

分 类 号_____

学号_____M201672905_____

学校代码_____10487_____

密级_____

华中科技大学

硕士学位论文

基于 Vxworks 的调试通道的设计与实
现

学位申请人： 郑松

学 科 专 业： 计算机应用技术

指 导 教 师： 张杰 讲师

答 辩 日 期： 2018 年 3 月 26 日

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master

**A design and implementation of debug channel
based on Vxworks.**

Student : Song Zheng

Major : Computer Applications Technology

Supervisor : Instructor JieZhang

Huazhong University of Science & Technology

Wuhan 430074, P. R. China

March 26, 2018

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知,除文中已标明引用的内容外,本论文不包含任何其他人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体,均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名:

日期: 年 月 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定,即:学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版,允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索,可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于 ☐ 保密,在 ____ 年解密后适用本授权书。

☐ 不保密。

(请在以上方框内打“√”)

学位论文作者签名:

日期: 年 月 日

指导教师签名:

日期: 年 月 日

摘 要

通常在软件开发、移植、运行时都需要输出一些调试或日志信息,对于嵌入式设备而言通常使用串口来进行这些信息的传输,在 VxWorks 的集成开发环境 Tornado 中也有相关的调试工具,但是其比较适合用户软件的开发环境当中,不适用于实际的生产环境当中,同时由于目前大多数的设备都已不再将 RS-232 的串口作为必须的标准接口,而是大量的使用 USB 接口,因此在调试信息的传输过程中只能使用 USB 接口,本文基于 VxWorks 开发出一个小巧易用的调试信息的传输通道,使用 CP2102 模块来实现 USB 口转串口的硬件部分,并编写了一个 VxWorks 下的 USB 口转串口驱动以及上层的应用层接口部分,本项目来源于中船重工的实际需求。

本文首先对课题的背景和需求进行了分析,给出了总体的设计方案,根据我们的方案需求,我们分析了 VxWorks 下的设备驱动所需的关键技术,然后在 VxWorks 下设计出了一个特殊的 USB 口转串口的驱动程序和一个普通的 USB 口转串口驱动程序,驱动程序具有双向缓冲功能,同时具有即插即用、使用方便等特点。

然后我们给上层需要输出调试信息的应用设计了两个调试接口。一个 Log 调试接口,我们为此接口设计了一个自定义的调试通道的传输协议;另外我们也给出了一个标准输出重定向的调试接口,方便开发人员直接使用标准输出进行调试信息的输出。

最后我们通过对系统的整体测试和对各个部分分别进行测试,验证了本次的调试通道设计基本完成,系统运行可靠,满足所需完成的要求。

关键词: 嵌入式系统,设备驱动开发,USB 口转串口,VxWorks,CP2102

Abstract

Generally, some debugging or log information needs to be output during software development, porting, and runtime. For embedded devices, serial ports are commonly used for the transmission of this information. There are also related debugging tools in Tornado, an integrated development environment of VxWorks. It is suitable for the development environment of the user software, not for the actual production environment, and at the same time, because most of the current devices no longer use the RS-232 serial port as a required standard interface, but use a lot of USB interfaces. Only the USB interface can be used in the transmission of debugging information. based on VxWorks, This thesis has developed a small and easy-to-use debugging information transmission channel which uses the CP2102 module to implement the hardware part of the USB port to the serial port, and then we wrote a USB port to serial port driver and the upper application layer interface part under VxWorks. this project comes from the actual needs of CSIC(China Shipbuilding Industry Corporation).

Firstly, This paper analyzes the background and the requirements of the project, gives the overall design plan, and gives the key technologies that are used and understood in this design. Then it starts with the relationship between I/O system and driver under VxWorks, analyzes the process of I/O system call and driver under VxWorks, and realizes the necessary USB port to serial port driver of our debugging channel. The driver has two-way buffering function, and has plug-and-play, easy to use and other features. Then we designed the transmission protocol of the debug channel, and gave two upper application interfaces, a Log log interface, and a standard output redirection interface.

Finally, through overall testing and testing of the various parts of the system, we verified that the design of the debugging channel was basically completed, the system is running reliably, and the required requirements are fulfilled.

Key words: embedded system, device driver development, USB port to serial port, VxWorks, CP2102

目 录

摘要	I
1 绪论	1
1.1 课题背景以及意义	1
1.2 国内外概况	1
1.3 论文的主要工作和组织结构	3
2 调试通道总体设计与关键技术	4
2.1 总体设计	4
2.2 关键技术	5
2.2.1 VxWorks 驱动开发	5
2.2.2 VxWorks 中的通信机制	8
2.2.3 USB 技术	10
2.3 本章小结	13
3 驱动程序的设计和实现	14
3.1 USB 口转串口驱动的设计	14
3.1.1 VxWorks 上的 USB 开发	15
3.1.2 CP2102 开发	17
3.1.3 环形缓冲区的设计	19
3.1.4 信号量的设计	19
3.2 USB 转串口驱动的实现	21
3.2.1 特定需求单设备驱动的实现	21
3.2.2 通用多设备驱动的实现	32
3.3 小结	37
4 应用层程序接口封装	38
4.1 应用层接口模块设计	38
4.2 Log 协议的设计	39
4.3 标准输出重定向接口的实现	40
4.3.1 RTP 模式下标准输出重定向	40
4.3.2 task 模式下标准输出重定向	40
4.4 Log 接口的实现	42
4.5 Windows 下的日志分析工具	44

5	系统的功能测试	46
5.1	设备添加到系统管理表	46
5.2	驱动程序读写测试	47
5.2.1	RTP 模式下的读写测试	49
5.2.2	task 模式下的读写测试	49
5.3	应用程序接口测试	50
5.3.1	标准输出重定向测试	50
5.3.2	Log 日志接口测试	51
6	总结与展望	53
6.1	全文总结	53
6.2	展望	53
	致谢	55
	参考文献	56

一 绪论

1.1 课题背景以及意义

嵌入式系统目前不断发展和壮大,每种嵌入式系统都有不同的软件接口和特性,因此在不同的嵌入式系统上进行软件开发工作也越来越复杂。同时,在不同的嵌入式系统上进行软件的移植工作也要对现有的软件针对一直对象的特性进行改写,在传统的 PC 机上进行软件设计和开发时我们有许多的工具可以用来进行程序的调试和分析,然而在嵌入式软件的开发和移植过程当中,由于嵌入式设备所独有的特点,对嵌入式系统上的软件的调试、分析一直是一个费时费力的工作。一个好的调试、分析工具可以给嵌入式软件开发人员带来很大的帮助,使其达到事半功倍的效果,快速完成软件开发过程中的调试、分析,软件运行过程中调试信息的定位等工作。

目前国内外已有几十种商业化嵌入式操作系统可以供选择,如 VxWorks、uc/OS-II、Windows Embedded CE、RTLinux、和“女蜗 Hopen”等。其中 VxWorks 因为其可靠性和实时性被广泛地应用在一些要求极高的领域当中,如:通信、航天、军事等^[9]。通常在进行 VxWorks 应用程序的开发或者是将 Linux 下的应用程序移植到 VxWorks 中时都需要在程序中加入大量的调试信息,在程序的运行当中也需要输出一些调试信息,方便之后对程序运行过程中产生的问题进行具体的分析。在 VxWorks 的集成开发环境 Tornado 当中有一个驻留在主机端的命令行解释器 WindSh 和 GDB 命令行,但是这个工具是位于主机上的,需要通过通过网口或者串口控制命令传输到嵌入式设备上,然后再将输出信息传输到主机上显示。然而目前的大多设备都已不再将 RS-232 的串口作为必须的标准接口,而是大量的使用 USB 接口,因此在调试信息的传输过程中只能够使用 USB 接口。

本次基于 VxWorks 的调试通道的设计来源于中船重工的实际需求,在实际的生产环境当中他们无法使用 VxWorks 集成开发环境当中提供的调试工具,我们基于 VxWorks 开发出一个小巧易用的调试信息的传输通道,方便它们将应用程序的调试信息传输出来,以进行一个事后的分析工作,对于底层的信息传输我们使用 USB 口转串口来实现,USB 口转串口的转换器使用 CP2102 模块来实现,并在此基础上设计了给应用层使用的调试接口。

1.2 国内外概况

嵌入式系统在近年发展迅猛,随着物联网的兴起,其广泛的应用于各种智能设备当中。而嵌入式实时操作系统作为嵌入式操作系统中定位更加精准的一类,其应用场景更加的专业化^{[2][3]}。实时系统对系统的可靠性、实时性等方面有严格要求。目前国

内在使用的嵌入式实时操作系统有上百个,这些操作系统面向不同的专业领域,具有各自不同的特性。以下介绍几个具有代表性的操作系统:

- **uc/OS-II**

由 Micrium 公司开发的一个开源的实时操作系统内核,其具有可移植、可固化、可裁剪、等优点^[4]。在 uc/OS-II 内核当中只包含了一些基本的服务,如任务的管理、任务间通信、时间管理、内存管理、中断处理等^{[5][6]},这有利于保证内核的精简性。对于其他的复杂的功能如文件系统、网络服务等需要用户根据自己的实际需求自己来实现。

- **Windows Embedded CE**

由 Microsoft 开发出来的一个嵌入式实时操作系统。其内核也会提供基本的服务,如:内存管理、抢先多任务和中断处理功能等,但是它的内核也会提供诸如网络服务、文件系统等复杂的功能,这导致其内核的体积比较大,不够灵活。Windows Embedded CE 在内核上面还实现了图形用户界面和桌面应用程序,图形用户界面的存在导致其资源消耗较大^{[7][8]}。Windows Embedded CE 的内核虽然具有并发处理能力,但是其并不具备真正的硬实时性能,这导致该系统主要应用于工业自动化、消费电子、以及医疗设备等实时性要求不高的领域。

- **RTLinux**

由美国墨西哥理工学院开发的一个开源嵌入式实时操作系统,RTLinux 没有针对实时操作系统的特性重写 Linux 内核,它使用了一种比较巧妙的方式来实现实时性,它通过在 Linux 内核和硬件之间增加一个虚拟层,实现了一个与 Linux 内核分离的、小巧的、时间上可预测的实时内核,使得其中运行的实时进程满足实时性要求^[9]。这样在不改动 Linux 内核情况下利用了其现有的丰富的软件资源^[10]。RTLinux 因为其开源特性,使用者可以根据自己的需要对其进行自由的修改,且较容易获得所需的资料和技术支持。

- **Vxworks**

由美国 Wind River System 公司开发的一个实时操作系统,其内核提供可裁剪、可移植等特点,其具有抢占式调度、多任务优先级、强实时性、高可靠性等特点^{[11][12]},开发者可以对其内核提供的各种功能根据自己的需要进行裁剪,最小能裁剪到 8K,这让开发者能够设计出有效的适合于不同的用户要求的系统^{[8][7]}。同时它还提供了一套集成开发环境 Tornado,在开发环境当中提供了丰富的调试工具和仿真环境。

VxWorks 系统广泛的运用在我国的军工、航空航天、通信等部门^{[12][1]}。VxWorks 的集成开发调试环境为 Tornado,使用该开发环境可以帮助编程人员轻松的完成程序的编辑、编译、调试、系统配置等工作^{[13][14]}。Tornado 的调试器包含有 GDB 命令行接口和 WindSh 工具,能够很好的进行应用程序的现场开发和调试。但是对于调试信息、日志信息的事后分析却没有提供解决办法且该工具要基于 RS-232 串口来使用,而现

在大多数的设备都已不再配置 RS-232 串口, 只配置有 USB 接口, 而 VxWorks 上并没有实现好的 USB 口转串口的驱动程序, 只实现了标准的 USB 协议栈和串口驱动, 因此我们需要自己在 VxWorks 下实现一个 USB 口转串口驱动。

对于 USB 口转串口的转换器, 国内外通常都会采用两种方案: 一种是以 CY7C68013 芯片为代表, 自己从底层的固件开始, 进行彻底而全面的系统开发, 这种方案的成本和开发难度都很大, 通常都不会使用这种方案。另外一个方案是采用类似于 CP2102 等专用的双向 USB 口转串口芯片来进行设计, 这种方案简单实用, 只需要对芯片的功能进行了解和应用即可, 无需深入开发^{[15][16]}。因此我们在此会选择 CP2102 芯片来进行调试通道的设计。

1.3 论文的主要工作和组织结构

主要工作: 在嵌入式实时操作系统 VxWorks 上实现一个能够满足程序的调试信息输出的通道, 主要包括两个部分: 一个将 USB 总线技术和 RS-232 接口相结合, 设计出一个满足特定要求的、实用的 USB 转串口驱动程序; 另一个是设计给应用层调用的日志传输接口封装程序和标准输出重定向接口封装程序。

本文共分为六章, 各个章节的具体安排如下:

第一章为绪论, 主要介绍了本课题的研究背景和意义、国内外的的发展状况以及本文的内容的安排。

第二章介绍了首先介绍对于我们的调试通道的总体设计, 然后介绍了调试通道的开发所需要了解的系统知识和关键技术, 主要包括 VxWorks 系统及驱动开发的知识、USB 技术相关知识。

第三章介绍了 USB 口转串口驱动程序的设计和实现, 包括驱动程序当中对于缓冲区和信号量的设计, 我们使用 CP2102 模块开发和 VxWorks 下的 USB 开发的内容, 然后给出了 USB 口转串口驱动的具体实现, 包括特定需求下的单设备驱动和多设备支持的驱动

第四章主要介绍了应用层的接口封装部分, 主要包括 Log 接口的设计, 标准输出重定向接口的设计, 以及 PC 客户端的协议解析部分。

第五章主要内容是系统的功能测试部分。

最后在结束语部分对整个的工作进行了总结, 指出了本次的工作的不足之处, 并对下一步的工作进行了展望。

二 调试通道总体设计与关键技术

2.1 总体设计

VxWorks 的集成开发调试环境为 Tornado, 它使用串口和网口结合的方式来对目标机进行控制和数据传输, 而目前对于大多数的设备而言都已经抛弃了串口, 很多用于军事上的嵌入式设备都是专用设备, 没有联网的需求, 并不会配备网口, 但是对于设备上产生的各种调试信息、日志信息都需要传输到我们的 windows PC 上来进行一个事后分析工作, 因此我们需要设计一个新的调试通道来满足这些信息的传输要求, 我们本次设计一个基于 USB 口转串口的底层驱动来实现该调试通道。调试通道的总体结构如图 2-1 所示。

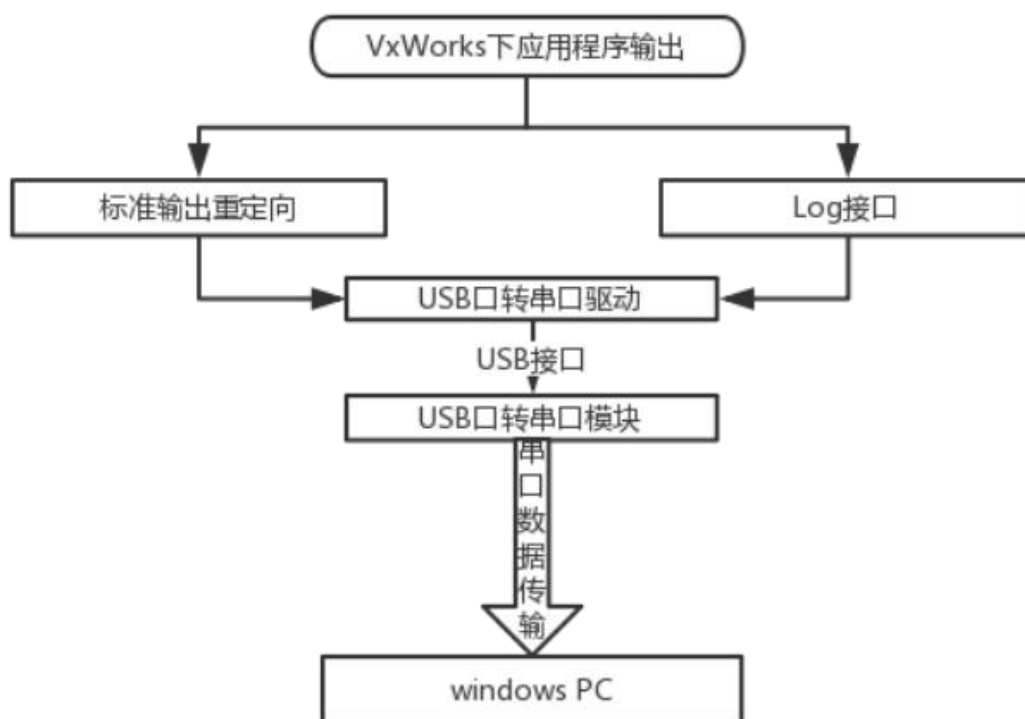


图 2-1 调试通道整体结构图

整个调试通道主要分为两个模块: 应用层的接口模块、USB 口转串口模块。

提供给应用层的接口模块负责将系统应用层的输出通过我们的 USB 口转串口驱动程序传输到 windows PC 机, 输出的形式包括特定内容的格式化的输出和普通的重定向的输出, 格式化的输出我们会使用自定义的 Log 接口进行格式控制, 为此我们设计了一个自定义的 Log 协议格式, 其中的内容包含有调试级别、调试信息所在的文件、调试信息所处的行号、输出该条调试信息的时间等; 重定向的输出包括 RTP 模式下的

重定向和 task 模式下的重定向, VxWorks 中对于这两种模式需要使用不同的重定向方式。

USB 口转串口模块用于在 VxWorks 上实现一个 USB 口转串口驱动程序, 负责将上层应用的信息传输到 windows PC, 包括一个特定需求的驱动程序的实现和一个普通的驱动程序的实现。特殊需求的驱动程序相对于普通的驱动程序而言在流程和结构上进行了修改, 以使其达到特定的要求, 具体的实现我们会在第三节进行介绍。两种实现方式中都会包含有驱动程序加载、卸载模块, 设备的打开、关闭、读、写、控制模块。同时在驱动程序中还需要一个数据的管理模块, 我们会使用循环缓冲区来管理数据。

2.2 关键技术

2.2.1 VxWorks 驱动开发

在 VxWorks 当中使用 I/O 子系统来管理设备驱动, I/O 子系统在整个 VxWorks 当中起着承上启下的作用, 各种类型的设备都必须要向 I/O 子系统进行注册才能够被内核访问^{[18][17]}。I/O 子系统在 VxWorks 当中的作用是维护系统设备表、系统驱动表、系统文件描述符表。设备驱动在 VxWorks 中就靠这三个数据结构来进行管理, 所以对于设备驱动而言非常重要。设备驱动程序初始化时会对硬件完成初始化的配置, 同时会向 I/O 子系统注册自己, 注册之后 I/O 子系统才能找到该驱动。

2.2.1.1 VxWorks I/O 系统

通常操作系统为了平台的无关性都会为应用程序提供一套标准的接口, VxWorks 也不例外, 它为应用层的提供了接口函数 creat()、open()、unlink()、remove()、close()、rename()、read()、write()、ioctl()、lseek()、readv()、writev() 等^{[12][4][6]}, 我们将其称为标准 I/O 库。这样就可以通过调整底层驱动或者是接近驱动那部分的操作系统中间层来实现应用程序的通用性, 提高应用层的开发效率, 避免重复编码。在 Mac OS、Linux、或 Windows 当中会把这套接口以标准库的形式呈现, 但是在 VxWorks 中它们是由系统的内核实现的, 直接以内核文件的形式提供, 它们都位于 ioLib.c 文件下^[18]。在 VxWorks 中一个很大的特点是它不会区分用户态和内核态, 所有的内核函数都可以由用户程序直接进行调用, 这样就减少了中断转入内核态再继续执行这一个过程, 这对于强实时性系统而言极为重要, 因为这样减少了时间开销, 但是这样减少了使用权限上的限制, 为内核带来了不安全性, 极易导致内核的崩溃, 所以 VxWorks 系统上应用程序的开发和使用对开发人员的要求比较高。

I/O 调用结构如图 2-2 所示。

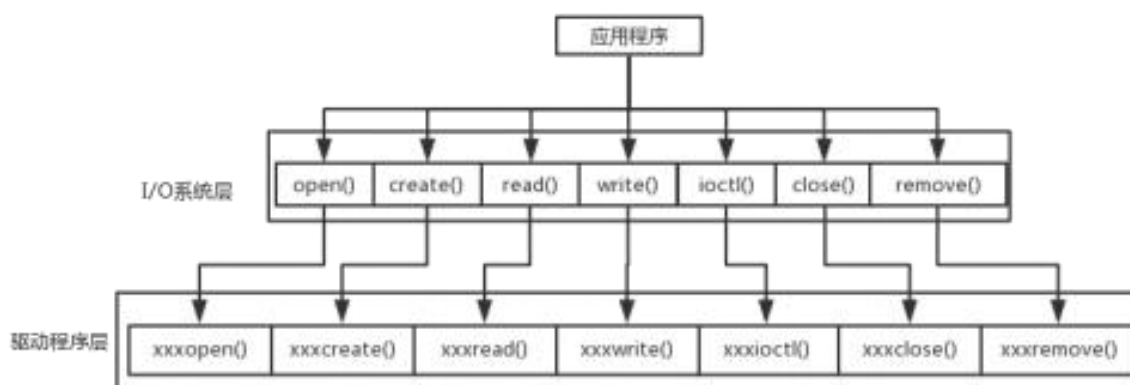


图 2-2 I/O 调用

2.2.1.2 系统设备表

系统设备表是 VxWorks 中为了管理系统上的所有设备而使用的一个链表。系统设备表在系统中的连接方式如图 2-3 所示。wind 内核规定每一个设备都必须使用一个 DEV_HDR 的结构来表示该设备, 该结构中只包含有三个成员: 一个设备链表节点; 一个设备驱动号; 一个指向设备名的指针。其定义如下^[18]:

```

1  /*h/iosLib.h*/
2  typedef struct
3  {
4      DL_NODE node;
5      short drvNum;
6      char * name;
7  }DEV_HDR; /* 这个结构是所有设备自定义结构体的第一个成员 */

