Broadview
www.broadview.com.cn

做程序员的最高境界
就要像和尚研究佛法
一样研究算法

这次函数调用就像流星，
短暂地划过
却能照亮整个天空

它的心只有编译器才懂

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

Linux那些事儿之我是USB 第2版

·任桥伟　肖季东　肖林甫　编著·

本书
不仅能带给你
一趟愉悦的USB代码之旅，
更能给你
一套终生受益的高效内核学习法宝！

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

内 容 简 介

本书基于 2.6.22 内核，对 USB 子系统的大部分源代码逐行进行分析，系统地阐释了 Linux 内核中 USB 子系统是如何运转的，子系统内部的各个模块之间是如何互相协作、配合的。本次改版修改了第 1 版中出现的错误，增加了一个附录，主要内容是关于 Linux 内核的学习方法，是作者的经验总结，值得一读。

本书使用幽默诙谐的笔调对 Linux 内核中的 USB 子系统源代码进行了分析，形象且详尽地介绍了 USB 在 Linux 中的实现。本书从 U 盘、Hub、USB Core 到主机控制器覆盖了 USB 实现的方方面面，被一些网友誉为 USB 开发的“圣经”。

对于 Linux 初学者，可以通过本书掌握学习内核、浏览内核代码的方法；对于 Linux 驱动开发者，可以通过本书对设备模型有形象深刻的理解；对于 USB 开发者，可以通过本书全面理解 USB 在一个操作系统中的实现；对于 Linux 内核开发者，也可以通过本书学习到很多 Linux 高手开发和维护一个完整子系统时的编程思想。

图书在版编目（CIP）数据

Linux 那些事儿之我是 USB / 任桥伟，肖季东，肖林甫编著. —2 版. —北京：电子工业出版社，2012.3
ISBN 978-7-121-15817-9

Ⅰ. ①L… Ⅱ. ①任… ②肖… ③肖… Ⅲ. ①Linux 操作系统－程序设计 ②USB 总线－串行接口－程序设计 Ⅳ. ①TP316.89 ②TP334.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 016530 号

责任编辑：孙学瑛
印　　刷：北京天宇星印刷厂
装　　订：三河市皇庄路通装订厂
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　　邮编 100036
开　　本：787×1092　1/16　　印张：28　　字数：717 千字
印　　次：2012 年 3 月第 1 次印刷
印　　数：3000 册　　定价：79.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前　言

从写Linux那些事儿系列内容开始，到如今已有四年多了，而从整理出版第1版到现在也已经一载有余了。期间不断有认识或不认识的朋友问我，怎么会想起写这么多如此可爱的文字，我的回答都是：娱乐自己，娱乐大家而已！

或许，大家早已经默认技术本是一个沉重或者枯燥的话题，我们无法用一种娱乐的心态去看待它，甚至说很多人早已丧失了从中获取乐趣的能力。但是，一切本不该如此的，对于不管什么原因踏入这个行业的我们，愿意或不愿意，技术都已经是我们生命不可分割的一部分。

既如此，又何不放轻松些，把它当成朋友，用我们自己的方式去与它交流，而不是仅仅把它当成一堆堆死气沉沉的代码，亦或一些枯燥的名词。而针对这本书的内容，我要说的就是：把内核当朋友。笑来老师有本书，叫《把时间当做朋友》，告诉我们只有把时间当做朋友，才能更好地利用自己的时间做些有益的事情。眼睛一闭一睁，一天就过去了；眼睛一闭不睁，一辈子就过去了。只有善待时间，时间才能善待我们。同样，我们只有把内核当朋友，当成一个有生命的实体，把它放在对等的地位上，我们才能够更好地认识和理解到它的精髓。

具体到这本书，您可以把它当成一本内核源码分析的书，甚至仅仅当成内核 USB 实现源码分析的书，但是我更希望您把它当成展现如何学习Linux内核，展现如何与内核进行平等交流的一个范例，起码它体现了我们应该用什么样的态度去对待Linux内核源码。也就是说，分析内核源码，态度决定一切。我们很多人或许有这样的困惑，也分析浏览了很多内核的源码，可总是觉得分析、浏览后，脑子里还是空空的，并没有感觉到多大的收获。这个时候我们或许可以去看看是不是自己在分析代码时的态度出现了问题。我们在分析内核源码时，只有遵循严谨的态度，而不是抱着走马观花、得过且过的态度，最终才会有很大的收获。

然后还有一句曾小范围流传的话：技术水平的高低不是决定于C，或者C++等用得有多么熟练，而是决定于你掌握的资源有多少。所以，我们还要以内核源码为中心，坚持学习资源建设。在我们学习内核的过程中，内核源码本身就是最好的参考资料，其他任何经典或非经典的书最多只是起辅助作用，不能也不应该取代内核代码在我们学习过程中的主导地位。但是这些辅助的作用也是不可忽视的，我们需要以内核源码为中心，坚持各种学习资源的长期建设不动摇。

再次感谢孙学瑛编辑，没有她的努力，这本书的内容将会一直偏居网络一隅，将不可能被出版，从而去帮助更多需要的人。

目　录

第 1 篇　Linux 那些事儿之我是 USB Core

1．引子 …… 2
2．它从哪里来…… 2
3．PK…… 2
4．漫漫辛酸路…… 3
5．我型我秀…… 3
6．我是一棵树…… 4
7．我是谁…… 7
8．好戏开始了…… 9
9．不一样的 Core …… 11
10．从这里开始 …… 14
11．面纱 …… 17
12．模型，又见模型 …… 19
13．繁华落尽 …… 23
14．接口是设备的接口 …… 24
15．设置是接口的设置 …… 28
16．端点 …… 30
17．设备 …… 32
18．配置 …… 38
19．向左走，向右走 …… 41
20．设备的生命线（一） ……45
21．设备的生命线（二） ……48
22．设备的生命线（三） ……52
23．设备的生命线（四） ……57
24．设备的生命线（五） ……63
25．设备的生命线（六） ……69
26．设备的生命线（七） ……75
27．设备的生命线（八） ……81
28．设备的生命线（九） ……86
29．设备的生命线（十） ……89
30．设备的生命线（十一） ……94
31．驱动的生命线（一） …… 105
32．驱动的生命线（二） …… 110
33．驱动的生命线（三） …… 113
34．驱动的生命线（四） …… 117
35．字符串描述符 …… 119
36．接口的驱动 …… 127
37．还是那个 match …… 129
38．结束语 …… 134

第 2 篇　Linux 那些事儿之我是 HUB

1．引子 …… 136
2．跟我走吧，现在就出发…… 136
3．特别的爱给特别的 Root Hub …… 137
4．一样的精灵，不一样的 API …… 138
5．那些队列，那些队列操作函数…… 142
6．等待，只因曾经承诺…… 146
7．最熟悉的陌生人——probe …… 148
8．蝴蝶效应…… 151
9．While You Were Sleeping（一） …… 154
10．While You Were Sleeping（二） …… 159

11．While You Were Sleeping（三） …… 160
12．While You Were Sleeping（四） …… 165
13．再向虎山行 …… 168
14．树，是什么样的树 …… 172
15．没完没了的判断 …… 174
16．一个都不能少 …… 179
17．盖茨家对 Linux 代码的影响…… 187
18．八大重量级函数闪亮登场（一） …… 191
19．八大重量级函数闪亮登场（二） …… 193
20．八大重量级函数闪亮登场（三） …… 195
21．八大重量级函数闪亮登场（四）…… 205
22．八大重量级函数闪亮登场（五）…… 209
23．是月亮惹的祸还是 spec 的错…… 216
24．所谓的热插拔 …… 218
25．不说代码说理论 …… 221
26．看代码的理由 …… 225
27．电源管理的四大消息 …… 229
28．将 suspend 分析到底 …… 232
29．梦醒时分 …… 241
30．挂起自动化 …… 254

第 3 篇　Linux 那些事儿之我是 U 盘

1．小城故事…… 264
2．Makefile…… 264
3．变态的模块机制…… 266
4．想到达明天现在就要启程…… 268
5．外面的世界很精彩…… 269
6．未曾开始却似结束…… 270
7．狂欢是一群人的孤单…… 271
8．总线、设备和驱动（上）…… 272
9．总线、设备和驱动（下）…… 273
10．我是谁的他 …… 274
11．从协议中来，到协议中去（上） …… 275
12．从协议中来，到协议中去（中） …… 277
13．从协议中来，到协议中去（下） …… 279
14．梦开始的地方 …… 280
15．设备花名册 …… 284
16．冰冻三尺非一日之寒 …… 285
17．冬天来了，春天还会远吗？（一） ·· 288
18．冬天来了，春天还会远吗？（二） ·· 294
19．冬天来了，春天还会远吗？（三） ·· 297
20．冬天来了，春天还会远吗？（四） ·· 298
21．冬天来了，春天还会远吗？（五） ·· 301
22．通往春天的管道 …… 306
23．传说中的 URB …… 310
24．彼岸花的传说（一） …… 312
25．彼岸花的传说（二） …… 313
26．彼岸花的传说（三） …… 316
27．彼岸花的传说（四） …… 319
28．彼岸花的传说（五） …… 321
29．彼岸花的传说（六） …… 325
30．彼岸花的传说（七） …… 327
31．彼岸花的传说（八） …… 330
32．彼岸花的传说（The End） …… 333
33．SCSI 命令之我型我秀 …… 334
34．迷雾重重的批量传输（一） …… 337
35．迷雾重重的批量传输（二） …… 341
36．迷雾重重的批量传输（三） …… 344
37．迷雾重重的批量传输（四） …… 348
38．迷雾重重的批量传输（五） …… 353
39．迷雾重重的批量传输（六） …… 356
40．迷雾重重的批量传输（七） …… 358
41．跟着感觉走（一） …… 362
42．跟着感觉走（二） …… 365
43．有多少爱可以胡来？（一） …… 370
44．有多少爱可以胡来？（二） …… 374
45．当梦醒了天晴了 …… 378
46．其实世上本有路，走的人多了，也便没了路 …… 381

附录 A　Linux 那些事儿之我是 sysfs

A.1　sysfs 初探 …… 386
A.2　设备模型 …… 387
A.2.1　设备底层模型 …… 387
A.2.2　设备模型上层容器 …… 391
A.2.3　示例一：usb 子系统 …… 394
A.2.4　示例二：usb storage 驱动 …… 398
A.3　sysfs 文件系统 …… 404
A.3.1　文件系统 …… 405
A.3.2　sysfs …… 409
A.3.3　file_oprations …… 413

附录 B　Linux 内核高效学习法

B.1　高效学习 Linux 内核 …… 420
B.2　Kernel 地图：Kconfig 与 Makefile … 421
B.3　分析内核源码如何入手 …… 423
B.3.1　分析 README …… 423
B.3.2　分析 Kconfig 和 Makefile …… 425
B.3.3　态度决定一切：从初始化函数开始 …… 427
B.4　内核学习的心理问题 …… 432
B.5　高效学习 Linux 驱动开发 …… 433
B.6　设备模型（上） …… 434
B.7　设备模型（下） …… 438
B.7.1　内核中 USB 子系统的结构 …… 438
B.7.2　USB 子系统与设备模型 …… 440
B.8　驱动开发三件宝 …… 440

1．引子

天有不测风云，人有旦夕祸福。在2007年的夏天，我那可爱的电脑声卡坏了。

朋友给我推荐了一款飞利浦的外置声卡 PSC805，老实说，声卡还能用外置的，的确让我觉得新鲜，它直接用USB连接，价钱也还可以。所以我去了一趟中关村买了一块外置声卡。

然而，在店家那里好好的声卡买回来之后居然连指示灯都不亮，根本没法用。不是完全不亮，一开始会亮，然后就不亮了。凭直觉，我判定这是软件的问题，因为我用的是Linux操作系统。

从指示灯这个现象来看，我估计是电源管理部分的问题，我听说Linux内核2.6.20左右在USB部分开始加入了电源管理的代码，我觉得这部分代码不够成熟，问题很多也是很正常的，只是没想到我成了试验品。

我很冷静地分析问题，首先这块声卡是使用USB接口的，供电有问题，那么应该是USB驱动部分的问题而不应该是声卡驱动的问题，声卡驱动是snd-usb-audio，查看了日志文件，实际上问题出现在这个模块被加载之前，所以可以排除声卡驱动的问题。然后我觉得问题可能出现在Linux中Hub驱动的部分，也可能出现在主机控制器驱动的部分。这下子问题稍微麻烦了一些，我完全不清楚究竟应该分析哪个部分，于是我做了一次选择，我猜测问题会在Hub驱动方面，Hub驱动也就是三千多行代码，看了看时间，一个晚上应该是能看完的，狠一狠心，真就看了起来。

引子写到这也就该结束了，大多数人也许都会觉得我最后一定通过看代码解决了问题，然后才会写下下面的这些文字，实际上不是的，我花了一夜看完了Hub驱动的代码，然而并没有发现任何异常，后来我终于知道，这个问题并不是出在Hub驱动的部分，它实际上与UHCI主机控制器的驱动代码有关，算是UHCI驱动的一个Bug。但是既然我看了Hub驱动的代码，也不妨用文字把它记录下来，就算是为了纪念这样一个夜晚吧。

2．跟我走吧，现在就出发

这里说的是USB中的Hub。在USB的世界里，Hub永远都只是绿叶，它不可能是红花，它的存在只是为了支持更多设备连接到USB总线上来，谁也不会为了使用Hub而购买Hub，买Hub的原因是为了要使用别的设备。

也许设计代码的人和我一样，希望大家能够更多地关注Hub，所以，关于Hub的代码在Core的目录下面。

在Linux内核代码目录中，所有设备驱动程序有关的代码都在drivers/目录下面，在这个目录中的USB子目录包含了所有USB设备的驱动，而USB目录下面又有它自己的子目录。

注意到每一个目录下面都有一个Kconfig文件和一个Makefile，这很重要。再厉害的黑客如果不看Makefile，不看Kconfig，也别想搞清楚这里的结构。很多年轻人喜欢研究

usb-skeleton.c，据说这个文件对他们很有启发，所以这里我也推荐这个文件。有时间有兴趣的话可以看一看，其实就是一个简单的 USB 设备驱动程序的框架。

执行命令 lsmod，查看它的输出，找到了 USBcore 那一行吗？Core 就是核心，你需要在你的电脑里用 USB 设备，那么两个模块是必需的，一个是 usbcore，这就是核心模块；另一个是主机控制器的驱动程序，比如在 usbcore 那一行看到的 ehci_hcd 和 uhci_hcd。

什么是 EHCI？ OHCI 就是主机控制器的接口。从硬件上来说，USB 设备要想工作，除了外设本身，必须还有一个 USB 主机控制器。一般来说，一个电脑里有一个 USB 主机控制器就可以了，它就可以控制很多个设备了，比如 U 盘，USB 键盘，USB 鼠标。所有的外设都把自己的请求提交给 USB 主机控制器。然后让 USB 主机控制器统一来调度。而设备怎么连到主机控制器上？这就是我们故事的主角——Hub，“乳名”叫做集线器。

关于 Hub 的代码，在 drivers/usb/core/目录下面，有一个叫做 hub.c 的文件。这个文件可不简单。

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # wc -l hub.c
3122 hub.c
```

Hub 竟然有三千多行代码，真要是按行计费，写代码的那些家伙还不发财了？事实还好不是那样。

三千多行就三千多行吧，总不能见困难就退吧。跟我走吧，现在就出发。

3．特别的爱给特别的 Root Hub

不懂 Hub 是怎么工作的就等于不知道 USB 设备驱动是怎么工作的。这句话一点没错，因为 USB 设备的初始化都是 Hub 这边发起的，通常我们写 USB 设备驱动程序都是在已经得到了一个 struct usb_interface 指针的情况下开始 probe 工作。可是我要问你，你的 struct usb_interface 从哪来的？老实说，要想知道从 USB 设备插入 USB 口的那一刻开始，这个世界发生了什么，你必须知道 Hub 是怎么工作的，Linux 中 Hub 驱动程序是怎么工作的。

要说 USB Hub，那得从 Root Hub 说起。什么是 Root Hub？不管你的计算机里连了多少个 USB 设备，它们最终是有根的。所有的 USB 设备最终都是连接到了一个叫做 Root Hub 的设备上，或者说所有的根源都是从这里开始的。

Root Hub 上可以连接别的设备，可以连接 U 盘，可以连接 USB 鼠标，同样也可以连接另一个 Hub。所谓 Hub，就是用来级联。但是普通的 Hub，它一头接上级 Hub，另一头可以有多个口，多个口就可以连多个设备，也可以只有一个口。而 Root Hub 呢？它比较特殊，它当然也是一种 USB 设备，但是它属于一人之下万人之上的角色，它只属于主机控制器，换而言之，通常做芯片的人会把主机控制器和 Root Hub 集成在一起。特别是 PC 主机上，通常你就只能看到接口，看不到 Root Hub，因为它在主机控制器里，正如图 2.3.1 所示。

当然，我们应该更加准确地评价主机和 Root Hub 的关系。

别扯远了，继续回来，既然 Root Hub 享有如此特殊的地位，那么很显然，整个 USB 子系统得特别对待它，一开始就会要初始化 Hub。所以我们从 USB 子系统的初始化代码开始看起，

也就是 usb_init 函数，来自 drivers/usb/core/usb.c：

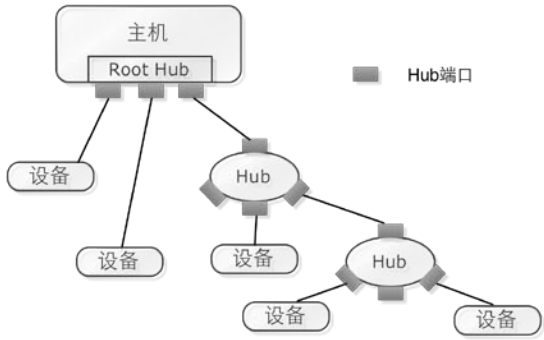


图 2.3.1　USB 拓扑结构

```
863 static int __init usb_init(void)
864 {
        ……
890     if (retval)
891         goto fs_init_failed;
892     retval = usb_hub_init();
        ……
916 }
```

在众多名叫*init*的函数之中，是有一个属于 Hub 的，它在这里初始化，换而言之，随着 USB Core 的初始化，Hub 也就开始了它的初始化之路，usb_hub_init()函数得到调用，这个函数来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
2854 int usb_hub_init(void)
2855 {
2856    if (usb_register(&hub_driver) < 0) {
2857    printk(KERN_ERR "%s: can't register hub driver\n",
2858                    usbcore_name);
2859        return -1;
2860    }
2861
2862    khubd_task = kthread_run(hub_thread, NULL, "khubd");
2863    if (!IS_ERR(khubd_task))
2864        return 0;
2865
2866    /* Fall through if kernel_thread failed */
2867    usb_deregister(&hub_driver);
2868    printk(KERN_ERR "%s: can't start khubd\n", usbcore_name);
2869
2870    return -1;
2871 }
```

一路走来的兄弟们不会对这样一段代码陌生，是不是有一种似曾相识的感觉？

4．一样的精灵，不一样的 API

usb_register()这个函数是用来向 USB 核心层，即 USB Core，注册一个 USB 设备驱动的，

而这里我们注册的是 Hub 的驱动程序所对应的 struct usb_driver 结构体变量。定义于 drivers/usb/core/hub.c 中：

```
2841 static struct usb_driver hub_driver = {
2842     .name =        "hub",
2843     .probe =       hub_probe,
2844     .disconnect =   hub_disconnect,
2845     .suspend =     hub_suspend,
2846     .resume =      hub_resume,
2847     .pre_reset =    hub_pre_reset,
2848     .post_reset =   hub_post_reset,
2849     .ioctl =       hub_ioctl,
2850     .id_table =     hub_id_table,
2851     .supports_autosuspend = 1,
2852 };
```

这里面最重要的一个函数就是 hub_probe，很多事情都在这期间发生了。每个 USB 设备（或者说所有设备）的驱动都会有一个 probe 函数，比如 U 盘的 probe 函数就是 storage_probe()，不过 storage_probe()被调用需要有两个前提：第一个前提是 usb-storage 被加载了，第二个前提是 U 盘等设备插入了被检测到了。

而 Hub，说它特别，我可绝不是“忽悠”你。Hub 本身就有两种：一种是普通的 Hub，一种是 Root Hub。对于普通 Hub，它完全可能也和 U 盘一样，在某个时刻被插入，然后在这种情况下 hub_probe 被调用，但是对于 Root Hub 就不需要这么多废话了，Root Hub 肯定是有的，只要你有 USB 主机控制器，就一定会有 Root Hub，所以 hub_probe()基本上很自然地就被调用了，不用说非得等待某个插入事件的发生，没这个必要。当然没有 USB 主机控制器就没有 USB 设备能工作。那么 USB Core 这整个模块你就没有必要分析了。所以，只要你有 USB 主机控制器，那么在 USB 主机控制器的驱动程序初始化的过程中，它就会调用 hub_probe()来探测 Root Hub，不管你的主机控制器是 OHCI、UHCI 还是 EHCI 的接口。

如果 register 一切顺利的话，那么返回值为 0。如果返回值为负数，就说明出错了。现在假设这一步没有出错。

usb_hub_init()的 2862 行，这行代码其实是很有技术含量的，不过对于写驱动的人来说，其作用就和当年的 kernel_thread()相当。不过 kernel_thread()返回值是一个 int 型的，而 kthread_run()返回的却是 struct task_struct 结构体指针。这里等号左边的 khubd_task 是我们自己定义的一个 struct task_struct 指针：

```
88 static struct task_struct *khubd_task;
```

struct task_struct 不用多说，记录进程的数据结构。每一个进程都用一个 struct task_struct 结构体变量来表示。所以这里所做的就是记录下创建好的内核进程，以便日后要卸载模块时可以用另一个函数来结束这个内核进程（你也可以叫内核线程），到时我们会调用 kthread_stop(khubd_task)函数来结束这个内核线程，这个函数的调用我们将会在 usb_hub_cleanup()函数中看到。而 usb_hub_cleanup()正是 Hub 里面和 usb_hub_init()相对应的函数。

2863 行，判断 khubd_task，IS_ERR 是一个宏，用来判断指针的。当你创建了一个进程，你当然想知道这个进程创建成功了没有。

以前我们注意到每次申请内存时都会做一次判断，你说创建进程是不是也要申请内存？不申请内存谁来记录 struct task_struct？很显然，要进行判断。以前我们判断的是指针是否为空。

以后接触代码多了你会发现，其实 Linux 内核中有很多种内存申请的方式，而这些方式所返回的内存地址也是不一样的，所以并不是每一次我们都只要判断指针是否为空就可以了。事实上，每一次调用 kthread_run()之后，我们都会用一个 IS_ERR()来判断指针是否有效。IS_ERR()为 1 就表示指针有错，或者准确一点说叫做指针无效。

什么叫指针无效？后面会专门解释，让我们继续往下看，只需要记得，如果你不希望发生缺页异常这样的错误的话，每次调用完 kthread_run()之后要用 IS_ERR()来检测返回的指针。如果 IS_ERR()返回值是 0，那么说明没有问题，于是返回值为 0，也就是说 usb_hub_init()就这么结束了。反之，就会执行 usb_deregister()，因为内核线程没有成功创建，hub 就没法驱动起来了。

最后函数在 2870 行，返回值为-1。回到 usb_init()函数中我们会知道，接下来 usb_hub_cleanup()就会被调用。usb_hub_cleanup()同样定义于 drivers/usb/core/hub.c 中：

```
2873 void usb_hub_cleanup(void)
2874 {
2875    kthread_stop(khubd_task);
2876
2877    /*
2878     * Hub resources are freed for us by usb_deregister. It calls
2879     * usb_driver_purge on every device which in turn calls that
2880     * devices disconnect function if it is using this driver.
2881     * The hub_disconnect function takes care of releasing the
2882     * individual hub resources. -greg
2883     */
2884    usb_deregister(&hub_driver);
2885 } /* usb_hub_cleanup() */
```

这个函数我想没有任何必要解释了吧。kthread_stop()和刚才的 kthread_run()对应，usb_deregister()和 usb_register()对应。

总之，如果创建子进程出了问题，那么一切都免谈。

反之，如果成功了，那么 kthread_run()的三个参数就是我们要关注的了：第一个是 hub_thread()，子进程将从这里开始执行。第二个是 hub_thread()，传递的是 NULL，第三个参数就是精灵进程的名字 ps –el，如下所示：

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # ps -el | grep khubd
1 S     0  1963    27  0  70  -5 -     0 hub_th ?       00:00:00 khubd
```

你就会发现有这么一个精灵进程运行着。所以，下一步，让我们进入 hub_thread()来查看这个子进程吧。

以下是关于 IS_ERR 的介绍文字。如果你对内存管理没有任何兴趣，就不用往下看了。要想明白 IS_ERR()，首先你得知道有一种空间叫做内核空间，不清楚也不要紧。结合 IS_ERR()的代码来看，来自 include/linux/err.h：

```
16 #define MAX_ERRNO      4095
17
18 #ifndef __ASSEMBLY__
19
20 #define IS_ERR_VALUE(x) unlikely((x) >= (unsigned long)-MAX_ERRNO)
21
22 static inline void *ERR_PTR(long error)
23 {
24       return (void *) error;
```

```
25 }
26
27 static inline long PTR_ERR(const void *ptr)
28 {
29      return (long) ptr;
30 }
31
32 static inline long IS_ERR(const void *ptr)
33 {
34      return IS_ERR_VALUE((unsigned long)ptr);
35 }
36
37 #endif
```

关于内核空间，我只想说，所有的驱动程序都是运行在内核空间的，内核空间虽然很大，但总是有限的。而在这有限的空间中，其最后一个 page 是专门保留的，也就是说，一般人不可能用到内核空间最后一个 page 的指针。

换句话说，你在写设备驱动程序的过程中，涉及的任何一个指针，必然有三种情况：一种是有效指针，一种是 NULL（空指针），还有一种是错误指针，或者说无效指针。而所谓的错误指针就是指其已经到达了最后一个 page。比如对于 32bit 的系统来说，内核空间最高地址 0xffffffff，那么最后一个 page 就是指的 0xfffff000~0xffffffff(假设 4KB 一个 page)。这段地址是被保留的，一般人不得越雷池半步，如果你发现你的一个指针指向这个范围中的某个地址，那么恭喜你，你的代码肯定出错了。

那么你是不是很好奇，好端端的内核空间干嘛要留出最后一个 page？这不是明明自己有 1000 块钱，非得对自己说只能用 900 块。实在不好意思，你说错了，这里不仅不是浪费一个 page，反而是充分利用资源，把一个东西当两个东西来用。

看见 16 行那个“MAX_ERRNO”了吗？一个宏，定义为 4095，MAX_ERRNO 就是最大错误号，Linux 内核中，出错有多种可能，因为有许许多多种错误。关于 Linux 内核中的错误，我们看 include/asm-generic/errno-base.h 文件：

```
#define EPERM          1     /* Operation not permitted */
#define ENOENT         2     /* No such file or directory */
#define ESRCH          3     /* No such process */
#define EINTR          4     /* Interrupted system call */
#define EIO            5     /* I/O error */
#define ENXIO          6     /* No such device or address */
#define E2BIG          7     /* Argument list too long */
#define ENOEXEC        8     /* Exec format error */
#define EBADF          9     /* Bad file number */
#define ECHILD        10     /* No child processes */
#define EAGAIN        11     /* Try again */
#define ENOMEM        12     /* Out of memory */
#define EACCES        13     /* Permission denied */
#define EFAULT        14     /* Bad address */
#define ENOTBLK       15     /* Block device required */
#define EBUSY         16     /* Device or resource busy */
#define EEXIST        17     /* File exists */
#define EXDEV         18     /* Cross-device link */
#define ENODEV        19     /* No such device */
#define ENOTDIR       20     /* Not a directory */
#define EISDIR        21     /* Is a directory */
#define EINVAL        22     /* Invalid argument */
#define ENFILE        23     /* File table overflow */
#define EMFILE        24     /* Too many open files */
#define ENOTTY        25     /* Not a typewriter */
```

```
#define ETXTBSY        26     /* Text file busy */
#define EFBIG          27     /* File too large */
#define ENOSPC         28     /* No space left on device */
#define ESPIPE         29     /* Illegal seek */
#define EROFS          30     /* Read-only file system */
#define EMLINK         31     /* Too many links */
#define EPIPE          32     /* Broken pipe */
#define EDOM           33     /* Math argument out of domain of func */
#define ERANGE         34     /* Math result not representable */
```

最常见的几个是-EBUSY、-EINVAL、-ENODEV、-EPIPE、-EAGAIN、-ENOMEM，我相信只要你使用过 Linux 就有可能见过这几个错误，因为它们确实经常出现。

这些是每个体系结构中都有的，另外各个体系结构也都定义了自己的一些错误代码。这些东西当然也都是宏，实际上对应的是一些数字，这些数字就叫做错误号。而对于 Linux 内核来说，不管任何体系结构，错误号最多不会超过 4095，而 4095 又正好是比 4KB 小 1，即 4096－1。而我们知道一个 page 可能是 4KB，也可能是更多，比如 8KB，但至少它也是 4KB，所以留出一个 page 出来就可以让我们把内核空间的指针来记录错误了。

什么意思呢？比如我们这里的 IS_ERR()，它就是判断 kthread_run()返回的指针是否有错，如果指针并不是指向最后一个 page，那么没有问题，申请成功了，如果指针指向了最后一个 page，那么说明实际上这不是一个有效的指针，这个指针里保存的实际上是一种错误代码。而通常很常用的方法就是先用 IS_ERR()来判断是否是错误，然后如果是，那么就调用 PTR_ERR()来返回这个错误代码。只不过这里没有调用 PTR_ERR()而已，因为起决定作用的还是 IS_ERR()，而 PTR_ERR()只是返回错误代码，也就是提供一个信息给调用者，如果你只需要知道是否出错，而不在乎因为什么而出错，那你当然不用调用 PTR_ERR()了。当然，这里如果出错了的话，最终 usb_deregister()会被调用，并且 usb_hub_init()会返回–1。

5．那些队列，那些队列操作函数

这一节我们讲队列。

随着子进程进入了我们的视野，我们来看其入口函数 hub_thread()，这是一个令你大跌隐形眼镜的函数。

```
2817 static int hub_thread(void *__unused)
2818 {
2819     do {
2820         hub_events();
2821         wait_event_interruptible(khubd_wait,
2822                          !list_empty(&hub_event_list) ||
2823                          kthread_should_stop());
2824         try_to_freeze();
2825} while (!kthread_should_stop() || !list_empty(&hub_event_list));
2826
2827     pr_debug("%s: khubd exiting\n", usbcore_name);
2828     return 0;
2829 }
```

这就是 Hub 驱动中最精华的代码。这几乎是一个死循环，但是关于 Hub 的所有故事都发

生在这里，没错，就在这短短几行代码中。

而这其中，最核心的函数自然是 hub_events()。我们先不看 hub_events()，先把外面这几个函数看明白了。kthread_should_stop()的意思很明显，就是字面意思——是不是该停掉。如果是，那么这里循环就结束了，hub_thread()返回 0，而要让 kthread_should_stop()为真，就是当我们调用 kthread_stop()时。这种情况，这个进程就该结束了。

再看 hub_event_list，同样来自 drivers/usb/core/hub.c:

```
    83 static LIST_HEAD(hub_event_list);   /* List of hubs needing servicing */
```

我们来看 LIST_HEAD 吧，当你越接近那些核心的代码，你就会发现关于链表的定义就会越多。其实在 usb-storage 里面，我们也提到过一些链表，但却并没有自己用 LIST_HEAD 来定义过链表，因为我们用不着。可是 Hub 这边就有用了，当然主机控制器的驱动程序里也会有。

使用链表的目的很明确，因为有很多事情要做，于是就把它放进链表里，一件事一件事地处理。还记得我们当初在 usb-storage 里面提交 urb 请求了吗？你的 U 盘不停地提交 urb 请求，USB 键盘也提交，USB 鼠标也提交，那 USB 主机控制器怎么能应付得过来呢？很简单，建立一个队列，然后你每次提交就是往一个队列里边插入，然后 USB 主机控制器再统一去调度，一个一个来执行。

那么这里 Hub 它有什么事件？比如探测到一个设备连进来了，于是就会执行一些代码去初始化设备，所以就建一个队列。关于 Linux 内核中的链表，可以专门写一篇文章了，我们简单介绍，来看 include/linux/list.h：

```
    21 struct list_head {
    22      struct list_head *next, *prev;
    23 };
    24
    25 #define LIST_HEAD_INIT(name) { &(name), &(name) }
    26
    27 #define LIST_HEAD(name) \
    28        struct list_head name = LIST_HEAD_INIT(name)
```

可以看出，我们无非就是定义了一个 struct list_head 的结构体 hub_event_list，而且其两个指针 next 和 prev 分别是指向自己。换而言之，我们建立了一个链表，而且是双向链表，并且做了初始化，初始化成一个空队列。而对于这个队列的操作，内核提供了很多函数可以使用，不过在 Hub 中，我们将会用到这么几个函数。

```
    298 static inline int list_empty(const struct list_head *head)
    299 {
    300     return head->next == head;
    301 }
```

不言自明，判断队列是否为空。我们说了，初始化时这个 hub_event_list 队列是空的。

有了队列，自然就要操作队列，要往队列里加东西、减东西。就像我们每个人每天都在不停地走进去，又走出来。来看第二个函数 list_add_tail()，这就是往队列里加东西：

```
    84 static inline void list_add_tail(struct list_head *new, struct list_head
*head)
    85 {
    86      __list_add(new, head->prev, head);
    87 }
```

继续跟着__list_add()看就会发现其实就是往队列的末尾加一个元素：

```
    43 static inline void __list_add(struct list_head *new,
    44                               struct list_head *prev,
    45                               struct list_head *next)
    46 {
    47       next->prev = new;
    48       new->next = next;
    49       new->prev = prev;
    50       prev->next = new;
    51 }
```

再来看下一个 list_del_init()，队列里的元素不能只加不减，没用了的元素就该删除掉，把空间腾出来给别人：

```
    254 static inline void list_del_init(struct list_head *entry)
    255 {
    256      __list_del(entry->prev, entry->next);
    257      INIT_LIST_HEAD(entry);
    258 }
```

从队列里删除一个元素，并且将该元素做初始化，首先看__list_del()：

```
    155 static inline void __list_del(struct list_head * prev, struct list_head *
next)
    156 {
    157      next->prev = prev;
    158      prev->next = next;
    159 }
```

INIT_LIST_HEAD()其实就是初始化为最初的状态，即一个空链表。如下：

```
    30 static inline void INIT_LIST_HEAD(struct list_head *list)
    31 {
    32       list->next = list;
    33       list->prev = list;
    34 }
```

当然了，还有一个超级经典的 list_entry()，和以上所有 list 方面的宏一样，也是来自 include/linux/list.h：

```
    425 #define list_entry(ptr, type, member) \
    426        container_of(ptr, type, member)
```

我相信，list_entry()这个宏在 Linux 内核代码中的地位都是耳熟能详的，如果你说你不知道 list_entry()，那你千万别跟人说你懂 Linux 内核。

list_entry 这个宏应该说还是有一定技术含量的。

关于 list_entry()，让我们结合实例来看，在 hub 的故事里会接触到的一个重要的数据结构就是 struct usb_hub，来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
    34 struct usb_hub {
    35       struct device          *intfdev;      /* the "interface" device */
    36       struct usb_device       *hdev;
    37       struct urb             *urb;        /* for interrupt polling pipe */
    38
    39       /* buffer for urb ... with extra space in case of babble */
    40       char                  (*buffer)[8];
    41       dma_addr_t             buffer_dma;    /* DMA address for buffer */
```

```
42      union {
43          struct usb_hub_status  hub;
44          struct usb_port_status  port;
45      }       *status;       /* buffer for status reports */
46      struct mutex          status_mutex;   /* for the status buffer */
47
48      int                  error;         /* last reported error */
49      int                  nerrors;       /* track consecutive errors */
50
51      struct list_head       event_list;   /* hubs w/data or errs ready */
52      unsigned long         event_bits[1];  /* status change bitmask */
53      unsigned long         change_bits[1]; /* ports with logical connect
54                                             status change */
55      unsigned long         busy_bits[1];   /* ports being reset or
56                                             resumed */
57 #if USB_MAXCHILDREN > 31 /* 8*sizeof(unsigned long) - 1 */
58 #error event_bits[] is too short!
59 #endif
60
61      struct usb_hub_descriptor *descriptor;  /* class descriptor */
62      struct usb_tt         tt;           /* Transaction Translator */
63
64      unsigned              mA_per_port;    /* current for each child */
65
66      unsigned              limited_power:1;
67      unsigned              quiescing:1;
68      unsigned              activating:1;
69
70      unsigned              has_indicators:1;
71      u8                   indicator[USB_MAXCHILDREN];
72      struct delayed_work    leds;
73 };
```

看到了吗，51 行，struct list_head event_list，这个结构体变量将为我们组建一个队列，或者说组建一个链表。我们知道，一个 struct usb_hub 代表一个 Hub，每一个 struct usb_hub 有一个 event_list，即每一个 Hub 都有它自己的一个事件列表。要知道 Hub 可以有一个或者多个，而 Hub 驱动只需要一个，或者说 khubd 这个精灵进程永远都只有一个。而我们的做法是，不管实际上有多少个 Hub，我们最终都会将其 event_list 挂入到全局链表 hub_event_list 中来统一处理（hub_event_list 是对于整个 USB 系统来说是全局的，但对于整个内核来说当然是局部的，毕竟它前面有一个 static）。

因为最终处理所有 Hub 事务的都是这一个精灵进程 khubd，它只需要判断 hub_event_list 是否为空，不为空就去处理。或者说就去触发 hub_events()函数，但当我们真的要处理 Hub 的事件时，当然要知道具体是哪个 Hub 触发了这起事件。而 list_entry 的作用就是，从 struct list_head event_list 得到它所对应的 struct usb_hub 结构体变量。比如以下的四行代码：

```
struct list_head *tmp;
struct usb_hub *hub;
tmp=hub_event_list.next;
hub=list_entry(tmp,struct usb_hub,event_list);
```

从全局链表 hub_event_list 中取出一个来，叫做 tmp，然后通过 tmp 获得它所对应的 struct usb_hub。

最后是总结，中学我们学习写议论文时，老师教过这样几种结构：总分总式结构、对照式结构、层进式结构和并列式结构。而总分总式结构就是先提出中心论点，然后围绕中心，以不

同角度提出分论点，展开论述，最后进行总结。而总分总具体来说又有总分、分总、总分总三种形式。

以前我以为 Linus 只是技术比我强，现在我算是看明白了，语文学得也比我好。看出来了吗？这里采用的就是我们议论文中的总分总结构，先设置一个链表 hub_event_list，设置一个总的函数 hub_events()，这是“总”；然后每一个 Hub 都有一个 event_list，每当有一个 hub 的 event_list 出现了变化，就把它的 event_list 插入到 hub_event_list 中来，这是“分”；然后触发总函数 hub_events()，这又是“总”；然后在 hub_events()里又根据 event_list 来确定是哪个 struct usb_hub，或者说是哪个 Hub 有问题，又针对该 Hub 进行具体处理，这又是“分”。这就是 Linux 中 Hub 驱动的中心思想。

最后，提醒各位读者，struct usb_hub 在这里介绍了，稍后讲到这个结构体时就不会再介绍了。

6．等待，只因曾经承诺

hub_thread()中还有一个函数没有讲，它就是 try_to_freeze()，这是与电源管理相关的函数。对大多数人来说，关于这个函数，了解就可以了。

随着 Linux 开始支持 suspended 之后，有人提倡，每一个内核进程都应该在适当的时候，调用 try_to_freeze()。什么意思呢？有这样一个 flag，PF_NOFREEZE，如果你这个进程或者内核线程不想进入 suspended 状态，那么你就可以设置这个 flag，正如我们在 usb-storage 中 usb_stor_control_thread()中做的那样。而对于大多数内核线程来说，目前主流的看法是希望你能在某个地方调用 try_to_freeze()，这个函数的作用是检测一个 flag 有没有设置，哪个 flag 呢，TIF_FREEZE，每个体系结构定义了自己与这有关的 flags，比如 i386 的，include/asm-i386/thread_info.h 中：

```
126 #define TIF_SYSCALL_TRACE      0      /* syscall trace active */
127 #define TIF_NOTIFY_RESUME    1 /* resumption notification requested */
128 #define TIF_SIGPENDING        2      /* signal pending */
129 #define TIF_NEED_RESCHED      3      /* rescheduling necessary */
130 #define TIF_SINGLESTEP  4 /* restore singlestep on return to user mode*/
131 #define TIF_IRET             5      /* return with iret */
132 #define TIF_SYSCALL_EMU       6      /* syscall emulation active */
133 #define TIF_SYSCALL_AUDIT     7      /* syscall auditing active */
134 #define TIF_SECCOMP           8      /* secure computing */
135 #define TIF_RESTORE_SIGMASK   9 /* restore signal mask in do_signal() */
136 #define TIF_MEMDIE            16
137 #define TIF_DEBUG             17     /* uses debug registers */
138 #define TIF_IO_BITMAP         18     /* uses I/O bitmap */
139 #define TIF_FREEZE            19     /* is freezing for suspend */
```

一句话，如果你不想支持电源管理，那么你编译内核时把 CONFIG_PM 给关了。不过，有一个问题，USB 设备实际上是有节电这个特性的，也就是说 USB 的各种规范中就有一个 suspend 和一个 resume，也就是挂起和恢复，换而言之，硬件本身有这样的特性，要是软件不支持的话写出来的代码你敢给客户用吗？不过一个利好消息是，除了这里这个 try_to_freeze()比较难一点外，剩下的在 USB 中出现的电源管理的代码实际上相对来说不是很难理解，毕竟那些东西和硬

件规范是对应的，都有章可循，硬件怎么规定就怎么做，所以，不用太担心。

摆平了外面的这行代码，于是现在我们安心来看 hub_events()了。hub_events()还是来自drivers/usb/core/hub.c，我们一段一段地来看。

```
2595 static void hub_events(void)
2596 {
2597     struct list_head *tmp;
2598     struct usb_device *hdev;
2599     struct usb_interface *intf;
2600     struct usb_hub *hub;
2601     struct device *hub_dev;
2602     u16 hubstatus;
2603     u16 hubchange;
2604     u16 portstatus;
2605     u16 portchange;
2606     int i, ret;
2607     int connect_change;
2608
2609     /*
2610      *  We restart the list every time to avoid a deadlock with
2611      * deleting hubs downstream from this one. This should be
2612      * safe since we delete the hub from the event list.
2613      * Not the most efficient, but avoids deadlocks.
2614      */
2615     while (1) {
2616
2617         /* Grab the first entry at the beginning of the list */
2618         spin_lock_irq(&hub_event_lock);
2619     if (list_empty(&hub_event_list)) {
2620             spin_unlock_irq(&hub_event_lock);
2621         break;
2622         }
2623
2624     tmp = hub_event_list.next;
2625         list_del_init(tmp);
2626
2627         hub = list_entry(tmp, struct usb_hub, event_list);
2628         hdev = hub->hdev;
2629         intf = to_usb_interface(hub->intfdev);
2630         hub_dev = &intf->dev;
2631
2632         dev_dbg(hub_dev, "state %d ports %d chg %04x evt %04x\n",
2633                             hdev->state, hub->descriptor
2634                                    ? hub->descriptor->bNbrPorts
2635                                    : 0,
2636                              /* NOTE: expects max 15 ports... */
2637                             (u16) hub->change_bits[0],
2638                             (u16) hub->event_bits[0]);
2639
2640         usb_get_intf(intf);
2641     spin_unlock_irq(&hub_event_lock);
```

2615 行，一个 while(1)循环；2619 行，判断 hub_event_list 是否为空，是不是觉得很有趣？第一次调用这个函数时，hub_event_list 就是初值，我们说过初值为空，所以这里就是空，即list_empty()返回 1，然后 break 语句跳出 while 循环。你知道 while 循环的结尾在哪里吗？就是这个 hub_events()函数的结尾，也就是说在这里几百行的代码就结束了，我们直接退出这个函数，返回到 hub_thread()中，调用 wait_event_interruptible()进入睡眠，然后等待有事件发生。

对于 Hub 来说，当你插入一个设备到 Hub 口里，就会触发一件事件。而第一件事件的发

生其实是 Hub 驱动程序本身的初始化，即我们说过，由于 Root Hub 的存在，所以 hub_probe 必然会被调用，确切地说，就是在主机控制器的驱动程序中，一定会调用 hub_probe 的。如果你问我到底什么时候会调用，那么我无可奉告，因为这是在主机控制器的驱动程序中，不管你的主机控制器是属于 OHCI 的、UHCI 的，还是 EHCI 的，最终在它们的初始化代码中都会调用一个叫做 hcd_register_root()的函数，进而转到 usb_register_root_hub()，几经周转，最终 hub_probe 就会被调用。所以你根本不用担心这个函数什么时刻会被调用，反正总会有这个时刻。

所以，我们就转到 hub_probe 吧，这里 hub_events()只是虚晃一枪，不过你别忘了，等到 hub_event_list 里面有东西了之后，我们还会回来的。要知道 hub_events()这个函数才是真正的 Hub 驱动的核心函数，所有的故事都是在这里发生的。所以，就像你给了某人一个承诺，承诺你还会回来。有了承诺，等待也被赋予了意义。

最后需要记住的是 wait_event_interruptible()的第一个参数是&khubd_wait，关于这个函数我们在 usb-storage 里面已经看过多次了，其中 khubd_wait 定义于 drivers/usb/core/hub.c：

```
    85 /* Wakes up khubd */
    86 static DECLARE_WAIT_QUEUE_HEAD(khubd_wait);
```

这无非就是一个等待队列头，所以我们很清楚，将来要唤醒这个睡眠进程的一定是类似这样的一行代码：wake_up(&khubd_wait)。没错，整个内核代码中只有一个地方会调用这个代码，那就是 kick_khubd()，不过调用 kick_khubd()的地方可不少。

7．最熟悉的陌生人——probe

话说因为 Hub 驱动无所事事，所以 hub_thread()进入了睡眠，直到某一天，hub_probe 被调用。所以我们来看 hub_probe()，这个函数来自 drivers/usb/hub.c，其作用就如同当初我们在 usb-storage 中遇到的那个 storage_probe()函数一样。

```
    887 static int hub_probe(struct usb_interface *intf, const struct usb_device_id
*id)
    888 {
    889     struct usb_host_interface *desc;
    890     struct usb_endpoint_descriptor *endpoint;
    891     struct usb_device *hdev;
    892     struct usb_hub *hub;
    893
    894     desc = intf->cur_altsetting;
    895     hdev = interface_to_usbdev(intf);
    896
    897 #ifdef  CONFIG_USB_OTG_BLACKLIST_HUB
    898     if (hdev->parent) {
    899         dev_warn(&intf->dev, "ignoring external hub\n");
    900         return -ENODEV;
    901     }
    902 #endif
    903
    904     /* Some hubs have a subclass of 1, which AFAICT according to the */
    905     /*  specs is not defined, but it works */
    906     if ((desc->desc.bInterfaceSubClass != 0) &&
    907         (desc->desc.bInterfaceSubClass != 1)) {
```

```
908 descriptor_error:
909         dev_err (&intf->dev, "bad descriptor, ignoring hub\n");
910         return -EIO;
911     }
912
913     /* Multiple endpoints? What kind of mutant ninja-hub is this? */
914     if (desc->desc.bNumEndpoints != 1)
915         goto descriptor_error;
916
917     endpoint = &desc->endpoint[0].desc;
918
919     /* If it's not an interrupt in endpoint, we'd better punt! */
920     if (!usb_endpoint_is_int_in(endpoint))
921         goto descriptor_error;
922
923     /* We found a hub */
924     dev_info (&intf->dev, "USB hub found\n");
925
926     hub = kzalloc(sizeof(*hub), GFP_KERNEL);
927     if (!hub) {
928         dev_dbg (&intf->dev, "couldn't kmalloc hub struct\n");
929         return -ENOMEM;
930     }
931
932     INIT_LIST_HEAD(&hub->event_list);
933     hub->intfdev = &intf->dev;
934     hub->hdev = hdev;
935     INIT_DELAYED_WORK(&hub->leds, led_work);
936
937     usb_set_intfdata (intf, hub);
938     intf->needs_remote_wakeup = 1;
939
940     if (hdev->speed == USB_SPEED_HIGH)
941         highspeed_hubs++;
942
943     if (hub_configure(hub, endpoint) >= 0)
944         return 0;
945
946     hub_disconnect (intf);
947     return -ENODEV;
948 }
```

