这个浩浩荡荡的函数也就这么华丽丽的结束了它的使命,我们和 usb_add_hcd 这个函数的恩恩怨怨也就此结束.但其实更令我们激动不已的是,当 usb_add_hcd 结束之后,实际上当我们返回 usb_hcd_pci_probe 的时候我们惊奇的发现,其实这时候 usb_hcd_pci_probe 函数也结束了,这一切简直充满戏剧性,因为我们知道,probe 函数总是每个 driver 的最复杂的函数之一,而我们却几乎是在不知不觉中就走完了这段漫漫长路,怎能不让人感受无限惊喜!

好,那么现在等待我们的就是两个函数,一个是 register_root_hub,我们已经贴出来了,另一个是 usb_hcd_poll_rh_status,这一个的代码我们等会儿再贴出来.先来看前者.

看过这么的函数之后,我们不得不说,register_root_hub 这个函数是所有函数中最直接,最赤裸裸的.因为这个函数从函数名到函数内部代码的每一行都是那么明了,即便是用下半身思考的男青年们也能一目了然的看懂每一行究竟在干嘛.

799 行,root hub 的 devnum 设置为 1,毫无疑问.因为整棵设备树就是起源于 Root Hub,如果把 usb 设备树比做水泊梁山一百单八好汉,那么 Root Hub 就相当于及时雨宋江,他不做老大谁做老大.

800 行,从现在开始记录 bus 的 devnum_next,从 2 开始.

801,802,803 行,初始化 bus 的 devmap,并且把 root hub 的那把交椅先给占了.

804 行,usb_set_device_state(),不用多说了吧,hub driver 中那个八大函数中的第二个.Root Hub 说:我准备好了!于是为它把状态设置为 USB_STATE_ADDRESS.

紧接着,808 和 809 行,设置 Root Hub 的 wMaxPacketSize 为 64,然后获取 Root Hub 的设备描述符.

817 行,usb_new_device,我们更加不会陌生,hub driver 中八大函数的第七个.这个函数结束之后,咱们的 Root Hub 就算从软件的角度来说彻底融入了整个 usb 世界,或者说这一步就算是真正的注册了.一切顺利的话返回 0.

824 行,设置 rh_registered 为 1.顾名思义,告诉全世界,咱们这个 HCD 的 Root Hub 现在算是有户口的人了.

830 行这个 if 就是为变态们准备的,你这里正在注册呢,也不知哪位哥们儿缺德,帮你把主机控制器的驱动给卸载了,比如他卸载了 uhci-hcd,那么 usb_remove_hcd 会被执行,于是 hcd->state 会被设置为 HC_STATE_HALT,真遇上这么一件倒霉事那咱也没办法,没啥好说的,执行 usb_hc_died 吧.这个函数是用来汇报说主机控制器不正常的 shutdown 了.这个函数并不复杂,但是有好几处调用了它,咱们稍微看一下,来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
1451 /**
1452  * usb_hc_died - report abnormal shutdown of a host controller (bus glue)
1453  * @hcd: pointer to the HCD representing the controller
1454  *
1455  * This is called by bus glue to report a USB host controller that died
1456  * while operations may still have been pending.  It's called automatically
1457  * by the PCI glue, so only glue for non-PCI busses should need to call it.
1458  */
1459 void usb_hc_died (struct usb_hcd *hcd)
1460 {
1461         unsigned long flags;
1462
1463         dev_err (hcd->self.controller, "HC died; cleaning up\n");
1464
1465         spin_lock_irqsave (&hcd_root_hub_lock, flags);
1466         if (hcd->rh_registered) {
1467                 hcd->poll_rh = 0;
1468
1469                 /* make khubd clean up old urbs and devices */
1470                 usb_set_device_state (hcd->self.root_hub,
1471                                 USB_STATE_NOTATTACHED);
1472                 usb_kick_khubd (hcd->self.root_hub);
1473         }
1474         spin_unlock_irqrestore (&hcd_root_hub_lock, flags);
```

```
1475 }
```

正如我们所说的那样,确实不复杂,在这个道德沦丧的社会里,能看到这么简单这么单纯的一个函数真的很不容易,也许是写代码的人良心发现吧,如果每个函数都设计得像西直门立交桥一样复杂,如果每次函数跳转都像地铁十三号线转二号线那么曲折蜿蜒,非要给乘客一种犹太人走在纳粹集中营里的感觉,那么也许这代码就没人愿意看了.1466 行,注意到我们刚才把 rh_register 设置成了 1,所以这里这段 if 的代码要被执行,设置 poll_rh 为 0.再次调用 usb_set_device_state 函数,把 Root Hub 的状态给设置成 USB_STATE_NOTATTACHED 这种原始状态.最后调用 usb_kick_khubd 函数.后者其实就是披了马甲的 kick_khubd()函数.不信你就看,来自 drivers/usb/core/hub.c:

```
331 void usb_kick_khubd(struct usb_device *hdev)
332 {
333         kick_khubd(hdev_to_hub(hdev));
334 }
```

关于 kick_khubd 我想就不用多说了吧,hub driver 中最重要的函数之一.我们知道这个函数会触发 hub_events(),在 hub_events 中判断出 hub 处于了 USB_STATE_NOTATTACHED 的状态,就会调用 hub_pre_reset 去处理那些后事.当然,这种情况对咱们大多数人来说是不会发生的,除非您吃了春药,非得显摆一下自己的能耐.

假如您没吃春药,那么咱们这里这个 register_root_hub 也就走到尽头了.看透了人间聚散的你我,也许并不会介意这种离别.心若知道灵犀的方向,哪怕不能够朝夕相伴.

寂寞在唱歌

接下来就该是 usb_hcd_poll_rh_status 了.这个函数在咱们整个故事将出现多次,甚至可以说在任何一个 HCD 的故事中都将出现多次.为了继续走下去,我们必须做一个伟大的假设.假设现在 Root Hub 上还没有连接任何设备,也就是说此时此刻,usb 设备树上只有 Root Hub 形单影只.没有人来陪伴他,他只能静静的看青春难依难舍,只能听寂寞在唱歌,轻轻的,狠狠的,歌声是这么残忍让人忍不住泪流成河.

我们以此为上下文开始往下看.

usb_hcd_poll_rh_status 来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
533 /*
534  * Root Hub interrupt transfers are polled using a timer if the
535  * driver requests it; otherwise the driver is responsible for
536  * calling usb_hcd_poll_rh_status() when an event occurs.
537  *
538  * Completions are called in_interrupt(), but they may or may not
539  * be in_irq().
540  */
```

```
541 void usb_hcd_poll_rh_status(struct usb_hcd *hcd)
542 {
543         struct urb      *urb;
544         int             length;
545         unsigned long    flags;
546         char             buffer[4];       /* Any root hubs with > 31 ports?
*/
547
548         if (unlikely(!hcd->rh_registered))
549                 return;
550         if (!hcd->uses_new_polling && !hcd->status_urb)
551                 return;
552
553         length = hcd->driver->hub_status_data(hcd, buffer);
554         if (length > 0) {
555
556                 /* try to complete the status urb */
557                 local_irq_save (flags);
558                 spin_lock(&hcd_root_hub_lock);
559                 urb = hcd->status_urb;
560                 if (urb) {
561                         spin_lock(&urb->lock);
562                         if (urb->status == -EINPROGRESS) {
563                                 hcd->poll_pending = 0;
564                                 hcd->status_urb = NULL;
565                                 urb->status = 0;
566                                 urb->hcpriv = NULL;
567                                 urb->actual_length = length;
568                                 memcpy(urb->transfer_buffer, buffer,
length);
569                         } else          /* urb has been unlinked */
570                                 length = 0;
571                         spin_unlock(&urb->lock);
572                 } else
573                         length = 0;
574                 spin_unlock(&hcd_root_hub_lock);
575
576                 /* local irqs are always blocked in completions */
577                 if (length > 0)
578                         usb_hcd_giveback_urb (hcd, urb);
579                 else
580                         hcd->poll_pending = 1;
581                 local_irq_restore (flags);
582         }
```

```
583
584         /* The USB 2.0 spec says 256 ms.   This is close enough and won't
585          * exceed that limit if HZ is 100. */
586         if (hcd->uses_new_polling ? hcd->poll_rh :
587                         (length == 0 && hcd->status_urb != NULL))
588                 mod_timer (&hcd->rh_timer, jiffies +
msecs_to_jiffies(250));
589 }
```

这个函数天生是为了中断传输而活的.

前面两个 if 对咱们来说肯定是不满足的.rh_registered 咱们刚刚才设置为 1. uses_new_polling 咱们也在 uhci_start()中设置为了 1.所以,咱们继续昂首挺胸的往前走.

553 行,driver->hub_status_data 是每个 driver 自己定义的,对于 uhci 来说,咱们定义了 uhci_hub_status_data 这么一个函数,它来自 drivers/usb/host/uhci-hub.c 中:

```
184 static int uhci_hub_status_data(struct usb_hcd *hcd, char *buf)
185 {
186         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
187         unsigned long flags;
188         int status = 0;
189
190         spin_lock_irqsave(&uhci->lock, flags);
191
192         uhci_scan_schedule(uhci);
193         if (!test_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags) ||
uhci->dead)
194                 goto done;
195         uhci_check_ports(uhci);
196
197         status = get_hub_status_data(uhci, buf);
198
199         switch (uhci->rh_state) {
200             case UHCI_RH_SUSPENDING:
201             case UHCI_RH_SUSPENDED:
202                 /* if port change, ask to be resumed */
203                 if (status)
204                         usb_hcd_resume_root_hub(hcd);
205                 break;
206
207             case UHCI_RH_AUTO_STOPPED:
208                 /* if port change, auto start */
209                 if (status)
210                         wakeup_rh(uhci);
```

```
 211                 break;
 212
 213             case UHCI_RH_RUNNING:
 214                 /* are any devices attached? */
 215                 if (!any_ports_active(uhci)) {
 216                         uhci->rh_state = UHCI_RH_RUNNING_NODEVS;
 217                         uhci->auto_stop_time = jiffies + HZ;
 218                 }
 219                 break;
 220
 221             case UHCI_RH_RUNNING_NODEVS:
 222                 /* auto-stop if nothing connected for 1 second */
 223                 if (any_ports_active(uhci))
 224                         uhci->rh_state = UHCI_RH_RUNNING;
 225                 else if (time_after_eq(jiffies, uhci->auto_stop_time))
 226                         suspend_rh(uhci, UHCI_RH_AUTO_STOPPED);
 227                 break;
 228
 229             default:
 230                 break;
 231         }
 232
 233 done:
 234         spin_unlock_irqrestore(&uhci->lock, flags);
 235         return status;
 236 }
```

坦白说,这个函数一下子就把咱们这个故事的技术含量给拉高了上去.尤其是那个uhci_scan_schedule,一下子就让故事变得复杂了起来,原本清晰的故事,渐渐变得模糊.

uhci_scan_schedule 来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
1705 /*
1706  * Process events in the schedule, but only in one thread at a time
1707  */
1708 static void uhci_scan_schedule(struct uhci_hcd *uhci)
1709 {
1710         int i;
1711         struct uhci_qh *qh;
1712
1713         /* Don't allow re-entrant calls */
1714         if (uhci->scan_in_progress) {
1715                 uhci->need_rescan = 1;
1716                 return;
1717         }
```

```
1718          uhci->scan_in_progress = 1;
1719 rescan:
1720          uhci->need_rescan = 0;
1721          uhci->fsbr_is_wanted = 0;
1722
1723          uhci_clear_next_interrupt(uhci);
1724          uhci_get_current_frame_number(uhci);
1725          uhci->cur_iso_frame = uhci->frame_number;
1726
1727          /* Go through all the QH queues and process the URBs in each one
*/
1728          for (i = 0; i < UHCI_NUM_SKELQH - 1; ++i) {
1729                  uhci->next_qh = list_entry(uhci->skelqh[i]->node.next,
1730                                  struct uhci_qh, node);
1731                  while ((qh = uhci->next_qh) != uhci->skelqh[i]) {
1732                          uhci->next_qh = list_entry(qh->node.next,
1733                                          struct uhci_qh, node);
1734
1735                          if (uhci_advance_check(uhci, qh)) {
1736                                  uhci_scan_qh(uhci, qh);
1737                                  if (qh->state == QH_STATE_ACTIVE) {
1738                                          uhci_urbp_wants_fsbr(uhci,
1739          list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node));
1740                                  }
1741                          }
1742                  }
1743          }
1744
1745          uhci->last_iso_frame = uhci->cur_iso_frame;
1746          if (uhci->need_rescan)
1747                  goto rescan;
1748          uhci->scan_in_progress = 0;
1749
1750          if (uhci->fsbr_is_on && !uhci->fsbr_is_wanted &&
1751                          !uhci->fsbr_expiring) {
1752                  uhci->fsbr_expiring = 1;
1753                  mod_timer(&uhci->fsbr_timer, jiffies +
FSBR_OFF_DELAY);
1754          }
1755
1756          if (list_empty(&uhci->skel_unlink_qh->node))
1757                  uhci_clear_next_interrupt(uhci);
1758          else
1759                  uhci_set_next_interrupt(uhci);
```

```
1760 }
```

真的没想到在这里冷不丁的杀出这么一个变态的函数来.这个函数的复杂性让我哭都哭不出来.我做梦也没想到这个函数竟然会牵出一打的函数来.

scan_in_progress 初值为 0,只有在这个函数中我们才会改变它的值.因为它本来就是被用来表征我们处于这个函数中,注释中也说了,我们使用这个变量的目的就是为了避免这个函数被嵌套调用.所以如果这里判断为 0,则 1718 行我们就立刻设置它为 1.反之如果已经不为 0 了,就设置 need_rescan 为 1,并且函数返回.

1720 行和 1721 行,设置 need_rescan 和 fsbr_is_wanted 都为 0.

1723 行,uhci_clear_next_interrupt()来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
35 static inline void uhci_clear_next_interrupt(struct uhci_hcd *uhci)
36 {
37         uhci->term_td->status &= ~cpu_to_le32(TD_CTRL_IOC);
38 }
```

清中断.如果一个 TD 设置了 TD_CTRL_IOC 这个 flag,就表示在该 TD 所在的 Frame 结束之后,USB 主机控制器将向 CPU 发送一次中断.那么在这里我们实际上不希望 term_td 结束所在的 frame 发生任何中断,因为我们现在正在处理整个调度队列.

而接下来的另一个函数 uhci_get_current_frame_number() 则来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
433 /*
434  * Store the current frame number in uhci->frame_number if the
controller
435  * is runnning.  Expand from 11 bits (of which we use only 10) to a
436  * full-sized integer.
437  *
438  * Like many other parts of the driver, this code relies on being polled
439  * more than once per second as long as the controller is running.
440  */
441 static void uhci_get_current_frame_number(struct uhci_hcd *uhci)
442 {
443         if (!uhci->is_stopped) {
444                 unsigned delta;
445
446                 delta = (inw(uhci->io_addr + USBFRNUM) -
uhci->frame_number) &
447                                 (UHCI_NUMFRAMES - 1);
448                 uhci->frame_number += delta;
449         }
```

```
450 }
```

正如注释里说的那样,把寄存器中的值更新给 uhci->frame_number.

老实说我觉得眼前这些代码目的性不是很明确,让人看了不知所云,昏昏欲睡.不过不要紧,作为一个血气方刚的男青年,并不是只有伊莱克斯的史上最强女助理石靖 MM 的裸照才能让我兴奋,眼前这段代码就有足够的理由让我兴奋.不信你看 1731 行那段 while 循环,对于 uhci_scan_schedule 这个函数,我相信即便是每天守候在西直门外倒卖发票的那些抱着小孩的中年妇女们也能看出来,1728 至 1743 行就是这个函数的最关键部分.如果你把这个函数中这一段 for 循环删除,那么就相当于裸照门事件几天之后某些人把石靖的裸照中的精华部分从网上删除掉.关于后者,其后果是不言自明的,人们千方百计在百度图片上搜索,每天近 6 万的搜索在找石靖,又有几个人还能看到石靖的裸照?那么关于前者,后果也是不言自明的,没有这段精彩的循环,这个函数就完全失去了意义,其存在就没有了价值.既然这个 for 循环是精华,那么我们看这个循环究竟会不会被执行?没错,之所以令我兴奋的是,至少此时此刻,这段循环是不做什么事情的,理由很简单,for 循环内部的这个 while 循环条件并不满足.我们结合 1729 行和 1731 行来看,注意到这里判断的就是 uhci->skelqh[]数组的每个成员的 node 队列.我们知道 struct uhci_qh 结构体有一个成员是 node,它代表的是一支队伍,在 uhci_alloc_qh 中我们事实上用 INIT_LIST_HEAD 宏初始化了这个队列,这个宏的所作所为大家也都清楚,就是初始化一个空队列,即一个节点的 next 和 prev 指针都指向自己.所以很显然,uhci->next_qh 就等于 uhci->skelqh[i].于是 1731 这个 while 循环就不会执行,因此,1728 开始的这个 for 循环也就没有为国家做出任何贡献.或者至少说,现在还不是它做贡献的时刻.待到山花浪漫时,skelqh[]的 node 队列有内容了,我们自然还会再次回来看这个函数.

飘过了这个 for 循环 uhci_scan_schedule 这个函数就没什么好看的了.1748 行又把 scan_in_progress 设置为 0.

1750 行自然也不用说,fsbr_is_on 默认也是 0.所以暂时这里也不会执行.

至于 1756 行这段 if-else,skel_unlink_qh 实际上就是 skelqh[0],同样,此时此刻它的 node 队列也是空的,故 list_empty 是满足的,因此 uhci_clear_next_interrupt 会再次被调用.

结束了 uhci_scan_schedule,我们继续回到 uhci_hub_status_data 中来.

193 行,HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE 这个 flag 我们是设置过的,就在 usb_add_hcd 中设置的.而 uhci->dead 咱们在 finish_reset 中设置为了 0.

接下来一个函数, uhci_check_ports.来自 drivers/usb/host/uhci-hub.c:

```
136 static void uhci_check_ports(struct uhci_hcd *uhci)
137 {
138         unsigned int port;
139         unsigned long port_addr;
140         int status;
141
142         for (port = 0; port < uhci->rh_numports; ++port) {
```

```
    143                 port_addr = uhci->io_addr + USBPORTSC1 + 2 * port;
    144                 status = inw(port_addr);
    145                 if (unlikely(status & USBPORTSC_PR)) {
    146                         if (time_after_eq(jiffies, uhci->ports_timeout)) {
    147                                 CLR_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_PR);
    148                                 udelay(10);
    149
    150                                 /* HP's server management chip requires
    151                                  * a longer delay. */
    152                                 if (to_pci_dev(uhci_dev(uhci))->vendor
==
    153                                                 PCI_VENDOR_ID_HP)
    154                                         wait_for_HP(port_addr);
    155
    156                                 /* If the port was enabled before, turning
    157                                  * reset on caused a port enable change.
    158                                  * Turning reset off causes a port connect
    159                                  * status change.   Clear these changes.
*/
    160                                 CLR_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_CSC |
USBPORTSC_PEC);
    161                                 SET_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_PE);
    162                         }
    163                 }
    164                 if (unlikely(status & USBPORTSC_RD)) {
    165                         if (!test_bit(port, &uhci->resuming_ports)) {
    166
    167                                 /* Port received a wakeup request */
    168                                 set_bit(port, &uhci->resuming_ports);
    169                                 uhci->ports_timeout = jiffies +
    170                                                 msecs_to_jiffies(20);
    171
    172                                 /* Make sure we see the port again
    173                                  * after the resuming period is over. */
    174
mod_timer(&uhci_to_hcd(uhci)->rh_timer,
    175                                                 uhci->ports_timeout);
    176                         } else if (time_after_eq(jiffies,
    177                                                 uhci->ports_timeout)) {
    178                                 uhci_finish_suspend(uhci, port,
port_addr);
    179                         }
    180                 }
    181         }
```

```
182 }
```

这个函数倒是挺清晰的,遍历 Root Hub 的各个端口,读取它们对应的端口寄存器.和这个端口寄存器相关的宏又是一打,来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
48 /* USB port status and control registers */
49 #define USBPORTSC1        16
50 #define USBPORTSC2        18
51 #define    USBPORTSC_CCS          0x0001   /* Current Connect Status
52                                           * ("device present") */
53 #define    USBPORTSC_CSC          0x0002   /* Connect Status Change
*/
54 #define    USBPORTSC_PE           0x0004   /* Port Enable */
55 #define    USBPORTSC_PEC          0x0008   /* Port Enable Change */
56 #define    USBPORTSC_DPLUS        0x0010   /* D+ high (line status) */
57 #define    USBPORTSC_DMINUS       0x0020   /* D- high (line status) */
58 #define    USBPORTSC_RD           0x0040   /* Resume Detect */
59 #define    USBPORTSC_RES1         0x0080   /* reserved, always 1 */
60 #define    USBPORTSC_LSDA         0x0100   /* Low Speed Device
Attached */
61 #define    USBPORTSC_PR           0x0200   /* Port Reset */
62 /* OC and OCC from Intel 430TX and later (not UHCI 1.1d spec) */
63 #define    USBPORTSC_OC           0x0400   /* Over Current condition */
64 #define    USBPORTSC_OCC          0x0800   /* Over Current Change
R/WC */
65 #define    USBPORTSC_SUSP         0x1000   /* Suspend */
66 #define    USBPORTSC_RES2         0x2000   /* reserved, write zeroes */
67 #define    USBPORTSC_RES3         0x4000   /* reserved, write zeroes */
68 #define    USBPORTSC_RES4         0x8000   /* reserved, write zeroes */
```

首先我们要看的是状态位 USBPORTSC_PR,为 1 表示此时此刻该端口正处于 Reset 的状态.

其次我们看状态位 USBPORTSC_RD,这位为 1 表示端口探测到了 Resume 信号.

显然以上两种情况都不是我们需要考虑的,至少不是现在需要考虑的,什么时候需要考虑?大约在冬季.

于是下一个函数, get_hub_status_data,来自 drivers/usb/host/uhci-hub.c:

```
55 static inline int get_hub_status_data(struct uhci_hcd *uhci, char *buf)
56 {
57         int port;
58         int mask = RWC_BITS;
59
60         /* Some boards (both VIA and Intel apparently) report bogus
```

```
61          * overcurrent indications, causing massive log spam unless
62          * we completely ignore them.  This doesn't seem to be a problem
63          * with the chipset so much as with the way it is connected on
64          * the motherboard; if the overcurrent input is left to float
65          * then it may constantly register false positives. */
66         if (ignore_oc)
67                 mask &= ~USBPORTSC_OCC;
68
69         *buf = 0;
70         for (port = 0; port < uhci->rh_numports; ++port) {
71                 if ((inw(uhci->io_addr + USBPORTSC1 + port * 2) & mask)
||
72                                 test_bit(port, &uhci->port_c_suspend))
73                         *buf |= (1 << (port + 1));
74         }
75         return !!*buf;
76 }
```

这里 RWC_BITS 就是用来屏蔽端口寄存器中的 RWC 的 bits.这三个都是状态改变位.

这里的 ignore_oc 又是一个模块参数,uhci-hcd 和 ehci-hcd 这两个模块都会使用这个参数.注释里说得很清楚为何要用这个,有些主板喜欢谎报军情,对于这种情况,咱们可以使用一个 ignore_oc 参数来忽略之.

接下来又是遍历端口,读取每个端口的寄存器,如果有戏,就把信息存在 buf 中,直到这时我们才注意到 usb_hcd_poll_rh_status 函数中定义了一个 char buffer[4],这个 buffer 被一次次的传递下来.buf 一共 32 个 bits,这里凡是一个端口的寄存器里有东西(除了状态改变位以外),就在 buf 里设置相应的位为 1.如果设置了 port_c_suspend 也需要这样,port_c_suspend 到时候我们在电源管理部分会看到,现在当然没有被设置.

不过这个函数最酷的就是最后这句居然有两个感叹号.这保证返回值要么是 0,要么是非 0.

接下来判断 uhci->rh_state 了,我们前面在 start_rh 中设置了它为 UHCI_RH_RUNNING,所以这里就是执行 any_ports_active.

这个 any_ports_active 也来自 drivers/usb/host/uhci-hub.c:

```
39 /* A port that either is connected or has a changed-bit set will prevent
40  * us from AUTO_STOPPING.
41  */
42 static int any_ports_active(struct uhci_hcd *uhci)
43 {
44         int port;
45
46         for (port = 0; port < uhci->rh_numports; ++port) {
```

```
47                  if ((inw(uhci->io_addr + USBPORTSC1 + port * 2) &
48                          (USBPORTSC_CCS | RWC_BITS)) ||
49                          test_bit(port, &uhci->port_c_suspend))
50                      return 1;
51          }
52          return 0;
53 }
```

这时候再次读端口寄存器.其中 CCS 表示端口连接有变化.我们假设现在没有变化.那么这里什么也不干,直接返回 0.这样 uhci_hub_status_data 最终返回 status,这个 status 正是 get_hub_status_data 的返回值,即那个要么是 0 要么是非 0 的.

如果为 0,那么很好办,直接凌波微步来到 586 行,判断 hcd->uses_new_polling,咱们在 uhci_start 中设置为了 1.所以这里继续判断 hcd->poll_rh,咱们在 start_rh 中也把它设置为了 1.所以,这里 mod_timer 会被执行.这个函数就相当于恐怖分子埋藏一个定时炸弹,时间到了某件事情就会发生,咱们曾经在 usb_create_hcd 中初始化过 hcd->rh_timer,并且为它绑定了函数 rh_timer_func,所以不妨来看一下 rh_timer_func,来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
592 /* timer callback */
593 static void rh_timer_func (unsigned long _hcd)
594 {
595         usb_hcd_poll_rh_status((struct usb_hcd *) _hcd);
596 }
```

原来就是调用 usb_hcd_poll_rh_status.所以 usb_hcd_poll_rh_status 这个函数是一个被多次调用的函数,只不过多次之间是有个延时的,而咱们这里调用 mod_timer 设置的是 250ms.而每次所做的就是去询问 Root Hub 的状态.实际上这就是 poll 的含义,轮询.

所以,假如,假如咱们永远不往 Root Hub 里面插入东西,那么 Root Hub 将永远孤独,他只能看到天黑得像不会再天亮了,他只能听到寂寞在唱歌,温柔的,疯狂的,悲伤越来越深刻怎样才能够让它停呢?

那么咱们这个故事基本上就结束了.我们能看到的是 usb_hcd_poll_rh_status 这个函数,每隔 250ms 这样被执行一遍,重复一遍又一遍,可是它忙忙碌碌却什么也不做,但即便如此也比我要好,要知道我的人生就像复印机,每天都在不停的重复,可问题是有时候还他妈的卡纸.

Root Hub 的控制传输（一）

虽然最伟大的 probe 函数就这样结束了.但是,我们的道路还很长,困难还很多,最终的结局是未知数,我们的故事和社会主义的航班一样,还不知要驶向何处.

在剩下的篇幅中,除了最后的电源管理部分以外,我们将围绕一个函数进行展开,这个函数就是 usb_submit_urb().子曾经曰过:不吃饭的女人这世上也许还有好几个,不吃醋的女人却连一个也没有.我也曾经曰过:不遵循 usb spec 的 USB 设备这世上也许还有好几个,不调用 usb_submit_urb()的 USB 设备驱动却连一个也没有.想必一路走来的兄弟们早就想知道神秘的 usb_submit_urb()函数究竟是怎么混的吧?

不管是控制传输,还是中断传输,或是 Bulk 传输,又或者等时传输,设备驱动都一定会调用 usb_submit_urb 函数,只有通过它才能提交 urb.所以接下来我们就分类来看这个函数,看看四种传输分别是如何处理的.

不过我们仍然先假设还没有设备插入 Root Hub 吧.因为 Root Hub 始终是一个特殊的角色,它的特殊地位决定了我们必须特殊对待.Hub 只涉及到两种传输方式,即控制传输和中断传输.我们先来看控制传输,确切的说是先看 Root Hub 的控制传输.

还记得刚才在 register_root_hub 中那个 usb_get_device_descriptor 么?我们在 hub driver 中讲过,也贴过代码,它会调用 usb_get_descriptor,而后者会调用 usb_control_msg,而 usb_control_msg 则调用 usb_internal_control_msg,然后 usb_start_wait_urb 会被调用,但最终会被调用的是 usb_submit_urb().于是我们就来看一下 usb_submit_urb()究竟何德何能让大家如此景仰,我们来看这个设备描述符究竟是如何获得的.

这个函数显然分量比较重,它来自 drivers/usb/core/urb.c:

```
107 /**
108  * usb_submit_urb - issue an asynchronous transfer request for an endpoint
109  * @urb: pointer to the urb describing the request
110  * @mem_flags: the type of memory to allocate, see kmalloc() for a list
111  *        of valid options for this.
112  *
113  * This submits a transfer request, and transfers control of the URB
114  * describing that request to the USB subsystem.  Request completion will
115  * be indicated later, asynchronously, by calling the completion handler.
116  * The three types of completion are success, error, and unlink
117  * (a software-induced fault, also called "request cancellation").
118  *
119  * URBs may be submitted in interrupt context.
120  *
121  * The caller must have correctly initialized the URB before submitting
122  * it.  Functions such as usb_fill_bulk_urb() and usb_fill_control_urb() are
123  * available to ensure that most fields are correctly initialized, for
124  * the particular kind of transfer, although they will not initialize
125  * any transfer flags.
126  *
127  * Successful submissions return 0; otherwise this routine returns a
128  * negative error number.  If the submission is successful, the complete()
```

```
129  * callback from the URB will be called exactly once, when the USB core
and
130  * Host Controller Driver (HCD) are finished with the URB.  When the
completion
131  * function is called, control of the URB is returned to the device
132  * driver which issued the request.  The completion handler may then
133  * immediately free or reuse that URB.
134  *
135  * With few exceptions, USB device drivers should never access URB fields
136  * provided by usbcore or the HCD until its complete() is called.
137  * The exceptions relate to periodic transfer scheduling.  For both
138  * interrupt and isochronous urbs, as part of successful URB submission
139  * urb->interval is modified to reflect the actual transfer period used
140  * (normally some power of two units).  And for isochronous urbs,
141  * urb->start_frame is modified to reflect when the URB's transfers were
142  * scheduled to start.  Not all isochronous transfer scheduling policies
143  * will work, but most host controller drivers should easily handle ISO
144  * queues going from now until 10-200 msec into the future.
145  *
146  * For control endpoints, the synchronous usb_control_msg() call is
147  * often used (in non-interrupt context) instead of this call.
148  * That is often used through convenience wrappers, for the requests
149  * that are standardized in the USB 2.0 specification.  For bulk
150  * endpoints, a synchronous usb_bulk_msg() call is available.
151  *
152  * Request Queuing:
153  *
154  * URBs may be submitted to endpoints before previous ones complete, to
155  * minimize the impact of interrupt latencies and system overhead on data
156  * throughput.  With that queuing policy, an endpoint's queue would
never
157  * be empty.  This is required for continuous isochronous data streams,
158  * and may also be required for some kinds of interrupt transfers. Such
159  * queuing also maximizes bandwidth utilization by letting USB controllers
160  * start work on later requests before driver software has finished the
161  * completion processing for earlier (successful) requests.
162  *
163  * As of Linux 2.6, all USB endpoint transfer queues support depths greater
164  * than one.  This was previously a HCD-specific behavior, except for ISO
165  * transfers.  Non-isochronous endpoint queues are inactive during
cleanup
166  * after faults (transfer errors or cancellation).
167  *
168  * Reserved Bandwidth Transfers:
```

```
169  *
170  * Periodic transfers (interrupt or isochronous) are performed repeatedly,
171  * using the interval specified in the urb.  Submitting the first urb to
172  * the endpoint reserves the bandwidth necessary to make those transfers.
173  * If the USB subsystem can't allocate sufficient bandwidth to perform
174  * the periodic request, submitting such a periodic request should fail.
175  *
176  * Device drivers must explicitly request that repetition, by ensuring that
177  * some URB is always on the endpoint's queue (except possibly for short
178  * periods during completion callacks).  When there is no longer an urb
179  * queued, the endpoint's bandwidth reservation is canceled.  This means
180  * drivers can use their completion handlers to ensure they keep
bandwidth
181  * they need, by reinitializing and resubmitting the just-completed urb
182  * until the driver longer needs that periodic bandwidth.
183  *
184  * Memory Flags:
185  *
186  * The general rules for how to decide which mem_flags to use
187  * are the same as for kmalloc.  There are four
188  * different possible values; GFP_KERNEL, GFP_NOFS, GFP_NOIO and
189  * GFP_ATOMIC.
190  *
191  * GFP_NOFS is not ever used, as it has not been implemented yet.
192  *
193  * GFP_ATOMIC is used when
194  *   (a) you are inside a completion handler, an interrupt, bottom half,
195  *       tasklet or timer, or
196  *   (b) you are holding a spinlock or rwlock (does not apply to
197  *       semaphores), or
198  *   (c) current->state != TASK_RUNNING, this is the case only after
199  *       you've changed it.
200  *
201  * GFP_NOIO is used in the block io path and error handling of storage
202  * devices.
203  *
204  * All other situations use GFP_KERNEL.
205  *
206  * Some more specific rules for mem_flags can be inferred, such as
207  *  (1) start_xmit, timeout, and receive methods of network drivers must
208  *      use GFP_ATOMIC (they are called with a spinlock held);
209  *  (2) queuecommand methods of scsi drivers must use GFP_ATOMIC
(also
210  *      called with a spinlock held);
```

```
211  *  (3) If you use a kernel thread with a network driver you must use
212  *      GFP_NOIO, unless (b) or (c) apply;
213  *  (4) after you have done a down() you can use GFP_KERNEL, unless (b)
or (c)
214  *      apply or your are in a storage driver's block io path;
215  *  (5) USB probe and disconnect can use GFP_KERNEL unless (b) or (c)
apply; and
216  *  (6) changing firmware on a running storage or net device uses
217  *      GFP_NOIO, unless b) or c) apply
218  *
219  */
220 int usb_submit_urb(struct urb *urb, gfp_t mem_flags)
221 {
222         int                     pipe, temp, max;
223         struct usb_device        *dev;
224         int                     is_out;
225
226         if (!urb || urb->hcpriv || !urb->complete)
227                 return -EINVAL;
228         if (!(dev = urb->dev) ||
229             (dev->state < USB_STATE_DEFAULT) ||
230             (!dev->bus) || (dev->devnum <= 0))
231                 return -ENODEV;
232         if (dev->bus->controller->power.power_state.event !=
PM_EVENT_ON
233                         || dev->state == USB_STATE_SUSPENDED)
234                 return -EHOSTUNREACH;
235
236         urb->status = -EINPROGRESS;
237         urb->actual_length = 0;
238
239         /* Lots of sanity checks, so HCDs can rely on clean data
240          * and don't need to duplicate tests
241          */
242         pipe = urb->pipe;
243         temp = usb_pipetype(pipe);
244         is_out = usb_pipeout(pipe);
245
246         if (!usb_pipecontrol(pipe) && dev->state <
USB_STATE_CONFIGURED)
247                 return -ENODEV;
248
249         /* FIXME there should be a sharable lock protecting us against
250          * config/altsetting changes and disconnects, kicking in here.
```

```
251          * (here == before maxpacket, and eventually endpoint type,
252          * checks get made.)
253          */
254
255         max = usb_maxpacket(dev, pipe, is_out);
256         if (max <= 0) {
257                 dev_dbg(&dev->dev,
258                         "bogus endpoint ep%d%s in %s (bad maxpacket
%d)\n",
259                         usb_pipeendpoint(pipe), is_out ? "out" : "in",
260                         __FUNCTION__, max);
261                 return -EMSGSIZE;
262         }
263
264         /* periodic transfers limit size per frame/uframe,
265          * but drivers only control those sizes for ISO.
266          * while we're checking, initialize return status.
267          */
268         if (temp == PIPE_ISOCHRONOUS) {
269                 int      n, len;
270
271                 /* "high bandwidth" mode, 1-3 packets/uframe? */
272                 if (dev->speed == USB_SPEED_HIGH) {
273                         int      mult = 1 + ((max >> 11) & 0x03);
274                         max &= 0x07ff;
275                         max *= mult;
276                 }
277
278                 if (urb->number_of_packets <= 0)
279                         return -EINVAL;
280                 for (n = 0; n < urb->number_of_packets; n++) {
281                         len = urb->iso_frame_desc[n].length;
282                         if (len < 0 || len > max)
283                                 return -EMSGSIZE;
284                         urb->iso_frame_desc[n].status = -EXDEV;
285                         urb->iso_frame_desc[n].actual_length = 0;
286                 }
287         }
288
289         /* the I/O buffer must be mapped/unmapped, except when
length=0 */
290         if (urb->transfer_buffer_length < 0)
291                 return -EMSGSIZE;
292
```

```
293 #ifdef DEBUG
294         /* stuff that drivers shouldn't do, but which shouldn't
295          * cause problems in HCDs if they get it wrong.
296          */
297         {
298         unsigned int     orig_flags = urb->transfer_flags;
299         unsigned int     allowed;
300
301         /* enforce simple/standard policy */
302         allowed = (URB_NO_TRANSFER_DMA_MAP |
URB_NO_SETUP_DMA_MAP |
303                         URB_NO_INTERRUPT);
304         switch (temp) {
305         case PIPE_BULK:
306                 if (is_out)
307                         allowed |= URB_ZERO_PACKET;
308                 /* FALLTHROUGH */
309         case PIPE_CONTROL:
310                 allowed |= URB_NO_FSBR; /* only affects UHCI */
311                 /* FALLTHROUGH */
312         default:                        /* all non-iso endpoints */
313                 if (!is_out)
314                         allowed |= URB_SHORT_NOT_OK;
315                 break;
316         case PIPE_ISOCHRONOUS:
317                 allowed |= URB_ISO_ASAP;
318                 break;
319         }
320         urb->transfer_flags &= allowed;
321
322         /* fail if submitter gave bogus flags */
323         if (urb->transfer_flags != orig_flags) {
324                 err("BOGUS urb flags, %x --> %x",
325                         orig_flags, urb->transfer_flags);
326                 return -EINVAL;
327         }
328         }
329 #endif
330         /*
331          * Force periodic transfer intervals to be legal values that are
332          * a power of two (so HCDs don't need to).
333          *
334          * FIXME want bus->{intr,iso}_sched_horizon values here.   Each
HC
```

```
335          * supports different values... this uses EHCI/UHCI defaults (and
336          * EHCI can use smaller non-default values).
337          */
338         switch (temp) {
339         case PIPE_ISOCHRONOUS:
340         case PIPE_INTERRUPT:
341                 /* too small? */
342                 if (urb->interval <= 0)
343                         return -EINVAL;
344                 /* too big? */
345                 switch (dev->speed) {
346                 case USB_SPEED_HIGH:     /* units are microframes */
347                         // NOTE usb handles 2^15
348                         if (urb->interval > (1024 * 8))
349                                 urb->interval = 1024 * 8;
350                         temp = 1024 * 8;
351                         break;
352                 case USB_SPEED_FULL:     /* units are frames/msec */
353                 case USB_SPEED_LOW:
354                         if (temp == PIPE_INTERRUPT) {
355                                 if (urb->interval > 255)
356                                         return -EINVAL;
357                                 // NOTE ohci only handles up to 32
358                                 temp = 128;
359                         } else {
360                                 if (urb->interval > 1024)
361                                         urb->interval = 1024;
362                                 // NOTE usb and ohci handle up to 2^15
363                                 temp = 1024;
364                         }
365                         break;
366                 default:
367                         return -EINVAL;
368                 }
369                 /* power of two? */
370                 while (temp > urb->interval)
371                         temp >>= 1;
372                 urb->interval = temp;
373         }
374
375         return usb_hcd_submit_urb(urb, mem_flags);
376 }
```

天哪,这个函数绝对够让你我看的七窍流血的.这种变态已经不能用语言来形容了,鲁迅先生看了一定会说我已经出离愤怒了!南唐的李煜在看完这段代码之后感慨道:问君能有几多愁,恰似太监上青楼!

这个函数的核心变量就是那个 temp.很明显,它表示的就是传输管道的类型.我们说了现在考虑的是 Root Hub 的控制传输.那么很明显的事实是,usb_hcd_submit_urb 会被调用,而 268 行这个 if 语段和 338 行这个 switch 都没有什么意义.所以我们来看 usb_hcd_submit_urb 吧.

来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
916 /* may be called in any context with a valid urb->dev usecount
917  * caller surrenders "ownership" of urb
918  * expects usb_submit_urb() to have sanity checked and conditioned all
919  * inputs in the urb
920  */
921 int usb_hcd_submit_urb (struct urb *urb, gfp_t mem_flags)
922 {
923         int                     status;
924         struct usb_hcd          *hcd = bus_to_hcd(urb->dev->bus);
925         struct usb_host_endpoint *ep;
926         unsigned long           flags;
927
928         if (!hcd)
929                 return -ENODEV;
930
931         usbmon_urb_submit(&hcd->self, urb);
932
933         /*
934          * Atomically queue the urb,   first to our records, then to the HCD.
935          * Access to urb->status is controlled by urb->lock ... changes on
936          * i/o completion (normal or fault) or unlinking.
937          */
938
939         // FIXME:   verify that quiescing hc works right (RH cleans up)
940
941         spin_lock_irqsave (&hcd_data_lock, flags);
942         ep = (usb_pipein(urb->pipe) ? urb->dev->ep_in :
urb->dev->ep_out)
943                         [usb_pipeendpoint(urb->pipe)];
944         if (unlikely (!ep))
945                 status = -ENOENT;
946         else if (unlikely (urb->reject))
947                 status = -EPERM;
948         else switch (hcd->state) {
949         case HC_STATE_RUNNING:
```

```
    950         case HC_STATE_RESUMING:
    951 doit:
    952                 list_add_tail (&urb->urb_list, &ep->urb_list);
    953                 status = 0;
    954                 break;
    955         case HC_STATE_SUSPENDED:
    956                 /* HC upstream links (register access, wakeup signaling)
can work
    957                  * even when the downstream links (and DMA etc) are
quiesced; let
    958                  * usbcore talk to the root hub.
    959                  */
    960                 if (hcd->self.controller->power.power_state.event ==
PM_EVENT_ON
    961                                 && urb->dev->parent == NULL)
    962                         goto doit;
    963                 /* FALL THROUGH */
    964         default:
    965                 status = -ESHUTDOWN;
    966                 break;
    967         }
    968         spin_unlock_irqrestore (&hcd_data_lock, flags);
    969         if (status) {
    970                 INIT_LIST_HEAD (&urb->urb_list);
    971                 usbmon_urb_submit_error(&hcd->self, urb, status);
    972                 return status;
    973         }
    974
    975         /* increment urb's reference count as part of giving it to the HCD
    976          * (which now controls it).   HCD guarantees that it either returns
    977          * an error or calls giveback(), but not both.
    978          */
    979         urb = usb_get_urb (urb);
    980         atomic_inc (&urb->use_count);
    981
    982         if (urb->dev == hcd->self.root_hub) {
    983                 /* NOTE:   requirement on hub callers (usbfs and the hub
    984                  * driver, for now) that URBs' urb->transfer_buffer be
    985                  * valid and usb_buffer_{sync,unmap}() not be needed,
since
    986                  * they could clobber root hub response data.
    987                  */
    988                 status = rh_urb_enqueue (hcd, urb);
    989                 goto done;
```

```
 990         }
 991
 992         /* lower level hcd code should use *_dma exclusively,
 993          * unless it uses pio or talks to another transport.
 994          */
 995         if (hcd->self.uses_dma) {
 996                 if (usb_pipecontrol (urb->pipe)
 997                         && !(urb->transfer_flags &
URB_NO_SETUP_DMA_MAP))
 998                         urb->setup_dma = dma_map_single (
 999                                         hcd->self.controller,
1000                                         urb->setup_packet,
1001                                         sizeof (struct usb_ctrlrequest),
1002                                         DMA_TO_DEVICE);
1003                 if (urb->transfer_buffer_length != 0
1004                         && !(urb->transfer_flags &
URB_NO_TRANSFER_DMA_MAP))
1005                         urb->transfer_dma = dma_map_single (
1006                                         hcd->self.controller,
1007                                         urb->transfer_buffer,
1008                                         urb->transfer_buffer_length,
1009                                         usb_pipein (urb->pipe)
1010                                             ? DMA_FROM_DEVICE
1011                                             : DMA_TO_DEVICE);
1012         }
1013
1014         status = hcd->driver->urb_enqueue (hcd, ep, urb, mem_flags);
1015 done:
1016         if (unlikely (status)) {
1017                 urb_unlink (urb);
1018                 atomic_dec (&urb->use_count);
1019                 if (urb->reject)
1020                         wake_up (&usb_kill_urb_queue);
1021                 usbmon_urb_submit_error(&hcd->self, urb, status);
1022                 usb_put_urb (urb);
1023         }
1024         return status;
1025 }
```

凡是名字中带着 usbmon 的函数咱们都甭管,它是一个 usb 的监控工具,启用不启用这个工具取决于一个编译选项,CONFIG_USB_MON,咱们假设不打开它,这样它的这些函数实际上就都是些空函数.就比如 931 行的 usbmon_urb_submit, 以及下面的这个 usbmon_urb_submit_error.