```

VxWorks 系统提供了一个设备的注册函数 iosDevAdd(DEV_HDR *pDevHdr, char *name, int drvnum), 该函数用来将一个设备添加到系统设备表当中, 系统设备表在每次添加设备时就会增加一个节点, 删除设备时就会减少一个节点, 一个设备添加到系统之后, 就可以使用 open()、remove() 通过文件名对所有设备链表中的表项进行匹配, 匹配成功之后就可以实现文件与设备的连接^[19], 之后就可以使用相对应的注册的设备驱动进行其他的文件操作。VxWorks 中使用最佳匹配的方式进行设备名匹配。

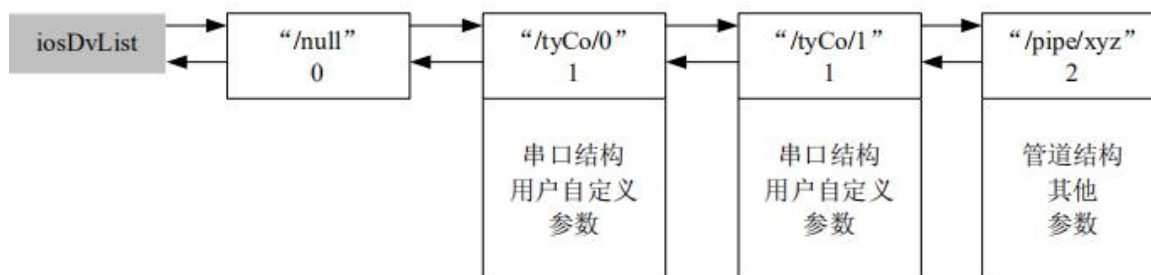


图 2-3 VxWorks 系统设备示意图

2.2.1.3 系统驱动表

系统驱动表用于管理当前注册到 I/O 子系统下的所有驱动程序,所管理的驱动既可以是直接驱动硬件工作的驱动层,也可以是驱动的中间层^{[18][20]}。

VxWorks 中使用数组来实现系统驱动表,表中的每一个表项都是一个 DRV_ENTRY 类型的结构,该结构定义在内核的头文件 iosLibP.h 当中,其定义如下^[18]:

```
1 typedef struct
2 {
3     FUNCPTR de_create; /* 指向驱动的 create()函数 */
4     FUNCPTR de_delete; /* 指向驱动的 delete()函数 */
5     FUNCPTR de_open;   /* 指向驱动的 open()函数 */
6     FUNCPTR de_close;  /* 指向驱动的 close()函数 */
7     FUNCPTR de_read;   /* 指向驱动的 read()函数 */
8     FUNCPTR de_write;  /* 指向驱动的 write()函数 */
9     FUNCPTR de_ioctl;  /* 指向驱动的 ioctl()函数 */
10    BOOL de_inuse;      /* 用于指示表项是否空闲 */
11 } DRV_ENTRY; /* 系统驱动表中的条目 */
```

DEV_ENTRY 结构体类型当中的成员都是结构体指针,每一个成员指向驱动程序中的一个用于完成特定功能的实际模块,这些模块的功能要符合 IO 系统预定义好的标准,要与用户层提供标准函数接口一一对应^{[18][21][22]}。DEV_ENTRY 结构中还有一个相对特殊的成员 de_inuse 若该成员空闲则表示该表项未被使用。这个结构体中的函数指针实际指向的内容由驱动调用 iosDrvInstall() 函数来提供。该函数的作用就是将驱动注册到系统驱动表当中,并根据注册的内容来填充 DRV_ENTRY 表项的内容。

2.2.1.4 系统文件描述符表

系统描述符表用于管理当前系统打开的所有文件描述符。其底层实现也是一个数组,文件描述符表的表项索引被用作文件描述符的 ID(即 open() 函数返回值),系统中每次使用 open() 调用就会占用一个系统文件描述符的表项。VxWorks 中的标准输入、标准输出、标准错误输出虽然使用 0, 1, 2 三个文件描述符来表示,但是它在底层的实现上可能并不是占用了三个表项,而是只占用一个表项,即三个文件描述符指向同一个表项^{[23][18][24]},这一点是需要注意的。

系统文件描述符表中每一个表项都使用 FD_ENTRY 这个结构来表示,这个结构定义在内核的头文件 iosLibP.h 中,其定义如下^[18]:

```
1 typedef struct
2 {
3     DEV_HDR * pDevHdr; /* 该设备的设备头 */
4     int value; /* 设备的驱动号 */
5     char * name; /* 设备名指针 */
6     int taskId; /* 设备的任务ID */
7     BOOL inuse;
8     BOOL obsolete; /* 底层驱动是否仍然存在 */
9     void * auxValue; /* 驱动自定指针, 根据驱动的需求实现 */
```

```

10 void * reserved; /* 保存未用 */
11 } FD_ENTRY; /* 系统文件描述符表的表项 */

```

用户的应用程序每次使用 `open()` 系统调用系统文件描述符表中就会增加一个有效表项,该表项的 `FD_ENTRY` 结构体会根据 `open()` 调用的内容来进行填充,每一个文件能够进行的 `open()` 调用是有限制的,每个驱动的 `FD_ENTRY` 结构数组满了之后就无法再对这个设备进行 `open()` 操作,此时 `open()` 函数将会失败返回。系统会在表中的索引偏移 3 之后找一个最先找到的未使用的 `id` 作为文件描述符返回给用户,之后用户对设备的其他操作只需要使用这个文件描述符作为文件句柄即可。

2.2.2 VxWorks 中的通信机制

任务间的通信机制用于协调多个任务之间的活动,在我们的 USB 口转串口驱动程序当中需要使用任务间的通信机制来确保对驱动缓冲区中的数据正确、有序的读写,VxWorks 内核当中为我们提供了丰富的任务间通信机制,包括共享内存、信号量、消息队列、管道、信号、Sockets 等。我们主要介绍一下 VxWorks 任务中使用较多的信号量、消息队列和管道这三种机制,它们在本质上都是使用的共享物理内存机制,只是这块共享的内存不是由用户进行管理,而是交由内核进行管理的,这种实现机制可以使任务间通信安全有序的进行^{[25][26]}。

1. 信号量

作为一种在程序的设计当中最常出现的通信机制,信号量的主要作用是线程间的互斥和同步。VxWorks 中为程序提供 POSIX 信号量的同时设计了专门的 Wind 信号量,POSIX 信号量的使用主要是为了方便程序的移植。和 POSIX 信号量的不同之处在于,VxWorks 中对 Wind 信号量进行了高度的优化,使得其更适用于实时操作系统,能够更快的实现任务间通信。VxWorks 中信号量是一个指向 SEMAPHORE 类型的结构指针,提供了二进制信号量、互斥信号量、计数信号量三种类型的信号量机制,他们适用于解决不同类型的问题。

二进制信号量是最快、最通用的信号量,既可以用于同步也可以用于资源计数。wind 的二进制信号量所需系统开销最少,适用于高性能的需求。二进制信号量在资源可用时标记为 FULL,在资源不可用时标记为 EMPTY。在 VxWorks 中二进制信号量使用函数 `semBCreate()` 来创建,二进制信号量的提取和释放过程如图 2-4 所示。

互斥信号量可以看做是一种特殊的二进制信号量(资源数为 1),它优化了互斥、优先级继承、删除安全等问题,这使得它能够更好的服务于任务间的互斥需求;互斥信号量的基本行为和二进制信号量是一致的,但是互斥信号量只能够用于互斥,不能够用于同步,该信号量只能够由获得的该信号量的进程来进行释放,不能够由其它的进程进行释放。它使用 `SEM_INVERSION_SAFE` 和 `SEM_Q_PRIORITY` 选项来使得该信号量能继承优先级算法,以此解决优先级的倒置问

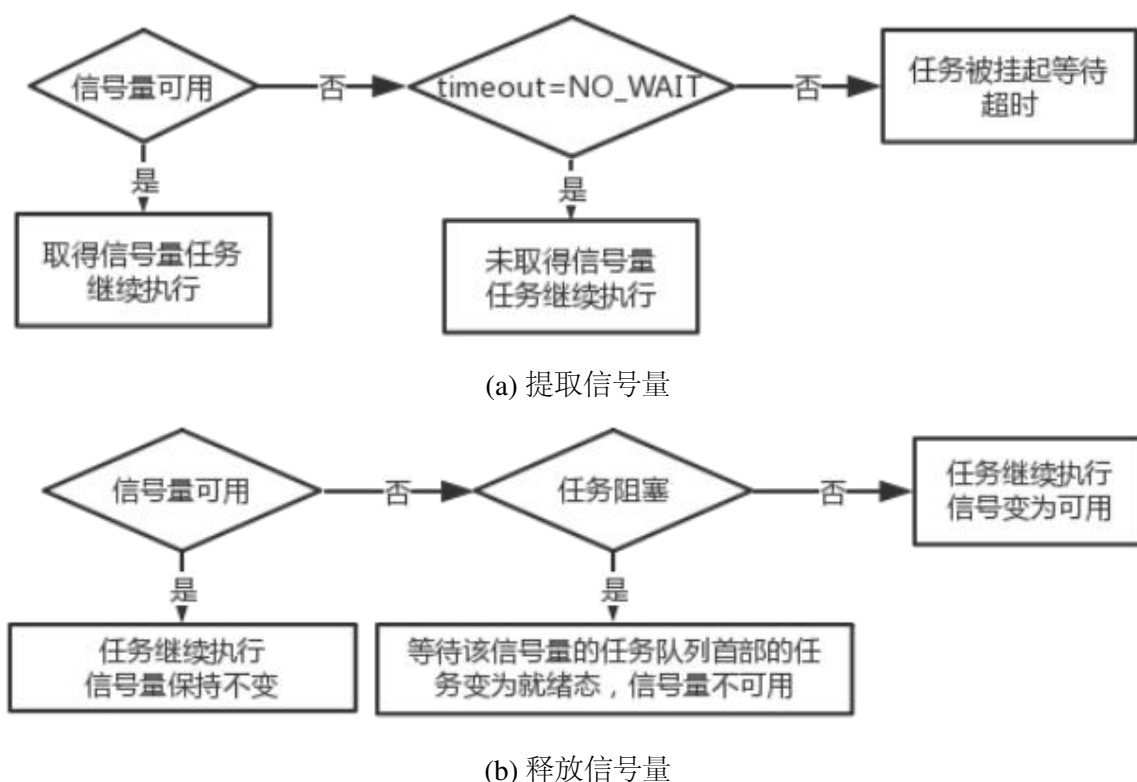


图 2-4 二进制信号量的提取与释放过程

题;使用 SEM_DELETE_SAFE 选项来解决删除安全问题,在 VxWorks 中互斥信号量使用系统提供的 semMCreate() 函数来创建;

资源计数信号量也是一种特殊的二进制信号量(资源数较多),它会跟踪信号量增加、删除的次数,每次释放一个信号量,内部的计数器就会执行加一操作,每次提取一个信号量,内部的计数器就会执行减一操作,当计数器为 0 时,表示没有可供使用的资源,此时提取信号量的操作就会被阻塞,在 VxWorks 中资源计数信号量使用系统提供的 semCCreate() 函数来创建。

三种信号量的释放操作都是使用 semGive() 函数;提取操作都是使用 semTake() 函数,在提取信号量是我们可以选择是否允许超时,超时可以作为解决阻塞的一种方法。

2. 消息队列

消息队列是一种在消息传输的过程中保存消息的容器,它给互相合作的任务间通信提供了一种机制。如图 2-5 是消息队列实现任务间通信的一种方式。和信号量类似,VxWorks 中支持 POSIX 消息队列,主要是为了方便移植和程序的兼容,同时 VxWorks 也设计了专门用于 Wind 的消息队列,位于 msgQLib 文件当中。VxWorks 中提供函数 msgQCreate() 来创建一个消息队列;msgQDelete() 用于删除一个消息队列;msgSend() 用于向消息队列中发送一个消息;msgQReveice() 用于从消息队列中提取一个消息。

在 wind 中消息队列是使用结构数组来实现的,在创建消息队列时必须指定一个消息的最大长度和队列中能够容纳的消息数量,这就使得其在任务间传递较多信息时存在的很大的局限性^[26]。

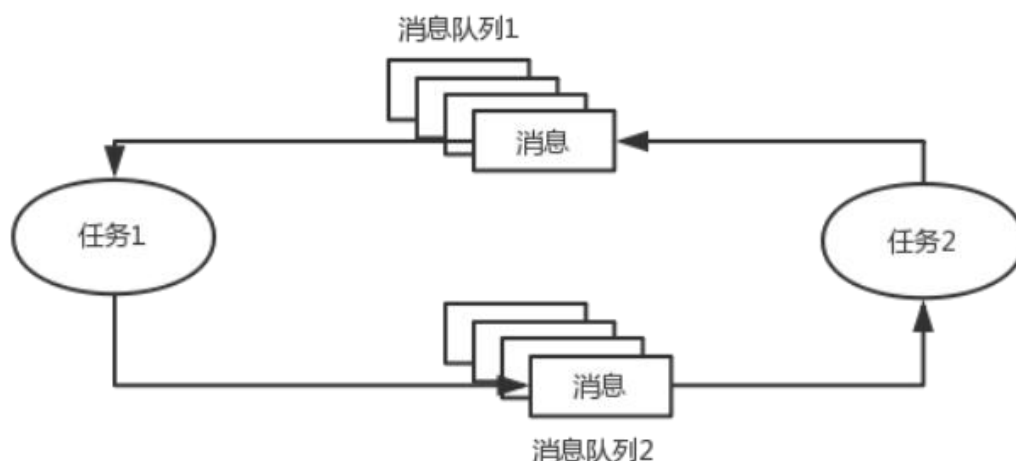


图 2-5 消息队列实现全双工通信

3. 管道

管道也是一种基本的进程间通信机制,包括命名管道和匿名管道。VxWorks 内核当中使用环形队列的方式来实现管道,管道提供了比消息队列更流畅的信息传递机制,可以像文件一样进行读写。命名管道具有一个与之关联的路径名,因此任何的进程间都可以用它进行通信,命名管道是双工的数据可以双向流动;非命名管道一般用于父子或兄弟进程间通信,非命名管道是半双工的,数据只能向一个方向流动。

任务间特殊的通信机制-信号:信号通常用于通知一个进程发生了异步事件,也被称为软中断。通常收到信号的进程通常可以选择三种方式来处理:一是使用一个信号处理函数处理;二是选择忽略该信号;三是使用系统默认的处理方式处理。Wind 内核同时支持 UNIX BSD 风格的信号和 POSIX 信号,但是 Vxworks 中的信号处理机制有些特别之处,对于 SIGKILL, SIGSTOP 这类的信号,在通用操作系统上是不允许用户修改其默认处理函数的,但是在 VxWorks 操作系统中可以对任何信号的处理函数都可以进行更换的。

2.2.3 USB 技术

USB(Universal Serial Bus) 作为 PC 领域的最新型的接口技术,目前已被各个 PC 厂家所支持,并且在各类外设当中都广泛的采用 USB 接口。USB 的开发技术也已经很成熟,通用串行总线开发者论坛 (USB Implementers Forum,USB IF) 目前制定了三种 USB 接口标准:USB1.1,USB2.0 和 USB3.0。USB 采用菊花链的形式连接所有的设

备,最多可以连接 127 个设备,USB 的总线拓扑结构如图 2-6所示

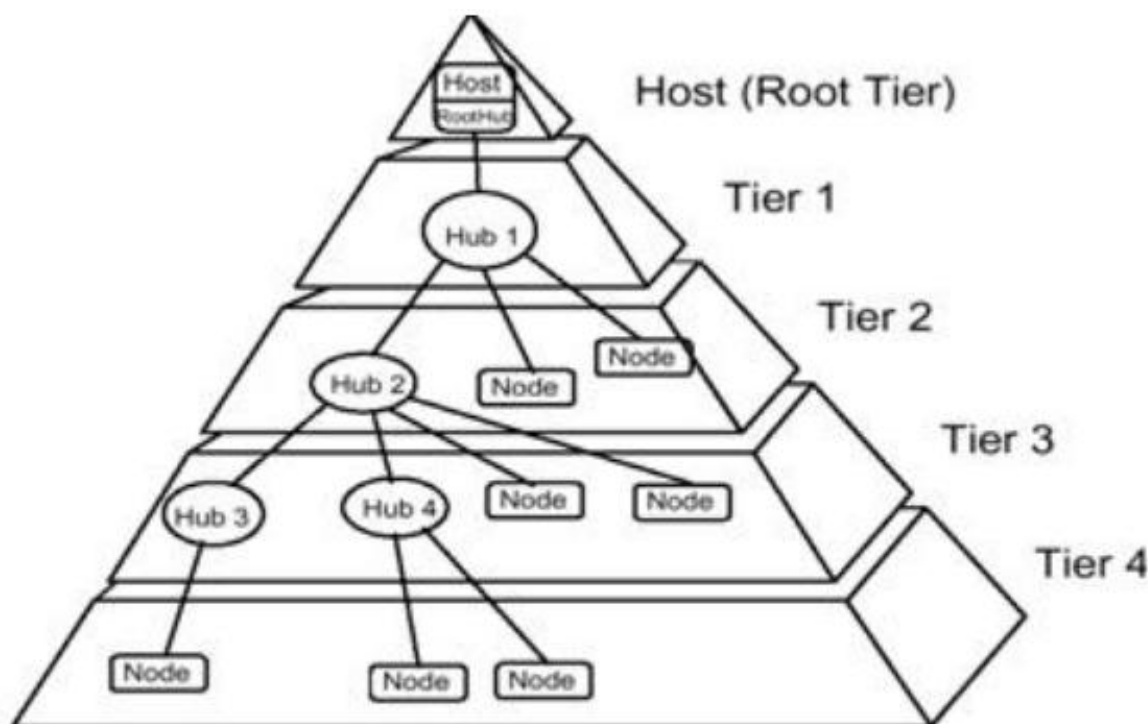


图 2-6 USB 总线拓扑结构

USB 的体系结构将 USB 系统分成了三个部分: USB 主机 (Host)、USB 集线器 (Hub)、USB 设备 (Device)。其中我们需要了解的关键部分是 USB 主机和 USB 设备。

1. USB 主机

USB 主机是 USB 体系中的核心,且系统中只允许一个 USB 主机存在。USB 主机上的 USB 接口是 USB 主控制器,其控制着总线上所有 USB 设备数据通信。对于 USB 的体系结构而言,其数据的传输都是 USB 主机端发起的,非主机端 (设备端) 只能被动的进行响应。USB 主机需要完成的功能包括检测设备的热插拔、管理主机和设备之间的信息 (控制和数据) 流^{[27][28]}。

2. USB 设备

USB 设备指的是提供具体功能的而外部 USB 设备,是相对 USB 主机而言的,它们受 USB 主机的控制,只能对主机的请求进行被动响应。USB 主机端会在检测到 USB 设备的动作之后通过协议和 USB 设备进行通信,对其进行必要的初始化配置,并给设备提供适合的驱动程序 (如果有的话),一个 USB 设备会通常会有很多的属性,它会通过这些属性来完成主机的配置要求。一些 USB 设备的属性如下:

- 描述符 (Descriptor) 属性

USB 协议中定义了一套描述 USB 设备的功能和属性的固定结构的描述

符,包括设备描述符、配置描述符、接口描述符、端点描述符、字符串描述符^{[29][30]}除此之外,设备还可以提供自己专用的描述符,分为设备类描述符和供应商自定义描述符,我们使用的 USB 口转串口设备就不属于一个标准的 USB 设备,它会为我们提供供应商自定义的描述符,我们之后需要用它来对设备进行识别。

- **类 (Class) 属性**

由于 USB 协议支持许多的外围设备,所以在 USB 协议中将 USB 设备预先分成了一些类型,分类的方法是根据功能来分,将功能相近的设备分配到同一类当中,如打印机类、键盘类等。这样主机端只需要提供类驱动程序便可以驱动大多数的 USB 设备,而不需要再为每一个设备提供驱动程序。这大大的方便的设备的制造商。他们的设备只需要符合某一类的驱动,就可以使用该类驱动程序来驱动其设备,之后只需要实现自己的独特的客户端激动即可,不需要再实现复杂的底层驱动程序^[27]。

- **功能 (Function)/接口 (Interface) 属性**

功能或接口是 USB 协议中定义的设备的某种能力,Function 是从功能角度来说的,从设备的角度来说,被称为 Interface。一个设备可以拥有几个接口,每一个接口负责完成设备的一个特定的功能,并且这个接口的功能是可以替换的,当 USB 设备处于可配置状态的时候能够通过控制命令来改变某一个接口的功能,对于 USB 设备的每一个接口都必须要有有一个接口描述符来描述。