幸运的是这个函数还不是很长。894 行，desc，是这个函数中定义的一个 struct usb_host_interface 结构体指针，其实这就相当于 struct usb_interface 结构中的那个 altsetting，只是换了一个名字。

同样 895 行这个赋值我们也很眼熟， interface_to_usbdev()这个宏就是为了从一个 struct usb_interface 的结构体指针得到那个与它相关的 struct usb_device 结构体指针。这里等号右边的 intf 自不必说，而左边的 hdev 正是我们这里为了 Hub 而定义的一个 struct usb_device 结构体指针。

897 行到 902 行，这是为 OTG 而准备的，为了简化问题，在这里我做一个假设，即假设我们不支持 OTG。在内核编译选项中有一个叫做 CONFIG_USB_OTG 的选项，OTG 就是“On The Go”（正在进行中）的意思，随着 USB 传输协议的诞生，以及它的迅速走红，人们不再满足于以前那种一个设备要么就是主设备，要么就是从设备的现状，也就是说要么是 Host（或者叫主设备）；要么是外设（也叫 Slave，或者叫从设备）。在那个年代里，只有当一台 Host 与一台 Slave 连接时才能实现数据的传输，而后来开发人员们又公布了 USB OTG 规范，于是出现了 OTG 设

备，即既可以充当 Host，亦能充当 Slave 的设备。也就是说如果你有一台数码相机和一台打印机，它们各有一个 USB 接口，把这两个口连接起来，就可以把你的照片打印出来了。所以我只能假设我们不打开支持 OTG 的编译开关，而这里我们看到的 CONFIG_USB_OTG_BLACKLIST_HUB，其实就是 CONFIG_OTG 下面的子选项，不选后者根本就见不到前者。

904 行到 911 行，这没什么可说的了，每一个 USB 设备它属于哪个类，以及哪个子类这都是定好的，比如 Hub 的子类就是 0，即 desc->desc 这个 interface 描述符里边的 bInterfaceSubClass 就应该是 0。所以这里是判断如果 bInterfaceSubClass 不为 0 那就出错了，那就不往下走了，返回值是-EIO。

914 行和 915 行，其实干的事情是差不多的，针对接口描述符再做一次判断，这次是判断这个 Hub 有几个端点。spec 规定了 Hub 只有一个端点（除去端点 0）也就是中断端点，因为 Hub 的传输是中断传输。当然还有控制传输，但是因为控制传输是每一个设备都必须支持的，即每一个 USB 设备都会有一个控制端点，所以在 desc->desc.bNumEndpoints 中是不包含那个大家都有的控制端点的。因此如果这个值不为 1，那么就说明又出错了，仍然只能是返回。

917 行，得到这个唯一的端点所对应的端点描述符，920 行和 921 行就是判断这个端点是不是中断端点，如果不是，那还是一样，返回报错吧。

如果以上几种常见的错误都没有出现，这个时候我们才开始正式地去做一些事情，让我们继续。

924 行，打印调试信息。

926 行，申请 Hub 的数据结构 struct usb_hub。不过 926 行有一个很新的函数，kzalloc()。其实这个函数就是原来的两个函数的整合，即原来我们每次申请内存时都会这么做，先是用 kmalloc()申请空间，然后用 me mset()来初始化，而现在一步到位，直接调用 kzalloc()函数，效果等同于原来那两个函数，所有申请的元素都被初始化为 0。

其实对于写驱动的人来说，知道现在应该用 kzalloc()函数代替原来的 kmalloc()和 me mset()函数就可以了，这是内核中内存管理部分做出的改变，确切地说是改进。负责内存管理那部分程序的目标无非就是让内核跑起来更快一些，而从 kmalloc/me mset 到 kzalloc 的改变确实也是为了实现这方面的优化。所以自从 2005 年底内核中引入 kzalloc 之后，整个内核代码的许多模块里面都先后把原来的 kmalloc/me mset 统统换成了 kzalloc()。咱们这里就是其中一处。927 行到 930 行不用说了，如果没申请成功那就返回 ENOMEM。

932 行，还记得之前说的总分的结构，一个总的事件队列，hub_event_list，然后各个 Hub 都有一个分的事件队列，就是这里的 hub->event_list，前面已经初始化了全局的 hub_event_list，而这里咱们针对单个 Hub 就得为其初始化一个 event_list。

933 行和 934 行，struct usb_hub 中的两个成员：struct device *intfdev；struct usb_device *hdev，干什么用的想必不用多说了吧，第一个，不管你是 USB 设备也好，PCI 设备也好，SCSI 设备也好，Linux 内核中都为你准备一个 struct device 结构体来描述，所以 intfdev 就是和 Hub 相关联的 struct device 指针；第二个，不管是 Hub 也好，U 盘也好，移动硬盘也好，USB 鼠标也好，USB Core 都准备一个 struct usb_device 来描述，所以 hdev 将是与这个 Hub 相对应的 struct usb_device 指针。

而这些在我们调用 hub_probe 之前就已经建立好了，都在参数 struct usb_interface *intf 中，具体怎么得到的，对于 Root Hub 来说，这涉及主机控制器的驱动程序，现在先忽略。但对于一

个普通的外接的 Hub，后面会看到如何得到它的 struct usb_interface，因为建立并初始化一个 USB 设备的 struct usb_interface 正是 Hub 驱动里做的事情，其实也就是我们对 Hub 驱动最好奇的地方。因为找到了这个问题的答案，我们就知道了对于一个 USB 设备驱动，其 probe 指针是在什么情况下被调用的，比如这里的 hub_probe 对于普通 Hub 来说是谁调用的？比如之前的 usb-storage 中函数 storage_probe()究竟是谁调用的？这正是我们想知道的。

8．蝴蝶效应

朋友，你相信一只蝴蝶在北京拍拍翅膀，将使得纽约在几个月后出现比狂风还厉害的龙卷风吗？看过那部经典的影片《蝴蝶效应》的朋友们一定会说，这不就是“蝴蝶效应”吗。没错，蝴蝶效应其实是混沌学理论中的一个概念。它是指对初始条件敏感性的一种依赖现象。蝴蝶效应的原因在于蝴蝶翅膀的运动，导致其身边的空气系统发生变化，并引起微弱气流的产生，而微弱气流的产生又会引起它四周空气或其他系统产生相应的变化，由此引起连锁反应，最终导致其他系统的极大变化。

自从 1979 年 12 月麻省理工的洛仑兹在美国科学促进会上做了关于蝴蝶效应的报告之后，从此蝴蝶效应很快风靡全球，其迷人的美学色彩和深刻的科学内涵令许多人着迷、激动，同时发人深省。蝴蝶效应被引入了各个领域，比如军事、政治、经济，再后来也被引入到了企业管理。

当然 Linux 中也不会放过如此有哲学魅力的理论。从本质上来说，蝴蝶效应给人一种对未来行为不可预测的危机感。而 Linux 内核代码中这种感觉更是强烈，几乎到了无处不在的程度。很多函数，特别是那种做初始化的函数，你根本就不知道它在干什么，只有当你在未来的某个时刻，看到了另一个函数，你才会回过头来看，原来当初是这个函数设置了初始条件。假如你改变了初始条件，那么后来在某个地方的某个函数的某个行为就会发生改变。但问题是，你并不知道这个行为将在什么时候发生。

是不是觉得很抽象？那好，我们来具体讲解，比如 935 行，INIT_DELAYED_WORK()，这是一个宏，我们给它传递了两个参数，&hub->leds 和 led_work。对设备驱动熟悉的人不会觉得 INIT_DELAYED_WORK()很陌生，很早就有这个宏了，只不过从 2.6.20 的内核开始这个宏做了改变，原来这个宏是三个参数，后来改成了两个参数，所以经常在网上看见一些人抱怨说最近某个模块编译失败了，在 make 的时候遇见这么一个错误：

```
error: macro "INIT_DELAYED_WORK" passed 3 arguments, but takes just 2
```

当然更为普遍地看到下面这个错误：

```
error: macro "INIT_WORK" passed 3 arguments, but takes just 2
```

于是就让我们来仔细看一看 INIT_WORK 和 INIT_DELAYED_WORK 这两个宏，其实前者是后者的一个特例，它们涉及工作队列。这两个宏都定义于 include/linux/workqueue.h 中：

```
79 #define INIT_WORK(_work, _func)                                        \
80       do {                                                          \
81           (_work)->data = (atomic_long_t) WORK_DATA_INIT();      \
```

```
    82          INIT_LIST_HEAD(&(_work)->entry);                    \
    83          PREPARE_WORK((_work), (_func));                     \
    84      } while (0)
    85
    86 #define INIT_DELAYED_WORK(_work, _func)                      \
    87      do {                                                  \
    88          INIT_WORK(&(_work)->work, (_func));                \
    89          init_timer(&(_work)->timer);                      \
    90      } while (0)
```

总之，关于工作队列， Linux 内核实现了一个内核线程，使用 ps 命令看您的进程：

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # ps -el
    F S   UID   PID  PPID  C PRI  NI ADDR SZ WCHAN  TTY          TIME CMD
    4 S     0     1     0  0  76   0 -   195 -     ?        00:00:02 init
    1 S     0     2     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/0
    1 S     0     3     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/0
    1 S     0     4     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/1
    1 S     0     5     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/1
    1 S     0     6     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/2
    1 S     0     7     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/2
    1 S     0     8     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/3
    1 S     0     9     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/3
    1 S     0    10     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/4
    1 S     0    11     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/4
    1 S     0    12     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/5
    1 S     0    13     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/5
    1 S     0    14     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/6
    1 S     0    15     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/6
    1 S     0    16     1  0 -40   - -     0 migrat ?         00:00:00 migration/7
    1 S     0    17     1  0  94  19 -     0 ksofti ?         00:00:00 ksoftirqd/7
    5 S     0    18     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/0
    1 S     0    19     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/1
    5 S     0    20     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/2
    5 S     0    21     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/3
    5 S     0    22     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/4
    1 S     0    23     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/5
    5 S     0    24     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/6
    5 S     0    25     1  0  70  -5 -     0 worker ?         00:00:00 events/7
```

看见最后这几行了吗，events/0 到 events/7，“0”和“7”这些都是处理器的编号，每个处理器对应其中的一个线程。要是计算机只有一个处理器，则只能看到一个这样的线程，events/0，如果是双处理器那您就会看到多出一个 events/1 的线程。我的是 Dell PowerEdge 2950 的机器，有 8 个处理器，所以就是 events/0 到 events/7 了。

那么究竟这些 events 代表什么意思呢？或者说它们具体是干什么用的？这些 events 被叫做工作者线程，或者说 Worker Threads，更确切地说，这些应该是默认的工作者线程。而与工作者线程相关的一个概念就是工作队列，或者叫 Work Queue。

工作队列的作用就是把工作推后，交由一个内核线程去执行，更直接地说就是如果你写了一个函数，而你现在不想马上执行它，想在将来某个时刻去执行它，那你可以使用工作队列。中断也是这样，提供一个中断服务函数，在发生中断时去执行，和中断相比，工作队列最大的好处就是可以调度，可以睡眠，灵活性更好。

就比如这里，如果我们将来在某个时刻希望能够调用 led_work()这个我们自己写的函数，那么我们所要做的就是利用工作队列。如何利用呢？第一步就是使用 INIT_WORK()或者 INIT_DELAYED_WORK()来初始化这么一个工作，或者叫任务，初始化了之后，将来如果希望

调用这个 led_work()函数，那么只要用 schedule_work()或者 schedule_delayed_work()就可以了。这里使用的是 INIT_DELAYED_WORK()，那么之后就会调用 schedule_delayed_work()，它俩是一对函数。它表示，您希望经过一段延时之后再执行某个函数，所以，今后会见到 schedule_delayed_work()这个函数，而它所需要的参数，一个就是这里的&hub->leds，另一个就是自己需要的延时。&hub->leds 是什么呢？struct usb_hub 中的成员，struct delayed_work leds，专门用于延时工作，再看 struct delayed_work，这个结构体定义于 include/linux/workqueue.h：

```
35 struct delayed_work {
36      struct work_struct work;
37      struct timer_list timer;
38 };
```

其实就是 struct work_struct 和 timer_list，前者是为了往工作队列里加入自己的工作，后者是为了能够实现延时执行，说得更明白一点，那些 events 线程对应一个结构体，即 struct workqueue_struct，也就是说它们维护着一个队列，要是想利用工作队列这个机制呢，可以自行创建一个队列，也可以直接使用 events 对应的这个队列，对于大多数情况来说，都是选择了 events 对应的这个队列，也就是说大家都共用这么一个队列。怎么用呢？先初始化，比如调用 INIT_DELAYED_WORK()。初始化，实际上就是为一个 struct work_struct 结构体绑定一个函数，就比如这里的两个参数：&hub->leds 和 led_work()的关系，就最终让 hub_leds 的 struct work_struct 结构体和函数 led_work()相绑定了起来。它们是怎么绑定的？ struct work_struct 也是定义于 include/linux/workqueue.h：

```
24 struct work_struct {
25      atomic_long_t data;
26 #define WORK_STRUCT_PENDING 0    /* T if work item pending execution */
27 #define WORK_STRUCT_FLAG_MASK (3UL)
28 #define WORK_STRUCT_WQ_DATA_MASK (~WORK_STRUCT_FLAG_MASK)
29      struct list_head entry;
30      work_func_t func;
31 };
```

看见最后这个成员 func 了吗？初始化的目的就是让 func 指向 led_work()，这就是绑定，所以以后调用 schedule_delayed_work()时，只要传递 struct work_struct 的结构体参数即可，不用再每次都把 led_work()这个函数名也给传递一次。

你大概还有一个疑问，为什么只要这里初始化好了，到时调用 schedule_delayed_work()就可以了呢？事实上，events 这个线程其实和 Hub 的内核线程一样，有事情就处理，没事情就睡眠，也是一个死循环。而 schedule_delayed_work()的作用就是唤醒这个线程，确切地说，是先把自己的这个 struct work_struct 插入 workqueue_struct 这个队列里，然后唤醒睡眠中的 events。然后 events 就会去处理，要是有延时，那么它就给您安排延时以后执行，要是没有延时，或者您设了延时为 0，那好，那就赶快执行。

这里讲了两个宏，一个是 INIT_WORK()，另一个是 INIT_DELAYED_WORK()，后者就是专门用于可以有延时的宏，而前者就是没有延时的宏，这里调用的是 INIT_DELAYED_WORK()，不过过一会你会看见 INIT_WORK()也被调用了，因为 Hub 驱动中还有另一个地方也想利用工作队列这么一个机制，而它不需要延时，所以就使用 INIT_WORK()进行初始化，然后在需要调用相关函数时调用 schedule_work()即可。

这一节介绍了 Linux 内核中工作队列机制提供的接口，有两对函数：INIT_DELAYED_

WORK()对 schedule_delayed_work()，INIT_WORK()对 schedule_work()。

关于工作队列机制，还会用到另外两个函数，它们是 cancel_delayed_work(struct delayed_work *work)和 flush_scheduled_work()。其中 cancel_delayed_work()的意思不言自明，对一个延迟执行的工作来说，这个函数的作用是在这个工作还未执行时就把它给取消。

而 flush_scheduled_work()的作用是为了防止有竞争条件的出现，你要是对竞争条件不是很明白，那也不要紧，反正基本上每次调用 cancel_delayed_work 之后你都得调用 flush_scheduled_work()这个函数，特别是对于内核模块，如果一个模块使用了工作队列机制，并且利用了 events 这个默认队列，那么在卸载这个模块之前，必须得调用这个函数，这叫做刷新一个工作队列，也就是说，函数会一直等待，直到队列中所有对象都被执行以后才返回。当然，在等待的过程中，这个函数可以进入睡眠。刷新完了之后，这个函数会被唤醒，然后它就返回了。

关于这里的竞争，可以这样理解，events 对应的这个队列本来是按部就班地执行，要是你突然把你的模块给卸载了，或者说把你的那个工作从工作队列里取出来了，那 events 作为队列管理者，它可能根本就不知道，比如说它先想好了，下午 3 点执行队列里的第 *N* 个成员，可是您突然把第 *N*-1 个成员给取走了，那肯定得出错？所以，为了防止出现这种错误，提供了一个 flush_scheduled_work()函数供调用，以消除所谓的竞争条件，其实说竞争太专业了点，说直白一点就是防止混乱吧。

关于这些接口就讲到这里，以后自然会在 Hub 驱动里见到这些接口函数是如何被使用的，到那时候再来看，这就是蝴蝶效应。当我们看到 INIT_WORK/INIT_DELAYED_WORK()时，我们是没法预测未来会发生什么的。所以我们只能拭目以待。

9．While You Were Sleeping（一）

继续沿着 hub_probe()往下走，937 行到 941 行，937 行我们在 usb-storage 里已然见过了，usb_set_intfdata(intf, hub)的作用就是让 intf 和 hub 关联起来，从此以后，我们知道 struct usb_interface *intf，就可以追溯到与之关联的 struct usb_hub 指针。这种思想是很简单的，但也是很重要的，这就好比在网络时代的我们，应该熟练掌握以 Google 为代表的搜索引擎的使用方法。

938 行，设置 intf 的 need_remote_wakeup 为 1。

940 行，如果这个设备（确切地说是这个 Hub） 是高速设备，那么让 highspeed_hubs 的值加 1。highspeed_hubs 是 drivers/usb/core/hub.c 中的全局变量，其定义是这样的：

```
848 static unsigned highspeed_hubs;
```

static，静态变量，其实就是 hub.c 这个文件中的全局。至于这几个变量有什么用，暂时先不管，用到了再说。

943 行到 947 行，结束了这几行的话，hub_probe 就算完了。我们先不用细看每个函数，很显然，hub_configure 这个函数是用来配置 Hub 的，返回值小于 0 就算出错了，这里的做法是，如果没有出错那么 hub_probe 就返回 0，否则，那就执行 hub_disconnect()，断开并且返回错误代码-ENODEV。hub_disconnect 函数其实就是和 hub_probe()对应的函数，其关系就像当初

storage_probe()和 storage_disconnect 的一样。我们先来看 hub_configure()。这个函数又是一个 200 多行的函数。同样还是来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
595 static int hub_configure(struct usb_hub *hub,
596       struct usb_endpoint_descriptor *endpoint)
597 {
598     struct usb_device *hdev = hub->hdev;
599     struct device *hub_dev = hub->intfdev;
600     u16 hubstatus, hubchange;
601     u16 wHubCharacteristics;
602     unsigned int pipe;
603     int maxp, ret;
604     char *message;
605
606   hub->buffer=usb_buffer_alloc(hdev,sizeof(*hub->buffer),GFP_KERNEL,
607                 &hub->buffer_dma);
608     if (!hub->buffer) {
609         message = "can't allocate hub irq buffer";
610         ret = -ENOMEM;
611         goto fail;
612     }
613
614     hub->status = kmalloc(sizeof(*hub->status), GFP_KERNEL);
615     if (!hub->status) {
616         message = "can't kmalloc hub status buffer";
617         ret = -ENOMEM;
618         goto fail;
619     }
620     mutex_init(&hub->status_mutex);
621
622     hub->descriptor = kmalloc(sizeof(*hub->descriptor), GFP_KERNEL);
623     if (!hub->descriptor) {
624         message = "can't kmalloc hub descriptor";
625         ret = -ENOMEM;
626         goto fail;
627     }
628
629     /* Request the entire hub descriptor.
630      * hub->descriptor can handle USB_MAXCHILDREN ports,
631      * but the hub can/will return fewer Bytes here.
632      */
633     ret = get_hub_descriptor(hdev, hub->descriptor,
634                 sizeof(*hub->descriptor));
635     if (ret < 0) {
636         message = "can't read hub descriptor";
637         goto fail;
638     } else if (hub->descriptor->bNbrPorts > USB_MAXCHILDREN) {
639         message = "hub has too many ports!";
640         ret = -ENODEV;
641         goto fail;
642     }
643
644     hdev->maxchild = hub->descriptor->bNbrPorts;
645     dev_info (hub_dev, "%d port%s detected\n", hdev->maxchild,
646             (hdev->maxchild == 1) ? "" : "s");
647
648     wHubCharacteristics =
          le16_to_cpu(hub->descriptor->wHubCharacteristics);
649
650     if (wHubCharacteristics & HUB_CHAR_COMPOUND) {
651         int    i;
652         char   portstr [USB_MAXCHILDREN + 1];
653
```

```
654         for (i = 0; i < hdev->maxchild; i++)
655             portstr[i] = hub->descriptor->DeviceRemovable
656                                 [((i + 1) / 8)] & (1 << ((i + 1) % 8))
657                             ? 'F' : 'R';
658         portstr[hdev->maxchild] = 0;
659         dev_dbg(hub_dev, "compound device; port removable status: %s\n",
                                            portstr);
660     } else
661         dev_dbg(hub_dev, "standalone hub\n");
662
663     switch (wHubCharacteristics & HUB_CHAR_LPSM) {
664     case 0x00:
665         dev_dbg(hub_dev, "ganged power switching\n");
666         break;
667     case 0x01:
668     dev_dbg(hub_dev, "individual port power switching\n");
669         break;
670     case 0x02:
671     case 0x03:
672         dev_dbg(hub_dev, "no power switching (usb 1.0)\n");
673         break;
674     }
675
676     switch (wHubCharacteristics & HUB_CHAR_OCPM) {
677     case 0x00:
678         dev_dbg(hub_dev, "global over-current protection\n");
679         break;
680     case 0x08:
681         dev_dbg(hub_dev, "individual port over-current protection\n");
682         break;
683     case 0x10:
684     case 0x18:
685         dev_dbg(hub_dev, "no over-current protection\n");
686         break;
687     }
688
689     spin_lock_init (&hub->tt.lock);
690     INIT_LIST_HEAD (&hub->tt.clear_list);
691     INIT_WORK (&hub->tt.kevent, hub_tt_kevent);
692     switch (hdev->descriptor.bDeviceProtocol) {
693     case 0:
694         break;
695     case 1:
696         dev_dbg(hub_dev, "Single TT\n");
697         hub->tt.hub = hdev;
698         break;
699     case 2:
700         ret = usb_set_interface(hdev, 0, 1);
701         if (ret == 0) {
702             dev_dbg(hub_dev, "TT per port\n");
703             hub->tt.multi = 1;
704         } else
705             dev_err(hub_dev, "Using single TT (err %d)\n",
706                                 ret);
707         hub->tt.hub = hdev;
708         break;
709     default:
710         dev_dbg(hub_dev, "Unrecognized hub protocol %d\n",
711                             hdev->descriptor.bDeviceProtocol);
712         break;
713     }
714
715     /* Note 8 FS bit times == (8 bits / 12000000 bps) ~= 666ns */
716     switch (wHubCharacteristics & HUB_CHAR_TTTT) {
```

```
717     case HUB_TTTT_8_BITS:
718         if (hdev->descriptor.bDeviceProtocol != 0) {
719             hub->tt.think_time = 666;
720             dev_dbg(hub_dev, "TT requires at most %d "
721                             "FS bit times (%d ns)\n",
722                                 8, hub->tt.think_time);
723         }
724         break;
725     case HUB_TTTT_16_BITS:
726         hub->tt.think_time = 666 * 2;
727         dev_dbg(hub_dev, "TT requires at most %d "
728                         "FS bit times (%d ns)\n",
729                         16, hub->tt.think_time);
730         break;
731     case HUB_TTTT_24_BITS:
732         hub->tt.think_time = 666 * 3;
733         dev_dbg(hub_dev, "TT requires at most %d "
734                     "FS bit times (%d ns)\n",
735                     24, hub->tt.think_time);
736         break;
737     case HUB_TTTT_32_BITS:
738         hub->tt.think_time = 666 * 4;
739         dev_dbg(hub_dev, "TT requires at most %d "
740                         "FS bit times (%d ns)\n",
741                     32, hub->tt.think_time);
742         break;
743     }
744
745     /* probe() zeroes hub->indicator[] */
746     if (wHubCharacteristics & HUB_CHAR_PORTIND) {
747         hub->has_indicators = 1;
748         dev_dbg(hub_dev, "Port indicators are supported\n");
749     }
750
751     dev_dbg(hub_dev, "power on to power good time: %d ms\n",
752              hub->descriptor->bPwrOn2PwrGood * 2);
753
754     /* power budgeting mostly matters with bus-powered hubs,
755      * and battery-powered root hubs (may provide just 8 mA).
756      */
757     ret = usb_get_status(hdev, USB_RECIP_DEVICE, 0, &hubstatus);
758     if (ret < 2) {
759         message = "can't get hub status";
760         goto fail;
761     }
762     le16_to_cpus(&hubstatus);
763     if (hdev == hdev->bus->root_hub) {
764         if (hdev->bus_mA == 0 || hdev->bus_mA >= 500)
765             hub->mA_per_port = 500;
766         else {
767             hub->mA_per_port = hdev->bus_mA;
768             hub->limited_power = 1;
769         }
770     } else if ((hubstatus & (1 << USB_DEVICE_SELF_POWERED)) == 0) {
771     dev_dbg(hub_dev, "hub controller current requirement: %dmA\n",
772                     hub->descriptor->bHubContrCurrent);
773         hub->limited_power = 1;
774         if (hdev->maxchild > 0) {
775             int remaining = hdev->bus_mA -
776                             hub->descriptor->bHubContrCurrent;
777
778             if (remaining < hdev->maxchild * 100)
779                 dev_warn(hub_dev,
780                             "insufficient power available "
```

```
781                             "to use all downstream ports\n");
782             hub->mA_per_port = 100;       /* 7.2.1.1 */
783         }
784     } else {       /* Self-powered external hub */
785         /* FIXME: What about battery-powered external hubs that
786          * provide less current per port? */
787         hub->mA_per_port = 500;
788     }
789     if (hub->mA_per_port < 500)
790         dev_dbg(hub_dev, "%umA bus power budget for each child\n",
791                          hub->mA_per_port);
792
793     ret = hub_hub_status(hub, &hubstatus, &hubchange);
794     if (ret < 0) {
795         message = "can't get hub status";
796         goto fail;
797     }
798
799     /* local power status reports aren't always correct */
800     if (hdev->actconfig->desc.bmAttributes & USB_CONFIG_ATT_SELFPOWER)
801         dev_dbg(hub_dev, "local power source is %s\n",
802                 (hubstatus & HUB_STATUS_LOCAL_POWER)
803                 ? "lost (inactive)" : "good");
804
805     if ((wHubCharacteristics & HUB_CHAR_OCPM) == 0)
806         dev_dbg(hub_dev, "%sover-current condition exists\n",
807                 (hubstatus & HUB_STATUS_OVERCURRENT) ? "" : "no ");
808
809     /* set up the interrupt endpoint
810      * We use the EP's maxpacket size instead of (PORTS+1+7)/8
811      * Bytes as USB2.0[11.12.3] says because some hubs are known
812      * to send more data (and thus cause overflow). For root hubs,
813      * maxpktsize is defined in hcd.c's fake endpoint descriptors
814      * to be big enough for at least USB_MAXCHILDREN ports. */
815     pipe = usb_rcvintpipe(hdev, endpoint->bEndpointAddress);
816     maxp = usb_maxpacket(hdev, pipe, usb_pipeout(pipe));
817
818     if (maxp > sizeof(*hub->buffer))
819         maxp = sizeof(*hub->buffer);
820
821     hub->urb = usb_alloc_urb(0, GFP_KERNEL);
822     if (!hub->urb) {
823         message = "couldn't allocate interrupt urb";
824         ret = -ENOMEM;
825         goto fail;
826     }
827
828     usb_fill_int_urb(hub->urb, hdev, pipe, *hub->buffer, maxp, hub_irq,
829             hub, endpoint->bInterval);
830     hub->urb->transfer_dma = hub->buffer_dma;
831     hub->urb->transfer_flags |= URB_NO_TRANSFER_DMA_MAP;
832
833     /* maybe cycle the hub leds */
834     if (hub->has_indicators && blinkenlights)
835             hub->indicator [0] = INDICATOR_CYCLE;
836
837     hub_power_on(hub);
838     hub_activate(hub);
839     return 0;
840
841 fail:
842     dev_err (hub_dev, "config failed, %s (err %d)\n",
843                     message, ret);
844     /* hub_disconnect() frees urb and descriptor */
```

```
845     return ret;
846 }
```

不过这个函数虽然长，但是逻辑非常简单，无非就是对 Hub 进行必要的配置，然后就启动 Hub，这个函数的关键就是调用了另外几个经典的函数。下面我们一点一点地来看。

10．While You Were Sleeping（二）

老实说，从函数一开始的 598 行直到 627 行都没有什么可说的。其中需要一提的是，606 行，调用 usb_buffer_alloc()申请内存，赋给 hub->buffer。614 行，调用 kmalloc()申请内存，赋给 hub->status。622 行，调用 kmalloc()申请内存，赋给 hub->descriptor。当然也别忘了这中间的某行，初始化一把互斥锁，hub->status_mutex。以后会用得着的，到时候我们就会看到 mutex_lock/mutex_unlock()这对函数来获得互斥锁/释放互斥锁。不过这把锁用得不多，总共也就两个函数中调用了。

633 行，get_hub_descriptor()。这一行带领我们步入了 Hub 协议。从此摆在我们面前的将不仅仅是 USB 协议本身了，又加了另一座大山，那就是 Hub 协议。

其实 Hub 协议也算 USB 协议，但是由于 Hub 作为一种特殊的 USB 设备，为了简明起见，下面我将把这一章称做 Hub 协议。而接下来我们的一言一行，都必须遵守 Hub 协议了。先看 get_hub_descriptor，这就是发送一个请求，或者说发送一个控制传输的控制请求，以获得 Hub 的描述符。基本上 Hub 驱动的这些函数，大多都是来自 drivers/usb/core/hub.c 中：

```
137 /* USB 2.0 spec Section 11.24.4.5 */
138 static int get_hub_descriptor(struct usb_device *hdev, void *data, int size)
139 {
140     int i, ret;
141
142     for (i = 0; i < 3; i++) {
143         ret = usb_control_ msg(hdev, usb_rcvctrlpipe(hdev, 0),
144                     USB_REQ_GET_DESCRIPTOR, USB_DIR_IN | USB_RT_HUB,
145                     USB_DT_HUB << 8, 0, data, size,
146                     USB_CTRL_GET_TIMEOUT);
147         if (ret >= (USB_DT_HUB_NONVAR_SIZE + 2))
148             return ret;
149     }
150     return -EINVAL;
151 }
```

这里只是使用 USB Core 里提供的 usb_control_ msg 函数向 Hub 发送 GET_DESCRIPTOR 请求。每一个请求怎么设置都是在 spec 里边规定的，对于 GET_DESCRIPTOR 这个请求，如图 2.10.1 所示。

bmRequestType	bRequest	wValue	wLength	Data
10000000B	GET_DESCRIPTOR	描述符的类型和序号(index)	描述符长度	描述符

图 2.10.1　GET_DESCRIPTOR 请求

协议中规定，bmRequestType 必须是 10100000B，normally，GET_DESCRIPTOR 时，bmRequestType 应该等于 10000000B。D7 为方向位，1 就说明是 Device-to-host，即 IN，D6-5 这两位表示请求的类型，可以是标准的类型，或者是 Class 特定的，或者是 Vendor 特定的，01 就表示 Class 特定的。D4-0 表示接受者，可以是设备，可以是接口，可以是端点。这里为 0 表示接收者是设备。

USB_DT_HUB 等于 29，而 Hub 协议规定 GET_DESCRIPTOR 这个请求的 wValue 就该是描述符的类型和序号，wValue 作为一个 word 有 16 位，所以高 8 位放描述符类型，而低 8 位放描述符的序号，spec 11.24.2.10 里规定了，Hub 描述符的描述符序号必须为 0。而实际上，spec 9.4.3 里也规定了，对于非配置描述符和字符串描述符的其他几种标准描述符，其描述符序号必须为 0。而对于配置描述符和字符串描述符来说，这个描述符序号用来表示它们的编号，比如一个设备可以有多个配置描述符，编号从 0 开始。所以对于 Hub 描述符来说，wValue 就是高 8 位表示描述符类型，而低 8 位设成 0 就可以了，这就是为什么“<<8”了。spec 中的 Table 9-5 定义了各种描述符的类型，比如设备描述符是 1，配置描述符是 2，而 Hub 这里规定了，它的描述符类型是 29h。

而 USB_DT_HUB=(USB_TYPE_CLASS|0x09)，USB_TYPE_CLASS 就是 0x01<<5。所以这里 USB_DT_HUB 就是 0x29，即 29h。

USB_CTRL_GET_TIMEOUT 是一个宏，值为 5000，即表示 5 秒超时。

USB_DT_HUB_NONVAR_SIZE 也是一个宏，值为 7，为什么为 7 呢？首先请你明白，我们这里要获得的是 Hub 描述符，这是只有 Hub 协议才有的一个描述符，就是说对于 Hub 协议来说，除了通常的 USB 设备有的那些设备描述符，接口描述符，端点描述符以外，Hub 协议自己也定义了一个描述符，这就叫 Hub 描述符。而 Hub 描述符的前 7 字节是固定的，表示的意思也是确定的，但从第 8 字节开始，一切就都充满了变数。所以前 7 字节被称为非变量，即 NON-Variable，而从第 7 字节开始以后的被称为变量，即 Variable。这些变量取决于 Hub 上面端口的个数。

所谓的变量不是说字节的内容本身是变化的，而是说描述符具体有几个字节是变化的，比如 Hub 上面有两个端口。那么这个 Hub 的描述符的字节数和 Hub 上面有 4 个端口的情况就是不一样的，显然，有 4 个端口就要记录更多的信息，当然描述符里的内容就多一些，从而描述符的字节长度也不一样。

usb_control_ msg()如果执行成功，那么返回值将是成功传输的字节长度，对这里来说，就是传输的 Hub 描述符的字节长度。结合 Hub 协议来看，这个长度至少应该是 9，所以这里判断如果大于等于 9，那就返回。当然你要问为什么这里要循环三次，这是为了防止通信错误。Hub 驱动中很多地方都这样做了，主要是因为很多设备在发送它们的描述符时总是出错。所以没有办法了，多试几次吧。

11．While You Were Sleeping（三）

get_hub_descriptor()结束了，然后就返回 hub_configure()函数中来。635 行到 642 行，判断刚才的返回值，小于零当然是出错了，大于零也还要多判断一次，USB_MAXCHILDREN 是自己定义的一个宏，值为 31。查看 include/linux/usb.h：

```
324 #define USB_MAXCHILDREN       (31)
```

其实 Hub 可以接一共 255 个端口，不过实际上遇到的 Hub 最多的也就是支持 10 个端口。所以 31 个端口基本上够用了。当然你要是心血来潮把这个宏改成 100 或 200，那也不会出错。

我们来看 Hub 描述符对应的数据结构。struct usb_hub 中有一个成员，struct usb_hub_descriptor *descriptor，就是表示 Hub 描述符的，它定义于 drivers/usb/core/hub.h，与 spec 中的 Table 11-13 相对应。

```
130 struct usb_hub_descriptor {
131     __u8  bDescLength;
132     __u8  bDescriptorType;
133     __u8  bNbrPorts;
134     __le16 wHubCharacteristics;
135     __u8  bPwrOn2PwrGood;
136     __u8  bHubContrCurrent;
137     /* add 1 bit for hub status change; round to Bytes */
138     __u8  DeviceRemovable[(USB_MAXCHILDREN + 1 + 7) / 8];
139     __u8  PortPwrCtrlMask[(USB_MAXCHILDREN + 1 + 7) / 8];
140 } __attribute__ ((packed));
```

看见了没有，至少 9 字节吧，接下来我们会用到 bNbrPorts，它代表 Number of downstream facing ports that this hub supports，就是说这个 Hub 所支持的下行端口，刚才这里判断的就是这个值是不是比 31 还大，如果是，那么就出错了。

bHubContrCurrent 是 Hub 控制器的最大电流需求，DeviceRemoveable 是用来判断这个端口连接的设备是否是可以移除的，每一个 bit 代表一个端口，如果该 bit 为 0，则说明可以被移除；如果该 bit 为 1，就说明不可以移除。而 wHubCharacteristics 就相对来说麻烦一点了，它记录了很多信息，后面有相当一部分的代码都是在判断这个值。

648 行，用一个临时变量 wHubCharacteristics 来代替描述符里的 wHubCharacteristics。从 650 行就开始判断了，首先判断是不是复合设备。在 drivers/usb/core/hub.h 中定义了如下一些宏。

```
99 #define HUB_CHAR_LPSM          0x0003 /* D1 .. D0 */
100 #define HUB_CHAR_COMPOUND      0x0004 /* D2      */
101 #define HUB_CHAR_OCPM          0x0018 /* D4 .. D3 */
102 #define HUB_CHAR_TTTT          0x0060 /* D6 .. D5 */
103 #define HUB_CHAR_PORTIND       0x0080 /* D7      */
```

结合 spec 中的 Table 11-13，意思很明显。650 行到 661 行，如果是复合设备（复合设备就是说这个设备它可能是几种设备绑在一起的，比如既可以当 Hub 用又可以有别的功能）那么就用一个数组 portstr[]来记录每一个端口的设备是否可以被移除。然后打印出调试信息来。如果看不懂，把 i 用 0，1，2，3 这些数字代入进去就明白了。

663 行到 674 行，HUB_CHAR_LPSM，表示 power switching（电源切换）的方式，不同的 Hub 有不同的 power switching 的方式，ganged power switching 指的是所有端口一次性上电。而

USB 1.0 的 Hub 却没有 power switching 这个说法。

676 行到 687 行，HUB_CHAR_OCPM，表示过流保护模式，如果不明白也无所谓，这几行无非就是打印一些调试信息。

689 行到 691 行，先是初始化一个自旋锁 hub->tt.lock，而是 struct usb_hub 中的成员。

```
176 struct usb_tt {
177     struct usb_device      *hub;   /* upstream highspeed hub */
178     int                   multi;  /* true means one TT per port */
179     unsigned               think_time;    /* think time in ns */
180
181     /* for control/bulk error recovery (CLEAR_TT_BUFFER) */
182     spinlock_t             lock;
183     struct list_head       clear_list;    /* of usb_tt_clear */
184     struct work_struct                    kevent;
185 };
```

知道 tt 是什么吗？tt 即 transaction translator。你可以把它想成一块特殊的电路，是 Hub 里面的电路，确切地说是高速 Hub 中的电路。

我们知道 USB 设备有三种速度，分别是 Low Speed、Full Speed、High Speed。即所谓的低速、全速、高速，以前只有低速/全速的设备，没有高速的设备。后来才出现了高速的设备，包括主机控制器。以前只有两种接口的设备，OHCI/UHCI，这都是在 USB spec 1.0 时，后来 USB spec 2.0 推出了 EHCI，高速设备应运而生。

Hub 也有高速 Hub 和低速/全速的 Hub，但是这就产生一个兼容性问题了，高速的 Hub 是否能够支持低速/全速的设备呢？一般来说是不支持的，于是有了叫做 tt 的电路，它就负责高速和低速/全速的数据转换。如果一个高速设备中有这个 tt 电路，那么就可以连接低速/全速设备，要不然，低速/全速设备就没法使用，只能连接到 OHCI/UHCI 的 Hub 口里。

690 行，初始化一个队列，hub->tt.clear_list。691 行，在这里我们看到了 INIT_WORK()，hub->tt.kevent 是一个 struct work_struct 的结构体，而 hub_tt_kevent 是我们定义的函数，将会在未来某个时间去执行。另外，tt 有两种，一种是 single tt，另一种是 multi tt。前者表示整个 Hub 就是一个 tt，而 multi tt 表示每个端口都配了一个 tt。大多数 Hub 是 single tt，因为一个 Hub 有一个 tt 就够了。

692 行的 switch， hdev->descriptor.bDeviceProtocol，别看走眼了，刚才咱们一直是判断 hub->descriptor，而这里是 hdev->descriptor，hdev 是 struct usb_device 结构体指针，一进入这个 hub_configure()函数就赋了值的，其实就是和这个 Hub 相关的 struct usb_device 指针。所以这里判断的描述符是标准的 USB 设备描述符，而其中 bDeviceProtocol 的含义在 hub 协议中有专门的规定。

这一段就是为了设置 tt，对照 Hub 协议可知，低速/全速的 Hub 的 bDeviceProtocol 是 0，这种 Hub 就没有 tt。所以直接 break，什么也不用设置。对于高速的 Hub，其 bDeviceProtocol 为 1 表示是 single tt 的；bDeviceProtocol 为 2 表示是 multiple tt 的。

对于 case 2，这里调用了 usb_set_interface，根据 spec 中的 11.23.1 节，对于低速/全速的 Hub，其设备描述符中的 bDeviceProtocol 为 0，而接口描述符中的 bInterfaceProtocol 也为 0。而对于高速的 Hub，其中 single tt 的 Hub 其设备描述符中的 bDeviceProtocol 是 1，而接口描述符的 bInterfaceProtocol 则是 0。然而，multiple tt 的 Hub 另外还有一个接口描述符，以及相应的一个端点描述符，它的设备描述符的 bDeviceProtocol 必须设置成 2。其第一个接口描述符的

bInterfaceProtocol 为 1，而第二个接口描述符的 bInterfaceProtocol 则是 2。

Hub 只有一个接口，但是可以有两种设置。usb_set_interface 就是把这个接口（接口 0）设置 1，因为默认都是设置 0。关于 SET_INTERFACE 这个请求，是 USB spec 2.0 的一个错误。另外，hub->tt.hub 就是 struct usb_device 的结构体指针。hub->tt.multi 就是一个 int 型的 flag，设为 1 就表示这是一个 multi tt 的 Hub。

716 行，HUB_CHAR_TTTT，后两个 tt 就是 think time 的意思，也就是说 tt 在处理两个低速/全速的交易之间需要一点时间来缓冲，而这个最大的间隔就叫做 tt think time。这个时间当然不会很长。不过需要注意，这里用的单位是 FS bit time，我们知道 FS 就是 Full Speed，其速度是 12 MB/s，其实也就是 12 000 000 bit/s，8 FS bit time 就是 8/12 000 000 bit/s，即约等于 666ns。所以这里就用 666ns 来记录了。不过以后你会发现，其实 think_time 这个值我们就没用过。

746 行到 749 行， HUB_CHAR_PORTIND，这个表示 port indicatr o。0 说明不支持，1 说明支持。indicator 是干什么用的？indicator 就是 Hub 上面的那个指示灯。通常是两种颜色，绿色和琥珀色。你是不是还经常看见红色？其实什么颜色无所谓，不过 spec 上面是给出的这两种颜色。其实就是一个 LED 灯，提供两种颜色，或者是两个 LED 灯。

其实大多数 Hub 是有指示灯的，不管 USB Hub 还是别的 Hub，或者 Switch，统统有指示灯，因为指示灯对于工程师调试硬件产品是很有帮助的。产品出现了问题，首先查看指示灯也许就知道怎么回事了，我记得以前在家里上网时，网络中断了，打上海电信客服的电话，人家首先就是问我那几个指示灯是如何亮的。

757 行，usb_get_status()，来自 drivers/usb/core/message.c：

```
900 int usb_get_status(struct usb_device *dev, int type, int target, void *data)
901 {
902     int ret;
903     u16 *status = kmalloc(sizeof(*status), GFP_KERNEL);
904
905     if (!status)
906         return -ENOMEM;
907
908     ret = usb_control_ msg(dev, usb_rcvctrlpipe(dev, 0),
909             USB_REQ_GET_STATUS, USB_DIR_IN | type, 0, target, status,
910             sizeof(*status), USB_CTRL_GET_TIMEOUT);
911
912     *(u16 *)data = *status;
913     kfree(status);
914     return ret;
915 }
```

又是一个控制传输，发送的是一个控制请求，GET_STATUS 是 USB 的标准请求之一，如图 2.11.1 所示。

bmRequestType	bRequest	wValue	wIndex	wLength	Data
10000000B 10000001B 10000010B	GET_STATUS	0	0	2	设备，接口，或端点状态

图 2.11.1　GET_STATUS 请求

这个请求的类型有三种，一种是获得设备的状态，一种是获得接口的状态，另一种是获得端点的状态，这里传递的是 USB_RECIP_DEVICE，也就是获得设备的状态。那么函数返回之

后，设备的状态就被保存在了 hubstatus 里面了。

763 行至 788 行，就是一个 if…else 组合。首先 if 函数判断这个设备是不是 Root Hub，如果是 Root Hub，然后判断 hdev->bus_mA，这个值是在主机控制器的驱动程序中设置的。通常计算机的 USB 端口可以提供 500mA 的电流，不过主机控制器那边有一个成员 power_budget，在主机控制器的驱动程序中，Root Hub 的 hdev->bus_mA 被设置为 500mA。即如果你有兴趣看 drivers/usb/core/hcd.c，你会注意到在 usb_add_hcd 这个函数中有下面这两行：

```
1637      /* starting here, usbcore will pay attention to this root hub */
1638      rhdev->bus_mA = min(500u, hcd->power_budget);
```

power_budget 是主机控制器自己提供的，它可以是 0，表示没有限制。所以我们这里判断是不是等于 0，或者是不是大于等于 500mA，如果是，那么就设置 hub->mA_per_port 为 500mA，mA_per_port 就是提供给每一个端口的电流。那么如果说 bus_mA 是 0～500 的某个数，那么说明这个 Hub 没法提供达到 500mA 的电流，就是主机控制器那边提供不了这么大的电流，那么 hub->mA_per_port 就设置为 hdev->bus_mA。同时，对于这种主机控制器那边限制了电流的情况，记录下来，hub->limited_power 这个标志位设置为 1。

那么如果不是 Root Hub，又分两种情况。USB_DEVICE_SELF_POWERED，hubstatus 里的这一位表示这个 Hub 是不是自己供电的，因为外接的 Hub 也有两种供电方式，自己供电或者选择请求总线供电。770 行如果满足条件，那就说明这又是一个要总线供电的 Hub，于是 limited_power 也设置为 1。774 行，maxchild>0。然后定义了一个 int 变量 remaining 来记录剩下多少电流，hdev->bus_mA 就是这个 Hub（不是 Root Hub）上行口的电流，而 bHubContrCurrent 在前面说过了，就是 Hub 需要的电流。两者相减就是剩下的。但是在 USB 端口上，最小的电流负载就是 100mA，这个叫做单元负载（unit load）。

778 行的意思很显然，比如这个 Hub 有 4 个端口，即 maxchild 为 4，那么最起码得剩一个 400mA 电流的端口吧，因为如果某个端口电流小于 100mA，则设备是没法正常工作的。然后，782 行，警告归警告，最终还是设置 mA_per_port 为 100mA。

784 行，如果是自己供电的那种 Hub，那没得说，就直接设置为 500mA 吧。

793 行，hub_hub_status()，这个函数还是来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
531 static int hub_hub_status(struct usb_hub *hub,
532              u16 *status, u16 *change)
533 {
534     int ret;
535
536     mutex_lock(&hub->status_mutex);
537     ret = get_hub_status(hub->hdev, &hub->status->hub);
538     if (ret < 0)
539         dev_err (hub->intfdev,
540                  "%s failed (err = %d)\n", __FUNCTION__, ret);
541     else {
542         *status = le16_to_cpu(hub->status->hub.wHubStatus);
543         *change = le16_to_cpu(hub->status->hub.wHubChange);
544         ret = 0;
545     }
546     mutex_unlock(&hub->status_mutex);
547     return ret;
548 }
```

和刚才那个 get_hub_status 不一样的是，刚才那个 GET_STATUS 是标准的 USB 设备请求，

每个设备都会有的，但是现在这个请求是 Hub 自己定义的。

最后状态保存在 status 和 change 里面 ，即 hubstatus 和 hubchange 里面。而函数 hub_hub_status 的返回值正常就是 0，否则就是负的错误码。

799 行到 807 行都是打印调试信息。

809 行开始就是真正地干正经事儿了。我们知道 usb-storage 里面最常见的传输方式就是控制和批量传输，而对于 Hub，它的传输方式就是控制和中断，最有特色的正是它的中断传输。注意咱们在调用 hub_configure 时传递进来的第二个参数是 endpoint，前面我们已经说了，这正是代表着 Hub 的中断端点，所以 815 行应该一眼就能看出这一行就是获得连接主机与这个端点的这条管道，是一条中断传输的管道。不过请注意，Hub 里面的中断端点一定是 IN 而不是 OUT 的，spec 就这么规定的。

816 行，usb_maxpacket 我们是第一次遇见，其实它就是获得一个端点描述符里面的 wMaxPacketSize，赋给 maxp，一个端点一次最多传输的数据就是 wMaxPacketSize。不可以超过它。我们前面为 hub->buffer 申请了内存，这里 maxp 如果大于这个 size，那么不可以，就让它等于 hub->buffer 的 size。

821 行，申请一个 urb，然后填充一个 urb，可以对照 usb_fill_int_urb()的代码看这里的 urb 内容是什么。usb_fill_int_urb()来自 include/linux/usb.h：