942 这一行,得到与这个 urb 相关的 struct usb_host_endpoint 结构体指针 ep,事实上 struct urb 和 struct usb_host_endpoint 这两个结构体中都有一个成员 struct list_head urb_list,所以我们有 952 这么一行,每个 endpoint 都维护着一个队列,所有与它相关的 urb 都被放入到这个队列中,而 952 行所做的就是这件事.当然,之所以我们现在会执行 952 行,是因为我们的 hcd->state 在 start_rh 中被设置成了 HC_STATE_RUNNING.

接着,以一种一目十行的手法我们发现,对于 Root Hub, rh_urb_enqueue 会被执行,对于非 Root Hub,即一般的 Hub,driver->urb_enqueue 会被执行,对于 uhci 来说,就是 uhci_urb_enqueue 会被执行.我们先来看 Root Hub.

rh_urb_enqueue 来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
629 static int rh_urb_enqueue (struct usb_hcd *hcd, struct urb *urb)
630 {
631         if (usb_pipeint (urb->pipe))
632                 return rh_queue_status (hcd, urb);
633         if (usb_pipecontrol (urb->pipe))
634                 return rh_call_control (hcd, urb);
635         return -EINVAL;
636 }
```

Root Hub 的控制传输（二）

医生,请把孩子取出来之后,顺便给我吸吸脂.

——广州一妇女在剖腹产手术前对医生说.

对于控制传输,rh_call_control 会被调用.我也特别希望能有人给这个函数吸吸脂,我们的上下文是为了获取设备描述符,即当初那个 usb_get_device_descriptor 领着我们来到了这个函数,为了完成这件事情,实际上只需要很少的代码,但是 rh_call_control 这个函数涉及了所有的 Root Hub 相关的控制传输,以至于我们除了把孩子取出来之外,还不得不顺便看看其它的代码.当然了,既然是顺便,那么我们也就不会详细的去讲解每一行.这个函数定义于 drivers/usb/core/hcd.c:

```
343 /* Root hub control transfers execute synchronously */
344 static int rh_call_control (struct usb_hcd *hcd, struct urb *urb)
345 {
346         struct usb_ctrlrequest *cmd;
347         u16             typeReq, wValue, wIndex, wLength;
348         u8              *ubuf = urb->transfer_buffer;
349         u8              tbuf [sizeof (struct usb_hub_descriptor)]
350                 __attribute__((aligned(4)));
```

```
351         const u8        *bufp = tbuf;
352         int             len = 0;
353         int             patch_wakeup = 0;
354         unsigned long   flags;
355         int             status = 0;
356         int             n;
357
358         cmd = (struct usb_ctrlrequest *) urb->setup_packet;
359         typeReq   = (cmd->bRequestType << 8) | cmd->bRequest;
360         wValue    = le16_to_cpu (cmd->wValue);
361         wIndex    = le16_to_cpu (cmd->wIndex);
362         wLength   = le16_to_cpu (cmd->wLength);
363
364         if (wLength > urb->transfer_buffer_length)
365                 goto error;
366
367         urb->actual_length = 0;
368         switch (typeReq) {
369
370         /* DEVICE REQUESTS */
371
372         /* The root hub's remote wakeup enable bit is implemented using
373          * driver model wakeup flags.  If this system supports wakeup
374          * through USB, userspace may change the default "allow wakeup"
375          * policy through sysfs or these calls.
376          *
377          * Most root hubs support wakeup from downstream devices, for
378          * runtime power management (disabling USB clocks and reducing
379          * VBUS power usage).  However, not all of them do so; silicon,
380          * board, and BIOS bugs here are not uncommon, so these can't
381          * be treated quite like external hubs.
382          *
383          * Likewise, not all root hubs will pass wakeup events upstream,
384          * to wake up the whole system.  So don't assume root hub and
385          * controller capabilities are identical.
386          */
387
388         case DeviceRequest | USB_REQ_GET_STATUS:
389                 tbuf [0] =
(device_may_wakeup(&hcd->self.root_hub->dev)
390                                         <<
USB_DEVICE_REMOTE_WAKEUP)
391                                       | (1 << USB_DEVICE_SELF_POWERED);
392                 tbuf [1] = 0;
```

```
393                 len = 2;
394                 break;
395         case DeviceOutRequest | USB_REQ_CLEAR_FEATURE:
396                 if (wValue == USB_DEVICE_REMOTE_WAKEUP)
397
device_set_wakeup_enable(&hcd->self.root_hub->dev, 0);
398                 else
399                         goto error;
400                 break;
401         case DeviceOutRequest | USB_REQ_SET_FEATURE:
402                 if (device_can_wakeup(&hcd->self.root_hub->dev)
403                                 && wValue ==
USB_DEVICE_REMOTE_WAKEUP)
404
device_set_wakeup_enable(&hcd->self.root_hub->dev, 1);
405                 else
406                         goto error;
407                 break;
408         case DeviceRequest | USB_REQ_GET_CONFIGURATION:
409                 tbuf [0] = 1;
410                 len = 1;
411                         /* FALLTHROUGH */
412         case DeviceOutRequest | USB_REQ_SET_CONFIGURATION:
413                 break;
414         case DeviceRequest | USB_REQ_GET_DESCRIPTOR:
415                 switch (wValue & 0xff00) {
416                 case USB_DT_DEVICE << 8:
417                         if (hcd->driver->flags & HCD_USB2)
418                                 bufp = usb2_rh_dev_descriptor;
419                         else if (hcd->driver->flags & HCD_USB11)
420                                 bufp = usb11_rh_dev_descriptor;
421                         else
422                                 goto error;
423                         len = 18;
424                         break;
425                 case USB_DT_CONFIG << 8:
426                         if (hcd->driver->flags & HCD_USB2) {
427                                 bufp = hs_rh_config_descriptor;
428                                 len = sizeof hs_rh_config_descriptor;
429                         } else {
430                                 bufp = fs_rh_config_descriptor;
431                                 len = sizeof fs_rh_config_descriptor;
432                         }
```

```
    433                         if
(device_can_wakeup(&hcd->self.root_hub->dev))
    434                                 patch_wakeup = 1;
    435                         break;
    436                 case USB_DT_STRING << 8:
    437                         n = rh_string (wValue & 0xff, hcd, ubuf, wLength);
    438                         if (n < 0)
    439                                 goto error;
    440                         urb->actual_length = n;
    441                         break;
    442                 default:
    443                         goto error;
    444                 }
    445                 break;
    446         case DeviceRequest | USB_REQ_GET_INTERFACE:
    447                 tbuf [0] = 0;
    448                 len = 1;
    449                         /* FALLTHROUGH */
    450         case DeviceOutRequest | USB_REQ_SET_INTERFACE:
    451                 break;
    452         case DeviceOutRequest | USB_REQ_SET_ADDRESS:
    453                 // wValue == urb->dev->devaddr
    454                 dev_dbg (hcd->self.controller, "root hub device address
%d\n",
    455                         wValue);
    456                 break;
    457
    458         /* INTERFACE REQUESTS (no defined feature/status flags) */
    459
    460         /* ENDPOINT REQUESTS */
    461
    462         case EndpointRequest | USB_REQ_GET_STATUS:
    463                 // ENDPOINT_HALT flag
    464                 tbuf [0] = 0;
    465                 tbuf [1] = 0;
    466                 len = 2;
    467                         /* FALLTHROUGH */
    468         case EndpointOutRequest | USB_REQ_CLEAR_FEATURE:
    469         case EndpointOutRequest | USB_REQ_SET_FEATURE:
    470                 dev_dbg (hcd->self.controller, "no endpoint features
yet\n");
    471                 break;
    472
    473         /* CLASS REQUESTS (and errors) */
```

```
474
475         default:
476                 /* non-generic request */
477                 switch (typeReq) {
478                 case GetHubStatus:
479                 case GetPortStatus:
480                         len = 4;
481                         break;
482                 case GetHubDescriptor:
483                         len = sizeof (struct usb_hub_descriptor);
484                         break;
485                 }
486                 status = hcd->driver->hub_control (hcd,
487                         typeReq, wValue, wIndex,
488                         tbuf, wLength);
489                 break;
490 error:
491                 /* "protocol stall" on error */
492                 status = -EPIPE;
493         }
494
495         if (status) {
496                 len = 0;
497                 if (status != -EPIPE) {
498                         dev_dbg (hcd->self.controller,
499                                 "CTRL: TypeReq=0x%x val=0x%x "
500                                 "idx=0x%x len=%d ==> %d\n",
501                                 typeReq, wValue, wIndex,
502                                 wLength, status);
503                 }
504         }
505         if (len) {
506                 if (urb->transfer_buffer_length < len)
507                         len = urb->transfer_buffer_length;
508                 urb->actual_length = len;
509                 // always USB_DIR_IN, toward host
510                 memcpy (ubuf, bufp, len);
511
512                 /* report whether RH hardware supports remote wakeup
*/
513                 if (patch_wakeup &&
514                                 len > offsetof (struct
usb_config_descriptor,
515                                                 bmAttributes))
```

```
    516                         ((struct usb_config_descriptor
*)ubuf)->bmAttributes
    517                                 |= USB_CONFIG_ATT_WAKEUP;
    518         }
    519
    520         /* any errors get returned through the urb completion */
    521         local_irq_save (flags);
    522         spin_lock (&urb->lock);
    523         if (urb->status == -EINPROGRESS)
    524                 urb->status = status;
    525         spin_unlock (&urb->lock);
    526         usb_hcd_giveback_urb (hcd, urb);
    527         local_irq_restore (flags);
    528         return 0;
    529 }
```

看到这样近 200 行的函数,真是有一种叫天天不灵叫地地不应的感觉.不幸中的万幸,这个函数的结构还是很清晰的.自上而下的看过来就可以了.

对于控制传输,首先要获得它的 setup_packet,来自 urb 结构体,正如我们当初在 usb-storage 中看到的那样.这里把这个 setup_packet 赋给 cmd 指针.然后把其中的各个成员都给取出来,分别放在临时变量 typeReq,wValue,wIndex,wLength 中,然后来判断这个 typeReq.

如果是设备请求并且方向是 IN,而且是 USB_REQ_GET_STATUS,则,设置 len 为 2.

如果是设备请求并且方向是 OUT,而且是 USB_REQ_CLEAR_FEATURE,则如何如何.

如果是设备请求并且方向是 OUT,而且是 USB_REQ_SET_FEATURE,则如何如何.

如果是设备请求并且方向是 IN,而且是 USB_REQ_GET_CONFIGURATION,则设置 len 为 1.

如果是设备请求并且方向是 OUT,而且是 USB_REQ_SET_CONFIGURATION,则啥也不做.

如果是设备请求并且方向是 IN,而且是 USB_REQ_GET_DESCRIPTOR,则继续判断,wValue 到底是什么来决定究竟是要获得什么描述符.如果是 USB_DT_DEVICE,则说明要获得的是设备描述符,这正是咱们的上下文,而整个这段函数中其它的内容就只相当于顺便看看.(咱们传递给 usb_get_descriptor 的第二个参数就是 USB_DT_DEVICE,传递给 usb_control_msg 的第三个参数正是 USB_REQ_GET_DESCRIPTOR.)如果是 USB_DT_CONFIG,则说明要获得的是配置描述符,如果是 USB_DT_STRING,则说明要获得的是字符串描述符.实际上,对于 Root Hub 来说,这些东西都是一样的,咱们在 drivers/usb/core/hcd.c 中都预先定义好了,usb2_rh_dev_descriptor 是针对 usb 2.0 的,而 usb11_rh_dev_descriptor 是针对 usb 1.1 的,咱们的 uhci driver 里面设置了 flags 的 HCD_USB11.

```
    108 /*-------------------------------------------------------------------------*/
    109
```

```
110 /*
111  * Sharable chunks of root hub code.
112  */
113
114 /*-------------------------------------------------------------------------*/
115
116 #define KERNEL_REL      ((LINUX_VERSION_CODE >> 16) & 0x0ff)
117 #define KERNEL_VER      ((LINUX_VERSION_CODE >> 8) & 0x0ff)
118
119 /* usb 2.0 root hub device descriptor */
120 static const u8 usb2_rh_dev_descriptor [18] = {
121         0x12,       /*  __u8  bLength; */
122         0x01,       /*  __u8  bDescriptorType; Device */
123         0x00, 0x02, /*  __le16 bcdUSB; v2.0 */
124
125         0x09,       /*  __u8  bDeviceClass; HUB_CLASSCODE */
126         0x00,       /*  __u8  bDeviceSubClass; */
127         0x01,       /*  __u8  bDeviceProtocol; [ usb 2.0 single TT ]*/
128         0x40,       /*  __u8  bMaxPacketSize0; 64 Bytes */
129
130         0x00, 0x00, /*  __le16 idVendor; */
131         0x00, 0x00, /*  __le16 idProduct; */
132         KERNEL_VER, KERNEL_REL, /*  __le16 bcdDevice */
133
134         0x03,       /*  __u8  iManufacturer; */
135         0x02,       /*  __u8  iProduct; */
136         0x01,       /*  __u8  iSerialNumber; */
137         0x01        /*  __u8  bNumConfigurations; */
138 };
139
140 /* no usb 2.0 root hub "device qualifier" descriptor: one speed only */
141
142 /* usb 1.1 root hub device descriptor */
143 static const u8 usb11_rh_dev_descriptor [18] = {
144         0x12,       /*  __u8  bLength; */
145         0x01,       /*  __u8  bDescriptorType; Device */
146         0x10, 0x01, /*  __le16 bcdUSB; v1.1 */
147
148         0x09,       /*  __u8  bDeviceClass; HUB_CLASSCODE */
149         0x00,       /*  __u8  bDeviceSubClass; */
150         0x00,       /*  __u8  bDeviceProtocol; [ low/full speeds only ]
*/
151         0x40,       /*  __u8  bMaxPacketSize0; 64 Bytes */
152
```

```
153         0x00, 0x00, /*  __le16 idVendor; */
154         0x00, 0x00, /*  __le16 idProduct; */
155         KERNEL_VER, KERNEL_REL, /*  __le16 bcdDevice */
156
157         0x03,       /*  __u8  iManufacturer; */
158         0x02,       /*  __u8  iProduct; */
159         0x01,       /*  __u8  iSerialNumber; */
160         0x01        /*  __u8  bNumConfigurations; */
161 };
162
163
164 /*-------------------------------------------------------------------------*/
165
166 /* Configuration descriptors for our root hubs */
167
168 static const u8 fs_rh_config_descriptor [] = {
169
170         /* one configuration */
171         0x09,       /*  __u8  bLength; */
172         0x02,       /*  __u8  bDescriptorType; Configuration */
173         0x19, 0x00, /*  __le16 wTotalLength; */
174         0x01,       /*  __u8  bNumInterfaces; (1) */
175         0x01,       /*  __u8  bConfigurationValue; */
176         0x00,       /*  __u8  iConfiguration; */
177         0xc0,       /*  __u8  bmAttributes;
178                                  Bit 7: must be set,
179                                       6: Self-powered,
180                                       5: Remote wakeup,
181                                       4..0: resvd */
182         0x00,       /*  __u8  MaxPower; */
183
184         /* USB 1.1:
185          * USB 2.0, single TT organization (mandatory):
186          *      one interface, protocol 0
187          *
188          * USB 2.0, multiple TT organization (optional):
189          *      two interfaces, protocols 1 (like single TT)
190          *      and 2 (multiple TT mode) ... config is
191          *      sometimes settable
192          *      NOT IMPLEMENTED
193          */
194
195         /* one interface */
196         0x09,       /*  __u8  if_bLength; */
```

```
    197         0x04,       /*  __u8   if_bDescriptorType; Interface */
    198         0x00,       /*  __u8   if_bInterfaceNumber; */
    199         0x00,       /*  __u8   if_bAlternateSetting; */
    200         0x01,       /*  __u8   if_bNumEndpoints; */
    201         0x09,       /*  __u8   if_bInterfaceClass; HUB_CLASSCODE */
    202         0x00,       /*  __u8   if_bInterfaceSubClass; */
    203         0x00,       /*  __u8   if_bInterfaceProtocol; [usb1.1 or single tt]
*/
    204         0x00,       /*  __u8   if_iInterface; */
    205
    206         /* one endpoint (status change endpoint) */
    207         0x07,       /*  __u8   ep_bLength; */
    208         0x05,       /*  __u8   ep_bDescriptorType; Endpoint */
    209         0x81,       /*  __u8   ep_bEndpointAddress; IN Endpoint 1 */
    210         0x03,       /*  __u8   ep_bmAttributes; Interrupt */
    211         0x02, 0x00, /*  __le16 ep_wMaxPacketSize; 1 +
(MAX_ROOT_PORTS / 8) */
    212         0xff        /*  __u8   ep_bInterval; (255ms -- usb 2.0 spec) */
    213 };
    214
    215 static const u8 hs_rh_config_descriptor [] = {
    216
    217         /* one configuration */
    218         0x09,       /*  __u8   bLength; */
    219         0x02,       /*  __u8   bDescriptorType; Configuration */
    220         0x19, 0x00, /*  __le16 wTotalLength; */
    221         0x01,       /*  __u8   bNumInterfaces; (1) */
    222         0x01,       /*  __u8   bConfigurationValue; */
    223         0x00,       /*  __u8   iConfiguration; */
    224         0xc0,       /*  __u8   bmAttributes;
    225                                  Bit 7: must be set,
    226                                       6: Self-powered,
    227                                       5: Remote wakeup,
    228                                       4..0: resvd */
    229         0x00,       /*  __u8   MaxPower; */
    230
    231         /* USB 1.1:
    232          * USB 2.0, single TT organization (mandatory):
    233          *      one interface, protocol 0
    234          *
    235          * USB 2.0, multiple TT organization (optional):
    236          *      two interfaces, protocols 1 (like single TT)
    237          *      and 2 (multiple TT mode) ... config is
    238          *      sometimes settable
```

```
239          *        NOT IMPLEMENTED
240          */
241
242         /* one interface */
243         0x09,        /*  __u8   if_bLength; */
244         0x04,        /*  __u8   if_bDescriptorType; Interface */
245         0x00,        /*  __u8   if_bInterfaceNumber; */
246         0x00,        /*  __u8   if_bAlternateSetting; */
247         0x01,        /*  __u8   if_bNumEndpoints; */
248         0x09,        /*  __u8   if_bInterfaceClass; HUB_CLASSCODE */
249         0x00,        /*  __u8   if_bInterfaceSubClass; */
250         0x00,        /*  __u8   if_bInterfaceProtocol; [usb1.1 or single tt]
*/
251         0x00,        /*  __u8   if_iInterface; */
252
253         /* one endpoint (status change endpoint) */
254         0x07,        /*  __u8   ep_bLength; */
255         0x05,        /*  __u8   ep_bDescriptorType; Endpoint */
256         0x81,        /*  __u8   ep_bEndpointAddress; IN Endpoint 1 */
257         0x03,        /*  __u8   ep_bmAttributes; Interrupt */
258                     /* __le16 ep_wMaxPacketSize; 1 +
(MAX_ROOT_PORTS / 8)
259                      * see hub.c:hub_configure() for details. */
260         (USB_MAXCHILDREN + 1 + 7) / 8, 0x00,
261         0x0c         /*  __u8   ep_bInterval; (256ms -- usb 2.0 spec) */
262 };
```

如果是设备请求且方向为 IN,而且是 USB_REQ_GET_INTERFACE,则设置 len 为 1

如果是设备请求且方向为 OUT,而且是 USB_REQ_SET_INTERFACE,则如何如何.

如果是设备请求且方向为 OUT,而且是 USB_REQ_SET_ADDRESS,则如何如何.

如果是端点请求且方向为 IN,而且是 USB_REQ_GET_STATUS,则如何如何.

如果是端点请求且方向为 OUT,而且是 USB_REQ_CLEAR_FEATURE 或者 USB_REQ_SET_FEATURE,则如何如何.

以上这些设置,统统是和 usb spec 中规定的东西相匹配的.

如果是 Hub 特定的类请求,而且是 GetHubStatus 或者是 GetPortStatus,则设置 len 为 4.

如果是 Hub 特定的类请求,而且是 GetHubDescriptor,则设置 len 为 usb_hub_descriptor 结构体的大小.

最后对于 Hub 特定的类请求需要调用主机控制器驱动程序的 hub_control 函数,对于 uhci_driver 来说,这个指针被赋值为 uhci_hub_control, 来自 drivers/usb/host/uhci-hub.c:

```
238 /* size of returned buffer is part of USB spec */
239 static int uhci_hub_control(struct usb_hcd *hcd, u16 typeReq, u16 wValue,
240                             u16 wIndex, char *buf, u16 wLength)
241 {
242         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
243         int status, lstatus, retval = 0, len = 0;
244         unsigned int port = wIndex - 1;
245         unsigned long port_addr = uhci->io_addr + USBPORTSC1 + 2 *
port;
246         u16 wPortChange, wPortStatus;
247         unsigned long flags;
248
249         if (!test_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags) ||
uhci->dead)
250                 return -ETIMEDOUT;
251
252         spin_lock_irqsave(&uhci->lock, flags);
253         switch (typeReq) {
254
255         case GetHubStatus:
256                 *(__le32 *)buf = cpu_to_le32(0);
257                 OK(4);              /* hub power */
258         case GetPortStatus:
259                 if (port >= uhci->rh_numports)
260                         goto err;
261
262                 uhci_check_ports(uhci);
263                 status = inw(port_addr);
264
265                 /* Intel controllers report the OverCurrent bit active on.
266                  * VIA controllers report it active off, so we'll adjust the
267                  * bit value.  (It's not standardized in the UHCI spec.)
268                  */
269                 if (to_pci_dev(hcd->self.controller)->vendor ==
270                                 PCI_VENDOR_ID_VIA)
271                         status ^= USBPORTSC_OC;
272
273                 /* UHCI doesn't support C_RESET (always false) */
274                 wPortChange = lstatus = 0;
275                 if (status & USBPORTSC_CSC)
```

```
276                             wPortChange |=
USB_PORT_STAT_C_CONNECTION;
277                     if (status & USBPORTSC_PEC)
278                             wPortChange |= USB_PORT_STAT_C_ENABLE;
279                     if ((status & USBPORTSC_OCC) && !ignore_oc)
280                             wPortChange |=
USB_PORT_STAT_C_OVERCURRENT;
281
282                     if (test_bit(port, &uhci->port_c_suspend)) {
283                             wPortChange |= USB_PORT_STAT_C_SUSPEND;
284                             lstatus |= 1;
285                     }
286                     if (test_bit(port, &uhci->resuming_ports))
287                             lstatus |= 4;
288
289                     /* UHCI has no power switching (always on) */
290                     wPortStatus = USB_PORT_STAT_POWER;
291                     if (status & USBPORTSC_CCS)
292                             wPortStatus |= USB_PORT_STAT_CONNECTION;
293                     if (status & USBPORTSC_PE) {
294                             wPortStatus |= USB_PORT_STAT_ENABLE;
295                             if (status & SUSPEND_BITS)
296                                     wPortStatus |=
USB_PORT_STAT_SUSPEND;
297                     }
298                     if (status & USBPORTSC_OC)
299                             wPortStatus |=
USB_PORT_STAT_OVERCURRENT;
300                     if (status & USBPORTSC_PR)
301                             wPortStatus |= USB_PORT_STAT_RESET;
302                     if (status & USBPORTSC_LSDA)
303                             wPortStatus |= USB_PORT_STAT_LOW_SPEED;
304
305                     if (wPortChange)
306                             dev_dbg(uhci_dev(uhci), "port %d portsc
%04x,%02x\n",
307                                             wIndex, status, lstatus);
308
309                     *(__le16 *)buf = cpu_to_le16(wPortStatus);
310                     *(__le16 *)(buf + 2) = cpu_to_le16(wPortChange);
311                     OK(4);
312             case SetHubFeature:             /* We don't implement these */
313             case ClearHubFeature:
314                     switch (wValue) {
```

```
315                 case C_HUB_OVER_CURRENT:
316                 case C_HUB_LOCAL_POWER:
317                         OK(0);
318                 default:
319                         goto err;
320                 }
321                 break;
322         case SetPortFeature:
323                 if (port >= uhci->rh_numports)
324                         goto err;
325
326                 switch (wValue) {
327                 case USB_PORT_FEAT_SUSPEND:
328                         SET_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_SUSP);
329                         OK(0);
330                 case USB_PORT_FEAT_RESET:
331                         SET_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_PR);
332
333                         /* Reset terminates Resume signalling */
334                         uhci_finish_suspend(uhci, port, port_addr);
335
336                         /* USB v2.0 7.1.7.5 */
337                         uhci->ports_timeout = jiffies +
msecs_to_jiffies(50);
338                         OK(0);
339                 case USB_PORT_FEAT_POWER:
340                         /* UHCI has no power switching */
341                         OK(0);
342                 default:
343                         goto err;
344                 }
345                 break;
346         case ClearPortFeature:
347                 if (port >= uhci->rh_numports)
348                         goto err;
349
350                 switch (wValue) {
351                 case USB_PORT_FEAT_ENABLE:
352                         CLR_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_PE);
353
354                         /* Disable terminates Resume signalling */
355                         uhci_finish_suspend(uhci, port, port_addr);
356                         OK(0);
357                 case USB_PORT_FEAT_C_ENABLE:
```

```
    358                     CLR_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_PEC);
    359                     OK(0);
    360             case USB_PORT_FEAT_SUSPEND:
    361                     if (!(inw(port_addr) & USBPORTSC_SUSP)) {
    362
    363                             /* Make certain the port isn't suspended
*/
    364                             uhci_finish_suspend(uhci, port,
port_addr);
    365                     } else if (!test_and_set_bit(port,
    366                                             &uhci->resuming_ports))
{
    367                             SET_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_RD);
    368
    369                             /* The controller won't allow RD to be set
    370                              * if the port is disabled.   When this
happens
    371                              * just skip the Resume signalling.
    372                              */
    373                             if (!(inw(port_addr) & USBPORTSC_RD))
    374                                     uhci_finish_suspend(uhci, port,
    375                                                     port_addr);
    376                             else
    377                                     /* USB v2.0 7.1.7.7 */
    378                                     uhci->ports_timeout = jiffies +
    379                                             msecs_to_jiffies(20);
    380                     }
    381                     OK(0);
    382             case USB_PORT_FEAT_C_SUSPEND:
    383                     clear_bit(port, &uhci->port_c_suspend);
    384                     OK(0);
    385             case USB_PORT_FEAT_POWER:
    386                     /* UHCI has no power switching */
    387                     goto err;
    388             case USB_PORT_FEAT_C_CONNECTION:
    389                     CLR_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_CSC);
    390                     OK(0);
    391             case USB_PORT_FEAT_C_OVER_CURRENT:
    392                     CLR_RH_PORTSTAT(USBPORTSC_OCC);
    393                     OK(0);
    394             case USB_PORT_FEAT_C_RESET:
    395                     /* this driver won't report these */
    396                     OK(0);
    397             default:
```

```
398                             goto err;
399                     }
400                     break;
401             case GetHubDescriptor:
402                     len = min_t(unsigned int, sizeof(root_hub_hub_des),
wLength);
403                     memcpy(buf, root_hub_hub_des, len);
404                     if (len > 2)
405                             buf[2] = uhci->rh_numports;
406                     OK(len);
407             default:
408 err:
409                     retval = -EPIPE;
410             }
411             spin_unlock_irqrestore(&uhci->lock, flags);
412
413             return retval;
414 }
```

服了,彻底服了,变态的函数一个接着一个.莫非这群混蛋写一个 200 行的函数就跟我写一个 20 行的函数一样随便?

249 行,struct usb_hcd 结构体的成员 unsigned long flags,咱们当初在 usb_add_hcd 中调用 set_bit 函数设置了这么一个 flag,HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE,基本上这个 flag 在咱们的故事中是被设置了的.另外,struct uhci_hcd 结构体有一个成员 unsigned int dead,它如果为 1 就表明控制器挂了.

然后用一个 switch 来处理 hub 特定的类请求.OK 居然也是一个宏,定义于 drivers/usb/host/uhci-hub.c:

```
78 #define OK(x)                   len = (x); break
```

所以如果请求是 GetHubStatus,则设置 len 为 4.

如果请求是 GetPortStatus, 则调用 uhci_check_ports. 然后读端口寄存器.USBPORTSC_CSC 表示端口连接有变化,USBPORTSC_PEC 表示 Port Enable 有变化 .USBPORTSC_OCC 表示 Over Current 有变化,struct uhci_hcd 的两个成员,port_c_suspend 和 resuming_ports 都是电源管理相关的.

但无论如何,以上所做的这些都是为了获得两个东西,wPortStatus 和 wPortChange.以此来响应 GetPortStatus 这个请求.

接下来,SetHubFeature 和 ClearHubFeature 咱们没啥好说的,不需要做什么.

但是 SetPortFeature 就有事情要做了.wValue 表明具体是什么特征.

SET_RH_PORTSTAT 这个宏就是专门用于设置 Root Hub 的端口特征的.

```
80 #define CLR_RH_PORTSTAT(x) \
81         status = inw(port_addr); \
82         status &= ~(RWC_BITS|WZ_BITS); \
83         status &= ~(x); \
84         status |= RWC_BITS & (x); \
85         outw(status, port_addr)
86
87 #define SET_RH_PORTSTAT(x) \
88         status = inw(port_addr); \
89         status |= (x); \
90         status &= ~(RWC_BITS|WZ_BITS); \
91         outw(status, port_addr)
```

对于 USB_PORT_FEAT_RESET,还需要调用 uhci_finish_suspend.

如果是 USB_PORT_FEAT_POWER,则什么也不做,因为 UHCI 不吃这一套.

如果请求是 ClearPortFeature, 基本上也是一样的做法.除了调用的宏变成了 CLR_RH_PORTSTAT.

如果请求是 GetHubDescriptor, 那就满足它呗.root_hub_hub_des 是早就在 drivers/usb/host/uhci-hub.c 中定义好的:

```
15 static __u8 root_hub_hub_des[] =
16 {
17         0x09,                   /*  __u8   bLength; */
18         0x29,                   /*  __u8   bDescriptorType;
Hub-descriptor */
19         0x02,                   /*  __u8   bNbrPorts; */
20         0x0a,                   /* __u16   wHubCharacteristics; */
21         0x00,                   /*    (per-port OC, no power switching) */
22         0x01,                   /*  __u8   bPwrOn2pwrGood; 2ms */
23         0x00,                   /*  __u8   bHubContrCurrent; 0 mA */
24         0x00,                   /*  __u8   DeviceRemovable; *** 7 Ports
max *** */
25         0xff                   /*  __u8   PortPwrCtrlMask; *** 7 ports
max *** */
26 };
```

回到 rh_call_control,switch 结束了,下面是判断 status 和 len.

然后调用 usb_hcd_giveback_urb().来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
1373 /**
1374  * usb_hcd_giveback_urb - return URB from HCD to device driver
1375  * @hcd: host controller returning the URB
1376  * @urb: urb being returned to the USB device driver.
1377  * Context: in_interrupt()
1378  *
1379  * This hands the URB from HCD to its USB device driver, using its
1380  * completion function.   The HCD has freed all per-urb resources
1381  * (and is done using urb->hcpriv).   It also released all HCD locks;
1382  * the device driver won't cause problems if it frees, modifies,
1383  * or resubmits this URB.
1384  */
1385 void usb_hcd_giveback_urb (struct usb_hcd *hcd, struct urb *urb)
1386 {
1387         int at_root_hub;
1388
1389         at_root_hub = (urb->dev == hcd->self.root_hub);
1390         urb_unlink (urb);
1391
1392         /* lower level hcd code should use *_dma exclusively if the
1393          * host controller does DMA */
1394         if (hcd->self.uses_dma && !at_root_hub) {
1395                 if (usb_pipecontrol (urb->pipe)
1396                         && !(urb->transfer_flags &
URB_NO_SETUP_DMA_MAP))
1397                         dma_unmap_single (hcd->self.controller,
urb->setup_dma,
1398                                         sizeof (struct usb_ctrlrequest),
1399                                         DMA_TO_DEVICE);
1400                 if (urb->transfer_buffer_length != 0
1401                         && !(urb->transfer_flags &
URB_NO_TRANSFER_DMA_MAP))
1402                         dma_unmap_single (hcd->self.controller,
1403                                         urb->transfer_dma,
1404                                         urb->transfer_buffer_length,
1405                                         usb_pipein (urb->pipe)
1406                                             ? DMA_FROM_DEVICE
1407                                             : DMA_TO_DEVICE);
1408         }
1409
1410         usbmon_urb_complete (&hcd->self, urb);
1411         /* pass ownership to the completion handler */
1412         urb->complete (urb);
1413         atomic_dec (&urb->use_count);
```

```
1414            if (unlikely (urb->reject))
1415                    wake_up (&usb_kill_urb_queue);
1416            usb_put_urb (urb);
1417 }
1418 EXPORT_SYMBOL (usb_hcd_giveback_urb);
```

这里最重要最有意义的一行当然就是 1412 行,调用 urb 的 complete 函数,这正是我们在 usb-storage 里期待的那个函数.从此 rh_call_control 函数也该返回了,以后设备驱动又获得了控制权.事实上令人欣喜的是对于 Root Hub,1394 行开始的这一段 if 是不会被执行的,因为 at_root_hub 显然是为真.不过就算这段要执行也没什么可怕的,无非就是把之前为这个 urb 建立的 dma 映射给取消掉.而另一方面,对于 Root Hub 来说,complete 函数基本上是什么也不做,只不过是让咱们再次回到 usb_start_wait_urb 去,而控制传输需要的数据也已经 copy 到了 urb->transfer_buffer 中去了. 至此,Root Hub 的控制传输就算结束了,即我们的 usb_get_device_descriptor 函数取得了空前绝后的圆满成功.

非 Root Hub 的控制传输

下面来看非 Root Hub 的控制传输.还是从 usb_submit_urb() 开始,转而进入 usb_hcd_submit_urb(),然后就进入到了 uhci_urb_enqueue.

我们来看 uhci_urb_enqueue,它来自 drivers/usb/host/uhci-q.c,再强调一下,我们现在看的是控制传输:

```
1377 static int uhci_urb_enqueue(struct usb_hcd *hcd,
1378                 struct usb_host_endpoint *hep,
1379                 struct urb *urb, gfp_t mem_flags)
1380 {
1381         int ret;
1382         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
1383         unsigned long flags;
1384         struct urb_priv *urbp;
1385         struct uhci_qh *qh;
1386
1387         spin_lock_irqsave(&uhci->lock, flags);
1388
1389         ret = urb->status;
1390         if (ret != -EINPROGRESS)                /* URB already unlinked!
*/
1391                 goto done;
1392
1393         ret = -ENOMEM;
1394         urbp = uhci_alloc_urb_priv(uhci, urb);
1395         if (!urbp)
```

```
1396                goto done;
1397
1398        if (hep->hcpriv)
1399                qh = (struct uhci_qh *) hep->hcpriv;
1400        else {
1401                qh = uhci_alloc_qh(uhci, urb->dev, hep);
1402                if (!qh)
1403                        goto err_no_qh;
1404        }
1405        urbp->qh = qh;
1406
1407        switch (qh->type) {
1408        case USB_ENDPOINT_XFER_CONTROL:
1409                ret = uhci_submit_control(uhci, urb, qh);
1410                break;
1411        case USB_ENDPOINT_XFER_BULK:
1412                ret = uhci_submit_bulk(uhci, urb, qh);
1413                break;
1414        case USB_ENDPOINT_XFER_INT:
1415                ret = uhci_submit_interrupt(uhci, urb, qh);
1416                break;
1417        case USB_ENDPOINT_XFER_ISOC:
1418                urb->error_count = 0;
1419                ret = uhci_submit_isochronous(uhci, urb, qh);
1420                break;
1421        }
1422        if (ret != 0)
1423                goto err_submit_failed;
1424
1425        /* Add this URB to the QH */
1426        urbp->qh = qh;
1427        list_add_tail(&urbp->node, &qh->queue);
1428
1429        /* If the new URB is the first and only one on this QH then either
1430         * the QH is new and idle or else it's unlinked and waiting to
1431         * become idle, so we can activate it right away.  But only if the
1432         * queue isn't stopped. */
1433        if (qh->queue.next == &urbp->node && !qh->is_stopped) {
1434                uhci_activate_qh(uhci, qh);
1435                uhci_urbp_wants_fsbr(uhci, urbp);
1436        }
1437        goto done;
1438
1439 err_submit_failed:
```

```
1440            if (qh->state == QH_STATE_IDLE)
1441                    uhci_make_qh_idle(uhci, qh);    /* Reclaim unused QH
*/
1442
1443 err_no_qh:
1444            uhci_free_urb_priv(uhci, urbp);
1445
1446 done:
1447            spin_unlock_irqrestore(&uhci->lock, flags);
1448            return ret;
1449 }
```

写代码的人总是贪得无厌,吃着碗里的看着锅里的,有了一个 struct urb 的结构体之后他们还不满足,还要定义一个 struct urb_priv 来配合使用,定义于 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
445 /*
446  *      Private per-URB data
447  */
448 struct urb_priv {
449            struct list_head node;          /* Node in the QH's urbp list */
450
451            struct urb *urb;
452
453            struct uhci_qh *qh;             /* QH for this URB */
454            struct list_head td_list;
455
456            unsigned fsbr:1;                /* URB wants FSBR */
457 };
```

于是这里就调用 uhci_alloc_urb_priv 来申请了一个 struct urb_priv 结构体.有趣的是你会看到,struct urb 结构体中有一个成员 void *hcpriv,反过来,struct urb_priv 结构体中有一个成员 struct urb *urb,通过这两个指针把 urb 和 urb_priv 连接了起来,即很温馨的连成了你中有我我中有你的情景,urb 和 urb_priv 就相当于小时候家里摆放的那两瓶雀巢伴侣咖啡,一瓶黑一瓶白,只不过我们家那两个瓶子里放的不是咖啡,而是剁辣椒.uhci_alloc_urb_priv 和他的情侣函数 uhci_free_urb_priv 都来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
726 static inline struct urb_priv *uhci_alloc_urb_priv(struct uhci_hcd *uhci,
727                     struct urb *urb)
728 {
729            struct urb_priv *urbp;
730
731            urbp = kmem_cache_zalloc(uhci_up_cachep, GFP_ATOMIC);
732            if (!urbp)
733                    return NULL;
734
```

```
735         urbp->urb = urb;
736         urb->hcpriv = urbp;
737
738         INIT_LIST_HEAD(&urbp->node);
739         INIT_LIST_HEAD(&urbp->td_list);
740
741         return urbp;
742 }
743
744 static void uhci_free_urb_priv(struct uhci_hcd *uhci,
745                 struct urb_priv *urbp)
746 {
747         struct uhci_td *td, *tmp;
748
749         if (!list_empty(&urbp->node)) {
750                 dev_warn(uhci_dev(uhci), "urb %p still on QH's list!\n",
751                                 urbp->urb);
752                 WARN_ON(1);
753         }
754
755         list_for_each_entry_safe(td, tmp, &urbp->td_list, list) {
756                 uhci_remove_td_from_urbp(td);
757                 uhci_free_td(uhci, td);
758         }
759
760         urbp->urb->hcpriv = NULL;
761         kmem_cache_free(uhci_up_cachep, urbp);
762 }
```

还记不记得 uhci_up_cachep 了?我相信你肯定忘记了,过往的岁月是凝固的记忆的冰,一点一滴的融化,然后慢慢的消失.谁能挽回呢?是你还是我?在 uhci-hcd 这个复杂的迷宫里,我们 80 后早已迷失了方向,迷失了自我,又怎会记得当初在 uhci_hcd_init 中仅仅有过一面之缘的 uhci_up_cachep 呢.回首过去,才能发现当初在 uhci_hcd_init 中曾经调用过 kmem_cache_create 函数来创建一个 cache,并且把这个 cache 赋给了 uhci_up_cachep,正如我当初举的那个沃尔玛的例子一样,现在要用内存了,就是用 kmem_cache_zalloc 函数去取,如同在沃尔玛取一个篮子一样简单.