- **端点 (Endpoint) 属性**

端点是 USB 设备与 USB 主机逻辑上的通信流的终点,每个设备都拥有一个可独立进行操作的端点集合,且每个端点在使用时都要先初始化其数据传输方向 (IN/OUT),即使端点号相同但是传输方向不同的通信点也是不同的端点。端点 0 被 USB 规范保留用作设备枚举和配置过程中的数据传输端点,与端点 0 对应的管道是默认管道,设备的所有端点共享端点 0^[27]。

- **管道**

管道可以看做是设备上的一个端点和主机上的软件的联合体,设备和主机间的数据传输要基于管道进行。在 USB 的通信过程中首先要建立一个管道才能够进行数据的传输,USB 设备在和主机通信时都会建立一个默认的管道,这个管道对应的端点是默认端点 0,之后需要自己使用其它的端点来建立我们的数据传输过程中需要使用的输入或输出管道。在我们的 USB 口转串口驱动中会为每一个设备建立两个管道,一个批量输出管道和一个批量输入管道。

- **设备地址**

设备地址用于区分 USB 系统中的一个 USB 设备,设备地址由主机分配且

是唯一的。设备地址共有 7 位,地址 0 是缺省地址,在设备初始化的时候使用,理论上系统可以区分 127 个 USB 设备,实际中由于 USB 总线带宽的限制,无法同时支持这么多设备工作^[27]。

USB 规范规定了 USB 主从设备之间的四种传输方式,每种方式有各自的用途^[31]:

- **控制传输:** 控制传输 USB 传输方式中最重要、最复杂的一种,它适用于少量、对时间和速率无要求的场合,一个 USB 设备插入主机之后就是使用这种传输方式来读取设备的地址和描述符等信息。所有的设备都会在其 0 号端点的缺省管道当中支持控制传输^[29]。
- **批量传输:** 批量传输有两种最基本的事物类型: BULK_IN 和 BULK_OUT, 其主要用于处理对数据传输速率不是很高的情况,批量传输使我们的 USB 口转串口设备所使用的主要传输传输方式,每次有数据需要传输时我们都会构建一个 IRP 使用批量传输将其传出或传入。
- **中断传输:** 中断传输也有两种基本的事务: IN 和 OUT, 其主要是为那些要快速实现主机和设备的交互,但是数据量很小、对服务时间有要求的情况而准备的。
- **等时传输:** 等时传输也是由基本的 IN 和 OUT 两种事务组成,主要用于处理大量、恒速、对时间周期有要求的数据。等时传输只有全速和高速设备才支持,低速设备不支持^[29]。

2.3 本章小结

本章重点介绍了本次的 VxWorks 调试通道的整体架构,并介绍了介绍了各个部分的设计方案,最后介绍了在本次的设计当中所需要使用关键技术和所需了解的重要知识,主要包括 VxWorks 下的驱动开发必须的结构、驱动中所需使用的 VxWorks 的通信机制、缓冲区技术、USB 技术。下面将要讨论 VxWorks 下的调试通道的详细的设计细节和具体的实际机制。

三 驱动程序的设计和实现

3.1 USB 口转串口驱动的设计

设备驱动程序在操作系统中框架是操作系统的设计人员在设计操作系统时已经制定好的, 这需要开发人员对操作系统和设备的硬件体系具有相当的了解, 因为驱动程序的性能、可靠性制约着应用系统的性能和可靠性。无论驱动程序的开发人员要完成一个什么样的驱动程序, 其都有一些系统规定的标准的模块, 以方便控制设备。我们此次驱动程序需要实现的框架部分主要包括 `cp210xDrvInit()`、`cp210xDevOpen()`、`cp210xDevClose()`、`cp210xDevIoctl()`、`cp210xDevWrite()`、`cp210xDevRead()`、`cp210xDrvUnInit()` 等函数, 如表 3.1 所示, 以及用于处理数据的缓冲区、用于进行同步和互斥操作的信号量。

模块	作用
<code>cp210xDrvInit()</code>	这个模块用来初始化驱动程序, 主要是与设备无关的一些全局变量并向系统注册该驱动
<code>cp210xDevOpen()</code>	这个模块用来转接 I/O 子系统分发过来的 <code>open()</code> 操作, 实现设备的打开, 返回文件描述符
<code>cp210xDevClose()</code>	这个模块用来转接 I/O 子系统分发过来的 <code>close()</code> 操作, 实现设备的关闭, 对设备占用资源进行清理
<code>cp210xDevIoctl()</code>	这个模块用来转接 I/O 子系统分发过来的 <code>ioctl()</code> 操作, 实现对设备的一些特定的控制操作
<code>cp210xDevWrite()</code>	这个模块用来转接 I/O 子系统分发过来的 <code>write()</code> 操作, 实现对设备进行数据的写入
<code>cp210xDevRead()</code>	这个模块用来转接 I/O 子系统分发过来的 <code>read()</code> 操作, 用于从设备读取数据。
<code>cp210xDrvUnInit()</code>	这个模块用来卸载驱动程序, 将驱动从系统驱动表中删除, 并清理该驱动程序所占用的全部资源

表 3.1 驱动程序的关键模块

另外一个方面, USB 口转串口的驱动程序需要硬件来作为支撑, PC 机上本身并没有 USB/RS-232 的转换器, 对于 USB/RS-232 转换器的设计通常有两类实现方式: 一类是采用全面系统的设计, 使用包含有 USB 单元的微处理器, 要求它具有内置的通用异步收发器 (UART) 在 USB 和 RS-232 之间进行信号转换, 这样的控制

器包括 PCI16C745、68HC705JB4 和 C541U 系列等^[32],也可以采用 USB 接口芯片如 PDIUSBD12、USBN9604 等与微控制器组合工作;第二类方法是采用专用的 USB/RS-232 双向转换芯片,如 CP2102、FT232BM 等,我们在此处的设计即使用了 CP2102 芯片作为 USB/RS-232 转换器,这样设计的好处是不需要编写转换器芯片的固件,节约开发时间,由于这个技术已经很成熟,大多的 USB 口转串口的解决方案都会采用这种已经设计好的集成芯片来作为转换器。我们本次使用的设备如图 3-1 所示。

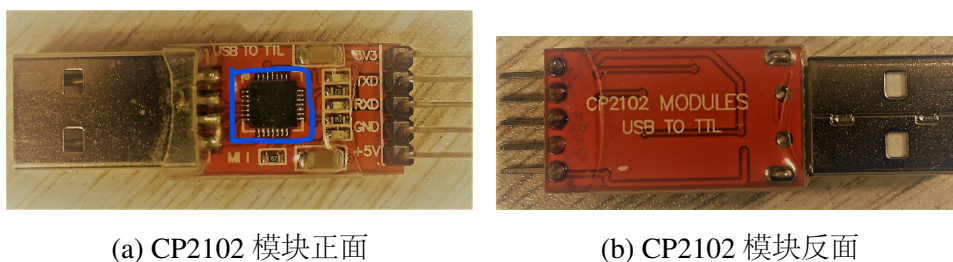


图 3-1 CP2102 模块正反面

3.1.1 VxWorks 上的 USB 开发

在 VxWorks 当中 I/O 框架实现在内核文件 ioLib.c 当中,在 VxWorks 当中我们将它称为上层接口子系统,因为其提供的函数只是一个最上层的接口,只完成一个简单的请求转发的功能,并不会完成具体的请求的实现,它会将上层应用的请求转发到 I/O 子系统当中,I/O 子系统定义在内核文件 iosLib.c。I/O 子系统通常对用户层是不可见的,一般不将其提供给用户层调用,它是上层接口子系统与下层驱动系统的中间层。VxWorks 的内核驱动层次结构如图 3-2 所示。

在 Wind River 的 VxWorks 中 USB 驱动程序堆栈的开发符合的是通用串行总线规范 2.0 版, VxWorks 中的 USB 主机驱动程序堆栈满足 USB 协议规定的要求,将 USB 协议在主机端分成三层来实现,分别是客户端驱动程序 (Client Driver)、USB 驱动 (USBD)、主机控制器驱动 (HCD),每一层完成不同的功能。其通信的逻辑结构和 PC 端的软硬件结构如??所示。

客户端驱动程序用来完成对不同的设备的功能驱动。本次设计中所要完成的 USB 口转串口的驱动要完成的就是客户端驱动。USB 口转串口驱动会构建 USB I/O 请求包 (I/O request, IRP) 来向 USBD 层发出数据接收或者发送的请求,IRP 是 USB 协议定义的一个抽象概念,我们需要根据所发送的内容和发送的方式来具体的实现一个 IRP。此外,USB 的传输机制对于客户端的驱动程序而言是完全透明的,客户端驱动程序所看到的仅仅是具体的设备类,不管设备采用的何种的数据传输方式^[27]。

USBD 是 USB 的核心驱动,其提供了操作系统组件 (主要是设备驱动) 能够用来访问 USB 设备的方法,其实现是由操作系统决定的。USBD 提供 USB 总线的枚举、总线带宽的分配、传输控制等操作。它会处理客户端驱动程序发送来的 IRP 包,并将其

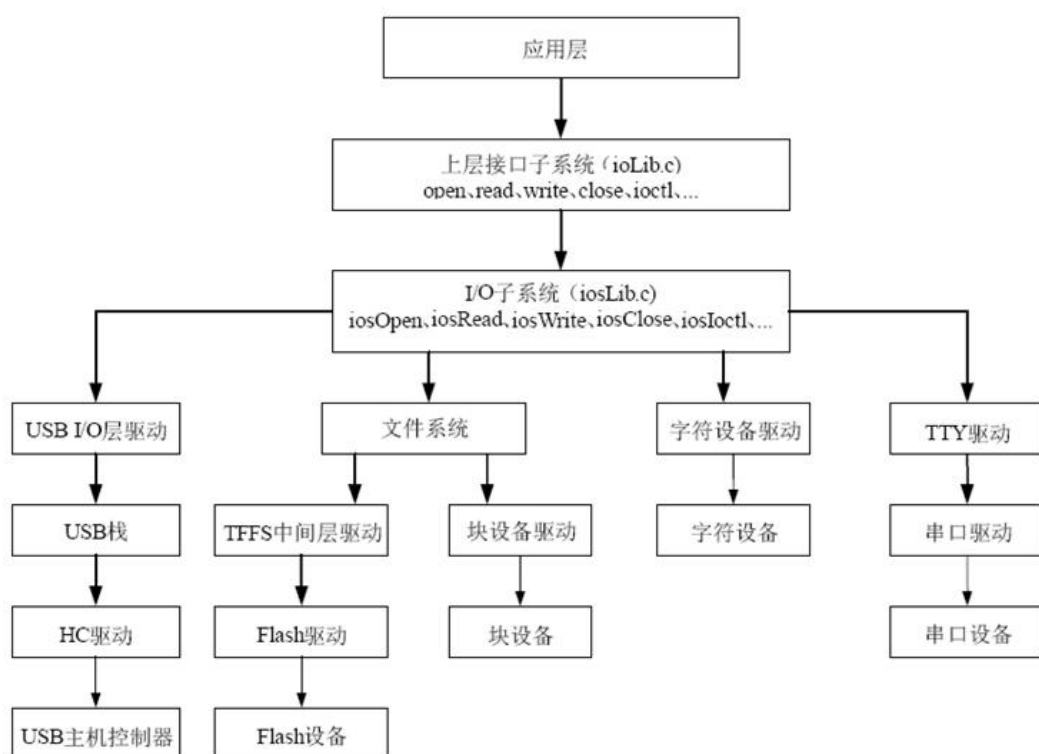
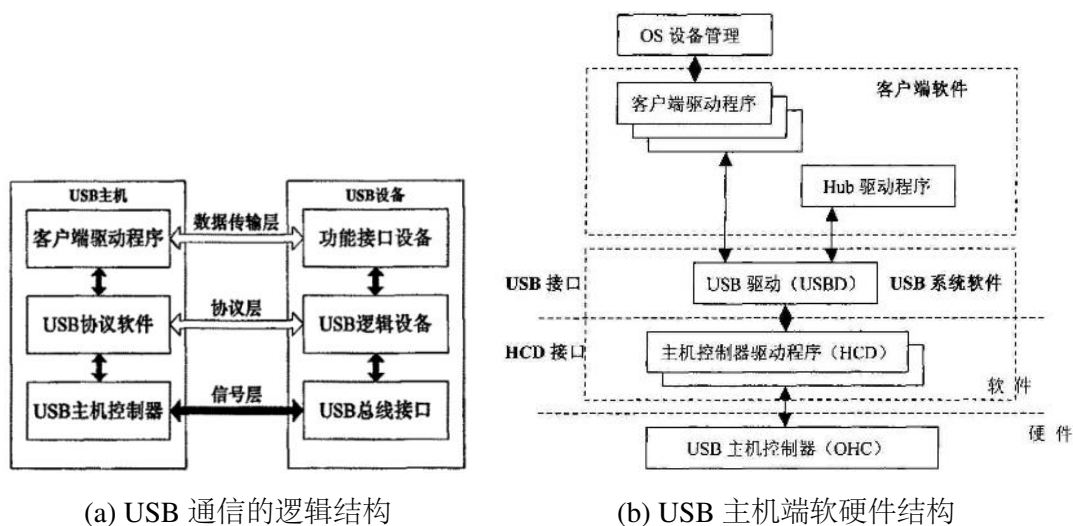


图 3-2 VxWorks 驱动内核层次结构



(a) USB 通信的逻辑结构

(b) USB 主机端软硬件结构

图 3-3 USB 通信结构

请求映射到适当的 HCD 或者直接交给主机控制器处理。USBD 还负责新设备的动态插拔、USB 电源管理和对客户端驱动程序的维护等操作。

HCD 层提供一个软件抽象来完成 USB 主控制器的各种事物处理，用于隐藏主控制器的硬件实现细节，HCD 只服务于我们的 USBD 层，对上层应用而言其通常是不能直接访问的。HCD 层会将 USBD 层传输下来的事务调度给主机控制器进行处理，当事物处理完成之后 HCD 会将结果返回给 USBD 层。此外它还会完成对主

机控制器和根集线器的配置和驱动等操作。WindRiver 提供了两种类型的主机控制器驱动:usbHcdUhciLib(UHCI 主机控制器驱动)和 usbHcdOhciLib(OHCI 主机控制器驱动)。VxWorks 的 USB 和 HCD 之间的接口允许操过一个的底层主控制器,并且 USB 能够同时连接多个 USB HCD。这样的设计特点可以让开发者建立复杂的 USB 系统^[27]。

在 VxWorks 系统当中 UBSD 层的驱动和 HCD 层的驱动都是由操作系统实现好的,我们所需要实现的是客户端的驱动程序,用以驱动特定的 USB 设备。

3.1.2 CP2102 开发

CP2102 是 SILICON LABORATORIES 推出的 USB 与 RS232 接口转换芯片,它包含有一个 USB2.0 全速功能控制器,EEPROM,USB 收发器,振荡器和带有全部的调制解调器控制信号的异步串行数据总线 (UART),CP2102 的电路框图如图 3-4 所示。

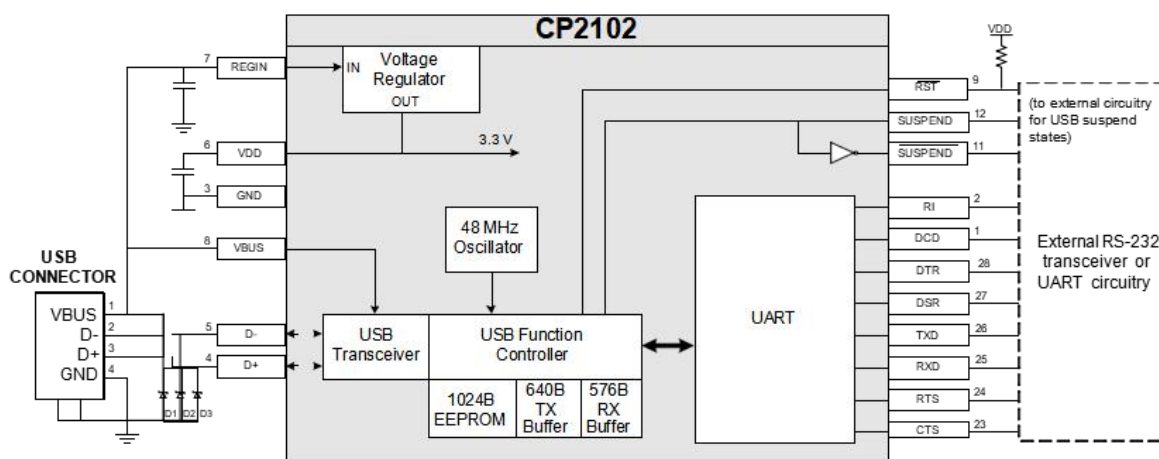


图 3-4 cp2102 电路框图

使用 CP2102 进行串口扩展的时候所需要的外部器件是非常少的,在 SILICON 给出的文档当中已经帮我们给出了一个最简单的连接电路图,如图 3-4 所示。电路使用 CP2102 UART 总线上的 TXD/RXD 两个引脚,其余的引脚都悬空。CP2102 可以完成 USB/RS-232 双向转换,使用时我们只需要将数据发送给 CP2102 芯片即可,芯片会自动进行 USB 协议/RS-232 协议的转换。

1. CP2102 的 USB 功能控制器和收发器: CP2102 的 USB 功能控制器是一个符合 USB2.0 协议的全速器件,这个器件负责管理 USB 和 UART 之间的所有数据传输以及由 USB 主控制器发出的命令请求和用于控制 UART 功能的命令。
2. 异步串行数据总线 (UART) 接口: CP2102 的 UART 接口包括 TXD(发送)和 RXD(接收)数据信号以及 RTS,CTS,DSR,DTR,DCD 和 RI 控制信号。ART 支持 RTS/CTS,DSR/DTR 和 X-on/X-Off 握手。且支持编程使 UART 支持各种数据格式和波特率。ART 的数据格式和波特率的编程是在 PC 的 COM 口配置期间

进行的。可以使用的数据格式和波特率见表 3.2。

3. 内部 EEPROM:CP2102 内部集成了一个 1K 的 BEEPROM, 在其中存储了一些设备的特定信息, 包括厂商 ID、产品 ID、产品说明、电源参数、器件版本号和器件序列号等^[33]。但是这个数据的配置定义是可选的, 如果 OEM 没有为设备的 EEPROM 写入数据的话, 那么设备会自动的使用一组默认的数据, 如表 3.3所示。

数据位	5,6,7,8
停止位	1,1.5,2
校验位	无校验, 偶校验, 奇校验, 标志校验, 间隔校验
波特率	600,1200,2400,4800,7200,9600,14400,16000,19200,28800, 38400,51200,56000,57600,64000,76800,115200,128000,158600, 230400,250000,256000,460800,576000,921600

表 3.2 CP2102 可配置参数

Name	Value
Vendor ID	10C4h
Product ID	EA60h
Power Descriptor(attributes)	80h
Power Descriptor(Max Power)	32h
Release Number	0100h
Serial Number	0001(63 characters maximum)
Product Description String	"CP2102 USB to UART Bridge Controller"(126 characters maximum)"

表 3.3 CP2102 默认配置表

CP2102 当中的协议控制单元会对来自 USB 接口的命令进行解析, 然后对 UART 接口进行配置。UART 的部分可配置参数如表 3.2所示, CP2102 当中的拥有一个 576B 的接收缓冲区和一个 640B 发送缓冲区, 这些缓冲区可以部分的解决 USB 和 RS-232 之间的速率不匹配的问题。以从计算机到外设的数据传输为例。当 USB 转串口设备连接到 PC 的 USB 总线上后, PC 会对其进行初始化并在识别出该设备后启动支持该设备的客户端驱动; 之后会由驱动程序给设备发送配置命令, 设置设备的数据传输特性; 最后, 在数据传输的时候, 计算机上的驱动程序会将数据包传输给 USB 接口 (通常使用批量传输的方式), 设备从 USB 接口提取出数据并保存在数据缓冲区中, UART 接口再从数据缓冲区中将数据取走并发送出去, 从外设传输数据到计算机的方式则相

反^[27]。

3.1.3 环形缓冲区的设计

在我们的 USB 口转串口驱动程序当中, 我们需要解决低速设备和处理器之间的速度匹配问题和数据丢失问题, 这可以通过建立环形数据缓冲的方式来解决。当数据到达时, 我们先将数据放入到缓冲区当中, 当上层应用需要取出数据或者设备空闲了可以进行数据的发送工作的时候, 我们再从缓冲区中将数据取出。环形缓冲是一种先进先出缓冲结构, 对于先进入缓冲区中的数据我们会最先发送。

应用程序、设备驱动和环形缓冲区的关系如图 3-5 所示, 通过环形数据缓冲, 我们可以解决速度匹配的问题和数据丢失的问题, 应用程序也无需阻塞等待设备的空闲, 只需将数据发送到我们的缓冲区中即可。我们使用循环队列实现的来实现环形缓冲区, 并设置队头指针和队尾指针, 当数据元素插入或者是删除时, 我们不需要移动其余的数据元素存储位置, 只需要移动队头和队尾指针即可。在设备初始化时, 将设备的环形缓冲区清空, 队头指针和队尾指针均设为 0, 当缓冲区中接收到一个数据时, 将此数据保存到队尾的位置并将队尾指针加 1, 当缓冲区中取走一个数据时, 我们将队头指针减一。

