

文章编号:1001-9081(2006)09-2211-04

基于 RTEMS 的 ATM 网卡设备驱动程序以及 CIPOA 的研究与实现

朱俊,陈立前,杨学军

(国防科学技术大学计算机学院,湖南长沙 410073)

(mail.zhujun@gmail.com)

摘要:分析了在 RTEMS 平台上设计和实现 ATM 网卡的设备驱动程序,并在此基础上进一步研究 CIPOA 技术的实现。针对特殊应用,在设备驱动程序和 CIPOA 的设计和实现中简化了协议实现,增强了实时性,并进行了综合性测试。

关键词:RTEMS; 异步传输模式; 设备驱动; CIPOA

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Study and implementation of ATM NIC device driver and CIPOA based on RTEMS

ZHU Jun, CHEN Li-qian, YANG Xue-jun

(Department of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha Hunan 410073, China)

Abstract: Design and implementation of ATM (Asynchronous Transfer Mode) NIC (Network Interface Card) device driver based on RTEMS (Real Time Executive for Multiprocessor Systems) were discussed. On the basis of this discussion, implementation of CIPOA (Classical IP Over ATM) was further analyzed. Considering some special applications, protocol implementation was simplified, and a comprehensive test was carried out.

Key words: RTEMS (Real Time Executive for Multiprocessor Systems); ATM (Asynchronous Transfer Mode); device driver; CIPOA (Classical IP Over ATM)

0 引言

随着航天技术的不断发展,越来越多的卫星应用在通讯、资源探测、遥感、气象、对地观测等领域。根据卫星系统通信数据传输的实际需求,星载系统需要实现卫星与卫星、卫星与地面的可靠通信,并且对网络通信的连接安全性、传输稳定性、数据多样性方面提出了很高的要求。而 ATM 网络在可靠性、服务质量 QoS 支持、综合数据传输能力等方面有得天独厚的优势,非常适合于星上的网络通信。

目前,单星模式工作的卫星在很多应用中已经无法满足要求,而众多卫星以星座模式工作或者构成一个完整信息网络,成为一种必然趋势。为了实现星上的网络通信,我们迫切需要实现一种路由协议来保证网络通信的可达性。在基于 ATM 网络的基础上,要实现路由协议,又必须使用 CIPOA 技术实现 IP 报文在 ATM 网络上的顺畅传输,同时实现与 Internet 的无缝连接。

星载计算机系统对嵌入式操作系统的强实时、高可靠、高安全等方面有着很高的要求。RTEMS 是源代码公开的实时多任务操作系统,最初是为美国军方开发的,曾用于“爱国者”地空导弹系统,具有实时性强、源码公开、体积小、支持同异构多处理器等特点。正是这些优势使得 RTEMS 在航空、航天、军队等特殊领域得到广泛的使用,非常适合应用于我们的星载计算机中。采用 RTEMS 作为星载实时操作系统,有助于保证系统的实时性和计算性能;同时由于其源码公开,便于改进,可以持续发展。

因此,基于 RTEMS 实时操作系统研究和开发 ATM 网卡的设备驱动程序以及驱动之上的 CIPOA、路由协议、Socket API 等,具有深远的意义。既要充分考虑到 RTEMS 平台在实时性、可裁剪性等方面的特殊性,又要能够保证 ATM 网络本身的功能特性和网络性能,这给 ATM 网络开发提出了很大的挑战。本文在保持一定 ATM 网络性能的前提下,从 RTEMS 的网络体系结构、模块化设计、优化网络服务中断等多方面入手,全面衡量和改进 ATM 网络驱动和 CIPOA 等在 RTEMS 上的实现。

1 ATM 网卡设备驱动程序的设计与实现

设备驱动程序的设计与实现不仅仅需要在硬件驱动方面适合所设计的 ATM 网卡,还必须能符合操作系统平台 RTEMS 的特性(如实时性等方面要求)和网络接口。

1.1 ATM 网卡的简介

我们自行设计的 ATM 网卡实现了 ATM 协议中全双工 155Mbps 数据收发功能,并经 PCI 总线与主机相连,以 DMA 方式与主存进行数据交换,而对外为单模光纤接口。网卡采用了 IDT 公司的 IDT77252SAR (Segment And Reassembly, SAR) 芯片、PMC-Sierra 公司的 PM5384 物理层芯片以及单模光收发模块 (Optical Data Link, ODL) 等部件。

1.2 RTEMS 的网络体系结构分析

RTEMS 的网络部分(见图 1)最初源于 FreeBSD 操作系统中 TCP/IP 协议栈的一部分,但是 RTEMS 针对网络部分也做了较大调整以符合实时操作系统。