除了申请以外,还赋好了 urb 的 hcpriv 指针和 urb_priv 的 urb 指针,然后初始化了 urb_priv 的两个队列.

1398 行,判断 hep->hcpriv,上次我们看见这个指针是当时在 uhci_alloc_qh 中,那时候它被赋值指向了当时所申请的 qh.当你别忘了,当初我们申请的那些 qh 可都是赋给了 uhci->skelqh[]数组.显然现在咱们要的 qh 是针对每一个 endpoint 的,它当然是另一个 qh,所以这里我们需要执行 uhci_alloc_qh 重新申请一个 qh.在内核 2.6.22.1 中,调用 uhci_alloc_qh 函数的一共就是两处,一个就是当初那个 uhci_start 函数,一个就是现在这个 uhci_urb_enqueue.当时那些

qh 是为了建立一个美好的框架,现在的 qh 是为了进行实际的传输实际的调度.所以咱们重新回到 uhci_alloc_qh 中来,这两种 QH 分别被称之为 Skeleton QH 和 Normal QH.Skeleton QH 很简单,咱们之前也讲过.那么对于 Normal QH 呢?

267 行,先得到 qh 的类型,即到底是四种传输中的哪一种,qh 的类型和 endpoint 的类型是一致的.对于等时传输下面的这一小段代码就不用执行了.如果不是等时传输,就调用 uhci_alloc_td 申请一个 td,赋给 qh->dummy_td.而剩下几行就是简单的赋值,对于中断传输和等时传输还需要多执行 282 至 286 行这些代码.我们说过,不该管的事情少管,既然现在我们是分析控制传输,那就甭管其它的传输.

于是回到 uhci_urb_enqueue 中来.对于控制传输,很显然,uhci_submit_control 会被调用.

uhci_submit_control 来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
793 /*
794  * Control transfers
795  */
796 static int uhci_submit_control(struct uhci_hcd *uhci, struct urb *urb,
797                 struct uhci_qh *qh)
798 {
799         struct uhci_td *td;
800         unsigned long destination, status;
801         int maxsze = le16_to_cpu(qh->hep->desc.wMaxPacketSize);
802         int len = urb->transfer_buffer_length;
803         dma_addr_t data = urb->transfer_dma;
804         __le32 *plink;
805         struct urb_priv *urbp = urb->hcpriv;
806         int skel;
807
808         /* The "pipe" thing contains the destination in bits 8--18 */
809         destination = (urb->pipe & PIPE_DEVEP_MASK) |
USB_PID_SETUP;
810
811         /* 3 errors, dummy TD remains inactive */
812         status = uhci_maxerr(3);
813         if (urb->dev->speed == USB_SPEED_LOW)
814                 status |= TD_CTRL_LS;
815
816         /*
817          * Build the TD for the control request setup packet
818          */
819         td = qh->dummy_td;
820         uhci_add_td_to_urbp(td, urbp);
821         uhci_fill_td(td, status, destination | uhci_explen(8),
822                         urb->setup_dma);
```

```
823         plink = &td->link;
824         status |= TD_CTRL_ACTIVE;
825
826         /*
827          * If direction is "send", change the packet ID from SETUP (0x2D)
828          * to OUT (0xE1).   Else change it from SETUP to IN (0x69) and
829          * set Short Packet Detect (SPD) for all data packets.
830          */
831         if (usb_pipeout(urb->pipe))
832                 destination ^= (USB_PID_SETUP ^ USB_PID_OUT);
833         else {
834                 destination ^= (USB_PID_SETUP ^ USB_PID_IN);
835                 status |= TD_CTRL_SPD;
836         }
837
838         /*
839          * Build the DATA TDs
840          */
841         while (len > 0) {
842                 int pktsze = min(len, maxsze);
843
844                 td = uhci_alloc_td(uhci);
845                 if (!td)
846                         goto nomem;
847                 *plink = LINK_TO_TD(td);
848
849                 /* Alternate Data0/1 (start with Data1) */
850                 destination ^= TD_TOKEN_TOGGLE;
851
852                 uhci_add_td_to_urbp(td, urbp);
853                 uhci_fill_td(td, status, destination | uhci_explen(pktsze),
854                                 data);
855                 plink = &td->link;
856
857                 data += pktsze;
858                 len -= pktsze;
859         }
860
861         /*
862          * Build the final TD for control status
863          */
864         td = uhci_alloc_td(uhci);
865         if (!td)
866                 goto nomem;
```

```
867         *plink = LINK_TO_TD(td);
868
869         /*
870          * It's IN if the pipe is an output pipe or we're not expecting
871          * data back.
872          */
873         destination &= ~TD_TOKEN_PID_MASK;
874         if (usb_pipeout(urb->pipe) || !urb->transfer_buffer_length)
875                 destination |= USB_PID_IN;
876         else
877                 destination |= USB_PID_OUT;
878
879         destination |= TD_TOKEN_TOGGLE;          /* End in Data1 */
880
881         status &= ~TD_CTRL_SPD;
882
883         uhci_add_td_to_urbp(td, urbp);
884         uhci_fill_td(td, status | TD_CTRL_IOC,
885                         destination | uhci_explen(0), 0);
886         plink = &td->link;
887
888         /*
889          * Build the new dummy TD and activate the old one
890          */
891         td = uhci_alloc_td(uhci);
892         if (!td)
893                 goto nomem;
894         *plink = LINK_TO_TD(td);
895
896         uhci_fill_td(td, 0, USB_PID_OUT | uhci_explen(0), 0);
897         wmb();
898         qh->dummy_td->status |=
__constant_cpu_to_le32(TD_CTRL_ACTIVE);
899         qh->dummy_td = td;
900
901         /* Low-speed transfers get a different queue, and won't hog the
bus.
902          * Also, some devices enumerate better without FSBR; the easiest
way
903          * to do that is to put URBs on the low-speed queue while the
device
904          * isn't in the CONFIGURED state. */
905         if (urb->dev->speed == USB_SPEED_LOW ||
906                         urb->dev->state != USB_STATE_CONFIGURED)
```

```
907                     skel = SKEL_LS_CONTROL;
908             else {
909                     skel = SKEL_FS_CONTROL;
910                     uhci_add_fsbr(uhci, urb);
911             }
912             if (qh->state != QH_STATE_ACTIVE)
913                     qh->skel = skel;
914
915             urb->actual_length = -8;        /* Account for the SETUP packet
*/
916             return 0;
917
918 nomem:
919             /* Remove the dummy TD from the td_list so it doesn't get freed */
920             uhci_remove_td_from_urbp(qh->dummy_td);
921             return -ENOMEM;
922 }
```

众所周知,控制传输有三个阶段,分别是 Setup 阶段,数据阶段(Data),状态阶段(Status).这其中数据阶段可能没有,也可能有,即这个阶段不是必须的,但是另外两个阶段是必须的.打个比方吧,假设你和你的恋人分居两地,你在复旦大学,她在中南大学,你们经常煲电话粥,那么 Setup 阶段是由主机向目标设备的控制端点发送一个 Setup 报文,这就相当于打电话的拨号阶段,这个阶段通常对应一个 TD.接下来是 Data 阶段,这就相当于打电话的通话阶段,有则多说,无则少说,所以这个阶段对应一个或者 N 个 TD,第三阶段是状态阶段,这一阶段由数据接收方向对方发送一个状态报文,以确认其对数据的接收.这个阶段通常对应一个 TD.比如说数据阶段就是你一个人在说,你在向对方深情表白,那么状态阶段就是对方的反应,不管你说了多少,最终她可能只是简单的说几个字:"我们性格不合适."这样这次传输就基本上宣告结束了.但你也别难过,她说性格不合适总比她说性别不合适要好吧.

理解了控制传输的三个阶段,就不难看懂这代码了,无非就是建立好几个 td,连接起来.其实注释也说得相当清楚.一个需要注意的是 uhci_add_td_to_urbp 函数.这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
146 static void uhci_add_td_to_urbp(struct uhci_td *td, struct urb_priv *urbp)
147 {
148             list_add_tail(&td->list, &urbp->td_list);
149 }
```

其实就是简单的队列操作.每个 urb 都有一个队列,所有它的 td 都被链入到它的这个 td_list 里边去.这个很显然,咱们调用的是 usb_submit_urb(),提交了一个 urb,但这一个 urb 可以包含很多个 TD,理所当然要把它们链入一个队列.然后用 uhci_fill_td 来填充好这个 td.至于 dummy_td,没什么了不起,无非就是表示队列的结尾.整个从 816 行到 899 行这一段就是组建一支队列来表征这个 urb 的 TD 们,学过谭浩强那本书的兄弟们都应该很容易看懂这段代码.

最后要做的一件很重要的事情是,得到 qh->skel.既然是控制传输,那么要么是等于 SKEL_LS_CONTROL,要么是等于 SKEL_FS_CONTROL.与控制传输相关的队列就是这么两个,非此即彼.前者是为低速设备准备的,后者是为全速设备准备的.至于这两个宏被赋值之后有什么用,咱们马上就会在 uhci_activate_qh()中看到.对于全速设备,还多调用了一个函数,uhci_add_fsbr(),这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
71 static void uhci_add_fsbr(struct uhci_hcd *uhci, struct urb *urb)
72 {
73          struct urb_priv *urbp = urb->hcpriv;
74
75          if (!(urb->transfer_flags & URB_NO_FSBR))
76                    urbp->fsbr = 1;
77 }
```

其实就是设置 urbp->fsbr 为 1.

最终,uhci_submit_control 函数返回 0.回到 uhci_urb_enqueue 中来,1426 行,把这个 urb 给链接到 qh 队列中去.qh 的 queue 是专门组建 urb 队列的.即,一个 Normal qh 可以带多个 urb,一个 urb 又可以带多个 td.

1433 行,如果这个队列里面就只有一个 urb.struct uhci_qh 的成员 is_stopped 表示这个 qh 因为被 unlink 了或者出错了从而被停止了,咱们在 start_rh 中曾经设置了它为 0.所以一开始这个 if 条件是满足的,因此 uhci_activate_qh 会被调用.接下来 uhci_urbp_wants_fsbr 也会被调用.

这两个函数都来自 drivers/usb/host/uhci-q.c,先来看第一个:

```
481 /*
482  * Put a QH on the schedule in both hardware and software
483  */
484 static void uhci_activate_qh(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
485 {
486          WARN_ON(list_empty(&qh->queue));
487
488          /* Set the element pointer if it isn't set already.
489           * This isn't needed for Isochronous queues, but it doesn't hurt. */
490          if (qh_element(qh) == UHCI_PTR_TERM) {
491                    struct urb_priv *urbp = list_entry(qh->queue.next,
492                                        struct urb_priv, node);
493                    struct uhci_td *td = list_entry(urbp->td_list.next,
494                                        struct uhci_td, list);
495
496                    qh->element = LINK_TO_TD(td);
497          }
498
```

```
499         /* Treat the queue as if it has just advanced */
500         qh->wait_expired = 0;
501         qh->advance_jiffies = jiffies;
502
503         if (qh->state == QH_STATE_ACTIVE)
504                 return;
505         qh->state = QH_STATE_ACTIVE;
506
507         /* Move the QH from its old list to the correct spot in the
appropriate
508          * skeleton's list */
509         if (qh == uhci->next_qh)
510                 uhci->next_qh = list_entry(qh->node.next, struct
uhci_qh,
511                                 node);
512         list_del(&qh->node);
513
514         if (qh->skel == SKEL_ISO)
515                 link_iso(uhci, qh);
516         else if (qh->skel < SKEL_ASYNC)
517                 link_interrupt(uhci, qh);
518         else
519                 link_async(uhci, qh);
520 }
```

首先,咱们得明白这个函数的目的.咱们为了进行一段传输,提交了一个 urb,而所有与一个端点相关的 urb 都被连成一个队列,这个队列的头就是 qh,但是目前这个 qh 是孤零零的,硬件上还不知道它,要让主机控制器真的能够访问它,我们必须把它挂入到 qh 的大部队中去.

486 行,qh 的队列如果为空,则要警告一下.uhci spec 中对于 QH 的结构是有明确规定的,主要就是两个指针,一个是 Queue Head Link Pointer,一个是 Queue Element Link Pointer.前者也被俗称为 link,后者被俗称为 element,link 用于队列之间的链接,称为横向链接,element 指向本队列中的第一个 uhci_td 结构,这是纵向链接.如图:

3.3 Queue Head (QH)

Queue heads (Figure 8) are special structures used to support the requirements of Control, Bulk, and Interrupt transfers. Since these TDs are not automatically retired after each use their maintenance requirements can be reduced by putting them into a queue. Queue Heads must be aligned on a 16-byte boundary.

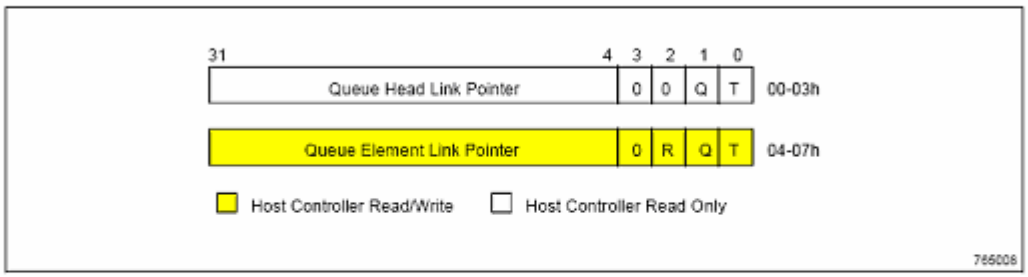


Figure 8. Generic Form of Queue Head (QH)

而这里宏 qh_element 来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h,其作用就是获得这个 qh 的 element 指针.

```
163 /*
164  * We need a special accessor for the element pointer because it is
165  * subject to asynchronous updates by the controller.
166  */
167 static inline __le32 qh_element(struct uhci_qh *qh) {
168         __le32 element = qh->element;
169
170         barrier();
171         return element;
172 }
```

前面我们说了,UHCI_PTR_TERM 表示指针无效.所以这里的意思就是如果 element 还不是心有所属,就让 element 指向 qh 的 queue 队列中的第一个 urb 的 td_list 队列中的第一个 td.于是 qh 和 td 就建立了联系.网友"早知今日何必当鸡"提问了,之前我们用 qh 的 dummy_td 不是已经把 qh 和 td 建立了联系了么?为何这里又用一个 element?道理和 struct uhci_td 的那两个队列是一样的,dummy_td 建立起来的那个是软件意义的,或者说是虚拟地址的链接,而现在这个 element 的链接是物理地址的链接,只有这里链接了,主机控制器才能真正的知道.struct uhci_qh 中的成员 struct list_head queue 以及 struct list_head node 都是虚拟地址意义的队列头.struct urb_priv 的成员 struct list_head node 和 struct list_head td_list 也都是这个意义的.正如我们所说的一样,一个 qh 有若干个 urb(或者说 urbp),一个 urb 可以有若干个 td.

接下来是几个赋值.qh->state 相关的宏来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
100 /*
101  * One role of a QH is to hold a queue of TDs for some endpoint.  One QH goes
102  * with each endpoint, and qh->element (updated by the HC) is either:
103  *    - the next unprocessed TD in the endpoint's queue, or
104  *    - UHCI_PTR_TERM (when there's no more traffic for this endpoint).
105  *
106  * The other role of a QH is to serve as a "skeleton" framelist entry, so we
107  * can easily splice a QH for some endpoint into the schedule at the right
108  * place.  Then qh->element is UHCI_PTR_TERM.
109  *
110  * In the schedule, qh->link maintains a list of QHs seen by the HC:
111  *      skel1 --> ep1-qh --> ep2-qh --> ... --> skel2 --> ...
112  *
113  * qh->node is the software equivalent of qh->link.  The differences
114  * are that the software list is doubly-linked and QHs in the UNLINKING
115  * state are on the software list but not the hardware schedule.
116  *
117  * For bookkeeping purposes we maintain QHs even for Isochronous endpoints,
118  * but they never get added to the hardware schedule.
119  */
120 #define QH_STATE_IDLE           1       /* QH is not being used */
121 #define QH_STATE_UNLINKING      2       /* QH has been removed from the
122                                          * schedule but the hardware may
123                                          * still be using it */
124 #define QH_STATE_ACTIVE         3       /* QH is on the schedule */
```

QH_STATE_ACTIVE 表示这个 QH 已经在 schedule 中了,要知道对于一个 Normal QH,咱们当初在 uhci_alloc_qh 中设置了其状态为 QH_STATE_IDLE,而直到这里咱们才把它设置为 QH_STATE_ACTIVE.

回顾咱们当初在 uhci_scan_schedule 中看到的代码,可知,uhci->next_qh 一开始就等于 skelqh[]中的成员,无论如何它不可能等于咱们这里刚申请的一个 qh.所以至少此时此刻,510 行不会被执行.当然代码本身的意思是,如果相等,就让 next_qh 往下走一步,然后从 qh 的节点链表中把它从原来的表里删除掉.但是咱们这个上下文来说,这两行代码是没什么意义的.但现在没意义不代表将来没意义.写代码的人都很有品位,他们写了代码就一定会被用到,他们如果种了草就一定会去躺,因为种草不让人去躺,不如改种仙人掌!

最后,很显然,因为 SKEL_LS_CONTROL 等于 20,SKEL_FS_CONTROL 等于 21,而 SKEL_ASYNC 等于 9,所以对于控制传输,link_async()会被调用. link_async()来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
451 /*
452  * Link a period-1 interrupt or async QH into the schedule at the
453  * correct spot in the async skeleton's list, and update the FSBR link
454  */
455 static void link_async(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
456 {
457         struct uhci_qh *pqh;
458         __le32 link_to_new_qh;
459
460         /* Find the predecessor QH for our new one and insert it in the list.
461          * The list of QHs is expected to be short, so linear search won't
462          * take too long. */
463         list_for_each_entry_reverse(pqh, &uhci->skel_async_qh->node,
node) {
464                 if (pqh->skel <= qh->skel)
465                         break;
466         }
467         list_add(&qh->node, &pqh->node);
468
469         /* Link it into the schedule */
470         qh->link = pqh->link;
471         wmb();
472         link_to_new_qh = LINK_TO_QH(qh);
473         pqh->link = link_to_new_qh;
474
475         /* If this is now the first FSBR QH, link the terminating skeleton
476          * QH to it. */
477         if (pqh->skel < SKEL_FSBR && qh->skel >= SKEL_FSBR)
478                 uhci->skel_term_qh->link = link_to_new_qh;
479 }
```

这个函数就是真正的负责把控制传输的 qh 挂入到整个调度的大部队中去.这里 list_for_each_entry_reverse 就是反向遍历一个链表.skel_async_qh 是一个队列,qh 是 link_async 函数传递进来的参数,如果这里找到了一个 pqh 的 skel 比这个 qh 的 skel 要小或者相等,就结束循环.根据 SKEL_LS_CONTROL/SKEL_FS_CONTROL/SKEL_BULK 的定义咱们可以知道,事实上咱们希望 SKEL_BULK 排在最后面,SKEL_FS_CONTROL 在它前面,而再前面就是 SKEL_LS_CONTROL.这种优先级是 usb spec 中规定好的,没有商量的余地.正如有的人生来是公主,有的人生来是女巫一样,无法选择,也无法改变.

然后把 qh 加入到 skel_async_qh 领衔的链表中来.

然后是物理上的链入.加入到队尾去.实际上 skel_async_qh 这支队伍就是这么组建起来的.我相信每一个有过求职经历的男人都会觉得这样的链表操作是小菜一碟吧,要知道当年微软的笔试题,SAP 的笔试题,Via 的笔试题哪一个不比这些代码难啊?

如果 qh 的 skel 大于等于 SKEL_FSBR,并且 pqh 的 skel 小于 SKEL_FSBR,则说明这是第一个 FSBR 的 qh,于是令 skel_term_qh 的 link 指向 qh.这就是为什么在后面我们即将看到的一个函数 uhci_fsbr_on 中会有那句注释,说:"The terminating skeleton QH always points back to the first FSBR QH".恰恰是在这里进行了这个设置.如果 pqh 的 skel 已经大于等于 SKEL_FSBR 了,那么说明已经有 FSBR 了,也就说明 skel_term_qh 已经指向了第一个 FSBR QH 了,这种情况下,不需要再改变 skel_term_qh.(注意,最初 skel_term_qh 的 link 指针是指向它自己的,咱们在 uhci_start 中进行的初始化.)

Okay,假设我们现在申请好了一个控制传输的 Low Speed 的 QH,并且添加到了调度中去,那么此时此刻我们再次画出那张框架图:

```
framelist[]
[   0 ]----> Skel QH -------\
[   1 ]----> Skel QH --------> Skel QH ----------> QH ----------->UHCI_PTR_TERM
  ...          Skel QH -------/
[1023]----> Skel QH ------/
             ^^           ^^               ^^                        ^^
          7 QHs for       1 QH for     1 Normal QH for LS_CTRL     End Chain
        INT (2-128ms)   1ms-INT(plus CTRL Chain,BULK Chain)
```

如果申请的是 Full Speed 的 QH,那么框架图就是:

```
framelist[]
[   0 ]----> Skel QH -------\
[   1 ]----> Skel QH --------> Skel QH ----------> QH ----------->UHCI_PTR_TERM
  ...          Skel QH -------/
[1023]----> Skel QH ------/
             ^^             ^^                 ^^                       ^^
          7 QHs for          1 QH for      1 Normal QH for FS_CTRL     End Chain
        INT (2-128ms)   1ms-INT(plus CTRL Chain,BULK Chain)
```

如果两者都存在,那么 LS_CONTROL 的 QH 在前面,而 FS_CONTROL 的 QH 在后面,如果还有 Bulk 的 QH,则它紧跟在 FS_CONTROL_QH 之后.

这样我们就结束了 uhci_activate_qh 的征程.回到 uhci_urb_enqueue 中,下一个函数是 uhci_urbp_wants_fsbr(),同样来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
     79 static void uhci_urbp_wants_fsbr(struct uhci_hcd *uhci, struct urb_priv
*urbp)
     80 {
     81          if (urbp->fsbr) {
     82                  uhci->fsbr_is_wanted = 1;
     83                  if (!uhci->fsbr_is_on)
     84                          uhci_fsbr_on(uhci);
     85                  else if (uhci->fsbr_expiring) {
```

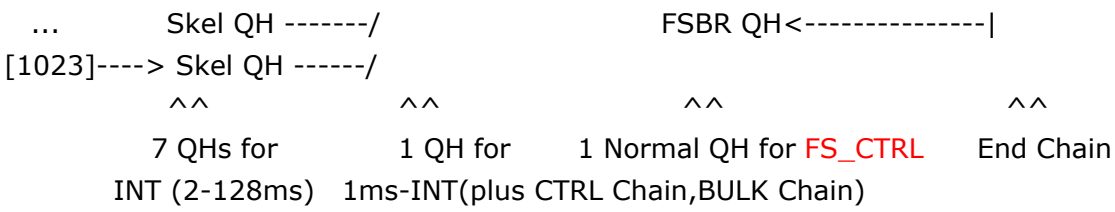
```
86                          uhci->fsbr_expiring = 0;
87                          del_timer(&uhci->fsbr_timer);
88                  }
89          }
90 }
```

关于所谓的 fsbr,有人说它是 Front Side Bus Reclamation,也有人说它是 Full Speed Bus Reclamtion,这咱们就不管它了,总之就是带宽回收的一个特性,带宽回收的意义是如果各个 QH 都被执行了一遍了之后带宽有还有剩,那么就要做回收以便废物利用.当初咱们在 uhci_add_fsbr 中明目张胆的将 urbp 的 fsbr 字段被设置为 1,所以这里代码八成是会被执行的,除非才华横溢的您在提交 urb 的时候设置了 URB_NO_FSBR 这么一个个 flag.fsbr 这个特性可以被打开也可以被关闭.所以就有 fsbr_is_on 这么一个 flag,默认是 0.另外还有 fsbr_expiring 这么一个 flag 来表征超时,默认也是 0.uhci_fsbr_on 函数的作用就是打开 fsbr 的特性,它来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
41 /*
42  * Full-Speed Bandwidth Reclamation (FSBR).
43  * We turn on FSBR whenever a queue that wants it is advancing,
44  * and leave it on for a short time thereafter.
45  */
46 static void uhci_fsbr_on(struct uhci_hcd *uhci)
47 {
48         struct uhci_qh *lqh;
49
50         /* The terminating skeleton QH always points back to the first
51          * FSBR QH.  Make the last async QH point to the terminating
52          * skeleton QH. */
53         uhci->fsbr_is_on = 1;
54         lqh = list_entry(uhci->skel_async_qh->node.prev,
55                         struct uhci_qh, node);
56         lqh->link = LINK_TO_QH(uhci->skel_term_qh);
57 }
```

其实也没做什么大事.就是从 uhci 的 skel_async_qh 的诸多 qh 中拿出一个来,赋给 lqh,并把 lqh 的 link 指针指向 skel_term_qh.就是说,当初我们曾经在 uhci_start 函数中,把 skel_async_qh 的 link 设置为 UHCI_PRT_TERM,即表明它是一个无效的 qh,把 skel_async_qh 的 element 指向 term_td 的 dma 地址.而我们知道 struct list_head 所构造的是一个双向链表,所以这里 node.prev 实际上代表的是最后一个节点,而正如注释所说的那样,这里要做的就是把最后一个 async qh 指向 skel_term_qh.因为刚才咱们已经看到了,skel_term_qh 指向的是第一个 FSBR QH.于是这里让 async qh 指向 skel_term_qh 就使得 async QH 和 FSBR QH 连接起来了.我们不妨再次画一下这个调度图:

```
framelist[]
[   0 ]----> Skel QH -------\
[   1 ]----> Skel QH --------> Skel QH -----------> QH ---------->skel_term_qh
```



稍微解释一下,实际上 FSBR QH 就是 Full Speed Control QH 或者是 Bulk QH.我们可以看到宏 SKEL_FSBR 实际上就是等于宏 SKEL_FS_CONTROL,都是 21.即,FSBR QH 并不是一个实实在在存在的独立体,我们不需要专门为其申请内存.

但这些究竟有什么意义呢?咱们走着瞧.总之,uhci_urbp_wants_fsbr 结束之后,uhci_urb_enqueue 也就结束了.正常的话,返回值也就是 0.这样子,usb_hcd_submit_urb 甚至于 usb_submit_urb 也都结束了,控制传输所要传送的数据,也通过 urb 的 transfer_buffer 给传送了,如果一切正常的话,urb 的 complete 函数仍然会被调用.正如我们当初在 usb-storage 中看到的那样,控制权将再次回到设备驱动中.

最后我们再来仔细的了解一下这个 FSBR.关于 FSBR,UHCI spec 中有这么一段描述:

Control and bulk transfers are scheduled last to allow bandwidth reclamation on a lightly loaded USB. Bandwidth reclamation allows the hardware to continue executing a schedule until time runs out in the frame, cycling through queue entries as frame time allows. Control is scheduled first to prioritize it over bulk transfers. Also, the software does the scheduling to guarantee that at least 10% of the bandwidth is available for control transfers. UHCI only allows for bandwidth reclamation of full speed control and bulk transfers. The software must schedule low speed control transfers such that they are guaranteed to complete within the current frame. Low speed bulk transfers are not allowed by the USB specification. If full speed control or bulk transfers are in the schedule, the last QH points back to the beginning of the full speed control and bulk queues to allow bandwidth reclamation. As long as time remains in the frame, the full speed control and bulk queues continue to be processed. If bandwidth reclamation is not required, the last QH contains a terminate bit to inform the Host Controller to wait until the beginning of the next frame.

从小到大我们做过无数到阅读理解题,而眼下这一段充其量也就是咱们高考的水准,所以咱就不翻译了.这其中的意思是很明确的,首先 FSBR 是针对全速的控制传输以及 Bulk 传输的,低速的控制传输是无所谓带宽回收不回收的,UHCI 规定了低速的控制传输必须在一个 frame 内完成.但是全速的控制传输和 Bulk 传输则没有这样的要求.

注意了,usb spec 中规定了,低速 Bulk 传输是不存在的,谈到 Bulk 传输,最起码就是全速的,试想你从移动硬盘里拷贝一部精彩的 A 片到你的电脑里,那么大一部片子如果用低速传输,你会不会急得欲火焚身?

那么针对这两种传输方式,又为何进行带宽回收呢?实际上在 UHCI spec 为 TD 的 Link 指针定义了一个叫做 Vf(Vertical Traversal Flag)的位,也叫做 Depth/Breadth Select.这就是 Link

指针的 bit2.如果 bit2 为 1,表示 Depth first,即深度优先,如果 bit2 为 0,表示 Breadth first,即广度优先,任何一个有一定算法基础的男人都不会对这两个术语陌生吧,印象中当初我们有门课叫做计算机软件基础,课堂上老师就提过这两个名词,回过头来去看看那幅经典的调度图,你会发现图中有 Execution By Breadth 和 Execution By Depth 了么?能看明白否?我们知道首先主机控制器会去取每一个 QH,然后如果这个 QH 是活跃的,就去取 QH 的 Element 指针所指向的TD 或者 QH,当然,取 QH 的目的最终是为了取 TD,取得了 TD 之后就会去解码 TD 的各个 bits,然后决定具体的交易,并执行交易,交易结束之后呢,如果说交易成功了,那么就把当前这个 TD 的 Link 指针写到 QH 的 element 指针的位置中去.与此同时,如果这个 TD 的 Vf bit 被设置了,那么接下来就取下一个 TD,这属于深度优先,反之如果 Vf bit 没有被设置,那么接下来就去取 QH 的 Link 指针所指向的那个 QH,这就是广度优先.结合那张调度图来看这个深度优先和广度优先将会很容易理解.

默认就是广度优先.(The default mode of traversal is Breadth-First.For Breadth-First, the Host Controller only executes the top element from each queue.—UHCI 1.1 spec,3.4.2 TRANSFER QUEUING)

那么也就是说,对于一个 QH,主机控制器在一个 frame 里面只会执行它的第一个 TD,从而保证每一个端点都能被公平的调度到.但这样就真的公平了吗?牛顿曾经说过,所谓公平,就是把那些能让人看到的不公平的地方都掩盖起来.事实上,这样不仅很难说公平,而且这样势必会导致带宽浪费的情形,因为主机控制器的逻辑是,当它看到一个 QH 的 Link 指针的 T bit 被设置为了 1,它就会闲置直到这个 frame 的 1ms 到期.(If the Queue Head Link Pointer field has the T bit set to 1, the host controller idles until the 1ms frame timer expires.)所谓 T bit,就是那位 Terminate 位,即 Link 指针的 bit0.咱们曾经说过 bit0 为 1 表示一个 QH 指针无效,或者说表示该 QH 就是最后一个 QH 了.实际上这就是咱们的那个 UHCI_PTR_TERM 的用途,让 link 指针等于它就表示设置这个 T bit.

于是就有可能造成这样一种现象,明明现在还有很多全速控制传输的 TD 和 Bulk 传输的 TD 等在那里了,可是你主机控制器却提前休息了,显然西方那些资本家们不会同意主机控制器休息了.还记得政治课上学过的吗?马克思主义认为,追求利润是资本家的天性.获取剩余价值或追求利润,是资本主义生产方式的绝对规律,是资本家进行生产和从事各种活动的唯一目的和动机.所以为了更大程度的获取剩余价值,资本家们提出了带宽回收的概念.这就是为什么前面要让 skel_term_qh 指向 FSBR 的 QH.即,虽然本轮广度优先已经结束了,但是只要还有没有执行的 TD,你主机控制器就不可以闲着,你必须继续执行新的 TD.看到这里我不禁感慨万千,并强烈认可了万恶的资本主义被社会主义替代的历史必然性.

非 Root Hub 的 Bulk 传输

看完了控制传输,咱们来看 Bulk 传输,Root hub 没有 Bulk 传输,所以咱们只需要关注非 Root Hub.

当然还是从 usb_submit_urb()开始.和控制传输一样,可以直接跳到 usb_hcd_submit_urb().由于我们在 start_rh()中设置了 hcd->state 为 HC_STATE_RUNNING,所以这里 list_add_tail 会被执行,本 urb 会被加入到 ep 的 urb_list 队列中去.

然后还是老套路,driver->urb_enqueue会被执行,即我们又一次进入了uhci_urb_enqueue.没啥好说的,uhci_alloc_urb_priv 和 uhci_alloc_qh 会再次被执行以申请 urbp 和 qh.但这次 uhci_submit_control 不会被调用了,取而代之的是 uhci_submit_bulk().这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
1043 static int uhci_submit_bulk(struct uhci_hcd *uhci, struct urb *urb,
1044                 struct uhci_qh *qh)
1045 {
1046         int ret;
1047
1048         /* Can't have low-speed bulk transfers */
1049         if (urb->dev->speed == USB_SPEED_LOW)
1050                 return -EINVAL;
1051
1052         if (qh->state != QH_STATE_ACTIVE)
1053                 qh->skel = SKEL_BULK;
1054         ret = uhci_submit_common(uhci, urb, qh);
1055         if (ret == 0)
1056                 uhci_add_fsbr(uhci, urb);
1057         return ret;
1058 }
```

又是一个很赤裸裸的函数,除了设置 qh->skel 为 SKEL_BULK 以外,就是调用 uhci_submit_common 了,而这个函数也是我们今后将在中断传输中调用的.因为 Bulk 传输和中断传输一样,就是一个阶段,直接传递数据就可以了,不用那么多废话.然后成功返回的话在调用 uhci_add_fsbr 把 urbp->fsbr 设置为 1.我们来看一下 uhci_submit_common(),这是一个公共的函数,Bulk 传输和中断传输都会调用它.来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
924 /*
925  * Common submit for bulk and interrupt
926  */
927 static int uhci_submit_common(struct uhci_hcd *uhci, struct urb *urb,
928                 struct uhci_qh *qh)
929 {
930         struct uhci_td *td;
931         unsigned long destination, status;
932         int maxsze = le16_to_cpu(qh->hep->desc.wMaxPacketSize);
933         int len = urb->transfer_buffer_length;
934         dma_addr_t data = urb->transfer_dma;
935         __le32 *plink;
936         struct urb_priv *urbp = urb->hcpriv;
937         unsigned int toggle;
938
939         if (len < 0)
940                 return -EINVAL;
```

```
941
942         /* The "pipe" thing contains the destination in bits 8--18 */
943         destination = (urb->pipe & PIPE_DEVEP_MASK) |
usb_packetid(urb->pipe);
944         toggle = usb_gettoggle(urb->dev, usb_pipeendpoint(urb->pipe),
945                         usb_pipeout(urb->pipe));
946
947         /* 3 errors, dummy TD remains inactive */
948         status = uhci_maxerr(3);
949         if (urb->dev->speed == USB_SPEED_LOW)
950                 status |= TD_CTRL_LS;
951         if (usb_pipein(urb->pipe))
952                 status |= TD_CTRL_SPD;
953
954         /*
955          * Build the DATA TDs
956          */
957         plink = NULL;
958         td = qh->dummy_td;
959         do {    /* Allow zero length packets */
960                 int pktsze = maxsze;
961
962                 if (len <= pktsze) {            /* The last packet */
963                         pktsze = len;
964                         if (!(urb->transfer_flags &
URB_SHORT_NOT_OK))
965                                 status &= ~TD_CTRL_SPD;
966                 }
967
968                 if (plink) {
969                         td = uhci_alloc_td(uhci);
970                         if (!td)
971                                 goto nomem;
972                         *plink = LINK_TO_TD(td);
973                 }
974                 uhci_add_td_to_urbp(td, urbp);
975                 uhci_fill_td(td, status,
976                                 destination | uhci_explen(pktsze) |
977                                         (toggle <<
TD_TOKEN_TOGGLE_SHIFT),
978                                 data);
979                 plink = &td->link;
980                 status |= TD_CTRL_ACTIVE;
981
```

```
 982                 data += pktsze;
 983                 len -= maxsze;
 984                 toggle ^= 1;
 985         } while (len > 0);
 986
 987         /*
 988          * URB_ZERO_PACKET means adding a 0-length packet, if
direction
 989          * is OUT and the transfer_length was an exact multiple of maxsze,
 990          * hence (len = transfer_length - N * maxsze) == 0
 991          * however, if transfer_length == 0, the zero packet was already
 992          * prepared above.
 993          */
 994         if ((urb->transfer_flags & URB_ZERO_PACKET) &&
 995                         usb_pipeout(urb->pipe) && len == 0 &&
 996                         urb->transfer_buffer_length > 0) {
 997                 td = uhci_alloc_td(uhci);
 998                 if (!td)
 999                         goto nomem;
1000                 *plink = LINK_TO_TD(td);
1001
1002                 uhci_add_td_to_urbp(td, urbp);
1003                 uhci_fill_td(td, status,
1004                                 destination | uhci_explen(0) |
1005                                         (toggle <<
TD_TOKEN_TOGGLE_SHIFT),
1006                                 data);
1007                 plink = &td->link;
1008
1009                 toggle ^= 1;
1010         }
1011
1012         /* Set the interrupt-on-completion flag on the last packet.
1013          * A more-or-less typical 4 KB URB (= size of one memory page)
1014          * will require about 3 ms to transfer; that's a little on the
1015          * fast side but not enough to justify delaying an interrupt
1016          * more than 2 or 3 URBs, so we will ignore the
URB_NO_INTERRUPT
1017          * flag setting. */
1018         td->status |= __constant_cpu_to_le32(TD_CTRL_IOC);
1019
1020         /*
1021          * Build the new dummy TD and activate the old one
1022          */
```

```
1023            td = uhci_alloc_td(uhci);
1024            if (!td)
1025                    goto nomem;
1026            *plink = LINK_TO_TD(td);
1027
1028            uhci_fill_td(td, 0, USB_PID_OUT | uhci_explen(0), 0);
1029            wmb();
1030            qh->dummy_td->status |=
__constant_cpu_to_le32(TD_CTRL_ACTIVE);
1031            qh->dummy_td = td;
1032
1033            usb_settoggle(urb->dev, usb_pipeendpoint(urb->pipe),
1034                            usb_pipeout(urb->pipe), toggle);
1035            return 0;
1036
1037 nomem:
1038            /* Remove the dummy TD from the td_list so it doesn't get freed
*/
1039            uhci_remove_td_from_urbp(qh->dummy_td);
1040            return -ENOMEM;
1041 }
```

我依稀感觉写代码的简直就是黄世仁,而我则是杨白劳,他们就想逼死我.眼睁睁的看着这代码,却无能为力,找不到读代码的理由,再也感觉不到代码的温柔,任最初的一点思绪消失在世界的尽头.几经曲折之后我终于看明白了这个函数,虽然这个函数很无耻,但是它却给了我们一丝亲切的感觉,我们曾经熟悉的 urb,曾经熟悉的 transfer_buffer_length 以及 transfer_dma 又一次映入了我们的眼帘.这里我们看到它们俩被赋给了 len 和 data.

932 行,令 maxsze 等于端点描述符里记录的 wMaxPacketSize,即包的最大 size.

接下来又是一堆的赋值.

第一个,destination,urb->pipe 由几个部分组成,这里的两个宏无非就是提取其中的 destination,它们都来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
7 #define usb_packetid(pipe)      (usb_pipein(pipe) ? USB_PID_IN :
USB_PID_OUT)
8 #define PIPE_DEVEP_MASK         0x0007ff00
```

显然,PIPE_DEVEP_MASK 就是用来获取 bit8 到 bit18,而 usb_packtid 就是为了获得传输的方向,IN 还是 OUT,usb_pipein 就是获取 pipe 的 bit7.当初我们在 usb storage 里面已经很彻底的分析了一个 pipe 的组成.所以这里不难理解这些位操作的目的了.

第二个,toggle,这个也是咱们当年在 usb-storage 中讲过的,usb_gettoggle 就是获得这个 toggle 位.