```
1242 static inline void usb_fill_int_urb (struct urb *urb,
1243                                 struct usb_device *dev,
1244                                 unsigned int pipe,
1245                                 void *transfer_buffer,
1246                                 int buffer_length,
1247                                 usb_complete_t complete_fn,
1248                                 void *context,
1249                                 int interval)
1250 {
1251     spin_lock_init(&urb->lock);
1252     urb->dev = dev;
1253     urb->pipe = pipe;
1254     urb->transfer_buffer = transfer_buffer;
1255     urb->transfer_buffer_length = buffer_length;
1256     urb->complete = complete_fn;
1257     urb->context = context;
1258     if (dev->speed == USB_SPEED_HIGH)
1259         urb->interval = 1 << (interval - 1);
1260     else
1261         urb->interval = interval;
1262     urb->start_frame = -1;
1263 }
```

对比形参和实参，重点关注这么几项，transfer_buffer 就是 hub->buffer，transfer_buffer_length 就是 maxp，complete 就是 hub_irq，context 被赋为了 Hub，而 interval 被赋为 endpoint->bInterval。

至于 interval 为什么不一样，其实是因为单位不一样，早年，提到 USB 协议，人们会提到 frame，即帧，后来出现了一个新的名词，叫做微帧，即 microframe。一个帧是 1 ms，而一个微帧是 1/8 ms，也就 是 125 μs。要知道我们刚才说了，这里传递进来的 interval 实际上是 endpoint->bInterval，要深刻认识这段代码背后的哲学意义，需要知道 USB 中断传输究竟是怎么进行的。

12．While You Were Sleeping（四）

我们说过，Hub 里面的中断端点是 IN，不是 OUT。但这并不说明凡是中断传输数据一定是从设备到主机。不过 Hub 需要的确实只是 IN 的传输。

首先，中断是由设备产生的。在 USB 的世界里有两个重要角色：主机和设备。

那么什么是 interval 呢？interval 就是间隔期，什么叫间隔期？首先你要明白，中断传输绝对不是一种周期性的传输。那为什么还要有一个间隔期呢？实际上是这样的，尽管中断本身不会定期发生，但是有一个事情是周期性的，对于 IN 的中断端点，主机会定期向设备访问。

那么具体来讲，在 USB 的世界里，体现的是一种设计者们美好的愿望。也就是说，设计者们眼看着现实世界中的公仆们都很让人失望，所以在设计 spec 时是这么规定的，主机必须要体恤民情，而且，很重要的一点，端点可以提出自己的愿望，比如希望主机多久来探望一次，一个端点的端点描述符里 bInterval 这么一项写得很清楚，就是它渴望的总线访问周期，或者说它期望主机隔多久就能看望它。

设备要进行中断传输，需要提交一个 urb，里面注明这个探访周期，而主机答应不答应，在主机控制器的驱动程序里才知道，我们不管，主机当然有一个评判标准，中断传输可以用在低速/全速/高速设备中，而高速传输可以接受在每个微帧有多达 80%的时间是进行定期传输，（包括中断传输和等时传输），而全速/低速传输则可以接受每个帧最多有 90%的时间来进行定期传输。所以，主机会统一来安排，它会听取每一个群众（设备）的意见或者说愿望，然后它来统一安排，日程安排得过来就给安排，安排不过来那么就返回错误。这些都是主机控制器驱动做的。那么如果主机同意，或者说主机控制器接受了群众的意见，比如告诉它希望它每周来看端点一次，那好，它每周来一次，问断点有没有什么困难（中断）。

从技术的角度来讲，主机控制器定期给你发送一个 IN token，就是说发送这么一个包，而你如果有中断等在那里，那你就告诉它，你有了中断。同时你会把与这个中断相关的数据发送给主机，这就是中断传输的数据阶段，显然，这就是 IN 方向的传输。然后主机接收到数据之后它会发送回来一个包，向你确认。

那么如果主机控制器发送给你一个 IN token 时，你没有中断，那怎么办呢？你还是要回应一声，说没有中断。当然还有另一种情况是，你可能人不在家，出差去了，那么你可以在家留一个便条，告诉人家你没法回答。以上三种情况，对应专业术语来说就是，第一种，你回应的是 DATA，主机回应的是 ACK 或者是 Error。第二种，你回应的是 NAK，第三种，你回应的是 STALL。

顺便解释 OUT 类型的中断端点是如何进行数据传输（虽然 Hub 里根本就没有这种款式的端点）。分三步走，第一步，主机发送一个 OUT token 包，然后第二步就直接发送数据包，第三步，设备回应，也许回应 ACK，表示成功接收到了数据；也许回应 NAK，表示失败了；也许回应 STALL，表示设备端点本身有问题，传输没法进行。

现在可以回到刚才那个interval问题了，因为不同速度的interval的单位不一样，所以同样一个数字表达的意思也不一样。那么对于高速设备来说，比如它的端点的bInterval的值为n，那么这表示它渴望的周期是2^{n-1}个微帧，比如n为 4，那么就表示2^3个微帧，即 8 个 125 μs，也就是 1 ms。对于高速设备来说，spec里规定，n的取值必须在 1～16，而对于全速设备来说，其渴望周期在spec里有规定，必须是在 1 ms～255 ms，对于低速设备来说，其渴望周期必须在 10 ms～

255 ms。可见，对于全速/低速设备来说，不存在这种指数关系，所以urb->interval直接被赋值为bInterval，而高速设备由于这种指数关系，bInterval的含义就不是那么直接，而是表示那个幂指数。而start_frame是专门给等时传输用的，所以我们不用管了，这里当然直接设置为-1 即可。

终于，我们明白了这个中断传输，明白了这个 usb_fill_int_urb()函数，于是我们再次回到hub_configure()函数中来，830 行和 831 行，这个没什么好说的，usb-storage 里面也就这么设置的，能用 DMA 传输当然要用 DMA 传输。

834 行，has_indicators 不用说了，刚才介绍的，有就设置为 1，没有就为 0，不过 Hub 驱动里提供了一个参数，叫做 blinkenlights，指示灯有两种特性，一个是亮，一个是闪，有灯了，就会亮了，但是不一定会闪，所以 blinkenlights 就表示灯闪不闪，这个参数可以在我们加载模块时设置，默认值是 0，在 drivers/usb/core/hub.c 中有定义：

```
91 static int blinkenlights = 0;
92 module_param (blinkenlights, bool, S_IRUGO);
93 MODULE_PARM_DESC (blinkenlights, "true to cycle leds on hubs");
```

以上都是和模块参数有关的。如果这两个条件都满足，就设置 hub->indicator [0]为INDICATOR_CYCLE。

837 行，hub_power_on()，这个函数的意图就是相当于打开电视机开关。

838 行，hub_activate()。在讲这个函数之前，先看 hub_configure()中剩下的最后几行，hub_activate()之后就返回了。841 行的 fail 是行标，之前那些出错的地方都有 goto fail 语句跳转过来，而且错误码也记录在了 ret 里面，于是返回 ret。好，让我们来看 hub_activate()。这个函数不长，依然来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
514 static void hub_activate(struct usb_hub *hub)
515 {
516     int    status;
517
518     hub->quiescing = 0;
519     hub->activating = 1;
520
521     status = usb_submit_urb(hub->urb, GFP_NOIO);
522     if (status < 0)
523         dev_err(hub->intfdev, "activate --> %d\n", status);
524     if (hub->has_indicators && blinkenlights)
525         schedule_delayed_work(&hub->leds, LED_CYCLE_PERIOD);
526
527     /* scan all ports ASAP */
528     kick_khubd(hub);
529 }
```

quiescing 和 activating 就是两个标志符。activating 这个标志的意思不言自明，而 quiescing 这个标志的意思就容易让人疑惑了。quiescing 有停顿，停止，停息的意思，怎么一看 activating 和 quiescing 就是一对反义词，可是如果真的是起相反的作用，那么一个变量不就够了吗？可以为 1，可以为 0，不就表达了两种意思了吗？

512 行，我们太熟悉了。前面我们调用 usb_fill_int_urb()填充好了一个 urb，这会儿就该提交了，然后主机控制器就知道了，然后如果一切顺利的话，主机控制器就会定期来询问 Hub，问它有没有中断，有的话就进行中断传输，这个我们在前面讲过了。

524 行，又和刚才一样的判断，不过这次判断条件满足了以后就会执行一个函数，schedule_

delayed_work()，终于看到这个函数被调用了，前面分析清楚了，这里一看我们就知道，延时调用，调用的是 leds 对应的 work 函数，即我们当初注册的 led_work()。这里 LED_CYCLE_PERIOD 就是一个宏，表明延时多久，这个宏在 drivers/usb/core/hub.c 中定义好了：

```
208 #define LED_CYCLE_PERIOD        ((2*HZ)/3)
```

关于这个指示灯的代码我们以后再分析，我们真正需要花时间关注的是 Hub 作为一个特殊的 USB 设备它是如何起到连接主机和设备的作用。

继续看，528 行，kick_khubd(hub)，来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
316 static void kick_khubd(struct usb_hub *hub)
317 {
318     unsigned long   flags;
319
320     /* Suppress autosuspend until khubd runs */
321     to_usb_interface(hub->intfdev)->pm_usage_cnt = 1;
322
323     spin_lock_irqsave(&hub_event_lock, flags);
324     if (list_empty(&hub->event_list)) {
325         list_add_tail(&hub->event_list, &hub_event_list);
326         wake_up(&khubd_wait);
327     }
328     spin_unlock_irqrestore(&hub_event_lock, flags);
329 }
```

这才是我们真正期待的一个函数，看见 wake_up()函数，就知道怎么回事了吧。先看 321 行，int pm_usage_cnt 是 struct usb_interface 的一个成员，pm 是电源管理，usage_cnt 是使用计数，这里的意图很明显，要使用 Hub 了，就别让电源管理把它给挂起来了。还是不明白？用过笔记本电脑吧？我发现很多时候合上笔记本电脑它就会自动进入休眠，可是有时候我会发现合上笔记本电脑以后，笔记本电脑并没有休眠，后来总结出来规律了，在网上下载数据时基本上笔记本电脑是不会进入睡眠的，理由很简单，它发现你有活动着的网络线程，不过，这里，我们计数的目的不是记录网络线程，而是告诉 USB Core，我们拒绝自动挂起，具体的处理会由 USB Core 来统一操作，USB Core 那边自然会判断 pm_usage_cnt 的，只要我们这里设置了就可以了。

324 行到 327 行这段 if 判断语句，很显然，现在我们是第一次来到这里， 不用说，hub->event_list 是空的，所以，满足条件，于是 list_add_tail()会被执行，关于队列操作函数，前面也讲过了，所以这里也不用困惑了，就是往那个总的队列 hub_event_list 里面加入 hub->event_list，然后调用 wake_up(&khubd_wait)去唤醒那个“昏睡”了的 hub_thread()。从此 hub_events()函数将再次被执行。

至此为止，整个关于 Hub 的配置就讲完了，从现在开始，Hub 就可以正式上班了。而我们也终于完成了一个目标，唤醒了 hub_thread()，进入 hub_events()。

13．再向虎山行

再一次进入 while 这个死循环。

第一次来这里时，hub_event_list 是空的，可是这一次不是了，我们刚刚在 kick_khubd()里面才执行了往这个队列里插入的操作，所以我们不会再像第一次一样，从 2621 行的 break 跳出循环。相反，我们直接走到 2624 行，把刚才插入队列的那个节点取出来，存为 tmp，然后把 tmp 从队列里删除掉（是从队列里删除，不是把 tmp 本身给删除）。

2627 行，list_entry()，这是一个经典的函数，或者说宏。通过这个宏这里得到的是触发 hub_events()的 Hub。2628 行，同时用局部变量 hdev 记录 hub->hdev。2629 行，又得到对应的 struct usb_interface 和 struct device。

2640 行，usb_get_intf()，只是一个引用计数，是 USB Core 提供的一个函数，以前黑客们推荐用另一个引用计数的函数 usb_get_dev()，但在当今随着一个 USB 设备成为多个接口耦合的情况的出现，struct usb_device 实际上已经快淡出历史舞台了，现在在驱动程序里关注的最多的就是接口，而不是设备。和 usb_get_intf()对应的另一个函数叫做 usb_put_intf()，很显然，一个是增加引用计数，一个减少引用计数。这个函数我们马上就能看到。

前面的 hub_events()只看到 2641 行，现在继续往下看。

```
2642
2643            /* Lock the device, then check to see if we were
2644             * disconnected while waiting for the lock to succeed. */
2645            if (locktree(hdev) < 0) {
2646                usb_put_intf(intf);
2647                continue;
2648            }
2649            if (hub != usb_get_intfdata(intf))
2650                goto loop;
2651
2652            /* If the hub has died, clean up after it */
2653            if (hdev->state == USB_STATE_NOTATTACHED) {
2654                hub->error = -ENODEV;
2655                hub_pre_reset(intf);
2656                goto loop;
2657            }
2658
2659            /* Autoresume */
2660            ret = usb_autopm_get_interface(intf);
2661            if (ret) {
2662                dev_dbg(hub_dev, "Can't autoresume: %d\n", ret);
2663                goto loop;
2664            }
2665
2666            /* If this is an inactive hub, do nothing */
2667        if (hub->quiescing)
2668                goto loop_autopm;
2669
2670        if (hub->error) {
2671                dev_dbg (hub_dev, "resetting for error %d\n",
2672                        hub->error);
2673
2674            ret = usb_reset_composite_device(hdev, intf);
2675            if (ret) {
2676                dev_dbg (hub_dev,
2677                        "error resetting hub: %d\n", ret);
2678                goto loop_autopm;
2679            }
2680
2681            hub->nerrors = 0;
```

```
2682            hub->error = 0;
2683        }
2684
2685        /* deal with port status changes */
2686    for (i = 1; i <= hub->descriptor->bNbrPorts; i++) {
2687        if (test_bit(i, hub->busy_bits))
2688                continue;
2689            connect_change = test_bit(i, hub->change_bits);
2690            if (!test_and_clear_bit(i, hub->event_bits) &&
2691                        !connect_change && !hub->activating)
2692                continue;
2693
2694            ret = hub_port_status(hub, i,
2695                        &portstatus, &portchange);
2696            if (ret < 0)
2697                continue;
2698
2699            if (hub->activating && !hdev->children[i-1] &&
2700                            (portstatus &
2701                            USB_PORT_STAT_CONNECTION))
2702                connect_change = 1;
2703
2704        if (portchange & USB_PORT_STAT_C_CONNECTION) {
2705                clear_port_feature(hdev, i,
2706                            USB_PORT_FEAT_C_CONNECTION);
2707                connect_change = 1;
2708            }
2709
2710            if (portchange & USB_PORT_STAT_C_ENABLE) {
2711                if (!connect_change)
2712                    dev_dbg (hub_dev,
2713                        "port %d enable change, "
2714                        "status %08x\n",
2715                        i, portstatus);
2716                clear_port_feature(hdev, i,
2717                                USB_PORT_FEAT_C_ENABLE);
2718
2719                /*
2720             * EM interference sometimes causes badly
2721                 * shielded USB devices to be shutdown by
2722                 * the hub, this hack enables them again.
2723                 * Works at least with mouse driver.
2724                 */
2725                if (!(portstatus & USB_PORT_STAT_ENABLE)
2726                            && !connect_change
2727                            && hdev->children[i-1]) {
2728                    dev_err (hub_dev,
2729                            "port %i "
2730                        "disabled by hub (EMI?), "
2731                        "re-enabling...\n",
2732                        i);
2733                    connect_change = 1;
2734                }
2735            }
2736
2737        if (portchange & USB_PORT_STAT_C_SUSPEND) {
2738                    clear_port_feature(hdev, i,
2739                                USB_PORT_FEAT_C_SUSPEND);
2740                if (hdev->children[i-1]) {
2741                    ret = remote_wakeup(hdev->
2742                                        children[i-1]);
2743                    if (ret < 0)
2744                        connect_change = 1;
2745                } else {
```

```
2746                    ret = -ENODEV;
2747                    hub_port_disable(hub, i, 1);
2748                }
2749                dev_dbg (hub_dev,
2750                            "resume on port %d, status %d\n",
2751                        i, ret);
2752            }
2753
2754            if (portchange & USB_PORT_STAT_C_OVERCURRENT) {
2755                dev_err (hub_dev,
2756                        "over-current change on port %d\n",
2757                            i);
2758                clear_port_feature(hdev, i,
2759                            USB_PORT_FEAT_C_OVER_CURRENT);
2760                hub_power_on(hub);
2761            }
2762
2763            if (portchange & USB_PORT_STAT_C_RESET) {
2764                dev_dbg (hub_dev,
2765                        "reset change on port %d\n",
2766                        i);
2767                clear_port_feature(hdev, i,
2768                                USB_PORT_FEAT_C_RESET);
2769            }
2770
2771            if (connect_change)
2772                hub_port_connect_change(hub, i,
2773                                portstatus, portchange);
2774        } /* end for i */
2775
2776        /* deal with hub status changes */
2777        if (test_and_clear_bit(0, hub->event_bits) == 0)
2778            ;       /* do nothing */
2779        else if (hub_hub_status(hub, &hubstatus, &hubchange) < 0)
2780           dev_err (hub_dev, "get_hub_status failed\n");
2781        else {
2782            if (hubchange & HUB_CHANGE_LOCAL_POWER) {
2783                dev_dbg (hub_dev, "power change\n");
2784                clear_hub_feature(hdev, C_HUB_LOCAL_POWER);
2785                if (hubstatus & HUB_STATUS_LOCAL_POWER)
2786                    /* FIXME: Is this always true? */
2787                    hub->limited_power = 0;
2788                else
2789                    hub->limited_power = 1;
2790            }
2791            if (hubchange & HUB_CHANGE_OVERCURRENT) {
2792                dev_dbg (hub_dev, "overcurrent change\n");
2793                 msleep(500);    /* Cool down */
2794            clear_hub_feature(hdev, C_HUB_OVER_CURRENT);
2795            hub_power_on(hub);
2796            }
2797        }
2798
2799        hub->activating = 0;
2800
2801        /* If this is a root hub, tell the HCD it's okay to
2802     * re-enable port-change interrupts now. */
2803        if (!hdev->parent && !hub->busy_bits[0])
2804            usb_enable_root_hub_irq(hdev->bus);
2805
2806 loop_autopm:
2807        /* Allow autosuspend if we're not going to run again */
2808        if (list_empty(&hub->event_list))
2809            usb_autopm_enable(intf);
```

```
2810 loop:
2811         usb_unlock_device(hdev);
2812     usb_put_intf(intf);
2813
2814     } /* end while (1) */
2815 }
```

14．树，是什么样的树

USB 设备树是怎样一棵树？让我慢慢地道来。

hub_events()里面第 2645 行，locktree()，用的就是汉诺塔里的那个经典思想——递归。locktree()定义于 drivers/usb/core/hub.c：

```
990 static int locktree(struct usb_device *udev)
991 {
992     int                 t;
993     struct usb_device      *hdev;
994
995     if (!udev)
996         return -ENODEV;
997
998     /* root hub is always the first lock in the series */
999     hdev = udev->parent;
1000    if (!hdev) {
1001        usb_lock_device(udev);
1002        return 0;
1003    }
1004
1005    /* on the path from root to us, lock everything from
1006     * top down, dropping parent locks when not needed
1007     */
1008    t = locktree(hdev);
1009    if (t < 0)
1010        return t;
1011
1012    /* everything is fail-fast once disconnect
1013     * processing starts
1014     */
1015    if (udev->state == USB_STATE_NOTATTACHED) {
1016        usb_unlock_device(hdev);
1017        return -ENODEV;
1018    }
1019
1020    /* when everyone grabs locks top->bottom,
1021     * non-overlapping work may be concurrent
1022     */
1023    usb_lock_device(udev);
1024    usb_unlock_device(hdev);
1025    return udev->portnum;
1026 }
```

传递进来的是这个 Hub 对应的 struct usb_device 指针，995 行自然不必说。

999 行，parent，struct usb_device 结构体的 parent 自然也是一个 struct usb_device 指针。1000 行，判断 udev 的 parent 指针，你一定觉得奇怪，好像之前从来没有看到过 parent 指针，为何它突然之间出现了？它指向什么呀？ Hub 驱动作为一个驱动程序，它并非是孤立存在的，没有主机控制器的驱动，没有 USB Core，Hub 驱动的存在将没有任何意义。其实我在前面就说过，Hub 准确地说应该是 Root Hub，它和主机控制器是绑定在一起的，专业一点说叫做“集成”在一起的。

因为 Hub 驱动不孤立，所以具体来说，作为 Root Hub，它的 parent 指针在主机控制器的驱动程序中就已经赋了值，这个值就是 NULL。换句话说，对于 Root Hub，它不需要再有父指针了，这个父指针本来就是给从 Root Hub 连出来的节点用的，这里这个函数名字叫做 locktree，顾名思义，锁住一棵树。这棵树就是 USB 设备树。很显然，USB 设备是从 Root Hub 开始，一个一个往外面连的，比如 Root Hub 有 4 个端口，每个端口连一个 USB 设备，比如其中有一个是 Hub，那么这个 Hub 有可以继续有多个端口，于是一级一级地往下连，最终肯定会连成一棵树。

自从 Intel 提出了 EHCI 的规范以来，当今 USB 世界的发展趋势是：硬件厂商们总是让 EHCI 主机控制器里面拥有尽可能多的端口，换而言之，就是希望大家别再用外接的 Hub 了，有一个 Root Hub 就够用了，也就是说，真的到了那种情况，USB 设备树的就不太像树了，顶多就是两级，一级是 Root Hub，下一级就是普通设备。严格来说，对于我们普通人来说，这样子也就够用了，假设你的 Root Hub 有 8 个端口，你说你够用不够用？鼠标、键盘、音响、U 盘、存储卡，8 个端口对普通人来说肯定够了。

所以说写代码也不是一件容易的事情，除了保证你的代码能让普通人正常使用，还得保证在其他情况下也能使用，locktree()的想法就是这样。在 hub_events()里面加入 locktree()的理由很简单，如果你的计算机里有两个 Hub，一个叫 parent，一个叫 child，child 接在 parent 的某个口上，那么 parent 在执行下面这段代码时，child 就不要去执行这段代码，否则会引起混乱。

为何会引起混乱？要知道，对于一个 Hub 来说，其所有正常的工作都是在 hub_events()这个函数中进行的，比如这些工作一种情况是删除一个子设备， 这将有可能直接导致 USB 设备树的拓扑结构发生变化，或者另一种情况，遍历整个子树去执行一个 resume 或者 reset 之类的操作，那么很显然，在这种情况下，一个 parent Hub 在进行这些操作时，不希望受到 child Hub 的影响。所以在这样一个政治背景下，2004 年的夏天，作为 Linux 内核开发中 USB 子系统的三剑客之一的 David Brownell，决定加入 locktree 这个函数，这个函数的思想很简单，实际上就是借用了我国古代军事思想中的“擒贼先擒王”，用 David Brownell 本人的话说就是“lock parent first”。

每一个 Hub 在执行 hub_events()中下面的那些代码时（特指 locktree 那个括号以下的那些代码），都得获得一把锁，锁住自己，而在锁住自己之前，又先得获得父亲的锁，确切地说，是尝试获得父亲的锁，如果能够获得父亲的锁，那么说明父亲当前没有执行 hub_events()（否则就没有办法获得父亲的锁），那么这种情况下子 Hub 才可以执行自己的 hub_events()。但是需要注意，在执行自己的代码之前，先把父 Hub 的锁释放掉。因为我们说了，我们的目的是尝试获得父亲的锁，这个尝试的目的是为了保证在我们执行 hub_events()之前的那一时刻，Parent Hub 并不是正在执行 hub_events()，而至于我们已经开始执行了 hub_events()，我们就不在乎 Parent Hub 是否也想开始执行 hub_events()了。

Root Hub 就是整棵树的根，Root Hub 就没有 Parent Hub，所以，整个递归到了 Root Hub 就可以终止了。这也正是为什么 1000 行那句 if 语句，在判断出该设备是一个 Root Hub 之后，马上就执行锁住该设备。而如果不是 Root Hub，那么继续往下走，递归调用 locktree()，对于 locktree()，正常情况下它的返回值大于等于 0，所以小于 0 就算出错了。

然后 1015 行判断，如果我们把 Parent Hub 锁住了，可是自己却被断开了，即 disconnect 函数被执行了，那么就立刻停止，把 Parent Hub 的锁释放，然后返回把错误代码-ENODEV。

最后 1023 行，锁住自己，1024 行，释放父设备。

1025 行，返回当前设备的 portnum。portnum 就是端口号，你一定奇怪，没见过什么时候

为portnum赋值了啊？ 别忘了这里是在讨论Root Hub，对于 Root Hub来说，它本身没有portnum这么一个概念，因为它不插在别的Hub的任何一个口上。所以对于Root Hub来说，它的portnum在主机控制器的驱动程序里给设置成了0。而对于普通的Hub，它的 portnum在哪里赋的值呢？我们在后面就会看到的，别急。不过提醒一下，对于 Root Hub 来说，这里根本就不会执行到1025行来，刚才说了，对于Root Hub，实际上在1002行那里就返回了，而且返回值就是0。

就这样，我们看完了locktree()这个函数，接下来我们又该返回到hub_events()里面去了。

最终locktree()被加入到了内核中面，而且不止加了一处，除了加入到了hub_events()之外，在另外两个函数usb_suspend_device()和usb_resume_device()里面也有调用locktree()。有趣的是，从 2.6.9 的内核一直到 2.6.22 的内核，我们都能看到 locktree()这么一个函数，但是后来，usb_suspend_device/usb_resume_device中没有了这个函数，就比如我们现在看到的2.6.22内核，搜索整个内核，只有hub_events()这一个地方调用了locktree()，对此，Alan Stern给出的说法是，内核中关于USB挂起的支持有了新的改进，不需要再调用locktree了。但是从2.6.23的内核开始，估计整个内核中就不会再有locktree了，Alan Stern在这个夏天，提交了一个patch，最终把locktree相关的代码全部从内核中移除了。

15．没完没了的判断

2645行就返回了，正常情况都是返回0或者正数，如果小于0那就说明失败了，在使用interface之前会调用usb_get_intf()来增加引用计数，而与之对应的是usb_put_intf()，这里我们就调用了usb_put_intf()来减少引用计数。continue的意思是开始新的一轮while循环，如果hub_event_list里还有东西的话就继续处理。

2649行，usb_get_intfdata()，判断得到的是不是hub，你问为什么得到的是hub？回过去看hub_probe()，别忘了那时候我们调用过usb_set_intfdata从而把intf和hub联系了起来的。那为什么还要判断？因为在 hub_disconnect()中，有这么一句，usb_set_intfdata(intf，NULL)，而hub_events()和hub_disconnect()是异步执行的，就是说你执行你的，我执行我的，换而言之，当hub_events()正执行时，hub_disconnect()那边可能就已经取消了intf和hub之间建立起来的那层关系，所以这里需要判断。

2653行，现在是时候该说一说USB_STATE_NOTATTACHED这个宏了，在include/linux/usb/ch9.h中：

```
557 enum usb_device_state {
558     /* NOTATTACHED isn't in the USB spec, and this state acts
559      * the same as ATTACHED ... but it's clearer this way.
560      */
561     USB_STATE_NOTATTACHED = 0,
562
563     /* chapter 9 and authentication (wireless) device states */
564     USB_STATE_ATTACHED,
565     USB_STATE_POWERED,                  /* wired */
566     USB_STATE_UNAUTHENTICATED,           /* auth */
567     USB_STATE_RECONNECTING,             /* auth */
568     USB_STATE_DEFAULT,                  /* limited function */
569     USB_STATE_ADDRESS,
```

```
    570     USB_STATE_CONFIGURED,               /* most functions */
    571
    572     USB_STATE_SUSPENDED
    573
    574     /* NOTE:  there are actually four different SUSPENDED
    575      * states, returning to POWERED, DEFAULT, ADDRESS, or
    576      * CONFIGURED respectively when SOF tokens flow again.
    577      */
    578 };
```

定义了一堆的宏，其中 USB_STATE_NOTATTACHED 的意思很明显，设备没有插在端口上。在代码里，有几个函数会把设备的状态设置成一个是汇报主机控制器异常死机的函数 usb_hc_died()，一个是 Hub 驱动自己提供的函数 hub_port_disable()，用于关掉一个端口的函数，或者用来断开设备的函数 usb_disconnect()，总之这几个函数只要它们执行了，那么设备肯定就没法工作了，所以这里先判断设备的状态是不是 USB_STATE_NOTATTACHED，如果是那么就设置错误代码为-ENODEV，然后调用 hub_pre_reset()，这个函数是与 reset 相关的。

2660 行，usb_autopm_get_interface()，这个函数是 USB Core 提供的，又是一个电源管理的函数，这个函数所做的事情就是让 USB 接口的电源引用计数加一，也就是说，只要这个引用计数大于 0，这个设备就不允许 autosuspend。

autosuspend 就是当用户在指定的时间内没有活动的话，就自动挂起。应该说，在 USB 中引入 autosuspend/autoresume 这还是最近的事情了，最初有这个想法是在 2006 年的 5 月底，Alan Stern 在开源社区提出：最近打算开始在 USB 里面实现对 autosuspend/autoresume 的支持。

所谓的 autosuspend/autoresume，实际上是一种运行时的电源管理方式。而这些事情将由驱动程序来负责，即当驱动程序觉得它的设备闲置了，它就会触发 suspend 事件，而当驱动程序要使用一个设备了，但该设备正处于 suspended 状态，那么驱动程序就会触发一个 resume 事件，suspend 事件和 resume 事件很显然是相对应的，一个是挂起，一个是恢复。

这里有一个很关键的理念，又涉及了前面讲的那个设备树，即，当一个设备挂起时，它必须通知它的 parent，而 parent 就会决定看 parent 是不是也自动挂起，反过来，如果一个设备需要“resume”，那么它必须要求它的 parent 也“resume”，就是说这里有这么一种逻辑关系，一个 parent 要想“suspend”，只有在它的 children 都“suspend”它才可以“suspend”，而一 个 child 想要“resume”，只有在它的 parent 先“resume”了它才可以“resume”。

还不明白？举一个例子，我和我的室友放寒假在复旦大学南区澡堂洗澡，每人一个水龙头，考虑到寒假期间洗澡的人数比较少，管理员决定把水龙头的总闸调小，但是也不能让我们正在洗的人洗不了，所以只有满足了我们正在洗澡的人的水量，才可以关小总闸。同样，开学了以后，大家都来洗澡，可是总闸还是那么小，那不行，管理员就得调整总闸，每个人调整自己的开关，那样肯定没用，总的流量就那么小，所以这种情况下就得先开了总闸这样单个开关的调节才有意义。

对于 Hub 来说，当 hub_events()处于运行的状态，那么这个 Hub 接口就是在使用，在这种情况下是不可以进行“autosuspend”的。对于这个上下文来说，usb_autopm_get_interface()返回的就是 0。但是如果咱们的 Hub 是处于 suspended 状态，那么这里首先就会把 Hub 唤醒，即会执行 resume。先不多说了，继续往下看吧。

2667 行，判断 quiescing，以前咱们说过，struct usb_hub 里面有两个成员，quiescing 和 activiating，并且在 hub_activate()中已经看到了，我们把 quiescing 设置成了 0，而把 activating

设置成了 1。现在是时候来说一说这两个变量的含义了。我们说了 quiescing 是停止的意思，在 reset 时我们会设置它为 1，在 suspend 时我们也会把它设置为 1，一旦把它设置成了 1，那么 hub 驱动程序就不会再提交任何 urb，而如果我们把 activating，那么 Hub 驱动程序就会给每个端口发送一个叫做 Get Port Status 的请求，通常情况下，Hub 驱动只有在一个端口发生了状态变化的情况下才会去发送 Get Port Status 从而去获得端口的状态。所以就是说，正常情况下，这两个 flag 都是不会设置的。即正常情况下这两个 flag 都应该是 0。

2671 行，在这个情景下，hub->error 当然是 0，但是如果今后我们正式工作以后，再次来到这里的话，hub->error 可能就不再是 0 了。对于那种情况，需要调用 usb_reset_composite_device()，这个函数是咱们自己定义的，目的就是把设备 reset，下面来具体看一下，来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
3062 int usb_reset_composite_device(struct usb_device *udev,
3063               struct usb_interface *iface)
3064 {
3065     int ret;
3066     struct usb_host_config *config = udev->actconfig;
3067
3068     if (udev->state == USB_STATE_NOTATTACHED ||
3069                 udev->state == USB_STATE_SUSPENDED) {
3070         dev_dbg(&udev->dev, "device reset not allowed in state %d\n",
3071                         udev->state);
3072         return -EINVAL;
3073     }
3074
3075     /* Prevent autosuspend during the reset */
3076     usb_autoresume_device(udev);
3077
3078     if (iface && iface->condition != USB_INTERFACE_BINDING)
3079         iface = NULL;
3080
3081     if (config) {
3082         int i;
3083         struct usb_interface *cintf;
3084         struct usb_driver *drv;
3085
3086         for (i = 0; i < config->desc.bNumInterfaces; ++i) {
3087             cintf = config->interface[i];
3088             if (cintf != iface)
3089                 down(&cintf->dev.sem);
3090             if (device_is_registered(&cintf->dev) &&
3091                         cintf->dev.driver) {
3092                     drv = to_usb_driver(cintf->dev.driver);
3093                     if (drv->pre_reset)
3094                         (drv->pre_reset)(cintf);
3095             }
3096         }
3097     }
3098
3099     ret = usb_reset_device(udev);
3100
3101     if (config) {
3102         int i;
3103         struct usb_interface *cintf;
3104         struct usb_driver *drv;
3105
3106         for (i = config->desc.bNumInterfaces - 1; i >= 0; --i) {
3107         cintf = config->interface[i];
3108             if (device_is_registered(&cintf->dev) &&
```

```
3109                            cintf->dev.driver) {
3110                drv = to_usb_driver(cintf->dev.driver);
3111                if (drv->post_reset)
3112                    (drv->post_reset)(cintf);
3113            }
3114        if (cintf != iface)
3115                up(&cintf->dev.sem);
3116        }
3117    }
3118
3119    usb_autosuspend_device(udev);
3120    return ret;
3121 }
```

usb_autoresume_device()增加设备的引用计数，禁止设备 autosuspend 的发生。

后面的 usb_autosuspend_device()则刚好相反，减少设备的引用计数，并且使得设备可以被 autosuspend。

3068 行，在设备处于 USB_STATE_NOTATTACHED 或者 USB_STATE_SUSPENDED 的状态时，reset 是不被允许的。

3078 行，别忘了我们传递给 usb_reset_composite_device 的有两个参数，一个是设备，一个是接口。而 USB_INTERFACE_BINDING 是一个宏，来自 include/linux/usb.h：

```
83 enum usb_interface_condition {
84      USB_INTERFACE_UNBOUND = 0,
85      USB_INTERFACE_BINDING,
86      USB_INTERFACE_BOUND,
87      USB_INTERFACE_UNBINDING,
88 };
```

这是表示接口的状态的，BINDING 就表示正在和驱动绑定。最开始，在 USB Core 发现初始化设备时，但是在 hub_probe 被调用之前，接口是处于 USB_INTERFACE_BINDING 状态的，直到 hub_probe 结束了之后，接口则是处于 USB_INTERFACE_BOUND 状态，即所谓的绑定好了，而如果 hub_probe 出错了，那么接口就将处于 USB_INTERFACE_UNBOUND 状态。

我们这里 config 是 struct usb_host_config 结构体指针，被赋为 udev->actconfig，对于一个设备来说，它使用的是什么配置，这个在初始化时就设置好了的。

struct usb_host_config 结构体中有一个结构体 struct usb_config_descriptor desc，表示配置描述符，还有一个 struct usb_interface *interface[USB_MAXINTERFACES]数组，USB_MAXINTERFACES 定义为 32。所以 config->desc.bNumInterfaces 及 config->interface[]数组的意思就很明确了。3086 行的这个 for 循环就是说，这个设备有几个接口就一个一个遍历，cintf 作为临时变量来表示每一个 struct usb_interface。首先我们要明白，usb_reset_composite_device()这个函数我们可是既指定了设备又指定了接口的，那么 3088 行判断 cintf 等不等于 iface 是什么意思呢？

回到刚才那个 3078 行，如果 iface 不处在 BINDING 的情况下，我们将 iface 设置为 NULL 了，而这里 cintf 是从 config->interface[]数组里得出来的值，它肯定不为 NULL，那么这里如果 cintf 不等于 iface，就说明 iface 之前是不处于 BINDING 的状态，对于这种情况我们需要执行 3089 行，这样做的原因是为了等待。dev 是 struct device 结构体，是 struct usb_interface 结构体的一个成员，而 sem 是 struct device 结构体的一个信号量，struct semaphore sem，这个信号量专门用于同步，之所以这里需要信号量，原因如下：既然我们现在针对的是一个设备多个接口的情况，那么势必就有这样一种可能：一个设备多个接口，每个接口对应一个驱动，那么当设备

fail 时，有可能每个驱动都希望能够 reset，对于这种情况，我们当然需要保证这个过程不要出现混乱，于是设置一个信号量就好了，你 reset 时我就不能 reset，我 reset 时你就不能 reset。

那么为什么要单独把 USB_INTERFACE_BINDING 列出来呢？注释里说得很清楚了，当一个接口的状态处于 BINDING 时，其实就是这个接口对应的驱动的 probe()函数正在执行，这个时候实际上已经获得锁了。probe 函数是提供给 USB Core 调用的，在 USB Core 中，调用 probe()的前后也有这么一对 down()/up()函数。

因为 probe()这个操作也忌讳被别人影响，所以说这里对于正处于 BINDING 状态的接口就不需要再获得锁了，或者说不需要获得信号量了。否则就将是一个经典的死锁问题，我第一次遇到内核 Bug 就是一次死锁问题，在 8250 串口驱动中，明明已经有锁了，还要再次去获取锁，结果系统就死机了。

另一个问题需要清楚的是，usb_reset_composite_device()这个函数的诞生是因为目前越来越多的设备都是复合设备，即一个设备中有多个接口。内核中引入这个函数是在 2006 年夏天，Alan Stern 又一次向社区里提出一个新的理念，即原本对于每个设备来说，都可以调用函数 usb_reset_device 来执行 reset 操作，而当今发展趋势是让一个设备包含多个接口，而我们知道一个驱动对应一个接口，于是就出现了多个驱动对应一个设备的情况，那么一个 usb_reset_device()函数就有可能对所有的接口都造成影响，于是，Alan 利用这样两个函数——struct usb_driver 结构体中两个成员函数 pre_reset 和 post_reset，我们知道每个 struct usb_driver 都有两个成员 pre_reset 和 post_reset，而 Alan 的理念是每个驱动定义自己的 pre_reset 和 post_reset，当我们在调用 usb_reset_device 之前，先遍历调用每个驱动的 pre_reset，Alan 称这些个 pre_reset 给每个绑定在该设备上的驱动一个警告，告诉它们，要“reset”了。

在执行完 usb_reset_device 之后，再遍历调用每个驱动的 post_reset，post_reset，其作用是让每个驱动知道，reset 完成了。另一方面，post_reset 还有一个作用，因为 reset 会把设备原来的状态都给清除掉，所以 post_reset 就担负了这么一个使命，即重新初始化设备。但是你得明白，并不是每一个设备驱动都定义了 pre_reset 和 post_reset，有没有必要执行这两个操作那都是自己决定，你要是无所谓，觉得“reset”整个设备对你这个接口没什么影响，不为这两个指针赋值也可以。这也就是为什么在 3093 行和 3111 行这两处要判断这两个指针是否被赋了值，只有赋了值才去执行相应的函数，否则就没有必要。

继续看，device_is_registered()是一个内联函数，就是判断 struct device 结构体指针的一个成员 is_registered 是否为 1，这个值对于 Root Hub 来说，在主机控制器驱动程序中初始化时把它设置为 1，对于普通的设备来说，以后我们会看到，在 Hub 驱动为其作初始化时也会设置为 1。而 dev.driver 也是在初始化时会赋值，特别对于 Hub，这个 dev.driver 就是与之对应的 struct device_driver 结构体。而 3092 行这个 to_usb_driver()是一个宏，它得到的就是与之对应的 struct usb_driver 结构体，而对于 Hub 来说，这就是 struct usb_driver hub_driver，所以，我们就不难知道，3094 行及后面 3112 行所做的就是调用 hub_driver 里面的两个成员函数——hub_pre_reset()和 hub_post_reset()。

总之，3094 行，3099 行，3012 行，这三个函数的调用，就是真正地完成了一次 Hub 的 reset，就相当于重启一次计算机，重启的原因是我们遇见了 hub->error。这三个函数的细节我们先暂时不看，以后再看。需要强调的一点是，3101 行到 3117 行这一段代码，和 3081 行到 3097 行这一段代码，基本上是对称的。

3120 行，return ret 返回了。返回值就是 usb_reset_device 的返回值。

回到 hub_events()之后，立刻把 hub->nerrors 和 hub->error 给复位了，设置为 0。其中 nerrors 是记录发生错误的次数，nerrors 就是 number of errors，要是连续发生错误就每次让 nerrors 加 1。

从下面开始就进入 Hub 驱动中的代码了。可以说在 hub_events()中，此前的每一行代码都显得非常的枯燥，让人根本看不明白 Hub 驱动究竟是干什么的，直到下面这些代码才真正诠释了一个 Hub 驱动应该做的事情。我们需要明白，Hub 的存在不是为了它自己，我们不是为了用 Hub 而买 Hub，我们是为了让 Hub 连接真正想用的设备。

16．一个都不能少

2686 行，终于发现从这里开始针对端口进行分析了，有几个端口就对几个端口进行分析，分析每一个端口的状态变化，一个都不能少。很显然，这就是我们期待看到的代码，我们马上就可以知道，当我们把一个 USB 设备插入 USB 端口后 USB 设备提供的那些接口函数究竟是如何被调用的，特别是 probe 函数。

bNbrports 是前面我们获得的 Hub 描述符的一个成员，表示这个 Hub 有几个端口。很显然，USB 设备却不可以没有描述符。这里就是遍历每一个端口。busy_bits 是 struct usb_hub 的一个成员，unsigned long busy_bits[1]，接下来的 event_bits 也是，change_bits 也是 USB-hub，unsigned long event_bits[1]，unsigned long change_bits[1]，test_bit()我们太熟悉了。这里我们要测试的有三个设置，首先测试 busy_bits，这个 flag 实际上只有在 reset 和 resume 的函数内部才会设置，而这里的意思是，如果眼下这个端口正在执行 reset 或者 resume 操作，那么咱们就跳过去，不予理睬。

2689 行，测试 change_bits。结合 2690 行，2691 行，2692 行一起看。如果这个端口对应的 change_bits 没有设置，event_bits 没有设置过，hub->activating 也为 0，那么这里就执行 continue，不过我们想都不用想，因为我们就是从 hub_activate 进来的。我们来时 activating 就是设置成了 1 的，所以这里的 continue 是不用执行的。换而言之，我们继续往下走。

2694 行，hub_port_status()，portstatus 和 portchange 是我们在 hub_events()伊始定义的两个变量，u16 portstatus，u16 portchange 都是 16 位的。尽管说了很多遍了，但是我还是得再说第一遍，这个函数仍然是来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
1413 static int hub_port_status(struct usb_hub *hub, int port1,
1414                            u16 *status, u16 *change)
1415 {
1416    int ret;
1417
1418    mutex_lock(&hub->status_mutex);
1419    ret = get_port_status(hub->hdev, port1, &hub->status->port);
1420    if (ret < 4) {
1421        dev_err (hub->intfdev,
1422                "%s failed (err = %d)\n", __FUNCTION__, ret);
1423        if (ret >= 0)
1424            ret = -EIO;
1425    } else {
1426        *status = le16_to_cpu(hub->status->port.wPortStatus);
```

```
1427        *change = le16_to_cpu(hub->status->port.wPortChange);
1428        ret = 0;
1429    }
1430    mutex_unlock(&hub->status_mutex);
1431    return ret;
1432 }
```

重要的是其中的 get_port_status()函数：

```
300 /*
301  * USB 2.0 spec Section 11.24.2.7
302  */
303 static int get_port_status(struct usb_device *hdev, int port1,
304              struct usb_port_status *data)
305 {
306     int i, status = -ETIMEDOUT;
307
308     for (i = 0; i < USB_STS_RETRIES && status == -ETIMEDOUT; i++) {
309         status = usb_control_ msg(hdev, usb_rcvctrlpipe(hdev, 0),
310                 USB_REQ_GET_STATUS, USB_DIR_IN | USB_RT_PORT, 0, port1,
311                 data, sizeof(*data), USB_STS_TIMEOUT);
312     }
313     return status;
314 }
```

现在我们再也不会对 usb_control_ msg()函数陌生了，这个函数做什么的我们完全是一目了然。Get Port Status 是 Hub 的一个标准请求，对我们来说就是一次控制传输就可以完成。这个请求的格式如图 2.16.1 所示。

bmRequestType	bRequest	wValue	wIndex	wLength	Data
10100011B	GET_STATUS	0	端口号	4	端口状态和变化状态

图 2.16.1　Get Port Status 请求

其中这个 GET_STATUS 的对应具体的数值可以在 spec 的 Table 11-16 中对比得到。而关于各种请求，在 include/linux/usb/ch9.h 中也定义了相应的宏，

```
79 #define USB_REQ_GET_STATUS            0x00
80 #define USB_REQ_CLEAR_FEATURE          0x01
81 #define USB_REQ_SET_FEATURE           0x03
82 #define USB_REQ_SET_ADDRESS           0x05
83 #define USB_REQ_GET_DESCRIPTOR         0x06
84 #define USB_REQ_SET_DESCRIPTOR         0x07
85 #define USB_REQ_GET_CONFIGURATION       0x08
86 #define USB_REQ_SET_CONFIGURATION       0x09
87 #define USB_REQ_GET_INTERFACE          0x0A
88 #define USB_REQ_SET_INTERFACE          0x0B
89 #define USB_REQ_SYNCH_FRAME           0x0C
90
91 #define USB_REQ_SET_ENCRYPTION         0x0D    /* Wireless USB */
92 #define USB_REQ_GET_ENCRYPTION         0x0E
93 #define USB_REQ_RPIPE_ABORT           0x0E
94 #define USB_REQ_SET_HANDSHAKE          0x0F
95 #define USB_REQ_RPIPE_RESET           0x0F
96 #define USB_REQ_GET_HANDSHAKE          0x10
97 #define USB_REQ_SET_CONNECTION         0x11
```

```
98 #define USB_REQ_SET_SECURITY_DATA      0x12
99 #define USB_REQ_GET_SECURITY_DATA      0x13
100 #define USB_REQ_SET_WUSB_DATA          0x14
101 #define USB_REQ_LOOPBACK_DATA_WRITE    0x15
102 #define USB_REQ_LOOPBACK_DATA_READ     0x16
103 #define USB_REQ_SET_INTERFACE_DS       0x17
```

比如这里传递给 usb_control_ msg 的请求就是 USB_REQ_GET_STATUS，它的值为 0，和 spec 中定义的 GET_STATUS 的值是对应的。这个请求返回两个值，一个称为 Port Status,一个称为 Port Change Status。usb_control_ msg()的调用注定了返回值将保存在 struct usb_port_status *data 里面，这个结构体定义于 drivers/usb/core/hub.h 中:

```
58 /*
59  * Hub Status and Hub Change results
60  * See USB 2.0 spec Table 11-19 and Table 11-20
61  */
62 struct usb_port_status {
63       __le16 wPortStatus;
64       __le16 wPortChange;
65 } __attribute__ ((packed));
```

很显然这个格式是和实际的 spec 对应的，我们给 get_port_status()传递的实参是&hub->status->port，port 也是一个 struct usb_port_status 结构体变量，所以在 hub_port_status()里面，1426 行和 1427 行我们就得到了 Status Bits 和 Status Change Bits。get_port_status()返回值就是 Get Port Status 请求的返回数据的长度，它至少应该能够保存 wPortStatus 和 wPortChange，所以至少不能小于 4，所以 1420 行有这个错误判断。这样，hub_port_status()就返回了，而 status 和 change 这两个指针也算是满载而归了，正常的话返回值就是 0。

继续往下走，2699 行，children[i-1]，我们从没有见过它，但是我想大家都知道，正是像 parent 和 children 这样的指针才能把 USB 树给建立起来，而我们才刚上路，肯定还没有设置 children，所以对我们来说，至少目前 children 数组肯定为空，而我们又知道 hub->activating 这时候肯定为 1，所以就看第三个条件了，portstatus&USB_PORT_STAT_CONNECTION，这是什么意思？这表明这个端口连接了设备，没错，USB_PORT_STAT_CONNECTION 这个宏定义于 drivers/usb/core/hub.h 中：