缓冲区当中需要考虑的关键问题是缓冲区的满和空的判断, 因为缓冲区满或者是空都有可能出现读指针或者是写指针指向同一个位置。我们处理这个问题的策略是在缓冲区中保持一个存储单元保存为未使用的状态。即一个大小为 N 的缓冲区中最多只能够存入 $N-1$ 个数据。如果读写指针指向同一个位置那么缓冲区即为空。如果写指针位于读指针的相邻后一个位置, 那么缓冲区为满, 在测试缓冲区是否满时做取余运算。无论是对于读缓冲区还是写缓冲区, 我们都需要解决的一个问题是当循环缓冲区中的数据已经满了之后, 再有数据需要进入到缓冲区当中时, 我们怎么进行处理, 此处我们选择的策略是遵循先进先出的原则来覆盖数据。这样操作的好处是可以防止最新的数据丢失, 而老的数据可能已经失去了时效性。

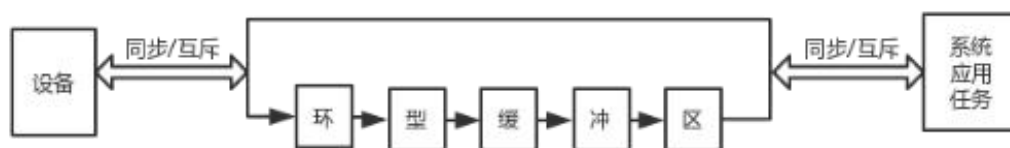


图 3-5 设备数据缓冲

3.1.4 信号量的设计

对于输入缓冲区, 我们使用一个读互斥信号量 `cp210xReadMutex` 和一个读二进制信号量 `ReadblockSem` 来进行缓冲区的控制, `cp210xReadMutex` 的作用保证对读缓冲区的正确访问顺序, `ReadblockSem` 的作用是用于对上层读任务和底层驱动的写任

务进行同步。在使用 ReadblockSem 时我们会设置一个超时时间 TIMEOUT, 当时间超过时 semTake() 操作就会返回一个错误, 我们上层读取任务此时就会得到一个错误返回, 说明无法读取到数据。

```

1 funA() //上层应用读取任务
2 {
3     semTake(cp210xReadMutex, WAIT_FOR_EVER)
4     if(available == 0)
5     {
6         semGive(cp210xReadMutex)
7         //等待缓冲区写入数据, 当底层往缓冲区中写入数据时会释放
8         //ReadblockSem
9         status = semTake(ReadblockSem, TIMEOUT);
10        if(status == ERROR)
11            return ERROR;
12
13        semTake(cp210xReadMutex, WAIT_FOR_EVER)
14    }
15    copy_from_readBuf; /*从缓冲区读取数据*/
16    semGive(cp210xReadMutex)
17    ...
18 }
19 funB() //底层从硬件接收数据
20 {
21     semTake(cp210xReadMutex, WAIT_FOR_EVER)
22     if(available == 0) //缓冲区中没有数据, 则释放一次 ReadblockSem
23         semGive(ReadblockSem);
24     copy_to_readBuf() //向读缓冲区中写入数据
25     semGive(cp210xReadMutex);
26 }
27 }

```

对于输出缓冲区, 我们使用一个写互斥信号量 cp210xWriteMutex 来进行缓冲区的读写控制, 由于我们这个特殊的驱动程序在往外输出数据时只需要将数据输出到了缓冲区的即可, 不管实际的设备是否连接, 因此我们不需要使用二进制信号量来进行上层写任务和底层读任务之间的同步操作。此时设备如果连接在系统上则会触发数据的发送操作, 若设备没有连接在系统上, 那么设备在连接上之后会自动的进行一次判断缓冲区中是否有数据的操作, 有数据则触发发送操作。部分关键代码如下:

```

1 funA() //上层应用写任务
2 {
3     semTake(cp210xWriteMutex, WAIT_FOR_EVER)
4     copy_to_writeBuf; /*从缓冲区读取数据*/
5     semGive(cp210xWriteMutex)
6     ...
7 }
8
9 funB() //底层从缓冲区读取数据写入设备
10 {
11     semTake(cp210xWriteMutex, WAIT_FOR_EVER)
12     if(available == 0)
13     {
14         semGive(cp210xWriteMutex);

```

```

15         return;
16     }
17     copy_from_writeBuf()//向读缓冲区中写入数据
18     initOutIrp();//构建数据发送IRP
19     semGive(cp210xWriteMutex);
20     ...
21 }

```

3.2 USB 转串口驱动的实现

在 VxWorks I/O 当中通常应该经过以下的三个基本步骤来实现一个设备驱动:

1. 实现对实际物理设备的数据结构抽象 (即设备的自定义数据结构);
2. 完成 I/O 系统所需要的各类接口及自身的特殊接口 (open、read、write 等);
3. 将驱动集成到操作系统中。

对于我们的 USB 口转串口驱而言,我们不需要实现对物理设备的数据结构抽象,因为 VxWorks 中的 USB HCD 层已经为我们实现好了物理层的抽象,同时还给我们提供了 USB D 层,因此我们只需要实现 USB 主机三层结构当中的客户端驱动程序即可,在客户端驱动当中,我们需要完成 IO 系统的各类接口的实现、完成驱动需要实现的特殊功能的实现、将驱动集成到系统等工作。具体的实现过程如下。

3.2.1 特定需求单设备驱动的实现

由于对于仅支持单设备驱动程序是基于特定的需求而具体定制的,所以该设备的驱动程序的实现流程与通常的支持多设备的驱动的初始化流程存在差异。具体的需求为:

1. 驱动中支持的设备名是固定的,无论具体的设备是否连接上,都可以往这个设备中写入数据。
2. 驱动程序中要有缓存一定数据的能力,一旦设备连接之后就能够检查缓冲区中是否有数据,有数据则将其发送出去。

由于需要在设备未连接时就能够往设备中写入数据,且设备名为固定的,那么就必须调整驱动的初始化流程,使得其能够支持这一特性,通常驱动都是在设备加载之后再将其加入到系统设备表和系统驱动表当中,那么此时我们就需要先将一个固定的设备名加入到系统设备表当中。对于该特定需求的单设备驱动的流程如图 3-6和所示。

3.2.1.1 设备的自定义结构

底层驱动都要对其驱动的设备维护一个自定义的数据结构,这个结构用来保存所驱动的设备的关键参数,这些信息将随着设备类型的不同而有所差别。对于我们的

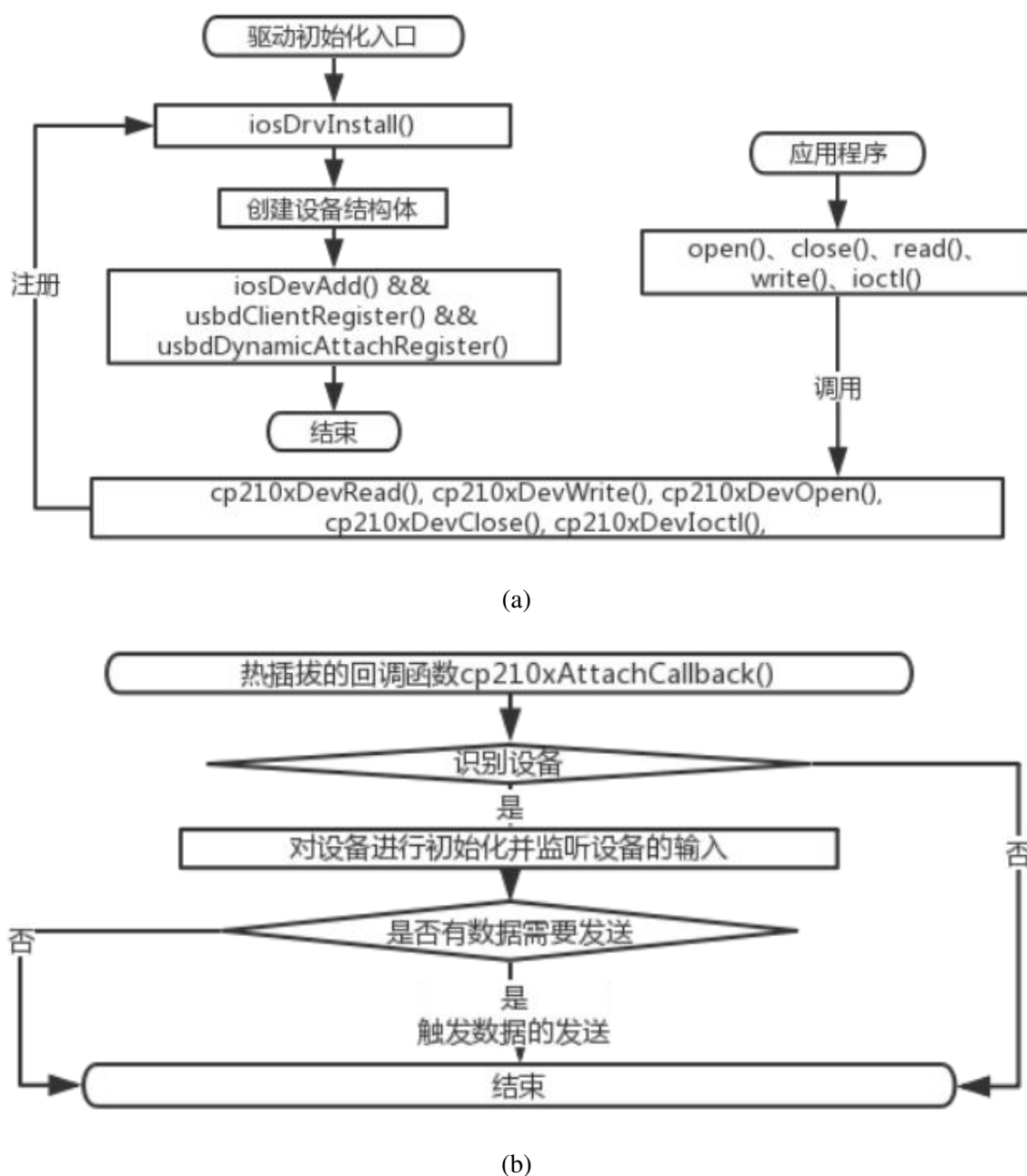


图 3-6 特定需求单设备驱动运行流程图

USB 口转串口设备需要保存的关键参数有:USB 配置、读写缓冲区的指针、接口配置、端点地址等等。关键数据结构的定义如下:

```

1 typedef struct cp210x_dev
2 {
3     DEV_HDR cp210xDevHdr;
4
5     UINT16 numOpen;
6     USB_NODE_ID nodeId;
7     UINT16 configuration;
8     UINT16 interface;
9     UINT16 interfaceAltSetting;

```

```

10  UINT16 vendorId;
11  UINT16 productId;
12
13  BOOL connected;
14  int trans_len;
15  USB_PIPE_HANDLE outPipeHandle;
16  USB_IRP outIrp;
17  BOOL outIrpInUse;
18  UINT16 outEpAddr;
19  UINT8 trans_buf[64];
20
21  USB_PIPE_HANDLE inPipeHandle;
22  USB_IRP inIrp;
23  BOOL inIrpInUse;
24  UINT8 inBuf[64];
25  UINT16 inEpAddr;
26 } CP210X_DEV, *pCP210XDEV;

```

部分成员的含义如下:

- **DEV_HDR**: 这一成员必须是自定义设备结构的第一个成员, VxWorks 的 I/O 子系统会把所有的设备结构都看作是这个类型的结构, wind 只会识别到 DEV_HDR 结构并对其进行管理, 在系统的设备列表中, 内核只使用 DEV_HDR 结构当中的成员。
- **numOpen**: 用来记录设备被打开的次数, 每次调用 open() 函数打开该设备则 numOpen 加一, 调用 close() 函数关闭设备则减一。
- **nodeId**: 用来保存该设备在系统中的唯一 ID 号。
- **configure、interface、interfaceAltsetting**: 用来保存设备的描述符中的配置、接口、可变接口信息。
- **vendorId、productId**: 保存该设备的厂商 ID 和产品 ID, 用来识别该设备是否适合我们的驱动程序。
- **outPipeHandle、inPipeHandle**: 设备的输入/输出端点的管道句柄, 每次传输数据时都需要使用该句柄来表明数据传到的哪一个端点。

3.2.1.2 驱动注册和设备创建

底层的驱动程序都要提供一个函数给系统来调用, 以便进行驱动程序的注册和初始化, 这些工作的完成通常是在内核启动过程中进行的 (即内核启动的时候会调用我们的驱动初始化函数)。对于此处的 USB 口转串口驱动我们定义 cp210xDrvInit() 初始化函数, 其主要完成驱动所需要的资源申请和系统的初始化, 包括创建信号量、向系统注册驱动、创建设备、向 USB 层注册。cp210xDevInit 模块主要代码如下所示:

```

1  STATUS cp210xDrvInit(void)
2  {
3      ...
4      cp210xDrvNum = iosDrvInstall(NULL, NULL, cp210xDevOpen, cp210xDevClose,
5                                     cp210xDevRead, cp210xDevWrite, cp210xDevIoctl);

```

```

6     ...
7     if( iosDevAdd(&pCp210xDev->cp210xDevHdr, CP210X_NAME, cp210xDrvNum) != OK
      )
8     ...
9     if(usbdClientRegister (CP210X_CLIENT_NAME, &cp210xHandle) != OK)
10    ...
11    if(usbdDynamicAttachRegister(cp210xHandle, USBD_NOTIFY_ALL,
      USBD_NOTIFY_ALL, USBD_NOTIFY_ALL, TRUE, (USB_ATTACH_CALLBACK)
      cp210xAttachCallback) != OK)
12    ...
13 }

```

驱动会在进入初始化的时候首先检查该驱动是否已经安装,若已经安装了则无需再次安装,直接退出即可, `cp210xDrvInit()` 通常是在 `usrRoot(usrConfig.c)` 中调用,但是你也可以手动调用这个函数对该驱动进行初始化操作。然后会进行一些驱动所需要的全局资源的初始化,如信号量、全局变量、看门狗等,接着调用 `iosDrvInstall()` 函数安装驱动的 I/O 函数,将其添加到驱动表当中,在我们的 USB 口转串口驱动当中不需要实现 `delete` 函数和 `create` 函数,直接将其指针置为 `NULL` 即可。

注册完成之后还要向系统将该驱动程序添加到 IO 子系统当中,添加成功后会在系统的设备列表中显示该命名为 `CP210X_NAME` 的设备(`CP210X_NAME` 只是一个宏定义,设备名可以自己更改)。此处即是我们的驱动程序中的一个特殊的地方,在没有识别到设备之前就已经创建好设备文件,只不过此时该设备还只是一个“假”的,只有软件实现,没有硬件支撑,即使此时已经可以打开该设备,向该设备写入数据,但是也只是写入到了系统的缓冲区当中而已,数据并没有发送到任何的硬件上。

接下来 USB 客户端驱动还需要向 USB 层注册,注册完成之后会返回一个用于操作 USB 的客户端 `handle`,我们将其保存在 `cp210xHandle` 这个变量当中。然后还要注册一个动态注册的回调函数,当 USB 层发现有 USB 设备的插拔动作时,就会根据我们注册时选定的设备类和接口类来判断是否需要调用我们注册的回调函数,由于我们的设备是一个特殊的设备,并不符合任何标准的 USB 设备类和接口类,于是我们将这两个参数置为 `USB_NOTIFY_ALL`,即任何 USB 设备的插拔都调用我们的注册的回调函数。之后我们在回调函数中根据设备的 `v` 设备 ID 和厂商 ID 来判断该设备是否能被我们的驱动所支持。在回调函数中我们会发送标准的 USB 设备请求命令来获取该设备的设备描述符,设备描述符当中包含有设备的类、子类、协议、厂商 ID 等信息,详细的 USB 设备描述符的信息如 所示;

```

1 typedef struct usb_device_descr
2 {
3     UINT8 length;           /* bLength */
4     UINT8 descriptorType;   /* bDescriptorType */
5     UINT16 bcdUSB;          /* bcdUSB - USB release in BCD */
6     UINT8 deviceClass;      /* bDeviceClass */
7     UINT8 deviceSubClass;    /* bDeviceSubClass */
8     UINT8 deviceProtocol;    /* bDeviceProtocol */
9     UINT8 maxPacketSize0;    /* bMaxPacketSize0 */
10    UINT16 vendor;           /* idVendor */

```



```

11     UINT16 product;                /* idProduct */
12     UINT16 bcdDevice;             /* bcdDevice - dev release in BCD */
13     UINT8 manufacturerIndex;      /* iManufacturer */
14     UINT8 productIndex;           /* iProduct */
15     UINT8 serialNumberIndex;      /* iSerialNumber */
16     UINT8 numConfigurations;      /* bNumConfigurations */
17 } WRS_PACK_ALIGN(4) USB_DEVICE_DESCR, *pUSB_DEVICE_DESCR;
18 ...
19     usbdDescriptorGet (cp210xHandle, nodeId, USB_RT_STANDARD |
        USB_RT_DEVICE, USB_DESCR_DEVICE, 0, 0, sizeof(pBfr), pBfr, &actLen)
        ) != OK)

```

使用 `usbdDescriptorGet()` 函数来获取设备描述符,其中第二、第三个参数是 USB 的标准请求命令,表示我们请求的是设备的标准描述符,获取到设备标准描述之后提取其中的厂商 ID 和产品 ID,我们将该驱动支持的设备的厂商 ID 和设备 ID 存储在一个二维数组当中,然后通过遍历当前插入的设备的 VID 和 PID 是否在我们的数组当中来判断这个设备是否能够被我们的驱动所支持。设备识别的流程如图 3-7 所示,目前支持的设备的设备 ID、产品 ID 的组合如表 3.4 所示。

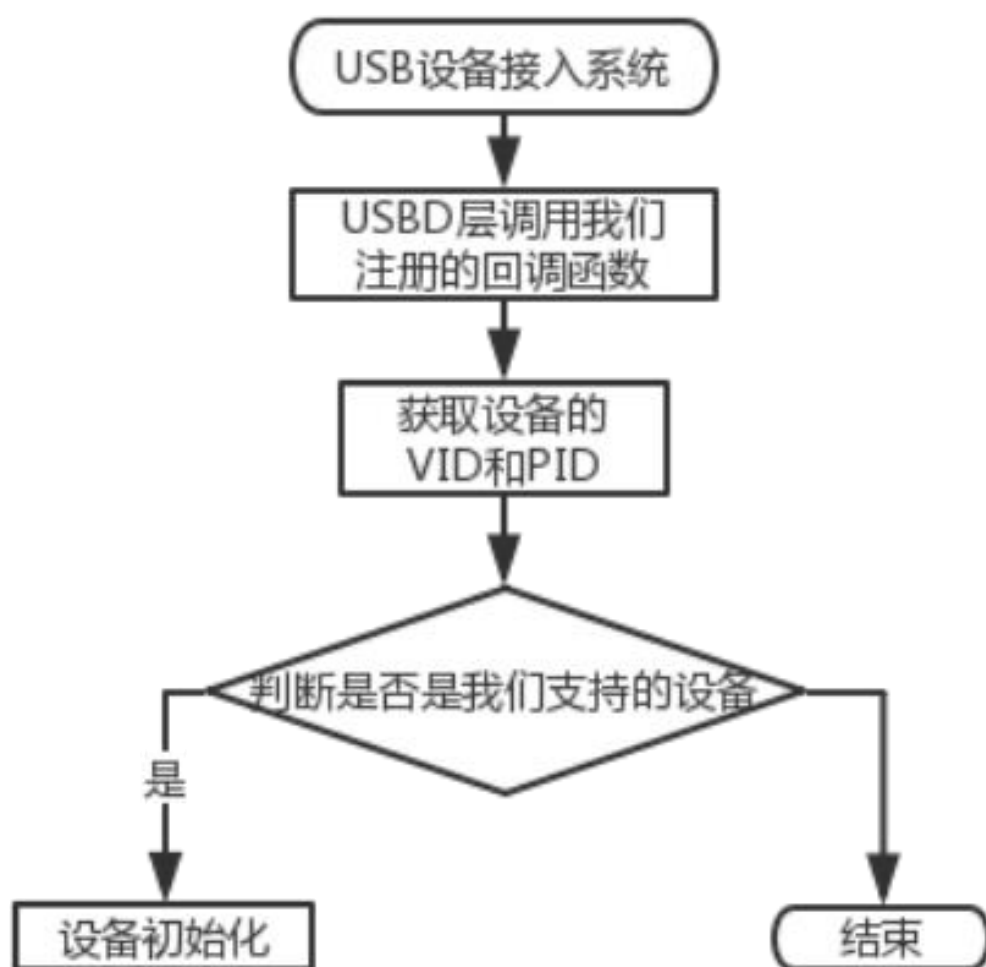


图 3-7 设备识别流程图

PID	0x045B	0x0471	0x0489	0x0489	0x10C4	0x10C4
VID	0x0053	0x066A	0xE000	0xE003	0x80F6	0x8115
PID	0x10C4	0x10C4	0x10C4	0x10C4	0x10C4	0x2405
VID	0xEA60	0x813D	0x813F	0x814A	0x814B	0x0003