收稿日期:2006-03-16; 修订日期:2006-06-06

作者简介:朱俊(1981-),男,浙江嘉兴人,硕士研究生,主要研究方向:计算机系统结构、计算机网络; 陈立前(1982-),男,湖南株洲人,博士研究生,主要研究方向:形式化方法、操作系统; 杨学军(1963-),男,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:计算机系统结构、并行操作系统; 并行编译。

为了增强实时特性, RTEMS 增加了三个守护任务:网络守护任务、接口发送守护任务、接口接收守护任务。每个网络接口的发送守护任务阻塞等待包到达发送队列。上层应用有包需要发送时,通过发送处理接口函数(ifnet 结构中的 if_output 域)把包添加到发送队列,然后发送 RTEMS 事件给发送守护任务表示发送硬件资源可用。接口发送守护任务收到相应 RTEMS 事件后,启动硬件发送数据。而每个网络接口的接收守护任务阻塞等待来自接收中断处理函数的 RTEMS 事件。如果有事件到达,接收守护任务读取包,并通过接收处理接口函数(ifnet 结构中的 if_input 域)把包发给网络栈,交由网络守护任务来进行接下来的处理。网络守护任务负责处理接收到的包,并处理定时相关操作,例如处理 TCP 超时、更新路由表等。因此, RTEMS 中网络驱动的收发处理都是通过这三个守护任务完成的,网络相关的中断处理简单、高效,只需要把中断转换成 RTEMS 事件进行转发,这样就能及时响应别的中断,极大地增强了实时性和灵活性。

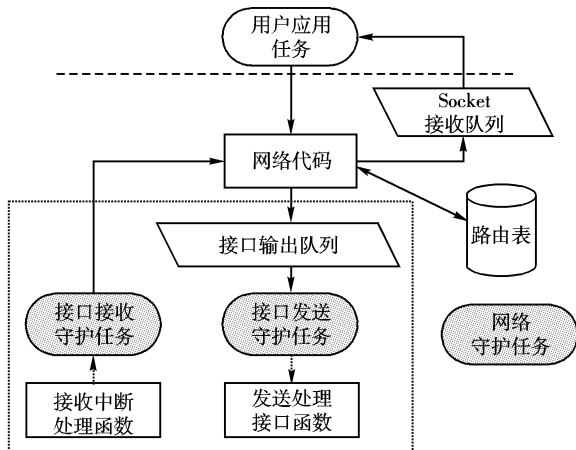


图1 RTEMS 中网络任务结构和数据流

1.3 ATM 设备驱动程序在 RTEMS 中的实现

RTEMS 下网络驱动开发有一定的结构框架,这里主要探讨在 RTEMS 下开发 ATM 设备驱动程序需要注意的重点问题。

1.3.1 设备驱动的重要数据结构

(1) 网络设备驱动接口结构

在 RTEMS 中,每个网络设备驱动程序为一个网络接口初始化一个专用的 ifnet 结构,并调用 if_attach 把这个结构插入接口链表中。ATM 网卡驱动接口结构就是 ATM 网卡驱动程序的专用化 ifnet 结构,包括了网络设备各种专用信息。驱动程序通过这个控制结构获得所需的资源并进行相应的处理。RTEMS 要求这种结构必须以通用结构 arpcbm 作为该结构的第一项。此外,根据 ATM 网卡和用户的需要,驱动接口结构还包括:设备单元号、中断请求号、发送守护任务 ID、接收守护任务 ID、ATM 网卡的 MAC 地址、虚通道连接表、发送连接表 TCT、接收连接表 RCT、物理层最大信元峰值速率、UTOPIA 信元速率、缓冲队列等。

(2) 虚通道连接 VCC

ATM 是面向连接的,需要在驱动控制结构中定义一个虚通道连接结构来管理虚通道和虚路径的连接。其主要元素包括:虚路径标志符 VPI、虚通道标志符 VCI、AAL 业务类别和

AAL 协议类型、分割信道队列 SCQ、发送队列、接收队列、虚连接当前状态、传输峰值信元速率、传输持续信元速率等。

1.3.2 设备驱动程序模块化设计

ATM 设备驱动程序进行了模块化设计,由初始化模块、中断处理模块、数据发送模块构成。这些模块相互配合,共同配置和管理接收发送中的各种信息,完成 ATM 网卡基本的功能。