```
67 /*
68  * wPortStatus bit field
69  * See USB 2.0 spec Table 11-21
70  */
71 #define USB_PORT_STAT_CONNECTION       0x0001
72 #define USB_PORT_STAT_ENABLE           0x0002
73 #define USB_PORT_STAT_SUSPEND          0x0004
74 #define USB_PORT_STAT_OVERCURRENT      0x0008
75 #define USB_PORT_STAT_RESET            0x0010
76 /* bits 5 to 7 are reserved */
77 #define USB_PORT_STAT_POWER            0x0100
78 #define USB_PORT_STAT_LOW_SPEED        0x0200
79 #define USB_PORT_STAT_HIGH_SPEED       0x0400
80 #define USB_PORT_STAT_TEST             0x0800
81 #define USB_PORT_STAT_INDICATOR        0x1000
82 /* bits 13 to 15 are reserved */
83
84 /*
85  * wPortChange bit field
86  * See USB 2.0 spec Table 11-22
87  * Bits 0 to 4 shown, bits 5 to 15 are reserved
```

```
    88  */
    89 #define USB_PORT_STAT_C_CONNECTION     0x0001
    90 #define USB_PORT_STAT_C_ENABLE         0x0002
    91 #define USB_PORT_STAT_C_SUSPEND        0x0004
    92 #define USB_PORT_STAT_C_OVERCURRENT    0x0008
    93 #define USB_PORT_STAT_C_RESET          0x0010
```

这都是这两个变量对应的宏，spec 里面对这些宏的意义说得很清楚。USB_PORT_STAT_CONNECTION 的意思的确是表示是否有设备连接在这个端口上，我们不妨假设有，那么 portstatus 和它相与的结果就是 1，在 spec 里面，我们会看到 connect_change 被设置成了 1。

而接下来，USB_PORT_STAT_C_CONNECTION 则是表示这个端口的 Current Connect Status 位是否有变化，如果有变化，那么 portchange 和 USB_PORT_STAT_C_CONNECTION 相与的结果就是 1，对于这种情况，我们需要发送另一个请求以清除这个 flag，并且将 connect_change 也设置为 1。这个请求叫做 Clear Port Feature。这个请求也是 Hub 的标准请求，它的作用就是 reset hub 端口的某种 feature。clear_port_feature()定义于 drivers/usb/core/hub.c：

```
    162 /*
    163  * USB 2.0 spec Section 11.24.2.2
    164  */
    165 static int clear_port_feature(struct usb_device *hdev, int port1, int
feature)
    166 {
    167     return usb_control_ msg(hdev, usb_sndctrlpipe(hdev, 0),
    168             USB_REQ_CLEAR_FEATURE, USB_RT_PORT, feature, port1,
    169             NULL, 0, 1000);
    170 }
```

USB_REQ_CLEAR_FEATURE 和 spec 中的 CLEAR_FEATURE 请求是对应的，那么一共有哪些 feature 呢？在 drivers/usb/core/hub.h 中是这样定义的。

```
    38 /*
    39  * Port feature numbers
    40  * See USB 2.0 spec Table 11-17
    41  */
    42 #define USB_PORT_FEAT_CONNECTION      0
    43 #define USB_PORT_FEAT_ENABLE          1
    44 #define USB_PORT_FEAT_SUSPEND         2
    45 #define USB_PORT_FEAT_OVER_CURRENT    3
    46 #define USB_PORT_FEAT_RESET           4
    47 #define USB_PORT_FEAT_POWER           8
    48 #define USB_PORT_FEAT_LOWSPEED        9
    49 #define USB_PORT_FEAT_HIGHSPEED       10
    50 #define USB_PORT_FEAT_C_CONNECTION    16
    51 #define USB_PORT_FEAT_C_ENABLE        17
    52 #define USB_PORT_FEAT_C_SUSPEND       18
    53 #define USB_PORT_FEAT_C_OVER_CURRENT  19
    54 #define USB_PORT_FEAT_C_RESET         20
    55 #define USB_PORT_FEAT_TEST            21
    56 #define USB_PORT_FEAT_INDICATOR       22
```

而在 spec 中，Table 11-17 与之相对应定义了许多的 feature，我们清除的正是 C_PORT_CONNECTION 这一个 feature。

spec 里面说了，清除一个状态改变的 feature 就等于承认这么一个 feature。（clearing that status change acknowledges the change）理由很简单，每次你检测到一个 flag 被设置之后，你都应该清除掉它，以便下次别人设置你就知道是有人设置了，否则你不知道在你下次判断是不是又有人

设置了。同理，接下来的每个与 portchange 相关的判断语句都要这么做。所以如果 portchange 与上 USB_PORT_STAT_C_CONNECTION 确实为 1，那么我们就要清除这个 feature。同时我们当然也要记录 connect_change 为 1。

继续，每个端口都有一个开关，这叫做 enable 或者 disable 一个端口。portchange 和 USB_PORT_STAT_C_ENABLE 相与结果如果为 1 的话，说明端口开关有变化。和刚才一样，首先我们要做的是，清除掉这个变化的 feature。但是这里需要注意，spec 里对这个 feature 是这样规定的，如果 portchange 和 USB_PORT_STAT_C_ENABLE 为 1，说明这个端口是从 enable 状态进入了 disable 状态。

为什么呢？因为在 spec 规定了，Hub 的端口是不可以直接设置成 enable 的。通常让 Hub 端口设置成 enable 的方法是“reset hub port”，用 spec 的话说，这叫做发送另一个请求，名为 SET_FEATURE。SET_FEATURE 和 CLEAR_FEATURE 是对应的，一个用于设置一个用于清除。对于 PORT_ENABLE，用 spec 里的话说：“This bit may be set only as a result of a SetPortFeature(PORT_RESET) request.”PORT_RESET 是为 Hub 定义的众多 feature 中的一种。

最后提醒一点，2711 行至 2715 行这段 if 语句仅仅是为了打印调试信息的，也就是说如果端口 enable 改变了，但是端口连接没有改变，那么就打印信息来通知调试者，不要把 clear_port_feature 这一行也纳入到 if 语句里去了。因为端口 enable 的改变有多种可能，其中一种可能就是由于检测到了 disconnection，这种情况，就是我们下面要处理的。

下面这段代码就比较复杂了，电磁干扰都给扯进来了。EMI 也就是电磁干扰。就是说有时 Hub 端口的 enable 变成 disable 有可能是由于电磁干扰造成的。这个 if 条件判断的是：端口被 disable 了，但是连接没有变化，并且 hdev->children[i]还有值，这就说明明明有子设备连接在端口上，可是端口却被 disable 了，基本上这种情况就是电磁干扰造成的，否则 Hub 端口不会有这种举动。那么这种情况就设置 connect_change 为 1。因为接下来我们会看到对于 connect_change 为 1 的情况，会专门进行处理，而直白的说法就是，hub_events()其实最重要的任务就是对于端口连接有变化的情况进行处理，或者说进行响应。

再往下，portchange 和 USB_PORT_STAT_C_SUSPEND 相与结果如果为 1，表明连在该端口的设备的 suspend 状态有变化，并且是从 suspended 状态出来，也就是说 resume 完成。（别问我为什么，spec 就这么规定的，没什么理由）那么首先我们就调用 clear_port_feature 清掉这个 feature。总之这里做的就是对于该端口连了子设备的情况就把子设备唤醒，否则如果端口没有连接子设备，那么就把端口 disable 掉。

2754 行，portchange 如果和 USB_PORT_STAT_C_OVERCURRENT 相与结果为 1 的话，说明这个端口可能曾经存在电流过大的情况，而现在这种情况不存在了，或者本来不存在而现在存在了。对此我们能做的就是首先清除这个 feature。有一种比较特别的情况，如果其他端口电流过大，那么将会导致本端口断电，即 Hub 上一个端口出现 over-current 条件将有可能引起 Hub 上其他端口陷入 powered off 的状态。不管怎么说，对于 over-current 的情况我们都把 Hub 重新上电，执行 hub_power_on()。

2763 行，portchange 如果和 USB_PORT_STAT_C_RESET 相与为结果 1 的话，这叫做一个端口从 Resetting 状态进入到 Enabled 状态。

2771 行，connect_change 如果为 1，就执行 hub_port_connect_change()，这是每一个看 Hub 驱动的人最期待的函数，因为这正是我们的原始动机，即当一个 USB 设备插入 USB 接口之后

究竟会发生什么，USB 设备驱动程序提供的 probe 函数究竟是如何被调用的。这些疑问统统会在这个函数中得到答案。这个函数来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
2412 static void hub_port_connect_change(struct usb_hub *hub, int port1,
2413                                       u16 portstatus, u16 portchange)
2414 {
2415     struct usb_device *hdev = hub->hdev;
2416     struct device *hub_dev = hub->intfdev;
2417     u16 wHubCharacteristics =
                    le16_to_cpu(hub->descriptor->wHubCharacteristics);
2418     int status, i;
2419
2420     dev_dbg (hub_dev,
2421         "port %d, status %04x, change %04x, %s\n",
2422             port1, portstatus, portchange, portspeed (portstatus));
2423
2424     if (hub->has_indicators) {
2425         set_port_led(hub, port1, HUB_LED_AUTO);
2426         hub->indicator[port1-1] = INDICATOR_AUTO;
2427     }
2428
2429     /* Disconnect any existing devices under this port */
2430     if (hdev->children[port1-1])
2431         usb_disconnect(&hdev->children[port1-1]);
2432     clear_bit(port1, hub->change_bits);
2433
2434 #ifdef  CONFIG_USB_OTG
2435     /* during HNP, don't repeat the debounce */
2436     if (hdev->bus->is_b_host)
2437         portchange &= ~USB_PORT_STAT_C_CONNECTION;
2438 #endif
2439
2440     if (portchange & USB_PORT_STAT_C_CONNECTION) {
2441         status = hub_port_debounce(hub, port1);
2442         if (status < 0) {
2443             if (printk_ratelimit())
2444                 dev_err (hub_dev, "connect-debounce failed, "
2445                                   "port %d disabled\n", port1);
2446             goto done;
2447         }
2448         portstatus = status;
2449     }
2450
2451     /* Return now if nothing is connected */
2452     if (!(portstatus & USB_PORT_STAT_CONNECTION)) {
2453
2454         /* maybe switch power back on (e.g. root hub was reset) */
2455         if ((wHubCharacteristics & HUB_CHAR_LPSM) < 2
2456                     && !(portstatus & (1 << USB_PORT_FEAT_POWER)))
2457             set_port_feature(hdev, port1, USB_PORT_FEAT_POWER);
2458
2459         if (portstatus & USB_PORT_STAT_ENABLE)
2460             goto done;
2461         return;
2462     }
2463
2464 #ifdef  CONFIG_USB_SUSPEND
2465     /* If something is connected, but the port is suspended, wake it up.*/
2466     if (portstatus & USB_PORT_STAT_SUSPEND) {
2467         status = hub_port_resume(hub, port1, NULL);
2468         if (status < 0) {
2469             dev_dbg(hub_dev,
2470                     "can't clear suspend on port %d; %d\n",
```

```
2471                    port1, status);
2472            goto done;
2473        }
2474    }
2475 #endif
2476
2477    for (i = 0; i < SET_CONFIG_TRIES; i++) {
2478        struct usb_device *udev;
2479
2480        /* reallocate for each attempt, since references
2481         * to the previous one can escape in various ways
2482         */
2483        udev = usb_alloc_dev(hdev, hdev->bus, port1);
2484        if (!udev) {
2485            dev_err (hub_dev,
2486                    "couldn't allocate port %d usb_device\n",
2487                    port1);
2488            goto done;
2489        }
2490
2491        usb_set_device_state(udev, USB_STATE_POWERED);
2492        udev->speed = USB_SPEED_UNKNOWN;
2493        udev->bus_mA = hub->mA_per_port;
2494        udev->level = hdev->level + 1;
2495
2496        /* set the address */
2497        choose_address(udev);
2498        if (udev->devnum <= 0) {
2499        status = -ENOTCONN;    /* Don't retry */
2500            goto loop;
2501        }
2502
2503        /* reset and get descriptor */
2504        status = hub_port_init(hub, udev, port1, i);
2505        if (status < 0)
2506            goto loop;
2507
2508        /* consecutive bus-powered hubs aren't reliable; they can
2509         * violate the voltage drop budget.  if the new child has
2510         * a "powered" LED, users should notice we didn't enable it
2511         * (without reading syslog), even without per-port LEDs
2512         * on the parent.
2513         */
2514        if (udev->descriptor.bDeviceClass == USB_CLASS_HUB
2515                        && udev->bus_mA <= 100) {
2516            u16    devstat;
2517
2518            status = usb_get_status(udev, USB_RECIP_DEVICE, 0,
2519                                &devstat);
2520            if (status < 2) {
2521                dev_dbg(&udev->dev, "get status %d ?\n", status);
2522                goto loop_disable;
2523            }
2524            le16_to_cpus(&devstat);
2525        if ((devstat & (1 << USB_DEVICE_SELF_POWERED)) == 0) {
2526                dev_err(&udev->dev,
2527                            "can't connect bus-powered hub "
2528                            "to this port\n");
2529            if (hub->has_indicators) {
2530                hub->indicator[port1-1] =
2531                                INDICATOR_AMBER_BLINK;
2532                    schedule_delayed_work (&hub->leds, 0);
2533            }
2534                status = -ENOTCONN;    /* Don't retry */
```

```
2535                goto loop_disable;
2536            }
2537        }
2538
2539    /* check for devices running slower than they could */
2540        if (le16_to_cpu(udev->descriptor.bcdUSB) >= 0x0200
2541                && udev->speed == USB_SPEED_FULL
2542                && highspeed_hubs != 0)
2543            check_highspeed (hub, udev, port1);
2544
2545        /* Store the parent's children[] pointer.  At this point
2546         * udev becomes globally accessible, although presumably
2547         * no one will look at it until hdev is unlocked.
2548         */
2549        status = 0;
2550
2551        /* We mustn't add new devices if the parent hub has
2552         * been disconnected; we would race with the
2553         * recursively_mark_NOTATTACHED() routine.
2554         */
2555        spin_lock_irq(&device_state_lock);
2556        if (hdev->state == USB_STATE_NOTATTACHED)
2557            status = -ENOTCONN;
2558        else
2559            hdev->children[port1-1] = udev;
2560        spin_unlock_irq(&device_state_lock);
2561
2562        /* Run it through the hoops (find a driver, etc) */
2563        if (!status) {
2564            status = usb_new_device(udev);
2565            if (status) {
2566                spin_lock_irq(&device_state_lock);
2567                hdev->children[port1-1] = NULL;
2568                spin_unlock_irq(&device_state_lock);
2569            }
2570        }
2571
2572        if (status)
2573            goto loop_disable;
2574
2575        status = hub_power_remaining(hub);
2576        if (status)
2577            dev_dbg(hub_dev, "%dmA power budget left\n", status);
2578
2579        return;
2580
2581 loop_disable:
2582        hub_port_disable(hub, port1, 1);
2583 loop:
2584        ep0_reinit(udev);
2585        release_address(udev);
2586        usb_put_dev(udev);
2587        if (status == -ENOTCONN)
2588            break;
2589    }
2590
2591 done:
2592    hub_port_disable(hub, port1, 1);
2593 }
```

我打算不像前面那样一行一行地介绍，我必须先来一个提纲挈领，开门见山地把这个函数的思想讲清楚，否则一行一行往下讲肯定会令人晕头转向。

17．盖茨家对 Linux 代码的影响

hub_port_connect_change，顾名思义，当 Hub 端口上有连接变化时调用这个函数，这种变化既可以是物理变化，也可以是逻辑变化，注释里说得也很清楚。有三种情况会调用这个函数，第一种情况是连接有变化；第二种情况是端口本身重新使能，即所谓的 enable，这种情况通常就是为了对付电磁干扰的，正如我们前面的判断中所说的那样；第三种情况就是在复位一个设备时发现其描述符变了，这通常对应的是硬件本身有了升级。很显然，第一种情况是真正的物理变化，后两者就算是逻辑变化。

前面几行的赋值不用多说，2422 行的 portspeed()函数就是获得这个端口所接设备的 speed，来自 drivers/usb/core/hub.c：

```
121 static inline char *portspeed(int portstatus)
122 {
123     if (portstatus & (1 << USB_PORT_FEAT_HIGHSPEED))
124         return "480 Mb/s";
125     else if (portstatus & (1 << USB_PORT_FEAT_LOWSPEED))
126         return "1.5 Mb/s";
127     else
128         return "12 Mb/s";
129 }
```

这个函数的意图太明显了，就是确定是高速、低速，还是全速的设备。这些信息都包含在 portstatus 的 bit9 和 bit10 里面。

2424 行这一小段，关于指示灯的设置，有指示灯就可以把指示灯设置成琥珀色，可以设置成绿色，可以设置成关闭，也可以设置成自动，这里设置为自动。所谓自动设置，就是 Hub 自己根据端口的状态来设置，比如 Hub 挂起了，那么指示灯就应该熄灭。

2430 行，如果这个 Hub 的子设备还有值，那么应先把它切断。

我们说了，端口连接有变化，可是变化可以是两个方向的。一个是原来没有设备而现在有了，另一个则恰恰相反，原来有设备而现在没有。对于前者，hdev->children[port1-1]肯定为空，而对于后者，这个指针应该就不为空；对于前者，我们接下来要做的事情就是对新连接进来的设备进行初始化配置，分配地址，然后为该设备寻找相应的设备驱动程序，如果找到合适的驱动程序，就调用该设备驱动程序提供的指针函数来进行更细致、更深入、更对口的初始化。但是对于后者，就没必要那么麻烦了，直接调用 usb_disconnect()函数执行一些清扫工作，并且把 Hub 的 change_bits 清除掉。然后再确定端口上确实没有连接任何设备，就可以返回了。

2434 行到 2438 行这一段我们可以不管，因为我们早已做了一个假设，假设我们关闭了 CONFIG_USB_OTG 这个编译开关。

2440 行，别忘了，对于连接从有到无的变化，刚才我们已经清掉了 Hub 的 change_bits，所以这里再次判断 portchange&USB_PORT_STAT_C_CONNECTION 的意思就是对于连接从无到有这种情况，我们还必须判断反弹。

什么是反弹？换一种说法，反弹又叫做去抖动。比如你在网上聊 QQ，你按一下键，正常情况下，在按下键盘和松开键盘的过程中，触片可能快速地接触和分离好多次，而此时此刻你

自己有些激动或紧张，那么按键肯定是多次抖动，而驱动程序不可能响应你很多次，因为你毕竟只是按一下键盘。同理，这样的去抖动技术在 Hub 中也是需要的。所以原则上，spec 规定，只有持续了 100 ms 的插入才算真正的插入，或者说才算稳定的插入。hub_port_debounce 就是干这件事情的，这个函数会让你至少等待 100 ms，如果设备依然在，那么说明稳定了，这种情况下的函数返回值就是端口的状态，即 2448 行中把 status 赋给 portstatus。而如果持续时间不到 100 ms，设备又被拔走了，那么返回负的错误码，然后打印信息告诉你发生错误。

printk_ratelimit 是一个新的函数，其实就是 printk 的变种，printk_ratelimit 的用途就是当某条消息可能会重复地被多次打印，甚至打印成千上万条，导致日志文件溢出，把别的信息都冲掉了，所以这样是不好的情况，于是进化出来一个 printk_ratelimit()，它会控制打印消息的频率，如果短期内连续出现打印消息，那么它把消息抛弃，这种情况下，这个函数返回 0，所以，只有返回非 0 值的情况下才会真正打印信息。

2452 行，如果经历过以上操作之后，现在端口的状态是没有设备连接，那么再做两个判断，一个判断是，如果该端口的电源被关闭了，那么就打开电源。另一个判断是，如果该端口还处于 ENABLE 状态，那么 goto done。可以看到 done 中的代码就是把这个端口给 disable 掉。否则，如果端口已经是 disable 状态了，那么就直接返回吧，这次事件就算处理完了。

2466 行，这一段就是说连接虽然变化了，并且设备也是从无到有了，但是如果之前这个端口处于 suspend 状态，那么这里就要调用 hub_port_resume()恢复这个端口。关于电源管理的深层次代码，我们暂时先搁一边。但是作为 Hub 驱动程序，电源管理部分是必不可少的。

2477 行，SET_CONFIG_TRIES 这个宏这又要引出一段故事了。

以下这个 for 循环的目的很明确，为一个 USB 设备申请内存空间，设置它的状态，把它复位，为它设置地址，获取它的描述符，然后向设备模型中添加这个设备，以后会为这个设备寻找它的驱动程序，驱动程序提供的 probe()函数就会被调用。

对于 USB 来说，只要调用 device_add 函数向设备模型核心层添加设备就够了，对于剩下的事情，设备模型层会去处理，这就是设备模型的优点，所以也叫统一的设备模型。就是说，不管是 PCI、USB 还是 SCSI，总线驱动的工作就是申请并建立总线的数据结构，设备驱动的工作就是往这条总线上注册，调用 driver_add，而设备的工作也是一样的，也往该总线上注册，即调用 device_add。而 driver_add 就会在总线上寻找每一个设备，如果找到了自己支持的设备，并且该设备没有和别的驱动相互绑定，那么就绑定该设备。反过来，设备的做法也一样，device_add 在总线上寻找每一个设备驱动，找到了合适的就绑定该设备。最后，调用 probe 函数，将“兵权”交给了设备驱动。整个过程就叫做 USB 设备初始化。

所以，对于设备驱动程序本身来讲，它只是参与了设备初始化的一部分，而且是很小的一部分，真正重要的工作都是由核心来执行。对于 USB 设备来说，就是 Hub 驱动来集中处理这些事情。之所以这些工作可以统一来做，是因为凡是 USB 设备，它都必须遵循一些共同的特征。

那么这个过程为何要循环呢？以前 Linux 内核中是没有 SET_CONFIG_TRIES 这个宏的，在 2003 年的圣诞节前夕，David Brownell 提交了一个内核补丁，从而出现了这个宏，并且把这个宏的值固定为 2。2004 年底，这个宏的定义发生了一些变化，变得更加灵活。

第一，为什么将这个宏的值设为 2？这个理由很简单，就是要获取设备描述符。如何获得？给设备发送一个 GET-DEVICE-DESCRIPTOR 的请求，然后设备就会返回设备描述符。

再回到 USB，本来 spec 就规定了只要发送这个请求设备，就该返回设备描述符，可是这

么一试，它却说请求失败。所以，发这些重要的请求都按两次发，一次不成功再发一次，成功了就不发，两次还不成功，那没办法了。

第二，后来为何这个宏的值又改变了？我们来看，现在这个宏被改变是为了什么？在 drivers/usb/core/hub.c 中：

```
1446 #define PORT_RESET_TRIES       5
1447 #define SET_ADDRESS_TRIES      2
1448 #define GET_DESCRIPTOR_TRIES   2
1449 #define SET_CONFIG_TRIES       (2 * (use_both_schemes + 1))
1450 #define USE_NEW_SCHEME(i)      ((i) / 2 == old_scheme_first)
```

看 usb_both_schemes 和 old_scheme_first 这两个参数：

```
109 static int old_scheme_first = 0;
110 module_param(old_scheme_first, bool, S_IRUGO | S_IWUSR);
111 MODULE_PARM_DESC(old_scheme_first,
112              "start with the old device initialization scheme");
113
114 static int use_both_schemes = 1;
115 module_param(use_both_schemes, bool, S_IRUGO | S_IWUSR);
116 MODULE_PARM_DESC(use_both_schemes,
117              "try the other device initialization scheme if the "
118              "first one fails");
```

这两个参数是模块加载时的参数，在你用 modprobe 或者 insmod 加载一个模块时，你可以指定 old_scheme_first 的值和 usb_both_schemes 的值，如果你不指定，那么这里的默认值是 old_scheme_first 为 0，而 use_both_schemes 为 1。

那么它们具体起什么作用？scheme 是方案、计划的意思。那么 old scheme 和 both scheme 这两个词组似乎已经反映出来有两个方案，一个是旧的，一个是新的。什么方面的方案？一个是来自 Linux 的方案，一个是来自 Windows 的方案，目的是为了获得设备的描述符。

关于方案问题，这里需要一些背景知识。

第一个，端点 0。0 号端点是 spec 中一个特殊的端点。spec 中是这样规定的，所有的 USB 设备都有一个默认的控制管道。英文叫 Default Control Pipe，与这条管道对应的端点叫做 0 号端点，也就是传说中的 endpoint zero。这个端点的信息不需要记录在配置描述符里，也就是说，并没有一个专门的端点描述符来描述这个 0 号端点，原因是端点 0 基本上所有的特性都是在 spec 规定好了的，大家都一样，所以不需要每个设备另外准备一个描述符来描述它。(换而言之，在接口描述符里的 bNumEndpoints 是指该接口包含的端点，但是这其中并不包含端点 0，如果一个设备除了这个端点 0 以外没有别的端点了，那么它的接口描述符里的 bNumEndpoints 就应该是 0，而不是 1。)

然而，别忘了我说的是“基本上”，有一个特性则是不一样的，这叫做 maximum packet size，每个端点都有这个特性，即告诉你该端点能够发送或者接收的包的最大值。对于通常的端点来说，这个值被保存在该端点描述符中的 wMaxPacketSize 这一个 field，而对于端点 0 就不一样了，由于它自己没有一个描述符，而每个设备又都有这么一个端点，所以这个信息被保存在设备描述符里，所以我们在设备描述符里可以看到 bMaxPacketSize0，而且 spec 还规定了，这个值只能是 8，16，32 或者 64 这四者之一，如果一个设备工作在高速模式，这个值就只能是 64，取别的值都不行。

我们知道，我们所做的很多工作都是通过与端点 0 打交道来完成的，那么端点 0 的 max

packet size 自然是我们必须要知道的，否则肯定没法正确地进行控制传输。于是问题就出现了。我不知道 max packet size 就没法进行正常的传输，可是 max packet size 又在设备描述符里，不进行传输，我就不知道 max packet size 啊？

我刚才说了，max packet size 只能是 8，16，32 或者 64，这也就是说，max packet size 至少应是 8，而我们惊奇地发现，设备描述符一共是 18B，其中，第 Byte7 恰恰就是 bMaxPacketSize0，Byte0 到 Byte7 算起来就是 8B，也就是说，我先读 8B，然后设备返回 device descriptor 的前 8 个字节，于是我就知道它真正的 max packet size 了，我再读一次，这次才把整个 18B 描述符都给读出来，不就行了吗？

在 2004 年 10 月，开源社区的同志们发现一个怪事，Sony 的一个摄像机没法在 Linux 下正常工作。问题就出在获取设备描述符上，当你把一个 8B 的 GET-DEVICE-DESCRIPTOR 的请求发送给 Sony 的设备时，你不能得到一个 8B 的不完整的描述符，相反，你会遇到溢出的错误，因为 Sony 的设备只想一口气把 18B 的整个设备描述符全都给返回，结果导致了错误，而且实践证明这样的错误还有可能会毁坏设备。

这怎么办？有人说这款设备在 Windows 下工作是完全正常的。Windows 采取的是另一种策略（或者说方案），就是直接发送 64B 的请求过去，即要求你的设备返回 64B 过来，如果设备端点 0 的 max packet size 是 32 或者 64，那么你只要把 18B 的设备描述传递过来就可以了，但是如果你的设备端点 0 的 max packet size 是 8 或者 16，而设备描述符是 18B，一次肯定传递不完，那么你必然是传递了一次以后还等待着继续传递。但是从驱动角度来说，我只要获得了 8B 就够了，而对于设备，它不是等着继续传吗？我直接对它做一次 reset，让其复位，这样不就清掉了剩下想传的数据了吗？然后获得了前 8B 就可以知道你真正的 max packet size，再按这个真正的最大值来进行下面的传输，首先就是获得那个 18B 的真正完整的设备描述符。这样，也就达到了目的了。这就是 Windows 下的处理方法。

于是开源社区的兄弟们发现，很多厂商都是按照 Windows 的这种策略来测试自己的设备的，他们压根儿就没有测试过请求 8B 的设备描述符，于是，也就没人能保证当你发送请求要它返回 8B 的设备描述符时它能够正确地响应。所以，Linux 开发人员们委曲求全，把这种 Windows 下的策略给加了进来，其实，Linux 的那种策略才是 USB spec 提供的策略，而现实是，Windows 没有遵守这种策略，厂商们出厂时就只是测试了能在 Windows 下工作，他们认为遵守 Windows 就是遵守了 spec。而事实却并非如此。严格意义上说，这是 Windows 中的 Bug，不过这种做法却引导了潮流。

所以，就这样，如今的代码里实现了这两种策略，每种试两次，原来的那种策略叫做 old scheme，现在的做法就是具体使用那种策略，作为用户的你可以在加载模块时自己设置，如果不设置，那么默认的方法就是先使用新的这种机制，试两次，如果不行，就使用旧的那种，我们看到前面讲到的宏 USE_NEW_SCHEME，它就是用来判断是不是使用新的 scheme 的。这个宏会在 hub_port_init()函数中用到，如果它为真，那么就用新的策略，即发送期望 64B 的请求。如果失败了，就发送那个 8B 的请求。

至此，我们总算可以理解 SET_CONFIG_TRIES 这个宏了，它被定义为(2 * (use_both_schemes + 1))，而 use_both_schemes 就是说两种策略都用，这个参数也是可以自己在加载模块时设置，默认值为 1，即默认是情况时先用新的策略，不行就用旧的。而 usb_both_schemes 为 1 则意味着 SET_CONFIG_TRIES 等于 4，即旧的策略试两次，新的策略试

两次，当然，成功了就不用多试了，多试是为失败而准备的。

看明白了这个宏，我们可以进入这个 for 循环来仔细看个究竟了。

18．八大重量级函数闪亮登场（一）

其实 Hub 在 USB 世界里扮演的又何尝不是这种角色呢？我们来看这个 for 循环，这是 Hub 驱动中最核心的代码，然而这段代码却自始至终是在为别的设备服务。

在这个循环中，主要涉及 8 个重量级函数，先点明它们的角色分工。

第一个函数，usb_alloc_dev()，一个 struct usb_device 结构体指针，申请内存，这个结构体指针可不是为 Hub 准备的，它正是为了 Hub 这个端口所接的设备而申请的，别忘了我们此时此刻的上下文，之所以进入这个循环，是因为我们的 Hub 检测到某个端口有设备连接，所以，Hub 驱动就义不容辞地要为该设备做点什么。

第二个函数，usb_set_device_state()，这个函数用来设置设备的状态，在 struct usb_device 结构体中，有一个成员 enum usb_device_state state，这一刻会把这个设备的状态设置为 USB_STATE_POWERED，即上电状态。

第三个函数，choose_address()，为设备选择一个地址。后面会用实例来查看效果。

第四个函数，hub_port_init()，端口初始化，主要就是前面所讲的获取设备的描述符。

第五个函数，usb_get_status()，这个函数是专门为 Hub 准备的，不是为当前的这个 Hub，而是说当前 Hub 的这个端口上连接的如果又是 Hub，那么和连接普通设备就不一样。

第六个函数，check_highspeed()，不同速度的设备，当然待遇不一样。

第七个函数，usb_new_device()。寻找驱动程序，调用驱动程序的 probe，跟踪这个函数就能一直到设备驱动程序的 probe()函数的调用。

第八个函数，hub_power_remaining()，电源管理。

下面就让我们来逐个看一看这八个函数。不过因为 usb_alloc_dev()函数作为设备生命线的开端，已经在 USB Core 部分中讲过了，所以这里从第二个函数 usb_set_device_state()开始。

usb_set_device_state()在 drivers/usb/core/hub.c 文件中定义，鉴于 drivers/usb/core/hub.c“出镜频率”过高，从此以后在 Hub 部分里，凡是出自 drivers/usb/core/hub.c 这个文件的函数，将不再介绍其来源，这个就当是默认的位置。

```
1062 void usb_set_device_state(struct usb_device *udev,
1063               enum usb_device_state new_state)
1064 {
1065    unsigned long flags;
1066
1067    spin_lock_irqsave(&device_state_lock, flags);
1068    if (udev->state == USB_STATE_NOTATTACHED)
1069        ;      /* do nothing */
1070    else if (new_state != USB_STATE_NOTATTACHED) {
1071
1072        /* root hub wakeup capabilities are managed out-of-band
1073         * and may involve silicon errata ... ignore them here.
1074         */
1075    if (udev->parent) {
```

```
1076            if (udev->state == USB_STATE_SUSPENDED
1077                || new_state == USB_STATE_SUSPENDED)
1078                ;       /* No change to wakeup settings */
1079            else if (new_state == USB_STATE_CONFIGURED)
1080                device_init_wakeup(&udev->dev,
1081                                   (udev->actconfig->desc.bmAttributes
1082                                   & USB_CONFIG_ATT_WAKEUP));
1083            else
1084                device_init_wakeup(&udev->dev, 0);
1085        }
1086        udev->state = new_state;
1087    } else
1088        recursively_mark_NOTATTACHED(udev);
1089    spin_unlock_irqrestore(&device_state_lock, flags);
1090 }
```

这个函数不是很长，问题是，这个函数中又调用了别的函数。

USB_STATE_NOTATTACHED 的意思是设备已经断开了，这种情况当然什么也不用做。

因为在 usb_alloc_dev 设置了等于 USB_STATE_ATTACHED，所以继续往下看，对于 new_state，结合实参看一下，传递的是 USB_STATE_POWERED，Root Hub 另有管理方式，这里首先处理非 Root Hub 的情况，如果原来就是 USB_STATE_SUSPENDED，现在还设置 USB_STATE_SUSPENDED，那么什么也不用做。如果新的状态要被设置为 USB_STATE_CONFIGURED，那么调用 device_init_wakeup()，初始化唤醒。

要认识 device_init_wakeup()，首先需要知道两个概念：can_wakeup 和 should_wakeup。这两个家伙从哪里来的？看 struct device 结构体，里面有一个成员 struct dev_pm_info power，来看一看 struct dev_pm_info，来自 include/linux/pm.h 文件：

```
265 struct dev_pm_info {
266     pm_message_t          power_state;
267     unsigned             can_wakeup:1;
268 #ifdef  CONFIG_PM
269     unsigned             should_wakeup:1;
270     pm_message_t          prev_state;
271     void                 * saved_state;
272     struct device         * pm_parent;
273     struct list_head      entry;
274 #endif
275 };
```

这些都是电源管理部分的核心数据结构，显然，我们没有必要深入研究，只是需要知道，can_wakeup 为 1 时表明一个设备可以被唤醒，设备驱动为了支持 Linux 中的电源管理，有责任调用 device_init_wakeup()来初始化 can_wakeup。而 should_wakeup 则是在设备的电源状态发生变化时被 device_may_wakeup()用来测试，测试它该不该变化。因此，can_wakeup 表明的是一种能力，should_wakeup 表明的是有了这种能力以后去不去做某件事。

我们给 device_init_wakeup()传递的参数是这个设备，以及配置描述符中的 bmAttributes&USB_CONFIG_ATT_WAKEUP。这是因为，spec 中的 Table 9-10 规定了，bmAttributes 的 D5 表明的就是一个 USB 设备是否具有被唤醒的能力。而 USB_CONFIG_ATT_WAKEUP 被定义为 1<<5，所以这里比较的就是 D5 是否为 1，为 1 就是说：“我能”。

1083 行中 else 的意思是，如果设备将要被设置的新状态又不是 USB_STATE_CONFIGUERD，那么就执行这里的 device_init_wakeup，这里第二个参数传递的是 0，也就是说，先不打开这个设备的 wakeup 能力。这个上下文就是这种情况，刚刚才说到，咱们的新状态就是 USB_

STATE_POWERED。

直到 1086 行，才正式把状态设置为新的状态，对于这里的这个上下文，那就是 USB_STATE_POWERED。

1087 行中又是一个 else，很显然，这个 else 的意思就是原来的状态不是 USB_STATE_NOTATTACHED，而现在要设置成 USB_STATE_NOTATTACHED。这又是一个递归函数。其作用就是像其名字中所说的那样，递归地把各设备都设置成 NOTATTACHED 状态。

```
1028 static void recursively_mark_NOTATTACHED(struct usb_device *udev)
1029 {
1030     int i;
1031
1032     for (i = 0; i < udev->maxchild; ++i) {
1033         if (udev->children[i])
1034             recursively_mark_NOTATTACHED(udev->children[i]);
1035     }
1036     if (udev->state == USB_STATE_SUSPENDED)
1037         udev->discon_suspended = 1;
1038     udev->state = USB_STATE_NOTATTACHED;
1039 }
```

这段代码真的是太简单了，属于递归函数的经典例子。就是每一个设备遍历自己的子节点，一个个地调用 recursively_mark_NOTATTACHED()函数，把其 state 设置为 USB_STATE_NOTATTACHED。如果设备的状态处于 USB_STATE_SUSPENDED，那么设置 udev->discon_suspended 为 1，struct usb_device 中的一个成员 unsigned discon_suspended，其含义很明显，表示 Disconnected while suspended。这里进行设置后，暂时我们还不知道有什么用，不过到时候我们就会在电源管理部分的代码里看到判断这个 flag 了，很显然，设置了这个 flag 就会阻止 suspend 相关的代码被调用。

19．八大重量级函数闪亮登场（二）

在介绍第三个函数前，先看看 2492 行至 2494 行这三行代码对 udev 中的 speed、bus_mA、level 进行赋值。

先说 bus_mA，struct usb_device 中的成员 unsigned short bus_mA 记录的是能够从总线上获得的电流，毫无疑问，就是咱们前面算出来的 Hub 上的那个 mA_per_port。

Level 即级别，表示 USB 设备树的级联关系。Root Hub 的 level 就是 0，其下面一层就是 level 1，再下面一层就是 level 2，依此类推。

然后说 speed，include/linux/usb/ch9.h 中定义了这么一个枚举类型的变量：

```
548 /* USB 2.0 defines three speeds, here's how Linux identifies them */
549
550 enum usb_device_speed {
551     USB_SPEED_UNKNOWN = 0,              /* enumerating */
552     USB_SPEED_LOW, USB_SPEED_FULL,        /* usb 1.1 */
553     USB_SPEED_HIGH,                     /* usb 2.0 */
554     USB_SPEED_VARIABLE,                 /* wireless (usb 2.5) */
555 };
```

很明显的含义，用来标志设备的速度。众所周知，USB 设备有三种速度：低速、全速及高速。USB 1.1 只有低速和全速，后来才出现了高速，高速就是所谓的 480 MB/s，不过细心的你或许注意到这里还有一个 USB_SPEED_VARIABLE。

2005 年 5 月，Intel 等公司推出了 Wireless USB spec 1.0 版，即所谓的无线 USB 技术，这个 USB 技术也称为 USB 2.5。无线技术的推出必然会使设备的速度不再稳定，当年这个标准推出时是号称在 3 米范围内，能够提供 480 MB/s 的理论传输速度，而在 10 米范围左右出现递减，据说是 10 米内变为 110 MB/s。那时正值英特尔在中国成立 20 周年，所以中国的员工每人发了一个无线 USB 鼠标。其实就是一个 USB 接头，接在计算机的 USB 端口上，而鼠标一头没有线，鼠标和接头之间的通信是无线的，使用蓝牙技术。总之，这里的变量 usb_device_speed 就是用来表示设备速度的，在现阶段还不知道这个设备究竟是什么速度，所以先设置为 UNKNOWN。等到知道了以后再进行真正的设置。

下面介绍第三个函数，choose_address()。

这个函数的目的就是为设备选择一个地址。很显然，要通信，就要有地址，你要给人写信，首先就要知道人家的通信地址，或者电子邮箱地址。

```
1132 static void choose_address(struct usb_device *udev)
1133 {
1134     int           devnum;
1135     struct usb_bus  *bus = udev->bus;
1136
1137     /* If khubd ever becomes multithreaded, this will need a lock */
1138
1139     /* Try to allocate the next devnum beginning at bus->devnum_next. */
1140     devnum = find_next_zero_bit(bus->devmap.devicemap, 128,
1141                 bus->devnum_next);
1142     if (devnum >= 128)
1143         devnum = find_next_zero_bit(bus->devmap.devicemap, 128, 1);
1144
1145     bus->devnum_next = ( devnum >= 127 ? 1 : devnum + 1);
1146
1147     if (devnum < 128) {
1148         set_bit(devnum, bus->devmap.devicemap);
1149         udev->devnum = devnum;
1150     }
1151 }
```

那么现在是时候让我们来认识 USB 子系统中关于地址的游戏规则了。而在 USB 世界里，一条总线就是一棵大树，一个设备就是一片叶子。为了记录这棵树上的每一片叶子节点，每条总线设有一个地址映射表，即 struct usb_bus 结构体里有一个成员 struct usb_devmap devmap。

```
269 struct usb_devmap {
270     unsigned long devicemap[128 / (8*sizeof(unsigned long))];
271 };
```

同时，struct usb_bus 结构体中还有一个成员——int devnum_next，在总线初始化时，其 devnum_next 被设置为 1，而在 struct usb_device 中有一个 int devnum，这个 choose_address 函数的基本思想就是一个轮询的算法。

我们来介绍这段代码背后的思想。首先，bus 上面有这么一张表，假设 unsigned long=4Bytes，那么 unsigned long devicemap[128/(8*sizeof(unsigned long))] 就等价于 unsigned long devicemap[128/(8*4)]，进而等价于 unsigned long devicemap[4]，而 4Bytes 就是 32bits，因此，

这个数组最终表示的就是 128bits。而这也对应于一条总线可以连接 128 个 USB 设备。之所以这里使用 sizeof(unsigned long)，就是为了跨平台应用，不管 unsigned long 到底是什么，总之，这个 devicemap 数组最终可以表示 128 位。

在 128bits 里，每加入一个设备，就先找到下一位为 0 的 bit，然后把该 bit 设置为 1，同时把 struct usb_device 中的 devnum 设置为该数字，比如，我们找到第 19 位为 0，那么就把 devnum 设置为 19，同时把 bit 19 设置为 1，而 struct usb_bus 中的 devnum_next 就设置为 20。

那么，所谓轮询，即如果这个编号超过了 128 位，就从 1 开始继续搜索，因为也许开始那段的号码原来分配给某个设备，但后来这个设备撤掉了，所以这个号码将被设置为 0，于是再次可用。

弄清楚了这些基本思想后，我们再来看代码就很简单了。

find_next_zero_bit()的意思很明显，名字解释了一切。不同的体系结构提供了不同的函数实现，比如 i386，这个函数就定义于 arch/i386/lib/bitops.c 中，而 x86_64 位则对应于 arch/x86_64/lib/bitops.c 中，利用这个函数就可以找到这 128 位中下一个为 0 的那一位。这个函数的第三个参数表示从哪里开始寻找，我们注意到第一次是从 devnum_next 开始找，如果最终返回值“暴掉”了(大于或者等于 128)，那么就从 1 开始再找一次。而 bus->devnum_next 也是按我们说的那样设置，正常就是 devnum+1，但如果 devnum 已经达到 127 了，那么就从头再来，设置为 1。

如果 devnum 正常，就把 bus 中的 device map 中的那一位设置为 1，同时把 udev->devnum 设置为 devnum。然后这个函数就可以返回了。如果 128bits 都被占用了，devnum 就将是 0 或者负的错误码，于是 choose_address 返回之后，我们就要进行判断。