表 3.4 目前支持的设备列表

3.2.1.3 设备的初始化

设备的初始化包括获取该 USB 设备的各种描述符信息。包括配置描述符信息、接口描述符信息、端点描述符信息。再通过所获得的这些信息来创建到输出端点的管道和对设备进行设置,我们在此处将设备的波特率初始化为 115200,数据位为 8 位,1 个停止位,没有奇偶校验,没有流控。设备的初始化流程图如图 3-8所示。

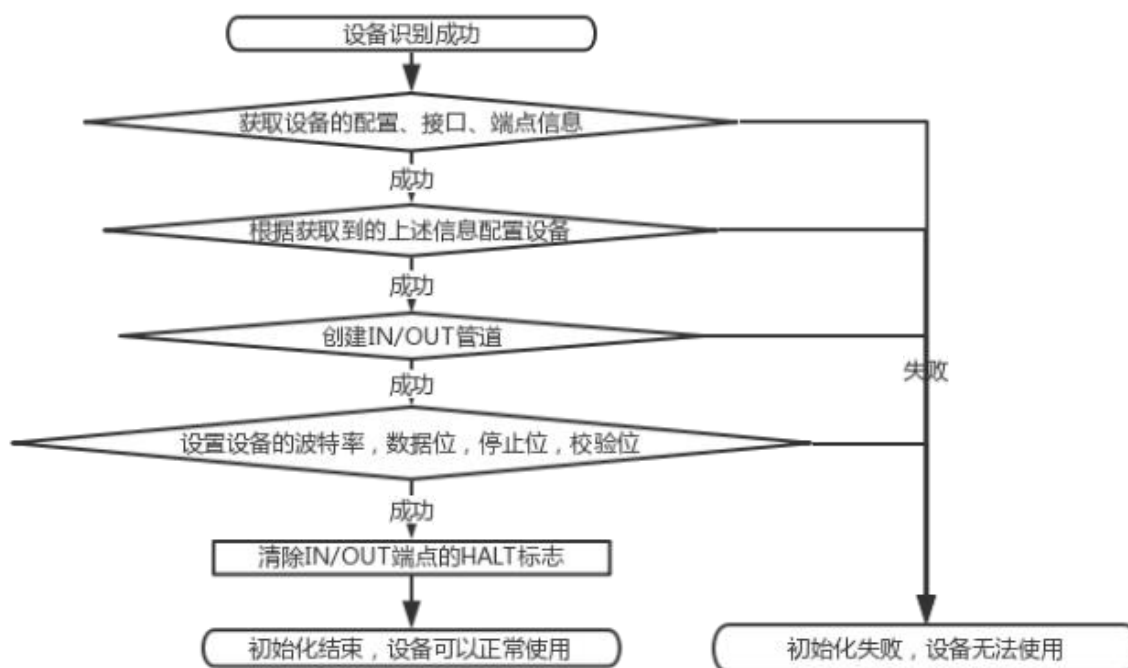


图 3-8 设备初始化流程图

这些描述符同样是通过 `usbDescriptorGet()` 函数来发送设备的标准描述符命令来获取,在获取到这些信息之后,通过 `usbConfigurationSet()`、`usbInterfaceSet()` 来配置设备,通过 `usbPipeCreate()` 函数来设置设备的输入、输出管道,通过管道来连接设备的输入、输出端点。部分关键代码如下:

```

1  ...
2  usbDescriptorGet (cp210xHandle, pCp210xDev->nodeId,USB_RT_STANDARD |
    USB_RT_DEVICE, USB_DESCR_CONFIGURATION,0, 0, USB_MAX_DESCR_LEN,
    pBfr, &actLen)

```

```

3  pCfgDescr = usbDescrParse (pBfr, actLen, USB_DESCR_CONFIGURATION)
4  pScratchBfr = pBfr;
5  ifNo = 0;
6  while ((pIfDescr = usbDescrParseSkip (&pScratchBfr, &actLen,
    USB_DESCR_INTERFACE)) != NULL){
7      if (ifNo == pCp210xDev->interface)
8          break;
9      ifNo++;
10 }
11 pOutEp = findEndpoint(pScratchBfr, actLen, USB_ENDPOINT_OUT)
12 pInEp = findEndpoint(pScratchBfr, actLen, USB_ENDPOINT_IN))
13 ...
14 usbDeviceConfigurationSet (cp210xHandle, pCp210xDev->nodeId, pCfgDescr->
    configurationValue, pCfgDescr->maxPower * USB_POWER_MA_PER_UNIT)
15 ...
16 usbDeviceInterfaceSet (cp210xHandle, pCp210xDev->nodeId, pCp210xDev->interface,
    pIfDescr->alternateSetting);
17 ...
18 usbDevicePipeCreate (cp210xHandle, pCp210xDev->nodeId, pOutEp->endpointAddress,
    pCfgDescr->configurationValue, pCp210xDev->interface,
    USB_XFRTYPE_BULK, USB_DIR_OUT, maxPacketSizeOut, 0, 0, &pCp210xDev->
    outPipeHandle)
19 ...
20 usbDevicePipeCreate (cp210xHandle, pCp210xDev->nodeId, pInEp->endpointAddress,
    pCfgDescr->configurationValue, pCp210xDev->interface,
    USB_XFRTYPE_BULK, USB_DIR_IN, maxPacketSizeIn, 0, 0, &pCp210xDev->
    inPipeHandle)
21 ...

```

3.2.1.4 设备打开/关闭函数

用户在使用一个设备之前必须先对这个设备进行打开, 在这个过程中底层驱动的响应函数通常会将进行中断注册和使能设备工作配置等操作。但是对于我们的 USB 口转串口驱动而言, 我们不需要自己管理中断, USB 层会为我们进行中断的管理工作, 而配置工作我们在设备的初始化工作中已经完成, 因此此处我们的设备打开工作, 只需要简单的记录设备被打开的次数, 并返回即可。设备的打开代码如下所示:

```

1  LOCAL CP210X_DEV * cp210xDevOpen(DEV_HDR *pDevHdr, char *name, int flags,
    int mode)
2  {
3      CP210X_DEV *pCp210xDev;
4      pCp210xDev = (CP210X_DEV *)pDevHdr;
5      if(!pCp210xDev->connected)
6          return (ERROR);
7
8      (pCp210xDev->numOpen)++;
9      return (pCp210xDev);
10 }

```

第一个 DEV_HDR 类型的参数即是我们之前所说的必须是设备自定义结构的第一个成员, 在此时它会由 IO 子系统自动提供, IO 子系统会根据驱动号寻址到对应驱动函数时, 然后将对应的系统设备列表中存储的设备结构作为第一个参数来调用

cp210xDevOpen()。我们之后在使用的时候需要首先将这个 DEV_HDR 结构转换成我们的自定义结构 CP210X_DEV。但是我们也可以直接将第一个参数的类型设置为自定义结构类型,那么对于我们 USB 口转串口驱动,以上 cp210xDevOpen() 函数的调用原型就变为:LOCAL int cp210xDevOpen(CP210X_DEV *pCp210xDev, char *name, int flags,int mode) 这并不会造成什么影响。

第二个参数是设备名匹配后的剩余部分,注意不是我们传过来的设备名。VxWorks 中使用最佳匹配的原则来匹配设备名,如我们打开一个设备"/ttyUsb/xyz",但是系统中并没有这个设备,只有设备"/ttyUsb/x",那么此处的 name 就是匹配之后剩余的字符串"yz"。我们的应用中 open() 函数调用时的路径名与系统设备列表中的设备名是完全匹配的,此处的 name 就会是一个空字符串。对于在文件系统层下的块设备来说,此处指向的应该是块设备节点名后的子目录和文件名。

第三,四个参数就是用户 open() 调用时传入的第二,三个参数,IO 子系统不会对他们进行更改,只是原封不动的转发给了 cp210xDevOpen() 函数。

该函数的返回值有如下两种值:一个有效的 CP210X_DEV 结构指针表示 cp210xDevOpen 调用成功,ERROR 则表示 cp210xDevOpen() 调用失败,IO 子系统会根据返回的指针是否有效来决定返回一个文件描述符还是返回一个错误。cp210xDevOpen() 函数的返回值非常重要,这个指针将被 IO 子系统保存,用于其后对驱动中读写,控制函数的调用。这个返回的指针也会作为这些函数的第一个参数。

设备的关闭和设备的打开操作是相反的操作,在关闭操作当中我们只需要对设备记录的打开次数进行减法操作即可。

3.2.1.5 设备的读写

在成功打开一个设备后,用户程序将得到一个 open() 返回的文件描述符,此后用户就可以使用这个文件描述符对设备进行读写,控制操作。我们的 USB 口转串口驱动的读写函数原型如下:

```
1 LOCAL int cp210xDevWrite(CP210X_DEV *pCp210xDev, char *buffer,UINT32
    nBytes)
2 LOCAL int cp210xDevRead(CP210X_DEV *pCp210xDev, char *buffer,UINT32
    nBytes)
```

此处我们将这两个函数的第一个参数类型直接设置为 CP210X_DEV 结构类型而不是 DEV_HDR。在驱动的内部我们会为每一个连接到系统上的设备建立一个输入循环缓冲区和一个输出循环缓冲区,分别用于从设备接收的数据和接收上层应用的输出数据。缓存空间的大小作为以宏的方式定义在头文件当中,方便以后改动,分别定义为:WRITE_BUFFER_SIZE、READ_BUFFER_SIZE。由于计算机的内存是线性地址空间,因此从

在内存中实际开始位置的指针;

在内存中实际结束位置的指针,或者缓冲区的长度,由于我们已经在缓冲区的头部定义了缓冲区的长度,所以这个指针我们不再需要;

存储在缓冲区中的有效数据的开始位置 (读指针);

存储在缓冲区中的有效数据的结束位置的指针 (写指针)。

由于我们的驱动程序的初始化方式比较特殊, 所以此处对数据的输出操作的流程也需要有相应的改变。若系统中没有 USB 口转串口的设备时, 那么所有的上层应用往外输出的数据就只会写入到输出循环缓冲区当中,

设备在连接上系统并初始化之后就先查询缓冲区中是否存在数据, 若存在数据则将其发送, 若不存在则等待其他程序调用 `write` 写入数据来触发数据的发送操作, 系统调用 `write()` 在该驱动程序中对应的函数为 `cp210xDevWrite()` 函数, 这个函数会接受 `write()` 发送过来的数据, 并将其存入缓冲区中, 并判断是否需要触发数据的发送操作。发送数据的触发操作只会在当前没有数据在发送时完成, 若调用 `write` 时设备已经在发送数据, 则只是将 `write` 的数据存入缓冲区, 设备发送完当前正在发送的数据之后会去判断缓冲区中是否还有数据, 有数据则会继续发送。其流程图如图 3-9 所示。

`cp210xDevRead` 和 `cp210xDevWrite` 的实现非常相似, 只是更换了一下数据的传输方向。`cp210xDevRead` 在底层也有一个循环缓冲区用来接收从 USB 口转串口设备发送来的数据, 当需要读取 `nbytes` 个字节而缓冲区内的字节不够时, `read` 就会阻塞, 直到超时返回或者 USB 层通知你有新的数据到来时再继续读操作。同时也在驱动中启动了一个计时器, 如果在计时器时间到了之后, 还未能满足需要读取的字节数, 则退出本次读写操作, 返回当前已处理的字节数。

无论是对于读操作还是写操作, 我们都需要解决循环缓冲区满的问题, 当缓冲区已满再写入数据时我们选择覆盖数据最先进入的数据。

3.2.1.6 设备的控制操作

设备控制操作用于对设备的某一些工作行为进行再配置, 可进行的在配置类别随着设备类型的不同而不同, 操作系统当中通常会一种类型的设备的某一组共同属性作为一个配置选项, 比如波特率再配置就是串口的一个标准属性, 而一般的 USB 设备是不具有该属性的。但是这只是一个约定, 并不是所有的设备都必须完全对照这一准则, 底层驱动也可以根据自己的实际需要来对这些再配置属性进行选择, 我们可以选择只实现某一些再配置参数, 也可以根据具体情况对某一个再配置选项进行响应, 设备控制函数给用户控制设备提供方便的同时也对底层设备的实现提供了极大的方便性。

对于我们的 USB 口转串口驱动而言, 其属于一个特殊的设备, 没法归入操作系统的已经分好类的设备当中, 我们需要实现一些非约定的配置属性, 如配置波特率、流控、数据位等等非 USB 所属的配置选项。我们将 USB 口转串口驱动特

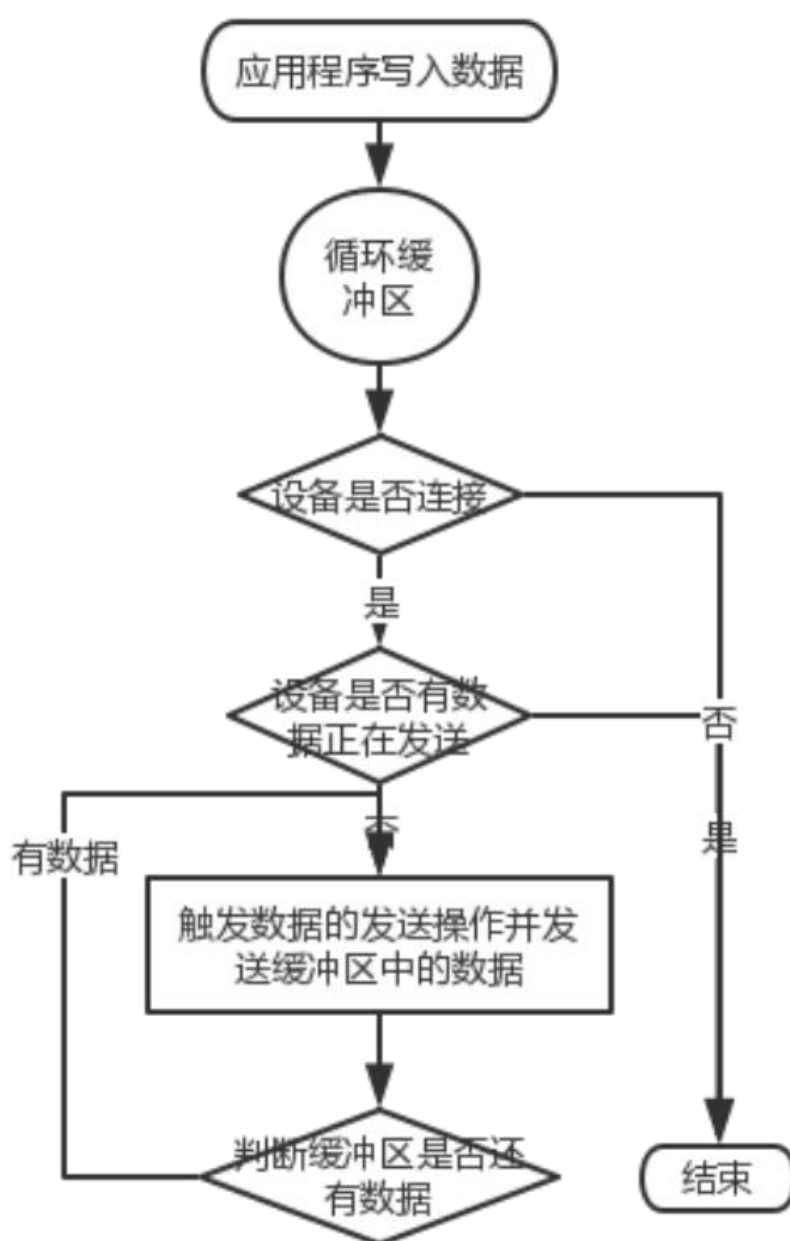


图 3-9 数据发送逻辑图

定的参数定义在一个头文件当中,而后将这个头文件提供给用户程序,当用户对设备进行操作时,其包含这个头文件,使用其中定义的特定参数对设备进行控制。IO 子系统不会对用户调用的 `ioctl()` 函数做任何的改变,只会将用户使用的选项参数或者控制命令传递给我们的 `cp210xDevIoctl()` 函数,然后由这个函数完成对选项参数或控制命令的解释和使用。设备控制函数原型如下:

```

1 LOCAL int cp210xDevIoctl(CP210X_DEV *pCp210xDev, int request, void *
    someArg )
    
```

对于我们的 USB 口转串口驱动,在实际使用中,再配置参数和命令有很多,但是目前我们只提供设备的波特率、数据位、校验位、流控的参数和命令。这

些控制对于普通的 USB 设备而言是没有的,他们在定义上属于 USB 的厂商自定义请求,在我们的驱动程序的 cp210xDevIoctl() 函数当中最后都要使用 usbdVendorSpecific() 函数来发送 USB 的厂商自定义请求,该函数的原型如下:

```

1 STATUS usbdVendorSpecific
2 (
3     USBD_CLIENT_HANDLE clientHandle, /* Client handle */
4     USBD_NODE_ID nodeId, /* Node Id of device/hub */
5     UINT8 requestType, /* bmRequestType in USB spec. */
6     UINT8 request, /* bRequest in USB spec. */
7     UINT16 value, /* wValue in USB spec. */
8     UINT16 index, /* wIndex in USB spec. */
9     UINT16 length, /* wLength in USB spec. */
10    pUINT8 pBfr, /* ptr to data buffer */
11    pUINT16 pActLen /* actual length of IN */
12 )

```

其中第二个参数是请求类型,表示该类型是从主机到设备的,还是从设备到主机的,有四种类型,分别是 REQTYPE_HOST_TO_INTERFACE(0x41),REQTYPE_INTERFACE_TO_HOST(0xC1),REQTYPE_HOST_TO_DEVICE(0x40),REQTYPE_DEVICE_TO_HOST((0xC0)),第三个参数是具体的请求,对于我们的设备而言能响应的部分主要请求如表 3.5 所示。

宏名	代码	宏名	代码
CP210X_IFC_ENABLE	0x00	CP210X_SET_BAUDDIV	0x01
CP210X_GET_BAUDDIV	0x02	CP210X_SET_LINE_CTL	0x03
CP210X_GET_LINE_CTL	0x04	CP210X_SET_BREAK	0x05
CP210X_IMM_CHAR	0x06	CP210X_SET_MHS	0x07
CP210X_SET_XOFF	0x0A	CP210X_SET_XON	0x09
CP210X_SET_FLOW	0x13	CP210X_GET_FLOW	0x14
CP210X_EMBED_EVENTS	0x15	CP210X_GET_EVENTSTATE	0x16
CP210X_SET_CHARS	0x19	CP210X_GET_BAUDRATE	0x1D
CP210X_SET_BAUDRATE	0x1E	CP210X_VENDOR_SPECIFIC	0xFF

表 3.5 厂商指定请求

3.2.1.7 驱动卸载

在驱动的初始化函数 cp210xDrvInit() 当中我们使用了 iosDrvInstall() 函数向 IO 子系统注册我们的驱动,在 wind 中也提供了另外一个相反作用的函数 iosDrvRemove() 注销我们的驱动。该函数调用原型如下:

```

1 STATUS iosDrvRemove
2 (
3     int drvnum, /* driver to remove, returned by iosDrvInstall() */
4     BOOL forceClose /* if TRUE, force closure of open files */
5 );

```

该函数的第二个参数指定是否强制进行卸载,并将所有与此驱动有关的文件描述符关闭。如果强制关闭,则 IO 子系统将遍历系统文件描述符表,检查每个描述符对应结构中的驱动号是否等于要卸载驱动的驱动号,如果相同,则调用这个驱动的 close 实现函数进行关闭,同时释放文件描述符表中该表项,此时用户层的文件句柄将自动失去功效,如果用户其后使用这个文件描述符,将直接得到一个错误返回。

除了驱动卸载函数之外,我们的驱动初始化时还向 USB_D 层进行了注册,在卸载的时候也应该注销 USB_D 层的注册,同时注销动态注册的回调函数并从系统的设备表当中删除掉该设备。之后还应该对该驱动占用的所有其他的系统资源进行释放。

至此,我们已经完成了该特定需求下的 USB 口转串口驱动程序的所有组成部分的设计和实现。

3.2.2 通用多设备驱动的实现

多设备支持的驱动程序在初始化的时候与特定需求单设备支持的驱动初始化的过程是不一样的,需要支持多设备,首先需要在识别设备后给每一个设备分配一个设备名,并加入到系统设备表当中,然后需要给每一个设备初始化自己的设备结构体多设备下的驱动运行流程如图 3-10 所示。