第三个,status,等式右边的 uhci_maxerr 来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
    203  #define  uhci_maxerr(err)                                ((err)  <<
TD_CTRL_C_ERR_SHIFT)
```

在同一个文件中还定义了这样一些宏:

```
    177 /*
    178  *       Transfer Descriptors
    179  */
    180
    181 /*
    182  * for TD <status>:
    183  */
    184 #define TD_CTRL_SPD             (1 << 29)       /* Short Packet
Detect */
    185 #define TD_CTRL_C_ERR_MASK      (3 << 27)       /* Error Counter
bits */
    186 #define TD_CTRL_C_ERR_SHIFT     27
    187 #define TD_CTRL_LS              (1 << 26)       /* Low Speed Device
*/
    188 #define TD_CTRL_IOS             (1 << 25)       /* Isochronous Select
*/
    189 #define TD_CTRL_IOC             (1 << 24)       /* Interrupt on
Complete */
    190 #define TD_CTRL_ACTIVE          (1 << 23)       /* TD Active */
    191 #define TD_CTRL_STALLED         (1 << 22)       /* TD Stalled */
    192 #define TD_CTRL_DBUFERR         (1 << 21)       /* Data Buffer Error
*/
    193 #define TD_CTRL_BABBLE          (1 << 20)       /* Babble Detected
*/
    194 #define TD_CTRL_NAK             (1 << 19)       /* NAK Received */
    195 #define TD_CTRL_CRCTIMEO        (1 << 18)       /* CRC/Time Out
Error */
    196 #define TD_CTRL_BITSTUFF        (1 << 17)       /* Bit Stuff Error */
    197 #define TD_CTRL_ACTLEN_MASK     0x7FF   /* actual length, encoded
as n - 1 */
    198
    199 #define TD_CTRL_ANY_ERROR       (TD_CTRL_STALLED |
TD_CTRL_DBUFERR | \
    200                                 TD_CTRL_BABBLE | TD_CTRL_CRCTIME
| \
    201                                 TD_CTRL_BITSTUFF)
```

这些宏看似很莫名其妙,其实是有来历的,UHCI spec 中对 TD 有明确的描述,硬件上来看,它一共有四个双字(DWORD).这其中第二个双字被称为 TD CONTROL AND STATUS,就是专门记录控制和状态信息的,一个双字就是 32 个 bits,bit0 到 bit31. 而其中咱们这里的 TD_CTRL_C_ERR_MASK 就是为了提取 bit28 和 bit27 的.Spec 中说,这两位是一个计数器,记录的是这个 TD 在执行过程中被探测到出现错误的次数,比如你一开始设置它为 3,那么它每次出现错误就减一,三次错误之后这个计数器就从一变成了零,于是主机控制器就会把这个 TD 设置为 inactive,即给这个 TD 宣判死刑.咱们这里设置的就是 3 次.

接下来几行还是设置这个 status,status 的 bit26 标志着这个设备是低速设备还是全速设备.如果为 1 则表示是低速设备,为 0 则表示是全速设备.bit29 表示 Short Packet Detect(SPD),其含义为,如果这一位为 1,则当一个包是输入包,并且成功的完成了传输但是实际长度比最大长度要短,则这个 TD 将会被标为 inactive.如果是输出包,则这一位没有任何意义.所以这里判断的是这个管道是不是输入管道.另外,如果传输出现了错误,则这一位也没有任何意义,汇报 SPD 的前提是数据必须成功的被传输了.

在做好这些前奏工作之后,957 行开始干正经事了.

如果传输的长度比 pktsze,或者说小于 maxsze,则说明这个包是最后一个包了.URB_SHORT_NOT_OK 是 urb 的 transfer_flags 中众多个标志位的一个,如果设置了这一个 flag 就表明 short 包是不能够接受的.反之则说明确实是一个短包,这种情况就把 status 中 SPD 这一位给清掉.

接着看,plink 一开始被设置为 NULL. 所以第一次进入循环的话就直接执行 974 行,uhci_add_td_to_urbp(),

然后调用 uhci_fill_td,这个函数咱们已经讲过了.它无非就是设置一个 td 的 status,token 和 buffer 这三个成员.

设置了 td 之后,令 plink 等于 td->link,td 的 link 也是 uhci spec 明确规定的 4 个 DWORD 之一,被称为 Link Pointer 的,物理上,正是它把各个 TD 给连接起来的.

设置好这些之后,再把 status 中 bit23 给设置为 1,这一位如果为 1,则表示 enable 这个传输了.TD_CTRL_ACTIVE 这一位用来表征 TD 是一个待执行的活跃交互,主机控制器驱动在调度一个交互请求的时候将这一位设成 1,而硬件(主机控制器)在完成了一次交互之后,或者成功,或者彻底失败,就将这一位改成 0.这样驱动程序只要扫描各个 uhci_td 数据结构,发现某个 uhci_td 数据结构的 TD_CTRL_ACTIVE 位变成了 0,就说明这个交互已经完成.

最后增加 data,减小 len,并且把 toggle 位置反.如果数据还没传输完,就开始下一轮的循环.

第二次循环的区别在于 plink 这时候已经有值了,所以这次 969 行 uhci_alloc_td 会被执行,这次就将申请一个 td.然后让 plink 里边的内容赋为这个 td 的 dma 地址,这样就把这个 td 和之前的 td 给连接了起来.而其它的事情则和第一次循环的时候一样.

不过网友”善解人衣”问了这么一个问题,这里貌似有两个队列呀,一个是 td->list,一个是 td->link,这是什么原因?我们看到 struct uhci_td 中,一个是__le32 link,一个是 struct

list_head list,后者就是一个经典的队列头,而前者是一个链接指针,实际上它们构成了两个队列,或者说两个链表,前者使用的物理地址,后者使用的是虚拟地址.因为 USB 主机控制器显然不认识虚拟地址,关于物理地址和虚拟地址,主机控制器的心声是我的心里只有你没有她.所以我们要让 USB 主机控制器能够顺着各个 TD 来执行,就得为它准备一个物理地址链接起来的队列,但是同时,从软件角度来说,要保证 CPU 能够访问各个 TD,则又必须以虚拟地址的方式组建一个队列,从而使得 CPU 可以对 uhci_td 数据结构进行常规的队列操作.所以,在我们的故事中出现了两个队列. uhci_submit_common 函数结束后,各个 td 就组成了一个 qh.

这个循环结束之后,主机控制器的驱动的工作就算是完成了,我们知道处理器的基本职责是取指令和执行指令,类似的,uhci 主机控制器的基本职责就是取 TD 和执行 TD,这里因为 TD 也建好了,也连入该连接的地方了,剩下的具体执行就是硬件的事情了.你尽管放心,如果硬件连这点事情都做不好,那么我们复旦大学微电子系那个所谓的专用集成电路与系统国家重点实验室就可以关闭了.

其实这个建立 TD 队列的过程是很简单的,反反复复的就是在调用这三个函数 uhci_alloc_td, uhci_add_td_to_urbp,uhci_fill_td.其意图很明显,基本上就是三步走,申请 td,将其加入大部队,填充好.其中每一次调用了 uhci_alloc_td 之后都要判断是否申请成功,如果不成功就直接 goto nomem.正如我们曾经说过的,内存对设备驱动的重要性就好比房子对我们谈婚论嫁的重要性,这年头,女孩子找对象的基本要求是,有车有房,父母双亡,床上豺狼,床下绵羊.都说婚姻是爱情的坟墓,可是如果没有房子,你连坟墓都进不去!

然后还有一些细节的工作.994 行,判断 urb 的另一个 transfer_flags,URB_ZERO_PACKET 是否设置了,如果设置了,并且传输方向是输出,而且 len 等于 0,并且需要传输的数据长度是大于 0 的,(这说明最初 len 并不是 0,而现在是 0,即说明 transfer_buffer_length 的长度恰好等于整数个 maxsze.)这个 flag 的含义是这个传输最后需要有一个零长度的包.对于这种情况,没啥好说的,申请一个 td,连接好,填充好,然后把 toggle 位置反,就 ok 了.

1018 行,设置 status 的 bit24.这一位被称为 Interrupt on Complete(IOC).这一位如果为 1,则表示主机控制器会在这个 TD 执行的 frame 结束的时候触发中断.当初咱们在 uhci_submit_control 中也给状态阶段的 TD 设置了这一位.

再接下来的这一小段代码基本上就是处理那个 dummy_td.当年咱们在 uhci_alloc_qh 中曾经刻意为 qh->dummy_td 给申请了空间.这个 td 是用来结束一个队列的,或者说它表征队列的结束.

这里结束之后,这个函数就结束了,返回 0.只有刚才申请 td 的时候失败了才会跳到下面去执行 uhci_remove_td_from_urbp(),把 dummy_td 从 td_list 中删除.这个函数也是粉简单的,来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
151 static void uhci_remove_td_from_urbp(struct uhci_td *td)
152 {
153             list_del_init(&td->list);
154 }
```

然后,uhci_submit_common 结束之后我们回到 uhci_submit_bulk,并进而回到 uhci_urb_enqueue 中,而剩下的代码和控制传输就一样了,无需多说.这样,传说中的 Bulk 传输就这么被我们轻松搞定了.同样,在数据真的执行完之后,urb 的 complete 函数会被执行,控制权会转移给设备驱动去.

这一切听上去都很完美,似乎天衣无缝,可问题是,不管是之前说的控制传输还是现在说的 Bulk 传输,urb->complete 究竟是被谁调用的?前面在讲 Root Hub 的时候咱们看到了 usb_hcd_giveback_urb 被调用,而它会调用 urb->complete.那么对于非 Root hub 呢?

还记得咱们注册了中断函数吧?中断函数不会吃闲饭,咱们为控制传输和 Bulk 传输中的最后一个 TD 设置了 IOC,于是该 TD 完成之后的那个 Frame 结束时分,主机控制器会向 CPU 发送中断,于是中断函数会被调用.

传说中的中断服务程序(ISR)

想当年咱们在 usb_add_hcd 中使用 request_irq 注册了中断函数,写代码的人做每件事情都是费尽心机的,为了达到目的不择手段,他们绝不是雷锋,他们每做一件事情都是有着极强的功利心态的,每注册一个函数都是为了日后能够利用该函数,当初注册了 usb_hcd_irq,这会儿就该调用这个函数了.这个函数来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
1422 /**
1423  * usb_hcd_irq - hook IRQs to HCD framework (bus glue)
1424  * @irq: the IRQ being raised
1425  * @__hcd: pointer to the HCD whose IRQ is being signaled
1426  * @r: saved hardware registers
1427  *
1428  * If the controller isn't HALTed, calls the driver's irq handler.
1429  * Checks whether the controller is now dead.
1430  */
1431 irqreturn_t usb_hcd_irq (int irq, void *__hcd)
1432 {
1433         struct usb_hcd          *hcd = __hcd;
1434         int                     start = hcd->state;
1435
1436         if (unlikely(start == HC_STATE_HALT ||
1437             !test_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags)))
1438                 return IRQ_NONE;
1439         if (hcd->driver->irq (hcd) == IRQ_NONE)
1440                 return IRQ_NONE;
1441
1442         set_bit(HCD_FLAG_SAW_IRQ, &hcd->flags);
1443
1444         if (unlikely(hcd->state == HC_STATE_HALT))
```

```
1445                    usb_hc_died (hcd);
1446            return IRQ_HANDLED;
1447 }
```

对于 uhci 来说,driver->irq 就是 uhci_irq()函数.来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
 377 static irqreturn_t uhci_irq(struct usb_hcd *hcd)
 378 {
 379         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
 380         unsigned short status;
 381         unsigned long flags;
 382
 383         /*
 384          * Read the interrupt status, and write it back to clear the
 385          * interrupt cause.   Contrary to the UHCI specification, the
 386          * "HC Halted" status bit is persistent: it is RO, not R/WC.
 387          */
 388         status = inw(uhci->io_addr + USBSTS);
 389         if (!(status & ~USBSTS_HCH))      /* shared interrupt, not mine */
 390                 return IRQ_NONE;
 391         outw(status, uhci->io_addr + USBSTS);               /* Clear it */
 392
 393         if (status & ~(USBSTS_USBINT | USBSTS_ERROR | USBSTS_RD))
{
 394                 if (status & USBSTS_HSE)
 395                         dev_err(uhci_dev(uhci), "host system error, "
 396                                         "PCI problems?\n");
 397                 if (status & USBSTS_HCPE)
 398                         dev_err(uhci_dev(uhci), "host controller process "
 399                                         "error, something bad
happened!\n");
 400                 if (status & USBSTS_HCH) {
 401                         spin_lock_irqsave(&uhci->lock, flags);
 402                         if (uhci->rh_state >= UHCI_RH_RUNNING) {
 403                                 dev_err(uhci_dev(uhci),
 404                                         "host controller halted, "
 405                                         "very bad!\n");
 406                                 if (debug > 1 && errbuf) {
 407                                         /* Print the schedule for
debugging */
 408                                         uhci_sprint_schedule(uhci,
 409                                                         errbuf,
ERRBUF_LEN);
 410                                         lprintk(errbuf);
 411                                 }
```

```
412                                     uhci_hc_died(uhci);
413
414                                     /* Force a callback in case there are
415                                      * pending unlinks */
416                                     mod_timer(&hcd->rh_timer, jiffies);
417                             }
418                             spin_unlock_irqrestore(&uhci->lock, flags);
419                     }
420             }
421
422             if (status & USBSTS_RD)
423                     usb_hcd_poll_rh_status(hcd);
424             else {
425                     spin_lock_irqsave(&uhci->lock, flags);
426                     uhci_scan_schedule(uhci);
427                     spin_unlock_irqrestore(&uhci->lock, flags);
428             }
429
430             return IRQ_HANDLED;
431 }
```

USBSTS 就是 UHCI 的状态寄存器,而 USBSTS_USBINT 标志状态寄存器的 bit0,按照 UHCI spec 的规定,bit0 对应于 IOC.USBSTS_ERROR 对应于 bit 1,这一位如果为 1,表示传输出现了错误,USBSTS_RD 则对应于 bit2,RD 就是 Resume Detect 的意思,主机控制器在收到”RESUME”的信号的时候会把这一位设置为 1.所以我们很快就知道我们应该关注的就是 426 这么一行代码,即 uhci_scan_schedule 这个最熟悉的陌生人.

当我们再一次踏入 uhci_scan_schedule 的时候,曾经那段被我们飘过的 while 循环现在就不得不面对了.uhci_advance_check 会被调用,它来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
1626 /*
1627  * Check for queues that have made some forward progress.
1628  * Returns 0 if the queue is not Isochronous, is ACTIVE, and
1629  * has not advanced since last examined; 1 otherwise.
1630  *
1631  * Early Intel controllers have a bug which causes qh->element sometimes
1632  * not to advance when a TD completes successfully.  The queue remains
1633  * stuck on the inactive completed TD.  We detect such cases and
advance
1634  * the element pointer by hand.
1635  */
1636 static int uhci_advance_check(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
1637 {
1638         struct urb_priv *urbp = NULL;
1639         struct uhci_td *td;
```

```
1640        int ret = 1;
1641        unsigned status;
1642
1643        if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_ISOC)
1644                goto done;
1645
1646        /* Treat an UNLINKING queue as though it hasn't advanced.
1647         * This is okay because reactivation will treat it as though
1648         * it has advanced, and if it is going to become IDLE then
1649         * this doesn't matter anyway.  Furthermore it's possible
1650         * for an UNLINKING queue not to have any URBs at all, or
1651         * for its first URB not to have any TDs (if it was dequeued
1652         * just as it completed).  So it's not easy in any case to
1653         * test whether such queues have advanced. */
1654        if (qh->state != QH_STATE_ACTIVE) {
1655                urbp = NULL;
1656                status = 0;
1657
1658        } else {
1659                urbp = list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node);
1660                td = list_entry(urbp->td_list.next, struct uhci_td, list);
1661                status = td_status(td);
1662                if (!(status & TD_CTRL_ACTIVE)) {
1663
1664                        /* We're okay, the queue has advanced */
1665                        qh->wait_expired = 0;
1666                        qh->advance_jiffies = jiffies;
1667                        goto done;
1668                }
1669                ret = 0;
1670        }
1671
1672        /* The queue hasn't advanced; check for timeout */
1673        if (qh->wait_expired)
1674                goto done;
1675
1676        if (time_after(jiffies, qh->advance_jiffies + QH_WAIT_TIMEOUT))
{
1677
1678                /* Detect the Intel bug and work around it */
1679                if (qh->post_td && qh_element(qh) ==
LINK_TO_TD(qh->post_td)) {
1680                        qh->element = qh->post_td->link;
1681                        qh->advance_jiffies = jiffies;
```

```
1682                        ret = 1;
1683                        goto done;
1684                }
1685
1686                qh->wait_expired = 1;
1687
1688                /* If the current URB wants FSBR, unlink it temporarily
1689                 * so that we can safely set the next TD to interrupt on
1690                 * completion.  That way we'll know as soon as the queue
1691                 * starts moving again. */
1692                if (urbp && urbp->fsbr && !(status & TD_CTRL_IOC))
1693                        uhci_unlink_qh(uhci, qh);
1694
1695        } else {
1696                /* Unmoving but not-yet-expired queues keep FSBR alive
*/
1697                if (urbp)
1698                        uhci_urbp_wants_fsbr(uhci, urbp);
1699        }
1700
1701 done:
1702        return ret;
1703 }
```

从 urbp 中的 td_list 里面取出一个 td,读取它的状态,我们最初是设置了 TD_CTRL_ACTIVE,如果一个 td 被执行完了,主机控制器会把它的 TD_CTRL_ACTIVE 给取消掉.所以这里 1662 行判断,如果已经没有了 TD_CTRL_ACTIVE,说明这个 TD 已经被执行完了,于是咱们执行 goto 语句跳出去,从而 uhci_advance_check 函数就返回了,对于这种情况,返回值为 1.uhci_advance_check 顾名思义,就是检查咱们的队列有没有前进,如果一个 TD 从 ACTIVE 变成了非 ACTIVE,这就说明队列前进了,因为主机控制器只有执行完一个 TD 才会把一个 TD 的 ACTIVE 取消,然后它就会前进去获取下一个 QH 或者 TD.

而如果 uhci_advance_check 返回了 1,那么接下来 uhci_scan_qh 会被调用,它来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
1536 static void uhci_scan_qh(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
1537 {
1538        struct urb_priv *urbp;
1539        struct urb *urb;
1540        int status;
1541
1542        while (!list_empty(&qh->queue)) {
1543                urbp = list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node);
1544                urb = urbp->urb;
1545
```

```
1546                    if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_ISOC)
1547                            status = uhci_result_isochronous(uhci, urb);
1548                    else
1549                            status = uhci_result_common(uhci, urb);
1550                    if (status == -EINPROGRESS)
1551                            break;
1552
1553                    spin_lock(&urb->lock);
1554                    if (urb->status == -EINPROGRESS)         /* Not
dequeued */
1555                            urb->status = status;
1556                    else
1557                            status = ECONNRESET;             /* Not
-ECONNRESET */
1558                    spin_unlock(&urb->lock);
1559
1560                    /* Dequeued but completed URBs can't be given back
unless
1561                     * the QH is stopped or has finished unlinking. */
1562                    if (status == ECONNRESET) {
1563                            if (QH_FINISHED_UNLINKING(qh))
1564                                    qh->is_stopped = 1;
1565                            else if (!qh->is_stopped)
1566                                    return;
1567                    }
1568
1569                    uhci_giveback_urb(uhci, qh, urb);
1570                    if (status < 0 && qh->type !=
USB_ENDPOINT_XFER_ISOC)
1571                            break;
1572            }
1573
1574            /* If the QH is neither stopped nor finished unlinking (normal
case),
1575             * our work here is done. */
1576            if (QH_FINISHED_UNLINKING(qh))
1577                    qh->is_stopped = 1;
1578            else if (!qh->is_stopped)
1579                    return;
1580
1581            /* Otherwise give back each of the dequeued URBs */
1582 restart:
1583            list_for_each_entry(urbp, &qh->queue, node) {
1584                    urb = urbp->urb;
```

```
1585                if (urb->status != -EINPROGRESS) {
1586
1587                        /* Fix up the TD links and save the toggles for
1588                         * non-Isochronous queues.  For Isochronous
queues,
1589                         * test for too-recent dequeues. */
1590                        if (!uhci_cleanup_queue(uhci, qh, urb)) {
1591                                qh->is_stopped = 0;
1592                                return;
1593                        }
1594                        uhci_giveback_urb(uhci, qh, urb);
1595                        goto restart;
1596                }
1597        }
1598        qh->is_stopped = 0;
1599
1600        /* There are no more dequeued URBs.  If there are still URBs on
the
1601         * queue, the QH can now be re-activated. */
1602        if (!list_empty(&qh->queue)) {
1603                if (qh->needs_fixup)
1604                        uhci_fixup_toggles(qh, 0);
1605
1606                /* If the first URB on the queue wants FSBR but its time
1607                 * limit has expired, set the next TD to interrupt on
1608                 * completion before reactivating the QH. */
1609                urbp = list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node);
1610                if (urbp->fsbr && qh->wait_expired) {
1611                        struct uhci_td *td = list_entry(urbp->td_list.next,
1612                                                struct uhci_td, list);
1613
1614                        td->status |= __cpu_to_le32(TD_CTRL_IOC);
1615                }
1616
1617                uhci_activate_qh(uhci, qh);
1618        }
1619
1620        /* The queue is empty.  The QH can become idle if it is fully
1621         * unlinked. */
1622        else if (QH_FINISHED_UNLINKING(qh))
1623                uhci_make_qh_idle(uhci, qh);
1624 }
```

可以看到,不管是控制传输还是 Bulk 传输,下一个被调用的函数都是 uhci_result_common(),来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
1148 /*
1149  * Common result for control, bulk, and interrupt
1150  */
1151 static int uhci_result_common(struct uhci_hcd *uhci, struct urb *urb)
1152 {
1153         struct urb_priv *urbp = urb->hcpriv;
1154         struct uhci_qh *qh = urbp->qh;
1155         struct uhci_td *td, *tmp;
1156         unsigned status;
1157         int ret = 0;
1158
1159         list_for_each_entry_safe(td, tmp, &urbp->td_list, list) {
1160                 unsigned int ctrlstat;
1161                 int len;
1162
1163                 ctrlstat = td_status(td);
1164                 status = uhci_status_bits(ctrlstat);
1165                 if (status & TD_CTRL_ACTIVE)
1166                         return -EINPROGRESS;
1167
1168                 len = uhci_actual_length(ctrlstat);
1169                 urb->actual_length += len;
1170
1171                 if (status) {
1172                         ret = uhci_map_status(status,
1173                                         uhci_packetout(td_token(td)));
1174                         if ((debug == 1 && ret != -EPIPE) || debug > 1) {
1175                                 /* Some debugging code */
1176                                 dev_dbg(&urb->dev->dev,
1177                                                 "%s: failed with status
%x\n",
1178                                                 __FUNCTION__, status);
1179
1180                                 if (debug > 1 && errbuf) {
1181                                         /* Print the chain for debugging */
1182                                         uhci_show_qh(uhci, urbp->qh,
errbuf,
1183                                                         ERRBUF_LEN, 0);
1184                                         lprintk(errbuf);
1185                                 }
1186                         }
```

```
1187
1188                    } else if (len < uhci_expected_length(td_token(td))) {
1189
1190                            /* We received a short packet */
1191                            if (urb->transfer_flags & URB_SHORT_NOT_OK)
1192                                    ret = -EREMOTEIO;
1193
1194                            /* Fixup needed only if this isn't the URB's last TD
*/
1195                            else if (&td->list != urbp->td_list.prev)
1196                                    ret = 1;
1197                    }
1198
1199                    uhci_remove_td_from_urbp(td);
1200                    if (qh->post_td)
1201                            uhci_free_td(uhci, qh->post_td);
1202                    qh->post_td = td;
1203
1204                    if (ret != 0)
1205                            goto err;
1206            }
1207            return ret;
1208
1209 err:
1210            if (ret < 0) {
1211                    /* In case a control transfer gets an error
1212                     * during the setup stage */
1213                    urb->actual_length = max(urb->actual_length, 0);
1214
1215                    /* Note that the queue has stopped and save
1216                     * the next toggle value */
1217                    qh->element = UHCI_PTR_TERM;
1218                    qh->is_stopped = 1;
1219                    qh->needs_fixup = (qh->type !=
USB_ENDPOINT_XFER_CONTROL);
1220                    qh->initial_toggle = uhci_toggle(td_token(td)) ^
1221                                    (ret == -EREMOTEIO);
1222
1223            } else          /* Short packet received */
1224                    ret = uhci_fixup_short_transfer(uhci, qh, urbp);
1225            return ret;
1226 }
```

首先 list_for_each_entry_safe 就相当于传说中的 list_for_each_entry,只不过戴了一个安全套而已,其作用都是遍历 urbp 的 td_list,一个一个 td 的处理.

1163 行,td_status 是一个很简单的宏,来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
258 /*
259  * We need a special accessor for the control/status word because it is
260  * subject to asynchronous updates by the controller.
261  */
262 static inline u32 td_status(struct uhci_td *td) {
263         __le32 status = td->status;
264
265         barrier();
266         return le32_to_cpu(status);
267 }
```

其实就是获取 struct uhci_td 结构体指针的 status 成员.

而 uhci_status_bits 亦是来自同一个文件中的宏:

```
204 #define uhci_status_bits(ctrl_sts)      ((ctrl_sts) & 0xF60000)
```

要看懂这个宏需要参考下面这幅图:

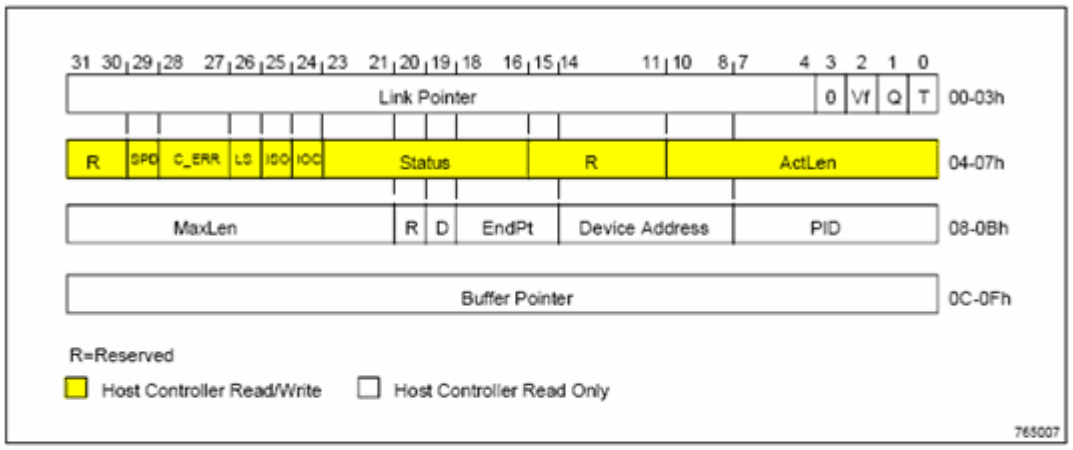


Figure 7. Generic Form of Transfer Descriptor (TD)

这就是 UHCI spec 中对 TD 的结构体的定义,我们注意到它有四个 DWORD,而咱们的 uhci_td 中的成员 status 实际上指的是这里的 04-07h 这整个双字,而我们注意到这幅图中 04-07h 这个双字中,bit16 到 bit23 那一段被称为 Status,即这几位表示的是状态,uhci_status_bits 则是为了获得这几个 bits,把 ctrl_sts 和 0xF60000 相与得到的是 bit17 到 bit23,因为 UHCI spec 中规定了 bit16 是保留位,没啥意义.

这其中,bit 23 被称为 Active,其实它就是我们一直说的那个 TD_CTRL_ACTIVE.如果这一位还设置了那么就说明这个 TD 还是活的,那么就不去碰它.如果没有设置,那么继续往下走.

下一个宏是,uhci_actual_length,依然是来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
205 #define uhci_actual_length(ctrl_sts)    (((ctrl_sts) + 1) & \
206                                         TD_CTRL_ACTLEN_MASK)    /* 1-based */
```

这里 TD_CTRL_ACTLEN_MASK 是 0x7FF,我们注意到 TD 的定义中,04-07h 中,bit0 到 bit10 这么个 11 个 bits 被称之为 ActLen,这个 field 是由主机控制器来写的,表示实际传输了多少个 bytes,它被以 n-1 的方式进行了编码,所以这里咱们解码就要加 1.然后咱们在 usb-storage 那个故事中看到的 urb->actual_length 就是这么计算出来的,即每次处理一个 TD 就加上 len.顺便提一下,我们注意到在 uhci_submit_control 中我们设置了 urb->actual_length 为-8,实际上写代码的哥们儿真实意图是希望用 urb->actual_length 小于 0 来表示控制传输的 setup 阶段没能取得成功,至于它具体是负多少并不重要,取为负 8 只是图个吉利.

如果一切正常的话,status 实际上应该是 0.不为 0 就表示出错了.1171 这一段就是为错误打印一些调试信息.咱们就不看了.

1188,如果虽然没有啥异常状态,但是 len 比期望值要小,那么首先判断是不是在 urb 的 transfer_flags 中设置了 URB_SHORT_NOT_OK,如果设置了,那就返回汇报错误.如果没有设置,继续判断,看看这个 td 是不是咱们整个队伍中最后一个 td,如果不是,那么就有问题,设置返回值为 1.

1199 行,既然 td 完成了使命,那么我们就可以过河拆桥卸磨杀驴了.

1200 行,qh->post_td 咱们第一次见,它当然是空的.如果不为空就调用 uhci_free_td 来释放它.struct uhci_qh 结构体中的成员 post_td 是用来纪录刚刚完成了的那个 td.它的赋值恰恰就是在 1202 这一行,即令 qh->post_td 等于现在这个 td,因为这个 td 就是刚刚完成的 td.

正常的话,应该返回 0.如果不正常,那就跳到 1209 下面去.

如果 ret 小于 0,则需要对 qh 的一些成员进行赋值.

如果 ret 不小于 0,实际上就是对应于刚才那个 ret 为 1 的情况,即传输长度小于预期长度,这种情况就调用 uhci_fixup_short_transfer() 这个专门为此而设计的函数.来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
1101 /*
1102  * Fix up the data structures following a short transfer
```

```
 1103  */
 1104 static int uhci_fixup_short_transfer(struct uhci_hcd *uhci,
 1105                 struct uhci_qh *qh, struct urb_priv *urbp)
 1106 {
 1107         struct uhci_td *td;
 1108         struct list_head *tmp;
 1109         int ret;
 1110
 1111         td = list_entry(urbp->td_list.prev, struct uhci_td, list);
 1112         if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_CONTROL) {
 1113
 1114                 /* When a control transfer is short, we have to restart
 1115                  * the queue at the status stage transaction, which is
 1116                  * the last TD. */
 1117                 WARN_ON(list_empty(&urbp->td_list));
 1118                 qh->element = LINK_TO_TD(td);
 1119                 tmp = td->list.prev;
 1120                 ret = -EINPROGRESS;
 1121
 1122         } else {
 1123
 1124                 /* When a bulk/interrupt transfer is short, we have to
 1125                  * fix up the toggles of the following URBs on the queue
 1126                  * before restarting the queue at the next URB. */
 1127                 qh->initial_toggle = uhci_toggle(td_token(qh->post_td))
^ 1;
 1128                 uhci_fixup_toggles(qh, 1);
 1129
 1130                 if (list_empty(&urbp->td_list))
 1131                         td = qh->post_td;
 1132                 qh->element = td->link;
 1133                 tmp = urbp->td_list.prev;
 1134                 ret = 0;
 1135         }
 1136
 1137         /* Remove all the TDs we skipped over, from tmp back to the start
*/
 1138         while (tmp != &urbp->td_list) {
 1139                 td = list_entry(tmp, struct uhci_td, list);
 1140                 tmp = tmp->prev;
 1141
 1142                 uhci_remove_td_from_urbp(td);
 1143                 uhci_free_td(uhci, td);
 1144         }
```

```
1145            return ret;
1146 }
```

这里对于控制传输和对于 Bulk 传输有着不同的处理方法.

如果是控制传输,那么令 tmp 等于本 urb 的 td_list 中的倒数第二个 td,然后一个一个往前走,见一个删一个.并且把 ret 设置为-EINPROGRESS 然后返回 ret,这样做的后果就是留下了最后一个 td,而其它的 td 统统撤了.而对于控制传输,我们知道其最后一个 td 就是状态阶段的 td.

而对于 Bulk 传输或者中断传输,咱们的做法是从最后一个 td 开始往前走,全都给删除掉.uhci_fixup_toggles()来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
373 /*
374  * Fix up the data toggles for URBs in a queue, when one of them
375  * terminates early (short transfer, error, or dequeued).
376  */
377 static void uhci_fixup_toggles(struct uhci_qh *qh, int skip_first)
378 {
379         struct urb_priv *urbp = NULL;
380         struct uhci_td *td;
381         unsigned int toggle = qh->initial_toggle;
382         unsigned int pipe;
383
384         /* Fixups for a short transfer start with the second URB in the
385          * queue (the short URB is the first). */
386         if (skip_first)
387                 urbp = list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node);
388
389         /* When starting with the first URB, if the QH element pointer is
390          * still valid then we know the URB's toggles are okay. */
391         else if (qh_element(qh) != UHCI_PTR_TERM)
392                 toggle = 2;
393
394         /* Fix up the toggle for the URBs in the queue.   Normally this
395          * loop won't run more than once: When an error or short transfer
396          * occurs, the queue usually gets emptied. */
397         urbp = list_prepare_entry(urbp, &qh->queue, node);
398         list_for_each_entry_continue(urbp, &qh->queue, node) {
399
400                 /* If the first TD has the right toggle value, we don't
401                  * need to change any toggles in this URB */
402                 td = list_entry(urbp->td_list.next, struct uhci_td, list);
403                 if (toggle > 1 || uhci_toggle(td_token(td)) == toggle) {
404                         td = list_entry(urbp->td_list.prev, struct uhci_td,
405                                         list);
```

```
406                             toggle = uhci_toggle(td_token(td)) ^ 1;
407
408                     /* Otherwise all the toggles in the URB have to be switched
*/
409                     } else {
410                             list_for_each_entry(td, &urbp->td_list, list) {
411                                     td->token ^= __constant_cpu_to_le32(
412
TD_TOKEN_TOGGLE);
413                                     toggle ^= 1;
414                             }
415                     }
416             }
417
418             wmb();
419             pipe = list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv,
node)->urb->pipe;
420             usb_settoggle(qh->udev, usb_pipeendpoint(pipe),
421                             usb_pipeout(pipe), toggle);
422             qh->needs_fixup = 0;
423 }
```

哇赛,这一段美妙的队列操作,足以让我等菜鸟们看得眼花缭乱头晕目眩了.

看这个函数之前,注意两点:

第一,在调用 uhci_fixup_toggles 之前的那句话,qh->initial_toggle 被赋了值,而且还就是 post_td 的 toggle 位取反.

第二,咱们传递进来的第二个参数是 1.即 skip_first 是 1.因此 387 行会被执行,即 urbp 是 qh 的 queue 队列中的第二个.因为第一个必然是刚才处理的那个,即那个出现短包问题的 urb.

然后 397,398 行从第二个 urbp 开始遍历 qh 的 queue 队列.首先是获得 urbp 里的第一个 td. 注意到 toggle 要么为 1 要么为 0.(除非 skip_first 为 0,咱们执行了 392 行,那么 toggle 将等于 2.但至少此情此景咱们没有走那条路.)如果这个 td 的 toggle 位和 qh->initial_toggle 相同,即它和那个 post_td 的 toggle 相反,那么 td 是正确的.咱们不用担心了.直接让 td 走到 td_list 的最后一个元素去.然后把 toggle 置为反.

反之如果 td 的 toggle 和 qh->initial_toggle 不相同,即它和之前那个 post_td 的 toggle 相同, 那么说明整个 URB 中的所有的 TD 的 toggle 位都反了,都得翻一次.

最后调用 usb_settoggle 来设置一次.

最后设置 qh->needs_fixup 为 0.

显然,这么说谁都会,关键是得理解,也许现在是时候去理解理解 USB 世界里的同步问题了.USB spec 中是为了实现同步,定义了 Data0 和 Data1 这两种序列位,如果发送者要发送多个包给接收者,则给每个包编上号,让 Data0 和 Data1 间隔着发送出去.发送方和接受方都维护着一张绪列位,在一次传输开始之前,发送方和接受方的这个序列位必须同步,或者说相同.即要么同为 Data0,要么同为 Data1.这种机制称之为 Data Toggle Synchronization.举例来说,假设一开始双方都是 Data0,当接收方成功的接收到了一个包它会把自己的同步位翻转,即所谓的 toggle,即它变成了 Data1,然后它会发送一个 ACK 给发送方,告诉对方,俺成功的接收到了你的包,而发送方在接收到这个 ACK 之后,也会翻转自己的同步位,于是也跟着变成了 Data1.下一个包也是一样的做法.所以我们看到 uhci_submit_common()函数中没填充一个 td,就翻转一次 toggle 位,即 984 行那个"toggle^=1".同样我们在 uhci_submit_control()中也能看到对于 toggle 的处理.我们回过头去看 uhci_submit_control ()中 879 行,来看一下我们是如何为控制传输设置 toggle 位的.

首先是 Setup 阶段,啥也没做,就让 toggle 位为 0.(A SETUP always uses a DATA0 PID for the data field of the SETUP transaction.— usb spec 2.0, 8.5.3)

其次是数据阶段,在填充每一个 td 之前翻转 toggle 位.即 850 行那个 destination^=TD_TOKEN_TOGGLE,第一次翻转之后 toggle 位是 Data1.

然后是状态阶段,879 行,我们为状态阶段的 toggle 位设置为 Data1,这也不是凭一种男人的直觉来设置的,而是依据 usb spec 中规定的来设置的.(A Status stage is delineated by a change in direction of data flow from theprevious stage and always uses a DATA1 PID.-- usb spec 2.0, 8.5.3)

网友"易中天品三围"问我,那么为何在 uhci_submit_common 中调用了 usb_gettoggle()和 usb_settoggle,而 uhci_submit_control 中没有调用呢?在回答这个问题之前我倒是先问一下这位网友,易中天老师的下一本书是否该叫做"易中天品三点"了?早在 usb-storage 中我们就介绍过 usb_settoggle 这个函数,当时我们说了,struct usb_device 这个结构体有这么一个成员 toggle[],

```
   336 struct usb_device {
   337         int             devnum;          /* Address on USB bus */
   338         char            devpath [16];    /* Use in messages: /port/port/...
*/
   339         enum usb_device_state   state;   /* configured, not attached, etc
*/
   340         enum usb_device_speed   speed;   /* high/full/low (or error) */
   341
   342         struct usb_tt   *tt;             /* low/full speed dev, highspeed
hub */
   343         int             ttport;          /* device port on that tt hub */
   344
   345         unsigned int toggle[2];          /* one bit for each endpoint
   346                                           * ([0] = IN, [1] = OUT) */
   347
```

这个 toggle 数组第一个元素是针对 IN 类型的 endpoint 的,第二个元素是针对 OUT 类型的 endpoint 的,每个 endpoint 都在这张表里占有一个 bit.于是咱们就可以用它来记录 endpoint 的 toggle,以保证传输的同步,但是,实际上在我们这个故事里,真正使用这个数组的只有两种端点,即 Bulk 端点和中断端点,另外两种端点并不需要这个数组,首先,等时端点是不需要使用 toggle bits 来进行同步的,这是 usb spec 中规定的,Data Toggle 同步对等时传输没有意义.其次,控制传输的 toggle 位我们上面说了,其 Setup 阶段总是 Data0,数据阶段总是从 Data1 开始,Status 阶段总是 Data1.usb spec 已经为控制传输规定好了,你不得不遵守它,所以就没有必要另外使用这么一个数组来记录端点的 toggle 位了.这就是为什么操作这个 toggle 数组的两个函数 usb_gettoggle/usb_settoggle 不会出现在提交控制 urb 的函数 uhci_submit_control 中.而对于 Bulk 传输和中断传输,恰恰是因为每次在设置好一个 urb 的各个 td 之后调用了 usb_settoggle 来设置了这个 toggle,下一次为新的 urb 的第一个 td 设置 toggle 位的时候才可以直接调用 usb_gettoggle.这样就保证了前一个 urb 的 td 的 toggle 位和后一个 urb 的 td 的 toggle 位刚好相反,即所谓的交叉顺序,这样就保证了和设备内部的 toggle 位相同步.

了解了这些 toggle 位的设置之后,再来看我们的这段代码,来看一下这个 uhci_fixup_toggles 究竟是怎么个 fixup 的.根据我们前面看到的对 qh->initial_toggle 的赋值可以知道,initial_toggle 实际上就是接收到 short 包的那个 td 的 toggle 位取反,即 post_td 的 toggle 取反,(函数 uhci_fixup_short_transfer 中 1127 行),而 403 行咱们所比较的就是第二个 urb 的第一个 td 的 token 是否和现在这个一样,如果不一样,我们就把该 urb 的所有的 td 都给翻转一下,如果一样,则说明没有问题,但无论哪种情况,我们都要记录 toggle 本身,因为我们注意到在 420 行,我们最后还调用了 usb_settoggle 来设置了该管道的 toggle 位的.那么如何理解这个一样就说明没有问题呢?我们知道,主机控制器处理的 TD 总是 QH 中的第一个 TD,当然其所属的 urb 也一定是 QH 的第一个 urb,而且该 TD 的 toggle 位是和端点相同步的,假设它们之前都是 Data0,那么现在该 TD 结束之后,端点那边的 toggle 位就该变成了 Data1.另一方面,根据 uhci spec,我们知道,如果一个 urb 的 TD 被检测到了短包,则该 urb 的剩下的 TD 就不会被处理了,而下一个 urb 的第一个 TD 的 toggle 得和现在这个 urb 的这个被处理的 TD 的 toggle 相反就说明它的 toggle 位也是 Data1.即它是和端点相同步的.这样我们就可以理直气壮的重新开启下一个 urb.反之,如果第一个 TD 和端点的 toggle 位相反,就把整个队列的所有的 TD 都给反一下,这个工程不可谓不浩大,但是没有办法,谁叫设备不争气发送出这种短包来呢,这就叫成长的代价.

另外提一下,和 uhci_submit_common() 函数一样,我们也可以理解为什么在 uhci_fixup_toggles 最后,即 420 行,我们会再次调用 usb_settoggle 了.我们注意一下,403 至 415 这一段,toggle 的两种赋值,第一种,由于整个队伍是出于正确的同步状况,所以不用改任何一个 td 的 toggle 位,404 行直接让 td 等于本 urb 队列中的最后一个 td,然后 toggle 是它的 toggle 位取反.而对于整个队伍都得翻转的情况,咱们看到 411 让每一个 td 进行翻转,而 413 行 toggle 也跟着一次次的翻转,以保证 toggle 最终等于最后一个 td 的 toggle 位的翻转.

最后我们再来看一下 TD_CTRL_SPD 这个 flag 的使用.这个 flag 对应于 TD 那 4 个双字中的第二个双字中的 bit29,在 uhci spec 中关于这个 bit 是这么介绍的:

Short Packet Detect (SPD). 1=Enable. 0=Disable. When a packet has this bit set to 1 and the packet:
1. is an input packet;

2. is in a queue; and
3. successfully completes with an actual length less than the maximum length;
then the TD is marked inactive, the Queue Header is not updated and the USBINT status bit (Status Register) is set at the end of the frame. In addition, if the interrupt is enabled, the interrupt will be sent at the end of the frame.
Note that any error (e.g., babble or FIFO error) prevents the short packet from being reported. The behavior is undefined when this bit is set with output packets or packets outside of queues.

所以,对于 IN 方向的数据包,如果设置了这个 flag,那么再主机控制器读到一个短包之后,它就会触发中断.因此我们注意到 uhci_submit_common 函数中,951 行和 952 行,就对 IN 管道设置了这个 flag.即对于接下来的每一个数据包,我们都会检测一下看是否收到了短包,是的话就及时发送中断向上级汇报.而我们注意到965行我们又取消掉这个flag了,因为这是最后一个包,最后一个包当然是有可能是短包的.同样,在 uhci_submit_control 中也是如法炮制,835 行设置了 TD_CTRL_SPD,即保证数据阶段能够准确的汇报险情,而 881 行又取消掉,因为这已经是状态阶段了,最后一个包当然是允许短包的.

最后我们注意到,uhci_fixup_toggles 最后一行我们设置了 qh->needs_fixup 为 0.稍后我们会看到对这个变量是否为 0 的判断.目前我们这个上下文当然就是 0.

回到 uhci_fixup_short_transfer 来,一个需要解释的问题是,为何我们要设置 qh->element,正如上面我们从 uhci spec 中摘取过来的那段对 SPD 的解释中所说的,当遇到短包的时候,qh 不会被 update,这也是为什么一个 TD 出现了短包下一个 TD 就不会被执行的原因.所以这里咱们就需要手工的 update 这个 qh.对于控制传输,qh 的 element 指向了状态传输的那个 td,因为我们要让状态阶段重新执行一次,就算是短包也得汇报一下,所以最后返回的是-EINPROGRESS,而对于 Bulk/中断传输, td 是本 urbp 的 td_list 中最后一个 td(看 1111 行的赋值),而 element 指向了的该 td 的 link 指针,也就是指向了下一个 urb.所以最后返回的是 0.

到这里我们就很清楚,uhci_fixup_short_transfer()中 1138 行 1144 这一段 while 循环的意义了.把那个有问题的 urb 的前面那些 td 统统给删掉,把内存也释放掉.

至此,我们结束了 uhci_fixup_short_transfer().因而,uhci_result_common 也就结束了.然们回到了 uhci_scan_qh 中,仍然在 qh 中按照 urb 一个一个的循环.如果 status 是-EINPROGRESS,则结束循环,继续执行该 urb.

没什么故障的话,urb->status 应该还是-EINPROGRESS,这是我们最初提交 urb 的时候设置的,没毛病的话不会改的.于是这里就设置 urb->status 为 status,这就是执行之后的结果.

最后 1569 行,既然 status 不是-EINPROGRESS,那么 uhci_giveback_urb 被调用.