20．八大重量级函数闪亮登场（三）

接下来我们来到了第四个函数 hub_port_init()，这个函数和接下来要遇到的 usb_new_device()是最重要的两个函数，也是相对复杂的函数。

```
2105 static int
2106 hub_port_init (struct usb_hub *hub, struct usb_device *udev, int port1,
2107                int retry_counter)
2108 {
2109     static DEFINE_MUTEX(usb_address0_mutex);
2110
2111     struct usb_device       *hdev = hub->hdev;
2112     int                     i, j, retval;
2113     unsigned                delay = HUB_SHORT_RESET_TIME;
2114     enum usb_device_speed   oldspeed = udev->speed;
2115     char                    *speed, *type;
2116
2117     /* root hub ports have a slightly longer reset period
2118      * (from USB 2.0 spec, section 7.1.7.5)
2119      */
2120     if (!hdev->parent) {
2121         delay = HUB_ROOT_RESET_TIME;
2122         if (port1 == hdev->bus->otg_port)
2123             hdev->bus->b_hnp_enable = 0;
```

```
2124    }
2125
2126    /* Some low speed devices have proble ms with the quick delay, so */
2127    /*  be a bit pessimistic with those devices. RHbug #23670 */
2128    if (oldspeed == USB_SPEED_LOW)
2129        delay = HUB_LONG_RESET_TIME;
2130
2131    mutex_lock(&usb_address0_mutex);
2132
2133    /* Reset the device; full speed may morph to high speed */
2134    retval = hub_port_reset(hub, port1, udev, delay);
2135    if (retval < 0)       /* error or disconnect */
2136        goto fail;
2138    retval = -ENODEV;
2139
2140    if (oldspeed != USB_SPEED_UNKNOWN && oldspeed != udev->speed) {
2141        dev_dbg(&udev->dev, "device reset changed speed!\n");
2142        goto fail;
2143    }
2144    oldspeed = udev->speed;
2145
2146    /* USB 2.0 section 5.5.3 talks about ep0 maxpacket ...
2147     * it's fixed size except for full speed devices.
2148     * For Wireless USB devices, ep0 max packet is always 512 (tho
2149     * reported as 0xff in the device descriptor). WUSB1.0[4.8.1].
2150     */
2151    switch (udev->speed) {
2152    case USB_SPEED_VARIABLE:       /* fixed at 512 */
2153        udev->ep0.desc.wMaxPacketSize = __constant_cpu_to_le16(512);
2154        break;
2155    case USB_SPEED_HIGH:          /* fixed at 64 */
2156        udev->ep0.desc.wMaxPacketSize = __constant_cpu_to_le16(64);
2157        break;
2158    case USB_SPEED_FULL:          /* 8, 16, 32, or 64 */
2159        /* to determine the ep0 maxpacket size, try to read
2160         * the device descriptor to get bMaxPacketSize0 and
2161         * then correct our initial guess.
2162         */
2163        udev->ep0.desc.wMaxPacketSize = __constant_cpu_to_le16(64);
2164        break;
2165    case USB_SPEED_LOW:           /* fixed at 8 */
2166        udev->ep0.desc.wMaxPacketSize = __constant_cpu_to_le16(8);
2167        break;
2168    default:
2169        goto fail;
2170    }
2171
2172    type = "";
2173    switch (udev->speed) {
2174    case USB_SPEED_LOW:    speed = "low";  break;
2175    case USB_SPEED_FULL:   speed = "full"; break;
2176    case USB_SPEED_HIGH:   speed = "high"; break;
2177    case USB_SPEED_VARIABLE:
2178    speed = "variable";
2179        type = "Wireless ";
2180        break;
2181    default:             speed = "?";   break;
2182    }
2183    dev_info (&udev->dev,
2184            "%s %s speed %sUSB device using %s and address %d\n",
2185            (udev->config) ? "reset" : "new", speed, type,
2186            udev->bus->controller->driver->name, udev->devnum);
2187
2188    /* Set up TT records, if needed  */
```

```
2189    if (hdev->tt) {
2190        udev->tt = hdev->tt;
2191        udev->ttport = hdev->ttport;
2192    } else if (udev->speed != USB_SPEED_HIGH
2193                && hdev->speed == USB_SPEED_HIGH) {
2194        udev->tt = &hub->tt;
2195        udev->ttport = port1;
2196    }
2197
2198    /* Why interleave GET_DESCRIPTOR and SET_ADDRESS this way?
2199     * Because device hardware and firmware is sometimes buggy in
2200     * this area, and this is how Linux has done it for ages.
2201     * Change it cautiously.
2202     *
2203     * NOTE:  If USE_NEW_SCHEME() is true we will start by issuing
2204     * a 64-Byte GET_DESCRIPTOR request.  This is what Windows does,
2205     * so it may help with some non-standards-compliant devices.
2206     * Otherwise we start with SET_ADDRESS and then try to read the
2207     * first 8 Bytes of the device descriptor to get the ep0 maxpacket
2208     * value.
2209     */
2210    for (i = 0; i < GET_DESCRIPTOR_TRIES; (++i,  msleep(100))) {
2211        if (USE_NEW_SCHEME(retry_counter)) {
2212            struct usb_device_descriptor *buf;
2213            int r = 0;
2214
2215 #define GET_DESCRIPTOR_BUFSIZE  64
2216            buf = kmalloc(GET_DESCRIPTOR_BUFSIZE, GFP_NOIO);
2217            if (!buf) {
2218                retval = -ENOMEM;
2219                continue;
2220            }
2221
2222            /* Retry on all errors; some devices are flakey.
2223             * 255 is for WUSB devices, we actually need to use
2224             * 512 (WUSB1.0[4.8.1]).
2225             */
2226            for (j = 0; j < 3; ++j) {
2227                buf->bMaxPacketSize0 = 0;
2228                r = usb_control_ msg(udev, usb_rcvaddr0pipe(),
2229                                USB_REQ_GET_DESCRIPTOR,USB_DIR_IN,
2230                                   USB_DT_DEVICE << 8, 0,
2231                                   buf, GET_DESCRIPTOR_BUFSIZE,
2232                                   USB_CTRL_GET_TIMEOUT);
2233                switch (buf->bMaxPacketSize0) {
2234                case 8: case 16: case 32: case 64: case 255:
2235                    if (buf->bDescriptorType ==
2236                                USB_DT_DEVICE) {
2237                        r = 0;
2238                        break;
2239                    }
2240                    /* FALL THROUGH */
2241                default:
2242                    if (r == 0)
2243                        r = -EPROTO;
2244                    break;
2245                }
2246                if (r == 0)
2247                    break;
2248            }
2249            udev->descriptor.bMaxPacketSize0 =
2250                                buf->bMaxPacketSize0;
2251            kfree(buf);
2252
```

```
2253            retval = hub_port_reset(hub, port1, udev, delay);
2254            if (retval < 0)         /* error or disconnect */
2255                goto fail;
2256            if (oldspeed != udev->speed) {
2257                dev_dbg(&udev->dev,
2258                        "device reset changed speed!\n");
2259                retval = -ENODEV;
2260                goto fail;
2261            }
2262        if (r) {
2263                dev_err(&udev->dev, "device descriptor "
2264                                    "read/%s, error %d\n",
2265                                "64", r);
2266                retval = -EMSGSIZE;
2267                continue;
2268            }
2269 #undef GET_DESCRIPTOR_BUFSIZE
2270        }
2271
2272    for (j = 0; j < SET_ADDRESS_TRIES; ++j) {
2273            retval = hub_set_address(udev);
2274            if (retval >= 0)
2275                break;
2276             msleep(200);
2277        }
2278        if (retval < 0) {
2279            dev_err(&udev->dev,
2280                "device not accepting address %d, error %d\n",
2281                    udev->devnum, retval);
2282            goto fail;
2283        }
2284
2285        /* cope with hardware quirkiness:
2286         *  - let SET_ADDRESS settle, some device hardware wants it
2287         *  - read ep0 maxpacket even for high and low speed,
2288         */
2289         msleep(10);
2290        if (USE_NEW_SCHEME(retry_counter))
2291            break;
2292
2293        retval = usb_get_device_descriptor(udev, 8);
2294        if (retval < 8) {
2295            dev_err(&udev->dev, "device descriptor "
2296                                "read/%s, error %d\n",
2297                                "8", retval);
2298        if (retval >= 0)
2299                retval = -EMSGSIZE;
2300        } else {
2301            retval = 0;
2302            break;
2303        }
2304    }
2305    if (retval)
2306        goto fail;
2307
2308    i = udev->descriptor.bMaxPacketSize0 == 0xff?
2309                512 : udev->descriptor.bMaxPacketSize0;
2310    if (le16_to_cpu(udev->ep0.desc.wMaxPacketSize) != i) {
2311        if (udev->speed != USB_SPEED_FULL ||
2312                    !(i == 8 || i == 16 || i == 32 || i == 64)) {
2313            dev_err(&udev->dev, "ep0 maxpacket = %d\n", i);
2314            retval = -EMSGSIZE;
2315            goto fail;
2316        }
```

```
2317        dev_dbg(&udev->dev, "ep0 maxpacket = %d\n", i);
2318        udev->ep0.desc.wMaxPacketSize = cpu_to_le16(i);
2319        ep0_reinit(udev);
2320    }
2321
2322    retval = usb_get_device_descriptor(udev, USB_DT_DEVICE_SIZE);
2323    if (retval < (signed)sizeof(udev->descriptor)) {
2324        dev_err(&udev->dev, "device descriptor read/%s, error %d\n",
2325                    "all", retval);
2326        if (retval >= 0)
2327            retval = -ENOMSG;
2328        goto fail;
2329    }
2330
2331    retval = 0;
2332
2333 fail:
2334    if (retval)
2335        hub_port_disable(hub, port1, 0);
2336    mutex_unlock(&usb_address0_mutex);
2337    return retval;
2338 }
```

hub_port_init()函数的基本思想就是做初始化，首先把一个设备复位（reset），然后分配地址，接着获得设备描述符。

DEFINE_MUTEX 是来自 include/linux/mutex.h 中的一个宏，用它可以定义一把互斥锁，在 Linux 内核中，其实是在 2005 年底才建立比较系统、完善的互斥锁机制，在那年冬天，来自 RedHat 公司的 Ingo Molnar 大胆地提出了他所谓的 Generic Mutex Subsystem，即通用的互斥锁机制。此前内核中很多地方使用的都是信号量，而当时间的箭头指向了 2005 年末时，“区里”(开源社区，下称区里)很多人抱怨说信号量不灵，很多时候不好用，当然“区里”为这事展开了一场轰轰烈烈的讨论。

老黑客 Ingo Molnar 受不了了，在一周之后，愤然提出要对内核进行一场大的革命。当时 Ingo 提出了诸多理由要求使用新的互斥锁机制，而不是过去普遍出现在内核中的信号量机制，比如新的机制占用更小的内存，代码更紧凑、更快、更便于调试。在诸多优势的诱惑下，“区里”的成员将信将疑地便认可了这种做法。

忽如一夜春风来，在紧接着的几个月里，人们纷纷提交 patch，把原来用信号量的地方都改成了互斥锁。而这种改变深入到 Linux 中 USB 子系统是始于 2006 年春天 Greg 将 USB 的代码中绝大多数的信号量代码换成了互斥锁代码。所以到今天，在 2.6.22 内核的代码中，整个 USB 子系统里几乎没有 down/up 这一对函数的使用，取而代之的是 mutex_lock()和 mutex_unlock()函数对。而要初始化，只需像我们这里一样用 DEFINE_MUTEX(name)即可。关于这个新的互斥锁，其定义在 include/linux/mutex.h 中，而实现在 kernel/mutex.c 中。

我们继续往下看。hdev 被定义用来记录 Hub 所对应的 struct usb_device，而 delay 记录延时，因为 USB 设备的 reset 工作不可能是瞬间完成的，通常会有一点点延时，这很容易理解，计算机永远不可能说你按一下 reset 键就立刻能够重新启动并马上就能重新工作的，这里首先给 delay 设置的初始值为 10 ms，即 HUB_SHORT_RESET_TIME 宏被定义为 10 ms。这个 10 ms 的来源是 spec 中 7.1.7.5 节 Reset Signaling 里面说的，“The reset signaling must be driven for a minumum of 10 ms”，这个 10 ms 在 spec 中称为 TDRST。一个 Hub 端口在 reset 之后将进入 Enabled 状态。

然后定义一个 oldspeed 用来记录设备在没有 reset 之前的速度。

2120 行，只有 Root Hub 没有父亲，而 spec 里说得很清楚，“It is required that resets from root ports have a duration of at least 50 ms”，这个 50 ms 被称为 TDRSTR。即 HUB_ROOT_RESET_TIME 宏被定义为 50 ms。

2122 行和 2123 行是 OTG 相关的，HNP 是 OTG 标准所支持的协议，HNP 即 Host Negotiation Protocol，俗称主机通令协议。咱们既然不关注 OTG，那么这里也就不做解释了，以免把问题复杂化了。

2128 行，这两行代码来源于实践。实践表明，某些低速设备要求有比较高的延时才能完成好它们的 reset，这很简单，286 的机器重启肯定比奔腾 4 的机器要慢。

调用 mutex_lock 获得互斥锁，即表明下面这段代码一个时间只能被一个进程执行。然后调用 hub_port_reset()。

```
1509 static int hub_port_reset(struct usb_hub *hub, int port1,
1510                            struct usb_device *udev, unsigned int delay)
1511 {
1512     int i, status;
1513
1514     /* Reset the port */
1515     for (i = 0; i < PORT_RESET_TRIES; i++) {
1516         status = set_port_feature(hub->hdev,
1517                         port1, USB_PORT_FEAT_RESET);
1518         if (status)
1519             dev_err(hub->intfdev,
1520                             "cannot reset port %d (err = %d)\n",
1521                             port1, status);
1522         else {
1523             status = hub_port_wait_reset(hub, port1, udev, delay);
1524             if (status && status != -ENOTCONN)
1525                 dev_dbg(hub->intfdev,
1526                         "port_wait_reset: err = %d\n",
1527                         status);
1528         }
1529
1530         /* return on disconnect or reset */
1531         switch (status) {
1532         case 0:
1533             /* TRSTRCY = 10  ms; plus some extra */
1534              msleep(10 + 40);
1535             /* FALL THROUGH */
1536         case -ENOTCONN:
1537         case -ENODEV:
1538             clear_port_feature(hub->hdev,
1539                         port1, USB_PORT_FEAT_C_RESET);
1540             /* FIXME need disconnect() for NOTATTACHED device */
1541             usb_set_device_state(udev, status
1542                                 ? USB_STATE_NOTATTACHED
1543                                 : USB_STATE_DEFAULT);
1544             return status;
1545         }
1546
1547         dev_dbg (hub->intfdev,
1548                 "port %d not enabled, trying reset again...\n",
1549                 port1);
1550         delay = HUB_LONG_RESET_TIME;
1551     }
1552
1553     dev_err (hub->intfdev,
1554             "Cannot enable port %i.  Maybe the USB cable is bad?\n",
1555             port1);
```

```
1556
1557    return status;
1558 }
```

至此，有一个函数不得不提到就是 set_port_feature 函数。其实之前我们遇见过，只是因为当时属于可讲可不讲，所以就先跳过去了。我们前面讲过它的搭档 clear_port_feature，所以我不讲你也应该知道 set_port_feature()的用途。很显然，一个是清除 feature，一个是设置 feature。Linux 中很多这种成对的函数，刚才讲的 mutex_lock()和 mutex_unlock()就是这样一对函数。

```
172 /*
173  * USB 2.0 spec Section 11.24.2.13
174  */
175 static int set_port_feature(struct usb_device *hdev, int port1, int feature)
176 {
177     return usb_control_ msg(hdev, usb_sndctrlpipe(hdev, 0),
178             USB_REQ_SET_FEATURE, USB_RT_PORT, feature, port1,
179             NULL, 0, 1000);
180 }
```

看明白了 clear_port_feature()的读者一定不会觉得这个函数难以理解。发送一个控制请求，设置一个 feature，这里传递进来的 feature 是 USB_PORT_FEAT_RESET，即对应于 spec 中的 reset。发送完之后就延时等待，调用 hub_port_wait_reset()：

```
1457 static int hub_port_wait_reset(struct usb_hub *hub, int port1,
1458                             struct usb_device *udev, unsigned int delay)
1459 {
1460    int delay_time, ret;
1461    u16 portstatus;
1462    u16 portchange;
1463
1464    for (delay_time = 0;
1465            delay_time < HUB_RESET_TIMEOUT;
1466                delay_time += delay) {
1467        /* wait to give the device a chance to reset */
1468         msleep(delay);
1469
1470    /* read and decode port status */
1471    ret = hub_port_status(hub, port1, &portstatus, &portchange);
1472        if (ret < 0)
1473            return ret;
1474
1475        /* Device went away? */
1476        if (!(portstatus & USB_PORT_STAT_CONNECTION))
1477            return -ENOTCONN;
1478
1479        /* bomb out completely if something weird happened */
1480        if ((portchange & USB_PORT_STAT_C_CONNECTION))
1481        return -EINVAL;
1482
1483        /* if we`ve finished resetting, then break out of the loop */
1484        if (!(portstatus & USB_PORT_STAT_RESET) &&
1485            (portstatus & USB_PORT_STAT_ENABLE)) {
1486            if (hub_is_wusb(hub))
1487                udev->speed = USB_SPEED_VARIABLE;
1488            else if (portstatus & USB_PORT_STAT_HIGH_SPEED)
1489                udev->speed = USB_SPEED_HIGH;
1490            else if (portstatus & USB_PORT_STAT_LOW_SPEED)
1491                udev->speed = USB_SPEED_LOW;
1492            else
1493                udev->speed = USB_SPEED_FULL;
```

```
1494            return 0;
1495        }
1496
1497    /* switch to the long delay after two short delay failures */
1498        if (delay_time >= 2 * HUB_SHORT_RESET_TIME)
1499            delay = HUB_LONG_RESET_TIME;
1500
1501        dev_dbg (hub->intfdev,
1502                "port %d not reset yet, waiting %d ms\n",
1503                port1, delay);
1504    }
1505
1506    return -EBUSY;
1507 }
```

这里 HUB_RESET_TIMEOUT 是设置一个超时，这个宏的值为 500ms，即如果“reset”用了 500ms 还没好，那么就返回错误值。而循环的步长正是我们前面设置的那个 delay。

msleep(delay)就是休眠 delay 毫秒（ms）。

休眠完了就读取端口的状态。hub_port_status()的用途在前面讲过了，即获得端口状态。错误就返回错误码，正确就把信息记录在 portstatus 和 portchange 里。

1476 行用于判断，如果在 reset 期间的设备都被撤掉了，那就返回。

1480 行用于判断，如果又一次汇报说有设备插入，那就返回错误。

正如刚才说过的，reset 真正完成以后，status 就应该是 enabled，所以 1484 行和 1485 行的 if 如果满足，就说明 reset 好了。

1486 行的 if 是判断是否一个无线 Root Hub，即既是 Root Hub，又是无线 Hub，因为在 struct usb_hcd 中有一个成员 unsigned wireless，这个 flag 标志了该主机控制器是 Wireless 的。如果是 Wireless，speed 就是 USB_SPEED_VARIABLE。

否则，如果 portstatus 和 USB_PORT_STAT_HIGH_SPEED 相与的结果为 1，则是高速设备，如果与 USB_PORT_STAT_LOW_SPEED 相与的结果为 1，则是低速设备，剩下的可能就是全速设备。到这里，这个 hub_port_wait_reset 就可以返回了，正常返回值为 0。注意，经过这里 udev 的 speed 就被设置好了。

1497 行和 1498 行，进行到这里就说明还没有“reset”好。如果已经过了两个 HUB_SHORT_RESET_TIME，就把步长设置为 HUB_LONG_RESET_TIME，即 200 ms，然后打印一条警告信息，继续循环，如果循环完全结束后还不行，那就说明超时了，返回-EBUSY。

回到 hub_port_reset，下面走到了 1531 行，一个 switch，根据刚才的返回值做一次选择，如果结果为 0，说明正常，为了安全起见，索性再等 50 ms。如果是错误码，并且错误码表明设备不在了，则首先清掉 reset 这个 feature，然后把这个为刚才这个设备申请的 struct usb_device 结构体的状态设置为 USB_STATE_NOTATTACHED 并且返回 status。

在 switch 里面，如果 status 为 0，那么由于 case 0 那一部分后面的 break 语句，case –ENOTCONN 和 case –ENODEV 下面的那几句代码都会执行，即 clear_port_feature 是总会执行的，usb_set_device_state()也会执行，而对于 status 为 0 的情况，属于正常情况。从这时开始，struct usb_device 结构体的状态就将记录为 USB_STATE_DEFAULT，即所谓的默认状态，然后返回值就是 0。而对于端口 reset，我们设置的重复次数是 PORT_RESET_TRIES，它等于 5，你当然可以把它改为 1。只要你对自己的设备够自信，一次 reset 就肯定成功。

如果 1553 行还会执行，那么说明肯定出了大问题了，reset 都没法进行，于是返回错误状态。

回到 hub_init_port()中，如果刚才失败了，就 goto fail，否则也暂时将 retval 这个临时变量设置为-ENODEV。而 2140 行，如果 oldspeed 不是 USB_SPEED_UNKNOWN，并且也不等于刚刚设置的 speed，那么说明 reset 之前设备已经在工作了，而这次 reset 把设备原来的速度状态也给改变了。这是不合理的，必须结束函数，并且 disable 这个端口。于是 goto fail，而在 fail 那边可以看到，由于 retval 不为 0，所以调用 hub_port_disable()关掉这个端口。然后释放互斥锁，并且返回错误代码。

2144 行，如果不是刚才这种情况，那么令 oldspeed 等于现在这个 udev->speed。

2151 行开始，又是一个 switch，感觉这一段代码的选择出现得太多了。

其实这里是设置一个初始值，我们曾经介绍过 ep0。ep0.desc.wMaxPacketSizep0.desc.wMaxPacketSize 用来记录端点 0 的单个包的最大传输 size。对于无线设备，无线 USB spec 规定了，端点 0 的最大包 size 就是 512Bytes，而对于高速设备，这个也是 USB spec 规定好了，即 64Bytes，而低速设备同样是 USB spec 规定好了，8Bytes。唯一存在变数的是全速设备，它可能是 8Bytes，可能是 16Bytes，可能是 32Bytes，也可能是 64Bytes，对于这种设备，只能通过读取设备描述符来获得了。正如我们说过的，Linux 向 Windows 妥协了，这里全速的设备，默认先把 wMaxPacketSize 设置为 64Bytes，而不是以前的那种 8Bytes。

2172 行至 2186 行，仅仅是为了打印一行调试信息，对于写代码的人来说，可能很有用，而对读代码的人来说，也许就没有任何意义了。

```
    Sep  9 11:32:49 localhost kernel: usb 4-5: new high speed USB device using ehci_hcd
and address 3
    Sep  9 11:32:52 localhost kernel: usb 2-1: new low speed USB device using uhci_hcd
and address 3
```

比如在我的计算机里，就可以在/var/log/messages 日志文件中看到上面这样的信息。ehci_hcd 和 uhci_hcd 就是主机控制器的驱动程序，3 就是设备的 devnum。

2189 行，不是 switch 而是 if，除了判断还是判断，只不过刚才是选择，现在是如果，这里如果 hdev->tt 为真，则如何如何，否则，如果设备本身不是高速的，而 hub 是高速的，那么如何如何。tt 我们介绍过即 transaction translator，而 ttport 是 struct usb_device 中的一个成员，int ttport，这个 ttport 以后会被用到，tt 也将在以后会被用到，暂时先不细说，到时候再回来看。

GET_DESCRIPTOR_TRIES 等于 2，这段代码的思想我们以前就讲过，USB_NEW_SCHEME(retry_counter)，retry_counter 就是 hub_port_init()传递进来的最后一个参数，而我们给它的实参正是从 0 到 SET_CONFIG_TRIES-1 的 *i*。假设我们什么也没有设置，都是使用默认值，那么 use_both_schemes 默认值为 1，而 old_scheme_first 默认值为 0，于是 SET_CONFIG_TRIES 为 4，即 *i* 将从 0 变到 3，而 USB_NEW_SCHEME(*i*)将在 *i* 为 0 和 1 时为 1，在 *i* 为 2 和 3 时为 0。所以，先进行两次新的策略，如果不行就再进行两次旧的策略。所有这一切只有一个目的，就是为了获得设备的描述符。由于思想介绍已经非常清楚，代码我们就不再一行一行讲了。尤其是那些错误判断的句子。

只是介绍其中调用的几个函数。对于新策略，首先定义一个 struct usb_device_descriptor 的指针 buf，然后申请 64 个字节的空间，发送一个控制传输的请求，结束之后，查看 buf->bMaxPackSize0，合理值只有 8/16/32/64/512。这里的 255 实际上是 WUSB 协议规定的，毕竟只有 8 位，最大就是 255 了，所以就用这个值来代表 WUSB 设备。实际上 WUSB 的大小是 512。循环三次是为了保险起见，因为实践表明这类请求通常成功率很难达到 100%。

2249 行用 udev->descriptor.bMaxPacketSize0 来记录这个临时获得的值。然后 buf 的使命结束了，释放它的内存。

正如我们曾经分析的那样，把设备 reset。

接下来是设置地址，hub_set_address()：

```
2076 static int hub_set_address(struct usb_device *udev)
2077 {
2078     int retval;
2079
2080     if (udev->devnum == 0)
2081         return -EINVAL;
2082     if (udev->state == USB_STATE_ADDRESS)
2083         return 0;
2084     if (udev->state != USB_STATE_DEFAULT)
2085         return -EINVAL;
2086     retval = usb_control_ msg(udev, usb_sndaddr0pipe(),
2087               USB_REQ_SET_ADDRESS, 0, udev->devnum, 0,
2088               NULL, 0, USB_CTRL_SET_TIMEOUT);
2089     if (retval == 0) {
2090         usb_set_device_state(udev, USB_STATE_ADDRESS);
2091         ep0_reinit(udev);
2092     }
2093     return retval;
2094 }
```

和前面的 choose_address 不同，choose_address 是从软件意义上挑选一个地址。而这里要发送真正的请求，因为设置设备地址本身就是 spec 规定的标准的请求之一，这里我们用宏 USB_REQ_SET_ADDRESS 来代替，只有真正发送了请求之后，硬件上才能真正通过这个地址进行通信。这里最关键的就是传递了 udev->devnum，这正是我们前面选择的地址，这里赋给了 wIndex。

设好了地址之后，把设备的状态从开始的 USB_STATE_DEFAULT 变成了 USB_STATE_ADDRESS。在 spec 中，这个状态被称为 Address state，我叫它有地址的状态。

然后调用了 ep0_reinit()。

```
2066 static void ep0_reinit(struct usb_device *udev)
2067 {
2068     usb_disable_endpoint(udev, 0 + USB_DIR_IN);
2069     usb_disable_endpoint(udev, 0 + USB_DIR_OUT);
2070     udev->ep_in[0] = udev->ep_out[0] = &udev->ep0;
2071 }
```

usb_disable_endpoint 是 usbcore 提供的一个函数，具体到这个端点，它会让 ep_out[0]和 ep_in[0]置为 NULL。接着会取消掉任何挂在端点上的 urb。这里 2070 行再次把 ep_in[0]和 ep_out[0]指向 udev->ep0。ep0 是真正占内存的数据结构，而 ep_in[0]和 ep_out[0]只是指针，而在主机控制器驱动程序里将被用到的正是这两个指针数组。

你也许会问，这里为何要调用 ep0_reinit()函数？而且在别的地方也有看见调用 ep0_reinit()函数的？首先，主机控制器通常会记录着每一个端点的状态，（否则它怎么知道如何跟每个端点通信？）而这个东西在每次设备状态发生变化了之后就要相应地作出变化，或者说 needs to be cleared out。

具体来说，ep0 是一个 struct usb_host_endpoint 的结构体，这个结构体的变量都是为主机控制器驱动来使用的。struct usb_host_endpoint 里有一个成员 struct list_head urb_list，也就是说，

所有针对该端点的 urb 请求被排列成一个队列，在我们这个上下文里，也许我们的设备还没有任何 urb 请求，但是要知道 hub_set_address()这个函数是被 hub_port_init 调用，而 hub_port_init()并不是只有在这个上下文里被调用，也许下一次调用时，ep0 对应的 urb_list 里面已经有东西了，那么这里重新设置地址，毫无疑问，需要把原来的那些 urb 请求给清除掉。

而这，正是 ep0_reinit()所做的，它会通知主机控制器，由主机控制器来具体实施。

当一个设备没有被设置地址时，它使用默认地址，即地址 0，而当我们设置地址之后，这个地址发生了变化，所以主机控制器必须知道这件事情，否则它没法控制。同样，这里 usb_disable_endpoint()最终会调用主机控制器驱动提供的函数，让主机控制器驱动作出相应的反应。

回到 hub_port_init 中来，设置好了地址，然后 2289 行，先休眠 10 ms，然后如果还是新策略，那么就可以结束了，因为该做的都做完了。如果是旧策略，那么执行到这里还刚上路呢，我们说过了，这里的思路就是先获得设备描述符的前 8 个字节，从中得知 udev->descriptor 的 bMaxPacketSize0，然后再次调用 usb_get_device_descriptor 完整的获得一次设备描述符。到 2336 行，释放互斥锁。

至此，hub_port_init()就可以返回了。

声明一下，usb_get_device_descriptor()是来自 drivers/usb/core/message.c 中的函数，由 usbcore 提供，我们这里就不细讲了。其作用是获取设备描述符。

这里 2319 行又调用了一次 ep0_reinit，理由很简单，这是针对全速设备而言的，因为别的 speed 的设备的 ep0 的最大包 size 一开始就设置好了，不会改变，而全速设备则是刚刚从设备描述符里读出来，而且 2310 行的意思是读出来这个值和最初我们设想的那个值不同，当然以读出来的为准，所以 ep0.desc.wMaxpacketSize 又有变化，有了变化就得调用 ep0_reinit 让主机控制器驱动知道，与前面换地址的情况类似，只不过这次是换包的大小，自然也需要把 urb 给清掉。

21．八大重量级函数闪亮登场（四）

2514 行至 2536 行，整个这一块代码是专门为了处理 Hub 的，2514 行这个 if 语句是判断，接在当前 Hub 端口的设备不是别的普通设备，恰恰也正是另一个 Hub，即所谓的级联。

udev->bus_mA 刚刚在 2493 行设置的，即 hub 能够提供的每个端口的电流。在 hub_configure 函数中我们曾经设置了 hub->mA_per_port，如果它小于等于 100mA，说明设备供电是存在问题的，电力不足。那么这种情况我们首先要判断接入的这个 Hub 是不是也得靠总线供电，如果是，那就麻烦了。所以这里再次调用 usb_get_status()函数，虽说我们把这个函数列入八大重量级函数之一，但是实际上我们前面已经讲过这个函数了，所以这里不必进入函数内部，只是需要知道 usb_get_status 一执行，正常的话，这个子 hub 的状态就被记录在 devstat 里面了，而 2525 行的意思是如果这个设备不能执行，那么我们就打印一条错误信息，然后 goto loop_disable，关闭这个端口，结束这次循环。

2529 行至 2533 行又是指示灯相关的代码，我们在前面已经讲过了，此刻 schedule_delayed_work(&hub->leds，0)函数一执行，就意味着当初注册的 led_work()函数将会立刻被调用。这个函数其实挺简单的，代码虽然不短，但是都是简单的代码。考虑到 usb_get_status()

我们不用讲了，所以这里就干脆顺便看这个简单函数吧。

```
208 #define LED_CYCLE_PERIOD      ((2*HZ)/3)
209
210 static void led_work (struct work_struct *work)
211 {
212     struct usb_hub        *hub =
213         container_of(work, struct usb_hub, leds.work);
214     struct usb_device      *hdev = hub->hdev;
215     unsigned             i;
216     unsigned             changed = 0;
217     int                 cursor = -1;
218
219     if (hdev->state != USB_STATE_CONFIGURED || hub->quiescing)
220         return;
221
222     for (i = 0; i < hub->descriptor->bNbrPorts; i++) {
223         unsigned       selector, mode;
224
225         /* 30%-50% duty cycle */
226
227         switch (hub->indicator[i]) {
228         /* cycle marker */
229         case INDICATOR_CYCLE:
230             cursor = i;
231             selector = HUB_LED_AUTO;
232             mode = INDICATOR_AUTO;
233             break;
234         /* blinking green = sw attention */
235         case INDICATOR_GREEN_BLINK:
236             selector = HUB_LED_GREEN;
237             mode = INDICATOR_GREEN_BLINK_OFF;
238             break;
239         case INDICATOR_GREEN_BLINK_OFF:
240             selector = HUB_LED_OFF;
241             mode = INDICATOR_GREEN_BLINK;
242             break;
243         /* blinking amber = hw attention */
244         case INDICATOR_AMBER_BLINK:
245             selector = HUB_LED_AMBER;
246             mode = INDICATOR_AMBER_BLINK_OFF;
247             break;
248         case INDICATOR_AMBER_BLINK_OFF:
249             selector = HUB_LED_OFF;
250             mode = INDICATOR_AMBER_BLINK;
251             break;
252         /* blink green/amber = reserved */
253         case INDICATOR_ALT_BLINK:
254             selector = HUB_LED_GREEN;
255             mode = INDICATOR_ALT_BLINK_OFF;
256             break;
257         case INDICATOR_ALT_BLINK_OFF:
258             selector = HUB_LED_AMBER;
259             mode = INDICATOR_ALT_BLINK;
260             break;
261         default:
262             continue;
263         }
264         if (selector != HUB_LED_AUTO)
265             changed = 1;
266         set_port_led(hub, i + 1, selector);
267         hub->indicator[i] = mode;
268     }
```

```
269     if (!changed && blinkenlights) {
270         cursor++;
271         cursor %= hub->descriptor->bNbrPorts;
272         set_port_led(hub, cursor + 1, HUB_LED_GREEN);
273         hub->indicator[cursor] = INDICATOR_CYCLE;
274         changed++;
275     }
276     if (changed)
277     schedule_delayed_work(&hub->leds, LED_CYCLE_PERIOD);
278 }
```

注意了，刚才进入这个函数之前，我们设置了 hub->indicator[port1-1]为 INDICATOR_AMBER_BLINK，而眼下这个函数从 222 行开始主循环，有多少个端口就循环多少次，即遍历端口。227 行进行判断，对于这个情形，很显然，selector 被设置为 HUB_LED_AMBER，这个宏的值为 1。而 mode 被设置为 INDICATOR_AMBER_BLINK_OFF。

然后 266 行，set_port_led()：

```
182 /*
183  * USB 2.0 spec Section 11.24.2.7.1.10 and table 11-7
184  * for info about using port indicators
185  */
186 static void set_port_led(
187     struct usb_hub *hub,
188     int port1,
189     int selector
190 )
191 {
192     int status = set_port_feature(hub->hdev, (selector << 8) | port1,
193                     USB_PORT_FEAT_INDICATOR);
194     if (status < 0)
195         dev_dbg (hub->intfdev,
196                     "port %d indicator %s status %d\n",
197                     port1,
198                     ({ char *s; switch (selector) {
199                     case HUB_LED_AMBER: s = "amber"; break;
200                     case HUB_LED_GREEN: s = "green"; break;
201                     case HUB_LED_OFF: s = "off"; break;
202                     case HUB_LED_AUTO: s = "auto"; break;
203                     default: s = "??"; break;
204                     }; s; }),
205                     status);
206 }
```

看到调用 set_port_feature 我们就熟悉了，USB_PORT_FEAT_INDICATOR 对应 spec 中的 PORT_INDICATOR 这个特征，参看 spec 的 Table 11-25。

这里传递进来的是 Amber，即 Selector 为 1，于是指示灯会亮 Amber，即琥珀色。这里我们看到有两个 Mode，一个是 Automatic，一个是 Manual，Automatic 就是灯自动闪，自动变化，而 Manual 基本上就是说我们需要用软件来控制灯的闪烁。我们选择的是后者，所以 265 行我们就设置 changed 为 1。这样，走到 276 行，schedule_delayed_work()再次执行，但这次执行时，第二个参数不再是 0，而是 LED_CYCLE_PERIOD，即 0.66HZ。而我们现在的 hub->indicator[port1-1]和刚才进来时相反，是 INDICATOR_AMBER_BLINK_OFF，于是你会发现下次再进来又会变成 INDICATOR_AMBER_BLINK，如此反复。这就意味着，这个函数接下来将以这个频率被调用，也就是说指示灯将以 0.66HZ 的频率进行开关。

不过需要说明的是，注意我们刚才是如何进入到这个函数的，是因为遇见了电力不足的情

况进来的，所以这并不是什么好事，通常黄色的灯亮了话，说明硬件方面有问题。按 spec 规定，指示灯是黄色，亮而不闪，表明是错误环境；指示灯是黄色，又亮又闪，表明硬件有问题，只有指示灯是绿色才是工作状态；如果指示灯是绿色，闪烁，那说明软件有问题。

接下来我们把第六个函数也讲了。check_highspeed()，看了名字基本就知道是什么意思。spec 里面规定，一个设备如果能够进行高速传输，那么它就应该在设备描述符里的 bcdUSB 这一项写上 0200H。highspeed_hubs 这个变量干什么的？drivers/usb/core/hub.c 中定义的一个静态变量。不要说你是第一次见它，在 hub_probe()里面就和它见过。让我们把思绪拉回到 hub_probe 中去，当时我们就判断了如果 hdev->speed 是 USB_SPEED_HIGH，则 highspeed_hubs++，所以现在这里的意思就很明确了，如果有高速的 Hub，而你又能进行高速传输，还要进行全速传输。这种情况下，调用 check_highspeed()。

```
2340 static void
2341 check_highspeed (struct usb_hub *hub, struct usb_device *udev, int port1)
2342 {
2343     struct usb_qualifier_descriptor *qual;
2344     int                         status;
2345
2346     qual = kmalloc (sizeof *qual, GFP_KERNEL);
2347     if (qual == NULL)
2348         return;
2349
2350     status = usb_get_descriptor (udev, USB_DT_DEVICE_QUALIFIER, 0,
2351                     qual, sizeof *qual);
2352     if (status == sizeof *qual) {
2353         dev_info(&udev->dev, "not running at top speed; "
2354                     "connect to a high speed hub\n");
2355         /* hub LEDs are probably harder to miss than syslog */
2356         if (hub->has_indicators) {
2357             hub->indicator[port1-1] = INDICATOR_GREEN_BLINK;
2358             schedule_delayed_work (&hub->leds, 0);
2359         }
2360     }
2361     kfree(qual);
2362 }
```

struct usb_qualifier_descriptor 这个结构体牵出了另外一个概念，Device Qualifier 描述符。首先这个结构体定义于 include/linux/usb/ch9.h 中：

```
348 /* USB_DT_DEVICE_QUALIFIER: Device Qualifier descriptor */
349 struct usb_qualifier_descriptor {
350     __u8  bLength;
351     __u8  bDescriptorType;
352
353     __le16 bcdUSB;
354     __u8  bDeviceClass;
355     __u8  bDeviceSubClass;
356     __u8  bDeviceProtocol;
357     __u8  bMaxPacketSize0;
358     __u8  bNumConfigurations;
359     __u8  bRESERVED;
360 } __attribute__ ((packed));
```

当我们设计 USB 2.0 时务必要考虑与过去的 USB 1.1 的兼容，高速设备如果接在一个旧的 Hub 上面，总不能说用不了吧？所以，如今的高速设备通常是可以以高速的方式也可以不以高速的方式工作，即可以调节，接在高速 Hub 上就按高速工作，如果不然，那么就按全速的方式

去工作。

那么这一点是如何实现的呢？首先，在高速和全速下有不同设备配置信息的高速设备必须具有一个 device_qualifier 描述符，你可以叫它设备限定符描述符，不过这个叫法过于别扭，所以我们直接用英文，就叫 Device Qualifier 描述符。它干什么用的呢？它描述了一个高速设备在进行速度切换时所需改变的信息。比如，一个设备当前工作处于全速状态，那么 Device Qualifier 描述符中就保存着信息记录这个设备工作在高速状态的信息，反之如果一个设备当前工作于高速状态，那么 Device Qualifier 描述符中就包含着这个设备工作于全速状态的信息。

这里我们看到，首先定义一个 Device Qualifier 描述符的指针 qual，为其申请内存空间，然后 usb_get_descriptor 去获得这个描述符，这个函数的返回值就是设备返回了多少个 Bytes。如果的确是 Device Qualifier 描述符的大小，那么说明这个设备的确是可以工作在高速状态的，因为全速设备是没有 Device Qualifier 描述符的，只有具有高速工作能力的设备才具有 Device Qualifier 描述符。而对于全速设备，在收到这个请求之后，返回的只是错误码。所以这里的意思就是说如果你这个设备确实是能够高速工作的，然而你却偏偏全速工作，并且我们刚才调用 check_highspeed()之前也看到了，我们已经判断出设备是工作于全速而系统里有高速的 hub，那么至少这说明这个设备不正常，所以剩下的代码就和刚才那个指示灯是闪琥珀色的道理一样，只不过这次是指示灯是闪绿灯，通常闪绿灯的意思是出现软件问题。

好了，又讲完一个函数。至此我们已经过五关斩六将，八个函数讲完了六个。你也许觉得这些函数很枯燥，觉得读代码很辛苦，不过很不幸，我得告诉你，其实真正最重要的函数是第七个，即 usb_new_device()，这个函数一结束你就可以用 lsusb 命令看到你的设备了。

22．八大重量级函数闪亮登场（五）

在调用 usb_new_device 之前，如果 Hub 已经北撤掉了，2555 行到 2560 行这段代码就忽略了。否则，把 udev 赋值给 hdev->children 数组中的对应元素，也正是从此以后，这个设备才算是真正挂上了这棵大树。

如果 status 确实为 0，（注意，2549 刚刚把 status 赋为了 0。）正式调用 usb_new_device。

```
1295 int usb_new_device(struct usb_device *udev)
1296 {
1297     int err;
1298
1299     /* Determine quirks */
1300     usb_detect_quirks(udev);
1301
1302     err = usb_get_configuration(udev);
1303     if (err < 0) {
1304     dev_err(&udev->dev, "can't read configurations, error %d\n",
1305                     err);
1306         goto fail;
1307     }
1308
1309     /* read the standard strings and cache them if present */
1310     udev->product = usb_cache_string(udev, udev->descriptor.iProduct);
1311     udev->manufacturer = usb_cache_string(udev,
1312                     udev->descriptor.iManufacturer);
```

```
1313    udev->serial = usb_cache_string(udev,
                            udev->descriptor.iSerialNumber);
1314
1315    /* Tell the world! */
1316    dev_dbg(&udev->dev, "new device strings: Mfr=%d, Product=%d, "
1317                    "SerialNumber=%d\n",
1318                    udev->descriptor.iManufacturer,
1319                    udev->descriptor.iProduct,
1320                    udev->descriptor.iSerialNumber);
1321    show_string(udev, "Product", udev->product);
1322    show_string(udev, "Manufacturer", udev->manufacturer);
1323    show_string(udev, "SerialNumber", udev->serial);
1324
1325 #ifdef  CONFIG_USB_OTG
1326    /*
1327     * OTG-aware devices on OTG-capable root hubs may be able to use SRP,
1328     * to wake us after we've powered off VBUS; and HNP, switching roles
1329     * "host" to "peripheral".  The OTG descriptor helps figure this out.
1330     */
1331    if (!udev->bus->is_b_host
1332                && udev->config
1333                && udev->parent == udev->bus->root_hub) {
1334        struct usb_otg_descriptor      *desc = 0;
1335        struct usb_bus               *bus = udev->bus;
1336
1337        /* descriptor may appear anywhere in config */
1338        if (__usb_get_extra_descriptor (udev->rawdescriptors[0],
1339                le16_to_cpu(udev->config[0].desc.wTotalLength),
1340                    USB_DT_OTG, (void **) &desc) == 0) {
1341            if (desc->bmAttributes & USB_OTG_HNP) {
1342                unsigned    port1 = udev->portnum;
1343
1344                dev_info(&udev->dev,
1345                        "Dual-Role OTG device on %sHNP port\n",
1346                        (port1 == bus->otg_port)
1347                        ? "" : "non-");
1348
1349                /* enable HNP before suspend, it's simpler */
1350                if (port1 == bus->otg_port)
1351                    bus->b_hnp_enable = 1;
1352                err = usb_control_ msg(udev,
1353                            usb_sndctrlpipe(udev, 0),
1354                            USB_REQ_SET_FEATURE, 0,
1355                            bus->b_hnp_enable
1356                            ? USB_DEVICE_B_HNP_ENABLE
1357                            : USB_DEVICE_A_ALT_HNP_SUPPORT,
1358                        0, NULL, 0, USB_CTRL_SET_TIMEOUT);
1359                if (err < 0) {
1360                    /* OTG MESSAGE: report errors here,
1361                     * customize to match your product.
1362                     */
1363                    dev_info(&udev->dev,
1364                                "can't set HNP mode; %d\n",
1365                            err);
1366                    bus->b_hnp_enable = 0;
1367                }
1368            }
1369        }
1370    }
1371
1372    if (!is_targeted(udev)) {
1373
1374    /* Maybe it can talk to us, though we can't talk to it.
1375         * (Includes HNP test device.)
```

```
1376          */
1377         if (udev->bus->b_hnp_enable || udev->bus->is_b_host) {
1378             err = __usb_port_suspend(udev, udev->bus->otg_port);
1379         if (err < 0)
1380                 dev_dbg(&udev->dev, "HNP fail, %d\n", err);
1381         }
1382         err = -ENODEV;
1383         goto fail;
1384     }
1385 #endif
1386
1387     /* export the usbdev device-node for libusb */
1388     udev->dev.devt = MKDEV(USB_DEVICE_MAJOR,
1389                 (((udev->bus->busnum-1) * 128) + (udev->devnum-1)));
1390
1391     /* Register the device.  The device driver is responsible
1392      * for adding the device files to sysfs and for configuring
1393      * the device.
1394      */
1395     err = device_add(&udev->dev);
1396     if (err) {
1397         dev_err(&udev->dev, "can't device_add, error %d\n", err);
1398         goto fail;
1399     }
1400
1401     /* Increment the parent's count of unsuspended children */
1402     if (udev->parent)
1403         usb_autoresume_device(udev->parent);
1404
1405 exit:
1406     return err;
1407
1408 fail:
1409     usb_set_device_state(udev, USB_STATE_NOTATTACHED);
1410     goto exit;
1411 }
```

这个函数看似很长，实则不然。幸亏在前面作了一个假设，即假设不打开支持 OTG 的代码。而剩下的代码就相对来说简单多了，主要就是调用了几个函数。下面一个一个来看。

usb_detect_quirks()，好的 USB 设备都是相似的，大家遵守同样的游戏规则，而不好的 USB 设备却各有各的毛病。这里使用到两个文件，drivers/usb/core/quirks.c 及 include/linux/usb/quirks.h。quirk，即与众不同的意思。

在 include/linux/usb/quirks.h 中，我们看到这个文件超级短，只有两行有意义，其余的几行是注释：

```
1 /*
2  * This file holds the definitions of quirks found in USB devices.
3  * Only quirks that affect the whole device, not an interface,
4  * belong here.
5  */
6
7 /* device must not be autosuspended */
8 #define USB_QUIRK_NO_AUTOSUSPEND       0x00000001
9
10 /* string descriptors must not be fetched using a 255-Byte read */
11 #define USB_QUIRK_STRING_FETCH_255     0x00000002
```

这个文件总共 11 行，而其中定义了两个 flag，第一个 USB_QUIRK_NO_AUTOSUSPEND 表明这个设备不能自动挂起，执行自动挂起会对设备造成伤害，确切地说是设备会被 crash。而

第二个宏，USB_QUIRK_STRING_FETCH_255，是说该设备在获取字符串描述符时会 crash。

与此同时，在 drivers/usb/core/quirks.c 中定义了下面这张表：

```
30 static const struct usb_device_id usb_quirk_list[] = {
31       /* HP 5300/5370C scanner */
32       { USB_DEVICE(0x03f0, 0x0701), .driver_info = USB_QUIRK_STRING_FETCH_255 },
33       /* Seiko Epson Corp - Perfection 1670 */
34       { USB_DEVICE(0x04b8, 0x011f), .driver_info = USB_QUIRK_NO_AUTOSUSPEND },
35       /* Elsa MicroLink 56k (V.250) */
36       { USB_DEVICE(0x05cc, 0x2267), .driver_info = USB_QUIRK_NO_AUTOSUSPEND },
37
38       { }  /* terminating entry must be last */
39 };
```

这张表被称为 USB 黑名单。在 2.6.22 的内核中这张表里只记录了 3 个设备，但之所以创建这张表，目的在于将来可以扩充，比如又往这张表里添加了几个扫描仪，比如明基的 S2W 3300U，精工爱普生的 Perfection 1200，以及另几家公司的一些产品。所以 2.6.23 的内核中将会看到这张表的内容比现在丰富。而从原理上来说，usb_detect_quirks()函数就是为了判断一个设备是不是在这张黑名单上，然后如果是，就判断它具体是属于哪种问题。

2007 年之后的内核中，struct usb_device 结构体有一个元素 u32 quirks，就是用来做这个检测的，usb_detect_quirks 会为在黑名单中找得到的设备的 struct usb_device 结构体中的 quirks 赋值，然后接下来相关的代码就会判断一个设备的 quirks 中的某一位是否设置了，目前 quirks 里面只有两位可以设置，即 USB_QUIRKS_STRING_FETCH_255 所对应的 0x00000002 和 USB_QUIRK_NO_AUTOSUSPEND 所对应的 0x00000001。

1302 行，usb_get_configuration()，获得配置描述符，我想你如果清楚了如何获得设备描述符，自然就不难知道如何获得配置描述符，知道了配置描述符，自然就不难知道如何获得接口描述符，然后是端点描述符。

usb_get_configuration 来自 drivers/usb/core/config.c，举一个例子，我们知道一部手机可以有多种配置，比如可以摄像，可以接在电脑里当做一个 U 盘，那么这两种情况就属于不同的配置，在手机里面有相应的选择菜单，你选择了哪种它就按哪种配置进行工作，供你选择的这个功能就叫做配置。很显然，当你摄像时你不可以访问这块 U 盘，当你访问这块 U 盘时你不可以摄像，因为你做了选择。

另外，既然一个配置代表一种不同的功能，那么很显然，不同配置可能需要的接口就不一样，假设你的手机里从硬件上来说一共有 5 个接口，那么可能当你配置成 U 盘时它只需要用到某一个接口，当你配置成摄像时，它可能只需要用到另外两个接口，可能你还有别的配置，然后你可能就会用到剩下那两个接口，那么当你选择好一种配置之后，你给设备发送请求，请求去获得配置描述符时，设备返回给你的就绝不仅仅是一个配置描述符，它还必须返回更多的信息。按 spec 的说法就是，设备将返回的是除了配置描述符以外，与这种配置相关的接口描述符，以及与这些接口相关的端点描述符，都会一次性返回给你。

另外一点我需要提示的是，一个接口可以有多种设置，比如在打印机驱动程序里，不同的设置可以表明使用不同的通信协议，又比如在声音设备驱动中设置可以决定不同的音频格式。那么作为 USB 设备驱动程序我如何知道这些呢？首先，对于任何一个接口来说，spec 规定了默认的设置是设置 0，即 0 号设置是默认设置，而如果一个接口可以有多种设置，那么每一个设置将对应一个接口描述符，换而言之，即便你只有一个接口，但是由于可能有两种设置，那么

就有两个接口描述符，而它们对应于同一个接口编号，或者说我们知道接口描述符里面有一个成员，bInterfaceNumber 和一个 bAlternateSetting，就是对于这种情况，两个接口描述符将具有相同的 bInterfaceNumber；而不相同的是 bAlternateSetting，另一方面，因为不同的设置完全有可能导致需要不同的端点，所以也将有不同的端点描述符。

而总的来说，在我们的 USB 设备驱动程序可以正常工作之前，我们需要知道的信息是，接口描述符、设置，以及端点描述符，而这一切，都在设备中，我们所需要做的就是发送请求，然后设备就把相关信息返回给我们，我们就记录下来，填充好我们自己的数据结构。而这些数据结构，对所有的 USB 设备都是一样的，因为这些都是 spec 里面规定的，也正是因为如此，写代码的人们才把这部分工作交给 USB Core 来完成，而不是纷纷下放给每一个设备单独去执行，因为那样就太浪费时间了，大家都得干一些重复的工作，显然是没有必要的。

关于 usb_get_configuration()函数我们就说这么多，我们传递的是 struct usb_device 结构体指针，即这个故事中的 udev，从此以后你就会发现 udev 中的各个成员就有值了，这些值从哪来的？正是从设备中来。

回到 usb_new_device 中来，1310 行到 1323 行，还记得我们说过那个字符串描述符吧，这里就是去获得字符串描述符，并且保存下来。知道为什么用 lsusb 命令可以看到诸如下面的内容了吧。