与特定需求单设备的驱动相比,这里驱动程序的变化主要在驱动的初始化和读写函数部分,同时设备自定义的数据结构会更加复杂,需要保存更多与具体的设备相关的信息。

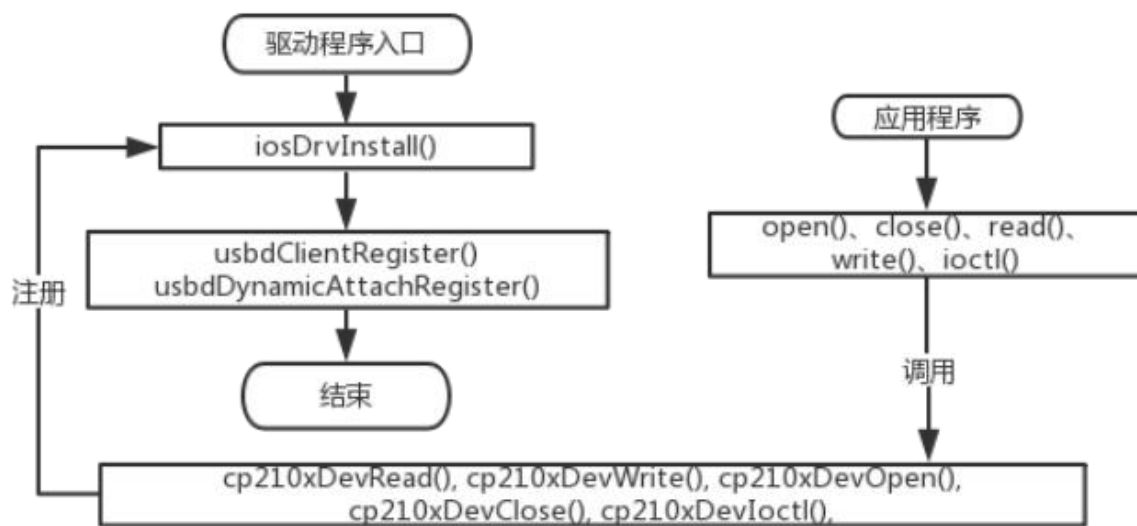
3.2.2.1 设备的自定义结构体

多设备的驱动自定义结构体的定义如下所示:

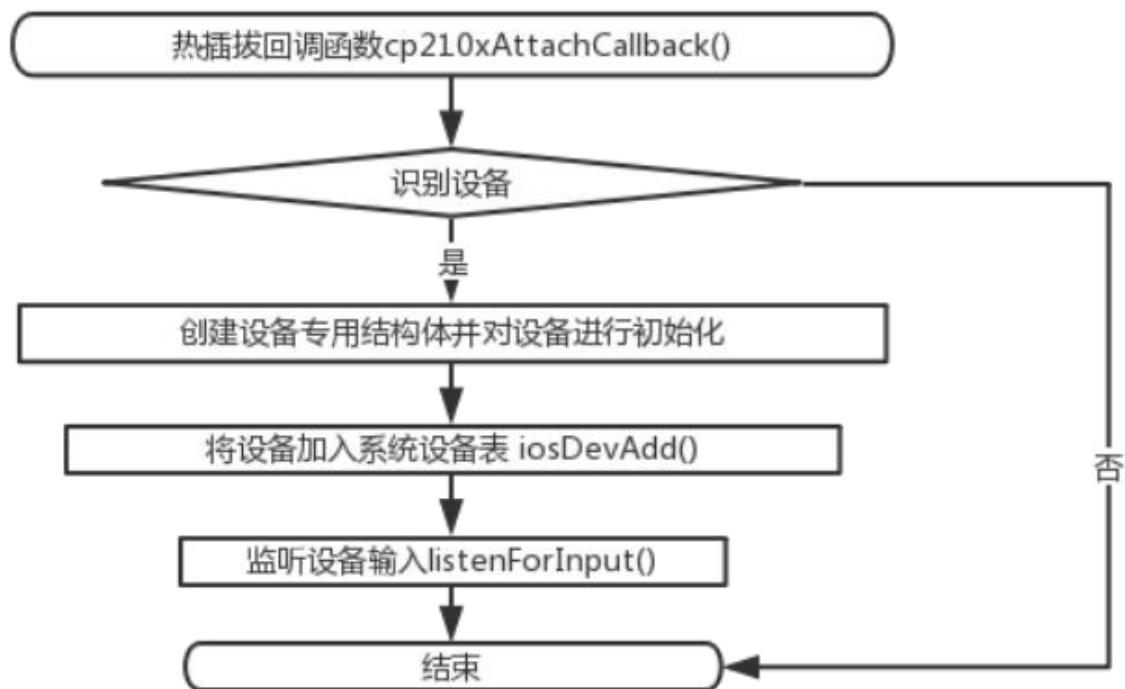
```

1 typedef struct cp210x_dev
2 {
3     DEV_HDR cp210xDevHdr; /*must be first field*/
4     LINK devHdrLink; /*linked list of devhdr structs*/
5     UINT16 numOpen;
6     USB_D_NODE_ID nodeId; /*device nodeID*/
7     UINT16 configuration;
8     UINT16 interface; /*a interface of this device*/
9     UINT16 interfaceAltSetting;

```

(a)



(b)

图 3-10 多设备驱动运行流程图


```

10  UINT16 vendorId;
11  UINT16 productId;
12  BOOL connected;
13
14  int trans_len;
15  USB_PIPE_HANDLE outPipeHandle; /* USB pipe handle for bulk OUT
    pipe*/
16  USB_IRP outIrp; /*IRP to monitor output to device*/
17  BOOL outIrpInUse;
18  UINT32 outErrors; /*TRUE while IRP is outstanding*/
19  UINT8 trans_buf[64];
20  UINT16 outEpAddr;
21
22  USB_PIPE_HANDLE inPipeHandle;
23  USB_IRP inIrp;
24  BOOL inIrpInUse;
25  UINT8 inBuf[64];
26  UINT32 inErrors;
27  UINT16 inEpAddr;
28
29  char *writeBuf;
30  int writeFront;
31  int writeRear;
32  char *readBuf;
33  int readFront;
34  int readRear;
35 } CP210X_DEV, *pCP210XDEV;

```

在这个结构体当中我们增加了每个设备的读写缓冲区的指针和各个缓冲区的头尾指针。同时使用了一个链表 `devHdrLink` 来链接在系统上的由该驱动支持的设备,每次检测到新设备时我们可以通过将新添加的设备增加到这个链表当中,之后可以通过 `nodeId` 来从多个设备中定位我们的设备是否存在,之后我们可以给每一个设备分配一个设备名。部分代码如下所示:

```

1  ...
2  usbListLinkProt(&devListHdr,(pVOID)pCp210xDev,(pLINK)&pCp210xDev->
    devHdrLink,LINK_TAIL,cp210xMutex);
3  ...
4
5  LOCAL pCP210XDEV findDevHdr(USB_NODE_ID nodeId)
6  {
7      pCP210XDEV pCp210xDev = usbListFirst(&devListHdr);
8
9      while(pCp210xDev != NULL)
10     {
11         if(pCp210xDev->nodeId == nodeId)
12             break;
13         pCp210xDev = usbListNext(&pCp210xDev->devHdrLink);
14     }
15     return pCp210xDev;
16 }

```

3.2.2.2 驱动注册和设备创建

比较单设备驱动初始化 (如图 3-6a所示) 和多设备驱动初始化 (如图 3-10a所示), 我们可以看出在驱动注册过程中两者的区别, 在单设备驱动的初始化中我们先完成设备结构体的创建并定好一个设备名, 之后直接将其加入到系统的设备表当中, 即使此时没有设备连接。而在多设备的驱动初始化当中我们是在驱动的回调函数中驱动识别完了设备之后再完成设备结构体的创建和加入系统设备表的, 这种方式是通用的设备驱动常采用的方式。在设备创建时我们会通过判断已连接设备的个数来决定当前设备所采用的设备名, 部分代码如下:

```

1  LOCAL int getCp210xDeviceNum(CP210X_DEV *pCp210xDev)
2  {
3  ...
4      for (int index=0; index < CP210X_MAX_DEVICE; index++)
5          if (pCp210xDevArray[index] == NULL){
6              pCp210xDevArray[index] = pCp210xDev;
7              return (index);
8          }
9  ...
10 }
11
12 LOCAL STATUS cp210xAttachCallback(USBD_NODE_ID nodeId, UINT16
    attachAction,UINT16 configuration,UINT16 interface,UINT16
    deviceClass,UINT16 deviceSubClass, UINT16 deviceProtocol)
13 {
14 ...
15     cp210xUnitNum = getCp210xDeviceNum(pCp210xDev);
16     sprintf (cp210xName, "%s%d", CP210X_NAME,cp210xUnitNum);
17     if (iosDevAdd(&pCp210xDev->cp210xDevHdr, cp210xName, cp210xDrvNum) !=
        OK)
18 ...
19 }

```

3.2.2.3 设备读写

对于通用多设备的写操作, 与设定设备的操作不同的是设备连接上时, 没有一个自动发送缓冲区的数据的过程, 此时设备没有连接上也不可能往缓冲区中写入数据。其基本流程如下:

1. 将数据拷贝到输出循环缓冲区当中, 若缓冲区已满则等待。
2. 判断设备是否仍然处于连接状态。
3. 若处于连接状态, 那么是否有数据正在发送当中。若有数据正在发送, 则等待。
4. 若没有数据在发送, 则触发发送数据的操作。
5. 返回发送的字节数。

对于数据发送的逻辑控制,使用了 VxWorks 的同步和互斥信号量。首先在写入数据的时候需要进行互斥写,因为此时设备有可能正在从缓冲区当中取数据进行输出操作,那么这是写入输出缓冲区就需要等待,否则可能会造成缓冲区的混乱,造成输出结果与输入数据不一致。当设备输出从缓冲区拷贝完成之后就会释放互斥信号量,此时写入操作就可以往输出缓冲区中写入数据。

对于通用多设备的读操作,我们会事先创建好一个用来读取数据的 USB IRP 在这个 IRP 中我们注册一个回调函数,USB 的中断会由 USBD 层来替我们进行管理,当有数据到来时 USBD 层会调用我们注册的回调函数来通知我们。在驱动程序初始化完成之后我们就会启动 listenForInput() 这个函数来注册一个 USBD 的通知过程,一个接收 IRP 使用完成之后,我们需要重新注册一次,因为每一次的 IRP 都是单次有效的,所以在 cp210xIrpCallback() 中我们接受完这一次的 IRP 的数据之后,需要新建另一个 IRP 重新启动下一轮的 listenForInput() 过程。部分关键代码如下:

```

1
2 LOCAL STATUS listenForInput(CP210X_DEV *pCp210xDev)
3 {
4     ..
5     pIrp->userPtr = pCp210xDev;
6     pIrp->userCallback = cp210xIrpCallback;
7     pIrp->timeout = USB_TIMEOUT_NONE;
8     pIrp->transferLen = 64;
9     if(usbTransfer (cp210xHandle, pCp210xDev->inPipeHandle, pIrp) !=
        OK)
10     ...
11 }
12
13 LOCAL void cp210xIrpCallback(pVOID p)
14 {
15     ...
16     if(pIrp == &pCp210xDev->inIrp && pCp210xDev->connected ==
        TRUE)
17     {
18         if(pIrp->result == OK)
19             copy_to_readBuf(pCp210xDev);
20
21         if (pIrp->result != S_usbHcdLib_IRP_CANCELED)
22             listenForInput(pCp210xDev);
23     }
24 }

```

其他的部分如设备的控制、设备打开/关闭、设备卸载函数与单设备下的相比不需要做改变即可完成,此时操作的设备就是我们使用设备名打开的那个设备,IO 子系统会将设备名映射到该设备所对应地驱动。

3.3 小结

本章首先介绍了我们的 USB 口转串口驱动的设计想法,包括 USB 口转串口所使用转换器的选择,驱动程序所需要实现的模块,每个模块的功能是什么。接下来对所选择的转换器 CP2102 的开发进行了介绍,对 VxWorks 中 USB 的开发进行了介绍,最后根据我们的设计方案对驱动程序的每一个部分进行了实现。

四 应用层程序接口封装

从 VxWorks6.x 开始引入了 RTP(VxWorks Real Time Process Project) 模式, 这种模式的优点是应用程序之间互相独立、互不影响, 而且增加了内核的稳定性, 缺点是由于“内核态”与“用户态”的内存拷贝, 其执行效率有所降低, 随着 CPU 速度越来越快, 这点效率的牺牲已经越来越不重要。相比较于传统的 DKM (downloadable kernel module project), RTP 适合多个团队独立运作, 然后汇总联试, 这种模式除了全局函数不能在 shell 里直接调用外, 其对应用程序几乎不做任何约束, 原有的 DKM 工程代码稍作修改即可正常运行。内核变化较大, 需要添加较多的组件, 内存需要较好的划分, 为保持应用程序直接调用函数调试的习惯, 需要封装接口供用户使用。

4.1 应用层接口模块设计

应用层的接口包括两个部分: 一是标准输出重定向接口的设计, 目的是在程序运行期间直接调用标准输出函数时就能够将输出信息通过我们的串口输出出去, 但是这个标准输出输出的信息不是格式化的信息。二是 Log 接口函数, 通过调用这个接口函数可以将调试信息格式化输出, 输出信息会自动包括调试的级别、产生的时间、所处的文件、行号等信息, 便于对调试信息进行分析。

主要的模块包块以下两个:

- **ResetStdOut():** 提供给用户选择是否需要重定向标准输出, 若参数为 1 则将标准输出进行重定向, 若参数为 0, 则关闭标准输出重定向, 恢复到之前的标准输出。
- **Log 接口函数:** 提供封装的不同级别的 Log 调试接口, 包括 LogE(表示错误信息)、LogD(表示详情信息)、LogW(表示警告信息)、LogI(表示)

由于从 VxWorks6.x 开始引入了 RTP(VxWorks Real Time Process Project) 模式, 这种模式的优点是应用程序之间互相独立、互不影响, 而且增加了内核的稳定性, 缺点是由于“内核态”与“用户态”的内存拷贝, 其执行效率有所降低, 随着 CPU 速度越来越快, 这点效率的牺牲已经越来越不重要。在这种 RTP 模式下对于我们的标准输出重定向接口而言, 其实现方式与 task 模式下存在一些差别, 在 task 模式下我们需要使用 VxWorks 封装好的 ioTaskStdSet() 函数来实现重定向, 而在 RTP 模式下我们无法使用, 只能寻找其他的解决办法, 在此处我们使用的是 dup2()/dup() 来实现。

4.2 Log 协议的设计

对于 Log 接口函数我们设计为其为设计了专用的输出协议,如图 4-1 所示,在协议中包含了五种不同的输出级别,分别用 LogE(表示错误信息)、LogD(表示调试信息)、LogW(表示警告信息)、LogI(表示详情信息)、Logo(表示其他信息)。同时我们还在协议中包含了一些调试信息所需要的关键信息字段,包括任务 ID 字段、任务名字段、文件名字段、行号字段、时间字段。

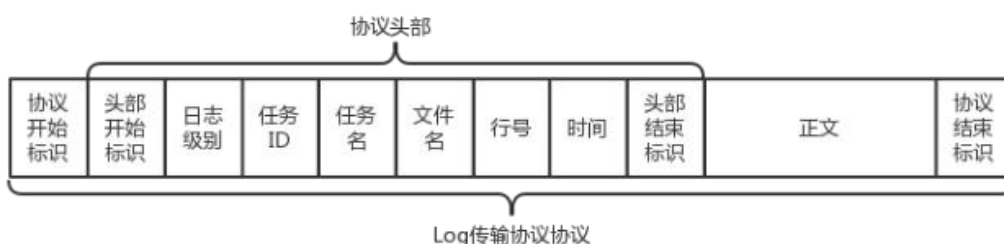


图 4-1 Log 协议字段

我们为调试信息制定的协议格式为:\03\03 < L = 日志级别; PN = 任务 ID; P = 任务名; F = 文件名; N = 行号; T = 时间 > contents\04\04
其中各部分的含义如下:

- \03\03: 表示自定义的 Log 协议的数据包的开始;
- <: 表示自定义的 Log 协议数据包头部的开始;
- L: 表示日志的级别,我们在此将日志分为五个级别:
 - e: 表示 error;
 - w: 表示 warning;
 - i: 表示 info;
 - d: 表示 debug;
 - o: 表示其他信息。
- PN: 此处的内容是输出该条调试信息的任务的任务 ID;
- P: 此处的内容是输出该条调试信息的任务的任务名;
- F: 此处的内容是输出该条调试信息的任务所在的文件名;
- N: 此处的内容是该调试信息语句所在的文件的行号;
- T: 此处的内容是这条调试信息被输出时候的系统时间;
- >: 表示自定义的 Log 协议数据包头部的结束;
- contents: 这个部分是调试信息的正文部分。
- \04\04: 表示自定义的 Log 协议数据包的结束。

4.3 标准输出重定向接口的实现

由于标准输出的重定向无法在 RTP 模式和 task 模式下使用同一种方法来实现,于是我们使用了两种方法来分别实现 RTP 模式和 task 模式下的标准输出重定向。

4.3.1 RTP 模式下标准输出重定向

RTP 模式下的标准输出重定向流程如图 4-2 所示。部分关键代码如下:

```

1  int ResetStdOut(int usb_serial)
2  {
3      ...
4
5      _init_fd();
6      if(usb_serial == 1)
7      {
8          if(dup2(log_fd,STD_OUT) < 0)
9          {
10             printf("can not reset STDOUT to /hust_use_serial\n");
11             return -1;
12         }
13     }
14     else
15     {
16         if (dup2(STDOUT_FD,STD_OUT) < 0)
17         {
18             printf("can not reset STDOUT to /hust_use_serial\n");
19             return -1;
20         }
21     }
22     ...
23     ...
24 }

```

在 RTP 模式下使用 dup2 函数来实现标准输出的重定向,dup2 函数的原型为:

```

1  int dup2(int oldfd, int newfd);

```

dup2() 用于复制描述符 oldFd 到 newFd 的,其中 oldFd 是要被复制的文件描述符,newFd 是制定的新文件描述符,如果 newFd 已经打开,它将首先被关闭。如果 newFd 等于 oldFd,dup2 会返回 newFd,但是不会关闭它。函数调用成功时会返回新的文件描述符,所返回的新的描述子与参数 oldFd 给定的描述符字引用同一个打开的文件,即共享同一个系统打开文件表项。函数调用失败时会返回-1 并设置 errno。

4.3.2 task 模式下标准输出重定向

在 task 模式下无法使用 dup()/dup2() 函数来进行标准输出的重定向,在 task 模式下 VxWorks 有专用的标准输出接口 ioTaskStdSet(),我们在此模式下只能使用这个借口

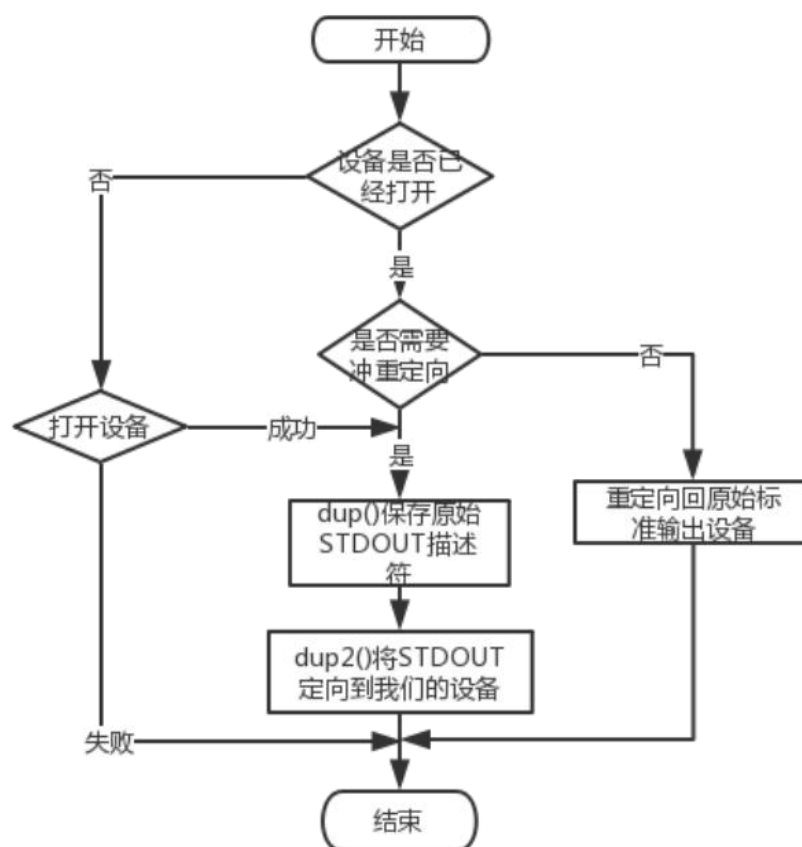


图 4-2 RTP 模式下标准输出重定向流程图

来实现重定向,task 模式下的标准输出重定向如图 4-3所示。部分关键代码如下:

```

1  int ResetStdOut(int usb_serial)
2  {
3      ...
4
5      _init_fd();
6      if(usb_serial == 1)
7      {
8          ioTaskStdSet(0,STD_OUT,log_fd);
9      }
10     else
11     {
12         ioTaskStdSet(0,STD_OUT,STDOUT_FD);
13     }
14
15     ...
16 }
  
```

ioTaskStdSet() 是 VxWorks 专门用来进行任务级的重定向的函数。其函数原型为:

```

1  void ioTaskStdSet(int taskId, int stdFd, int newFd);
  
```

在 VxWorks 中每一个任务都有一个数组 taskStd, 用于表明这个任务的标准输入、标准输出、标准错误, 函数 ioTaskStdSet() 的功能就是将特定任务的标准描述符重定向到