```
1482 /*
1483  * Finish unlinking an URB and give it back
1484  */
1485 static void uhci_giveback_urb(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh,
```

```
1486                    struct urb *urb)
1487 __releases(uhci->lock)
1488 __acquires(uhci->lock)
1489 {
1490         struct urb_priv *urbp = (struct urb_priv *) urb->hcpriv;
1491
1492         /* When giving back the first URB in an Isochronous queue,
1493          * reinitialize the QH's iso-related members for the next URB. */
1494         if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_ISOC &&
1495                         urbp->node.prev == &qh->queue &&
1496                         urbp->node.next != &qh->queue) {
1497                 struct urb *nurb = list_entry(urbp->node.next,
1498                                 struct urb_priv, node)->urb;
1499
1500                 qh->iso_packet_desc = &nurb->iso_frame_desc[0];
1501                 qh->iso_frame = nurb->start_frame;
1502                 qh->iso_status = 0;
1503         }
1504
1505         /* Take the URB off the QH's queue.  If the queue is now empty,
1506          * this is a perfect time for a toggle fixup. */
1507         list_del_init(&urbp->node);
1508         if (list_empty(&qh->queue) && qh->needs_fixup) {
1509                 usb_settoggle(urb->dev, usb_pipeendpoint(urb->pipe),
1510                                 usb_pipeout(urb->pipe),
qh->initial_toggle);
1511                 qh->needs_fixup = 0;
1512         }
1513
1514         uhci_free_urb_priv(uhci, urbp);
1515
1516         spin_unlock(&uhci->lock);
1517         usb_hcd_giveback_urb(uhci_to_hcd(uhci), urb);
1518         spin_lock(&uhci->lock);
1519
1520         /* If the queue is now empty, we can unlink the QH and give up its
1521          * reserved bandwidth. */
1522         if (list_empty(&qh->queue)) {
1523                 uhci_unlink_qh(uhci, qh);
1524                 if (qh->bandwidth_reserved)
1525                         uhci_release_bandwidth(uhci, qh);
1526         }
1527 }
```

首先 1494 行这一段 if 是针对等时传输的,暂时飘过.

然后把这个 urbp 从 qh 的队伍中删除掉.如果队列因此就空了,并且 needs_fixup 设置为了 1. 那么咱们就调用 usb_settoggle.不过咱们这个上下文里 needs_fixup 是 0,所以先不管.

然后把 urbp 的各个 td 给删除掉,把 td 的内存给释放掉,然后把 urbp 本身的内存释放掉.

接下来调用 usb_hcd_giveback_urb 把控制权交回给设备驱动程序.这个函数我们已经不再陌生了.

最后,如果 qh 这整个队伍已经空了,那么就调用 uhci_unlink_qh 把 qh 给撤掉.这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-q.h:

```
552 /*
553  * Take a QH off the hardware schedule
554  */
555 static void uhci_unlink_qh(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
556 {
557         if (qh->state == QH_STATE_UNLINKING)
558                 return;
559         WARN_ON(qh->state != QH_STATE_ACTIVE || !qh->udev);
560         qh->state = QH_STATE_UNLINKING;
561
562         /* Unlink the QH from the schedule and record when we did it */
563         if (qh->skel == SKEL_ISO)
564                 ;
565         else if (qh->skel < SKEL_ASYNC)
566                 unlink_interrupt(uhci, qh);
567         else
568                 unlink_async(uhci, qh);
569
570         uhci_get_current_frame_number(uhci);
571         qh->unlink_frame = uhci->frame_number;
572
573         /* Force an interrupt so we know when the QH is fully unlinked */
574         if (list_empty(&uhci->skel_unlink_qh->node))
575                 uhci_set_next_interrupt(uhci);
576
577         /* Move the QH from its old list to the end of the unlinking list */
578         if (qh == uhci->next_qh)
579                 uhci->next_qh = list_entry(qh->node.next, struct
 uhci_qh,
580                                 node);
581         list_move_tail(&qh->node, &uhci->skel_unlink_qh->node);
582 }
```

对于 Bulk 传输或者控制传输,要调用的是 unlink_async(). 依然是来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
534 /*
535  * Unlink a period-1 interrupt or async QH from the schedule
536  */
537 static void unlink_async(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
538 {
539         struct uhci_qh *pqh;
540         __le32 link_to_next_qh = qh->link;
541
542         pqh = list_entry(qh->node.prev, struct uhci_qh, node);
543         pqh->link = link_to_next_qh;
544
545         /* If this was the old first FSBR QH, link the terminating skeleton
546          * QH to the next (new first FSBR) QH. */
547         if (pqh->skel < SKEL_FSBR && qh->skel >= SKEL_FSBR)
548                 uhci->skel_term_qh->link = link_to_next_qh;
549         mb();
550 }
```

打江山难而毁江山容易.这一点从 link_async 和 unlink_async 这两个函数对比一下就知道了.540 行,542 行,543 行的结果就是经典的删除队列节点的操作.让 pqh 等于 qh 的前一个节点,然后让 pqh 的 link 等于原来 qh 的 link,这样 qh 就没有利用价值了,它可以消失在我们眼前了.

然后 547 行这个 if 也不难理解,如果刚才这个 qh 是第一个 FSBR 的 qh,那么就令 skel_term_qh 的 link 指向下一个 qh,因为我们前面说过,skel_term_qh 总是要被设置为第一个 FSBR qh.

然后调用 uhci_get_current_frame_number 获得当前的 frame,记录在 unlink_frame 中.

然后,调用 uhci_set_next_interrupt,来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
28 static void uhci_set_next_interrupt(struct uhci_hcd *uhci)
29 {
30         if (uhci->is_stopped)
31                 mod_timer(&uhci_to_hcd(uhci)->rh_timer, jiffies);
32         uhci->term_td->status |= cpu_to_le32(TD_CTRL_IOC);
33 }
```

这个函数的行为显然是和 uhci_clear_next_interrupt 相反的.等于是开启中断.

如果这个 qh 是 uhci->next_qh,那么就让 next_qh 顺延至下一个 qh.

最后把刚才 unlink 的这个 qh 插入到另外一支队伍中去,这支队伍就是 uhci->skel_unlink_qh, 所有的被 unlink 的 qh 都会被招入这支革命中去.很显然这是一支无产阶级革命队伍,因为进来的都是一无所有的 qh.

然后 uhci_giveback_urb 结束了,回到 uhci_scan_qh 中.uhci_cleanup_queue 被调用.来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
312 /*
313  * When a queue is stopped and a dequeued URB is given back, adjust
314  * the previous TD link (if the URB isn't first on the queue) or
315  * save its toggle value (if it is first and is currently executing).
316  *
317  * Returns 0 if the URB should not yet be given back, 1 otherwise.
318  */
319 static int uhci_cleanup_queue(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh,
320                 struct urb *urb)
321 {
322         struct urb_priv *urbp = urb->hcpriv;
323         struct uhci_td *td;
324         int ret = 1;
325
326         /* Isochronous pipes don't use toggles and their TD link pointers
327          * get adjusted during uhci_urb_dequeue().  But since their
queues
328          * cannot truly be stopped, we have to watch out for dequeues
329          * occurring after the nominal unlink frame. */
330         if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_ISOC) {
331                 ret = (uhci->frame_number + uhci->is_stopped !=
332                                 qh->unlink_frame);
333                 goto done;
334         }
335
336         /* If the URB isn't first on its queue, adjust the link pointer
337          * of the last TD in the previous URB.  The toggle doesn't need
338          * to be saved since this URB can't be executing yet. */
339         if (qh->queue.next != &urbp->node) {
340                 struct urb_priv *purbp;
341                 struct uhci_td *ptd;
342
343                 purbp = list_entry(urbp->node.prev, struct urb_priv,
node);
344                 WARN_ON(list_empty(&purbp->td_list));
345                 ptd = list_entry(purbp->td_list.prev, struct uhci_td,
346                                 list);
347                 td = list_entry(urbp->td_list.prev, struct uhci_td,
```

```
348                                     list);
349                     ptd->link = td->link;
350                     goto done;
351             }
352
353             /* If the QH element pointer is UHCI_PTR_TERM then then
 currently
354              * executing URB has already been unlinked, so this one isn't it. */
355             if (qh_element(qh) == UHCI_PTR_TERM)
356                     goto done;
357             qh->element = UHCI_PTR_TERM;
358
359             /* Control pipes don't have to worry about toggles */
360             if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_CONTROL)
361                     goto done;
362
363             /* Save the next toggle value */
364             WARN_ON(list_empty(&urbp->td_list));
365             td = list_entry(urbp->td_list.next, struct uhci_td, list);
366             qh->needs_fixup = 1;
367             qh->initial_toggle = uhci_toggle(td_token(td));
368
369 done:
370             return ret;
371 }
```

最后,uhci_make_qh_idel 被调用,来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
584 /*
585  * When we and the controller are through with a QH, it becomes IDLE.
586  * This happens when a QH has been off the schedule (on the unlinking
587  * list) for more than one frame, or when an error occurs while adding
588  * the first URB onto a new QH.
589  */
590 static void uhci_make_qh_idle(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
591 {
592             WARN_ON(qh->state == QH_STATE_ACTIVE);
593
594             if (qh == uhci->next_qh)
595                     uhci->next_qh = list_entry(qh->node.next, struct
uhci_qh,
596                                     node);
597             list_move(&qh->node, &uhci->idle_qh_list);
598             qh->state = QH_STATE_IDLE;
599
```

```
600         /* Now that the QH is idle, its post_td isn't being used */
601         if (qh->post_td) {
602                 uhci_free_td(uhci, qh->post_td);
603                 qh->post_td = NULL;
604         }
605
606         /* If anyone is waiting for a QH to become idle, wake them up */
607         if (uhci->num_waiting)
608                 wake_up_all(&uhci->waitqh);
609 }
```

目的就一个,设置 qh->state 为 QH_STATE_IDLE.

uhci_make_qh_idle 结束之后,uhci_scan_qh 也就结束了,回到了 uhci_scan_schedule 中.

最后判断 uhci->skel_unlink_qh 领衔的队伍是否为空,如果为空,就调用 uhci_clear_next_interrupt 清中断,如果不为空,就说明又有无产阶级的 qh 加入了这支队伍,就调用 uhci_set_next_interrupt 去产生下一次中断,从而再次把 qh->state 设置为 QH_STATE_IDLE.于是 uhci_scan_

schedule 也结束了.

于是,uhci_irq 也就结束了.

Root Hub 的中断传输

来看中断传输,中断传输和下面要讲的等时传输无疑要比之前的那两种传输复杂些,至少它们讲究一个周期性.当年歌坛大姐大那英在看到 usb 子系统中对这两种传输的实现的复杂性之后,颇为感慨的对写代码的哥们儿唱出了那句"就这样被你征服",而其多年来的老对手田震看了之后心情抑郁,一气之下,嗓子永久性的嘶哑了,但仍然呼吁后人看这些代码的时候要"执著".所以我们看代码的时候看不懂也不用灰心,歌手林志炫的成名曲<<单身情歌>>也就是把自己看代码的亲身经历唱了出来:为了看代码孤军奋斗,早就吃够了看代码的苦,在代码中失落的人到处有,而我只是其中一个.毫无疑问,这首歌唱出了我们看代码的心声,所以歌曲一问世便得到了广大 Linux 爱好者的追捧并迅速窜红.

和前面那个控制传输一样,中断传输的代码也分为两部分,一个是针对 Root Hub 的,这部分相当简单,另一个是针对非 Root Hub 的,这一部分明显复杂许多.我们先来看 Root Hub 的.从哪里开始看应该不用多说了吧,这些年里,虽然很多事情都已经像沧海变成了桑田,但是咱们跟踪 urb 的入口依然和<<曲苑杂坛>>的主持人一样,多少年也不会变,依然是 usb_submit_urb.

还记得咱们在 hub 驱动中讲的那个 hub_probe 吗?在 hub 驱动的探测过程中,最终咱们会提交一个 urb.是一个中断 urb.那么咱们来看调用 usb_submit_urb()来 submit 这个 urb 之后究竟会发生什么?

但是与之前控制传输 Bulk 传输不同的是,之前我们是凌波微步来到了最后一行 usb_hcd_submit_urb,而现在在这一行之前还有几行是我们需要关注的.

首先我们注意到 243 行对临时变量 temp 赋了值,看到它被赋值为 usb_pipetype(pipe),我相信即使是后海的酒托儿也知道,从此以后 temp 就是管道类型.

于是我们像草上飞一样飞到 338 行,看到这里有一个 switch.所有的痛苦都来自选择,所谓幸福,就是没有选择.看到这里你明白为何当初在讲控制传输和 Bulk 传输的时候我们跳过了这一段了吧,没错,这里只有两个 case,即 PIPE_ISOCHRONOUS 和 PIPE_INTERRUPT,这两个 case 就是等时管道和中断管道.而控制传输和 Bulk 传输根本不在这一个选择的考虑范畴之内.所以当时我们很幸福的飘了过去.但现在不行了.实际上这里对于等时传输和对于中断传输,处理方法是一样的.

首先判断 urb->interval,我们在 hub 驱动中已经讲过它的作用,它当然不能小于等于 0.

其次根据设备是高速还是全速低速,再一次设置 interval.我们当时在 hub 驱动中也说过,对于高速设备和全速低速设备,这个 interval 的单位是不一样的.前者的单位是微帧,后者的单位是帧,所以这里对它们有不同的处理方法,但是总的来说,我们可以看到 temp 无论如何会是 2 的整数次方,所以 372 行这么一赋值的效果是,如果你的期待值是介于 2 的 n 次方和 2 的 n+1 次方之间,那么我们就把它设置成 2 的 n 次方.因为最终设置成 2 的整数次方对我们来说软件上便于实现,而硬件上来说也无所谓,因为 usb spec 中也是允许的,比如,usb spec 2.0 5.7.4 中有这么一段:

The period provided by the system may be shorter than that desired by the device up to the shortest period defined by the USB (125 µs microframe or 1 ms frame). The client software and device can depend only on the fact that the host will ensure that the time duration between two transaction attempts with the endpoint will be no longer than the desired period.

这段话的意思很明确,比如你背着老婆包了一个二奶,她希望你每隔 7 天去关心她一次,而你如果每隔 4 天关心她一次那她当然没意见,但如果你每隔 10 天关心她一次她心里就有想法了.

关于 ISO 传输的那部分代码咱们后面再看,现在依然先飘过.然后我们就再一次进入了 usb_hcd_submit_urb.

而对于 Root Hub,我们又再一次进入了 rh_urb_enqueue,对于中断传输,我们进入了 rh_queue_status.这个函数来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
599
600 static int rh_queue_status (struct usb_hcd *hcd, struct urb *urb)
601 {
602         int             retval;
603         unsigned long    flags;
604         int             len = 1 + (urb->dev->maxchild / 8);
605
606         spin_lock_irqsave (&hcd_root_hub_lock, flags);
```

```
607         if (urb->status != -EINPROGRESS)          /* already unlinked */
608                 retval = urb->status;
609         else if (hcd->status_urb || urb->transfer_buffer_length < len) {
610                 dev_dbg (hcd->self.controller, "not queuing rh status
urb\n");
611                 retval = -EINVAL;
612         } else {
613                 hcd->status_urb = urb;
614                 urb->hcpriv = hcd;        /* indicate it's queued */
615
616                 if (!hcd->uses_new_polling)
617                         mod_timer (&hcd->rh_timer, jiffies +
618                                         msecs_to_jiffies(250));
619
620                 /* If a status change has already occurred, report it ASAP
*/
621                 else if (hcd->poll_pending)
622                         mod_timer (&hcd->rh_timer, jiffies);
623                 retval = 0;
624         }
625         spin_unlock_irqrestore (&hcd_root_hub_lock, flags);
626         return retval;
627 }
```

还好这个函数不那么变态,由于我们设置了 hcd->uses_new_polling 为 1,而 hcd->poll_pending 只有在一个地方被改变,即 usb_hcd_poll_rh_status(),如果这个函数被调用了而 Hub 端口处没什么变化,那么 poll_pending 就会设置为 1.但当我们第一次来到这个函数的时候,poll_pending 还没有被设定过,所以它只能是 0.

假设咱们第一次执行 usb_hcd_poll_rh_status 的时候,Root Hub 的端口确实没有什么信息,即没有连接任何 usb 设备并且没有任何需要汇报的信息,那么 poll_pending 就会设置为 1.所以下一次当然来到这个函数的时候,622 行这个 mod_timer 会被执行.所以我们将再一次执行 usb_hcd_poll_rh_status,并且是立即执行.但关于 usb_hcd_poll_rh_status,咱们也没什么好讲的,当初我们已经详细的讲过了.所以基本上我们就知道了,如果 Root Hub 的端口没有什么改变的话,usb_submit_urb 为 Root Hub 而提交的中断 urb 也不干什么正经事,我们能看到的是 rh_queue_status,rh_urb_enqueue,usb_hcd_submit_urb,usb_submit_urb 这四个函数像多米诺骨牌一样一个一个返回 0.然后生活还会继续,然后 Tomorrow is another day,即使 Hub 端口里永远不接入任何设备,驱动程序也仍然像沈祥福带超白金一代时冲击雅典奥运会时说过的那句”我们还活着”.

不过我最后想提醒一点,由于 hub driver 中的 usb_submit_urb 是在 hub_probe 的过程中被执行的,而这时候实际上咱们正处在 register_root_hub 中,也就是说,咱们是在 usb_add_hcd 中,回过去看这个函数你会发现,1639 行调用 register_root_hub,而 1643 行调用 usb_hcd_poll_rh_status. 这也就是说,尽管咱们很早之前就讲过了 usb_hcd_poll_rh_status 这个函数,但是实际上第一次调用 usb_hcd_poll_rh_status 发生

在 rh_queue_status 之后.这也就是为什么这里我说第一次进入 rh_queue_status 的时候,poll_pending 的值为 0,因为只有调用了 usb_hcd_poll_rh_status 之后,poll_pending 才有可能变成 1.

非 Root Hub 的中断传输

再来看非 Root hub 的中断传输,usb_submit_urb 还是那个 usb_submit_urb,usb_hcd_submit_urb 还是那个 usb_hcd_submit_urb,但是很显然 rh_urb_enqueue 不会再被调用.取而代之的是 1014 行,driver->urb_enqueue 的被调用.即 uhci_urb_enqueue.这个函数咱们在讲控制传输的时候已经贴出来也已经讲过了,后来在讲 Bulk 传输的时候又讲过,但是当时的上下文是控制传输或者 Bulk 传输,当然和现在的中断传输不一样.我们回过头来看 uhci_urb_enqueue,很快就会发现对于中断传输,我们执行 1415 行,会调用 uhci_submit_interrupt 函数.于是网友"暗恋未遂"建议我们立即去看 uhci_submit_interrupt,不过我倒是想用电影<<十分爱>>中的那句话来提醒一下你,有时候看到的不一定是真的,真的不一定看得到.1415 行的区别只是表面现象,我们不能被表面现象所迷惑,要知道我这一生最鄙视两种人,一种是以貌取人的,一种是恐龙.

其实在看 uhci_submit_interrupt 之前,我们需要注意的是 1401 行,uhci_alloc_qh 这个函数,虽然大家都调用了它,可是不同的上下文里它做的事情大不一样.什么是上下文?让我们看一下下面这个故事:

孔子东游,遇一妇,欲求其欢,妇不从,乃强虏林中,衣尽剥,事毕,妇人曰,兽行!孔子曰,妇人之见!

几千年来人们一直津津乐道的引用孔子的那句"妇人之见",却有几人知其上下文?直到今日孔子的代言人于丹大姐带领我们掀起了重温论语的热潮之后,我们方才明白,脱离上下文去理解一句话或者一段代码是多么的幼稚的一件事.

所以让我们再次回到 uhci_alloc_qh 中来,这个来自 drivers/usb/host/uhci-q.c 的函数不长,所以我们不妨再一次贴出来:

```
247 static struct uhci_qh *uhci_alloc_qh(struct uhci_hcd *uhci,
248                 struct usb_device *udev, struct usb_host_endpoint *hep)
249 {
250         dma_addr_t dma_handle;
251         struct uhci_qh *qh;
252
253         qh = dma_pool_alloc(uhci->qh_pool, GFP_ATOMIC,
&dma_handle);
254         if (!qh)
255                 return NULL;
256
257         memset(qh, 0, sizeof(*qh));
258         qh->dma_handle = dma_handle;
```

```
259
260         qh->element = UHCI_PTR_TERM;
261         qh->link = UHCI_PTR_TERM;
262
263         INIT_LIST_HEAD(&qh->queue);
264         INIT_LIST_HEAD(&qh->node);
265
266         if (udev) {             /* Normal QH */
267                 qh->type = hep->desc.bmAttributes &
USB_ENDPOINT_XFERTYPE_MASK;
268                 if (qh->type != USB_ENDPOINT_XFER_ISOC) {
269                         qh->dummy_td = uhci_alloc_td(uhci);
270                         if (!qh->dummy_td) {
271                                 dma_pool_free(uhci->qh_pool, qh,
dma_handle);
272                                 return NULL;
273                         }
274                 }
275                 qh->state = QH_STATE_IDLE;
276                 qh->hep = hep;
277                 qh->udev = udev;
278                 hep->hcpriv = qh;
279
280                 if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_INT ||
281                                 qh->type ==
USB_ENDPOINT_XFER_ISOC)
282                         qh->load = usb_calc_bus_time(udev->speed,
283
usb_endpoint_dir_in(&hep->desc),
284                                         qh->type ==
USB_ENDPOINT_XFER_ISOC,
285
le16_to_cpu(hep->desc.wMaxPacketSize))
286                                 / 1000 + 1;
287
288         } else {                /* Skeleton QH */
289                 qh->state = QH_STATE_ACTIVE;
290                 qh->type = -1;
291         }
292         return qh;
293 }
```

很显然,280 行,不管是中断传输还是等时传输,都需要执行 282 行至 286 行这一小段.这一段其实就是调用了 usb_calc_bus_time()这么一个函数.

这个函数来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
849 /**
850  * usb_calc_bus_time - approximate periodic transaction time in
nanoseconds
851  * @speed: from dev->speed; USB_SPEED_{LOW,FULL,HIGH}
852  * @is_input: true iff the transaction sends data to the host
853  * @isoc: true for isochronous transactions, false for interrupt ones
854  * @bytecount: how many bytes in the transaction.
855  *
856  * Returns approximate bus time in nanoseconds for a periodic
transaction.
857  * See USB 2.0 spec section 5.11.3; only periodic transfers need to be
858  * scheduled in software, this function is only used for such scheduling.
859  */
860 long usb_calc_bus_time (int speed, int is_input, int isoc, int bytecount)
861 {
862         unsigned long    tmp;
863
864         switch (speed) {
865         case USB_SPEED_LOW:      /* INTR only */
866                 if (is_input) {
867                         tmp = (67667L * (31L + 10L * BitTime
(bytecount))) / 1000L;
868                         return (64060L + (2 * BW_HUB_LS_SETUP) +
BW_HOST_DELAY + tmp);
869                 } else {
870                         tmp = (66700L * (31L + 10L * BitTime
(bytecount))) / 1000L;
871                         return (64107L + (2 * BW_HUB_LS_SETUP) +
BW_HOST_DELAY + tmp);
872                 }
873         case USB_SPEED_FULL:     /* ISOC or INTR */
874                 if (isoc) {
875                         tmp = (8354L * (31L + 10L * BitTime (bytecount)))
/ 1000L;
876                         return (((is_input) ? 7268L : 6265L) +
BW_HOST_DELAY + tmp);
877                 } else {
878                         tmp = (8354L * (31L + 10L * BitTime (bytecount)))
/ 1000L;
879                         return (9107L + BW_HOST_DELAY + tmp);
880                 }
881         case USB_SPEED_HIGH:     /* ISOC or INTR */
```

```
882                     // FIXME adjust for input vs output
883                     if (isoc)
884                             tmp = HS_NSECS_ISO (bytecount);
885                     else
886                             tmp = HS_NSECS (bytecount);
887                     return tmp;
888             default:
889                     pr_debug ("%s: bogus device speed!\n", usbcore_name);
890                     return -1;
891             }
892 }
```

这俨然就是一道小学数学题.传递进来的四个参数都很直白.speed 表征设备的速度,is_input 表征传输的方向,isoc 表征是不是等时传输,为 1 就是等时传输,为 0 则是中断传输.bytecount 更加直白,要传输多少个 bytes 的字节.以前我一直只知道什么是贷款,因为我们 80 后中的大部分都不得不贷款去做房奴,但我从不知道究竟什么是带宽,看到了这个 usb_calc_bus_time()函数和我们即将要看到的 uhci_reserve_bandwidth()函数之后我总算是对带宽有一点了解了.带宽这个词用江湖上的话来说,就是单位时间内传输的数据量,即单位时间内最大可能提供多少个二进制位传输,按江湖规矩,单位时间指的就是每秒.既然扯到时间,自然就应该计算时间.从软件的角度来说,每次建立一个管道我们都需要计算它所消耗的总线时间,或者说带宽,如果带宽不够了当然就不能建立了.

事实上以上这一堆的计算都是依据 usb spec 2.0 中 5.11.3 节里提供的公式,我们这里列举出 Full-Speed 的情况,spec 中的公式如下:

```
Full-speed (Input)
    Non-Isochronous Transfer (Handshake Included)
    = 9107 + (83.54 * Floor(3.167 + BitStuffTime(Data_bc))) + Host_Delay

    Isochronous Transfer (No Handshake)
    = 7268 + (83.54 * Floor(3.167 + BitStuffTime(Data_bc))) + Host_Delay

Full-speed (Output)
    Non-Isochronous Transfer (Handshake Included)
          = 9107 + (83.54 * Floor(3.167 + BitStuffTime(Data_bc))) + Host_Delay

    Isochronous Transfer (No Handshake)
          = 6265 + (83.54 * Floor(3.167 + BitStuffTime(Data_bc))) + Host_Delay
```

这一切的单位都是纳秒.

其中 BW_HOST_DELAY 是定义于 drivers/usb/core/hcd.h 的宏:

```
315 /*
316  * Full/low speed bandwidth allocation constants/support.
317  */
318 #define BW_HOST_DELAY    1000L          /* nanoseconds */
```

它被定义为 1000L.BW 就是 BandWidth.这个宏对应于 Spec 中的 Host_Delay.而 BitTime 对应于 Spec 中的 BitStuffTime,仔细对比这个函数和 Spec 中的这一堆公式,你会发现,这个函数真是一点创意也没有,完全是按照 Spec 来办事.所以写代码的这些人如果来参加大学生挑战杯,那么等待他们的只能是早早被淘汰,连上 PK 台的机会都甭想有.

总之,这个函数返回的就是传输这么些字节将会占有多少时间,单位是纳秒.在咱们的故事中,usb_calc_bus_time 这个计算时间的函数只会出现在这一个地方,即每次咱们调用 uhci_alloc_qh 申请一个正常的 qh 的时候会被调用.(最开始建立框架的时候当然不会被调用.)而且只有针对中断传输和等时传输才需要申请带宽.这里我们把返回值赋给了 qh->load,赋值之前我们除了 1000,即把单位转换成为了微秒.

于是我们又结束了 uhci_alloc_qh,回到了 uhci_urb_enqueue.当然我还想友情提醒一下,uhci_alloc_qh 中,第 267 行,对 qh->type 赋了值,这个值来自 struct usb_host_endpoint 结构体指针 hep,确切的说就是来自于端点描述符中的 bmAttributes 这一项.usb spec 2.0 中规定好了,这个属性的 Bit1 和 Bit0 两位表征了端点的传输类型.00 为控制,01 为等时,10 为 Bulk,11 为 Interrupt.而咱们这里的 USB_ENDPOINT_XFERTYPE_MASK 就是为了提取出这两个 bit 来.

于是回到 uhci_urb_enqueue 中以后,对 qh->type 进行判断,如果是中断传输类型,则 uhci_submit_interrupt 会被调用,依然来自 drivesr/usb/host/uhci-q.c:

```
1060 static int uhci_submit_interrupt(struct uhci_hcd *uhci, struct urb *urb,
1061                 struct uhci_qh *qh)
1062 {
1063         int ret;
1064
1065         /* USB 1.1 interrupt transfers only involve one packet per interval.
1066          * Drivers can submit URBs of any length, but longer ones will
need
1067          * multiple intervals to complete.
1068          */
1069
1070         if (!qh->bandwidth_reserved) {
1071                 int exponent;
1072
1073                 /* Figure out which power-of-two queue to use */
```

```
1074                    for (exponent = 7; exponent >= 0; --exponent) {
1075                            if ((1 << exponent) <= urb->interval)
1076                                    break;
1077                    }
1078                    if (exponent < 0)
1079                            return -EINVAL;
1080                    qh->period = 1 << exponent;
1081                    qh->skel = SKEL_INDEX(exponent);
1082
1083                    /* For now, interrupt phase is fixed by the layout
1084                     * of the QH lists. */
1085                    qh->phase = (qh->period / 2) & (MAX_PHASE - 1);
1086                    ret = uhci_check_bandwidth(uhci, qh);
1087                    if (ret)
1088                            return ret;
1089            } else if (qh->period > urb->interval)
1090                    return -EINVAL;          /* Can't decrease the period */
1091
1092            ret = uhci_submit_common(uhci, urb, qh);
1093            if (ret == 0) {
1094                    urb->interval = qh->period;
1095                    if (!qh->bandwidth_reserved)
1096                            uhci_reserve_bandwidth(uhci, qh);
1097            }
1098            return ret;
1099 }
```

首先 struct uhci_qh 中有一个成员 unsigned int bandwidth_reserved,顾名思义,用来表征是否申请了带宽的,对于等时传输和中断传输,是需要为之分配带宽的,带宽就是占用总线的时间,UHCI 的世界里,等时传输和中断传输这两者在每一个 frame 内加起来是不可以超过该 frame 的 90%的.设置 bandwidth_reserved 为 1 只有一个地方,那就是 uhci_reserve_bandwidth 函数.而与之相反的一个函数 uhci_release_bandwidth 会把这个变量设置为 0.而调用 uhci_reserve_bandwidth 的又是谁呢?只有两个地方,一个恰恰就是这里这个uhci_submit_interrupt,另一个则是等时传输中要用到的uhci_submit_isochronous.而释放这个带宽的函数uhci_release_bandwidth则是在uhci_giveback_urb中被调用.我们以后会看到的.

1074 行,临时变量 exponent 从 7 开始,最多循环 8 次,把 1 左移 exponent 位就是进行指数运算,比如 exponent 为 1,左移以后就是 2 的 1 次方,exponent 为 7,则左移以后就是 2 的 7 次方.把这个数和urb->interval想比较,如果小于等于urb->interval,就算找到了.这是什么意思呢?我们知道,UHCI 是 usb spec 1.1 的产物,那时候只有全速和低速设备,而 usb spec 中规定,对于全速设备来说,其 interval 必须在 1 毫秒到 255 毫秒之间,对于低速设备来说,其 interval 必须在 10 毫秒到 255 毫秒之间,所以这里 exponent 最多取 7 就可以了,2 的 7 次方就是 128.如果 interval 比 128 还大那么就是处于 128 至 255 之间.而 interval 最小也不能小于 1,小于 1 也就出错了.那么从 1074 行到 1080 行这一段的目的是什么呢?就是根据 interval 确定最终

的 period,就是说甭管您 interval 具体是多少,最终我设定的周期(period)都是 2 的整数次方,只要 period 小于等于 interval,设备驱动就不会有意见.理由我在前面以那个包二奶为例子已经讲过了.

SKEL_INDEX 这个宏我们贴出来过,struct uhci_qh 有一个成员 int skel,qh->skel 将被赋值为 9-exponent,即比如 exponent 为 1,qh->skel 就是 8.但同时我们知道,比如 exponent 为 3,那么说明 urb->interval 是介于 8 毫秒和 16 毫秒之间.而 qh->skel 为 8 意味着咱们的这个 qh 最终将挂在 skelqh[]数组的 skel int8 qh 后面.具体稍后我会用一张图来展示给你看的.

此外,struct uhci_qh 另有两个元素,unsigned int period 和 short phase,刚才说了 period 就是周期,这里看到它被赋值为 2 的 exponent 次方,即比如 exponent 为 3,那么 period 就是 8. 我们知道,标准情况下一个 Frame 是 1 毫秒,所以对于中断传输来说,这里的意思就是每 8 个 Frame 主机关心一次设备.MAX_PHASE 被定义为 32,此时我们还看不出来 phase 这个变量有什么用,到时候再看.

前面我们计算的是总线时间,现在还得转换成带宽的概念.uhci_check_bandwidth 这个函数就是检查带宽的,它来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
623 /*
624  * Set qh->phase to the optimal phase for a periodic transfer and
625  * check whether the bandwidth requirement is acceptable.
626  */
627 static int uhci_check_bandwidth(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
628 {
629         int minimax_load;
630
631         /* Find the optimal phase (unless it is already set) and get
632          * its load value. */
633         if (qh->phase >= 0)
634                 minimax_load = uhci_highest_load(uhci, qh->phase,
qh->period);
635         else {
636                 int phase, load;
637                 int max_phase = min_t(int, MAX_PHASE, qh->period);
638
639                 qh->phase = 0;
640                 minimax_load = uhci_highest_load(uhci, qh->phase,
qh->period);
641                 for (phase = 1; phase < max_phase; ++phase) {
642                         load = uhci_highest_load(uhci, phase,
qh->period);
643                         if (load < minimax_load) {
644                                 minimax_load = load;
645                                 qh->phase = phase;
646                         }
```

```
647                 }
648         }
649
650         /* Maximum allowable periodic bandwidth is 90%, or 900 us per
frame */
651         if (minimax_load + qh->load > 900) {
652                 dev_dbg(uhci_dev(uhci), "bandwidth allocation failed: "
653                                 "period %d, phase %d, %d + %d us\n",
654                                 qh->period, qh->phase, minimax_load,
qh->load);
655                 return -ENOSPC;
656         }
657         return 0;
658 }
```

在提交中断类型的 urb 或者是等时类型的 urb 的时候,需要检查带宽,看带宽够不够了.这种情况下这个函数就会被调用.这个函数正常的话就将返回 0,负责就返回错误码-ENOSPC.不过你别小看这个函数,唐代高僧玄奘曾经说过,做程序员的最高境界就是像我们和尚研究佛法一样研究算法!所以写代码的人在这里用代码体现了他的境界.我们来仔细分析一下这个函数.

633 行判断 qh->phase 是否小于零,咱们在 uhci_submit_interrupt 中设置了 qh->phase,显然咱们这个上下文来看 qh->phase 一定是大于等于 0 的,不过您别忘了,正如我刚才说的一样,check bandwidth 这件事情在提交等时类型的 urb 的时候也会被调用,到时候你会发现,我们会把 qh->phase 设置为-1.所以咱们到时候再回过头来看这个函数,而现在,635 到 648 这一段先飘过,因为现在不会被执行.现在咱们只要关注 634 这么一行就够了.uhci_highest_load 这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
611 /*
612  * Find the highest existing bandwidth load for a given phase and period.
613  */
614 static int uhci_highest_load(struct uhci_hcd *uhci, int phase, int period)
615 {
616         int highest_load = uhci->load[phase];
617
618         for (phase += period; phase < MAX_PHASE; phase += period)
619                 highest_load = max_t(int, highest_load,
uhci->load[phase]);
620         return highest_load;
621 }
```

代码本身超级简单,难的是这代码背后的哲学.struct uhci_hcd 有一个成员,short load[MAX_PHASE],咱们前面说过,MAX_PHASE 就是 32.所以这里就是为每一个 uhci 主机控制器准备这么一个数组,来记录它的负载.这个数组 32 个元素,每一个元素就代码一个 Frame,所以这个数组实际上就是记录了一个主机控制器的 32 个 Frame 内的负载.我们知道一个 UHCI 主机控制器对应 1024 个 Frame 组成的 Frame List.但是软件角度来说,本着建设节约型社会的

原则,没有必要申请一个 1024 的元素的数组,所以就申请 32 个元素.这个数组被称为 periodic load table.于是咱们这个函数所做的就是以 period 为步长,找到这个数组中最大的元素,即该 Frame 的负载最重.

得到这个最大的负载所对应的 frame 之后,我们在 651 行计算这个负载加上咱们刚才计算总线时间得到的那个 qh->load,这两个值不能超过 900,单位是微秒,因为一个 Frame 是一个毫秒,而 usb spec 规定了,等时传输和中断传输所占的带宽不能超过一个 Frame 的 90%,道理很简单,资源都被它们俩占了,别人就没法混了.无论如何也要为 Bulk 传输和控制传输着想一下.

于是 uhci_check_bandwidth 结束了,于是这里 uhci_submit_common 会被调用,这个函数在 Bulk 传输中已经讲过了,这是它们之间的公共函数,其执行过程也和 Bulk 传输一样,无非是通过 urb 得到 td,依次调用 uhci_alloc_td,uhci_add_td_to_urbp,uhci_fill_td.完了之后设置最后一个 td 的中断标志 TD_CTRL_IOC.

然后,uhci_submit_common 结束之后我们回到 uhci_submit_interrupt,剩下的代码也不多了,正常咱们说了返回 0,于是设置 urb->interval 为 qh->period,没有保留带宽就执行 uhci_reserve_bandwidth 去保留带宽.仍然是来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
660 /*
661  * Reserve a periodic QH's bandwidth in the schedule
662  */
663 static void uhci_reserve_bandwidth(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh
*qh)
664 {
665         int i;
666         int load = qh->load;
667         char *p = "??";
668
669         for (i = qh->phase; i < MAX_PHASE; i += qh->period) {
670                 uhci->load[i] += load;
671                 uhci->total_load += load;
672         }
673         uhci_to_hcd(uhci)->self.bandwidth_allocated =
674                         uhci->total_load / MAX_PHASE;
675         switch (qh->type) {
676         case USB_ENDPOINT_XFER_INT:
677                 ++uhci_to_hcd(uhci)->self.bandwidth_int_reqs;
678                 p = "INT";
679                 break;
680         case USB_ENDPOINT_XFER_ISOC:
681                 ++uhci_to_hcd(uhci)->self.bandwidth_isoc_reqs;
682                 p = "ISO";
683                 break;
684         }
685         qh->bandwidth_reserved = 1;
```

```
686         dev_dbg(uhci_dev(uhci),
687                         "%s dev %d ep%02x-%s, period %d, phase %d,
%d us\n",
688                         "reserve", qh->udev->devnum,
689                         qh->hep->desc.bEndpointAddress, p,
690                         qh->period, qh->phase, load);
691 }
```

其实这个函数也挺简单的.uhci->load 数组就是在这个函数这里被赋值的.当然它的情侣函数 uhci_release_bandwidth 里面也会改变这个数组.而 uhci->total_load 则是把所有的 load 全都加到一起去.而 bandwidth_allocated 则是 total_load 除以 32,即一个平均值.