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # lsusb
    Bus 001 Device 001: ID 0000:0000
    Bus 002 Device 003: ID 0624:0294 Avocent Corp.
    Bus 002 Device 001: ID 0000:0000
    Bus 003 Device 001: ID 0000:0000
    Bus 004 Device 003: ID 04b4:6560 Cypress Semiconductor Corp. CY7C65640 USB-2.0
"TetraHub"
    Bus 004 Device 001: ID 0000:0000
```

其中那些字符串，就是这里保存起来的。试想如果不保存起来，那么每次你执行 lsusb，都要去向设备发送一次请求，那设备还不被烦死？usb_cache_string()就是干这个的，它来自 drivers/usb/core/message.c，从此 udev->product，udev->manufacturer，udev->serial 里面就有值了。而下面那几行就是打印出来，show_string 其实就是变相的 printk 语句。

接下来，我们已经说过了，OTG 的代码我们只能略过，然后就到了 1388 行，这里就是传统理论中的两个主设备号和次设备号了。按传统理论来说，主设备号表明了一类设备，一般对应着确定的驱动程序，而次设备号通常是因为一个驱动程序要支持多个设备而为了让驱动程序区分它们而设置的。比如我的硬盘，如下所示：

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # ls -l /dev/sd*
    brw-r----- 1 root disk 8,  0 Aug  6 18:19 /dev/sda
    brw-r----- 1 root disk 8,  1 Aug  6 18:19 /dev/sda1
    brw-r----- 1 root disk 8,  2 Aug  6 18:19 /dev/sda2
    brw-r----- 1 root disk 8,  3 Aug  6 18:19 /dev/sda3
    brw-r----- 1 root disk 8,  4 Aug  6 18:19 /dev/sda4
    brw-r----- 1 root disk 8, 16 Aug  6 18:19 /dev/sdb
    brw-r----- 1 root disk 8, 32 Aug  6 18:19 /dev/sdc
    brw-r----- 1 root disk 8, 48 Aug  6 18:19 /dev/sdd
    brw-r----- 1 root disk 8, 64 Aug  6 18:19 /dev/sde
```

SCSI 硬盘主设备号都是 8，而不同的盘或者不同的分区都有不同的次设备号。次设备号具体为多少并不重要，不过最大不能超过 255。USB 子系统里使用以下公式安排次设备号的，即

minor=((dev->bus->busnum-1)*128)+(dev->devnum-1);而 USB_DEVICE_MAJOR 被定义为 189：

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # cat /proc/devices
Character devices:
  1 mem
  2 pty
  3 ttyp
  4 /dev/vc/0
  4 tty
  4 ttyS
  5 /dev/tty
  5 /dev/console
  5 /dev/ptmx
  7 vcs
 10 misc
 13 input
 21 sg
 29 fb
128 ptm
136 pts
162 raw
180 usb
189 usb_device
254 megaraid_sas_ioctl
```

189 被称为 usb_device，这两行代码是用于与 usbfs 文件系统相交互的。dev_t 记录下了设备的主设备号和次设备号。dev_t 包含两部分，主设备号部分和次设备号部分。高 12 位表示主设备号，低 20 位表示次设备号。

1395 行，device_add()，设备模型中最基础的函数之一，这个函数非常了不起。要深入追踪这个函数，足以写一篇专题文章了。这个函数来自 drivers/base/core.c 中，是设备模型里提供的函数，从作用上来说，这个函数一执行，系统里就真正有了这个设备，/sysfs 下面也能看到了，而且将会去遍历注册到 USB 总线上的所有的驱动程序，如果找到合适的，就去调用该驱动的 probe 函数，对于 U 盘来说，最终将调用 storage_probe()函数，对于 Hub 来说，最终将调用 hub_probe()函数。而传递给它们的参数，正是我们此前获得的 struct usb_interface 指针和一个 struct usb_device_id 指针。后者正是我们在 USB 总线上寻找驱动程序的依据，换句话说，每个驱动程序都会把自己支持的设备定义在一张表里，表中的每一项就是一个 struct usb_device_id，然后当我们获得了一个具体设备，我们就把该设备的实际的信息与这张表去比较，如果找到匹配的了，就认为该驱动支持该设备，从而最终会调用该驱动的 probe()函数。从此，这个设备就被传递到了设备驱动。而 Hub 驱动也完成了它最重要的一项工作。

再次回到 usb_new_device()，1402 行，如果该设备不是 Root Hub，则调用 usb_autoresume_device()。这个函数来自 drivers/usb/core/driver.c，也是 USB Core 提供的，是电源管理方面的函数。如果设备这时候处于 suspended 状态，那么这个函数将把它唤醒，因为我们已经要开始用它了。

最后 1406 行，函数终于返回了。正确的话返回值为 0。

返回之后首先判断返回值，如果不为 0 说明出错了，那么就把 hdev->children 相应的那一位设置为空。要知道我们在调用 usb_new_device 之前可是把它设置成了 udev 法。

八大函数只剩下最后一个 hub_power_remaining()，这个函数相对来说比较小巧玲珑。这是与电源管理相关的。虽然说刚接入的设备可能已经被设备驱动认领了，但是作为 Hub 驱动，自身的工作还是要处理干净的。

```
2364 static unsigned
2365 hub_power_remaining (struct usb_hub *hub)
2366 {
2367     struct usb_device *hdev = hub->hdev;
2368     int remaining;
2369     int port1;
2370
2371     if (!hub->limited_power)
2372         return 0;
2373
2374     remaining = hdev->bus_mA - hub->descriptor->bHubContrCurrent;
2375     for (port1 = 1; port1 <= hdev->maxchild; ++port1) {
2376         struct usb_device      *udev = hdev->children[port1 - 1];
2377         int                 delta;
2378
2379         if (!udev)
2380             continue;
2381
2382         /* Unconfigured devices may not use more than 100mA,
2383          * or 8mA for OTG ports */
2384         if (udev->actconfig)
2385             delta = udev->actconfig->desc.bMaxPower * 2;
2386         else if (port1 != udev->bus->otg_port || hdev->parent)
2387             delta = 100;
2388         else
2389             delta = 8;
2390         if (delta > hub->mA_per_port)
2391             dev_warn(&udev->dev, "%dmA is over %umA budget "
2392                                  "for port %d!\n",
2393                                  delta, hub->mA_per_port, port1);
2394             remaining -= delta;
2395     }
2396     if (remaining < 0) {
2397         dev_warn(hub->intfdev, "%dmA over power budget!\n",
2398                     - remaining);
2399         remaining = 0;
2400     }
2401     return remaining;
2402 }
```

limited_power 是当初在 hub_configure()中设置的。设置了它说明能源是有限的。所以如果这个变量不为 0，我们就要对电源精打细算。要计算出现在还能提供多大电流，即把当前 bus_mA 减去 Hub 需要的电流，以及现在连在 Hub 端口上的设备所消耗的电流，求出剩余值来，然后打印出来，告诉我们还有多少电流 budget。bHubContrCurrent 前面在讲 hub_configure 时就已经说过了，是 Hub 控制器本身最大的电流需求，单位是 mA，来自 Hub 描述符。

2375 行到 2395 行这段循环，就是上面说的这个思想的具体实现。遍历每个端口进行循环。每个设备的配置描述符中 bMaxPower 就是该设备从 USB 总线上消耗的最大的电流，其单位是 2mA，所以这里要乘以 2。没有配置过的设备是不可能获得超过 100mA 电流的。

如果 delta 比 Hub 为每个端口提供的平均电流要大，至少要警告。

然后循环完了，remaining 就是如其字面意义一样，还剩下多少电流可供新的设备再接进来。从软件的角度来说，我们是不会强行对设备采取什么措施，最多是打印出调试信息，进行警告。而设备如果真的遇到了供电问题，它自然会出现异常，它也许不能工作，这些当然由具体的设备驱动程序去关注。

终于我们讲完了这 8 个函数，可以说到这里为止，我们已经知道了 Hub 驱动是在端口连接有变化时如何工作的，并且更重要的是我们知道了 Hub 驱动是如何为子设备驱动服务的。回到

hub_port_connect_change 之后，一切正常的话我们将会从 2579 行返回。

剩下的一些行就是错误处理代码。我们就不必再看了。因此我们将返回到 hub_events()中来。不过你千万别以为看到这里你就完全明白 Hub 驱动程序了。

23．是月亮惹的祸还是 spec 的错

让我们用代码来说话。2777 行，把 hub->event_bits 给清掉，然后读一次 Hub 的状态。HUB_STATUS_LOCAL_POWER 我们以前在 hub_configure 中见过，用来标志这个 Hub 是有专门的外接电源的还是从 USB 总线上获取电源，而 C_HUB_LOACL_POWER 用来标志这一位有变化。在这种情况下，先把 C_HUB_LOCAL_POWER 清掉，同时判断，如果是原来没有电源现在有了电源，那么可以取消 limited_power 了，把它设置为 0；如果原来是有电源的，而现在没了，那么没什么说的，把 limited_power 设置为 1。

真理和错误有时候只有一步之遥。我们来对照 spec 的 Table 11-19 就可以发现，代码和我的解释刚好相反。代码的意思是 HUB_STATUS_LOCAL_POWER 为 1，就设置 limited_power 为 0，反之则设置 limited_power 为 1。

众所周知，一个 Hub 可以用两种供电方式，一种是自带电源，即 Hub 上面自己有一根电源线，插到插座上，就行了。另一种是没有自带电源，由总线来供电。具体这个 Hub 是使用的哪种方式供电，就是从这个状态位里面可以读出来，即上面这个 Local power source，Spec 的意思是：Local Power Source 如果为 0，表明本地供电正常，即说明是自带电源；如果 Local Power Source 为 1，则说明本地供电出问题了，或者根本就没有本地供电。

而我们 Hub 设备驱动中之所以引入一个叫做 limited_power 的变量，就是为了记录这个现象，如果这个 Hub 有自己的电源，那么你就可以为所欲为，因为你有 Power，但是如果要依靠总线来给你解决电源问题，那么驱动程序就要记录下来，因为总的资源是有限的，你占用了多少，分给别人的就少了多少，所以这种情况下设置 limited_power 为 1，也算是记下这么一件事。

所以说，正确的赋值应该是 HUB_STATUS_LOCAL_POWER 为 1，设置 limited_power 为 1，HUB_STATUS_LOCAL_POWER 为 0，设置 limited_power 为 0。所以这就是 Bug。有趣的是这个 Bug 自 2005 年由三剑客之一的 Alan 提出，并于 2006 年 1 月由 Greg 正式引入 Linux 内核，在连续几个稳定版的内核中隐藏了近两年，终于被我发现了。

不过我想问，这究竟是不是 spec 的错？其实 spec 算不上错，但是 spec 中这种定义是不合理的，它这一位就不该叫做 Local Power Source，因为这样一叫别人就会误以为这位为一时表示有电源，为 0 表示没有电源，所以才导致了这个 Bug，更合理的叫法应该是叫 Local Power Lost。现在好了，既然被我发现了，那么 2.6.23 的正式版内核中不会有这个 Bug 了。不过你别以为这样的 Bug 很幼稚，Alan 说过：“对一个人显然的事情未必会对另一个人显然。”很多 Bug 都存在这样的情况，当你事后去看的话，你会觉得它很不可思议，太低级了，但是有时候低级的错误你却未必能够在短时间内发现。

我们继续看代码，2791 行，对于有过流的改变也是同样的处理，因为过流可能导致端口关闭，所以重新给它上电。hub_power_on()，其实这个函数我们以前见过，只是当时出于情节考虑，先忽略了，现在我们对 hub 有了这么多认识了之后再来看这个函数就好比一个大学生去看小学数学题一样简单。

```
475 static void hub_power_on(struct usb_hub *hub)
476 {
```

```
477     int port1;
478     unsigned pgood_delay = hub->descriptor->bPwrOn2PwrGood * 2;
479     u16 wHubCharacteristics =
480                 le16_to_cpu(hub->descriptor->wHubCharacteristics);
481
482     /* Enable power on each port.  Some hubs have reserved values
483      * of LPSM (> 2) in their descriptors, even though they are
484      * USB 2.0 hubs.  Some hubs do not implement port-power switching
485      * but only emulate it.  In all cases, the ports won't work
486      * unless we send these messages to the hub.
487      */
488     if ((wHubCharacteristics & HUB_CHAR_LPSM) < 2)
489         dev_dbg(hub->intfdev, "enabling power on all ports\n");
490     else
491         dev_dbg(hub->intfdev, "trying to enable port power on "
492                               "non-switchable hub\n");
493     for (port1 = 1; port1 <= hub->descriptor->bNbrPorts; port1++)
494         set_port_feature(hub->hdev, port1, USB_PORT_FEAT_POWER);
495
496     /* Wait at least 100  msec for power to become stable */
497      msleep(max(pgood_delay, (unsigned) 100));
498 }
```

关键的代码就是一行，494 行，set_port_feature 的 USB_PORT_FEAT_POWER 这一位如果为 0，表示该端口处于 Powered-off 状态。同样，任何事情引发该端口进入 Powered-off 状态的话都会使得这一位为 0。而 set_port_feature 就会把这一位设置为 1，这叫做使得端口“power on”。

关于对 HUB_CHAR_LPSM 的判断，本来是没有必要的，关于这段代码的解释在 482 行到 487 行这段注释里面，我就不重复了，总之最终的做法就是对每个端口都执行一次 set_port_feature。最后 497 行，休眠，经验值是 100 ms，而 Hub 描述符里有一位 bPwrOn2PwrGood，全称就是 b-Power On to Power Good，即从打开电源到电源稳定的时间，显然我们应该在电源稳定了之后再去访问每一个端口，所以这里睡眠时间就取这两个值中的较大的那一个值。

2799 行，设置 hub->activating 为 0，也就是说以上这一段被称为 activating，而这个变量本身就是一个标志而已。别忘了我们是从 hub_actiavte 调用 kick_khubd()从而进入到这个 hub_events()的。而在 hub_activate()中我们设置了 hub->activating 为 1。而那个函数也是唯一一个设置这个变量为 1 的地方。

2803 行，如果是 Root Hub，并且 hub->busy_bits[0]为 0，hub->busy_bits 只有在一个端口为 reset 或者 resume 时才会被设置成 1。我们暂时先不管。对于这种情况，既是 Root Hub，又没有端口处于 reset/resume 状态，调用 usb_enable_root_hub_irq()函数，这个函数来自 drivers/usb/core/hcd.c 文件，是主机控制器驱动相关的，有些主机控制器的驱动程序提供了一个叫做 hub_irq_enable 的函数，这里就会去调用它，不过目前主流的 EHCI/UHCI/OHCI 都没有提供这个函数，所以你可以认为这个函数什么也没干。这个函数的作用正如它的名字，开启端口中断。关于这个函数，涉及一些比较专业性的东西，有两种中断的方式，边缘触发和电平触发。只有电平触发的中断才需要这个函数，边缘触发的中断不需要这个函数。

2808 行进行判断，如果 Hub 的 event_list 没有东西了，那么就调用 usb_autopm_enable()，调用了这个函数这个 Hub 就可以被挂起了，强调一下，可以做某事不等于马上就做某事了，真的被挂起是有条件的，首先它的子设备必须先挂起了，而且确实一段时间内没有总线活动了，才会被挂起。

最后，释放 hdev 的锁，减少 intf 的引用计数，至此，hub_events()这个函数就算结束了！

对于大部分人来说，需要学习的 Hub 驱动就算学完了。因为你已经完全明白了 Hub 驱动在设备插入之后会做一些什么事情，会如何为设备服务，并最终把控制权交给设备驱动。而 hub_thread()/hub_events()将永远这么循环下去。

不过我的故事可没有结束，最起码还有一个重要的函数没有讲，那就是 hub_irq。之前我们这里讲的内容都是基于一个事实就是我们主动去读了 Hub 端口的状态，而以后正常工作的 Hub 驱动是不会莫名其妙就去读 Hub 端口状态，只有发生了中断才会去读。而这个中断的服务函数就是 hub_irq()，也就是说，凡是真正的有端口变化事件发生，hub_irq 就会被调用，而 hub_irq()最终会调用 kick_khubd()，触发 Hub 的 event_list，于是再次调用 hub_events()函数。

24．所谓的热插拔

我们曾经在 hub_configure 中讲过中断传输，当时调用了 usb_fill_int_urb()函数，并且把 hub_irq 作为一个参数传递了进去，最终把 urb->complete 赋值为 hub_irq。然后，主机控制器会定期询问 Hub，每当 Hub 端口上有一个设备插入或者拔除时，它就会向主机控制器打小报告。具体来说，从硬件的角度看，就是 Hub 会向主机控制器返回一些信息，或者说 Data，这个 Data 被称作“Hub and Port Status Change Bitmap”，而从软件角度来看，主机控制器的驱动程序接下来会在处理好这个过程的 urb 之后，调用该 urb 的 complete 函数，对于 Hub 来说，这个函数就是 hub_irq()。

```
338 static void hub_irq(struct urb *urb)
339 {
340     struct usb_hub *hub = urb->context;
341     int status;
342     int i;
343     unsigned long bits;
344
345     switch (urb->status) {
346     case -ENOENT:         /* synchronous unlink */
347     case -ECONNRESET:      /* async unlink */
348     case -ESHUTDOWN:       /* hardware going away */
349         return;
350
351     default:              /* presumably an error */
352         /* Cause a hub reset after 10 consecutive errors */
353         dev_dbg (hub->intfdev, "transfer --> %d\n", urb->status);
354         if ((++hub->nerrors < 10) || hub->error)
355             goto resubmit;
356         hub->error = urb->status;
357         /* FALL THROUGH */
358
359     /* let khubd handle things */
360     case 0:               /* we got data:  port status changed */
361         bits = 0;
362         for (i = 0; i < urb->actual_length; ++i)
363             bits |= ((unsigned long) ((*hub->buffer)[i]))
364                                 << (i*8);
365         hub->event_bits[0] = bits;
366         break;
367     }
368
```

```
369     hub->nerrors = 0;
370
371     /* Something happened, let khubd figure it out */
372     kick_khubd(hub);
373
374 resubmit:
375     if (hub->quiescing)
376         return;
377
378     if ((status = usb_submit_urb (hub->urb, GFP_ATOMIC)) != 0
379                     && status != -ENODEV && status != -EPERM)
380         dev_err (hub->intfdev, "resubmit --> %d\n", status);
381 }
```

你问这个参数 urb 是哪个 urb?告诉你，中断传输就是只有一个 urb，不是说像 bulk 传输那样每次开启一次传输都要有申请一个 urb，提交 urb。对于中断传输，一个 urb 就可以了，反复利用，所以我们只有一次调用 usb_fill_int_urb()函数。这正体现了中断交互的周期性。

340 行，当初我们填充 urb 时，urb->context 就是赋的 hub，所以现在这句话就可以获得那个 Hub。

345 行开始判断 urb 的状态，前三种都是出错了，直接返回。

351 的 default 和 case 0。这段代码是我认为最有技术含量的一段代码。我以为这里 default 不管 case 等于 0 与否都会执行，结果半天没看懂，后来我明白了，其实当 urb->status 为 0 时，default 那一段是不会执行的。

所以这段代码就很好理解了。一开始 hub->error 为 0，hub->nerrors 也为 0，所以 default 这一段很明显，goto resubmit，resubmit 那一段就是重新调用了一次 usb_submit_urb()而已。当然，还判断了 hub->quisecing。这个变量初始值为 1，但是我们前面在 hub_activate 里把它设置为了 0，有一个函数会把它设置为 1，这个函数就是 hub_quiesce()，而调用后者的只有两个函数，一个是 hub_suspend()，一个是 hub_pre_reset()。于是，这里的意思就很明确了，如果 Hub 被挂起了，或者要被 reset 了，那么就不用重新提交 urb 了，hub_irq()函数直接返回吧。

再看 case 0，urb->status 为 0，说明这个 urb 被顺利地处理了，主机控制器获得了想要的数据，即“Hub and Port Status Change Bitmap”，因为我们当初调用 usb_fill_int_urb 时，把*hub->buffer 传递给了 urb->transfer_buffer，所以这个数据现在就在 hub->buffer 中。至于这个 bitmap 是什么样子，我们查看 spec 中的 Figure 11-22，首先这幅图为我们解答了一个很大的疑惑。当时在 hub_events()中您大概还有一些地方不是很清楚。现在我们可以来弄清楚它们了。

我们回过头来看，struct usb_hub 中，unsigned long event_bits[1]，首先这是一个数组，其次这个数组只有一个元素，而这一个元素恰恰就是对应这里的 Bitmap，即所谓的位图，每一位都有其作用。一个 unsigned long 至少 4 个 Bytes，即 32 个 bits。所以够用了，而我们看到这张图中，bit0 和其他 bit 是不一样的，bit 0 表示 Hub 有变化，而其他 bit 则具体表示某一个端口有没有变化，即 bit 1 表示端口 1 有变化，bit 2 表示端口 2 有变化，如果一个端口没有变化，对应的那一位就是 0。

所以我们可以回到 hub_events()函数中来，查看当时我们是如何判断 hub->event_bits 的，当时我们有这么一小段代码：

```
2685            /* deal with port status changes */
2686            for (i = 1; i <= hub->descriptor->bNbrPorts; i++) {
```

```
2687                if (test_bit(i, hub->busy_bits))
2688                    continue;
2689                connect_change = test_bit(i, hub->change_bits);
2690                if (!test_and_clear_bit(i, hub->event_bits) &&
2691                        !connect_change && !hub->activating)
2692                    continue;
```

看到了吗?循环指数 *i* 从 1 开始，有多少端口就循环多少次，而对 event_bits 的测试，即 2690 判断的是 bitmap 中 bit 1，bit 2，…，bit *N*，而不需要判断 bit 0。

反过来，如果具体每个端口没有变化，而变化的是 Hub 的整体，比如，Local Power 有变化，比如 Overcurrent 有变化，我们则需要判断的是 bit 0，即当时我们在 hub_events()中看到的下面这段代码。

```
2776        /* deal with hub status changes */
2777        if (test_and_clear_bit(0, hub->event_bits) == 0)
2778                ;       /* do nothing */
2779            else if (hub_hub_status(hub, &hubstatus, &hubchange) < 0)
2780                dev_err (hub_dev, "get_hub_status failed\n");
2781            else {
2782                if (hubchange & HUB_CHANGE_LOCAL_POWER) {
2783                    dev_dbg (hub_dev, "power change\n");
2784                    clear_hub_feature(hdev, C_HUB_LOCAL_POWER);
2785                    if (hubstatus & HUB_STATUS_LOCAL_POWER)
2786                        /* FIXME: Is this always true? */
2787                        hub->limited_power = 0;
2788                    else
2789                        hub->limited_power = 1;
2790                }
2791                if (hubchange & HUB_CHANGE_OVERCURRENT) {
2792                    dev_dbg (hub_dev, "overcurrent change\n");
2793                     msleep(500);    /* Cool down */
2794                    clear_hub_feature(hdev, C_HUB_OVER_CURRENT);
2795                    hub_power_on(hub);
2796                }
2797        }
```

而这样我们就很清楚 hub_events()的整体思路了，判断每个端口是否有变化，如果有变化就去处理它，没有变化也没有关系，接下来判断是否 Hub 整体上有变化，如果有变化，那么也去处理它。

关于这个 actual_length，我就不啰嗦了。因为每一个 Hub 的端口是不一样的，所以这张 bitmap 的长度就不一样，比如说你是 16 个端口，那么这个 bitmap 最多就只要 16+1 个 bit 就足够了。而 actual_length 就是 3，即 3 个 Bytes。因为 3 个 Bytes 等于 24 个 bits，足以容纳 16+1 个 bits 了。而 struct usb_hub 中，buffer 是这样一个成员，char (*buffer)[8]，所以 3 个 Bytes 就意味着这个 buffer 的前三个元素里承载着我们的希望。这样我们就不难理解这里这个 hub->event_bits 是如何变成为这张 bitmap 的了。

369 行，把 nerrors 清零。

最关键的当然还是 372 行，再次调用 kick_khubd()函数，于是会再一次触发 hub_events()。

而 hub_irq()函数也就到这里了。这个函数不长，可是很重要，其中最重要的正是最后这句 kick_khubd()。而这也就是所谓的热插拔的实现路径，要知道我们上次分析 kick_khubd 时是在 Hub 初始化时，即那次针对的情况是设备一开始就插在了 Hub 上，而这里再次调用 kick_khubd 才是真正地在使用过程中。

25．不说代码说理论

电源管理其实发展挺多年了，也算是比较成熟了，主流的技术有两种，APM 和 ACPI，APM，即 Advanced Power Management，高级电源管理，ACPI，即 Advanced Configuration and Power Interface，高级配置和电源接口。

相比之下，APM 容易实现，但是，APM 属于一个 BIOS 的 spec，也就是说需要 BIOS 的支持。这种情况过去在笔记本电脑中比较普遍，不过自从 ACPI 横空出世之后，APM 就将走向没落了，并被行家认为将在不久的将来从市场中消失，毕竟一种特性依赖于 BIOS 不是什么好事，这个时代强调的是独立。

APM 是盖茨他们家和 Intel 一起于 1992 年提出的，而 ACPI 则是多了一家小日本的企业，东芝+Intel+Microsoft，这三家于 1996 年提出了 ACPI 1.0，Microsoft 的 Windows2000 也是第一个支持 ACPI 的操作系统。很显然，ACPI 是更为先进的技术，它提供了更为灵活的接口，功能也更为强大，它最有型的地方大概就在于它基本不需要 BIOS 插手，基本可以通过 OS 来搞定。它的出现就是为了替代 APM，或者说为了克服 APM 的不足。

在如今的 Linux 发行版里，基本上你可以自己选择使用这两种电源管理的方式，默认应该是 ACPI。选择了其中一种就得关掉另一种，不可能说两种方法同时使用，道理很简单，古训有云：一山不能容二虎，除非一公和一母。（顺便友情提醒，电源管理只是 ACPI 的功能中的一部分，除此以外，ACPI 还有很多别的功能，干了不少和 BIOS 抢饭碗的事情。）

比如 Red Hat 中我们进入 setup 就可以看到系统服务里面有一个叫做 acpid 的，还有一个叫做 apmd 的，就是与这两种电源管理方式对应的服务进程。打开了一个就不要再打开另一个，如图 2.25.1 所示。

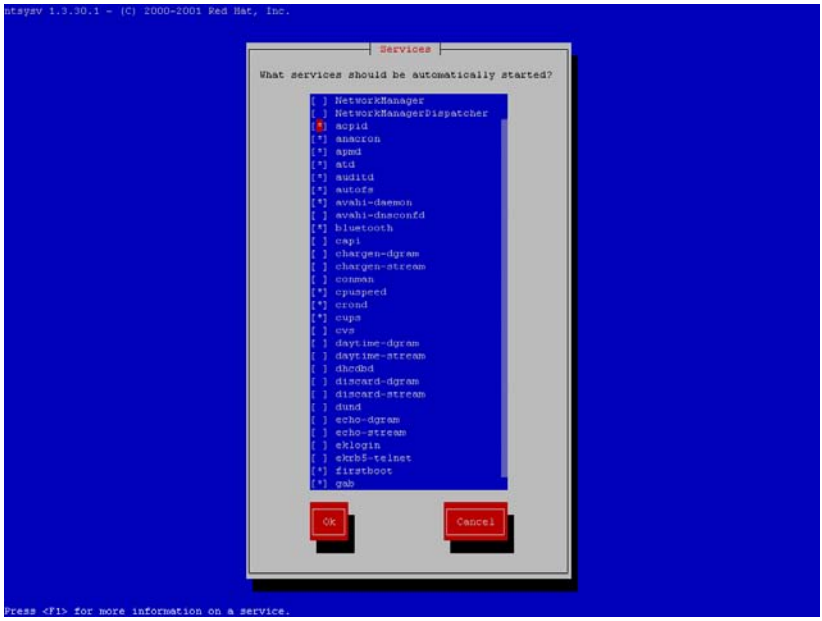


图 2.25.1　电源管理配置

首先必须知道第一个概念，Linux 中的电源管理作为一个子系统（subsystem），它是一个系统工程，这个工程规模大，波及范围广，技术复杂，建设周期长，材料设备消耗大，施工生产流动性强，受自然和社会环境因素影响大。

别以为我这样说很夸张，我们都知道 Linux 2.6 内核一个最伟大的变化就是建立了一个新的统一的设备模型，可是你知道当年区领导决定建立这个设备模型的初衷是什么吗？就是为了让电源管理工作变得更加容易。（“The device model was originally intended to make power management tasks easier through the maintenance of a representation of the host system's hardware structure.”）只不过后来写代码的兄弟们走火入魔，踏上了一条不归路，把这个设备模型做得偏离了最初的方向，然而不曾想做出来的东西意义更大了，不仅解决了电源管理的复杂性，而且把所有的设备管理任务都给集中起来了。

那么我们先抛出几个问题，第一，电源管理的含义是什么？省电。具体来说，电源管理意味着让世界充满爱的同时，让所有设备处于尽可能低的耗电状态。如果你计算机中某些部分没有被使用，那么就把它关闭（比如显示器）或者让它进入省电的睡眠模式（比如硬盘）。

其次，什么情况设备要挂起呢？比如，合上笔记本，又比如用户自己定义了一个系统电源管理策略（像 30 分钟没有 console 活动的话就挂起），再比如设备自身有它的电源管理游戏规则（像一个设备五分钟没有活动的话就挂起）。于是这就意味着有几种可能：一种是系统级的，即当你合上笔记本的时候，OS 负责通知所有的驱动程序，告诉它，需要 suspend，即驱动程序提供的 suspend 函数会被调用，这种情况在江湖上被人叫做 system pm，也叫 System Sleep Model。

另一种情况，不是系统级的，设备级的，就是说我虽然没有合上笔记本，但就单个设备而言，如果我用户希望这个设备处于低耗电的状态，那么驱动程序也应该能够支持，这种情况被道上的兄弟称之为 runtime pm，即 Runtime Power Management Model。换句话说，我不管别的设备死还是活，总之我这个设备自己想睡就睡，睡到自然醒，谁也别烦我。

因此，第三，从设备驱动的角度来说，我们应该如何作出自己应有的贡献呢？众所周知，电源管理最重要的两个概念就是 suspend 和 resume，即挂起和恢复。而设备驱动被要求保存好设备的上下文，即在挂起的时候，你作为设备驱动，你得保存好设备的一切状态信息，而在 resume 的时候，你要能够负责恢复这些信息。所以，你必须申请相关的 buffer，把东东存在里面，关键的时候拿出来恢复。总的来说，suspend 这个过程就是，上级下命令通知 driver，driver 保存状态，然后执行命令。即 notify before save state; save state before power down。而 resume 这个过程则是，power on and restore state。

第四，刚才说了，建立统一设备模型的初衷是为了打造更佳的电源管理模型，这究竟是如何体现的呢？我们说过，2.6 的内核，不管你是 USB 还是 PCI 还是 SCSI，最终会有一棵树，会通过父子关系，兄弟关系把所有的设备连接起来，这样做不是为了体现亲情，而是电源管理的基础，因为操作系统需要以一种合理的顺序去唤醒或者催眠一堆的设备，即比如，一个 PCI 总线上的设备必须在它的父设备睡眠之前先进入睡眠，反过来，又必须在它的父设备醒来以后才能醒来。开源战士范仲淹有一句话把这电源管理机制下的子设备诠释得淋漓尽致：先天下之睡而睡，后天下之醒而醒。

第五，从微观经济学来看，设备挂起意味着什么？意味着没有任何进出口贸易的发生，用英语说这叫，quiesce all I/O，即四个坚持，坚持不进行任何 DMA 操作，坚持不发送任何 IRQ，坚持不读写任何数据，坚持不接受上层驱动发过来的任何请求。

最后提两个术语，STR 和 STD，这是两种 Suspend 的状态。STR 即 Suspend to RAM，挂起到内存，STD 就是 Suspend to Disk，挂起到磁盘。

STR 就是把系统进入 STR 前的工作状态数据都存放在内存中去。在 STR 状态下，电源仍然继续为内存和主板芯片组供电，以确保数据不丢失，而其他设备均处于关闭状态，系统的耗电量极低。一旦我们按下 Power 按钮，系统就被唤醒，马上从内存中读取数据并恢复到 STR 之前的工作状态，STR 的优点是休眠快唤醒也快，因为数据本来就在内存中。

而 STD 则是把数据保存在磁盘中，很显然，保存在磁盘中要比保存在内存中慢。不过 STD 最酷的是因为它写到了磁盘中，所以即使电源完全断了，数据也不会丢失。STD 就是我们在 Windows 里面看到的那个 Hibernate，即冬眠，或曰休眠，而 STR 就是我们在 Windows 里面看到的那个 Standby。

STR 和 STD 是计算机休眠的两种主要方式。关于 STD，多说两句，我想你永远不会忘记，第一次装 Linux 的时候，有人要你分区的时候分一个 swap 分区吧？这里就体现了 swap 分区的一个作用，如果你安装了 Suse 操作系统，看你的 grub 里面，一定有一项类似于 resume=/dev/sda4 吧，就是断电以后重起了之后，从这个分区里把东西读出来的意思。再补一句，ACPI 的状态一共有五种，分别是 S1，S2，S3，S4，S5，实际上 S4 就是 STD，而 STR 就是 S3，只不过 S1，S2，S3 差别不大，不过，在 Linux 中，S1 被叫做 Standby，而 S3 被叫做 STR。而 S5 就是 Shutdown。在 Linux 中说挂起，主要说的就是 S1，S3 和 S4。关于 S1，S3，S4 这三种状态，在/sys/power/state 文件里可以有所体现，cat /sys/power/state，你会看到“standby”，“mem”，“disk”的字样。

我们来做一个实验。你打开一个网络连接，比如你去某 FTP 站点下一部大片，大小 500M 的那种，然后正在下的时候（即现在进行时的下载），比如下到 100M 左右，或者说刚开始下，下了 3，5M 了，这时候你另外开一个终端，执行下面两个命令:

```
# echo shutdown > /sys/power/disk
# echo disk > /sys/power/state
```

你的机器将进入传说中的 Hibernate 状态，你如果觉得不够刺激，可以把电源线都拔掉，然后隔一会儿再按动电源开关，开机，你会发现，你又得重新面对 grub，重新选择启动选项，但是再次启动好了之后，那部大片仍然在继续下载。

以上这个实验做的就是 STD。当然，你自己做的话失败了别怪我，我早就说过，电源管理这部分是这几年里开源社区最 hot 的话题之一，问题其实很多，被你遇上了也不必惊讶。不过我需要提醒一下，做之前得确认 grub 里面 kernel 那行有那个 resume 的定义。基本上 Suse Linux 有这个，Redhat 默认好像没有设置这一项。另外，在第一个命令中，你还可以把 shutdown 换成 reboot，这样的话在你执行了第二条命令以后，系统会立刻重起，而不是直接进入 power off 的状态。重启之后你看到的效果也是一样的，原来什么样，起来之后就还是什么样。

而进行 STR 的实验就稍微复杂一点，我们这里不多说了，从设备驱动来说，没有必要知道这次挂起是 STR 还是 STD，总之，以上这个 STD 的实验自从第二个命令执行之后，各个驱动提供的 suspend 函数就会相继被执行，而之后重起的时候，就会相继调用各驱动提供的 resume 函数。PM Core 那边知道如何遍历设备树，所以从 USB 这边来说，我们甚至不需要做太多递归的事情。

现在让我们来介绍 PM Core 那边给出的接口。我早就说过，Linux 中基本上就是这么几招。首先是把整个内核分成很多个子系统，或者美其名曰 Subsystem，然后很多子系统又分为一个

核心部分和其他部分，比如我们的 USB，就是 usbcore 和其他部分，USB core 这部分负责提供整个 USB 子系统的初始化，主机控制器的驱动，（当然主机控制器的驱动由于 Host Controller 的种类越来越多，Host Controller Driver 也便单独构成了一个目录，所以我们有时候说 USB Core 实际上指的是 drivers/usb/core 和 drivers/usb/host 目录，但这是相对外围设备而言的，实际上 USB Core 本身是一个模块，而主机控制器的驱动又是单独成为一个模块。）外围设备的驱动，比如 usb-storage，就是直接使用 USB Core 提供出来的接口即可。这种伎俩在 Linux 内核中比比皆是。而电源管理也是如此，在电源管理子系统中，有一个叫做 PM Core 的，它所包含的是一些核心的代码。而其他各大子系统里要加入 power management 的功能，就必须使用 PM Core 提供的接口函数。因此，现在是时候让我们来看一看了。

首先，既然我们说电源管理是一个系统工程，那么必然是自上而下的一次大规模改革，不仅仅是设备驱动需要支持它，总线驱动也必须提供相应的支持。还记得在讲八大函数的时候，我们贴出来的结构体变量 struct bus_type usb_bus_type 么？其中我们把.suspend 赋值为 usb_suspend，而把.resume 赋值为 usb_resume。也就是说这两个函数是各类总线不相同的，每类总线都需要实现自己特定的函数，比如 PCI 总线，我们也能看到类似的定义，来自 drivers/pci/pci-driver.c:

```
542 struct bus_type pci_bus_type = {
543       .name         = "pci",
544       .match        = pci_bus_match,
545       .uevent       = pci_uevent,
546       .probe        = pci_device_probe,
547       .remove       = pci_device_remove,
548       .suspend      = pci_device_suspend,
549       .suspend_late   = pci_device_suspend_late,
550       .resume_early   = pci_device_resume_early,
551       .resume       = pci_device_resume,
552       .shutdown     = pci_device_shutdown,
553       .dev_attrs    = pci_dev_attrs,
```

它的.suspend 就被赋值为 pci_device_suspend，而.resume 被赋值为 pci_device_resume。

而设备驱动呢？提供自己的 suspend/resume 函数，于是最终总线的那个 suspend/resume 函数就会去调用设备自己的 suspend/resume，比如我们回归 USB，Hub 驱动提供了两个函数，hub_suspend/hub_resume，于是 usb_suspend/usb_resume 最终就会调用 hub_suspend/hub_ resume，换句话说，总线的 suspend/resume 是包装，是面子工程，而设备自己的 suspend/resume 是实质。

所以，接下来我们有两种选择：第一，直接讲 hub_suspend/hub_resume，第二，从 usb_suspend/usb_resume 开始讲。很显然，前者相对简单，选择前者意味着我们的故事在讲完这两个函数之后就可以结束。我轻松你也轻松。而选择后者意味着我们选择了一条更加艰难的道路。

但在真正开始讲代码之前，我还是想强调，首先，基本上如果你看完了此前的 hub_events 和那八大函数，你就算是了解 hub 驱动了。下面的代码属于 usb core 中电源管理的部分，对于大多数人来说是可以不用再看的，

或者，你欲投身于开源社区的开发事业，想了解最新的开发进展，你想和 Alan Stern，想和 Oliver Neukum，想和 David Brownell 同流合污，为 Linux 内核中 USB 子系统做出自己的贡献。

26．看代码的理由

让我们一起来看看 USB 子系统里是如何支持电源管理的吧。

上节说了应该从 usb_suspend/usb_resume 开始看，那就开始吧。

usb_suspend/usb_resume 这两个函数很显然是一对，但是我们不可能同时讲，只能一个一个来。先讲 usb_suspend，再讲 usb_resume。

来看 usb_suspend，定义于 drivers/usb/core/driver.c:

```
    1497 static int usb_suspend(struct device *dev, pm_message_t message)
    1498 {
    1499         if (!is_usb_device(dev))        /* Ignore PM for interfaces */
    1500                 return 0;
    1501         return usb_external_suspend_device(to_usb_device(dev), message);
    1502 }
```

刚说过，usb_suspend 是 USB 子系统提供给 PM Core 调用的，所以这里两个参数 dev/message 都是那边传递过来的，要不是 USB 设备当然就不用做什么了，直接返回。然后调用 usb_external_suspend_device()，后者也是来自 drivers/usb/core/driver.c。

```
    1443 /**
    1444  * usb_external_suspend_device - external suspend of a USB device and its
interfaces
    1445  * @udev: the usb_device to suspend
    1446  * @msg: Power Management message describing this state transition
    1447  *
    1448  * This routine handles external suspend requests: ones not generated
    1449  * internally by a USB driver (autosuspend) but rather coming from the user
    1450  * (via sysfs) or the PM core (system sleep).  The suspend will be carried
    1451  * out regardless of @udev's usage counter or those of its interfaces,
    1452  * and regardless of whether or not remote wakeup is enabled.  Of course,
    1453  * interface drivers still have the option of failing the suspend (if
    1454  * there are unsuspended children, for example).
    1455  *
    1456  * The caller must hold @udev's device lock.
    1457  */
    1458 int usb_external_suspend_device(struct usb_device *udev, pm_message_t msg)
    1459 {
    1460         int     status;
    1461
    1462         usb_pm_lock(udev);
    1463         udev->auto_pm = 0;
    1464         status = usb_suspend_both(udev, msg);
    1465         usb_pm_unlock(udev);
    1466         return status;
    1467 }
```

1462 行和 1465 行，锁的代码暂时先一律飘过。

我们看到，这个函数就做了两件事情：第一，让 udev 的 auto_pm 为 0，第二，调用 usb_suspend_both。

继续跟踪 usb_suspend_both，仍然是来自于 drivers/usb/core/driver.c：

```
 993 /**
 994  * usb_suspend_both - suspend a USB device and its interfaces
 995  * @udev: the usb_device to suspend
 996  * @msg: Power Management message describing this state transition
 997  *
 998  * This is the central routine for suspending USB devices.  It calls the
 999  * suspend methods for all the interface drivers in @udev and then calls
1000  * the suspend method for @udev itself.  If an error occurs at any stage,
1001  * all the interfaces which were suspended are resumed so that they remain
1002  * in the same state as the device.
1003  *
1004  * If an autosuspend is in progress (@udev->auto_pm is set), the routine
1005  * checks first to make sure that neither the device itself or any of its
1006  * active interfaces is in use (pm_usage_cnt is greater than 0).  If they
1007  * are, the autosuspend fails.
1008  *
1009  * If the suspend succeeds, the routine recursively queues an autosuspend
1010  * request for @udev's parent device, thereby propagating the change up
1011  * the device tree.  If all of the parent's children are now suspended,
1012  * the parent will autosuspend in turn.
1013  *
1014  * The suspend method calls are subject to mutual exclusion under control
1015  * of @udev's pm_mutex.  Many of these calls are also under the protection
1016  * of @udev's device lock (including all requests originating outside the
1017  * USB subsystem), but autosuspend requests generated by a child device or
1018  * interface driver may not be.  Usbcore will insure that the method calls
1019  * do not arrive during bind, unbind, or reset operations.  However, drivers
1020  * must be prepared to handle suspend calls arriving at unpredictable times.
1021  * The only way to block such calls is to do an autoresume (preventing
1022  * autosuspends) while holding @udev's device lock (preventing outside
1023  * suspends).
1024  *
1025  * The caller must hold @udev->pm_mutex.
1026  *
1027  * This routine can run only in process context.
1028  */
1029 static int usb_suspend_both(struct usb_device *udev, pm_message_t msg)
1030 {
1031       int                 status = 0;
1032       int                 i = 0;
1033       struct usb_interface   *intf;
1034       struct usb_device      *parent = udev->parent;
1035
1036       if (udev->state == USB_STATE_NOTATTACHED ||
1037                   udev->state == USB_STATE_SUSPENDED)
1038             goto done;
1039
1040       udev->do_remote_wakeup = device_may_wakeup(&udev->dev);
1041
1042       if (udev->auto_pm) {
1043             status = autosuspend_check(udev);
1044             if (status < 0)
1045                   goto done;
1046       }
1047
1048       /* Suspend all the interfaces and then udev itself */
1049       if (udev->actconfig) {
1050             for (; i < udev->actconfig->desc.bNumInterfaces; i++) {
1051                   intf = udev->actconfig->interface[i];
1052                   status = usb_suspend_interface(intf, msg);
1053                   if (status != 0)
1054                         break;
1055             }
1056       }
```

```
1057        if (status == 0)
1058                status = usb_suspend_device(udev, msg);
1059
1060       /* If the suspend failed, resume interfaces that did get suspended */
1061        if (status != 0) {
1062                while (--i >= 0) {
1063                        intf = udev->actconfig->interface[i];
1064                        usb_resume_interface(intf);
1065                }
1066
1067                /* Try another autosuspend when the interfaces aren't busy */
1068                if (udev->auto_pm)
1069                        autosuspend_check(udev);
1070
1071        /* If the suspend succeeded, propagate it up the tree */
1072        } else {
1073                cancel_delayed_work(&udev->autosuspend);
1074                if (parent)
1075                        usb_autosuspend_device(parent);
1076        }
1077
1078  done:
1079        // dev_dbg(&udev->dev, "%s: status %d\n", __FUNCTION__, status);
1080        return status;
1081 }
```

这里有两个重要的概念，autosuspend/autoresume.autosuspend，即自动挂起，这是由 driver 自行决定，它自己进行判断，当它觉得应该挂起设备的时候，它就会去 Just do it! 关于 autosuspend 我们后面会讲。

1040 行，device_may_wakeup()，我们前面说过，设备有没有被唤醒的能力有一个 flag 可以标志，即 can_wakeup，那么如果有这种能力，用户仍然可以根据实际需要关掉这种能力，或者打开这种能力，这就体现在 sysfs 下的一个文件，比如：

```
localhost:~ # cat /sys/bus/usb/devices/1-5/power/wakeup
enabled
localhost:~ # cat /sys/bus/usb/devices/1-5\:1.0/power/wakeup

localhost:~ #
```

可以看到后者的输出值为空，这说明该设备是不支持 remote wakeup 的，换句话说，其 can_wakeup 也应该是设置为了 0，这种情况 device_may_wakeup 返回值必然是 false，而前者的输出值为 enabled，说明该设备是支持 remote wakeup 的，并且此刻 remote wakeup 的特性是打开的。别的设备也一样，用户可以通过 sysfs 来进行设置，你可以把 wakeup 从 enabled 改为 disabled。

为什么需要有这么一个 sysfs 的接口呢？我们知道 USB 设备有一种特性，叫做 remote wakeup，这种特性不是每个 USB 设备都支持，而一个设备是否支持 remote wakeup 可以在它的配置描述符里体现出来，但问题是，以前，区里的人们总是相信设备的各种描述符，可是制造商生产出来的产品总是有着各种问题的，它的各种描述符也许只是一种假象，比如，很多案例表明，一个设备的配置描述里声称自己支持 remote wakeup，但是实际上却并不支持，当它进入睡眠之后，你根本唤不醒它。所以弟兄们学乖了，决定为用户提供一种选择，即，用户可以自己打开或者关闭这种特性。

那么我们这里用 udev->do_remote_wakeup 来记录下这个值，日后会用得着的，到时候再看。

1042 行，刚才咱们设置了 auto_pm 为 0，所以这段不会执行。如果我们设置了 auto_pm 为 1，那么就会调用。autosuspend_check()，这个函数我们以后再回过来看，现在先根据我们实际的情景走，不执行。auto_pm 为 0 就是告诉人们我们现在没有做 autosuspend。以后我们会看到，auto_pm 这个变量将在 autosuspend 的代码中被设置为 1。

接下来是一段循环，按接口进行循环，即，设备有几个接口，就循环几次，因为我们知道 USB 中，驱动程序往往是针对 interface 的，而不是针对 device 的，所以每一个 interface 就可能对应一个驱动程序，进而就可能有一个单独的 suspend 函数。

遍历各个接口之后，usb_suspend_interface 这个函数如果能够顺利地把各个接口都给挂起了，那么再调用一个 usb_suspend_device 函数来执行一次总的挂起。为什么要有这两个函数我们看了就知道。先看第一个，usb_suspend_interface，来自 drivers/usb/core/driver.c:

```
    850 /* Caller has locked intf's usb_device's pm mutex */
    851 static int usb_suspend_interface(struct usb_interface *intf, pm_message_t
msg)
    852 {
    853         struct usb_driver      *driver;
    854         int                 status = 0;
    855
    856         /* with no hardware, USB interfaces only use FREEZE and ON states */
    857         if (interface_to_usbdev(intf)->state == USB_STATE_NOTATTACHED ||
    858                         !is_active(intf))
    859                 goto done;
    860
    861         if (intf->condition == USB_INTERFACE_UNBOUND)/* This can't happen */
    862                 goto done;
    863         driver = to_usb_driver(intf->dev.driver);
    864
    865         if (driver->suspend && driver->resume) {
    866                 status = driver->suspend(intf, msg);
    867                 if (status == 0)
    868                         mark_quiesced(intf);
    869                 else if (!interface_to_usbdev(intf)->auto_pm)
    870                         dev_err(&intf->dev, "%s error %d\n",
    871                                         "suspend", status);
    872         } else {
    873                 // FIXME else if there's no suspend method, disconnect...
    874                 // Not possible if auto_pm is set...
    875                 dev_warn(&intf->dev, "no suspend for driver %s?\n",
    876                                 driver->name);
    877                 mark_quiesced(intf);
    878         }
    879
    880 done:
    881         // dev_dbg(&intf->dev, "%s: status %d\n", __FUNCTION__, status);
    882         if (status == 0)
    883                 intf->dev.power.power_state.event = msg.event;
    884         return status;
    885 }
```

一路陪我们走过来的兄弟们一定不会看不懂这个函数，最关键的代码就是 866 那行，driver->suspend(intf,msg)，这就是调用具体的 interface 所绑定的那个驱动程序的 suspend 函数。比如，对于 Hub 来说，这里调用的就是 hub_suspend()函数。具体的 hub_suspend()我们倒是不用先急着看，顺着现在的情景往下过一遍，至于 hub_suspend/hub_resume，咱们跟它秋后算账。

mark_quiesced 是一个内联函数，咱们一次性把相关的三个内联函数都贴出来，来自

drivers/usb/core/usb.h 中：

```
 98 /* Interfaces and their "power state" are owned by usbcore */
 99
100 static inline void mark_active(struct usb_interface *f)
101 {
102         f->is_active = 1;
103 }
104
105 static inline void mark_quiesced(struct usb_interface *f)
106 {
107         f->is_active = 0;
108 }
109
110 static inline int is_active(const struct usb_interface *f)
111 {
112         return f->is_active;
113 }
```

其实就是 struct usb_interface 中有一个成员，unsigned is_active，这位为 1 就标志该 interface 没有 suspended，反之就是记录该 interface 已经是 suspended 了，suspended 了也被老外称作 quiesced，反之就叫做 active，所以呢，这里对应的两个函数就叫做 mark_active 和 mark_quiesced.

27．电源管理的四大消息

如果真的有一种水

可以让你让我喝了不会醉

那么也许有一种泪

可以让你让我流了不伤悲

如果真的有一种硬件

可以让你让我用了不耗电

那么也许有一种代码

可以让你让我看了不得不崩溃

这一节涉及电源管理中的一些核心概念，所以你如果可以选择看，也可以选择不看。

883 行，令 dev.power.power_state.event 等于 msg.event。现在是时候来讲一讲两样东西了，一个是 msg，一个是 event。细心的你一定注意到连续几个函数的第二个参数都是 pm_message_t msg，它姓甚名谁，是何许人也？来自 include/linux/pm.h，是电源管理部分的一个很重要的结构体：

```
202 typedef struct pm_message {
203       int event;
204 } pm_message_t;
```

这个结构体也够酷，居然只有一个成员，那就是 event。很显然 pm_message 的意思就是 PM Core 传递给设备驱动的消息，事实上 suspend 有好几种境界：比如一种是简单的停止驱动并且把设备设置为低功耗的状态；一种是停止驱动但并不真正把设备设置为低功耗的状态，（比如因为你实际上只想做一次 snapshot，或者叫做一次系统内存 image 快照，而并不需要真正把设备持续挂起）；还有一种更复杂的状态叫做 PRETHAW，稍后会说。那么你说 PM Core 部分如何让设备驱动知道你想进入哪种境界？有这么一个参数来传达这种思想不就好了吗？关于这个 event，我们来看 include/linux/pm.h 中的介绍：

```
206 /*
207  * Several driver power state transitions are externally visible, affecting
208  * the state of pending I/O queues and (for drivers that touch hardware)
209  * interrupts, wakeups, DMA, and other hardware state.  There may also be
210  * internal transitions to various low power modes, which are transparent
211  * to the rest of the driver stack (such as a driver that's ON gating off
212  * clocks which are not in active use).
213  *
214  * One transition is triggered by resume(), after a suspend() call; the
215  * message is implicit:
216  *
217  * ON         Driver starts working again, responding to hardware events
218  *            and software requests.  The hardware may have gone through
219  *            a power-off reset, or it may have maintained state from the
220  *            previous suspend() which the driver will rely on while
221  *            resuming.  On most platforms, there are no restrictions on
222  *            availability of resources like clocks during resume().
223  *
224  * Other transitions are triggered by messages sent using suspend().  All
225  * these transitions quiesce the driver, so that I/O queues are inactive.
226  * That commonly entails turning off IRQs and DMA; there may be rules
227  * about how to quiesce that are specific to the bus or the device's type.
228  * (For example, network drivers mark the link state.)  Other details may
229  * differ according to the message:
230  *
231  * SUSPEND     Quiesce, enter a low power device state appropriate for
232  *            the upcoming system state (such as PCI_D3hot), and enable
233  *            wakeup events as appropriate.
234  *
235  * FREEZE      Quiesce operations so that a consistent image can be saved;
236  *            but do NOT otherwise enter a low power device state, and do
237  *            NOT emit system wakeup events.
238  *
239  * PRETHAW     Quiesce as if for FREEZE; additionally, prepare for restoring
240  *            the system from a snapshot taken after an earlier FREEZE.
241  *            Some drivers will need to reset their hardware state instead
242  *            of preserving it, to ensure that it's never mistaken for the
243  *            state which that earlier snapshot had set up.
244  *
245  * A minimally power-aware driver treats all messages as SUSPEND, fully
246  * reinitializes its device during resume() -- whether or not it was reset
247  * during the suspend/resume cycle -- and can't issue wakeup events.
248  *
249  * More power-aware drivers may also use low power states at runtime as
250  * well as during system sleep states like PM_SUSPEND_STANDBY.  They may
251  * be able to use wakeup events to exit from runtime low-power states,
252  * or from system low-power states such as standby or suspend-to-RAM.
253  */
```

```
254
255 #define PM_EVENT_ON 0
256 #define PM_EVENT_FREEZE 1
257 #define PM_EVENT_SUSPEND 2
258 #define PM_EVENT_PRETHAW 3
259
260 #define PMSG_FREEZE     ((struct pm_message){ .event = PM_EVENT_FREEZE, })
261 #define PMSG_PRETHAW    ((struct pm_message){ .event = PM_EVENT_PRETHAW, })
262 #define PMSG_SUSPEND    ((struct pm_message){ .event = PM_EVENT_SUSPEND, })
263 #define PMSG_ON         ((struct pm_message){ .event = PM_EVENT_ON, })
```

貌似一大段，其实就是定义了 8 个宏，不过这 8 个宏咱们在 USB 子系统里面都会遇到，只是早晚的事情。我们慢慢来说，首先，message，即消息，也被叫做事件，即 event，于是每条具体的消息最终被道上的兄弟以一个叫做事件码的东西区分，即 event code，而当前 Linux 内核中，一共有四种事件码，它们是：

- ON，或者叫 PM_EVENT_ON，这个事件码实际上是不会用来传达消息的，倒是经常用来表征设备当前所处于的一种状态，即，告诉世界，本设备当前并没有处于挂起的状态，咱目前一切正常。我们这里看到的这个 dev.power.power_state.event 就是用来记录设备的这个状态的，如果没有挂起，那么这个值就应该是 PM_EVENT_ON。
- EVENT_SUSPEND，或曰 PM_EVENT_SUSPEND，这个不用说了，传达这个消息的意思就是想让设备进入低功耗的状态，用 David Brownell 在 Documentation/power/devices.txt 文件中原话来说，就是 put hardware into a low-power state。而我们这里的赋值令 dev.power.power_state.event 等于 msg.event。这就很好理解了，在调用了设备驱动的 suspend 函数去执行实际的任务之后，为设备记录下这个事件，从此以后你这个设备就不再是处于 PM_EVENT_ON 的状态了，你已经挂起了。
- EVENT_FREEZE，或曰 PM_EVENT_FREEZE，和 EVENT_SUSPEND 的区别咱们前面也说了，这里注释也说了，总之就是挂起的境界不太一样，毕竟其挂起的目的也不一样。
- EVENT_PRETHAW，或曰 PM_EVENT_PRETHAW，这就属于挂起的另一种境界。这一事件类型是为了支持 STD 的。确切地说，2.6 内核实现了一种叫做 swsusp 的 STD 方法。（swsusp 就是 Software Suspend 的意思。）而当时 David Brownell 在 Linux 中引入这么一个宏的目的就是为了支持 swsusp 的 snapshot image 恢复，这件事情的缘由是，我们知道软件挂起需要做系统内存映像快照，然后要恢复这个快照，然而，对于某些设备来说，直接恢复这个快照会导致错误，因为 resume()函数通常会读硬件的状态，然后它会认为硬件的这种状态是被 suspend 函数设置的，或者另一种情况是由于掉电重起而复位（reset）的，然而 swsusp 比较变态，它会像 kexec 一样，先使用另一个小内核实例，然后 load 那个 snapshot，从而切换成新的内核。

而问题出在哪里呢？问题就在于 swsusp 会在 load snapshot 之前把硬件们都 suspend，于是硬件们将进入某个状态，请你注意了，由于这时候那个 snapshot 内核还没有加载，所以这时候硬件们进入的这个状态只能说是不三不四的状态。（注：kexec 是 Eric Biederman 的作品，其作用是让您可以从当前正在运行的内核直接引导到一个新内核。Hoho，不懂了吧？不懂就不懂吧，这个我也没法让您懂，网上有关于 kexec 的介绍，不过要对 kexec 有一个直观了解的话可以做

一次 kdump 的实验，网上也有文档，RHEL4/5 发行版里边都包含有相关的 rpm 包。没记错的话，Redhat 官方网站上有介绍如何在他们家的系统上配置 kdump 的文档。经常调试内核的兄弟们应该会比较清楚。不懂也没有关系，总之，你只需要知道，自从有了 kexec，你的系统里就不再是一个内核了，它可以有两个，启动的时候，先启动一个小的，然后小的负责加载大的，当大了挂了之后小的可以让它快速重启，也就是说，这样做的好处就是在调试这个大的内核的时候，当这个大的内核崩溃了之后小的就可以让它重启。）

而一旦硬件们进入了那个“不三不四”的状态之后，等到 snapshot 被加载了之后，resume 会执行，resume 并不知道这个状态是个“不三不四”的状态，它以为这个状态就是正常的那种 suspend 的状态或者是 reset 之后的状态，这样子就会出现问题，从而导致设备没法工作。因此需要对 resume 的设备执行一次 reset，而这个宏就为了支持这个。具体来说，比如我们可以在 EHCI 主机控制器的驱动程序中看到如下的代码，来自 drivers/usb/host/ehci-pci.c：

```
257        /* make sure snapshot being resumed re-enumerates everything */
258        if (message.event == PM_EVENT_PRETHAW) {
259              ehci_halt(ehci);
260              ehci_reset(ehci);
261        }
```

同样在 UHCI 或者 OHCI 驱动中也能看到类似的代码，比如 OHCI 的，drivers/usb/host/ohci-pci.c：

```
229        /* make sure snapshot being resumed re-enumerates everything */
230        if (message.event == PM_EVENT_PRETHAW)
231              ohci_usb_reset(ohci);
```

比如 UHCI 的，drivers/usb/host/uhci-hcd.c：

```
768        /* make sure snapshot being resumed re-enumerates everything */
769        if (message.event == PM_EVENT_PRETHAW)
770              uhci_hc_died(uhci);
```

我们如果到代码中具体去看，会发现这些代码来自相应驱动中的 suspend()函数的最后，即无论如何把这些设备给我 reset 一次，以清除在小内核上执行 suspend()留下的恶果，从而保证 resume 函数能够正确工作。之所以专门拿主机控制器驱动程序来举例子说，是因为当前内核中，USB 子系统里会用到 PRETHAW 的只有 Host Controller Driver，因为只有它们有这样一个问题。

另外，关于 SUSPEND，FREEZE，它们都属于 suspended 状态的一种，而设备只可能由 ON 进入这两种状态之一或者由这两种状态之一进入 ON，即比如，设备可以从 ON 进入 FREEZE，也可以从 ON 进入 SUSPEND，但设备绝不可以从 FREEZE 进入 SUSPEND，也不可以从 SUSPEND 进入 FREEZE.

当然，说这么细，估计您早晕了，别慌，其实我也晕了。不过没关系，因为实际上你看到最多的还是 PM_EVENT_ON 和 PM_EVENT_SUSPEND，另外两个宏您在整个 USB 子系统也难得遇上几次。至少在咱们的 Hub 相关的这个故事中，您不会遇见另外那两个宏被使用。

28．将 suspend 分析到底

伫倚危楼风细细

望极春愁

黯黯生天际

草色烟光残照里

无言谁会凭栏意

拟把疏狂图一醉

对酒当歌

强乐还无味

衣带渐宽终不悔

为伊消得人憔悴

北宋词人柳永曾用这首蝶恋花来抒发对 Linux 内核中电源管理部分代码的无奈，当年柳永痛苦地看这代码看得想跳楼自尽。

我知道你也会觉得电源管理这部分的代码显得很复杂，调用关系一层又一层，但我们只能继续往下看。如果没有问题，usb_suspend_interface 函数就这么返回了，返回值为 status，当然就是 0。然后我们回到 usb_suspend_both，接着看下一个函数 usb_suspend_device()，同样来自 drivers/usb/core/driver.c：

```
795 /* Caller has locked udev's pm_mutex */
796 static int usb_suspend_device(struct usb_device *udev, pm_message_t msg)
797 {
798         struct usb_device_driver        *udriver;
799         int                             status = 0;
800
801         if (udev->state == USB_STATE_NOTATTACHED ||
802                         udev->state == USB_STATE_SUSPENDED)
803                 goto done;
804
805        /* For devices that don't have a driver, we do a standard suspend. */
806         if (udev->dev.driver == NULL) {
807                 udev->do_remote_wakeup = 0;
808                 status = usb_port_suspend(udev);
809                 goto done;
810         }
811
```

```
812         udriver = to_usb_device_driver(udev->dev.driver);
813         status = udriver->suspend(udev, msg);
814
815 done:
816         // dev_dbg(&udev->dev, "%s: status %d\n", __FUNCTION__, status);
817         if (status == 0)
818                 udev->dev.power.power_state.event = msg.event;
819         return status;
820 }
```

这里有一个新鲜的东西，过去我们知道 USB 设备驱动程序都是针对 interface 的，不是针对 device 的，所以很早我们就见到过一个叫做 struct usb_driver 的结构体，但是敏感的你是否注意到 2.6.22 的内核中还有另一个结构体，struct usb_device_driver 呢？它定义于 include/linux/usb.h 中：

```
859 /**
860  * struct usb_device_driver - identifies USB device driver to usbcore
861  * @name: The driver name should be unique among USB drivers,
862  *      and should normally be the same as the module name.
863  * @probe: Called to see if the driver is willing to manage a particular
864  *      device.  If it is, probe returns zero and uses dev_set_drvdata()
865  *      to associate driver-specific data with the device.  If unwilling
866  *      to manage the device, return a negative errno value.
867  * @disconnect: Called when the device is no longer accessible, usually
868  *      because it has been (or is being) disconnected or the driver's
869  *      module is being unloaded.
870  * @suspend: Called when the device is going to be suspended by the system.
871  * @resume: Called when the device is being resumed by the system.
872  * @drvwrap: Driver-model core structure wrapper.
873  * @supports_autosuspend: if set to 0, the USB core will not allow autosuspend
874  *      for devices bound to this driver.
875  *
876  * USB drivers must provide all the fields listed above except drvwrap.
877  */
878 struct usb_device_driver {
879         const char *name;
880
881         int (*probe) (struct usb_device *udev);
882         void (*disconnect) (struct usb_device *udev);
883
884         int (*suspend) (struct usb_device *udev, pm_message_t message);
885         int (*resume) (struct usb_device *udev);
886         struct usbdrv_wrap drvwrap;
887         unsigned int supports_autosuspend:1;
888 };
889 #define to_usb_device_driver(d) container_of(d,struct usb_device_driver, \
890                 drvwrap.driver)
```

我们以前说过，USB 设备驱动程序往往是针对 interface 的，而不是针对 device 的，换言之，一个 interface 对应一个 driver，这一情况到今天来看仍然是正确的，但将来就未必了，因为有一些行为是针对整个 device 的，比如电源管理中的挂起，可能整个设备需要统一的行为，而不是说每个 interface 可以单独行动，想干嘛就干嘛。

一个设备多个 interface，那么它们就是一个整体，一个整体对外就会有整体的表现。interface driver 就是专门处理各个 interface 的个性的，而 device driver 么，就用来对付整体。而这里我们看到的两个函数 usb_suspend_device 和 usb_suspend_interface 就是这种情况的体现。而 usb_suspend_device 这段代码的意图更是相当明显，如果有 device driver，那就调用它的 suspend

函数，如果没有，就调用一个通用的函数，usb_port_suspend.我们来看这个通用的 suspend 函数。

```
1684 /*
1685  * usb_port_suspend - suspend a usb device's upstream port
1686  * @udev: device that's no longer in active use
1687  * Context: must be able to sleep; device not locked; pm locks held
1688  *
1689  * Suspends a USB device that isn't in active use, conserving power.
1690  * Devices may wake out of a suspend, if anything important happens,
1691  * using the remote wakeup mechanism.  They may also be taken out of
1692  * suspend by the host, using usb_port_resume().  It's also routine
1693  * to disconnect devices while they are suspended.
1694  *
1695  * This only affects the USB hardware for a device; its interfaces
1696  * (and, for hubs, child devices) must already have been suspended.
1697  *
1698  * Suspending OTG devices may trigger HNP, if that's been enabled
1699  * between a pair of dual-role devices.  That will change roles, such
1700  * as from A-Host to A-Peripheral or from B-Host back to B-Peripheral.
1701  *
1702  * Returns 0 on success, else negative errno.
1703  */
1704 int usb_port_suspend(struct usb_device *udev)
1705 {
1706         return __usb_port_suspend(udev, udev->portnum);
1707 }
```

原来是一个幌子，真正干实事的是__usb_port_suspend()，当然从这些函数的名字也可以看出，实际上针对整个设备的挂起是与 USB Hub 的某个端口有关的，确切地说就是设备所连接的那个端口，这也就是为什么这两个函数都是出现在 drivers/usb/core/hub.c 中。而从这里的注释我们也不难看出，这里的目标就是挂起设备所连接的那个端口。

而在此之前，我们已经调用 usb_suspend_interface 挂起了设备的每一个 interface，而如果是 hub 的话，会先要求挂起其所有的子设备。这一点不用我们操心，因为有设备树的存在，PM Core 那边自然就知道如何做这件事情了。向伟大的 PM Core 致敬，少先队员行队礼，非少先队员行注目礼。

```
1644 /*
1645  * Devices on USB hub ports have only one "suspend" state, corresponding
1646  * to ACPI D2, "may cause the device to lose some context".
1647  * State transitions include:
1648  *
1649  *   - suspend, resume ... when the VBUS power link stays live
1650  *   - suspend, disconnect ... VBUS lost
1651  *
1652  * Once VBUS drop breaks the circuit, the port it's using has to go through
1653  * normal re-enumeration procedures, starting with enabling VBUS power.
1654  * Other than re-initializing the hub (plug/unplug, except for root hubs),
1655  * Linux (2.6) currently has NO mechanisms to initiate that:  no khubd
1656  * timer, no SRP, no requests through sysfs.
1657  *
1658  * If CONFIG_USB_SUSPEND isn't enabled, devices only really suspend when
1659  * the root hub for their bus goes into global suspend ... so we don't
1660  * (falsely) update the device power state to say it suspended.
1661  */
1662 static int __usb_port_suspend (struct usb_device *udev, int port1)
1663 {
1664         int     status = 0;
1665
1666         /* caller owns the udev device lock */
1667         if (port1 < 0)
```

```
1668                return port1;
1669
1670        /* we change the device's upstream USB link,
1671         * but root hubs have no upstream USB link.
1672         */
1673        if (udev->parent)
1674                status = hub_port_suspend(hdev_to_hub(udev->parent), port1,
1675                                udev);
1676        else {
1677                dev_dbg(&udev->dev, "usb %ssuspend\n",
1678                                udev->auto_pm ? "auto-" : "");
1679                usb_set_device_state(udev, USB_STATE_SUSPENDED);
1680        }
1681        return status;
1682 }
```

我倒，貌似还是一个幌子，真正的幕后英雄是 hub_port_suspend. udev->parent 为空的是 Root Hub，对于 Root Hub，只要设置设备状态为 USB_STATE_SUSPENDED 即可。因为子设备已经挂起了，而 Root Hub 本身不存在说接在哪个 port 的问题。于是我们来看 hub_port_suspend：

```
1587 /*
1588  * Selective port suspend reduces power; most suspended devices draw
1589  * less than 500 uA.  It's also used in OTG, along with remote wakeup.
1590  * All devices below the suspended port are also suspended.
1591  *
1592  * Devices leave suspend state when the host wakes them up.  Some devices
1593  * also support "remote wakeup", where the device can activate the USB
1594  * tree above them to deliver data, such as a keypress or packet.  In
1595  * some cases, this wakes the USB host.
1596  */
1597 static int hub_port_suspend(struct usb_hub *hub, int port1,
1598                struct usb_device *udev)
1599 {
1600        int    status;
1601
1602        // dev_dbg(hub->intfdev, "suspend port %d\n", port1);
1603
1604        /* enable remote wakeup when appropriate; this lets the device
1605         * wake up the upstream hub (including maybe the root hub).
1606         *
1607         * NOTE:  OTG devices may issue remote wakeup (or SRP) even when
1608         * we don't explicitly enable it here.
1609         */
1610        if (udev->do_remote_wakeup) {
1611                status = usb_control_msg(udev, usb_sndctrlpipe(udev, 0),
1612                                USB_REQ_SET_FEATURE, USB_RECIP_DEVICE,
1613                                USB_DEVICE_REMOTE_WAKEUP, 0,
1614                                NULL, 0,
1615                                USB_CTRL_SET_TIMEOUT);
1616                if (status)
1617                        dev_dbg(&udev->dev,
1618                                "won't remote wakeup, status %d\n",
1619                                status);
1620        }
1621
1622        /* see 7.1.7.6 */
1623        status = set_port_feature(hub->hdev, port1, USB_PORT_FEAT_SUSPEND);
1624        if (status) {
1625                dev_dbg(hub->intfdev,
1626                        "can't suspend port %d, status %d\n",
1627                        port1, status);
1628                /* paranoia:  "should not happen" */
```

```
1629              (void) usb_control_msg(udev, usb_sndctrlpipe(udev, 0),
1630                              USB_REQ_CLEAR_FEATURE, USB_RECIP_DEVICE,
1631                              USB_DEVICE_REMOTE_WAKEUP, 0,
1632                              NULL, 0,
1633                              USB_CTRL_SET_TIMEOUT);
1634       } else {
1635              /* device has up to 10 msec to fully suspend */
1636              dev_dbg(&udev->dev, "usb %ssuspend\n",
1637                              udev->auto_pm ? "auto-" : "");
1638              usb_set_device_state(udev, USB_STATE_SUSPENDED);
1639              msleep(10);
1640       }
1641       return status;
1642 }
```

其实之前我们见到过 do_remote_wakeup，不过没有讲，现在不得不讲了。

Linux 中，在 USB 系统里关于电源管理的部分已经做的不错了，这主要是因为 USB Spec 本身就对 USB 设备做了这方面的规定，即 USB 设备天生就应该支持电源管理，在 USB Spec 2.0 中，在第七章讲述电学特性的时候，专门有 7.17.6 和 7.1.7.7 两节介绍了 USB 设备的 Suspend 和 Resume.这其中，Suspend 还包括两种，一种是全局的，叫做 global suspend，另一种叫做选择性的，即可以选择单个的端口进行挂起，这叫 selective suspend。

而咱们这里的这个 hub_port_suspend 所执行的当然就是所谓的选择性挂起了，因为它针对的就是某个端口，而不是整个 hub。而我们现在要说的是 Remote Wakeup，从硬件角度来说，USB 设备定义了一个叫做 Remote Wakeup 的特性，所谓 Remote Wakeup 指的是设备可以发送一个信号，把自己唤醒，当然实际上唤醒的是总线，或者说最后的反应是唤醒主机。最简单的例子就是 USB 键盘，你半天不碰计算机可能大家都睡了，可是突然间你按一下某个键，可能就把大家都给唤醒了，因为你实际上是发送了一个硬件信号。再比如Hub，可能一开始是睡眠的，但如果 Hub port 上有设备插入或者拔出，那么基本上就会唤醒 Hub.

而一个设备是否具有 Remote Wakeup 这种特性，我们前面在设备的配置描述符里就已经说过，配置描述符中的 bmAttributes 就是标志着设备是否支持 Remote Wakeup.

比如下面是我执行 lsusb –v 命令看到的输出信息中的一部分，这是一个键盘/鼠标的结合体。

```
Bus 003 Device 002: ID 0624:0294 Avocent Corp.
Device Descriptor:
  bLength             18
  bDescriptorType      1
  bcdUSB            1.10
  bDeviceClass         0 (Defined at Interface level)
  bDeviceSubClass      0
  bDeviceProtocol      0
  bMaxPacketSize0      8
  idVendor          0x0624 Avocent Corp.
  idProduct         0x0294
  bcdDevice           1.00
  iManufacturer        1 Avocent
  iProduct             2 Dell 03R874
  iSerial              0
  bNumConfigurations   1
  Configuration Descriptor:
    bLength             9
    bDescriptorType     2
    wTotalLength       59
    bNumInterfaces      2
    bConfigurationValue   1
```

```
        iConfiguration          4 HID Keyboard / Mouse
        bmAttributes         0xa0
          (Bus Powered)
          Remote Wakeup
        MaxPower              100mA
        Interface Descriptor:
          bLength                 9
          bDescriptorType         4
          bInterfaceNumber        0
          bAlternateSetting       0
          bNumEndpoints           1
          bInterfaceClass         3 Human Interface Devices
          bInterfaceSubClass      1 Boot Interface Subclass
          bInterfaceProtocol      1 Keyboard
          iInterface              5 EP1 Interrupt
            HID Device Descriptor:
              bLength                 9
              bDescriptorType        33
              bcdHID                1.10
              bCountryCode            33 US
              bNumDescriptors          1
              bDescriptorType         34 Report
              wDescriptorLength       64
             Report Descriptors:
               ** UNAVAILABLE **
          Endpoint Descriptor:
            bLength                 7
            bDescriptorType         5
            bEndpointAddress     0x81  EP 1 IN
            bmAttributes            3
              Transfer Type            Interrupt
              Synch Type               None
              Usage Type               Data
            wMaxPacketSize     0x0008  1x 8 bytes
            bInterval              10
```

我们可以看到 Configuration Descriptor 那一段有一个 Remote Wakeup。你在自己电脑上执行 lsusb –v 命令，你会发现很多设备的那一段并没有这么一个 Remote Wakeup，只有具有这种特性的才会在这里显示出来。很显然你会发现你的 U 盘是不具有这个特性的，因为 USB Mass Storage 协议里也没有定义这方面的特性。

Remote Wakeup 这东西，是设备的特性。不是每个设备都具备的。当然有这种特性也并不意味着这种特性就是 enable 的，因为 usb spec 2.0 里 9.1.1.6 中有这么一句话，If a USB device is capable of remote wakeup signaling, the device must support the ability of the host to enable and disable this capability. 即从软件的角度来说，我们可以 enable 这种特性，也可以 disable 这种特性。

那么对于先天性具有这种特性的设备，如何 enable 这种特性？

USB Spec 2.0 中 9.4.5 中说得很好，当我们向一个设备发送 GetStatus()的请求时，其返回值中的 D1 就是表征此时此刻这种能力是否被 enable 了，默认情况 D1 应该是 0，表示 disabled，而如果 D1 被设置成了 1，那么就表示这种特性被 enable 了。如何设置呢？SetFeature()请求，请求的是 DEVICE_REMOTE_WAKEUP。用代码来说话，那就是咱们这里的 1611 行，这样就算是 enable 了 Remote Wakeup，如果你要 disable 掉的话，只要把 SetFeature 换成 ClearFeature 即可。DEVICE_REMOTE_WAKEUP 被称为标准的 Feature 选择器。如图 2.27.1 所示。

Feature Selector	Recipient	Value
DEVICE_REMOTE_WAKEUP	bLength	1
ENDPOINT_HALT	bDescriptorType	1
TEST_MODE	bString	N

图 2.27.1　Feature 选择器

而 do_remote_wakeup 作为 struct usb_device 结构体中的一个成员，其默认值为 1。只是刚才在 usb_suspend_device 函数中，我们判断如果设备没有和 driver 绑定，就先把其 do_remote_wakeup 设置为 0，理由很简单，没有驱动的话，就没必要找麻烦了，还是那句话，男人，简单就好。

紧接着 1623 行， set_port_feature，这次设置的是 USB_PORT_FEAT_SUSPEND，这个宏对应的 USB Spec 2.0 中的 PORT_SUSPEND，设置了这个 feature 就意味着停止这个端口上的总线交通，也因此就意味着该端口连的设备进入了 suspend 状态。而这也正是我们的最终目标，这之后我们看到 1638 行就调用 usb_set_device_state 把设备的状态设置为 USB_STATE_SUSPENDED。当然，也要注意到，如果设置 PORT_SUSPEND 失败了的话，我们就将在 1629 行发送 ClearFeature 把 Remote Wakeup 的特性给清除掉。因为已经没有必要了，没有挂起就没有唤醒。

不小心把这个 suspend 的流程走了一遍，不过你一定还要问，为何 drivers/usb/core/hub.c 中的那个 hub_suspend 还没讲？于是现在来说 hub driver，hub_suspend 被赋值给了 hub_driver 中的 suspend 成员，而 hub driver 是一个 interface driver，所以实际上 hub_suspend 将会在当初那个 usb_suspend_interface 中被调用，没错就是 866 那行，status = driver->suspend(intf,msg);

于是我们就来具体看看 hub_suspend：

```
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 }
```

其实也没做什么，不过我们可以看到 msg 在整个 suspend 的情节里是代代相传，每个函数都把它当参数。

1927 至 1944 这一段循环的目的就是判断是否有任何一个 Hub 的子设备尚未挂起。关于 CONFIG_USB_SUSPEND，我们在 drivers/usb/core/Kconfig 中可以看到：

```
74 config USB_SUSPEND
75        bool "USB selective suspend/resume and wakeup (EXPERIMENTAL)"
76        depends on USB && PM && EXPERIMENTAL
77        help
78          If you say Y here, you can use driver calls or the sysfs
79          "power/state" file to suspend or resume individual USB
80          peripherals.
81
82          Also, USB "remote wakeup" signaling is supported, whereby some
83          USB devices (like keyboards and network adapters) can wake up
84          their parent hub.  That wakeup cascades up the USB tree, and
85          could wake the system from states like suspend-to-RAM.
86
87          If you are unsure about this, say N here.
```

毫无疑问，要想在 USB 子系统里支持 suspend，则完全可以理直气壮地打开这个编译开关。前面我们说过，dev.power.power_state.event 如果等于 PM_EVENT_ON，就相当于向世界宣布，本设备当前并不是挂起状态。而这里的 udev->state 不等于 USB_STATE_SUSPENDED 也是表征同样的含义，不过你需要注意，USB_STATE_SUSPENDED 将由 usb_set_device_state 来设置，而你不难发现，这个世界上一共有两个函数会调用这个函数来设置这个状态，它们就是刚才说过的__usb_port_suspend 和 hub_port_suspend()，其中，后者还是被前者调用的，即__usb_port_suspend 调用 hub_port_suspend，而__usb_port_suspend 是被 usb_port_suspend 调用，我们继续跟踪的话就会发现，如果你没有打开 CONFIG_USB_SUSPEND，usb_port_suspend 只是一个空函数，啥也不做。

```
1886 #else   /* CONFIG_USB_SUSPEND */
1887
1888/*When CONFIG_USB_SUSPEND isn't set, we never suspend or resume any ports.*/
1889
1890 int usb_port_suspend(struct usb_device *udev)
1891 {
1892        return 0;
1893 }
```

所以，这里判断 USB_STATE_SUSPENDED 之前要先判断编译开关。另一个问题，这里因

为USB_STATE_SUSPENDED是USB这部分代码定义的宏，而PM_EVENT_ON毕竟是PM Core那边定义的宏，所以，我们应该尽量使用自己的这个宏.实在不行才去使用外部的资源。

auto_pm 是用来设置自动挂起的，如果它为 1，表明这次挂起是自动挂起，而不是系统级的挂起。以咱们这个上下文来看，由于咱们在 usb_external_suspend_device 中设置了 auto_pm 为 0，所以这里就直接返回了。

为何 auto_pm 为 0 就返回，否则就不返回，稍后我们看到 autosuspend/autoresume 那边的代码就明白了，我们现在这里的思路是，没什么特别的理由，那么子设备如果没有睡眠，那么父设备的 suspend 就会失败，但是如果这是一次 autosuspend，那么就不会失败。因为 autosuspend 会有专门的方法来处理这种情况，后面会看到。

很久很久以前我们就见到过那个了，千呼万唤始出来的 hub_quiesce()函数。我们曾多次判断过它是否为零，在 hub_events()中我们判断过，在 hub_irq()中我们判断过，在 led_work()中我们判断过。

```
500 static void hub_quiesce(struct usb_hub *hub)
501 {
502         /* (nonblocking) khubd and related activity won't re-trigger */
503         hub->quiescing = 1;
504         hub->activating = 0;
505
506         /* (blocking) stop khubd and related activity */
507         usb_kill_urb(hub->urb);
508         if (hub->has_indicators)
509                 cancel_delayed_work(&hub->leds);
510         if (hub->has_indicators || hub->tt.hub)
511                 flush_scheduled_work();
512 }
```

看到这么短小精悍的函数，不由得一阵喜悦涌上心头。

这个函数是唯一一处设置 hub->quiescing 为 1 的地方，它和另一个函数针锋相对，即 hub_activate()，hub_activate()中设置 hub->quiescing 为 0，而设置 hub->activating 为 1。而这个函数恰恰相反，仔细一看你会发现，这两个函数做的事情几乎是完全相反。那边人家调用 usb_submit_urb()提交一个 urb，这边就给人拆台，调用 usb_kill_urb()来撤掉该 urb，那边人家调用 schedule_delayed_work 建立一个延时工作的函数，这边就调用 cancel_delayed_work 给人家拆了，flush_scheduled_work()通常在 cancel_delayed_work 后面被调用，这个函数会使等待队列中所有任务都被执行。

1952 到 1958 行是专门针对 Root Hub 的，因为通常 Host Controller Driver 也会提供自己的 suspend 函数，所以如果挂起操作已经上升到了 Root Hub 这一层，就应该调用 hcd 的 suspend 函数.即 hcd_bus_suspend.1954 行，如果挂起失败了，那么就别挂起，还是调用 hub_activate()重新激活。

29．梦醒时分

对于 suspend 和 resume，如果你不调用 suspend，那么永远也不需要调用 resume，它们就

这样青梅竹马地存在于这个世界上，过着世外桃源般的日子。但是如果你不小心调用了 suspend 让设备睡眠，那么你就必然需要在将来某个时刻调用 resume 来唤醒设备。

看完了 suspend 再来看 resume，变量 usb_bus_type 中的成员 resume 被赋值为 usb_resume，和 usb_suspend 对应，来自 drivers/usb/core/driver.c：

```
    1504 static int usb_resume(struct device *dev)
    1505 {
    1506         struct usb_device      *udev;
    1507
    1508         if (!is_usb_device(dev))       /* Ignore PM for interfaces */
    1509                 return 0;
    1510         udev = to_usb_device(dev);
    1511         if (udev->autoresume_disabled)
    1512                 return -EPERM;
    1513         return usb_external_resume_device(udev);
    1514 }
```

看过了 usb_suspend 再来看这个 usb_resume 就显得很简单了，两个函数基本能体现一种对称美。autoresume_disabled 是 struct usb_device 中的一个成员，即我们给用户提供一种选择，让用户可以自己来 disable 掉设备的 autoresume，一旦 disable 掉了，就意味着设备是不会唤醒了，所以这里直接返回错误码。

接着，usb_external_resume_device

```
    1469 /**
    1470  * usb_external_resume_device - external resume of a USB device and its
interfaces
    1471  * @udev: the usb_device to resume
    1472  *
    1473  * This routine handles external resume requests: ones not generated
    1474  * internally by a USB driver (autoresume) but rather coming from the user
    1475  * (via sysfs), the PM core (system resume), or the device itself (remote
    1476  * wakeup).  @udev's usage counter is unaffected.
    1477  *
    1478  * The caller must hold @udev's device lock.
    1479  */
    1480 int usb_external_resume_device(struct usb_device *udev)
    1481 {
    1482         int     status;
    1483
    1484         usb_pm_lock(udev);
    1485         udev->auto_pm = 0;
    1486         status = usb_resume_both(udev);
    1487         udev->last_busy = jiffies;
    1488         usb_pm_unlock(udev);
    1489
    1490         /* Now that the device is awake, we can start trying to autosuspend
    1491          * it again. */
    1492         if (status == 0)
    1493                 usb_try_autosuspend_device(udev);
    1494         return status;
    1495 }
```

也不干别的，设置好 udev->auto_pm 为 0，调用 usb_resume_both，再调用 usb_try_autosuspend_device，关于 autosuspend/autoresume 的部分我们稍候会单独讲。现在先来看 usb_resume_both：

```
    1083 /**
    1084  * usb_resume_both - resume a USB device and its interfaces
    1085  * @udev: the usb_device to resume
```

```
1086  *
1087  * This is the central routine for resuming USB devices.  It calls the
1088  * the resume method for @udev and then calls the resume methods for all
1089  * the interface drivers in @udev.
1090  *
1091  * Before starting the resume, the routine calls itself recursively for
1092  * the parent device of @udev, thereby propagating the change up the device
1093  * tree and assuring that @udev will be able to resume.  If the parent is
1094  * unable to resume successfully, the routine fails.
1095  *
1096  * The resume method calls are subject to mutual exclusion under control
1097  * of @udev's pm_mutex.  Many of these calls are also under the protection
1098  * of @udev's device lock (including all requests originating outside the
1099  * USB subsystem), but autoresume requests generated by a child device or
1100  * interface driver may not be.  Usbcore will insure that the method calls
1101  * do not arrive during bind, unbind, or reset operations.  However, drivers
1102  * must be prepared to handle resume calls arriving at unpredictable times.
1103  * The only way to block such calls is to do an autoresume (preventing
1104  * other autoresumes) while holding @udev's device lock (preventing outside
1105  * resumes).
1106  *
1107  * The caller must hold @udev->pm_mutex.
1108  *
1109  * This routine can run only in process context.
1110  */
1111 static int usb_resume_both(struct usb_device *udev)
1112 {
1113       int                 status = 0;
1114       int                 i;
1115       struct usb_interface   *intf;
1116       struct usb_device      *parent = udev->parent;
1117
1118       cancel_delayed_work(&udev->autosuspend);
1119       if (udev->state == USB_STATE_NOTATTACHED) {
1120             status = -ENODEV;
1121             goto done;
1122       }
1123
1124       /* Propagate the resume up the tree, if necessary */
1125       if (udev->state == USB_STATE_SUSPENDED) {
1126             if (udev->auto_pm && udev->autoresume_disabled) {
1127                   status = -EPERM;
1128                   goto done;
1129             }
1130             if (parent) {
1131                   status = usb_autoresume_device(parent);
1132                   if (status == 0) {
1133                         status = usb_resume_device(udev);
1134                         if (status) {
1135                               usb_autosuspend_device(parent);
1136
1137                               /* It's possible usb_resume_device()
1138                                * failed after the port was
1139                                * unsuspended, causing udev to be
1140                                * logically disconnected.  We don't
1141                                * want usb_disconnect() to autosuspend
1142                                * the parent again, so tell it that
1143                                * udev disconnected while still
1144                                * suspended. */
1145                               if (udev->state ==
1146                                           USB_STATE_NOTATTACHED)
1147                                     udev->discon_suspended = 1;
1148                         }
1149                   }
```

```
1150                } else {
1151
1152                        /* We can't progagate beyond the USB subsystem,
1153                         * so if a root hub's controller is suspended
1154                         * then we're stuck. */
1155                        if (udev->dev.parent->power.power_state.event !=
1156                                        PM_EVENT_ON)
1157                                status = -EHOSTUNREACH;
1158                        else
1159                                status = usb_resume_device(udev);
1160                }
1161        } else {
1162
1163                /* Needed only for setting udev->dev.power.power_state.event
1164                 * and for possible debugging message. */
1165                status = usb_resume_device(udev);
1166        }
1167
1168        if (status == 0 && udev->actconfig) {
1169                for (i = 0; i < udev->actconfig->desc.bNumInterfaces; i++) {
1170                        intf = udev->actconfig->interface[i];
1171                        usb_resume_interface(intf);
1172                }
1173        }
1174
1175  done:
1176        // dev_dbg(&udev->dev, "%s: status %d\n", __FUNCTION__, status);
1177        return status;
1178 }
```

和 usb_suspend_both 的结构比较类似，不过这里是先针对 device，再针对 interface，而 usb_suspend_both 那儿是先针对 interface，再针对 device。先来看 udev->autosuspend，我们刚刚才看到过 cancel_delayed_work，这里又出现了一次。

struct usb_device 结构体有一个成员，struct delayed_work autosuspend。要明白它，必须先明白另一个家伙，ksuspend_usb_wq.在 drivers/usb/core/usb.c 中：

```
51 /* Workqueue for autosuspend and for remote wakeup of root hubs */
52 struct workqueue_struct *ksuspend_usb_wq;
```

之前咱们在讲 hub->leds 的时候提到过 struct workqueue_struct 代表一个工作队列，不过作为 hub->leds，没有单独建立一个工作队列，而是使用默认的公共队列，但是这里需要单独建立自己的队列。很显然，hub->leds 代表着与指示灯相关的代码，其地位是很低下的，不可能受到足够的重视，而这里这个工作队列代表着整个 USB 子系统里与电源管理非常相关的一部分代码的利益，当然会被受到重视。

不信的话，咱们可以再一次看 usb 子系统初始化的代码，即 usb_init 函数，其第一个重要的函数就是 ksuspend_usb_init()，drivers/usb/core/usb.c 中：

```
200 #ifdef  CONFIG_PM
201
202 static int ksuspend_usb_init(void)
203 {
204        /* This workqueue is supposed to be both freezable and
205         * singlethreaded.  Its job doesn't justify running on more
206         * than one CPU.
207         */
208        ksuspend_usb_wq = create_freezeable_workqueue("ksuspend_usbd");
209        if (!ksuspend_usb_wq)
```

```
210             return -ENOMEM;
211       return 0;
212 }
213
214 static void ksuspend_usb_cleanup(void)
215 {
216       destroy_workqueue(ksuspend_usb_wq);
217 }
218
219 #else
220
221 #define ksuspend_usb_init()    0
222 #define ksuspend_usb_cleanup()  do {} while (0)
223
224 #endif  /* CONFIG_PM */
```

如果你没有打开 CONFIG_PM 这个编译开关，当然就什么也不会发生，这俩函数也就是空函数，如果打开了，那么 ksuspend_usb_init 在 usb_init 中被调用，而 ksuspend_usb_cleanup 反其道而行之，在 usb_exit 中被调用。

没错，ksuspend_usb_init 虽然超级短，但是它却做了一件相当有意义的事情，那就是调用 create_freezeable_workqueue()，这其实就是创建一个工作队列，函数的参数就是这个工作队列的名字，即 ksuspend_usbd，而函数的返回值就是工作队列结构体指针，即 struct workqueue_struct 指针，然后赋值给了 ksuspend_usb_wq。

所以我们接下来就需要和 ksuspend_usb_wq 打交道了。所要知道的是，如果要把一个任务加入到工作队列中来，则可以调用 queue_work 或者 queue_delayed_work。在 2.6.22 的内核中，往这个工作队列中加工作的地方只有两处，一处是 drivers/usb/core/driver.c 中的 autosuspend_check()函数内部，调用的是 queue_delayed_work，一处是 drivers/usb/core/hcd.c 中，调用的是 queue_work。autosuspend_check 我们后面会讲，现在把与 ksuspend_usb_wq 相关的两行贴出来，先睹为快。

```
976                   queue_delayed_work(ksuspend_usb_wq, &udev->autosuspend,
977                                       suspend_time - jiffies);
```

这里第三个参数 suspend_time-jiffies，表明一个延时的时间，即至少经过这么多时间之后，这个任务才可以真正执行。这就和我们前面见过的那个 schedule_delayed_work()函数类似。

而正是这里让我们看到了 udev->autosuspend 和 ksuspend_usb_wq 之间的关系，即后者代表一个工作队列，而前者代表一个工作，这里的做法就是把 autosuspend 给加入到了 ksuspend_usb_wq 这个队列里，并且在经过一段延时之后执行这个工作。工作队列中的任务由相关的工作线程执行，可能是在一个无法预期的时间（取决于负载，中断等等），或者是在一段延迟之后。

于是你该问了，udev->autosuspend 是一个 struct delayed_work 结构体，那么它所对应的那个函数是谁?其实我们见过，不过也许你已经忘记了，还记得八大函数的第一个么，usb_alloc_dev，当时就有这么一行，INIT_DELAYED_WORK(&dev->autosuspend，usb_autosuspend_work)，所以说，每一个 USB 设备在它刚问世的时候就已经和一个叫做 usb_autosuspend_work 给捆绑了起来，即它还少不更事的时候就已经和 usb_autosuspend_work()函数签了这么一个“卖身契”，因此，不管你是 USB 鼠标还是 USB 键盘，或者是 USB Mass Storage，总之你都得和 usb_autosuspend_work 发生关系。

至此，我们就很好理解 usb_resume_both 函数中 cancel_delayed_work 那行的意思了。且不管 autosuspend 和一般的 suspend 有什么区别，一个很简单的道理，既然要 resume，那当然就不要 suspend 了。cancel 了一个设备的 autosuspend 的 work，自然它就不会再自动挂起，而如果你以后要让它能够自动挂起，你可以再次调用 queue_delayed_work，正如在 autosuspend_check 中做的那样。具体代码我们后面讲 autosuspend 再看。

继续在 usb_resume_both 中往下看，刚才我们设置了 auto_pm 为 0，所以这里 1126 这个 if 内部不会执行。

1130 行，如果不是 Root Hub，那么调用针对父设备调用 usb_autoresume_device，还是我们一直强调的那个道理，挂起的时候要从下至上，而唤醒的时候要自上而下。一个自来水管系统，如果上面没水，下面开关全打开也没有任何意义。

上面醒来了，才调用 usb_resume_device 唤醒下面的当前这个 device。如果当前设备的唤醒失败了，那么调用 usb_autosuspend_device()来把刚才做的事情取消掉，道理很简单，本来咱们的目的就是为了唤醒当前设备，为此我们先唤醒了上层的设备，结果上层的设备唤醒了，但是咱们自己却没有唤醒，那咱们所做的就是无用功了，所以还是把刚刚唤醒的上层设备给催眠吧。

虽然我们还没有讲 autosuspend/autoresume，但是凭一个男人的直觉，我们基本上能够感觉出，usb_autosuspend_device 和 usb_autoresume_device 这两个函数可以很好的处理 USB 设备树，即他们不会仅仅对付一个设备，而是会很自然地沿着 USB 设备树去往上走或者往下走，从而保证咱们刚才说的那个挂起时从下至上，唤醒时从上而下。

其实，在 usb_suspend_both 中我们还剩下一个函数没有提，它正是 usb_autosuspend_ device()，而且是针对父设备的，如果你有耐心，就会发现 usb_autosuspend_device 会调用 usb_autopm_do_ device()，而后者又会调用 usb_suspend_both，这样一层一层往上走，其效果就像一只蜗牛，一步一步往上爬。

而这里的 usb_autoresume_device 的原理恰好相反，它也会调用 usb_autopm_do_device()，而后者这时候又会调用 usb_resume_both，于是就会一层一层往下走，效果就相当于我们以前往的那个游戏——“是男人就下一百层”。也正是因为这种你调用我我调用你的复杂关系，我们才决定先不去深入看 autosuspend 相关的函数，等我们看完了非 autosuspend 的函数再去看就会很容易理解。

让我们来看 usb_resume_device()：

```
822 /* Caller has locked udev's pm_mutex */
823 static int usb_resume_device(struct usb_device *udev)
824 {
825       struct usb_device_driver       *udriver;
826       int                          status = 0;
827
828       if (udev->state == USB_STATE_NOTATTACHED ||
829                     udev->state != USB_STATE_SUSPENDED)
830             goto done;
831
832       /* Can't resume it if it doesn't have a driver. */
833       if (udev->dev.driver == NULL) {
834             status = -ENOTCONN;
835             goto done;
836       }
837
838       udriver = to_usb_device_driver(udev->dev.driver);
839       status = udriver->resume(udev);
```