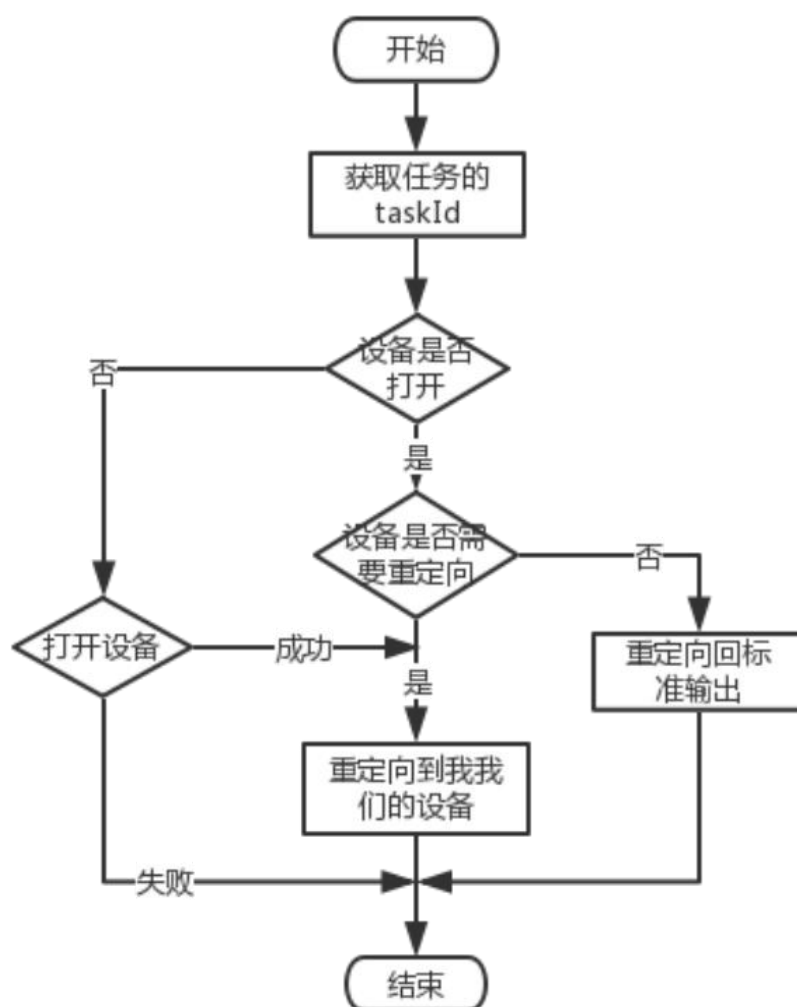


图 4-3 task 模式下标准输出重定向流程图

`newFd`, `newFd` 需要是一个文件或者设备的描述符。第一个参数 `taskId` 表示需要进行重定向的任务的 ID (ID 为 0 表示该任务本身), 第二个参数是需要被重定向的某个标准描述符 (0,1,2), 第三个参数是需要重定向到的文件描述符。该函数没有返回值。

4.4 Log 接口的实现

Log 接口函数用于完成标准格式的 log 的输出, 使用时只需要调用 `LogE()`、`LogW()`、`LogI()`、`LogD()`、`LogO()`, 这几个接口均为宏定义, 定义在 `usb_logWrite.h` 当中, 在使用时需要包含该头文件, 作用是获取 log 协议所需要的部分信息, 其代码如下所示:

```

1 #define LogE(format, ...) usb_logWrite('e', __FILE__, __LINE__, format
  , ##__VA_ARGS__)
2
3 #define LogD(format, ...) usb_logWrite('d', __FILE__, __LINE__, format
  , ##__VA_ARGS__)
4
5 #define LogI(format, ...) usb_logWrite('i', __FILE__, __LINE__, format
  , ##__VA_ARGS__)
    
```

```

        ,##__VA_ ARGS__)
6
7 #define LogW(format, ...) usb_logWrite('w',__FILE__,__LINE__,format
    ,##__VA_ ARGS__)
8
9 #define LogO(format, ...) usb_logWrite('o',__FILE__,__LINE__,format
    ,##__VA_ ARGS__)
10
11 extern int usb_logWrite(char level,char *fileName, int lineNum,
    const char * format, ...);

```

LogE(),LogW(),LogD(),LogO,LogI() 均由 usb_logWrite() 函数来实现, usb_logWrite() 函数实现真正的完整的协议封装和调用驱动发送的过程,usb_logWrite() 完成协议头部信息的获取,包括日志的级别,发送该日志的进程号和进程名,打印该日志的文件的文件名,该日志在文件中所处的行号。并将这些信息封装在所定义的头部格式当中。最后将用户需要输出的信息放入协议的数据部分,并添加结束标志,然后调用驱动程序将该数据包发送出去。usb_logWrite() 的部分关键代码如下所示:

```

1 int usb_logWrite(char level,char *fileName, int lineNum, const char
    * format, ...)
2 {
3     ...
4
5     struct timespec tp;
6     struct tm timeBuffer;
7     time_t nowSec;
8     char datetime[64];
9     clock_gettime(CLOCK_REALTIME,&tp);
10    nowSec = tp.tv_sec;
11    localtime_r(&nowSec,&timeBuffer);
12    timeLen = strftime(datetime,64,"%Y/%m/%d %H:%M:%S",&timeBuffer);
13    sprintf(datetime+timeLen,"%3.3ld",tp.tv_nsec/1000000L);
14
15    _init_fd();
16    if(fileName != NULL)
17    {
18        char *rf = strrchr(fileName, '/');
19        if(rf != NULL) fileName = rf+1;
20    }
21
22    logWriteBuf[0]=0x03;
23    logWriteBuf[1]=0x03;
24    n = snprintf(&logWriteBuf[2],LOG_BUF_SIZE-2,"<L=%c;PN=%d;P=%s;F=%s
        ;N=%d;T=%s>",level,Id,name,fileName,lineNum,datetime);
25    n+=2;
26    va_list argList;
27    va_start(argList,format);
28    m = vsnprintf(logWriteBuf+n,LOG_BUF_SIZE-n,format,argList);
29    va_end(argList);
30
31    if(m <= 0)
32    {
33        m = snprintf(logWriteBuf+n,LOG_BUF_SIZE-n, "format error\n")
        ;

```

```

34     }
35     n += m;
36
37     if(n > LOG_BUF_SIZE-2) n = LOG_BUF_SIZE-2;
38     logWriteBuf[n++] = 0x04;
39     logWriteBuf[n++] = 0x04;
40
41     write(log_fd, logWriteBuf, n);
42     return n;
43 }

```

usb_logWrite() 函数的实现在 RTP 模式和 task 模式之下是一样的, 在 task 模式下只需包含 usb_logWrite.h 头文件即可, 在 RTP 模式下需要包含 usb_logWrite.h 和 usb_logWrite.c 两个文件。

4.5 Windows 下的日志分析工具

由于日志分析工具并不是我们本次论文的介绍重点, 此处我们只介绍调试信息的接收部分协议的解析相关的内容, 对于其他的部分不做详细介绍; 日志分析工具为 Windows 下使用 QT 开发的界面程序, 其结构如图 4-4 所示。

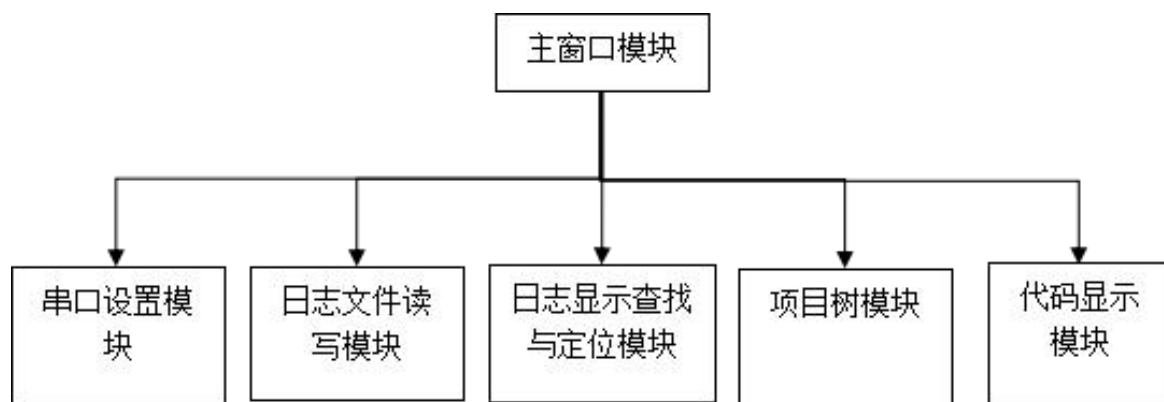


图 4-4 日志分析工具结构图

串口读取流程 日志界面的串口读取流程图如串口读取流程图所示, 当用户打开串口后, 主窗口中的串口读取函数会对串口中的数据进行非堵塞地读取, 并按协议格式进行解析、显示和存盘。对于非协议格式的数据, 则按照普通标准输出重定向过来的数据进行显示。此时在日志信息显示框中只会将信息显示在详细内容部分, 日志级别、进程号、文件名、行号等内容均为空白。对于按照协议格式发送的信息, 会按照信息的级别以不同的底色进行显示。

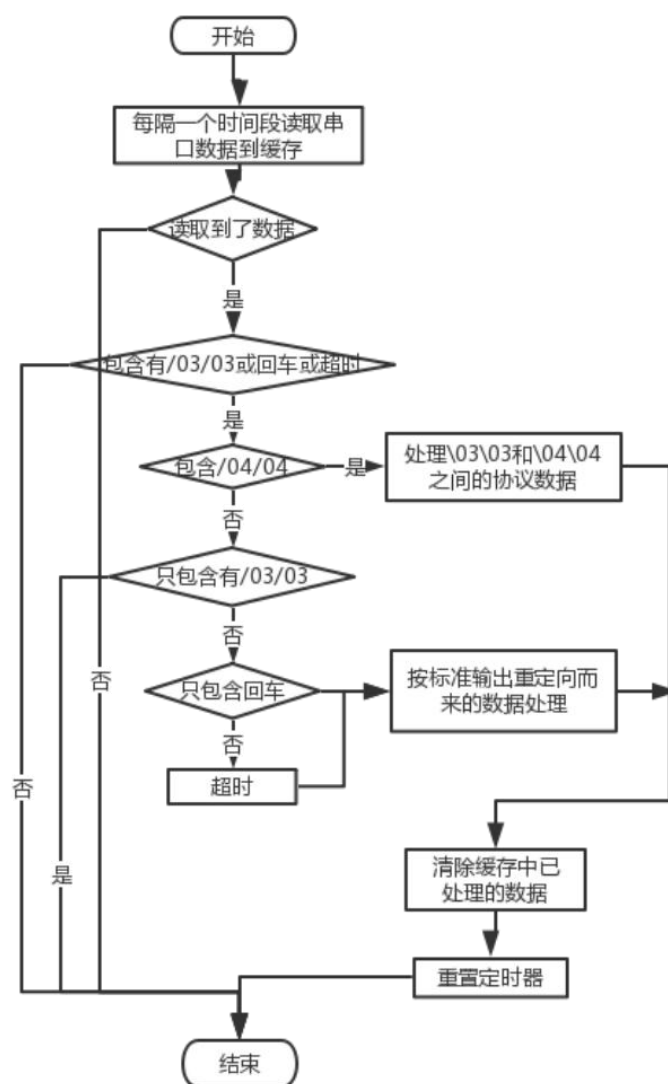


图 4-5 日志界面串口读取流程图

五 系统的功能测试

5.1 设备添加到系统管理表

查看当前的驱动程序是否已经添加到了系统当中, 我们自定义的 `cp210xDevRead()`、`cp210xDevWrite()`、`cp210xDevOpen()`、`cp210xDevClose()`、`cp210xDevIoctl()` 是否已经和被注册到了 IO 子系统当中。只有成功的注册到了 IO 子系统当中, 应用层的软件才能够通过标准接口 `open()`、`close()`、`read()`、`write()`、`ioctl()` 来对设备进行操作, 完成设备的功能。首先通过 `iosDrvShow` 查看当前的 `cp210xDrvInit` 是否已经将驱动程序接口添加到了驱动程序列表当中, 驱动加载前的系统设备表如图 5-1 所示, 驱动加载后的系统设备表如图 5-2 所示, 显示了加载了驱动驱动之后多出来了一个驱动号为 14 的设备。由于两种情况下进行为不同的设备命名策略, 所以显示出两个不一样的设备名。

```

-> iosDevShow
drv  name
  1  /tyCo/0
  1  /tyCo/1
  2  /pcConsole/0
  2  /pcConsole/1
  3  /aioPipe/0x2e400620
  8  /
 11  /shm
 10 host:
   4  /ahci00:1
   5  /ahci01:1
   4  /ata0a
value = 0 = 0x0
->
    
```

图 5-1 驱动加载前系统设备表

接下来查看设备驱动的接口是否已添加到驱动程序的列表当中, 驱动加载前的系统驱动表如图 5-3 所示, 驱动加载后的系统设备如图 5-4 所示。

最后查看一下加载驱动之后是否能够正常的打开设备, 打开设备之后应该会将其加入到系统文件描述符表当中, 驱动加载前的文件描述符表如图 5-5 所示, 驱动加载后的文件描述符表如图 5-6 所示。

通过以上的验证说明了驱动程序已经被正常的安装, 标准系统 IO 接口和驱动程序的 IO 子系统已经挂接成功。下一步将要进行进一步的功能测试, 检测内部的各个 IO 接口是否能够正常的完成工作。

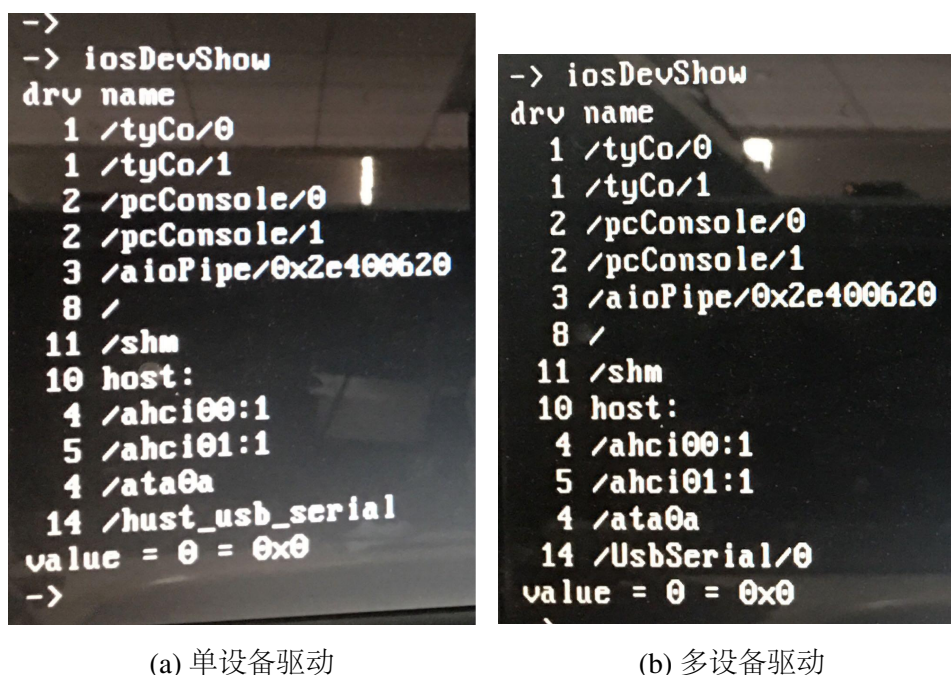


图 5-2 驱动加载后系统设备表

```

> iosDrvShow

```

drv	creat	remove	open	close	read	write	ioctl
0	0	0	19295a	192750	0	192748	192846
1	1fc5f0	0	1fc5f0	1fc632	1fd429	1fd5be	1fc7f5
2	1c9344	0	1c9344	0	1fd429	1fd5be	1c9550
3	0	0	1faa8d	1fa39c	1fa6fe	1fa9d7	1fa74d
4	1e8570	1e6f2c	1e6afa	1e5c97	1e5c0a	1e84fb	1e6f8b
5	1d6fb3	0	1d6fb3	1d6ef4	1d6c85	1d6a09	1d66b1
6	1fb20e	0	1fb20e	1fb1ad	1fb2f9	1fb2b9	1fafbb
7	1fb266	0	1fb266	1fb142	1fb0db	1fb07e	1fae74
8	1f1ff3	1f1c95	1f1ff3	1f1c70	1f1c58	1f1c40	1f1d75
9	0	0	0	2b34a4	2b353e	2b3517	2b3565
10	2b4a0d	2b4ecc	2b5d83	2b6ac4	2b67dc	2b587e	2b5b89
11	0	201b29	201c7f	201a48	0	0	2017f0
12	0	1ac3af	1ac732	1ac890	1ac9dc	1aca31	1ac8d6
13	0	1ace20	1ad29a	1ad3eb	1ad592	1ad710	1ad431

```

value = 50 = 0x32 = '2'
> -

```

图 5-3 驱动加载前系统驱动表

5.2 驱动程序读写测试

驱动通常会作为操作系统内核的一部分来实现,即便现在很多系统支持驱动的动态加载,但是驱动代码在执行时,依然是以内核代码模式进行执行的,所以如果驱动程序存在 BUG,会导致操作系统的崩溃。所以调试驱动是一项十分关键的工作,必须对驱动进行仔细检查,并需要经受长时间运行考验,其调试过程同时也是对硬件和驱动进行验证的过程。由于 VxWorks 同时存在 RTP 模式和 task 模式,所以在这两种模式下都需要进行读写测试。测试条件: 装我们编写的 USB 口转串口驱动的 VxWorks PC

```
-> iosDrvShow
```

drv	creat	remove	open	close	read	write	ioctl
0	0	0	19295a	192750	0	192748	192846
1	1fc5f0	0	1fc5f0	1fc632	1fd429	1fd5be	1fc7f5
2	1c9344	0	1c9344	0	1fd429	1fd5be	1c9550
3	0	0	1faa8d	1fa39c	1fa6fe	1fa9d7	1fa74d
4	1e8570	1e6f2c	1e6afa	1e5c97	1e5c0a	1e84fb	1e6f8b
5	1d6fb3	0	1d6fb3	1d6ef4	1d6c85	1d6a09	1d66b1
6	1fb20e	0	1fb20e	1fb1ad	1fb2f9	1fb2b9	1fafbb
7	1fb266	0	1fb266	1fb142	1fb0db	1fb07e	1fae74
8	1f1ff3	1f1c95	1f1ff3	1f1c70	1f1c58	1f1c40	1f1d75
9	0	0	0	2b34a4	2b353e	2b3517	2b3565
10	2b4a0d	2b4ecc	2b5d83	2b6ac4	2b67dc	2b587e	2b5b89
11	0	201b29	201c7f	201a48	0	0	2017f0
12	0	1ac3af	1ac732	1ac890	1ac9dc	1aca31	1ac8d6
13	0	1ace20	1ad29a	1ad3eb	1ad592	1ad710	1ad431
14	0	0	bab177	bab18f	baae62	bab015	bab61c

```
value = 50 = 0x32 = '2'
->
```

(a) 单设备驱动

```
-> iosDrvShow
```

drv	creat	remove	open	close	read	write	ioctl
0	0	0	19295a	192750	0	192748	192846
1	1fc5f0	0	1fc5f0	1fc632	1fd429	1fd5be	1fc7f5
2	1c9344	0	1c9344	0	1fd429	1fd5be	1c9550
3	0	0	1faa8d	1fa39c	1fa6fe	1fa9d7	1fa74d
4	1e8570	1e6f2c	1e6afa	1e5c97	1e5c0a	1e84fb	1e6f8b
5	1d6fb3	0	1d6fb3	1d6ef4	1d6c85	1d6a09	1d66b1
6	1fb20e	0	1fb20e	1fb1ad	1fb2f9	1fb2b9	1fafbb
7	1fb266	0	1fb266	1fb142	1fb0db	1fb07e	1fae74
8	1f1ff3	1f1c95	1f1ff3	1f1c70	1f1c58	1f1c40	1f1d75
9	0	0	0	2b34a4	2b353e	2b3517	2b3565
10	2b4a0d	2b4ecc	2b5d83	2b6ac4	2b67dc	2b587e	2b5b89
11	0	201b29	201c7f	201a48	0	0	2017f0
12	0	1ac3af	1ac732	1ac890	1ac9dc	1aca31	1ac8d6
13	0	1ace20	1ad29a	1ad3eb	1ad592	1ad710	1ad431
14	0	0	bad1b7	bad1cf	bace2	bad055	bad65c

```
value = 50 = 0x32 = '2'
->
```

(b) 多设备驱动

图 5-4 驱动加载系统驱动表

```
-> iosFdShow
```

fd	name	drv
3	/pcConsole/0	2 in out err
4	/aioPipe/0x2e400620	3
5	(socket)	9
6	(socket)	9
7	(socket)	9
8	(socket)	9
9	(socket)	9
10	/ata0a/Script.txt	4

```
value = 100 = 0x64 = 'd'
->
```