然后根据 qh 是中断类型还是等时类型,分别增加 bandwidth_int_reqs 和 bandwidth_isoc_reqs.这两个都是 struct usb_bus 的 int 类型成员.前者表示中断请求的数量,后者记录等时请求的数量.

最后设置 qh->bandwidth_reserved 为 1.这个函数就结束了.这样,uhci_submit_interrupt 这个函数也结束了.咱们终于回到了 uhci_urb_enqueue.

1426 行,把 qh 赋给 urbp 的 qh.

然后把 urbp 给链入到 qh 的队列中来.qh 里面专门有一个队列记录它所领导的各个 urbp.因为一个 endpoint 对应一个 qh,而该 endpoint 可以有多个 urb,所以就把它们都排成一个队列.

1433 行,如果这个队列的下一个节点就是现在这个 urbp,并且 qh 没有停止,则调用 uhci_activate_qh()和 uhci_urbp_wants_fsbr().这两个函数咱们当初在控制传输中就已经讲过了,不过对于 uhci_activate_qh()我们现在进去看会有所不同.

514 行开始的这一小段判断中,我们看到是对 qh->skel 进行的判断,这是一个 int 型的变量,我们当初在 uhci_submit_interrupt 中对这个变量进行了赋值,赋的值是 SKEL_INDEX(exponent).很显然它小于 SKEL_ASYNC,所以这里 link_interrupt 会被执行.这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
435 /*
436  * Link a high-period interrupt QH into the schedule at the end of its
437  * skeleton's list
438  */
439 static void link_interrupt(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
440 {
441         struct uhci_qh *pqh;
442
443         list_add_tail(&qh->node, &uhci->skelqh[qh->skel]->node);
444
445         pqh = list_entry(qh->node.prev, struct uhci_qh, node);
446         qh->link = pqh->link;
```

```
447             wmb();
448             pqh->link = LINK_TO_QH(qh);
449 }
```

把 qh 的 node 给链入到 uhci->skelqh[qh->skel]的 node 链表中去.

然后让这个 qh 的 link 指向前一个 qh 的 link,并且把前一个 qh 的 link 指针指向这个 qh.这就是典型的队列插入的操作.很明显这里又是物理地址的链接.这样子 uhci_activate_qh 就算执行完了.剩下的代码就和控制传输/Bulk 传输一样了.uhci_urb_enqueue 也就这样结束了,usb_hcd_submit_urb 啊,usb_submit_urb 啊,也纷纷跟着结束了.似乎调用 usb_submit_urb 提交了一个中断请求的 urb 之后整个世界没有发生任何变化,完全没有看出咱们这个函数对这个世界的影响,俨然这个函数的调用没有任何意义,但我要告诉你,其实不是的,这次函数调用就像流星,短暂的划过却能照亮整个天空.此刻,让我们利用 debugfs 来看个究竟,当我们没有提交任何 urb 的时候,/sys/kernel/debug/uhci 目录下面的文件是这个样子的:

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.1
Root-hub state: suspended    FSBR: 0
HC status
  usbcmd     =      0048    Maxp32 CF EGSM
  usbstat    =      0020    HCHalted
  usbint     =      0002
  usbfrnum   =    (1)168
  flbaseadd = 194a9168
  sof        =       40
  stat1      =      0080
  stat2      =      0080
Most recent frame: 45a (90)    Last ISO frame: 45a (90)
Periodic load table
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
Total: 0, #INT: 0, #ISO: 0
Frame List
Skeleton QHs
- skel_unlink_qh
    [d91a1000] Skel QH link (00000001) element (00000001)
      queue is empty
- skel_iso_qh
    [d91a1060] Skel QH link (00000001) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int128_qh
    [d91a10c0] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int64_qh
```

```
    [d91a1120] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int32_qh
    [d91a1180] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int16_qh
    [d91a11e0] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int8_qh
    [d91a1240] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int4_qh
    [d91a12a0] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int2_qh
    [d91a1300] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_async_qh
    [d91a1360] Skel QH link (00000001) element (197bd000)
      queue is empty
[d97bd000] link (00000001) e0 Length=0 MaxLen=7ff DT0 EndPt=0 Dev=7f,
PID=69(IN) (buf=00000000)
- skel_term_qh
    [d91a13c0] Skel QH link (191a13c2) element (197bd000)
      queue is empty
```

可以看到,那 11 个 skel qh 都被打印了出来,link 后面的括号里面的东西是 link 的地址,element 后面的括号里面的东西是 element 的地址.这个时候整个调度框架中没有任何有实质意义的 qh 或者 td. Periodic load table 后面打印出来的是 uhci->load[]数组的 32 个元素,我们看到这时候这 32 个元素全是 0,因为目前没有任何中断调度或者等时调度.下面我们做一个实验,我们往 usb 端口里插入一个 usb 键盘,然后加载其驱动程序,比如 usbhid 模块.然后我们再来看同一个文件:

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.1
Root-hub state: running    FSBR: 0
HC status
  usbcmd     =      00c1    Maxp64 CF RS
  usbstat    =      0000
  usbint     =      000f
  usbfrnum   =    (1)a70
  flbaseadd = 194a9a70
  sof        =       40
  stat1      =      0080
  stat2      =      01a5    LowSpeed Enabled Connected
Most recent frame: 8ae66 (614)    Last ISO frame: 8ae66 (614)
```

```
Periodic load table
        0       0       0       0       0       0       0       0
        118     0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        118     0       0       0       0       0       0       0
Total: 236, #INT: 1, #ISO: 0
Frame List
Skeleton QHs
- skel_unlink_qh
    [d91a1000] Skel QH link (00000001) element (00000001)
      queue is empty
- skel_iso_qh
    [d91a1060] Skel QH link (00000001) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int128_qh
    [d91a10c0] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int64_qh
    [d91a1120] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int32_qh
    [d91a1180] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int16_qh
    [d91a11e0] Skel QH link (191a1482) element (00000001)
      queue is empty
    [d91a1480] INT QH link (191a1362) element (197bd0c0)
        period 16 phase 8 load 118 us
urb_priv [d4b31720] urb [d9d84440] qh [d91a1480] Dev=2 EP=1(IN) INT
Actlen=0
        1: [d97bd0c0] link (197bd030) e3 LS IOC Active NAK Length=7ff
MaxLen=7 DT0 EndPt=1 Dev=2, PID=69(IN) (buf=18c69000)
      Dummy TD
[d97bd030] link (197bd060) e0 Length=0 MaxLen=7ff DT0 EndPt=0 Dev=0,
PID=e1(OUT) (buf=00000000)
- skel_int8_qh
    [d91a1240] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int4_qh
    [d91a12a0] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
- skel_int2_qh
    [d91a1300] Skel QH link (191a1362) element (00000001)
      queue is empty
```

```
- skel_async_qh
    [d91a1360] Skel QH link (00000001) element (197bd000)
      queue is empty
[d97bd000] link (00000001) e0 Length=0 MaxLen=7ff DT0 EndPt=0 Dev=7f,
PID=69(IN) (buf=00000000)
- skel_term_qh
    [d91a13c0] Skel QH link (191a13c2) element (197bd000)
      queue is empty
```

最显著的两个变化是,第一, Periodic load table 这张表不再全是 0 了,第二,在 skel_int16_qh 下面不再是空空如也了.有一个 int QH 了,有一个 urb_priv 了,这个 int QH 的周期(period)是 16,phase 是 8,load 是 118 微秒.对照 Periodic load table,再结合这三个数字,你是不是能明白 phase 的含义了.没错,load 这个数组一共 32 个元素,编号从 0 开始到 31 结束,周期是 16 就意味着每隔 16ms 这个中断传输会被调度一次,phase 是 8 就意味着它的起始点位于编号为 8 的位置,即从 8 开始,8,24,40,56,…每隔 16ms 就安置一个中断传输的调度.而 118 微秒则是它在每个 Frame 中占据多少总线时间.

至此,我们既了解了中断传输的处理,也了解了 debugfs 在 uhci-hcd 模块中的应用.文件 drivers/usb/host/uhci-debug.c 一共 592 行就是努力让我们能够在/sys/kernel/debug/目录下面看到刚才这些信息.实际上通过以上这幅图或者说这个 sysfs 提供的信息,我们对于整个 uhci-hcd 的结构也有了很好的了解,之前的任何一个数据结构,比如 skel_term_qh,比如 Dummy_TD,比如整个 skelqh 数组,比如 link,比如 element,比如 periodic load table 这一切的一切,都通过这幅图展现得淋漓尽致.也正是通过这幅图,我们才真正体会到了 skelqh 这个数组的意义和价值,没有它们构建的基础框架,如果不是这 11 个元素像人民币一样的坚挺,真正的 qh 根本就没有办法建立,根本就没有办法连接起来,其它 qh 对 skelqh 的依赖,就好比台湾贸易对中国大陆的依赖,就好比糖尿病人对胰岛素的依赖,毫无疑问,在 uhci-hcd 中提出使用 skelqh 这个数组是一个无比英明的决定.尽管有人觉得 skelqh 的存在浪费了内存,而且搞得代码看上去复杂了许多,但它确实非常实用,像棉花一样实用.要知道,寒冷的时候,温暖我们的,不是爱情,而是棉花.

等时传输

然后我们可以来看等时传输了.由于等时传输的特殊性,很多地方它都被特别的对待了.从 usb_submit_urb 开始就显示出了它的白里透红与众不同了.该函数中 268 行, 判断 temp 是不是 PIPE_ISOCHRONOUS,即是不是等时传输,如果是,就执行下面那段代码.

278 行,int number_of_packets 是 struct urb 的一个成员,它用来指定该 urb 所处理的等时传输缓冲区的数量,或者说这个等时传输要传输多少个 packet,每一个 packet 用一个 struct usb_iso_packet_descriptor 结构体变量来描述,对于每一个 packet,需要建立一个 td.

同时,我们还注意到 struct urb 有另外一个成员,struct usb_iso_packet_descriptor iso_frame_desc[0],又是一个零长度数组,这个数组用来帮助这个 urb 定义多个等时传输,而这个数组的实际长度恰恰就是我们前面提到的那个 number_of_packets.设备驱动程序在提交等

时传输 urb 的时候,必须设置好 urb 的 iso_frame_desc 数组.网友"只羡鸳鸯不献血"对我说,为何 iso_frame_desc 数组的长度恰好是 number_of_packets?从哪里看出来的?还记得很久很久以前,我们曾经讲过一个叫做 usb_alloc_urb()的函数么?不管是在 usb-storage 中还是在 hub 驱动中,我们都曾经见过这个函数,它的作用就是申请 urb,但是你或许忘记了这个函数的参数,在 include/linux/usb.h 中我们找到了它的原型:

```
1266 extern struct urb *usb_alloc_urb(int iso_packets, gfp_t mem_flags);
```

这其中第一个参数,iso_packets,其实就是咱们这里的 number_of_packets.正如这个城市里每一个人都有几张脸一样,它们两者只是同一个概念的不同的表现形式罢了.所以,设备驱动在申请等时 urb 的时候,必须指定需要传输多少个 packets.虽然曾经贴过 usb_alloc_urb(),但是这里我还是在贴一遍吧,来自 drivers/usb/core/urb.c:

```
40 /**
41  * usb_alloc_urb - creates a new urb for a USB driver to use
42  * @iso_packets: number of iso packets for this urb
43  * @mem_flags: the type of memory to allocate, see kmalloc() for a list of
44  *      valid options for this.
45  *
46  * Creates an urb for the USB driver to use, initializes a few internal
47  * structures, incrementes the usage counter, and returns a pointer to it.
48  *
49  * If no memory is available, NULL is returned.
50  *
51  * If the driver want to use this urb for interrupt, control, or bulk
52  * endpoints, pass '0' as the number of iso packets.
53  *
54  * The driver must call usb_free_urb() when it is finished with the urb.
55  */
56 struct urb *usb_alloc_urb(int iso_packets, gfp_t mem_flags)
57 {
58         struct urb *urb;
59
60         urb = kmalloc(sizeof(struct urb) +
61                 iso_packets * sizeof(struct usb_iso_packet_descriptor),
62                 mem_flags);
63         if (!urb) {
64                 err("alloc_urb: kmalloc failed");
65                 return NULL;
66         }
67         usb_init_urb(urb);
68         return urb;
69 }
```

再一次看到了零长度数组的应用.或者叫做变长度数组的应用.struct usb_iso_packet_descriptor 的定义来自 include/linux/usb.h:

```
952 struct usb_iso_packet_descriptor {
953         unsigned int offset;
954         unsigned int length;            /* expected length */
955         unsigned int actual_length;
956         int status;
957 };
```

这个结构体的意思很简洁明了.这个结构体描述的就是一个 iso 包.而 urb 的 iso_frame_desc 数组的元素都是在设备驱动提交 urb 之前就设置好了.其中 length 就如注释里说的一样,是期待长度.而 actual_length 是实际长度,这里我们先把它设置为 0.

至于 348 行,对于 HIGH Speed 的设备,如果 urb->interval 大于 1024*8,则设置为 1024*8,注意这里单位是微帧,即 125 微秒,以及 360 行,对于全速设备的 ISO 传输,如果 urb->interval 大于 1024,则设置为 1024,注意这里单位是帧,即 1 毫秒.关于这两条,Alan Stern 的解释是,由于主机控制器驱动中并不支持超过 1024 个毫秒的 interval,(想想也很简单,比如 uhci 吧,总共 frame list 才 1024 个元素,你这个间隔期总不能超过它吧,要不还不乱了去.)

然后进入 usb_hcd_submit_urb.然后因为 Root Hub 是不会有等时传输的,所以针对非 Root Hub,调用 uhci_urb_enqueue.1419 行,调用 uhci_submit_isochronous().这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
1228 /*
1229  * Isochronous transfers
1230  */
1231 static int uhci_submit_isochronous(struct uhci_hcd *uhci, struct urb *urb,
1232                 struct uhci_qh *qh)
1233 {
1234         struct uhci_td *td = NULL;      /* Since
urb->number_of_packets > 0 */
1235         int i, frame;
1236         unsigned long destination, status;
1237         struct urb_priv *urbp = (struct urb_priv *) urb->hcpriv;
1238
1239         /* Values must not be too big (could overflow below) */
1240         if (urb->interval >= UHCI_NUMFRAMES ||
1241                         urb->number_of_packets >=
UHCI_NUMFRAMES)
1242                 return -EFBIG;
1243
1244         /* Check the period and figure out the starting frame number */
1245         if (!qh->bandwidth_reserved) {
1246                 qh->period = urb->interval;
```

```
1247                if (urb->transfer_flags & URB_ISO_ASAP) {
1248                        qh->phase = -1;          /* Find the best phase
*/
1249                        i = uhci_check_bandwidth(uhci, qh);
1250                        if (i)
1251                                return i;
1252
1253                        /* Allow a little time to allocate the TDs */
1254                        uhci_get_current_frame_number(uhci);
1255                        frame = uhci->frame_number + 10;
1256
1257                        /* Move forward to the first frame having the
1258                         * correct phase */
1259                        urb->start_frame = frame + ((qh->phase - frame)
&
1260                                        (qh->period - 1));
1261                } else {
1262                        i = urb->start_frame - uhci->last_iso_frame;
1263                        if (i <= 0 || i >= UHCI_NUMFRAMES)
1264                                return -EINVAL;
1265                        qh->phase = urb->start_frame & (qh->period -
1);
1266                        i = uhci_check_bandwidth(uhci, qh);
1267                        if (i)
1268                                return i;
1269                }
1270
1271        } else if (qh->period != urb->interval) {
1272                return -EINVAL;          /* Can't change the period */
1273
1274        } else {        /* Pick up where the last URB leaves off */
1275                if (list_empty(&qh->queue)) {
1276                        frame = qh->iso_frame;
1277                } else {
1278                        struct urb *lurb;
1279
1280                        lurb = list_entry(qh->queue.prev,
1281                                        struct urb_priv, node)->urb;
1282                        frame = lurb->start_frame +
1283                                        lurb->number_of_packets *
1284                                        lurb->interval;
1285                }
1286                if (urb->transfer_flags & URB_ISO_ASAP)
1287                        urb->start_frame = frame;
```

```
1288                    else if (urb->start_frame != frame)
1289                            return -EINVAL;
1290            }
1291
1292            /* Make sure we won't have to go too far into the future */
1293            if (uhci_frame_before_eq(uhci->last_iso_frame +
UHCI_NUMFRAMES,
1294                            urb->start_frame + urb->number_of_packets *
1295                                    urb->interval))
1296                    return -EFBIG;
1297
1298            status = TD_CTRL_ACTIVE | TD_CTRL_IOS;
1299            destination = (urb->pipe & PIPE_DEVEP_MASK) |
usb_packetid(urb->pipe);
1300
1301            for (i = 0; i < urb->number_of_packets; i++) {
1302                    td = uhci_alloc_td(uhci);
1303                    if (!td)
1304                            return -ENOMEM;
1305
1306                    uhci_add_td_to_urbp(td, urbp);
1307                    uhci_fill_td(td, status, destination |
1308
uhci_explen(urb->iso_frame_desc[i].length),
1309                                    urb->transfer_dma +
1310                                            urb->iso_frame_desc[i].offset);
1311            }
1312
1313            /* Set the interrupt-on-completion flag on the last packet. */
1314            td->status |= __constant_cpu_to_le32(TD_CTRL_IOC);
1315
1316            /* Add the TDs to the frame list */
1317            frame = urb->start_frame;
1318            list_for_each_entry(td, &urbp->td_list, list) {
1319                    uhci_insert_td_in_frame_list(uhci, td, frame);
1320                    frame += qh->period;
1321            }
1322
1323            if (list_empty(&qh->queue)) {
1324                    qh->iso_packet_desc = &urb->iso_frame_desc[0];
1325                    qh->iso_frame = urb->start_frame;
1326                    qh->iso_status = 0;
1327            }
1328
```

```
1329            qh->skel = SKEL_ISO;
1330            if (!qh->bandwidth_reserved)
1331                    uhci_reserve_bandwidth(uhci, qh);
1332            return 0;
1333 }
```

1240 行,UHCI_NUMFRAMES 是 1024,同样,urb 的 interval 显然不能比这个还大,它的 number_of_packets 也不能比这个大.要不然肯定就溢出了.就像伤痛,当眼泪掉下来,一定是伤痛已经超载.

接下来看,URB_ISO_ASAP 这个 flag 是专门给等时传输用的,它的意思就是告诉驱动程序,只要带宽允许,那么就从此点开始设置这个 urb 的 start_frame 变量.通常为了尽可能快的得到图像数据,应当在 URB 中指定这个 flag,因为它意味着尽可能快的发出本 URB.比如说,之前有一个 urb,是针对 iso 端点的,假设它有两个 packets,它们被安排在 frame 号 108 和 109,即假设其 interval 是 1.现在在假设新的一个 urb 是在 frame 111 被提交的,如果设置了 URB_ISO_ASAP 这个 flag,那么这个 urb 的第一个 packet 就会在下一个可以接受的 frame 中被执行,比如 frame 112.但是如果没有设置这个 URB_ISO_ASAP 的 flag 呢,这个 packet 就会被安排在上一个 urb 结束之后的下一个 frame,即 110.尽管 frame 110 已经过去了,但是这种调度仍然有意义,因为它可以保证一定接下来的 packets 处于特定的 phase,因为有的时候,驱动程序并不在乎丢掉一些包,尤其是等时传输.

我们看到这里 qh 的 phase 被设置为了-1.所以在 uhci_check_bandwidth 函数里面我们有一个判断条件是 qh 的 phase 是否大于等于 0.如果调用 uhci_check_bandwidth 之前设置了 phase 大于等于 0,则表明咱们手工设置了 phase,否则的话这里通过一种算法来选择出一个合适的 phase.这个函数正常应该返回 0.

接下来,uhci_get_current_frame_number().

```
433 /*
434  * Store the current frame number in uhci->frame_number if the
controller
435  * is runnning.  Expand from 11 bits (of which we use only 10) to a
436  * full-sized integer.
437  *
438  * Like many other parts of the driver, this code relies on being polled
439  * more than once per second as long as the controller is running.
440  */
441 static void uhci_get_current_frame_number(struct uhci_hcd *uhci)
442 {
443         if (!uhci->is_stopped) {
444                 unsigned delta;
445
446                 delta = (inw(uhci->io_addr + USBFRNUM) -
uhci->frame_number) &
447                                 (UHCI_NUMFRAMES - 1);
```

```
448                     uhci->frame_number += delta;
449             }
450 }
```

我们说过,uhci 主机控制器有一个 frame 计数器,frame 从 0 到 1023,然后又从 0 开始,那么这个数到底是多少呢?这个函数就是获得这个值的,我们看到读了端口,读 USBFRNUM 寄存器.uhci->frame_number 用来记录这个 frame number,所以这里的做法就是把当前的 frame number 减去上次保存在 uhci->frame_number 中的值,然后转换成二进制,得到一个差值,再更新 uhci 的 frame_number.

而 start_frame 就是这个传输开始的 frame.这里咱们让 frame 等于当前的 frame 加上 10,就是给个延时,如注释所说的那样,给内存申请一点点时间.然后咱们让 start_frame 等于 frame 加上一个东西,(qh->phase-frame)和(qh->period-1)相与.熟悉二进制运算的同志们应该不难知道这样做最终得到的 start_frame 是什么,很显然,它会满足 phase 的要求.

1261 行,else,就是驱动程序指定了 start_frame,这种情况下就是直接设置 phase,last_iso_frame 就对应于刚才这个例子中的 frame 109.

1293 行,uhci_frame_before_eq 就是一个普通的宏,来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
441 /* Utility macro for comparing frame numbers */
442 #define uhci_frame_before_eq(f1, f2)     (0 <= (int) ((f2) - (f1)))
```

其实就是比较两个 frame number.如果第二个比第一个大的话,就返回真,反之就返回假.而咱们这里代码的意思是,如果第二个比第一个大,那么说明出错了.last_iso_frame 是记录着上一次扫描时的 frame 号,在 uhci_scan_schedule 中会设置,UHCI_NUMFRAMES 我们知道是 1024.urb 的 number_of_packets 与 interval 的乘积就表明将要花掉多少时间,它们加上 urb 的 start_frame 就等于这些包传输完之后的时间,或者说 frame number.这里的意思就是希望一次传输的东西别太大了,不能越界.-EFBIG 这个错误码的含义本身就是 File too large.

1298 行,TD_CTRL_IOS,对应于 TD 的 bit25,IOS 的意思是 Isochronous Select,这一位为 1 表示这是这个 TD 是一个 Isochronous Transfer Descriptor,即等时传输描述符,如果为 0 则表示这是一个非等时传输描述符.等时传输的 TD 在执行完之后会被主机控制器设置为 inactive,不管执行的结果是什么.下面还设置了 TD_CTRL_IOC,这个没啥好说的,告诉主机控制器在这个 TD 执行的 Frame 结束的时候发送一个中断.

然后根据 packets 的数量申请 td,再把本 urb 的各个 TD 给加入到 frame list 中去.uhci_insert_td_in_frame_list 是来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
156 /*
157  * We insert Isochronous URBs directly into the frame list at the beginning
158  */
159 static inline void uhci_insert_td_in_frame_list(struct uhci_hcd *uhci,
160                 struct uhci_td *td, unsigned framenum)
161 {
```

```
162         framenum &= (UHCI_NUMFRAMES - 1);
163
164         td->frame = framenum;
165
166         /* Is there a TD already mapped there? */
167         if (uhci->frame_cpu[framenum]) {
168                 struct uhci_td *ftd, *ltd;
169
170                 ftd = uhci->frame_cpu[framenum];
171                 ltd = list_entry(ftd->fl_list.prev, struct uhci_td, fl_list);
172
173                 list_add_tail(&td->fl_list, &ftd->fl_list);
174
175                 td->link = ltd->link;
176                 wmb();
177                 ltd->link = LINK_TO_TD(td);
178         } else {
179                 td->link = uhci->frame[framenum];
180                 wmb();
181                 uhci->frame[framenum] = LINK_TO_TD(td);
182                 uhci->frame_cpu[framenum] = td;
183         }
184 }
```

只有等时传输才需要使用这个函数.我们先看 else 这一段,让 td 物理上指向 uhci 的 frame 数组中对应元素,framenum 是咱们传递进来的参数,其实就是 urb 的 start_frame.而 frame 数组里面的东西又设置为 td 的物理地址.要知道之前我们曾经在 configure_hc 中把 frame 和实际的硬件的 frame list 给联系了起来,因此我们只要把 td 和 frame 联系起来就等于和硬件联系了起来,另一方面这里又把 frame_cpu 和 td 联系起来,所以以后我们只要直接通过 frame_cpu 来操作队列即可.正如下面在 if 段所看到的那样.

来看 if 这一段,struct uhci_td 有一个成员 struct list_head fl_list,struct uhci_hcd 中有一个成员 void **frame_cpu,当初咱们在 uhci_start 函数中为 uhci->frame_cpu 申请好了内存,而刚才在 else 里面我们看到每次会把 frame_cpu 数组的元素赋值为 td,所以这里就是把 td 通过 fl_list 链入到 ftd 的 fl_list 队列里去.而物理上,也把 td 给插入到这个队列中来.

如果 qh 的 queue 为空,即没有任何 urb,就设置 qh 的几个成员,iso_packet_desc 是下一个 urb 的 iso_frame_desc,iso_frame 则是该 iso_packet_desc 的 frame 号,iso_status 则是该 iso urb 的状态.

最后,令 qh->skel 等于 SKEL_ISO,然后调用 uhci_reserve_bandwidth 保留带宽.

至此,uhci_submit_isochronous 就结束了.回到 uhci_urb_enqueue,下一步执行,uhci_activate_qh,而在这个函数中,我们将调用 link_iso.

那么 link_iso 呢,同样来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
425 /*
426  * Link an Isochronous QH into its skeleton's list
427  */
428 static inline void link_iso(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
429 {
430         list_add_tail(&qh->node, &uhci->skel_iso_qh->node);
431
432         /* Isochronous QHs aren't linked by the hardware */
433 }
```

这就简单多了,直接加入到 skel_iso_qh 这支队伍去就可以了.

终于,四大传输也就这样结束了.而我们的故事也即将 ALT+F4 了.我只是说也许.

如果失败的人生可以 F5,如果莫名的悲伤可以 DEL;

如果逝去的岁月可以 CTRL+C,如果甜蜜的往事可以 CTRL+V;

如果一切都可以 CTRL+ALT+DEL,那么我们所有的故事是不是永远都不会 ALT+F4?

实战电源管理（一）

车上的乘客大家请注意,下一站车上将上来几个小偷,大家一定要看管好自己的钱包和随身携带的物品.

——东北某报记者在葫芦岛听到公共汽车售票员这样提示.
此刻,我也需要预先提示你,关于 uhci,我们如果想结束,现在就可以结束,如果不想,那么继续往前走一点也未尝不可.继续走的话我们会关注电源管理的部分,就如同我们在 hub 驱动中关注的一样.由于这部分代码颇为抽象,我们于是利用 kdb,并且以做实验的方法来解读这些代码.如果你对电源管理不感兴趣,那么你可以就此留步.这个世界,文思三千,不如胸脯四两,北大人大,不如波大.所以你大可不必像我一样无聊的研究这并不重要的代码,因为你即使看了也不可能像汤唯姐姐一样身价三百万,相反,如果你是 IT 人士,那么请你随时准备挨踢.
假设我加载了 uhci-hcd 模块,然后插入 u 盘,这时候我们注意看 sysfs 下面 debugfs 提供的信息:

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.0
Root-hub state: running   FSBR: 0
HC status
 usbcmd    =     00c1   Maxp64 CF RS
 usbstat   =     0000
 usbint    =     000f
```

```
 usbfrnum =   (1)9f4
 flbaseadd = 1cac59f4
 sof      =    40
 stat1    =    0095   Enabled Connected
 stat2    =    0080
Most recent frame: ee49 (585)   Last ISO frame: ee49 (585)
Periodic load table
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
Total: 0, #INT: 0, #ISO: 0
```

这其中第一行,打印出来的是 Root Hub 的状态,这对应于 uhci->rh_state 这个成员,目前我们看到的是 running.我们可以和另一个 Root Hub 挂起的主机控制器的信息做一下对比:

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.1
Root-hub state: suspended   FSBR: 0
HC status
 usbcmd    =    0048   Maxp32 CF EGSM
 usbstat   =    0020   HCHalted
 usbint    =    0002
 usbfrnum =   (0)0e8
 flbaseadd = 1db810e8
 sof      =    40
 stat1    =    0080
 stat2    =    0080
Most recent frame: 103a (58)   Last ISO frame: 103a (58)
Periodic load table
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
Total: 0, #INT: 0, #ISO: 0
```

这里我们看到 Root Hub 的状态是 suspended.

这时候我们进入 kdb,设置一些断点,比如我设置了 suspend_rh.然后退出 kdb,然后拔出 u 盘.这时,kdb 提示符会跳出来,因为 suspend_rh 会被执行.而通过 kdb 中享有盛名的 bt 命令可以看到调用 suspend_rh 的是 uhci_hub_status_data 函数,而调用 uhci_hub_status_data 的函数是 rh_timer_func,再往前追溯则是那个 usb_hcd_poll_rh_status.所以我们就来仔细看看这个 uhci_hub_status_data 函数.

```
184 static int uhci_hub_status_data(struct usb_hcd *hcd, char *buf)
185 {
186         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
187         unsigned long flags;
188         int status = 0;
189
```

```
 190        spin_lock_irqsave(&uhci->lock, flags);
 191
 192        uhci_scan_schedule(uhci);
 193        if (!test_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags) ||
uhci->dead)
 194                goto done;
 195        uhci_check_ports(uhci);
 196
 197        status = get_hub_status_data(uhci, buf);
 198
 199       switch (uhci->rh_state) {
 200           case UHCI_RH_SUSPENDING:
 201           case UHCI_RH_SUSPENDED:
 202               /* if port change, ask to be resumed */
 203               if (status)
 204                       usb_hcd_resume_root_hub(hcd);
 205               break;
 206
 207           case UHCI_RH_AUTO_STOPPED:
 208               /* if port change, auto start */
 209               if (status)
 210                       wakeup_rh(uhci);
 211               break;
 212
 213           case UHCI_RH_RUNNING:
 214               /* are any devices attached? */
 215               if (!any_ports_active(uhci)) {
 216                       uhci->rh_state = UHCI_RH_RUNNING_NODEVS;
 217                       uhci->auto_stop_time = jiffies + HZ;
 218               }
 219               break;
 220
 221           case UHCI_RH_RUNNING_NODEVS:
 222               /* auto-stop if nothing connected for 1 second */
 223                if (any_ports_active(uhci))
 224                       uhci->rh_state = UHCI_RH_RUNNING;
 225               else if (time_after_eq(jiffies, uhci->auto_stop_time))
 226                       suspend_rh(uhci, UHCI_RH_AUTO_STOPPED);
 227               break;
 228
 229           default:
 230               break;
 231       }
 232
```

```
233 done:
234         spin_unlock_irqrestore(&uhci->lock, flags);
235         return status;
236 }
```

225 行,time_after_eq 这么一行,以及 222 行这些注释告诉我们,当我把那 U 盘拔出来之后一秒钟,suspend_rh 就会被调用.很显然当咱们进入到这个函数的时候,rh->state 是等于 UHCI_RH_RUNNING_NODEVS.这个函数来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
259 static void suspend_rh(struct uhci_hcd *uhci, enum uhci_rh_state
new_state)
260 __releases(uhci->lock)
261 __acquires(uhci->lock)
262 {
263         int auto_stop;
264         int int_enable, egsm_enable;
265
266         auto_stop = (new_state == UHCI_RH_AUTO_STOPPED);
267         dev_dbg(&uhci_to_hcd(uhci)->self.root_hub->dev,
268                         "%s%s\n", __FUNCTION__,
269                         (auto_stop ? " (auto-stop)" : ""));
270
271         /* If we get a suspend request when we're already auto-stopped
272          * then there's nothing to do.
273          */
274         if (uhci->rh_state == UHCI_RH_AUTO_STOPPED) {
275                 uhci->rh_state = new_state;
276                 return;
277         }
278
279         /* Enable resume-detect interrupts if they work.
280          * Then enter Global Suspend mode if _it_ works, still configured.
281          */
282         egsm_enable = USBCMD_EGSM;
283         uhci->working_RD = 1;
284         int_enable = USBINTR_RESUME;
285         if (remote_wakeup_is_broken(uhci))
286                 egsm_enable = 0;
287         if (resume_detect_interrupts_are_broken(uhci) || !egsm_enable ||
288                         !device_may_wakeup(
289                                 &uhci_to_hcd(uhci)->self.root_hub->dev))
290                 uhci->working_RD = int_enable = 0;
291
292         outw(int_enable, uhci->io_addr + USBINTR);
293         outw(egsm_enable | USBCMD_CF, uhci->io_addr + USBCMD);
294         mb();
```

```
295         udelay(5);
296
297         /* If we're auto-stopping then no devices have been attached
298          * for a while, so there shouldn't be any active URBs and the
299          * controller should stop after a few microseconds. Otherwise
300          * we will give the controller one frame to stop.
301          */
302         if (!auto_stop && !(inw(uhci->io_addr + USBSTS) & USBSTS_HCH)) {
303                 uhci->rh_state = UHCI_RH_SUSPENDING;
304                 spin_unlock_irq(&uhci->lock);
305                 msleep(1);
306                 spin_lock_irq(&uhci->lock);
307                 if (uhci->dead)
308                         return;
309         }
310         if (!(inw(uhci->io_addr + USBSTS) & USBSTS_HCH))
311                 dev_warn(&uhci_to_hcd(uhci)->self.root_hub->dev,
312                         "Controller not stopped yet!\n");
313
314         uhci_get_current_frame_number(uhci);
315
316         uhci->rh_state = new_state;
317         uhci->is_stopped = UHCI_IS_STOPPED;
318         uhci_to_hcd(uhci)->poll_rh = !int_enable;
319
320         uhci_scan_schedule(uhci);
321         uhci_fsbr_off(uhci);
322 }
```

需要注意我们传递进来的第二个参数是 UHCI_RH_AUTO_STOPPED,而 new_state 则是形参. 所以 266 行 auto_stop 就是 1.

下面先来解释一下其中涉及到的几个重要的宏.

第一个 USBCMD_EGSM,UHCI 的命令寄存器中的 Bit3.EGSM 表示 Enter Global Suspend Mode,uhci spec 中是这样介绍的:

Enter Global Suspend Mode (EGSM). 1=Host Controller enters the Global Suspend mode. No USB transactions occurs during this time. The Host Controller is able to receive resume signals from USB and interrupt the system. Software resets this bit to 0 to come out of Global Suspend mode. Software writes this bit to 0 at the same time that Force Global Resume (bit 4) is written to 0 or after writing bit 4 to 0. Software must also ensure that the Run/Stop bit (bit 0) is cleared prior to setting this bit.

第二个,USBCMD_CF,UHCI 的命令寄存器中的 Bit6.

Configure Flag (CF). HCD software sets this bit as the last action in its process of configuring the Host Controller. This bit has no effect on the hardware. It is provided only as a semaphore service for software.

第三个,USBINTR_RESUME,对应于 UHCI 的中断使能寄存器的 bit1.全称是 Resume Interrupt Enable.这里咱们设置了这一位,这表示当 Resume 发生的时候,会产生一个中断.
然后咱们在 293 行设置了命令寄存器中的 USBCMD_EGSM 和 USBCMD_CF,这基本上就宣告了咱们进入到了挂起状态.
第四个 USBSTS_HCH,这对应于 UHCI 的状态寄存器中的 Bit5,学名为 HCHalted.如果设置了这一位基本上就宣告主机控制器罢工了.
咱们这里看到 auto_stop 是在 266 行赋的值,以咱们这个上下文,它确实为真,所以尽管状态寄存器的 HCHalted 没有设置过,if 条件并不满足,所以 303 行不会被执行.
然后 314 行获得当前的 frame 号.
316 行设置 uhci->rh_state 为 UHCI_RH_AUTO_STOPPED.
317 行设置 uhci->is_stopped 为 UHCI_IS_STOPPED.UHCI_IS_STOPPED 的值是 9999,不过它究竟是多少并不重要,实际上我们对 uhci->is_stopped 的判断就是看它为零还是不为零.比如我们在 start_rh 中设置了 uhci->is_stopped 为 0.而在 uhci_set_next_interrupt 中我们会判断它是否为 0.
318 行设置 hcd 的 poll_rh,284 行我们设置了 int_enable 为 USBINTR_RESUME,而在 287 行这个 if 条件如果满足,我们又会把 int_enable 设置为 0.但即使从字面意义我们也能明白,poll_rh 表示对 Root Hub 的轮询,如果中断是使能的,就不需要轮询,如果中断被禁掉了,就支持轮询.
最后执行 uhci_scan_schedule 和 uhci_fsbr_off.前者就是处理那些调度的后事,后者咱们没贴过,来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
59 static void uhci_fsbr_off(struct uhci_hcd *uhci)
60 {
61         struct uhci_qh *lqh;
62
63         /* Remove the link from the last async QH to the terminating
64          * skeleton QH. */
65         uhci->fsbr_is_on = 0;
66         lqh = list_entry(uhci->skel_async_qh->node.prev,
67                         struct uhci_qh, node);
68         lqh->link = UHCI_PTR_TERM;
69 }
```

其实就是和当初看的那个 uhci_fsbr_on 做相反的工作.原本我们把 async qh 的最后一个节点的 link 指向了 skel_term_qh,现在咱们还是还原其本色,让其像最初的时候那样指向 UHCI_PTR_TERM.同时咱们把 fsbr_is_on 也给设为 0
这样,关于 Root Hub 的挂起工作就算完成了.
不过如果你这时候按 go 命令退出 kdb,你会发现你再一次进入了 kdb.因为 suspend_rh 会再一次被调用.这一次的情形跟刚才可不一样.这次你再用 bt 命令看一下调用关系,你会发现,调用 suspend_rh 的是 uhci_rh_suspend,调用 uhci_rh_suspend 的是 hcd_bus_suspend,调用 hcd_bus_suspend 的是 hub_suspend.hub_suspend 咱们不陌生了吧,当初在 hub 驱动中隆重推出的一个函数.不断追溯回去,就会知道,触发这整个调用一条龙的是 usb_autosuspend_work,即 autosuspend 机制引发了这一系列函数的调用.autosuspend/autoresume 实际上是 usbcore 实现的,咱们当初在 hub 驱动中讲了够多了,这里咱们就从 hub_suspend 这位老朋友这里开始看起,

```
1919 static int hub_suspend(struct usb_interface *intf, pm_message_t msg)
```

```
1920 {
1921        struct usb_hub          *hub = usb_get_intfdata (intf);
1922        struct usb_device       *hdev = hub->hdev;
1923        unsigned                port1;
1924        int                     status = 0;
1925
1926        /* fail if children aren't already suspended */
1927        for (port1 = 1; port1 <= hdev->maxchild; port1++) {
1928              struct usb_device       *udev;
1929
1930              udev = hdev->children [port1-1];
1931              if (udev && msg.event == PM_EVENT_SUSPEND &&
1932 #ifdef CONFIG_USB_SUSPEND
1933                              udev->state != USB_STATE_SUSPENDED
1934 #else
1935                              udev->dev.power.power_state.event
1936                                    == PM_EVENT_ON
1937 #endif
1938                              ) {
1939                    if (!hdev->auto_pm)
1940                              dev_dbg(&intf->dev, "port %d nyet suspended\n",
1941                                        port1);
1942                    return -EBUSY;
1943              }
1944        }
1945
1946        dev_dbg(&intf->dev, "%s\n", __FUNCTION__);
1947
1948        /* stop khubd and related activity */
1949       hub_quiesce(hub);
1950
1951        /* "global suspend" of the downstream HC-to-USB interface */
1952        if (!hdev->parent) {
1953              status = hcd_bus_suspend(hdev->bus);
1954              if (status != 0) {
1955                    dev_dbg(&hdev->dev, "'global' suspend %d\n", status);
1956                    hub_activate(hub);
1957              }
1958        }
1959        return status;
1960 }
```

很显然,1953 行会执行,即 hcd_bus_suspend 会被执行.这个函数来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
1258 int hcd_bus_suspend (struct usb_bus *bus)
```

```
1259 {
1260        struct usb_hcd         *hcd;
1261        int                    status;
1262
1263        hcd = container_of (bus, struct usb_hcd, self);
1264        if (!hcd->driver->bus_suspend)
1265              return -ENOENT;
1266        hcd->state = HC_STATE_QUIESCING;
1267        status = hcd->driver->bus_suspend (hcd);
1268        if (status == 0)
1269              hcd->state = HC_STATE_SUSPENDED;
1270        else
1271              dev_dbg(&bus->root_hub->dev, "%s fail, err %d\n",
1272                          "suspend", status);
1273        return status;
1274 }
```

这里设置了 hcd->state 为 HC_STATE_QUIESCING,然后就是调用了 hcd driver 的 bus_suspend,对于 uhci 来说,这就是 uhci_rh_suspend.来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
 713 static int uhci_rh_suspend(struct usb_hcd *hcd)
 714 {
 715        struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
 716        int rc = 0;
 717
 718       spin_lock_irq(&uhci->lock);
 719        if (!test_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags))
 720              rc = -ESHUTDOWN;
 721        else if (!uhci->dead)
 722              suspend_rh(uhci, UHCI_RH_SUSPENDED);
 723        spin_unlock_irq(&uhci->lock);
 724        return rc;
 725 }
```

HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE 的意思很明了,就是表明硬件是否能够访问,即硬件是否挂了.既然咱们都走到了 suspend_rh 了,很显然这个 flag 是设置了的.回首往事,曾几何时,我们在 usb_add_hcd()中设置过.

另一方面,uhci->dead 也是 0,没有人对它进行过设置.这样我们才能再次进入 suspend_rh,不过这次的参数不一样,第二个参数是 UHCI_RH_SUSPEND,而不是当前那个 UHCI_RH_AUTO_STOPPED.不过由于刚才执行 suspend_rh 的时候设置了 uhci->rh_state 为 UHCI_RH_AUTO_STOPPED,所以这次我们再次进入 suspend_rh 之后,会发现一些不同.

首先 266 行,auto_stop 这次当然不再为 1 了.

不过这次 274 行的 if 条件就满足了,于是再次设置 uhci->rh_state,设置为我们这里传递进来的 UHCI_RH_SUSPEND,并且 suspend_rh 函数也就这样返回了.

此时此刻,我们再来看 debugfs 输出的信息,就会发现

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.0
Root-hub state: suspended   FSBR: 0
HC status
 usbcmd    =     0048   Maxp32 CF EGSM
 usbstat   =     0020   HCHalted
 usbint    =     0002
 usbfrnum =    (1)050
 flbaseadd = 1cac5050
 sof       =      40
 stat1     =     0080
 stat2     =     0080
Most recent frame: 4d414 (20)   Last ISO frame: 4d414 (20)
Periodic load table
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0
Total: 0, #INT: 0, #ISO: 0
```

其它什么都没变,但是 Root Hub 的状态从刚开始插有 U 盘时候的 running,变成了现在什么都没有的 suspended.