```
    840
    841 done:
    842         // dev_dbg(&udev->dev, "%s: status %d\n", __FUNCTION__, status);
    843         if (status == 0) {
    844                 udev->autoresume_disabled = 0;
    845                 udev->dev.power.power_state.event = PM_EVENT_ON;
    846         }
    847         return status;
    848 }
```

这种似曾相识的感觉是不言而喻的，和 usb_suspend_device 那是相当的对称啊！最重要的当然是 839 行，调用属于设备驱动的 resume 函数。不过，至少到 2.6.22 的内核为止，这个世界上总共只有一个 struct usb_device_driver 的结构体变量，它就是 struct usb_device_driver usb_generic_driver，而实际上你会发现你的每个设备默认情况下都会和这个 usb_generic_driver 相绑定，除非你自己定义了自己的 struct usb_device_driver 结构体，不过至少在标准内核中，暂时还没有人这么干，当然以后也许会有。否则 struct usb_device_driver 这个结构体就太浪费了点。关于 usb_generic_driver，你可以在 sysfs 下看到效果，比如：

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # ls /sys/bus/usb/drivers
    hub  usb  usb-storage  usbfs
```

所有 USB 驱动程序都会在这里有一个对应的目录，其中与 usb_generic_driver 对应的就是那个 USB 目录。这是因为：

```
    210 struct usb_device_driver usb_generic_driver = {
    211         .name = "usb",
    212         .probe = generic_probe,
    213         .disconnect = generic_disconnect,
    214 #ifdef  CONFIG_PM
    215         .suspend = generic_suspend,
    216         .resume = generic_resume,
    217 #endif
    218         .supports_autosuspend = 1,
    219 };
```

这里的 name 就对应了在/sys/bus/usb/drivers/下面的那个子目录名称。现在内核的处理方式是，凡是有一个新的设备被探测到，就先把它的 struct usb_device 和这个 generic driver 相绑定，即首先被调用的 generic_probe，才会根据每一个具体的 interface 去绑定属于具体 interface 的驱动程序，去调用具体的那个 interface 对应的 driver 的 probe 函数，比如 storage_probe。

因此你会发现，不管插入哪种 USB 设备，都会在/sys/bus/usb/drivers/usb/目录下面发现多出一个文件来，比如：

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core#ls /sys/bus/usb/drivers/usb
1-1  bind  module  unbind  usb1  usb2  usb3  usb4  usb5
```

而如果你插入的是 usb-storage，那么接下来在/sys/bus/usb/drivers/usb-storage/下面也将多出一个对应的文件来：

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core#ls
/sys/bus/usb/drivers/usb-storage/
1-1:1.0  bind  module  new_id  unbind
```

而在/sys/bus/usb/devices/目录下面，你能看到所有 USB 设备：

```
localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core # ls /sys/bus/usb/devices/
1-0:1.0  1-1  1-1:1.0  2-0:1.0  3-0:1.0  4-0:1.0  5-0:1.0  usb1  usb2  usb3  usb4
usb5
```

贴出这些只是为了给你有一个直观的印象，而我们需要知道的是对于当前的设备来说，其默认情况下所对应的设备驱动级的 suspend 函数就是 generic_suspend，resume 函数就是 generic_resume，所以我们来看这两个函数：

```
    192 #ifdef  CONFIG_PM
    193
    194 static int generic_suspend(struct usb_device *udev, pm_message_t msg)
    195 {
    196        /* USB devices enter SUSPEND state through their hubs, but can be
    197         * marked for FREEZE as soon as their children are already idled.
    198         * But those semantics are useless, so we equate the two (sigh).
    199         */
    200        return usb_port_suspend(udev);
    201 }
    202
    203 static int generic_resume(struct usb_device *udev)
    204 {
    205        return usb_port_resume(udev);
    206 }
    207
    208 #endif  /* CONFIG_PM */
```

呵呵，原来也就是调用 usb_port_suspend 和 usb_port_resume 而已。前面我们已经看过 usb_port_suspend 函数，现在我们来看 usb_port_resume

```
    1838 /*
    1839  * usb_port_resume - re-activate a suspended usb device's upstream port
    1840  * @udev: device to re-activate
    1841  * Context: must be able to sleep; device not locked; pm locks held
    1842  *
    1843  * This will re-activate the suspended device, increasing power usage
    1844  * while letting drivers communicate again with its endpoints.
    1845  * USB resume explicitly guarantees that the power session between
    1846  * the host and the device is the same as it was when the device
    1847  * suspended.
    1848  *
    1849  * Returns 0 on success, else negative errno.
    1850  */
    1851 int usb_port_resume(struct usb_device *udev)
    1852 {
    1853        int    status;
    1854
    1855        /* we change the device's upstream USB link,
    1856         * but root hubs have no upstream USB link.
    1857         */
    1858        if (udev->parent) {
    1859               // NOTE this fails if parent is also suspended...
    1860               status = hub_port_resume(hdev_to_hub(udev->parent),
    1861                              udev->portnum, udev);
    1862        } else {
    1863               dev_dbg(&udev->dev, "usb %sresume\n",
    1864                              udev->auto_pm ? "auto-" : "");
    1865               status = finish_port_resume(udev);
    1866        }
    1867        if (status < 0)
    1868               dev_dbg(&udev->dev, "can't resume, status %d\n", status);
    1869        return status;
```

```
1870 }
```

结构很清晰，对于非 Root Hub，调用 hub_port_resume，对于 Root Hub，调用 finish_port_resume，先看前者再看后者.

```
1770 static int
1771 hub_port_resume(struct usb_hub *hub, int port1, struct usb_device *udev)
1772 {
1773       int    status;
1774       u16    portchange, portstatus;
1775
1776       /* Skip the initial Clear-Suspend step for a remote wakeup */
1777       status = hub_port_status(hub, port1, &portstatus, &portchange);
1778       if (status == 0 && !(portstatus & USB_PORT_STAT_SUSPEND))
1779             goto SuspendCleared;
1780
1781       // dev_dbg(hub->intfdev, "resume port %d\n", port1);
1782
1783       set_bit(port1, hub->busy_bits);
1784
1785       /* see 7.1.7.7; affects power usage, but not budgeting */
1786       status = clear_port_feature(hub->hdev,
1787                   port1, USB_PORT_FEAT_SUSPEND);
1788       if (status) {
1789             dev_dbg(hub->intfdev,
1790                   "can't resume port %d, status %d\n",
1791                   port1, status);
1792       } else {
1793             /* drive resume for at least 20 msec */
1794             if (udev)
1795                   dev_dbg(&udev->dev, "usb %sresume\n",
1796                               udev->auto_pm ? "auto-" : "");
1797             msleep(25);
1798
1799 #define LIVE_FLAGS     ( USB_PORT_STAT_POWER \
1800                   | USB_PORT_STAT_ENABLE \
1801                   | USB_PORT_STAT_CONNECTION)
1802
1803             /* Virtual root hubs can trigger on GET_PORT_STATUS to
1804              * stop resume signaling.  Then finish the resume
1805              * sequence.
1806              */
1807           status = hub_port_status(hub, port1, &portstatus, &portchange);
1808 SuspendCleared:
1809             if (status < 0
1810                         || (portstatus & LIVE_FLAGS) != LIVE_FLAGS
1811                         || (portstatus & USB_PORT_STAT_SUSPEND) != 0
1812                         ) {
1813                   dev_dbg(hub->intfdev,
1814                         "port %d status %04x.%04x after resume, %d\n",
1815                         port1, portchange, portstatus, status);
1816                   if (status >= 0)
1817                         status = -ENODEV;
1818             } else {
1819                   if (portchange & USB_PORT_STAT_C_SUSPEND)
1820                         clear_port_feature(hub->hdev, port1,
1821                                     USB_PORT_FEAT_C_SUSPEND);
1822                   /* TRSMRCY = 10 msec */
1823                   msleep(10);
1824                   if (udev)
1825                         status = finish_port_resume(udev);
1826             }
1827       }
```

```
1828        if (status < 0)
1829                hub_port_logical_disconnect(hub, port1);
1830
1831        clear_bit(port1, hub->busy_bits);
1832        if (!hub->hdev->parent && !hub->busy_bits[0])
1833                usb_enable_root_hub_irq(hub->hdev->bus);
1834
1835        return status;
1836 }
```

看起来还挺复杂，但目的很明确，唤醒这个 hub 端口。首先查看该 port 是否已经 resume 了，然后最直观最实在的代码就是 1786 行那个 clear_port_feature，这行代码很显然和 hub_port_suspend 中那行 set_port_feature 遥相呼应的。你给 hub port 设置了 USB_PORT_FEAT_SUSPEND，我就给你清掉，偏要跟你对着干。

如果成功了，status 为 0，进入 1792 行这个 else，睡眠 25ms，usb spec 2.0 规定，resume 信号应该维持至少 20 毫秒才能有效，这个时间被称为 TDRSMDN。

1807 至 1826 行是一种特殊情况，想得很周到，睡眠 25ms，可是 Root Hub 可能会把你的 resume 信号给 stop 掉，只要它在这期间发送了 GET_PORT_STATUS 请求。所以这里就再次读取端口的状态，如果这个端口对应的 USB_PORT_STAT_POWER / USB_PORT_STAT_ ENABLE / USB_PORT_STAT_CONNECTION 中有一位为 0，那么说明出错了，也就不用继续折腾了。而如果 USB_PORT_STAT_SUSPEND 这一位又被设置了，那么咱的猜测也就对了。这种情况咱们这里先把 status 设置为-ENODEV。

如果不是以上情况，那么 1818 行进去。如果 SUSPEND 位确实有变化，说明 resume 操作基本上达到了目的，那么先清掉这一位.睡眠 10ms，这个 10 毫秒被称为 TRSMRCY，或称为 resume 恢复时间（resume recovery time），这个道理也很简单，通常我睡一觉醒来之后必然不是马上很清醒，肯定还需要一段时间恢复，特别是前一天晚上玩游戏玩到半夜，第二天又有喜欢点名的变态老师的课，那么我基本上是匆匆从南区赶到本部教室，但意识却还未清醒，不过我和设备不同的是，设备恢复了之后就可以工作了，而我赶到教室之后就是接着睡。

```
1709 /*
1710  * If the USB "suspend" state is in use (rather than "global suspend"),
1711  * many devices will be individually taken out of suspend state using
1712  * special" resume" signaling.  These routines kick in shortly after
1713  * hardware resume signaling is finished, either because of selective
1714  * resume (by host) or remote wakeup (by device) ... now see what changed
1715  * in the tree that's rooted at this device.
1716  */
1717 static int finish_port_resume(struct usb_device *udev)
1718 {
1719        int    status;
1720        u16    devstatus;
1721
1722        /* caller owns the udev device lock */
1723        dev_dbg(&udev->dev, "finish resume\n");
1724
1725        /* usb ch9 identifies four variants of SUSPENDED, based on what
1726         * state the device resumes to.  Linux currently won't see the
1727         * first two on the host side; they'd be inside hub_port_init()
1728         * during many timeouts, but khubd can't suspend until later.
1729         */
1730        usb_set_device_state(udev, udev->actconfig
```

```
1731                    ? USB_STATE_CONFIGURED
1732                    : USB_STATE_ADDRESS);
1733
1734        /* 10.5.4.5 says be sure devices in the tree are still there.
1735         * For now let's assume the device didn't go crazy on resume,
1736         * and device drivers will know about any resume quirks.
1737         */
1738        status = usb_get_status(udev, USB_RECIP_DEVICE, 0, &devstatus);
1739        if (status >= 0)
1740                status = (status == 2 ? 0 : -ENODEV);
1741
1742        if (status)
1743                dev_dbg(&udev->dev,
1744                        "gone after usb resume? status %d\n",
1745                        status);
1746        else if (udev->actconfig) {
1747                le16_to_cpus(&devstatus);
1748                if ((devstatus & (1 << USB_DEVICE_REMOTE_WAKEUP))
1749                                && udev->parent) {
1750                        status = usb_control_msg(udev,
1751                                        usb_sndctrlpipe(udev, 0),
1752                                        USB_REQ_CLEAR_FEATURE,
1753                                                USB_RECIP_DEVICE,
1754                                        USB_DEVICE_REMOTE_WAKEUP, 0,
1755                                        NULL, 0,
1756                                        USB_CTRL_SET_TIMEOUT);
1757                        if (status)
1758                                dev_dbg(&udev->dev, "disable remote "
1759                                        "wakeup, status %d\n", status);
1760                }
1761                status = 0;
1762
1763        } else if (udev->devnum <= 0) {
1764                dev_dbg(&udev->dev, "bogus resume!\n");
1765                status = -EINVAL;
1766        }
1767        return status;
1768 }
```

这个函数其实就是做一些收尾的工作。刚才在 usb_port_resume 中看到，对于 Root Hub 就是直接调用这个函数，因为 Root Hub 不存在“接在别的 Hub 口上的”说法。

1730 行调用 usb_set_device_state 设置状态，USB_STATE_CONFIGURED 或者是 USB_STATE_ADDRESS，如果配置好了，就记录为前者，如果没有配置好，就记录为后者。

1738 行，如注释所言，spec 10.5.4.5 节建议这么做，以确认设备还在，而不是说在 suspend/resume 的过程中被拔走了. 于是调用 usb_get_status，获取设备的状态，返回值是设备返回的数据的长度。按 spec 规定，返回的数据应该是 16 位，即 2 个 bytes，所以 1740 行判断是否为 2，如果为 2，就将 status 置为 0，并开始新的判断，即 1742 行的判断。

1746 行，如果设备配置好了，然后设备又不是 Root Hub，然后设备的 Wakeup 功能是 enabled 的，那么就发送 ClearFeature 请求把这个功能给关掉，因为很显然，当一个设备在醒来的时候就没有必要打开这个功能，只有在将要睡去的时候才有必要打开，就好比我们起床以后就会把闹钟关掉，只有在我们将要睡觉的时候才有必要定闹钟。

然后如果一切正常就返回 0。看完 finish_port_resume 函数，我们回到 hub_port_resume 中来，接下来，如果 status 小于 0，说明出了问题，于是调用 hub_port_logical_disconnect：

```
1560 /*
```

```
1561  * Disable a port and mark a logical connnect-change event, so that some
1562  * time later khubd will disconnect() any existing usb_device on the port
1563  * and will re-enumerate if there actually is a device attached.
1564  */
1565 static void hub_port_logical_disconnect(struct usb_hub *hub, int port1)
1566 {
1567         dev_dbg(hub->intfdev, "logical disconnect on port %d\n", port1);
1568         hub_port_disable(hub, port1, 1);
1569
1570         /* FIXME let caller ask to power down the port:
1571          *  - some devices won't enumerate without a VBUS power cycle
1572          *  - SRP saves power that way
1573          *  - ... new call, TBD ...
1574          * That's easy if this hub can switch power per-port, and
1575          * khubd reactivates the port later (timer, SRP, etc).
1576          * Powerdown must be optional, because of reset/DFU.
1577          */
1578
1579         set_bit(port1, hub->change_bits);
1580         kick_khubd(hub);
1581 }
```

很简单，这个函数其实就是先把该端口关了，然后重新枚举该设备。因为刚才的返回值为负值说明出了某种问题，但并不确定究竟是何种问题，所以最省事的办法就是重新初始化该端口。而 1579 行这个 set_bit 设置了 hub->change_bits，于是我们在 hub_events()中就会根据这个来处理这个端口。（kick_khubd 会触发 hub_events，这我们早就知道。）

这时候我们注意到，在 hub_port_resume 的一开始我们调用 set_bit 设置了该端口对应的 busy_bits，而在 hub_port_resume 快结束的时候我们调用 clear_bit 清掉了这个 busy_bits，唯一受此影响的函数是 hub_events()，当初我们其实提过，但我们在对一个端口进行 resume 或者 reset 的时候，hub_events 是不会对该端口进行任何操作的。

而 1832 行，busy_bits[0]为 0 就意味着所有的端口都没有处于 resume 或者 reset 阶段，hub->hdev->parent 为 NULL 则意味着当前 Hub 是 Root Hub，于是还是调用 usb_enable_root_ hub_irq，当初我们在 hub_events()的结尾阶段也调用了这个函数。这就是调用 Host Controller Driver 的一个函数 hub_irq_enable，某些主机控制器的端口连接是使用以电平触发的中断，这类主机控制器的驱动会提供这样一个函数，这个和具体的硬件有关，各家的产品不一样，咱们就不多说了。

至此，hub_port_resume 函数就返回了。回到 usb_port_resume，我们发现其实这个函数我们也已经看完了，因为 finish_port_resume 不小心也被我们讲完了。于是我们回到了 usb_ resume_ device，如果一切 OK，那么 dev.power.power_state.event 也就设置为 PM_EVENT_ON。

然后我们经过跋山涉水翻山越岭之后再次回到了 usb_resume_both.1150 行，如果是 Root Hub，进入 else，我们一直说 Root Hub 没有 parent，其实这是不严谨的。我们注意到 struct usb_device 结构体有一个成员 struct usb_device *parent，同时我们还注意到 struct device 结构体本身也有一个成员 struct device *parent，其实对于 Root Hub 来说，是没有前者的那个 parent，但是却有后者这个 parent，后者的这个 parent 就是相应的 Host Controller 所对应的 struct device 结构体指针。所以这里的意思就很明白了，如果主机控制器没醒的话，Root Hub 以及其他的子设备再怎么玩也白搭。

如果 Host Controller 醒来了，那么 1159 行，对 Root Hub 来说，也调用 usb_resume_device 去唤醒它。

1161 行这个 else 的意思更直接，如果设备根本就没睡眠，那就没有什么唤醒它的意义了，调用 usb_resume_device 也不会做什么实事，无非就是设置 dev.power_power_state.event 为 PM_EVENT_ON，仅此而已。

1168 行，满足了集体的，再来满足个人的。usb_resume_interface 按照 interface 的个数来循环调用。

```
887 /* Caller has locked intf's usb_device's pm_mutex */
888 static int usb_resume_interface(struct usb_interface *intf)
889 {
890         struct usb_driver      *driver;
891         int                 status = 0;
892
893         if (interface_to_usbdev(intf)->state == USB_STATE_NOTATTACHED ||
894                         is_active(intf))
895                 goto done;
896
897         /* Don't let autoresume interfere with unbinding */
898         if (intf->condition == USB_INTERFACE_UNBINDING)
899                 goto done;
900
901         /* Can't resume it if it doesn't have a driver. */
902         if (intf->condition == USB_INTERFACE_UNBOUND) {
903                 status = -ENOTCONN;
904                 goto done;
905         }
906         driver = to_usb_driver(intf->dev.driver);
907
908         if (driver->resume) {
909                 status = driver->resume(intf);
910                 if (status)
911                         dev_err(&intf->dev, "%s error %d\n",
912                                         "resume", status);
913                 else
914                         mark_active(intf);
915         } else {
916                 dev_warn(&intf->dev, "no resume for driver %s?\n",
917                                 driver->name);
918                 mark_active(intf);
919         }
920
921 done:
922         // dev_dbg(&intf->dev, "%s: status %d\n", __FUNCTION__, status);
923         if (status == 0)
924                 intf->dev.power.power_state.event = PM_EVENT_ON;
925         return status;
926 }
```

898 行，关于 struct usb_interface 结构体的成员 condition，当初在 usb_reset_composite_ device 中已经讲过，一共有四种状况，其含义正如其字面意义那样，无需多说。

908 行至 919 行这一段不用解释你也该明白吧，看过了当初那个 usb_suspend_interface()函数之后，我相信即便是西直门城铁站外面每天晚上等着招呼大家坐他的黑车的司机朋友也该知道现在这段代码的含义了。这里的 mark_active 和当初的那个 mark_quiesced 相对应，一个唱红脸一个唱白脸。而 909 行那个 driver->resume()就是调用属于该 interface 的驱动程序的 resume 函数，对于 hub driver，调用的自然就是 hub_resume，和前面那个 hub_suspend 相对应。

```
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 }
```

一路走来的兄弟们现在看个函数是不是觉得有点小儿科，相当于一个游戏机高手去玩魂斗罗，菜鸟调出 30 条命来还未必能通关，可是高手也许一条命就能玩过八关（魂斗罗一代）。这个函数我想就没有必要讲了，完全可以一目十行，它和 hub_suspend 实在是太对称了。对于 Roob Hub，需要调用 hcd_bus_resume，这个 host controller driver 那边的 resume 函数。最后调用 hub_activate()彻底激活 hub。

至此，我们算是看完了 usb_resume_both，usb_resume_both 和 usb_suspend_both，我们就算是基本上知道了整个 usb 子系统是如何支持电源管理的，或者说如何支持 PM Core 的。

30．挂起自动化

接下来的一个话题就是 autosuspend/autoresume

所谓的 autosuspend 就是 driver 自己判断是否需要挂起，而之前的 suspend/resume 是受外界影响的，比如说 PM Core 统一的系统级的挂起，或者用户通过 sysfs 来触发的。于是我们现在就来看 driver 是如何自己判断的。首先从 autosuspend_check 看起，因为这个函数我们已经见过了，只是没有讲，在 usb_suspend_both 中就会调用它。它来自 drivers/usb/core/driver.c：

```
930 /* Internal routine to check whether we may autosuspend a device. */
931 static int autosuspend_check(struct usb_device *udev)
932 {
933         int                     i;
934         struct usb_interface    *intf;
935         unsigned long           suspend_time;
936
937         /* For autosuspend, fail fast if anything is in use or autosuspend
938          * is disabled.  Also fail if any interfaces require remote wakeup
939          * but it isn't available.
940          */
941         udev->do_remote_wakeup = device_may_wakeup(&udev->dev);
942         if (udev->pm_usage_cnt > 0)
943                 return -EBUSY;
944         if (udev->autosuspend_delay < 0 || udev->autosuspend_disabled)
945                 return -EPERM;
946
947         suspend_time = udev->last_busy + udev->autosuspend_delay;
948         if (udev->actconfig) {
949                 for (i = 0; i < udev->actconfig->desc.bNumInterfaces; i++) {
950                         intf = udev->actconfig->interface[i];
951                         if (!is_active(intf))
952                                 continue;
953                         if (intf->pm_usage_cnt > 0)
954                                 return -EBUSY;
955                         if (intf->needs_remote_wakeup &&
956                                         !udev->do_remote_wakeup) {
957                                 dev_dbg(&udev->dev, "remote wakeup needed "
958                                                 "for autosuspend\n");
959                                 return -EOPNOTSUPP;
960                         }
961                 }
962         }
963
964         /* If everything is okay but the device hasn't been idle for long
965          * enough, queue a delayed autosuspend request.
966          */
967         if (time_after(suspend_time, jiffies)) {
968                 if (!timer_pending(&udev->autosuspend.timer)) {
969
970                         /* The value of jiffies may change between the
971                          * time_after() comparison above and the subtraction
972                          * below.  That's okay; the system behaves sanely
973                          * when a timer is registered for the present moment
974                          * or for the past.
975                          */
976                         queue_delayed_work(ksuspend_usb_wq, &udev->autosuspend,
```

```
    977                                     suspend_time - jiffies);
    978                     }
    979                 return -EAGAIN;
    980         }
    981         return 0;
    982 }
```

首先，获得 do_remote_wakeup，打不打开 remote wakeup 的功能是可以选择的，所以每次要记录下来。

pm_usage_cnt 表示引用计数，自动挂起的第一个重要条件就是 pm_usage_cnt 为 0，即只有一个设备没有被使用了我们才能把它挂起。

autosuspend_delay，也是在八大函数之一的 usb_alloc_dev 中赋的值，默认就是 2HZ，当然你可以自己设置，因为它是通过 usbcore 的模块参数 usb_autosuspend_delay 来设置的。usb_autosuspend_delay 缺省值为 2.另外这个值我们也可以通过 sysfs 来设置，如下所示

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core#ls
/sys/bus/usb/devices/1-1/power/
    autosuspend  level  state  wakeup
```

autosuspend 文件就是记录这个值的，以秒为单位。

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core#cat
/sys/bus/usb/devices/1-1/power/autosuspend
    2
```

可以看到，我没有设置过的话，它这个值就是 2。这个值的意思是如果设备闲置了 2s，那么它将被自动挂起，这就是 autosuspend 的目的，你可以把它设为负值，为负就表示设备不能被 autosuspend，如果设备此时正处于 suspended 状态而你写一个负值进去，它将立刻被唤醒。写个 0 则表示设备将立刻被 autosuspended。

再来看 autosuspend_disabled。前面我们有看到一个 autoresume_disabled，这两个变量的含义都如字面意义一样。这两个变量都可以通过 sysfs 来改变。

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core#ls
/sys/bus/usb/devices/1-1/power/
    autosuspend  level  state  wakeup
```

这里的这个 level 就是所反映的设备的电源级别，确切地说它就是通过 sysfs 为用户提供了一个自己挂起设备的方法。

```
    localhost:/usr/src/linux-2.6.22/drivers/usb/core#cat
/sys/bus/usb/devices/1-1/power/level
    auto
```

它可以为 auto/on/suspend，这里我们看到它是 auto，auto 是最为常见的级别，而 on 就意味着我们不允许设备进行 autosuspend，即 autosuspend 被 disable 了，或者说这里的 autosuspend_disabled 被设置为了 1。如果是 suspend，就意味着我们不允许设备进行 autoresume，并且强迫设备进入 suspended 状态.即我们设置 autoresume_disabled 为 1，并且调用 usb_ external_suspend_device()去挂起设备，这就是 sysfs 提供给用户的 suspend 单个设备的方法。

而 auto 状态意味着 autosuspend_disabled 和 autoresume_disabled 都没有设置，即都为 0，任其自然。

到这里你就能明白为什么我们当初在 usb_resume 以及在 usb_resume_both 中会判断

udev->autoresume_disabled 了。因为设置了这个 flag 就等于对 resume 宣判了死刑。同样这里对 udev->autosuspend_disabled 的判断也是一样的道理。

last_busy，struct usb_device 的成员，unsigned long last_busy，有注释说 time of last use，不过我不知道该如何用中文表达，只可意会不能言传。不过没关系，我们慢慢看就明白了，其实你会发现在 resume 之后会更新它，在 suspend 之前也会更新它。你搜索一下源代码就会发现，其实这个变量基本上就被赋了一个值，那就是传说中的 jiffies，所以它实际上就是记录着这么一个时间值，我们这里 947 行，给一个局部变量 suspend_time 赋值，赋的就是 udev->last_busy 加上 udev->autosuspend_delay，我们马上就会看到 suspend_time 干嘛用的。

948 到 962 行，这一段就是判断各种异常条件，只有这些通通满足了才有必要做 autosuspend。其中，needs_remote_wakeup 咱们在 hub_probe()中见过，它是 struct usb_interface 的一个成员，unsigned needs_remote_wakeup，缺省值就是 1。咱们在 hub_probe 中也是设置为 1。如果设备需要 remote wakeup，而 do_remote_wakeup 被设置为了 0，那么就是说我本来需要被远程唤醒的，却把我这项功能禁掉了，那么对于这种情况，这里保险起见，就不进行 autosuspend 了。因为万一把设备催眠了之后唤不醒了那就糟了，省电是省电了，设备醒不过来了，除非重启机器否则没办法了，这就属于捡了芝麻丢了西瓜的情况，咱们当然不能做。

964 行的注释说得很明白，如果一切 OK，咱们才进行下面的代码。

这里有两个时间方面的函数，time_after，这个函数返回真如果从时间上来看，第一个参数在第二个参数之后。这里就是说如果 suspend_time 比 jiffies 后，刚看了 suspend_time 的赋值，缺省来说 suspend_time 就比 jiffies 要多一个 autosuspend_delay，即 2 秒钟，所以这里为真。

第二个函数 timer_pending 就是判断一个计时器到点了没有，如果没有到点，即所谓的 pending 状态，那么函数返回真，否则返回 0。这里参数是 udev->autosuspend.timer，这个东东我们在八大函数之一的 usb_alloc_dev 中调用 INIT_DELAYED_WORK 进行了初始化，进一步跟踪会发现实际上是调用 init_timer()来初始化 timer，而 init_timer 中 timer->entry.next=NULL，我们不用管这句话的意思，但是可以看到，timer_pending 就是一个内联函数，来自 include/linux/ timer.h。

```
51 /**
52  * timer_pending - is a timer pending?
53  * @timer: the timer in question
54  *
55  * timer_pending will tell whether a given timer is currently pending,
56  * or not. Callers must ensure serialization wrt. other operations done
57  * to this timer, eg. interrupt contexts, or other CPUs on SMP.
58  *
59  * return value: 1 if the timer is pending, 0 if not.
60  */
61 static inline int timer_pending(const struct timer_list * timer)
62 {
63         return timer->entry.next != NULL;
64 }
```

所以很显然，这个函数将返回 0。因为 timer->entry.next==NULL。当然，我是说第一次，以后就不一样了。因为这里 queue_delayed_work()会执行，我们前面已经提过，所以这行的意思就很简单了，把 udev->autosuspend 这个任务加入到 ksuspend_usb_wq 这个工作队列中去，并且设置了延时 suspend_time – jiffies，基本上这就意味着 2 秒之后就调用 udev->autosuspend 所对应的函数，即我们在 usb_alloc_dev 中用 INIT_DELAYED_WORK 注册的那个 usb_autosuspend_work 函数。因此就可以继续看 usb_autosuspend_work 这个函数了，来自 drivers/usb/core/driver.c：

```
1209 /* usb_autosuspend_work - callback routine to autosuspend a USB device */
1210 void usb_autosuspend_work(struct work_struct *work)
1211 {
1212         struct usb_device *udev =
1213                 container_of(work, struct usb_device, autosuspend.work);
1214
1215         usb_autopm_do_device(udev, 0);
1216 }
```

其实调用的是 usb_autopm_do_device：

```
1182 /* Internal routine to adjust a device's usage counter and change
1183  * its autosuspend state.
1184  */
1185 static int usb_autopm_do_device(struct usb_device *udev, int inc_usage_cnt)
1186 {
1187         int     status = 0;
1188
1189         usb_pm_lock(udev);
1190         udev->auto_pm = 1;
1191         udev->pm_usage_cnt += inc_usage_cnt;
1192         WARN_ON(udev->pm_usage_cnt < 0);
1193         if (inc_usage_cnt >= 0 && udev->pm_usage_cnt > 0) {
1194                 if (udev->state == USB_STATE_SUSPENDED)
1195                         status = usb_resume_both(udev);
1196                 if (status != 0)
1197                         udev->pm_usage_cnt -= inc_usage_cnt;
1198                 else if (inc_usage_cnt)
1199                         udev->last_busy = jiffies;
1200         } else if (inc_usage_cnt <= 0 && udev->pm_usage_cnt <= 0) {
1201                 if (inc_usage_cnt)
1202                         udev->last_busy = jiffies;
1203                 status = usb_suspend_both(udev, PMSG_SUSPEND);
1204         }
1205         usb_pm_unlock(udev);
1206         return status;
1207 }
```

1193 行，inc_usage_cnt 咱们传递进来的是 0，但你会发现有的函数传递进来的是 1，比如 usb_autoresume_device，有的函数传递进来的是-1，比如 usb_autosuspend_device，还有另一个地方，usb_try_autosuspend_device，传递进来的也是 0。不过在 2.6.22 的内核中，总共也就这四处调用了 usb_autopm_do_device 这个函数。所以我们这里一并来看。

对于 inc_usage_cnt 大于等于 0 的情况，如果 pm_usage_cnt 也大于 0，那么如果设备此时又处于 SUSPENDED 状态，那么我们就调用 usb_resume_both 把它给恢复过来，恢复过来之后，设置 last_busy 为 jiffies，记录下这一神圣的时刻。如果没能恢复，那么就把 pm_usage_cnt 减回去。

如果 inc_usage_cnt 小于等于 0，如果 pm_usage_cnt 也小于等于 0，那么没什么好说的，把设备给挂起，挂起之前用 last_busy 记录下设备活着的那一时刻。

由于咱们这个情景传递进来的 inc_usage_cnt 是 0，所以 last_busy 没有改变。而 pm_usage_cnt 也没有改变，这就意味着咱们并不做什么引用计数上的改变，只是纯粹的 check，如果当前引用计数大于 0 而设备居然是挂起的状态，那么赶紧唤醒。如果当前引用计数已经小于等于 0，那么就自觉地挂起。

于是我们接下来要做的是两件事情：第一件，看另外三个调用 usb_autopm_do_device 的函数，第二个，回到 usb_suspend_both 中去看 autosuspend_check 是在什么情景下被调用的。

先看第二个问题，回过头来看 usb_suspend_both，发现，1042 行和 1068 行，如果 udev->auto_

pm 不为 0，就调用 autosuspend_check，而 auto_pm 不为 0 恰恰是在 usb_autopm_do_device 中设置的，比如这里的 1190 行，还有一种可能是在 usb_autopm_do_interface 中设置的。后者我们暂时先不看。

调用 usb_suspend_both 的地方总共有三处，usb_autopm_do_device、usb_autopm_do_interface、usb_external_suspend_device，很显然，前两者属于同一情况，它们属于 autosuspend / autoresume 类型的，第三者属于另一种情况，它属于对非 autosuspend 的支持，即对 PM Core 或者 sysfs 接口的支持，在 usb_external_suspend_device 中，调用 usb_suspend_both 之前先设置了 auto_pm 为 0。

所以，对于 autosuspend，usb_suspend_both 首先会调用 autosuspend_check，进而 usb_autopm_do_device 会被调用，而后者又会根据实际情况调用 usb_suspend_both 或者 usb_resume_both。

而对于非 autosuspend，usb_suspend_both 虽然也会被调用，但 autosuspend_check 是不会被执行的。

那么现在来看另外三种调用 usb_autopm_do_device 的情况。三个函数全都来自 drivers/usb/core/driver.c：

```
    1218 /**
    1219  * usb_autosuspend_device - delayed autosuspend of a USB device and its
interfaces
    1220  * @udev: the usb_device to autosuspend
    1221  *
    1222  * This routine should be called when a core subsystem is finished using
    1223  * @udev and wants to allow it to autosuspend.  Examples would be when
    1224  * @udev's device file in usbfs is closed or after a configuration change.
    1225  *
    1226  * @udev's usage counter is decremented.  If it or any of the usage counters
    1227  * for an active interface is greater than 0, no autosuspend request will
be
    1228  * queued.  (If an interface driver does not support autosuspend then its
    1229  * usage counter is permanently positive.)  Furthermore, if an interface
    1230  * driver requires remote-wakeup capability during autosuspend but remote
    1231  * wakeup is disabled, the autosuspend will fail.
    1232  *
    1233  * Often the caller will hold @udev's device lock, but this is not
    1234  * necessary.
    1235  *
    1236  * This routine can run only in process context.
    1237  */
    1238 void usb_autosuspend_device(struct usb_device *udev)
    1239 {
    1240         int     status;
    1241
    1242         status = usb_autopm_do_device(udev, -1);
    1243         // dev_dbg(&udev->dev, "%s: cnt %d\n",
    1244         //             __FUNCTION__, udev->pm_usage_cnt);
    1245 }
    1246
    1247 /**
    1248  * usb_try_autosuspend_device - attempt an autosuspend of a USB device and
its interfaces
    1249  * @udev: the usb_device to autosuspend
    1250  *
    1251  * This routine should be called when a core subsystem thinks @udev may
    1252  * be ready to autosuspend.
    1253  *
```

```
    1254  * @udev's usage counter left unchanged.  If it or any of the usage counters
    1255  * for an active interface is greater than 0, or autosuspend is not allowed
    1256  * for any other reason, no autosuspend request will be queued.
    1257  *
    1258  * This routine can run only in process context.
    1259  */
    1260 void usb_try_autosuspend_device(struct usb_device *udev)
    1261 {
    1262         usb_autopm_do_device(udev, 0);
    1263         // dev_dbg(&udev->dev, "%s: cnt %d\n",
    1264         //             __FUNCTION__, udev->pm_usage_cnt);
    1265 }
    1266
    1267 /**
    1268  * usb_autoresume_device - immediately autoresume a USB device and its
interfaces
    1269  * @udev: the usb_device to autoresume
    1270  *
    1271  * This routine should be called when a core subsystem wants to use @udev
    1272  * and needs to guarantee that it is not suspended.  No autosuspend will
    1273  * occur until usb_autosuspend_device is called.  (Note that this will not
    1274  * prevent suspend events originating in the PM core.)  Examples would be
    1275  * when @udev's device file in usbfs is opened or when a remote-wakeup
    1276  * request is received.
    1277  *
    1278  * @udev's usage counter is incremented to prevent subsequent autosuspends.
    1279  * However if the autoresume fails then the usage counter is re-decremented.
    1280  *
    1281  * Often the caller will hold @udev's device lock, but this is not
    1282  * necessary (and attempting it might cause deadlock).
    1283  *
    1284  * This routine can run only in process context.
    1285  */
    1286 int usb_autoresume_device(struct usb_device *udev)
    1287 {
    1288         int     status;
    1289
    1290         status = usb_autopm_do_device(udev, 1);
    1291         // dev_dbg(&udev->dev, "%s: status %d cnt %d\n",
    1292         //             __FUNCTION__, status, udev->pm_usage_cnt);
    1293         return status;
    1294 }
```

不看不知道，一看吓一跳，竟然都是如此赤裸裸地调用 usb_autopm_do_device 函数，用黎叔的话说，那叫一点儿技术含量都没有！

不过调用这三个函数的地方却很多很多。甚至我们都曾经见过，比如在 usb_suspend_both 中就调用了 usb_autosuspend_device，用它来挂起父设备。

即有这么一种可能，usb_autosuspend_device 调用 usb_suspend_both 挂起当前设备，而 usb_suspend_both 则调用 autosuspend_check 并进而是 usb_autopm_do_device 去挂起当前设备，而 usb_autopm_do_device 又还是调用 usb_suspend_both 去挂起设备，咦，怎么看怎么觉得我们走进了一个迷宫，走进了一条死胡同。很明显的是你调用我我调用你，这还不挂了？

其实您尽管放心，别以为写代码的兄弟们都是吃素的，事实上有一把锁专门来对付这些情况，我们看到，在 usb_external_suspend_device 中调用 usb_suspend_both 的前后，调用了这两个函数：usb_pm_lock/usb_pm_unlock，在 usb_external_resume_device 中，调用 usb_resume_ both 前后也是如此，而在 usb_autopm_do_device 和 usb_autopm_do_interface 中，也需要使用这些两个函数，即只有获得了这把锁才能去调用 usb_resume_both 或者 usb_suspend_both。

所以，你尽管放心，永远只有一个人能执行 usb_suspend_both 或者 usb_resume_both，绝不可能陷入所谓的死胡同。所以其实你也看出来了，对于挂起，无论是不是自动化，里面终不过围绕一个函数，usb_suspend_both，对于唤醒，无论是不是自动化，里面终不过围绕一个函数，usb_resume_both。

我想现在是时候来做一次总结了，关于电源管理方面的总结，先说 autosuspend，来看对 usb_try_autosuspend_device 的调用，前面在 usb_external_resume_device 中就看见了对它的调用，唤醒了设备之后，就尝试着看是否可以自动挂起。这其实体现的是一种勤俭节约的理念，因为 autosuspend/autoresume 这东西吧，纯粹是一种软件角度的主动，即从 driver 这边来自己做判断，凭借着第六感，当它觉得应该挂起设备的时候，就会去尝试调用相关的挂起函数；当它觉得应该唤醒设备的时候，它就会去调用相关的唤醒函数。

那么也就是说，在整个 USB 子系统里，对电源管理的支持是按照两步走的。头些年，我们先实现传统的挂起/唤醒，即比如合上笔记本的时候，PM Core 那边会按设备树来依次调用各个驱动的 suspend 函数，醒来的时候则调用相应的 resume 函数。于是从整个 USB 子系统的角度来说，我们提供了 usb_suspend/usb_resume 这两个函数。

另一方面，我们这里把函数取名为 usb_external_suspend_device 和 usb_external_resume_device 也是针对 PM Core 的系统睡眠（System Sleep），即我们把来自 PM Core 的挂起请求/唤醒请求称为外部请求。而 usb_suspend/usb_resume 内部所调用的正是这两个函数。另一种调用 usb_external_suspend_device/usb_external_resume_device 的情况是通过 sysfs 的接口，由用户来触发，即通过改变前面我们看到的 sysfs 下面那个 level 的值来触发挂起或者唤醒。

完了后来第二步，大家觉得光这样不过瘾，于是又引入了 autosuspend 的概念。就是说驱动程序在适当的位置，自己去调用那些挂起函数/唤醒函数。即便 PM Core 那边没有这个需求。就比如刚才这里这个对 usb_try_autosuspend_device 的调用，即设备刚刚唤醒，驱动程序就去检查看看是否可以挂起设备，因为可能你不小心唤醒了它但是你也许并不使用它，那么从省电的角度来说，驱动程序有足够的理由再次把你挂起。而像这种情形有很多，我们只要搜索就能看看有多少地方调用了 usb_autosuspend_device/usb_autoresume_device 就可以知道，在许多地方我们都这么做了。现以我们前面见过但没有讲的一个地方为例子说说。

当初我们在 usb_reset_composite_device 中看到的，3076 行我们调用了 usb_autoresume_device，而 3119 行我们调用了 usb_autosuspend_device。后者很好理解，把一个设备 reset 之后，首先就去尝试把它挂起，理由很简单，比如你开机之后，你可能只是开机，你根本没打算使用任何 usb 设备，那么 USB 这边就默认把所有的设备都给挂起。等你真正要用的时候再去唤醒。而前者的目的更加简单，就是为了阻止后者的执行，因为这两个函数都将会调用 usb_autopm_do_device，而那句 usb_pm_lock 注定了这是一条独木桥，有你就没有我，有我便没有你。

最后再来关注一个变量，last_busy。它正是为 autosuspend 而生的。我们不难发现，每次设备被唤醒之后我们会把 last_busy 设置为当时的 jiffies，每次设备将要被挂起之前我们会把 last_busy 设置为当时的 jiffies。而真正要利用 last_busy 的是 autosuspend_check 函数，因为在该函数内，suspend_time 被赋值为 last_busy 加上 autosuspend_delay，假设后者为 2s。那么就是说 suspend_time 为 last_busy 加上 2 秒。比如说我们记录下上次设备被使用的时候 last_busy 为 3 点 25 分 0 秒，而现在是北京时间 3 点 25 分 1 秒，那么调用 autosuspend_check 的话就会激发一次与之相关的函数 usb_autosuspend_work。

反之如果现在已经是北京时间 4 点了，那么说明我们已经没有必要激发 usb_autosuspend_work 了。换言之，last_busy 就是被用来决定是否进行 autosuspend 的一个 flag。last_busy 记录的是设备正忙的时间，设备总是在闲置了足够长的时间才可以被挂起。很显然，没有 last_busy，这个 autosuspend_delay 也就没法起作用了，毕竟这个 2s 总要在一个时间起点上开始加上去。当然，last_busy 和 suspend_time 这两个变量也只是几个月前才被加入到内核中来的，以前的内核中并没有这么两个变量。当时 Alan 大侠添加这个变量的目的是为了完善他的 autosuspend。喜欢考古的朋友们不难从今年 3 月底 linux-usb-devel 邮件列表里挖出他当时的陈述：

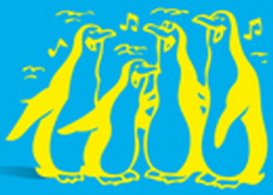
This patch (as877) adds a "last_busy" field to struct usb_device, for use by the autosuspend framework. Now if an autosuspend call comes at a time when the device isn't busy but hasn't yet been idle for long enough, the timer can be set to exactly the desired value. And we will be ready to handle things like HID drivers, which can't maintain a useful usage count and must rely on the time-of-last-use to decide when to autosuspend.

用中文来说，就是两个理由要加入这么一个变量，一个是比如 autosuspend 调用发生的时候，它希望知道设备是否忙，用充分必要条件理论来说，设备不忙是 autosuspend 的必要条件，但这个必要条件满足了并不意味着设备会马上挂起，因为我们有一个 autosuspend_delay，即我们可以设置延时，如果按默认的 2 秒钟来说，那你设备至少要闲置了 2 秒钟才会被挂起。所以就需要这么一个 flag，经常去记录着某个时间点，比如我们在 autoresume 之后的那一瞬间，又比如我们在 autosuspend 之前的一瞬间。道理很简单、第一，设备醒来之后那一瞬间基本上可以认为是忙的，如果不忙它干嘛不继续睡？第二，设备睡觉之前那一瞬间基本上也可以认为是忙的，如果不忙干嘛不早点睡？

引入 last_busy 的第二个理由是为了 HID 设备驱动的，比如鼠标、键盘。因为它们的挂起需要用一个时间来判断。不过我说过了，autosuspend 是一个很新的理念，所以至少到 2.6.22 的内核中，HID 那边还没有提供对 autosuspend 足够的支持，但是相信在不久的将来 last_busy 会被 HID Drivers 用到的。我们拿触摸屏来举例，我们知道苹果的 iPod 系列很多都是有触摸屏的，那么从驱动程序的角度来说呢，所谓 autosuspend，理想情况就是，driver 能够检测到你的手指离开了触摸屏，然后隔一段时间 driver 就可以把设备自动挂起。反过来，driver 一旦检测到你的手指回来了，它又把设备唤醒。

网友“丰胸化吉”问我，那为何 last_busy 记录的是 resume 之后以及 suspend 之前的时间，而不是记录别的时间？这其实无所谓，你想多记录几个也没人拦住你，记录这几个时间的作用就是让 autosuspend 能在它们之后的两秒之后再执行，并没有更多的意思。你要是觉得某个地方之后不能立刻被挂起，那么你也可以在该处记录一个 last_busy。不过目前来看其他地方似乎并没有这个需求罢了。

Broadview®
www.broadview.com.cn
博文视点·IT出版旗舰品牌
技术凝聚实力·专业创新出版



网友评论节选

网友 uspark
牛人，读罢你们的文字，对Linux顿感兴趣。

网友 sunwill_chen
这么多优秀文章，真是让我吃了N顿饱餐啊哈~可惜发现得太晚，要是在3年之前就看到多好~

网友 haierfox
第一次看的是U盘部分，硬着头皮看完了55个小节，现在来看PCI部分，有种一通百通的感觉，非常不错！

网友 windwinter
过来拜一个，这几天一直从头看“Linux那些事儿”，我就一直在纳闷，什么神人才能把复杂枯燥的驱动写得那样华丽，那样搔首弄姿，那样让人欲罢不能……

网友 rabbit8ge
毕业设计是USB设备驱动，看了那个USB Core简直胜过看所有的书啊。把所有自己不清楚的内容都说明白了，无限膜拜中……

网友 likefreebird
第一眼看到作者的文章，立刻就被吸引了，诙谐的语言让人看起技术文章来感觉不到枯燥，不去做老师真是浪费，现在的老师没有几个能让人听课不瞌睡的。

网友 yzdai
在过度疲劳的工作中看到楼主的文章，失笑了多回。虽然没太懂，也没来得及看完。我借助它解决了SCSI设备号固定于硬端口的问题。赞一个：是金子总是要发光的。

网友 raindown
太经典了，花了4天时间终于看完了，这是我看过的最好的技术文章！

网友 Felk2005
刚看了几眼你的文章就喜欢上了，很喜欢你的文风。现在的书要是文字都这么轻松该多好啊！感谢你为全人类做出的贡献！

网友 learner
非常喜欢您关于USB开发的几部经典作品，用超乎寻常的经典方式学习，解剖经典的技术。

网友 zlzdsp
我也是因为工作缘故开始使用Linux开发程序，接触有半年多，期间一直只是用GCC编写程序，觉得跟WIN平台比，从应用程序开发的角度来看，并不需要跨越多么大的鸿沟，所以始终没有阅读Linux内核代码的动机。

以前做过USB设备端的驱动程序，对USB协议有所了解。但我知道对于设备驱动程序开发来说，Linux与Windows平台的区别相当大。在看本书的过程中，越来越强烈地感觉到，这真的是一本妙趣横生的惊艳大作！我一口气用了4个钟头左右的时间从头到尾看完，一直看到凌晨2点多。我觉得这是我迄今为止看过的最有意思的技术类书籍，甚至年少时期狂热爱的科普类书籍也赶不上本书风格的九牛一毛。

网友 phoenix_zhang
有一种文章，看了直犯困，有一种文章，越看越兴奋，你咋这么让人兴奋呢？

上架建议：Linux

ISBN 978-7-121-15817-9

定价：79.00元

责任编辑：孙学瑛
封面设计：侯士卿