图 5-5 当前系统上的文件描述符表

机, 装有串口调试工具的 windows PC 机, USB 转 TTL 模块在两台 PC 之间进行数据传输。

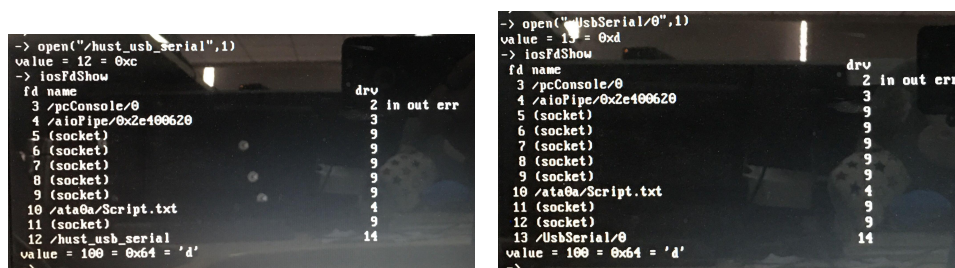


图 5-6 加载驱动后系统上的文件名文件描述符表

5.2.1 RTP 模式下的读写测试

测试报告如表 5.1所示。

波特率	数据位	数据位	数据方向	发送周期	发送次数	信息数量	正确率
9600	8	0	读	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
9600	8	0	写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
9600	8	0	读 & 写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
115200	8	0	读	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
115200	8	0	写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
115200	8	0	读 & 写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
921600	8	0	读	0.1S/次	10000	500 单词/次	99.8%
921600	8	0	写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
921600	8	0	读 & 写	0.1S/次	10000	500 单词/次	99.2%

表 5.1 RTP 模式下串口测试

5.2.2 task 模式下的读写测试

测试报告如表 5.2所示。

在两种模式下都出现了在波特率较高的时候出现误码的现象,尤其是在同时进行数据的收发的时候出现误码的概率更大。会有很多的原因导致串口出现误码,例如干扰、接地不好、数据率过高、双方定时不一致等都会导致误码率的升高。

波特率	数据位	数据位	数据方向	发送周期	发送次数	信息数量	正确率
9600	8	0	读	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
9600	8	0	写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
9600	8	0	读 & 写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
115200	8	0	读	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
115200	8	0	写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
115200	8	0	读 & 写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
921600	8	0	读	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
921600	8	0	写	0.1S/次	10000	500 单词/次	100%
921600	8	0	读 & 写	0.1S/次	10000	500 单词/次	99.6%

表 5.2 task 模式下串口测试

5.3 应用程序接口测试

5.3.1 标准输出重定向测试

测试条件: 装我们编写的 USB 口转串口驱动的 VxWorks PC 机, 封装好的标准输出重定向接口, 装有串口调试工具的 windows PC 机, USB 转 TTL 模块在两台 PC 之间进行数据传输。

测试同样分为 RTP 模式和 task 模式, 在两种模式下实现重定向的机制并不一样。1. task 模式:

在 VxWorks 中启动一个 task 程序, 先调用标准输出重定向接口, 查看其是否能够在程序中将标准输出重定向到串口. 再定向回来。循环进行下去, 查看输出是否正确。简单的测试程序如下:

```

1 void test1(void)
2 {
3     int j =0;
4     while(j < 10000){
5         ResetStdOut(1);
6         printf("<task printf test:> shold be in windows\n");
7         ResetStdOut(0);
8         printf("<task printf test:> shold be in VxWorks\n");
9     }
10 }
```

测试结果显示重定向接口能够在 task 模式下完美的完成重定向的功能。

2. RTP 模式:

RTP 模式下的测试方式与在 task 模式下一样, 在 VxWorks 中启动一个 RTP 程序, 先

调用标准输出重定向接口,查看其是否能够在程序中将标准输出重定向到串口.再定向回来,循环进行下去,查看输出是不是正确。简单的测试程序如下:

```

1  int main()
2  {
3      int j =0;
4      while(j < 10000){
5          ResetStdOut(1);
6          printf("<RTP printf test:> shold be in windows\n");
7          ResetStdOut(0);
8          printf("<RTP printf test:> shold be in VxWorks\n");
9      }
10 }
```

注意这里的两个程序的区别,RTP模式下是 main 函数开始的,而 task 模式下是以内核模块的方式运行的。测试结果显示 RTP 模式下标准输出重定向也能够正常的完成工作,不会对系统造成混乱。

5.3.2 Log 日志接口测试

Log 接口函数在 RTP 模式下和 task 模式下的实现方法是一样的,所以就不需要区分两种实现方式下的测试结果。我们以在 RTP 模式下的测试结果为例,测试完成的界面如图 5-7所示。在日志信息的显示框我们可以看到不同的颜色标识的不同级别的信息,包括我们自定义的协议的日志级别、进程号、进程名等信息都能正常的进行封装,并被正确的解析出来。

测试报告如表 5.3所示。

波特率	数据位	数据位	数据方向	发送次数	信息类型	正确率
115200	8	0	写	1000	LogE()	100%
115200	8	0	写	1000	LogW()	100%
115200	8	0	写	1000	LogI()	100%
921600	8	0	写	1000	LogO()	100%
921600	8	0	写	1000	LogD()	100%

表 5.3 Log 接口测试

需要注意的是上述的测试数据的是在 1000 次的循环内依次发送 LogE、LogW、LogI、LogO、LogD 的信息测试出来的,并不是每个级别的信息单独一个程序发送的。

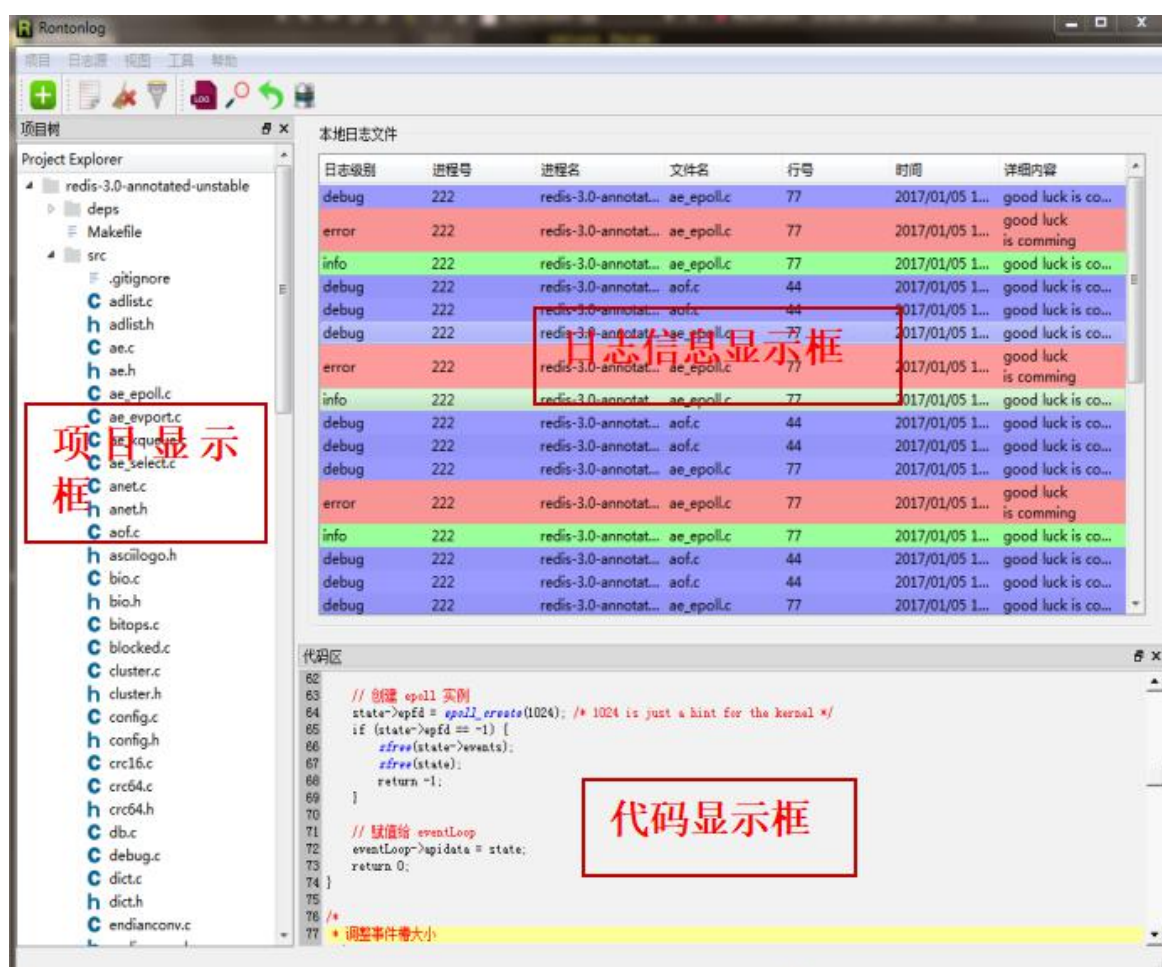


图 5-7 主机端日志分析工具测试界面

六 总结与展望

6.1 全文总结

USB 是一种新兴的外围接口标准,由于它众多的优良特性,且在现代 PC 中广泛使用,已经逐渐替代了其他的接口标准。本文选择了使用在 VxWorks 下使用 USB 口转串口的技术为基础,来实现一个调试通道。USB 口转串口的硬件实现选择了目前市场上通用的 CP2102 芯片,因为芯片有良好的说明文档,并有大量的社区支持,对于驱动程序的编写更加方便。基于这个芯片我们在 VxWorks 上实现了一个针对该芯片的 USB 口转串口驱动。

在本次的研究和开发的过程中,掌握了大量的关于 USB 接口和串口的相关知识,让我深深的体会到了 USB 驱动分层设计的好处与便利。要开发一个 USB 协议栈需要有很强的理论基础,明白各个层次之间的关系,上层应用程序与设备驱动之间的通信原理等。本次的设计是基于 VxWorks 操作系统之下的,之前从未接触过这类强实时性的嵌入式系统。在本次的开发过程中不断学习 VxWorks 系统的同时,也积累了大量的 VxWorks 下开发项目的实际经验。

6.2 展望

通过本次的 VxWorks 系统作为一个高性能的实时操作系统,成功的应用于很多大型的高尖端项目当中。在本次的开发过程当中我也只是学习到了 VxWorks 的冰山一角,对于其系统理论和实际应用的掌握还不全面。同时感受到了 USB 功能的强大和开发难度。但是其优异的性能一定能够使得其在今后的外围串行通信接口当中占有更加重要的地位。随着 PC 和消费电子类产品、数字化产品的不断增多和普及,用户对于数据带宽、数据存储容量、数据传输速率和使用等会有越来越高的要求,鉴于此,USB 技术也在不断地发展和完善,USB OTG、type C 等标准的颁布,更能使得 USB 的应用领域和实用场景强化。因此,研究 USB 协议和开发一些特定功能的 USB 接口将会成为应用 USB 技术的关键。

至此,本次设计的调试通道的功能已经基本实现,能够满足实际的应用中的需求。由于时间和能力有限,对于本次的调试通道的设计还有很多的不足之处,对于 VxWorks 下的 USB 口转串口的驱动程序部分还有很多的可以改进、完善的部分。例如在本系统中没有完成对设备的流控的设置,因为串口的传输速率有限,远远小于 USB 口的传输速率,使得串口速率成为了调试通道中传输速率的瓶颈部分,也许可以选择更好的

数据传输方式来设计此通道。

因为时间的关系,未能将研究工作进行的更加深入,对于不足之处深表遗憾。此外,论文当中难免会有考虑不周之处,恳请老师、同学批评指正。

致 谢

研究生生活即将结束,在此,我要感谢所有教导我的老师和陪伴我一齐成长的同学,他们在我的研究生生涯给予了很大的帮助。本论文能够顺利完成,要特别感谢我的导师张杰老师,张杰老师对该论文从选题,构思到最后定稿的各个环节给予细心指引与教导,正是在张老师的指导和帮助下,我才能够克服各种困难,突破一个又一个的技术难题,最终完成该调试通道的设计,使我得以最终完成毕业论文设计!

在硕士学位论文即将完成之际,我想向身边曾经给我帮助和支持的人们表示最衷心的感谢。首先要感谢的就是我的导师张杰老师,在我的研究生生活的第一天起便给予我许多的帮助。老师对我的严格要求使我始终保持着一丝不苟的态度对待每一次研究和身边发生的每一件事,他自身严谨的治学态度以及为人处世的坦荡都让我钦佩不已,也是我一直向之前进的目标,正是导师的悉心培养才有了今天的我和我的一些研究成果。老师不仅在科研方面给我很多的灵感与帮助,让我在研究的道路上走得很顺畅;同时也教会了我很多关于人生的道理,让我有所成长。我与老师的关系亦师亦友,老师总会是我们最坚实的后盾,让我们能够放心的往前飞。相信在今后的工作与生活中,我都会不断的记起老师的谆谆教诲,也能够因此少走很多弯路,更好的为社会、为国家做出更大的贡献。在此祝愿我的导师身体健康,幸福快乐!当然我也要感谢许多已经毕业或仍在深造的师哥师姐,他们也给予了我许多的帮助以及支持鼓励。在我刚入门时耐心指导我,不厌其烦的解答我的疑问;也在我能够独当一面时用他们的经验提醒我可能会不注意的一些小细节。于是现在的我也能够很好的为师弟师妹们答疑解惑,是他们给我的帮助和在他们身上看到的善意,使我以更加友善柔和的目光去看待这个看似冷酷实则温柔的世界。

最后我还要感谢我的战友们,我们一起攻克研究过程中遇到的重重难关,在最艰难的时候互相鼓励,互帮互助。在这看似枯燥的道路上,总是能汲取出甘甜的也是我同甘苦的战友们。

参考文献

- [1] 刘小军. 基于 VxWorks 的实时仿真系统软件设计与开发: [PhD Dissertation]. 南京航空航天大学, 2008.
- [2] 解月江, 张梅. VxWorks 下设备驱动技术研究. 航天控制, 2004, 22(6):54–57.
- [3] 马超, 尹长青. VxWorks 嵌入式实时操作系统的结构研究. 电脑知识与技术: 学术交流, 2006, (1):133–134.
- [4] Wu Yurong, Wang Congling, Cai Jin. Implementation of IPTV STB Network Driver and Protocol for VxWorks Embedded System. in: Proceedings of International Symposium on Test Automation Instrumentation, 2008.
- [5] 马增炜, 马锦儒, 李亚敏. 基于 WIFI 的智能温室监控系统设计. 农机化研究, 2011, 33(2):154–157.
- [6] Zhang Zhen, Li Yan. Design and implementation of control system software based on VxWorks multi-tasks. in: Proceedings of International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, 2010, V2-285 - V2-288.
- [7] 徐媛媛. 嵌入式实时操作系统的设备驱动: [PhD Dissertation]. 华中科技大学, 2003.
- [8] 谢强. 基于 LINUX 的嵌入式操作系统实时性研究: [PhD Dissertation]. 西安电子科技大学, 2007.
- [9] 郭春生, 朱兆达. 硬实时操作系统-RTLinux. 电子技术应用, 2002, 28(4):17–19.
- [10] Zhu DyYu, Yan Li, Qiang Wang. RTLinux-based software CNC system. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(12):1571–1576.
- [11] 李立志, 张朝阳, 陈文正. 实时操作系统 VxWorks 设备驱动程序的编写. 计算机工程, 2003, 29(4):182–184.
- [12] 陈洋, 胡向宇, 杨坚华. VxWorks 下的内存管理. 计算机工程, 2007, 33(8):94–96.
- [13] 张鹏. 基于 VxWorks 的无人直升机操纵控制系统设计与实现: [PhD Dissertation]. 南京航空航天大学, 2007.
- [14] 孔祥营. 嵌入式实时操作系统 VxWorks 及其开发环境 Tornado. 中国电力出版社, 2002.
- [15] Wind River System. Tronado Device Driver Workshop. Inc, 1999.
- [16] Yao Weiqing, Zhou Wei. Design of USB-RS232 converter module based on FT2232H. Electronic Design Engineering, 2009.
- [17] Zhou Yiqing, Jiangmen. The Simplest Solution for USB/RS-232 Converter. Journal of Xianning Teachers College, 2002.
- [18] yz2010 的博客. VxWorks 内核解读. <https://blog.csdn.net/yz2010/article/details/68930013>. Accessed April 17, 2018.
- [19] 曹桂平. VxWorks 设备驱动开发详解. 电子工业出版社, 2011.
- [20] 罗国庆. VxWorks 与嵌入式软件开发. 机械工业出版社, 2003.
- [21] Wind River System. VxWorks Driver API Reference 5.5. Inc, 2002.
- [22] Wind River System. VxWorks Programmer Guide. Inc, 2003.
- [23] 王金刚. 基于 VxWorks 的嵌入式实时系统设计. 清华大学出版社, 2004.
- [24] An Junshe. Implementation of an Embedded System Based on VxWorks. Computer Engineering Applications, 2003.
- [25] 胡明民. 基于实时操作系统 VxWorks 的驱动程序开发: [PhD Dissertation]. 西安电子科

- 技大学, 2012.
- [26] 冯云贺. 基于 Simics 全系统仿真环境的嵌入式系统的研究与开发: [PhD Dissertation]. 北京工业大学, 2014.
 - [27] 李雪红. USB/RS232 接口转换器的设计: [PhD Dissertation]. 长安大学, 2004.
 - [28] 莫宏伟, 柳泉, 赵文华, et al. USB 传输技术及其应用. 应用科技, 2001, 28(10):20–22.
 - [29] 张杰. 基于 USB 主机的 USB-RS232 接口转换器的设计与实现: [PhD Dissertation]. 南京理工大学, 2008.
 - [30] 边海龙, 贾少华. USB 2.0 设备的设计与开发. 人民邮电出版社, 2004.
 - [31] 张念淮, 江浩. USB 总线接口开发指南. 国防工业出版社, 2001.
 - [32] 何源, 顾金良. USB 与 RS232 接口转换器的设计. 指挥控制与仿真, 2006, 28(5):114–117.
 - [33] Labs S. CP2102 SINGLE-CHIP USB to UART BRIDGE, 2007.
 - [34] 阳得常. 基于 Windows XP 下 USB 转 RS-232 接口转换器驱动程序的开发: [PhD Dissertation]. 西安电子科技大学, 2010.
 - [35] Renard K. G, Nichols M. H, Woolhiser D.A, et al. 1003.1-2008 - IEEE Standard for Information Technology- Portable Operating System Interface (POSIX) Base Specifications, Issue 7. 2008, c1-3826.
 - [36] Barbalace A., Luchetta A., Manduchi G. Performance Comparison of VxWorks, Linux, RTAI and Xenomai in a Hard Real-time Application. in: Proceedings of Real-Time Conference, 2007 Ieee-Npss, 2007, 1-5.
 - [37] Kornecki Andrew J., Zalewski Janusz, Eyassu Daniel. Learning Real-Time Programming Concepts through VxWorks Lab Experiments. in: Proceedings of Software Engineering Education Training, 2000. Proceedings. Conference on, 2000, 294-301.
 - [38] Neugass H., Espin G., Nunoe H. VxWorks: an interactive development environment and real-time kernel for Gmicro. Tron Symposium Proc Ghth, 1991, pages 196–207.
 - [39] Yi-Hua F. U., Mei Shunliang. Implementation of 100Mbps Ethernet based on VxWorks in embedded system. Journal of Computer Applications, 2006, 26(9):2190–2191.
 - [40] 张军. 基于 Vxworks 实时操作系统的串口通信程序设计与实现. 微计算机信息, 2006, 22(5):98–99.
 - [41] 肖竟华, 邱奕敏. 嵌入式实时操作系统 VxWorks 设备驱动程序设计与实现. 电脑与信息技术, 2003, (5):28–30.
 - [42] Ghosh Kaushik, Mukherjee Bodhisattwa, Schwan Karsten. A Survey of Real-Time Operating Systems – Draft. Georgia Institute of Technology, 1993.
 - [43] 晋成凤, 晋成龙. 基于虚拟串口和串口调试工具的串口编程调试系统设计. 2010.
 - [44] Xu Meirong, Cai Ming, Dong Jinxiang. Design and Implementation of CAN Driver Based on Real-Time Operation System VxWorks. Computer Application and Research, 2006, 23(5):185–188.
 - [45] 史小斌, 孙献璞, 张艳玲. VxWorks 串行设备驱动模式及其实现. 现代电子技术, 2003, (10):72–74.
 - [46] 籍林峰, 曹伟. VxWorks 操作系统中中断的应用. 雷达与对抗, 2004, (3):67–69.
 - [47] Barbalace A, Luchetta A, Manduchi G, et al. Performance Comparison of VxWorks, Linux, RTAI, and Xenomai in a Hard Real-Time Application. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2008, 55(1):435–439.
 - [48] Wind River System. USB Developer's Kit Programmer's Guide 1.1.2. Inc, 2003.
 - [49] Wind River System. Tronado BSP Training Workshop. Inc, 1999.
 - [50] Wind River System. VxWorks BSP Developer Guide. Inc, 2004.

- [51] Wind River System. VxWorks Network Programmer's Guide 5.4. Inc, 2003.
- [52] 周启平, 张杨. VxWorks 下设备驱动程序及 BSP 开发指南. 中国电力出版社, 2004.
- [53] 周启平, 张杨. VxWorks 程序员速查手册. 机械工业出版社, 2005.
- [54] Jan Axelson, 陈逸. USB 大全. 中国电力出版社, 2001.
- [55] 萧世文, 宋延清. USB 2.0 硬件设计. 清华大学出版社, 2006.
- [56] 刘荣. 圈圈教你玩 USB. 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [57] 许永和. USB 外围设备设计与应用. 中国电力出版社, 2002.
- [58] 李肇庆, 韩涛. 串行端口技术. 国防工业出版社, 2004.
- [59] 陈智育, 温彦军, 陈琪. VxWorks 程序开发实践. 人民邮电出版社, 2004.