实战电源管理（二）

看了 suspend 自然就要看 resume,在电源管理的世界里,挂起和唤醒是永远被相提并论的一对,它们就像天上的雪花,本来互不相识,一旦落在地上,化成水,结成冰,便再也分不开了!

沿着上面的线索我们继续玩.现在我们设置断点 wakeup_rh.然后我们插入 U 盘.不出所料,我们又一次进入了 kdb.用 bt 命令看一下调用堆栈,发现调用 wakeup_rh 的 uhci_rh_resume,调用 uhci_rh_resume 的是 hcd_bus_resume,调用 hcd_bus_resume 的是 hub_resume,我们还可以继续追溯下去,最终我们可以追溯到 hcd_resume_work 函数.不过我们还是从 hub_resume 开始看起,来自 drivers/usb/core/hub.c:

```
1962 static int hub_resume(struct usb_interface *intf)
1963 {
1964         struct usb_hub          *hub = usb_get_intfdata (intf);
1965         struct usb_device       *hdev = hub->hdev;
1966         int                     status;
1967
1968         dev_dbg(&intf->dev, "%s\n", __FUNCTION__);
1969
1970         /* "global resume" of the downstream HC-to-USB interface */
1971         if (!hdev->parent) {
```

```
1972                    struct usb_bus   *bus = hdev->bus;
1973                    if (bus) {
1974                            status = hcd_bus_resume (bus);
1975                            if (status) {
1976                                    dev_dbg(&intf->dev, "'global' resume
%d\n",
1977                                            status);
1978                                    return status;
1979                            }
1980                    } else
1981                            return -EOPNOTSUPP;
1982                    if (status == 0) {
1983                            /* TRSMRCY = 10 msec */
1984                            msleep(10);
1985                    }
1986            }
1987
1988            /* tell khubd to look for changes on this hub */
1989            hub_activate(hub);
1990            return 0;
1991 }
```

很显然,我们进入了 1974 行这个 hcd_bus_resume 函数,来自 drivers/usb/core/hcd.c:

```
1276 int hcd_bus_resume (struct usb_bus *bus)
1277 {
1278            struct usb_hcd            *hcd;
1279            int                       status;
1280
1281            hcd = container_of (bus, struct usb_hcd, self);
1282            if (!hcd->driver->bus_resume)
1283                    return -ENOENT;
1284            if (hcd->state == HC_STATE_RUNNING)
1285                    return 0;
1286            hcd->state = HC_STATE_RESUMING;
1287            status = hcd->driver->bus_resume (hcd);
1288            if (status == 0)
1289                    hcd->state = HC_STATE_RUNNING;
1290            else {
1291                    dev_dbg(&bus->root_hub->dev, "%s fail, err %d\n",
1292                                    "resume", status);
1293                    usb_hc_died(hcd);
1294            }
1295            return status;
1296 }
```

这个函数除了设置 hcd->state 为 HC_STATE_RESUMING 之外,就是调用 hcd driver 的 bus_resume 函数,对于 uhci,就是 uhci_rh_resume.来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
727 static int uhci_rh_resume(struct usb_hcd *hcd)
728 {
729         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
730         int rc = 0;
731
732         spin_lock_irq(&uhci->lock);
733         if (!test_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags)) {
734                 dev_warn(&hcd->self.root_hub->dev, "HC isn't
running!\n");
735                 rc = -ESHUTDOWN;
736         } else if (!uhci->dead)
737                 wakeup_rh(uhci);
738         spin_unlock_irq(&uhci->lock);
739         return rc;
740 }
```

既然执行了 wakeup_rh,那么说明 HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE 仍然是设置了的,同时 uhci->dead 也仍然是 0.其实只要你不让主机控制器停下来,它就不会无缘无故的停下来.正如呼吸,也许被忽视,却永远不会停止.wakeup_rh 来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
340 static void wakeup_rh(struct uhci_hcd *uhci)
341 __releases(uhci->lock)
342 __acquires(uhci->lock)
343 {
344         dev_dbg(&uhci_to_hcd(uhci)->self.root_hub->dev,
345                         "%s%s\n", __FUNCTION__,
346                         uhci->rh_state == UHCI_RH_AUTO_STOPPED ?
347                                 " (auto-start)" : "");
348
349         /* If we are auto-stopped then no devices are attached so there's
350          * no need for wakeup signals.  Otherwise we send Global
Resume
351          * for 20 ms.
352          */
353         if (uhci->rh_state == UHCI_RH_SUSPENDED) {
354                 uhci->rh_state = UHCI_RH_RESUMING;
355                 outw(USBCMD_FGR | USBCMD_EGSM | USBCMD_CF,
356                                 uhci->io_addr + USBCMD);
357                 spin_unlock_irq(&uhci->lock);
358                 msleep(20);
359                 spin_lock_irq(&uhci->lock);
360                 if (uhci->dead)
```

```
    361                         return;
    362
    363                 /* End Global Resume and wait for EOP to be sent */
    364                 outw(USBCMD_CF, uhci->io_addr + USBCMD);
    365                 mb();
    366                 udelay(4);
    367                 if (inw(uhci->io_addr + USBCMD) & USBCMD_FGR)
    368                         dev_warn(uhci_dev(uhci), "FGR not stopped
yet!\n");
    369         }
    370
    371         start_rh(uhci);
    372
    373         /* Restart root hub polling */
    374         mod_timer(&uhci_to_hcd(uhci)->rh_timer, jiffies);
    375 }
```

花开,蝉鸣,叶落,雪飘,rh 也终有醒来的那一刻.

刚才咱们看到了 uhci->rh_state 是 UHCI_RH_SUSPENDED,所以 353 行这个 if 条件是满足的.于是 354 行设置 uhci->rh_state 为 UHCI_RH_RESUMING.

USBCMD_FGR 这个宏对应于 uhci 命令寄存器中的 Bit4,FGR 全称是 Force Global Resume,

Force Global Resume (FGR). 1=Host Controller sends the Global Resume signal on the USB. Software sets this bit to 0 after 20 ms has elapsed to stop sending the Global Resume signal. At that time all USB devices should be ready for bus activity. The Host Controller sets this bit to 1 when a resume event (connect, disconnect, or K-state) is detected while in global suspend mode. Software resets this bit to 0 to end Global Resume signaling. The 1 to 0 transition causes the port to send a low speed EOP signal. This bit will remain a 1 until the EOP has completed.

显然,在 resume 的时候这个 flag 是要被设置的.然后 358 行按照这里说的那样去延时 20 毫秒.

最后 364 行再一次设置 USBCMD_CF.

然后按照上面这段话来理解,这时候 USBCMD_FGR 应该被清除掉了,如果没有,就警告.

然后就可以再次调用 start_rh 函数了.在 Root Hub 醒来的刹那,天已经暗淡,窗外的树木早已在冬天离去,带着黄莺优美的歌声和秋季的落英缤纷,Root Hub 明白自己应该开始工作了,所以在这个函数中,uhci->rh_state 会被设置为 UHCI_RH_RUNNING.所以当我们跳出 kdb 之后再次看 debugfs 的输出我们会知道,这时候 Root Hub 的状态那一栏又显示出了 running 了.

在这之后还调用 mod_timer 去激发那个轮询函数 usb_hcd_poll_rh_status,日子又像往常一样的开始过着.而我们的人生又何尝不是如此呢?每个人的一生也不过是一场戏,一个圈.反反复复,生生不息,有谁能真正摆脱轮回的束缚.

最后我们跳出 kdb,实际看一下 debugfs 的输出:

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.0
Root-hub state: running   FSBR: 0
HC status
  usbcmd    =     00c1   Maxp64 CF RS
  usbstat   =     0000
  usbint    =     000f
  usbfrnum  =   (1)728
  flbaseadd = 1cac5728
  sof       =      40
  stat1     =     0095   Enabled Connected
  stat2     =     0080
Most recent frame: 50d40 (320)   Last ISO frame: 50d40 (320)
Periodic load table
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
Total: 0, #INT: 0, #ISO: 0
```

除了注意到 Root hub state 的变化之外,我们还可以注意到 usbcmd 的变化,实际上这一行显示的就是命令寄存器的值,而 usbint 显示的就是中断寄存器的值.至于为何现在是这个值,咱们可以在 start_rh 中找到答案.

```
    324 static void start_rh(struct uhci_hcd *uhci)
    325 {
    326         uhci_to_hcd(uhci)->state = HC_STATE_RUNNING;
    327         uhci->is_stopped = 0;
    328
    329         /* Mark it configured and running with a 64-byte max packet.
    330          * All interrupts are enabled, even though RESUME won't do
anything.
    331          */
    332         outw(USBCMD_RS | USBCMD_CF | USBCMD_MAXP,
uhci->io_addr + USBCMD);
    333         outw(USBINTR_TIMEOUT | USBINTR_RESUME | USBINTR_IOC |
USBINTR_SP,
    334                         uhci->io_addr + USBINTR);
    335         mb();
    336         uhci->rh_state = UHCI_RH_RUNNING;
```

```
337             uhci_to_hcd(uhci)->poll_rh = 1;
338 }
```

332 行写的这三个 flag 就是我们看到的 usbcmd 那一行中的 Maxp64,CF,RS.

333 行写的这四个 flag 就是我们看到的 usbint 那一行中的 000f.因为我们知道中断寄存器就是一个 16 个 bits 的寄存器,而其 bit4 到 bit15 是保留位,而 bit0 到 bit3 则对应咱们这里这四个 flag.

以上所讲的就是 Root Hub 的挂起和恢复.实际上这属于 USB 层次上的电源管理.但是要知道很多 USB 主机控制器本身是 PCI 设备,他们是连在 PCI 总线上的,那么从 PCI 的角度来说,为了实现电源管理,写代码的人还需要做哪些事情呢?欲知详情,且听下回分解.

实战电源管理（三）

接下来剩下两个重要的函数,uhci_suspend 和 uhci_resume,不过孤立的看这两个函数没有意义,得结合上下文来看,调用它们的分别是 usb_hcd_pci_suspend 和 usb_hcd_pci_resume,所以我们从这两个函数看起.当然单纯的看这些函数也是没有意义的,这个世界上像灰尘一样多的,除了美女,还有 Linux 内核中的函数;这个世界上像细菌一样多的,除了帅哥,还有 Linux 内核中的函数.所以我反复强调,重要的不是我们看完了一个两个函数本身,而是去深刻理解隐藏在代码背后的哲学思想!

因此,我们还是通过实验来探索这些代码.首先进入 kdb 用 bp 命令设置一下断点,包括 usb_hcd_pci_suspend 和 usb_hcd_pci_resume.然后退出来在 Shell 下面执行下面两条命令:

```
# echo test > /sys/power/disk
# echo disk > /sys/power/state
```

这样两条命令这么一执行,各个 suspend 函数,resume 函数会依次被执行一次.应该说这两条命令是对设备驱动电源管理部分代码的最简便的测试.当然,你别以为这是哥们儿我发明的,虽然哥们儿一直觉得自己是风一样的男子,但是实事求是的说,我还没有帅到那种一树梨花压海棠的程度.事实上在 Documentation/power/目录下面有很多关于电源管理的知识的介绍,而在 basic_pm_debugging.txt 这个文件中就有关于电源管理的基本测试方法介绍,以上这两条命令就是来自于这个文件.

如果你按我说的那样去做了,那么我们会发现因为 usb_hcd_pci_suspend 被调用而触发了 kdb.下面具体来看 usb_hcd_pci_suspend,来自 drivers/usb/core/hcd-pci.c:

```
187 /**
188  * usb_hcd_pci_suspend - power management suspend of a PCI-based
HCD
189  * @dev: USB Host Controller being suspended
190  * @message: semantics in flux
```

```
191  *
192  * Store this function in the HCD's struct pci_driver as suspend().
193  */
194 int usb_hcd_pci_suspend (struct pci_dev *dev, pm_message_t message)
195 {
196         struct usb_hcd          *hcd;
197         int                     retval = 0;
198         int                     has_pci_pm;
199
200         hcd = pci_get_drvdata(dev);
201
202         /* Root hub suspend should have stopped all downstream traffic,
203          * and all bus master traffic.  And done so for both the interface
204          * and the stub usb_device (which we check here).  But maybe it
205          * didn't; writing sysfs power/state files ignores such rules...
206          *
207          * We must ignore the FREEZE vs SUSPEND distinction here,
because
208          * otherwise the swsusp will save (and restore) garbage state.
209          */
210         if (hcd->self.root_hub->dev.power.power_state.event ==
PM_EVENT_ON)
211                 return -EBUSY;
212
213         if (hcd->driver->suspend) {
214                 retval = hcd->driver->suspend(hcd, message);
215                 suspend_report_result(hcd->driver->suspend, retval);
216                 if (retval)
217                         goto done;
218         }
219         synchronize_irq(dev->irq);
220
221         /* FIXME until the generic PM interfaces change a lot more, this
222          * can't use PCI D1 and D2 states.  For example, the confusion
223          * between messages and states will need to vanish, and
messages
224          * will need to provide a target system state again.
225          *
226          * It'll be important to learn characteristics of the target state,
227          * especially on embedded hardware where the HCD will often be
in
228          * charge of an external VBUS power supply and one or more
clocks.
229          * Some target system states will leave them active; others won't.
```

```
230          * (With PCI, that's often handled by platform BIOS code.)
231          */
232
233         /* even when the PCI layer rejects some of the PCI calls
234          * below, HCs can try global suspend and reduce DMA traffic.
235          * PM-sensitive HCDs may already have done this.
236          */
237         has_pci_pm = pci_find_capability(dev, PCI_CAP_ID_PM);
238
239         /* Downstream ports from this root hub should already be
quiesced, so
240          * there will be no DMA activity.  Now we can shut down the
upstream
241          * link (except maybe for PME# resume signaling) and enter some
PCI
242          * low power state, if the hardware allows.
243          */
244         if (hcd->state == HC_STATE_SUSPENDED) {
245
246                 /* no DMA or IRQs except when HC is active */
247                 if (dev->current_state == PCI_D0) {
248                         pci_save_state (dev);
249                         pci_disable_device (dev);
250                 }
251
252                 if (!has_pci_pm) {
253                         dev_dbg (hcd->self.controller, "--> PCI
D0/legacy\n");
254                         goto done;
255                 }
256
257                 /* NOTE:  dev->current_state becomes nonzero only
here, and
258                  * only for devices that support PCI PM.  Also, exiting
259                  * PCI_D3 (but not PCI_D1 or PCI_D2) is allowed to reset
260                  * some device state (e.g. as part of clock reinit).
261                  */
262                 retval = pci_set_power_state (dev, PCI_D3hot);
263                 suspend_report_result(pci_set_power_state, retval);
264                 if (retval == 0) {
265                         int wake =
device_can_wakeup(&hcd->self.root_hub->dev);
266
```

```
    267                         wake = wake &&
device_may_wakeup(hcd->self.controller);
    268
    269                         dev_dbg (hcd->self.controller, "--> PCI D3%s\n",
    270                                         wake ? "/wakeup" : "");
    271
    272                         /* Ignore these return values.   We rely on pci
code to
    273                          * reject requests the hardware can't implement,
rather
    274                          * than coding the same thing.
    275                          */
    276                         (void) pci_enable_wake (dev, PCI_D3hot, wake);
    277                         (void) pci_enable_wake (dev, PCI_D3cold, wake);
    278                 } else {
    279                         dev_dbg (&dev->dev, "PCI D3 suspend fail,
%d\n",
    280                                         retval);
    281                         (void) usb_hcd_pci_resume (dev);
    282                 }
    283
    284         } else if (hcd->state != HC_STATE_HALT) {
    285                 dev_dbg (hcd->self.controller, "hcd state %d; not
suspended\n",
    286                         hcd->state);
    287                 WARN_ON(1);
    288                 retval = -EINVAL;
    289         }
    290
    291 done:
    292         if (retval == 0) {
    293                 dev->dev.power.power_state = PMSG_SUSPEND;
    294
    295 #ifdef CONFIG_PPC_PMAC
    296                 /* Disable ASIC clocks for USB */
    297                 if (machine_is(powermac)) {
    298                         struct device_node       *of_node;
    299
    300                         of_node = pci_device_to_OF_node (dev);
    301                         if (of_node)
    302
pmac_call_feature(PMAC_FTR_USB_ENABLE,
    303                                                         of_node, 0, 0);
    304                 }
```

```
305 #endif
306         }
307
308         return retval;
309 }
```

鱼哭了,水知道,看代码的我哭了,谁知道?这时候鼓励我的是鲁迅先生,他说:”真的男人,敢于直面惨淡的代码,敢于正视无耻的函数.”

首先调用 driver->suspend, 对于 uhci 来说, 就是 uhci_suspend. 来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
742 static int uhci_suspend(struct usb_hcd *hcd, pm_message_t message)
743 {
744         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
745         int rc = 0;
746
747         dev_dbg(uhci_dev(uhci), "%s\n", __FUNCTION__);
748
749         spin_lock_irq(&uhci->lock);
750         if (!test_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags) ||
uhci->dead)
751                 goto done_okay;         /* Already suspended or dead */
752
753         if (uhci->rh_state > UHCI_RH_SUSPENDED) {
754                 dev_warn(uhci_dev(uhci), "Root hub isn't
suspended!\n");
755                 rc = -EBUSY;
756                 goto done;
757         };
758
759         /* All PCI host controllers are required to disable IRQ generation
760          * at the source, so we must turn off PIRQ.
761          */
762         pci_write_config_word(to_pci_dev(uhci_dev(uhci)), USBLEGSUP,
0);
763         mb();
764         hcd->poll_rh = 0;
765
766         /* FIXME: Enable non-PME# remote wakeup? */
767
768         /* make sure snapshot being resumed re-enumerates everything
*/
769         if (message.event == PM_EVENT_PRETHAW)
770                 uhci_hc_died(uhci);
```

```
771
772 done_okay:
773             clear_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags);
774 done:
775             spin_unlock_irq(&uhci->lock);
776             return rc;
777 }
```

其实这个函数和后面我们将要遇到的那个和它遥相呼应的 uhci_resume 一样,不做什么正经事.这里最重要的就是 773 行,把 HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE 这个 flag 给清掉,即挂起阶段不允许访问.

另一个,前面 764 行,把 poll_rh 也给设置为 0.

以及在上面一点,把寄存器 USBLEGSUP 写 0.

回到 usb_hcd_pci_suspend.suspend_report_result 是 PM core 那边提供的一个汇报电源管理操作的结果的一个函数.

219 行, synchronize_irq,这个函数会等待,直到对应的 IRQ handlers 执行完,即它就像自旋锁,不停的转不停的转,最终的结果就是过了这里之后中断服务例程不会被执行.

237 行,pci_find_capability(),来自 pci 世界的函数.不是所有的人都拥有孤独,不是所有的青春都是瑰丽无比,不是所有的开始都有美丽的结局,不是所有的憧憬都有美丽的旅程,不是所有的忧伤都有无心的伤害,不是所有的沉默都有宁静的心,不是所有的 PCI 设备都具有电源管理的能力.所以只有按照 237 行这样调用 pci_find_capability 才能确定这个设备是否具有电源管理的能力.has_pci_pm 这个变量的含义很直白,是就是,否就否.

接下来的代码就涉及到传说中的 D0,D1,D2,D3 的概念了.除了标准的 PCI Spec 以外,这个世界上还有一个叫做 PCI PM Spec 的家伙,这玩意儿就是专门定义一些 PCI 电源管理方面的规范.PCI PM Spec 定义了 PCI 设备一共可以有四种电源状态,即 D0,D1,D2,D3,这个 D 就表示 Device,因为与 D 相对的有一个叫做 B,B 表示总线,即 Bus,PCI PM Spec 还为 PCI 总线也定义了四种电源状态,即 B0,B1,B2,B3.当然,关于 PCI 总线的电源状态不是我们此刻应该关心的,我们现在需要关心的是 D 字头的这四种状态,不,确切的说是五种状态,因为 D3 又被分为 D3Hot 和 D3Cold.这又是怎么说呢?

事实上,D0 耗电最多,它代表着设备正常工作的状态,所有的 PCI 设备在被使用之前都必须先被设置为 D0 状态.D3 耗电最少,D2 比 D1 耗电少,比 D3 耗电多,D1 比 D0 耗电少,比 D2 耗电多.实际上很多人关心的就只是 D3 和 D0.因为 PCI PM Spec 规定每个 PCI 设备如果支持电源管理那么它至少要实现 D3 和 D0.而 D1,D2 是可选的,硬件设计者心情好就实现,心情不好你就不实现,没有人指责你.

这里我们说 D3 耗电最少,而从别的状态进入 D3 状态有两种可能,一种是通过软件来实现,比如写寄存器,一种是通过物理上断电,这种区别我想就是我远在湖南老家的祖母也知道,因为就相当于我们电视机的两种关机,一种是通过遥控器按一下,一种是通过按电视机正前方的电源开关.于是

为了区分这两种情况,定义 Spec 的同志们就把它们分别称为 D3hot 和 D3cold.从术语上来讲,D3hot 和 D3cold 的区别就在于有没有 Vcc.从 D3hot 转入到 D0 可以通过写 PMCSR 寄存器,从 D3cold 转入到 D0 可以通过加上 Vcc 和使 RST#信号有效(assert).而为了区分这两种 D0,又把从 D3cold 转过来的 D0 称之为 uninitialized D0 state,即未初始化的 D0,当设备在 power on reset 之后,也是处于这种未初始化的 D0 状态.而经历了软件初始化之后的 D0 状态被称之为 D0 active state,即 D0 活跃状态.注意,设备在每次 reset 之后都是进入 uninitialized D0 state,每次从 D3cold 返回到 D0 也是进入这种状态,这种状态就必须重新做初始化,而每次从 D3hot 返回到 D0 都是进入的 D0 active state,这种状态当然就不用再次初始化了.

而 D1 状态属于轻微睡眠状态.当一个 PCI 设备处于这种状态的时候,软件可以访问它的配置空间,但是不可以访问它内存空间,I/O 空间.

D2 状态就是比 D1 省更多的电.当然它的恢复时间也更长,即从 D2 恢复到 D0 active 至少需要 200 微秒.而从 D3 到 D0 的转变则至少需要 10 毫秒.

在 drivers/usb/core/hcd.h 中定义了以下这样一些宏,

```
104 #       define  __ACTIVE                0x01
105 #       define  __SUSPEND                0x04
106 #       define  __TRANSIENT              0x80
107
108 #       define  HC_STATE_HALT            0
109 #       define  HC_STATE_RUNNING         (__ACTIVE)
110 #       define  HC_STATE_QUIESCING
(__SUSPEND|__TRANSIENT|__ACTIVE)
111 #       define  HC_STATE_RESUMING
(__SUSPEND|__TRANSIENT)
112 #       define  HC_STATE_SUSPENDED       (__SUSPEND)
113
114 #define HC_IS_RUNNING(state) ((state) & __ACTIVE)
115 #define HC_IS_SUSPENDED(state) ((state) & __SUSPEND)
```

这几个宏的意思都是我们从字面上就能看出来的.这里我们在 244 行看到了 HC_STATE_SUSPENDED,hcd->state 什么时候会等于它?事实上在我们之前看到过的函数中,configure_hc()中把 hcd->state 设置为了 HC_STATE_SUSPENDED,而之后我们在 start_rh()中又把它设置为了 HC_STATE_RUNNING,也就是说,正常工作的时候,hcd->state 肯定是 HC_STATE_RUNNING,但是在另一个地方会把 hcd->state 设置为 HC_STATE_SUSPENDED,它就是 hcd_bus_suspend,而这个函数咱们前面已经说过,hub_suspend 会负责调用它.于是也就是说,在 hub_suspend 调用过 hcd_bus_suspend 把 hcd->state 设置为了 HC_STATE_SUSPENDED 之后,这里 244 行 if 条件满足,然后判断 dev->current_state,我们说了,正常工作的话,PCI 设备确实应该处于 D0 状态,即这里的 PCI_D0.

至于这里为何连续调用 pci_save_state,pci_disable_device,pci_set_power_state,pci_enable_wake 这四大函

数,请你参考 Documentation/power/pci.txt 文件.里面说了 PCI 设备驱动应该为如何编写 suspend/resume 函数.看了那篇文章我们同时就知道为何在 usb_hcd_pci_resume 函数中我们接连调用 pci_enable_wake,pci_enable_device,pci_set_master,pci_restore_state 这四大函数.

当然,作为一个有责任心的男人,我不可能把自己该讲的东西推卸给别人.至少我应该多少说两句.

248 行,pci_save_state,保存设备在挂起之前 PCI 的配置空间,或者更为准确的说,把 pci 配置空间中的前 64 个 bytes 保存起来.

249 行,pci_disable_device,把 I/O,bus mastering,irq 能关掉的全部给老子关掉.其实这就是 PCI 设备电源管理的基本要求.即,挂起一个 PCI 设备最起码的要求就是你别跟我执行 DMA 了,别发中断了,任何的唤醒事件通过 PME#信号来发起,当然再加上保存状态以备后来恢复之用.

262 行,我们说过,软件上的挂起一定是 D3hot,而不是 D3cold,所以这里就设置为 PCI_D3hot.

276 行和 277 行,先后调用,pci_enable_wake()函数,这个函数的第二个参数表示一种电源状态,咱们看到传递的一次是 PCI_D3hot,一次是 PCI_D3cold,这就是使得设备可以从这两种状态中产生 PME#信号.(PME#就是 Power Management Event Signal,即电源管理事件信号.)PME#信号是 PCI Power Spec 中出镜率最高的一个名词.如果一个设备希望改变它的电源状态,它就可以发送一个 PME#信号.而设备是否允许发送信号也是有开关的,并且每种状态都有一个开关.所以这里的做法就是为 D3hot 和 D3cold 打开开关.而这里 pci_enable_wake 的第三个参数是表示开还是关.即传递 1 进去就是 enable,传递 0 进去就是 disable.而咱们这里的 wake 是通过 265 行和 267 行这两个判断得到的,即能不能唤醒和愿不愿意唤醒.

278 行,如果挂起不成功,就执行 usb_hcd_pci_resume 重新恢复.这种效果就像避孕一样,不成功,则成人.

293 行,如果挂起成功,就设置 power_state 为 PMSG_SUSPEND.

295 行至 305 行,看到这个 CONFIG_PPC_PMAC 之后全国人民都激动了,这种激动之情不亚于 1999 年那次建国 50 周年的大阅兵.

于是 usb_hcd_pci_suspend 就结束了,下面我们来看 usb_hcd_pci_resume.

实战电源管理（四）

这个 usb_hcd_pci_resume 来自 drivers/usb/core/hcd-pci.c:

```
312 /**
313  * usb_hcd_pci_resume - power management resume of a PCI-based HCD
314  * @dev: USB Host Controller being resumed
315  *
```

```
316  * Store this function in the HCD's struct pci_driver as resume().
317  */
318 int usb_hcd_pci_resume (struct pci_dev *dev)
319 {
320         struct usb_hcd          *hcd;
321         int                     retval;
322
323         hcd = pci_get_drvdata(dev);
324         if (hcd->state != HC_STATE_SUSPENDED) {
325                 dev_dbg (hcd->self.controller,
326                                 "can't resume, not suspended!\n");
327                 return 0;
328         }
329
330 #ifdef CONFIG_PPC_PMAC
331         /* Reenable ASIC clocks for USB */
332         if (machine_is(powermac)) {
333                 struct device_node *of_node;
334
335                 of_node = pci_device_to_OF_node (dev);
336                 if (of_node)
337                         pmac_call_feature (PMAC_FTR_USB_ENABLE,
338                                                 of_node, 0, 1);
339         }
340 #endif
341
342         /* NOTE:   chip docs cover clean "real suspend" cases (what Linux
343          * calls "standby", "suspend to RAM", and so on).   There are also
344          * dirty cases when swsusp fakes a suspend in "shutdown" mode.
345          */
346         if (dev->current_state != PCI_D0) {
347 #ifdef   DEBUG
348                 int      pci_pm;
349                 u16      pmcr;
350
351                 pci_pm = pci_find_capability(dev, PCI_CAP_ID_PM);
352                 pci_read_config_word(dev, pci_pm + PCI_PM_CTRL,
&pmcr);
353                 pmcr &= PCI_PM_CTRL_STATE_MASK;
354                 if (pmcr) {
355                         /* Clean case:   power to USB and to HC registers
was
356                          * maintained; remote wakeup is easy.
357                          */
```

```
358                         dev_dbg(hcd->self.controller, "resume from PCI
D%d\n",
359                                         pmcr);
360                 } else {
361                         /* Clean:   HC lost Vcc power, D0 uninitialized
362                          *    + Vaux may have preserved port and
transceiver
363                          *      state ... for remote wakeup from D3cold
364                          *    + or not; HCD must reinit + re-enumerate
365                          *
366                          * Dirty: D0 semi-initialized cases with swsusp
367                          *    + after BIOS init
368                          *    + after Linux init (HCD statically linked)
369                          */
370                         dev_dbg(hcd->self.controller,
371                                 "PCI D0, from previous PCI D%d\n",
372                                 dev->current_state);
373                 }
374 #endif
375                 /* yes, ignore these results too... */
376                 (void) pci_enable_wake (dev, dev->current_state, 0);
377                 (void) pci_enable_wake (dev, PCI_D3cold, 0);
378         } else {
379                 /* Same basic cases: clean (powered/not), dirty */
380                 dev_dbg(hcd->self.controller, "PCI legacy resume\n");
381         }
382
383         /* NOTE:   the PCI API itself is asymmetric here.   We don't need
to
384          * pci_set_power_state(PCI_D0) since that's part of re-enabling;
385          * but that won't re-enable bus mastering.   Yet
pci_disable_device()
386          * explicitly disables bus mastering...
387          */
388         retval = pci_enable_device (dev);
389         if (retval < 0) {
390                 dev_err (hcd->self.controller,
391                         "can't re-enable after resume, %d!\n", retval);
392                 return retval;
393         }
394         pci_set_master (dev);
395         pci_restore_state (dev);
396
397         dev->dev.power.power_state = PMSG_ON;
```

```
398
399         clear_bit(HCD_FLAG_SAW_IRQ, &hcd->flags);
400
401         if (hcd->driver->resume) {
402                 retval = hcd->driver->resume(hcd);
403                 if (retval) {
404                         dev_err (hcd->self.controller,
405                                 "PCI post-resume error %d!\n", retval);
406                         usb_hc_died (hcd);
407                 }
408         }
409
410         return retval;
411 }
```

330 行至 340 行,激动的理由同 usb_hcd_pci_suspend.

346 行,首先判断,如果是 PCI_D0,那么就不存在所谓的 resume 了.

376 行,377 行,调用 pci_enable_wake,但是传递的第三个参数是 0,即这次是关,而上次咱们在 usb_hcd_pci_suspend 中看到的传递的就不一定是 0.这里关闭的是当前状态下的 PME#能力,以及 PCI_D3cold 下的 PME#能力,因为这两种状态下没有必要再发送 PME#信号了.

388 行,pci_enable_device,和前面那个 pci_disable_device 相对应.其实咱们不是头一次看到这个函数,当初在 usb_hcd_pci_probe 中就调用了这个函数.

394 行,pci_set_master,在设备开始工作之前为设备启用总线控制.其实咱们也不是头一次看到这个函数,当初在 usb_hcd_pci_probe 中也调用了这个函数.

395 行,pci_restore_state,很显然和前面那个 pci_save_state 相对应.恢复当初保存的 PCI 设备配置空间.

一切顺利就把 power_state 设置为 PMSG_ON.

399 行, HCD_FLAG_SAW_IRQ 这个 flag 意义不大.用 Alan Stern 的话说就是,这个 flag 是用来汇报错误的.如果一个 urb 在这个 flag 被清掉了以后 unlink,这就意味着可能中断号赋错了.就比如现在咱们这里调用 clear_bit 清掉了这个 flag,如果这时候你取 unlink 一个 urb,那么一定是有问题的.当然我个人觉得这个 flag 的用处不大,如果我是 Greg,我肯定把这个 flag 给删掉.

401 行,调用 driver->resume,对于 uhci,就是 uchi_resume 函数.来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.c:

```
779 static int uhci_resume(struct usb_hcd *hcd)
780 {
781         struct uhci_hcd *uhci = hcd_to_uhci(hcd);
```

```
782
783         dev_dbg(uhci_dev(uhci), "%s\n", __FUNCTION__);
784
785         /* Since we aren't in D3 any more, it's safe to set this flag
786          * even if the controller was dead.
787          */
788         set_bit(HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE, &hcd->flags);
789         mb();
790
791         spin_lock_irq(&uhci->lock);
792
793         /* FIXME: Disable non-PME# remote wakeup? */
794
795         /* The firmware or a boot kernel may have changed the controller
796          * settings during a system wakeup.  Check it and reconfigure
797          * to avoid problems.
798          */
799         check_and_reset_hc(uhci);
800
801         /* If the controller was dead before, it's back alive now */
802         configure_hc(uhci);
803
804         if (uhci->rh_state == UHCI_RH_RESET) {
805
806                 /* The controller had to be reset */
807                 usb_root_hub_lost_power(hcd->self.root_hub);
808                 suspend_rh(uhci, UHCI_RH_SUSPENDED);
809         }
810
811         spin_unlock_irq(&uhci->lock);
812
813         if (!uhci->working_RD) {
814                 /* Suspended root hub needs to be polled */
815                 hcd->poll_rh = 1;
816                 usb_hcd_poll_rh_status(hcd);
817         }
818         return 0;
819 }
```

和 uhci_suspend 所做的事情相反,这里主要就是设置 HCD_FLAG_HW_ACCESSIBLE 这个 flag.

而像 check_and_reset_hc 和 configure_hc 这两个函数都是一开始咱们初始化 uhci 的时候调用过的.resume 的时候和 init 的时候做的事情有时候是很相似的.

而把 rh_state 设置为 UHCI_RH_RESET 的地方只有一处,即 finish_reset 中.这个函数咱们见过不止一次了.而且事实上在刚才说的这个 check_and_reset_hc()中就会调用 finish_reset().于是我提出一个问题,在咱们这个实验中,finish_reset 会不会被调用?让我们再次把 check_and_reset_hc()贴出来:

```
164 /*
165  * Initialize a controller that was newly discovered or has lost power
166  * or otherwise been reset while it was suspended.  In none of these cases
167  * can we be sure of its previous state.
168  */
169 static void check_and_reset_hc(struct uhci_hcd *uhci)
170 {
171         if (uhci_check_and_reset_hc(to_pci_dev(uhci_dev(uhci)),
uhci->io_addr))
172                 finish_reset(uhci);
173 }
```

实践表明,uhci_check_and_reset_hc 在我们这个实验中返回值一定是 0.(在 kdb 中我们可以使用 rd 命令来查看寄存器%eax,因为%eax 通常就代表着函数的返回值.所以我们可以看到在这个实验中,如果把断点设置在 uhci_check_and_reset_hc 调用的下一行,那么%eax 必然是 0.)于是我们来到 uhci_check_and_reset_hc 中看一下为什么返回值是 0.

```
 85 /*
 86  * Initialize a controller that was newly discovered or has just been
 87  * resumed.  In either case we can't be sure of its previous state.
 88  *
 89  * Returns: 1 if the controller was reset, 0 otherwise.
 90  */
 91 int uhci_check_and_reset_hc(struct pci_dev *pdev, unsigned long base)
 92 {
 93         u16 legsup;
 94         unsigned int cmd, intr;
 95
 96         /*
 97          * When restarting a suspended controller, we expect all the
 98          * settings to be the same as we left them:
 99          *
100          *      PIRQ and SMI disabled, no R/W bits set in USBLEGSUP;
101          *      Controller is stopped and configured with EGSM set;
102          *      No interrupts enabled except possibly Resume Detect.
103          *
104          * If any of these conditions are violated we do a complete reset.
105          */
106         pci_read_config_word(pdev, UHCI_USBLEGSUP, &legsup);
```

```
    107         if (legsup & ~(UHCI_USBLEGSUP_RO | UHCI_USBLEGSUP_RWC))
{
    108                 dev_dbg(&pdev->dev, "%s: legsup = 0x%04x\n",
    109                                 __FUNCTION__, legsup);
    110                 goto reset_needed;
    111         }
    112
    113         cmd = inw(base + UHCI_USBCMD);
    114         if ((cmd & UHCI_USBCMD_RUN) || !(cmd &
UHCI_USBCMD_CONFIGURE) ||
    115                         !(cmd & UHCI_USBCMD_EGSM)) {
    116                 dev_dbg(&pdev->dev, "%s: cmd = 0x%04x\n",
    117                                 __FUNCTION__, cmd);
    118                 goto reset_needed;
    119         }
    120
    121         intr = inw(base + UHCI_USBINTR);
    122         if (intr & (~UHCI_USBINTR_RESUME)) {
    123                 dev_dbg(&pdev->dev, "%s: intr = 0x%04x\n",
    124                                 __FUNCTION__, intr);
    125                 goto reset_needed;
    126         }
    127         return 0;
    128
    129 reset_needed:
    130         dev_dbg(&pdev->dev, "Performing full reset\n");
    131         uhci_reset_hc(pdev, base);
    132         return 1;
    133 }
```

其实这个函数咱们 N 年前就讲过,所以这里就不细讲了.但是正如注释里说的那样,这个函数就是检查看是否需要 reset,如果需要,就跳到 reset_needed 这里,去执行 uhci_reset_hc(),也就是真正的执行 reset.而如果真的执行了 reset,那么返回值就是 1.否则就是执行 127 行,返回 0.于是咱们就确定了,在咱们这个实验中,肯定没有 reset,因为如果 reset 了,这个函数就返回了 1,于是 finish_reset 就被执行了,可事实上 finish_reset 并没有被执行.

虽说彪悍的人生不需要解释,然而 122 行这里还是需要解释一下.既然没有 reset,那么说明在几个中断位中,除了 UHCI_USBINTR_RESUME 以外的另外几个中断位没有 enabled 的,因为否则就会需要 reset 了,即,需要调用 uhci_reset_hc 了.而在 uhci_reset_hc 中会有代码把 UHCI 的中断寄存器彻底清零,或者说彻底 disable.而在这种情况下,finish_reset 会被调用,这样才会有设置 rh_state 为 UHCI_RH_RESET,也只有设置了 UHCI_RH_RESET,下面的两个函数才会被调用.它们是:

807 行,usb_root_hub_lost_power 则来自 drivers/usb/core/hub.c:

```
1095 /**
1096  * usb_root_hub_lost_power - called by HCD if the root hub lost Vbus
power
1097  * @rhdev: struct usb_device for the root hub
1098  *
1099  * The USB host controller driver calls this function when its root hub
1100  * is resumed and Vbus power has been interrupted or the controller
1101  * has been reset.  The routine marks all the children of the root hub
1102  * as NOTATTACHED and marks logical connect-change events on their
ports.
1103  */
1104 void usb_root_hub_lost_power(struct usb_device *rhdev)
1105 {
1106         struct usb_hub *hub;
1107         int port1;
1108         unsigned long flags;
1109
1110         dev_warn(&rhdev->dev, "root hub lost power or was reset\n");
1111
1112         /* Make sure no potential wakeup events get lost,
1113          * by forcing the root hub to be resumed.
1114          */
1115         rhdev->dev.power.prev_state.event = PM_EVENT_ON;
1116
1117         spin_lock_irqsave(&device_state_lock, flags);
1118         hub = hdev_to_hub(rhdev);
1119         for (port1 = 1; port1 <= rhdev->maxchild; ++port1) {
1120                 if (rhdev->children[port1 - 1]) {
1121                         recursively_mark_NOTATTACHED(
1122                                         rhdev->children[port1 - 1]);
1123                         set_bit(port1, hub->change_bits);
1124                 }
1125         }
1126         spin_unlock_irqrestore(&device_state_lock, flags);
1127 }
```

1099 至 1102 这几行注释就好比这段代码的段落大意.这个函数要做什么全在这段注释里说的清清楚楚了,我想我就没有必要多解释了,相信看了这段注释之后,即使是那几位在天安门广场自焚的哥们儿也能看懂这段代码了.

回到 uhci_resume()函数,另一个函数,suspend_rh()再一次被调用.实际上在咱们整个故事中,suspend_rh 被调用的地方只有三处,前两处咱们都已经看到过了,而这里就是第三处.这个函数比较重要的是第二个参数,前两次我们传递的分别是 UHCI_RH_AUTO_STOPPED 和 UHCI_RH_SUSPENDED,而这一次我们传递的又是 UHCI_RH_SUSPENDED.但是和之前那

次执行 suspend_rh 并传递第二个参数为 UHCI_RH_SUSPENDED 的情形不同,此时此刻,rh->state 是 UHCI_RH_RESET.考虑到这个函数也不是很长,我们不妨再次贴出来.

```
259 static void suspend_rh(struct uhci_hcd *uhci, enum uhci_rh_state
new_state)
260 __releases(uhci->lock)
261 __acquires(uhci->lock)
262 {
263         int auto_stop;
264         int int_enable, egsm_enable;
265
266         auto_stop = (new_state == UHCI_RH_AUTO_STOPPED);
267         dev_dbg(&uhci_to_hcd(uhci)->self.root_hub->dev,
268                         "%s%s\n", __FUNCTION__,
269                         (auto_stop ? " (auto-stop)" : ""));
270
271         /* If we get a suspend request when we're already auto-stopped
272          * then there's nothing to do.
273          */
274         if (uhci->rh_state == UHCI_RH_AUTO_STOPPED) {
275                 uhci->rh_state = new_state;
276                 return;
277         }
278
279         /* Enable resume-detect interrupts if they work.
280          * Then enter Global Suspend mode if _it_ works, still configured.
281          */
282         egsm_enable = USBCMD_EGSM;
283         uhci->working_RD = 1;
284         int_enable = USBINTR_RESUME;
285         if (remote_wakeup_is_broken(uhci))
286                 egsm_enable = 0;
287         if (resume_detect_interrupts_are_broken(uhci) || !egsm_enable
||
288                         !device_may_wakeup(
289
&uhci_to_hcd(uhci)->self.root_hub->dev))
290                 uhci->working_RD = int_enable = 0;
291
292         outw(int_enable, uhci->io_addr + USBINTR);
293         outw(egsm_enable | USBCMD_CF, uhci->io_addr + USBCMD);
294         mb();
295         udelay(5);
296
```

```
297         /* If we're auto-stopping then no devices have been attached
298          * for a while, so there shouldn't be any active URBs and the
299          * controller should stop after a few microseconds.  Otherwise
300          * we will give the controller one frame to stop.
301          */
302         if (!auto_stop && !(inw(uhci->io_addr + USBSTS) &
USBSTS_HCH)) {
303                 uhci->rh_state = UHCI_RH_SUSPENDING;
304                 spin_unlock_irq(&uhci->lock);
305                 msleep(1);
306                 spin_lock_irq(&uhci->lock);
307                 if (uhci->dead)
308                         return;
309         }
310         if (!(inw(uhci->io_addr + USBSTS) & USBSTS_HCH))
311                 dev_warn(&uhci_to_hcd(uhci)->self.root_hub->dev,
312                         "Controller not stopped yet!\n");
313
314         uhci_get_current_frame_number(uhci);
315
316         uhci->rh_state = new_state;
317         uhci->is_stopped = UHCI_IS_STOPPED;
318         uhci_to_hcd(uhci)->poll_rh = !int_enable;
319
320         uhci_scan_schedule(uhci);
321         uhci_fsbr_off(uhci);
322 }
```

你可以重复初恋,却不能重复热情.你可以重复后悔,却重复不了最爱.你可以重复调用这个函数,却重复不了其上下文.很显然,这一次 282 行以下的代码会被执行.而这样做的意义就是让 HC 在从 reset 中醒来之后直接进入挂起状态.除此之外我们需要注意的是 uhci->working_RD 只是在这个函数中被设置过,而且正常来说应该设置的是 1.这个 flag 被设置为 1 就是告诉全世界的劳动人民这个 Root Hub 不需要被轮询.

当然你可能也注意到 290 行,uhci->working_RD 又被设置为了 0.不过你放心,这行代码被执行是小概率事件,实际上中日甲午战争那会儿,内核代码中是没有一个叫做 egsm_enable 的变量的, remote_wakeup_is_broken()这个函数以前也没有,只是后来在去年春天,人们遇到了一个 Bug,在华硕的 A7V8X 主板上,如果有设备插在 usb 端口上,并且 uhci-hcd 模块加载了,则系统没有办法 STR(Suspend-to-RAM).从当时的日志文件来分析,这基本上是 BIOS 固件或者主板电路有问题,也就是说这本是华硕的错,然而,人生就是这样一条不归路,走上去,就回不了头,过了就过了,成了就成了,做了就做了,错了已经错了.写代码的人任劳任怨,最终在 2006 年 10 月,为了纪念十七大倒计时一周年,由 Alan Stern 大侠提交了一个 patch,其中就包括上面说的这个变量和这个函数,即在遇到华硕的这块变态的主板的时候,设置 egsm_enable 为 0,即 disable EGSM.而正常情况下它将保持 1.而 resume_detect_interrupts_are_broken()则是因为另外一些硬件 Bug,正常情况下它会毫不犹豫的返回 0.所以,290 行实际上对大多数人来说是不会

执行的.换言之,working_RD 基本上可以认定就是 1,而 int_enable 也可以认定是 USBINTR_RESUME.后者意味着虽然咱们挂起了主机控制器,但是打开了 Resume 的中断,这样有设备插入的话就会唤醒主机控制器.(友情提示一下,如何看自己的机器是不是这款主板?用 dmidecode 命令.)

因此回到 uhci_resume ()中,813 行这个 if 条件八成是不会被满足的.因此就不轮询.即 poll_rh 也不设置,usb_hcd_poll_rh_status 也不被调用.用一首诗来描绘这段代码:

一番轮询端口凉,春花落尽菊花香;莫笑轮询误岁月,人生何事不空忙!

这样 uhci_resume 也就结束了.于是乎,usb_hcd_pci_resume 也结束了.

最后补充一点,如果不轮询那么如何了解端口的状态呢?别忘了当初我们讲过的那个 uhci_irq,你回去看看这个函数的 421 和 422 行.不就是说探测到 USBSTS_RD 的中断的时候,调用 usb_hcd_poll_rh_status 么?总之最终还是要通过 usb_hcd_poll_rh_status 这个函数才能摆平.而对于像华硕的某款垃圾主板所具有的这个问题,咱就只能轮询了,因为中断关掉了.

不过最终想说的是,这代码毕竟是那些资本主义国家的人写的,倘若由我们 80 后来写,首先我就会把 suspend_rh 中 285 行至 290 行给删掉,然后把 uhci_resume 中 813 行至 817 行删掉.然后把那个 working_RD 这个变量也给删掉.我们 80 后童年的梦在现实面前破碎了都没人来修补,凭什么给你们那些破厂商来修补硬件 bug 啊?当我们这一代人辛苦劳累面对的是动辄上万元的商品房价格,当医疗,教育,住房福利对我们这一代人来说,只是很久很久以前的传说,或者是罪恶的资本主义的表现,我们又哪里还有心情去像那些资本主义国家的人一样不断完善这代码呢?

FSBR

现在让我们来关注一下 fsbr.尽管之前就 FSBR 本身已经说过了,但是代码中出现了很多关于 fsbr 的变量以及函数.如果不来梳理一下,恐怕你和我一样,仍然感到无限困惑,无限茫然.那么让我们点亮心灵的阿拉丁神灯,共同穿越这代码的迷朦.

struct uhci_hcd 中有这么几个成员,unsigned int fsbr_is_on,unsigned int fsbr_is_wanted,unsigned int fsbr_expiring,struct timer_list fsbr_timer,这些全都是为 fsbr 准备的.足以看出写代码的人对 fsbr 的重视.

改变 fsbr_is_on 的就两个函数,uhci_fsbr_on 和 uhci_fsbr_off,顾名思义,前者让 fsbr_is_on 为 1,后者让 fsbr_is_on 为 0.

改变 fsbr_is_wanted 的也只有两个函数,uhci_urbp_wants_fsbr 和 uhci_scan_schedule.同样,前者让 fsbr_is_wanted 为 1,后者让 fsbr_is_wanted 为 0.

改变 fsbr_expiring 的倒是有三处,uhci_urbp_wants_fsbr,设置为 0,uhci_fsbr_timeout,也是设置为 0,uhci_scan_schedule,设置为 1.

而 fsbr_timer 作为一个计时器,它是在 uhci_start 中通过 setup_timer 做的初始化,绑定了函数 uhci_fsbr_timeout(),而在 uhci_scan_schedule()中调用 mod_timer 来引爆了这个定时炸弹.在 uhci_urbp_wants_fsbr()中调用 del_timer 删除了这个计时器.在 uhci_stop 中也调用 del_timer_sync 来排除了这颗定时炸弹.

我们不妨先来看一下给这个定时炸弹绑定的函数究竟长成什么样?uhci_fsbr_timeout()来自 drivers/usb/host/uhci-q.c:

```
 92 static void uhci_fsbr_timeout(unsigned long _uhci)
 93 {
 94         struct uhci_hcd *uhci = (struct uhci_hcd *) _uhci;
 95         unsigned long flags;
 96
 97         spin_lock_irqsave(&uhci->lock, flags);
 98         if (uhci->fsbr_expiring) {
 99                 uhci->fsbr_expiring = 0;
100                 uhci_fsbr_off(uhci);
101         }
102         spin_unlock_irqrestore(&uhci->lock, flags);
103 }
```

可以看到这个函数无非就是调用 uhci_fsbr_off()而已,除此以外就是设置 fsbr_expiring 为 0.而执行 uhci_fsbr_off()的前提是 fsbr_expiring 非 0.于是咱们来到 uhci_scan_schedule 中去看调用 mod_timer 的上下文.

```
1705 /*
1706  * Process events in the schedule, but only in one thread at a time
1707  */
1708 static void uhci_scan_schedule(struct uhci_hcd *uhci)
1709 {
1710         int i;
1711         struct uhci_qh *qh;
1712
1713         /* Don't allow re-entrant calls */
1714         if (uhci->scan_in_progress) {
1715                 uhci->need_rescan = 1;
1716                 return;
1717         }
1718         uhci->scan_in_progress = 1;
1719 rescan:
1720         uhci->need_rescan = 0;
1721         uhci->fsbr_is_wanted = 0;
1722
1723         uhci_clear_next_interrupt(uhci);
1724         uhci_get_current_frame_number(uhci);
```

```
1725        uhci->cur_iso_frame = uhci->frame_number;
1726
1727        /* Go through all the QH queues and process the URBs in each one
*/
1728        for (i = 0; i < UHCI_NUM_SKELQH - 1; ++i) {
1729                uhci->next_qh = list_entry(uhci->skelqh[i]->node.next,
1730                                struct uhci_qh, node);
1731                while ((qh = uhci->next_qh) != uhci->skelqh[i]) {
1732                        uhci->next_qh = list_entry(qh->node.next,
1733                                        struct uhci_qh, node);
1734
1735                        if (uhci_advance_check(uhci, qh)) {
1736                                uhci_scan_qh(uhci, qh);
1737                                if (qh->state == QH_STATE_ACTIVE) {
1738                                        uhci_urbp_wants_fsbr(uhci,
1739        list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node));
1740                                }
1741                        }
1742                }
1743        }
1744
1745        uhci->last_iso_frame = uhci->cur_iso_frame;
1746        if (uhci->need_rescan)
1747                goto rescan;
1748        uhci->scan_in_progress = 0;
1749
1750        if (uhci->fsbr_is_on && !uhci->fsbr_is_wanted &&
1751                        !uhci->fsbr_expiring) {
1752                uhci->fsbr_expiring = 1;
1753                mod_timer(&uhci->fsbr_timer, jiffies +
FSBR_OFF_DELAY);
1754        }
1755
1756        if (list_empty(&uhci->skel_unlink_qh->node))
1757                uhci_clear_next_interrupt(uhci);
1758        else
1759                uhci_set_next_interrupt(uhci);
1760 }
```

可以看出,在调用 mod_timer 之前,我们就是设置了 fsbr_expiring 为 1.而 mod_timer 设置的延时是 FSBR_OFF_DELAY.这个宏的定义来自 drivers/usb/host/uhci-hcd.h:

```
88 /* When no queues need Full-Speed Bandwidth Reclamation,
89  * delay this long before turning FSBR off */
90 #define FSBR_OFF_DELAY          msecs_to_jiffies(10)
```

```
91
92 /* If a queue hasn't advanced after this much time, assume it is stuck */
93 #define QH_WAIT_TIMEOUT          msecs_to_jiffies(200)
```

我们看到这里两个宏被定义到了一起,凭一种男人的直觉,这两个宏应该有某种联系.实际上在 struct uhci_qh 中有一个成员,unsigned int wait_expired,uhci_activate_qh 中把它设置为 0,uhci_advance_check 中则两次设置它,一次设置为 0,一次设置为 1.这个变量就与宏 QH_WAIT_TIMEOUT 相关.

不过我们还是先看前面这个宏, FSBR_OFF_DELAY,由定义可知,它代表 10 毫秒.按照 Alan Stern 大侠的想法,尽管说 FSBR 这个机制是一种充分利用资源的机制,但是它也在一定程度上增加了系统的负荷,所以一旦它没有被使用了就应该尽快的 disable 掉.根据 Alan Stern 的经验,如果一个 URB 停止使用 FSBR 达到 10 毫秒,则关掉(turn off)FSBR,理论上来说 10 毫秒已经足够让驱动程序提交另一个 URB 了.

实际上在 uhci_add_fsbr()中,判断的是如果一个 urb 的 URB_NO_FSBR 这个 flag 没有被设置,则设置 urbp->fsbr 为 1.实际上也没有哪位哥们儿喜欢设置 URB_NO_FSBR 这个 flag,所以基本上我们可以认为 urbp->fsbr 总是会被 uhci_add_fsbr()设置为 1.而调用 uhci_add_fsbr()的函数就两个,uhci_submit_bulk()和 uhci_submit_control().所以如果我们察看 debugfs 文件系统的输出信息就会发现,在没有 Bulk 传输没有控制传输的时候,FSBR 一定是 0,即 fsbr_is_on 一定是 0.而在有 Bulk 传输或者全速控制传输的时候,FSBR 则应该是 1,比如下面这个情景就出自我在写 U 盘的时候,这一刻我 copy 了一个几十兆的文件至 U 盘:

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.0
Root-hub state: running    FSBR: 1
HC status
  usbcmd     =      00c1    Maxp64 CF RS
  usbstat    =      0000
  usbint     =      000f
  usbfrnum   =    (0)958
  flbaseadd = 146eb958
  sof        =       40
  stat1      =      0095    Enabled Connected
  stat2      =      0080
Most recent frame: 31a41 (577)    Last ISO frame: 31a41 (577)
Periodic load table
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
Total: 0, #INT: 0, #ISO: 0
```

这里我们看到的”FSBR”实际上对应于 uhci->fsbr_is_on.

但是设置 fsbr_is_on 的是 uhci_fsbr_on()而不是 uhci_add_fsbr(),调用 uhci_fsbr_on()的是 uhci_urbp_wants_fsbr(),而在 uhci_urbp_wants_fsbr()中需要判断 urbp->fsbr,正如我们刚才说了,uhci_add_fsbr()把 urbp->fsbr 设置了 1,所以这里 uhci_fsbr_on 才会被执行.

```
79 static void uhci_urbp_wants_fsbr(struct uhci_hcd *uhci, struct urb_priv
*urbp)
80 {
81          if (urbp->fsbr) {
82                  uhci->fsbr_is_wanted = 1;
83                  if (!uhci->fsbr_is_on)
84                          uhci_fsbr_on(uhci);
85                  else if (uhci->fsbr_expiring) {
86                          uhci->fsbr_expiring = 0;
87                          del_timer(&uhci->fsbr_timer);
88                  }
89          }
90 }
```

调用 uhci_urbp_wants_fsbr()的有三个函数,而第一个自然是 uhci_urb_enqueue().正如在 uhci_urb_enqueue()中 1435 行看到的那样,uhci_activate_qh 把 qh 给激活之后,就可以调用 uhci_urbp_wants_fsbr 来激活 fsbr 了.

那么在激活之后,什么时候又把 FSBR 设置为了 0 呢?也就是说把 fsbr_is_on 设置为 0 的 uhci_fsbr_off 什么时候被调用?事实上有两个地方,一个就是 suspend_rh,一个就是 uhci_fsbr_timeout.我们先来看后者,它正是前面我们说的那个定时炸弹所绑定的函数.而触发它的 mod_timer 函数在 uhci_scan_schedule()被调用.但是要调用 mod_timer 须满足三个条件,uhci_scan_schedule()中 1750 行,这三个条件是,fsbr_is_on 必须为 1, fsbr_is_wanted 必须为 0, fsbr_expiring 必须为 0.第一个为 1 这很好理解,这也是必然的.第二个和第三个则和 1738 行这个 uhci_urbp_wants_fsbr()有关了.对于 fsbr_is_wanted,我们看到 uhci_scan_schedule()中 1721 行首先就把它设置为了 0,但是我们注意到,如果 uhci_urbp_wants_fsbr 执行了,就会把 fsbr_is_wanted 设置为 1.至于 fsbr_expiring,初始值就是 0,也没人改过,所以它执行不执行 uhci_urbp_wants_fsbr 都依然是 0,至少就目前这个上下文来看是这样.但问题是 uhci_urbp_wants_fsbr 是否被执行呢?这取决于 1737 行这个 if 判断语句.即 qh->state 是否等于 QH_STATE_ACTIVE, 而这取决于 uhci_scan_qh.uhci_scan_qh 的目的是看 qh 的 urb 队列是否已经空了,如果还没空,就再次调用 uhci_activate_qh 设置 qh->state 为 QH_STATE_ACTIVE,如果已经空了,就调用 uhci_make_qh_idle 把 qh->state 设置为 QH_STATE_IDLE.换言之,如果 1737 行这个 if 条件满足,说明 qh 的 urb 队伍里还有 urb.既然有,那么就激活 fsbr.即仍然设置 fsbr_is_wanted 为 1.但是早晚有一天,qh 队列会变成空的,因为传输总有结束的时候.等到那时候,uhci_scan_qh 之后,qh->state 就一定是 QH_STATE_IDLE, 所以等到那一天,uhci_urbp_wants_fsbr 就不会被调用.换言之,因为没有了 urb,所以我们没有必要再使用 fsbr 了.于是 fsbr_is_wanted 这次就是 0.这种情况下,1752 行和 1753 行终于有机会被执行了.这样,首先 fsbr_expiring 被设置为了 1,其次,10 毫秒之后,uhci_fsbr_timeout 将被执行,从而 uhci_fsbr_off 也将被执行,fsbr 终于停了下来,这时候我们再看 debugfs,就该像下面这样,

```
localhost:~ # cat /sys/kernel/debug/uhci/0000\:00\:1d.0
Root-hub state: running    FSBR: 0
HC status
  usbcmd     =      00c1    Maxp64 CF RS
  usbstat    =      0000
  usbint     =      000f
  usbfrnum   =    (0)b04
  flbaseadd = 10b57b04
  sof        =       40
  stat1      =      0095    Enabled Connected
  stat2      =      0080
Most recent frame: 384216 (534)    Last ISO frame: 384216 (534)
Periodic load table
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
        0       0       0       0       0       0       0       0
Total: 0, #INT: 0, #ISO: 0
```

FSBR 将再次回到 0.

但是,人算不如天算,你以为一切都在掌握之中,不料,在这个 10ms 之内,不知哪位哥们儿缺德,又给你提交一个 Bulk 类型的 urb,你怎么办?

不要慌,要相信党,相信政府.

假设那位哥们儿在这 10ms 之内提交了一个 Bulk 类型的 urb,则 uhci_urb_enqueue 会被调用,因而 uhci_urbp_wants_fsbr 再次被调用.那么回过头去看一下 uhci_urbp_wants_fsbr(),你会发现,由于刚才设置了 fsbr_expiring 为 1,所以这个函数的 85 行这个 else if 是满足的,因此 uhci->fsbr_expiring 又会被设置为 0,但更重要的是 del_timer 会被调用,即即将爆炸的炸弹在它爆炸前 10ms 内被英明的党排除了.相信现在你和我一样,深刻体会到党的光芒照四方了吧?

咱们刚才说到有两个宏,已经明白了其中的一个,那么另一个宏呢,即 QH_WAIT_TIMEOUT .事实上它和 uhci_advance_check()有关.这个函数咱们以前讲过,但是细心的你一定注意到,当时咱们跳过了它的一部分代码.现在是时候去解读这段跳过的代码了.再次贴出 uhci_advance_check()来.

```
1626 /*
1627  * Check for queues that have made some forward progress.
1628  * Returns 0 if the queue is not Isochronous, is ACTIVE, and
1629  * has not advanced since last examined; 1 otherwise.
1630  *
1631  * Early Intel controllers have a bug which causes qh->element sometimes
1632  * not to advance when a TD completes successfully.  The queue remains
```

```
1633  * stuck on the inactive completed TD.  We detect such cases and
advance
1634  * the element pointer by hand.
1635  */
1636 static int uhci_advance_check(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh)
1637 {
1638         struct urb_priv *urbp = NULL;
1639         struct uhci_td *td;
1640         int ret = 1;
1641         unsigned status;
1642
1643         if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_ISOC)
1644                 goto done;
1645
1646         /* Treat an UNLINKING queue as though it hasn't advanced.
1647          * This is okay because reactivation will treat it as though
1648          * it has advanced, and if it is going to become IDLE then
1649          * this doesn't matter anyway.  Furthermore it's possible
1650          * for an UNLINKING queue not to have any URBs at all, or
1651          * for its first URB not to have any TDs (if it was dequeued
1652          * just as it completed).  So it's not easy in any case to
1653          * test whether such queues have advanced. */
1654         if (qh->state != QH_STATE_ACTIVE) {
1655                 urbp = NULL;
1656                 status = 0;
1657
1658         } else {
1659                 urbp = list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node);
1660                 td = list_entry(urbp->td_list.next, struct uhci_td, list);
1661                 status = td_status(td);
1662                 if (!(status & TD_CTRL_ACTIVE)) {
1663
1664                         /* We're okay, the queue has advanced */
1665                         qh->wait_expired = 0;
1666                         qh->advance_jiffies = jiffies;
1667                         goto done;
1668                 }
1669                 ret = 0;
1670         }
1671
1672         /* The queue hasn't advanced; check for timeout */
1673         if (qh->wait_expired)
1674                 goto done;
1675
```

```
1676          if (time_after(jiffies, qh->advance_jiffies + QH_WAIT_TIMEOUT))
{
1677
1678                  /* Detect the Intel bug and work around it */
1679                  if (qh->post_td && qh_element(qh) ==
LINK_TO_TD(qh->post_td)) {
1680                          qh->element = qh->post_td->link;
1681                          qh->advance_jiffies = jiffies;
1682                          ret = 1;
1683                          goto done;
1684                  }
1685
1686                  qh->wait_expired = 1;
1687
1688                  /* If the current URB wants FSBR, unlink it temporarily
1689                   * so that we can safely set the next TD to interrupt on
1690                   * completion.  That way we'll know as soon as the queue
1691                   * starts moving again. */
1692                  if (urbp && urbp->fsbr && !(status & TD_CTRL_IOC))
1693                          uhci_unlink_qh(uhci, qh);
1694
1695          } else {
1696                  /* Unmoving but not-yet-expired queues keep FSBR alive
*/
1697                  if (urbp)
1698                          uhci_urbp_wants_fsbr(uhci, urbp);
1699          }
1700
1701 done:
1702          return ret;
1703 }
```

这里 1673 行以下的代码我们都没有讲过.首先 wait_expired 和 advance_jiffies 都不是第一次出现,事实上它们的赋值发生在 uhci_activate_qh 中,当时 qh->wait_expired 被设置为了 0,而 qh->advance_jiffies 被设置为了当时的时间. QH_WAIT_TIMEOUT 被定义为 200 毫秒,那么当我们现在执行 uhci_scan_schedule 的时候执行 uhci_advance_check 的时候,1676 行,如果从 qh 激活到现在扫描过了 200 毫秒,对队列依然没有前进,按照经验,这是不正常的,这就相当于我坐公交车去上班,从百万庄大街坐 319 路到清华科技园,本来只要 40 分钟,可是如果哪天我坐了两个小时还没到,那么说明一定出问题了,要么就是出车祸了,要么就是严重堵车了.

那么这里的应对措施是什么呢?

1679 行至 1684 行,注释说了,我家 Intel 的 Bug,本着家丑不外扬的原则,飘过.

1686 行,设置 wait_expired 为 1.

1692 行,if 条件又是三个,第一,urbp 不为空,第二,urbp->fsbr 不为空,第三个,没有设置 TD_CTRL_IOC.如果这三个条件满足,则调用 uhci_unlink_qh().注释里说的很清楚,如果当前 urbp->fsbr 不为空,说明只要 fsbr 不取消,下一次还会执行到它,不妨这次先放过它.

然而如果 1695 行这个 else 里面的代码被执行了,就说明虽然队列没有前进,但是也还没有超时,即从 qh 激活到现在还不到 200 毫秒,这样如果 qh 的 urb 队列里面还有 urbp,则执行 uhci_urbp_wants_fsbr()以保证 fsbr_is_on 仍然是 1.网友"做贼肾虚"不禁好奇的问:刚才我们看见,qh 如果还没空,那么 uhci_scan_schedule 中那颗定时炸弹就不会被引爆,那么 fsbr_is_on 不就应该保持为 1 么?

然此言差矣!我们前面提过,设置 fsbr_is_on 为 0 的是函数 uhci_fsbr_off(),而调用 uhci_fsbr_off 的除了刚才说的那个 uhci_fsbr_timeout()之外,还有一个地方,它就是 suspend_rh(). 事实上前面我们也已经看见了,suspend_rh()中最后一行就会调用 uhci_fsbr_off().所以当我们从沉睡中醒来之后,我们有必要保证 fsbr_is_on 仍然是 1.

看起来,似乎我们又看了一遍 uhci_advance_check().但我们其实有一个疑问, 1692 行调用 uhci_unlink_qh()这个函数的后果究竟是什么?

"脱"就一个字

李小璐脱了,周迅脱了,汤唯脱了.下一个脱的是谁?

答案不是林志玲,不是徐静蕾,而是 QH.我们知道整个故事里我们一直围绕着 QH 的队列在说来说去,我们不停的进行着队列操作,我们有时候把 QH link 起来成一个个的队列,而有时候又把 QH 从队列里给 unlink,我所用的盗版的金山词霸 2005 告诉我,unlink 翻译成中文就是解开,拆开,松开.Okay,简洁一点说,一个字,脱!脱就脱,东风吹,战鼓擂,这个世界谁怕谁?

但问题是明星们脱了就走红,她们不仅不要担心嫁不出去,相反她们身价暴涨,相反她们成为无数男人性幻想对象.那么 QH 脱了之后会怎么样?是不是就废了?还有人愿意要它吗?

你放心,它们也不会没人要.还记得skel_unlink_qh么?skelqh[]数组里边11个元素,另外那10个咱们都知道怎么回事了,但是其中这第一个元素,或者说这0号元素,其实咱们一直就不太明白.现在咱们就来仔细解读一下.

事实上,uhci_unlink_qh 这个函数有这么一句话,list_move_tail(&qh->node,&uhci->skel_unlink_qh->node),换言之,凡是调用过 uhci_unlink_qh 的 qh,最终都被加入到了由 skel_unlink_qh 领衔的孤魂野鬼队列.但问题是加入这个队列之后呢?是不是就算隐退江湖了?其实不然,生活哪有那么简单啊?不是想退出江湖就能退出江湖的.咱们回过头来看这个函数,uhci_scan_schedule,

```
1705 /*
1706  * Process events in the schedule, but only in one thread at a time
```

```
1707  */
1708 static void uhci_scan_schedule(struct uhci_hcd *uhci)
1709 {
1710         int i;
1711         struct uhci_qh *qh;
1712
1713         /* Don't allow re-entrant calls */
1714         if (uhci->scan_in_progress) {
1715                 uhci->need_rescan = 1;
1716                 return;
1717         }
1718         uhci->scan_in_progress = 1;
1719 rescan:
1720         uhci->need_rescan = 0;
1721         uhci->fsbr_is_wanted = 0;
1722
1723         uhci_clear_next_interrupt(uhci);
1724         uhci_get_current_frame_number(uhci);
1725         uhci->cur_iso_frame = uhci->frame_number;
1726
1727         /* Go through all the QH queues and process the URBs in each one
*/
1728         for (i = 0; i < UHCI_NUM_SKELQH - 1; ++i) {
1729                 uhci->next_qh = list_entry(uhci->skelqh[i]->node.next,
1730                                 struct uhci_qh, node);
1731                 while ((qh = uhci->next_qh) != uhci->skelqh[i]) {
1732                         uhci->next_qh = list_entry(qh->node.next,
1733                                         struct uhci_qh, node);
1734
1735                         if (uhci_advance_check(uhci, qh)) {
1736                                 uhci_scan_qh(uhci, qh);
1737                                 if (qh->state == QH_STATE_ACTIVE) {
1738                                         uhci_urbp_wants_fsbr(uhci,
1739         list_entry(qh->queue.next, struct urb_priv, node));
1740                                 }
1741                         }
1742                 }
1743         }
1744
1745         uhci->last_iso_frame = uhci->cur_iso_frame;
1746         if (uhci->need_rescan)
1747                 goto rescan;
1748         uhci->scan_in_progress = 0;
1749
```

```
1750        if (uhci->fsbr_is_on && !uhci->fsbr_is_wanted &&
1751                        !uhci->fsbr_expiring) {
1752                uhci->fsbr_expiring = 1;
1753                mod_timer(&uhci->fsbr_timer, jiffies +
FSBR_OFF_DELAY);
1754        }
1755
1756        if (list_empty(&uhci->skel_unlink_qh->node))
1757                uhci_clear_next_interrupt(uhci);
1758        else
1759                uhci_set_next_interrupt(uhci);
1760 }
```

咱们看 1728 行这个 for 循环,对 skelqh[]数组从 0 开始循环,直到 9,1 到 9 咱就不说了,而 0,咱们顺着 0 往下看,针对 skel_unlink_qh 队伍里的每一个 qh 进行循环,每一个 qh 执行一次 uhci_advance_check(),而 skel_unlink_qh 这个队伍里的 qh 有一部分是上一次刚刚在 uhci_advance_check 中设置了 wait_expired 为 1 的,另一部分可能没有设置过,因为调用 uhic_unlink_qh()的并非只有 uhci_advance_check(),还有别的地方,而别的地方调用它的话就和超时不超时没有关系了.

于是我们现在分两种情况来看待这个 uhci_advance_check.第一种,qh 是因为超时被拉进 skel_unlink_qh 的,那么 1673 行 if 条件是满足的,这种情况下 uhci_advance_check 就直接返回了,但是返回的肯定是 1.返回了之后来到 uhci_scan_schedule,1736 行,uhci_scan_qh 就会被执行,进入到 uhci_scan_qh 中,1602 行,由于 qh 中还有 urb,1617 行的 uhci_activate_qh 就会被执行,因此 qh 将重新激活,qh->state 会被设置为 QH_STATE_ACTIVE,它会再次被拉入它自己的归属.于是它又幸运的获得了重生.

而对于第二种情况,也是通过 uhci_unlink_qh()给拉入 skel_unlink_qh 了.但是人家起码没超时,所以这次咱们再看 uhci_advance_check 的话,1673 行这个 if 条件就不一定满足了.然后如果真没超时,那么 1697 行会被执行,而 1697 这个 if 条件是否满足得看 1654 行这个 if 是否满足了,如果 1654 行满足,换言之,qh->state 不是 QH_STATE_ACTIVE,则设置 urbp 为空,而我们知道 uhci_unlink_qh 会把 qh->state 设置为 QH_STATE_UNLINKING,所以,1654 行肯定满足,所以 urbp 设置为了 NULL,因此 1697 行这个 if 不会满足.因此,对于 unlink 的 qh,咱们这次 uhci_advance_check 这次除了返回 1 其它什么也不做,但是回到了 uhci_scan_schedule 之后,uhci_scan_qh 会执行,1622 行.

```
1529 /*
1530  * Scan the URBs in a QH's queue
1531  */
1532 #define QH_FINISHED_UNLINKING(qh)                       \
1533                 (qh->state == QH_STATE_UNLINKING &&     \
1534                 uhci->frame_number + uhci->is_stopped !=
qh->unlink_frame)
```

首先 qh->unlink_frame 是当初在 uhci_unlink_qh()中设置的,设置的就是当时的 Frame 号.而 uhci->frame_number 是当前的 frame 号.但对于眼前这个宏的含义,我曾经一度困惑过.我猜测这个宏判断的就是一个 qh 是否已经彻底失去利用价值,但我并不清楚为什么这个宏被这样定义.后来,Alan Stern 大侠语重心长的教育我说:

When a QH is unlinked, the controller is allowed to continue using it until the end of the frame. So the unlink isn't finished until the frame is over and a new frame has begun. qh->unlink_frame is the frame number when the QH was unlinked. uhci->frame_number is the current frame number. If the two are unequal then the unlink is finished.

没错,当一个 QH 在某个 frame 被 unlink 了之后,在这个 frame 结束之后主机控制器就不会再使用它了.也就是说,到下一个 frame 开始,这个 QH 就算是真正的彻底的完成了它的"脱".

这里尤其需要注意的是 uhci->is_stopped,顾名思义,当 uhci 正常工作的时候这个值应该为 0,而只有 uhci 停了下来的时候,这个值才会是非 0.但我们知道,如果主机控制器自己都停止了下来,那么显然这个 qh 就算是彻底脱了,因为主机控制器不可能再使用它了,或者说主机控制器不可能再访问它了,而停下来了就意味着 is_stopped 不为 0,显然,只要 is_stopped 不为 0,则 uhci->frame_number+uhci->is_stopped 是不可能等于 qh->unlink_frame 的.(uhci->frame_number>=qh->unlink_frame 恒成立,而 is_stopped 事实上永远大于等于 0)

所以,1622 行这个宏这么一判断,发现 qh 确实已经没有利用价值了,就调用 uhci_make_qh_idle 从而把 qh->state 设置为 QH_STATE_IDLE,并且把本 QH 拉入 uhci->idle_qh_list,一旦加入这个 list,这个 QH 将从此永不见天日,没有人会再去理睬它了.

不过,最后,关于 uhci_scan_qh,有三点需要强调一下.

第一点,1569 行调用了 uhci_giveback_urb(),为何在 1594 行也调用了 uhci_giveback_urb.但事实上你会发现任何一个 urb 都不可能在这两处先后被调用,要么在前者被调用,要么在后者被调用.道理很简单,咱们在 N 年前就贴出过 uhci_giveback_urb 的代码,一旦调用了 uhci_giveback_urb(),那么其 urbp 就会脱离 qh 的队列.这是 uhci_giveback_urb()中 1507 行那个 list_del_init 干的,甚至 urbp 的内存也会被释放掉,这是 uhci_giveback_urb()中 1514 行那个 uhci_free_urb_priv()函数干的.

所以,事实上,对于大多数正常工作正常结束的 urb,在 uhci_scan_qh 中,1569 行这个 uhci_giveback_urb 会被调用,而一旦调用了,这个 urbp 就不复存在了,因此之后的代码就跟它半毛钱关系也没有了.

那么另一方面,1551 行和 1571 行这两个 break 语句的存在使得 while 循环有可能提前结束,这就意味着,while 循环结束的时候,qh->queue 里面的 urbp 并不一定全部被遍历到了,因此,也就是说有些 urb 可能并没有执行 1569 行这个 uhci_giveback_urb(),因此它们就有可能在 1594 行被传递给 uhci_giveback_urb.

第二点,1595 行这个 goto restart 是什么意思?乍一看,哥们儿我愣是以为这个 goto restart 会导致这段代码成为死循环,可后来我算是琢磨出来了,list_for_each_entry 不是想遍历 qh->queue 这个 urbp 构成的队列么,可是每次如果它走到 1594 行这个 uhci_giveback_urb 的话,该 urbp 会被删掉,于是队列就改变了,好家伙,你在调用 list_for_each_entry 遍历队列的时候改变队列那还能不出事?所以咱也就甭犹豫了,重新调用 list_for_each_entry,重新遍历不就成了么?

第三点,虽然 uhci_scan_qh 这个函数看上去挺复杂,但是正如 1574 行这个注释所说的那样,事实上对于大多数情况(normal case)来说,这个函数执行到 1579 行就会返回.只有两种情况下才会执行 1579 之后的代码,第一个就是 1576 行这个 QH_FINISHED_UNLINKING 条件满足,即这个 qh 是刚刚被 unlink 刚刚完成"脱"的,这种情况下要继续往下走,第二个就是虽然不是完成了脱的,但是 is_stopped 是不为 0 的.

但是虽然说这两种情况是小概率事件,但毕竟咱们这节讨论的就是 QH_FINISHED_UNLINKING,所以这种情况究竟怎么处理咱们还是要关注的.而这其中除了 1623 行这个 uhci_make_qh_idle 是最后一步要做的事情之外,1590 行,uhci_cleanup_queue 咱们也没有仔细看过.既然咱们整个故事已经进入到了 cleanup 的阶段,那么就让咱们以这个 cleanup 函数作为结束吧.它来自 drivers/usb/host/uhci-q.c,咱们之前其实也贴过,只是没有讲过罢了.

```
312 /*
313  * When a queue is stopped and a dequeued URB is given back, adjust
314  * the previous TD link (if the URB isn't first on the queue) or
315  * save its toggle value (if it is first and is currently executing).
316  *
317  * Returns 0 if the URB should not yet be given back, 1 otherwise.
318  */
319 static int uhci_cleanup_queue(struct uhci_hcd *uhci, struct uhci_qh *qh,
320                 struct urb *urb)
321 {
322         struct urb_priv *urbp = urb->hcpriv;
323         struct uhci_td *td;
324         int ret = 1;
325
326         /* Isochronous pipes don't use toggles and their TD link pointers
327          * get adjusted during uhci_urb_dequeue().  But since their
queues
328          * cannot truly be stopped, we have to watch out for dequeues
329          * occurring after the nominal unlink frame. */
330         if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_ISOC) {
331                 ret = (uhci->frame_number + uhci->is_stopped !=
332                                 qh->unlink_frame);
333                 goto done;
334         }
335
```

```
336         /* If the URB isn't first on its queue, adjust the link pointer
337          * of the last TD in the previous URB.   The toggle doesn't need
338          * to be saved since this URB can't be executing yet. */
339         if (qh->queue.next != &urbp->node) {
340                 struct urb_priv *purbp;
341                 struct uhci_td *ptd;
342
343                 purbp = list_entry(urbp->node.prev, struct urb_priv,
node);
344                 WARN_ON(list_empty(&purbp->td_list));
345                 ptd = list_entry(purbp->td_list.prev, struct uhci_td,
346                                 list);
347                 td = list_entry(urbp->td_list.prev, struct uhci_td,
348                                 list);
349                 ptd->link = td->link;
350                 goto done;
351         }
352
353         /* If the QH element pointer is UHCI_PTR_TERM then then
currently
354          * executing URB has already been unlinked, so this one isn't it. */
355         if (qh_element(qh) == UHCI_PTR_TERM)
356                 goto done;
357         qh->element = UHCI_PTR_TERM;
358
359         /* Control pipes don't have to worry about toggles */
360         if (qh->type == USB_ENDPOINT_XFER_CONTROL)
361                 goto done;
362
363         /* Save the next toggle value */
364         WARN_ON(list_empty(&urbp->td_list));
365         td = list_entry(urbp->td_list.next, struct uhci_td, list);
366         qh->needs_fixup = 1;
367         qh->initial_toggle = uhci_toggle(td_token(td));
368
369 done:
370         return ret;
371 }
```

首先注释里说的也很清楚.

330 行,对于 ISO 类型,它并不使用 toggle bits,所以这里就是判断是否彻底”脱”了,是就返回 1.

339 行,如果当前讨论的这个 urb 不是 qh->queue 队列里的第一个 urb,那么就往 if 里面的语句,purbp 将是 urbp 的前一个节点,即前一个 urbp,ptd 则是 purbp 的 td 队列中最后一个 td,

而 td 又是 urbp 的 td 队列中最后一个 td.让 ptd 的 link 指向 td 的 link,即让前一个 urbp 的最后一个 td 指向原来又本 urbp 的最后一个 td 所指向的位置.有了接班人之后,当前这个 urb 或者说这个 urbp 就可以淡出历史舞台了.

357 行,让 qh->element 等于 UHCI_PTR_TERM,等于宣布本 qh 正式退休.

365,366,367 行的目的也很明确,保存好下一个 td 的 toggle 位.以待时机进行 fix.至于如何 fix,咱们在讲 uhci_giveback_urb 和 uhci_scan_qh 中都已经看到了,会通过判断 needs_fixup 来执行相应的代码.此处不再赘述.

关于”脱”,就讲到这里吧.

而关于 UHCI,也就讲到这里吧.也算是纪念自己北漂生活一周年.