(1) 初始化模块

在 RTEMS 中,整个网络的初始化是从应用程序中的例程 rtems_bsdnet_initialize_network()开始的。该例程首先会建立和初始化 BSD 网络数据结构,并启动网络守护任务,然后分别调用所有配置网络接口驱动的 attach 函数 if_attach 完成接口 ifnet 结构的初始化,并把该驱动结构链接到先前配置的接口列表中,建立网络栈和驱动之间的联系。attach 函数使用用户配置的 rtems_bsdnet_ifconfig 结构的指针作为其惟一参数,并基于该结构中的值设置驱动参数。主要是设置设备相关结构 ifnet 中的某些域,包括:驱动接口结构指针、设备名、设备号、最大传输单元和设备驱动程序表等。其中, RTEMS 中设备驱动程序表一般包含有:设备初始化函数、设备启动函数、设备控制函数、数据发送函数等。

在 attach 了所有的网络接口驱动后, rtems_bsdnet_initialize_network() 例程最终将会调用每个网络接口的设备初始化函数和设备启动函数。ATM 的初始化函数相对于以太网的初始化函数来说,有一定的复杂性,除了进行必要的硬件初始化工作,如扫描 PCI 总线得到 ATM 网卡的 I/O 基址和中断号、初始化 SAR 芯片和物理层芯片、配置好各种寄存器(如配置寄存器、命令寄存器、状态寄存器等);还要定义并初始化 ATM 网卡驱动程序中所用到的各种数据结构、分配相应的发送和接收缓冲区、安装中断处理函数等;还需要根据 ATM 虚通道—VPI/VCI 映射关系,注册好用户所需的虚连接并初始化好这些虚电路的发送、接收连接表结构。在 RTEMS 中,设备初始化函数还要负责使用 rtems_bsdnet_newproc() 创建并启动本接口的发送守护任务和接收守护任务。

(2) 中断处理模块

在初始化模块里,对 ATM 网卡 SAR 芯片的配置寄存器进行了赋值,使能了各种设备中断。一般来说,适配器在处理数据传输过程中会产生各类中断,当相应事件到达引起中断时,设备驱动程序的中断处理函数首先识别当前中断的类型,然后调用相应的中断处理程序对中断进行处理。但是,在 RTEMS 中,设备中断处理函数只负责根据中断类型转发相应 RTEMS 事件给发送、接收守护任务,交由守护任务进行具体处理。ATM 网卡产生的中断原因一般有以下几种:接收到完整的 CS-PDU、定时器溢出、接收缓冲区队列满、接收状态队列满、发送状态队列满等。其中,对接收到完整 CS-PDU 的处理(如图 2 所示,具体处理过程详见参考文献[7])是中断处理模块最主要的任务。

实时操作系统在实时性方面的保证是通过及时的中断处理机制来实现的。为了保证网络数据传输的实时性,我们把驱动相关的中断处理程序作为 RTEMS 的系统中断处理程序,并设置较高的优先级。当接收到中断或者其他响应的事件到达后,处理器就会根据当前的状态进行及时的响应,把控制权交给 RTEMS 中断处理程序。经过改进处理后的设备驱动程序在实时性方面的性能有了显著的提高,也为保证 ATM 上层应用的实时性奠定了坚实的基础。

(3) 数据发送模块

上层应用要发送数据包时,通过数据发送接口函数 if_output()把数据包添加到设备发送队列。而后,将会调用设

备启动函数发送 RTEMS 事件给发送守护任务表示有包到达驱动的传输队列。发送守护任务阻塞接收到 RTEMS 事件后,将启动 ATM 网卡开始发送数据。详细发送流程如图 3 所示。

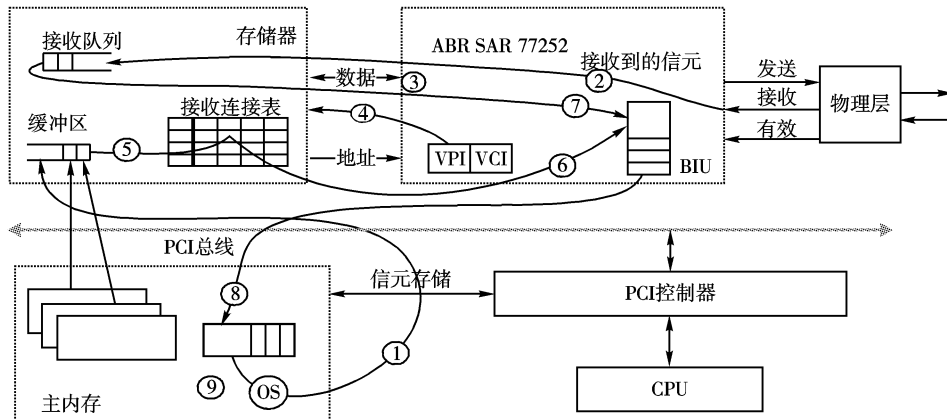


图 2 数据接收流程

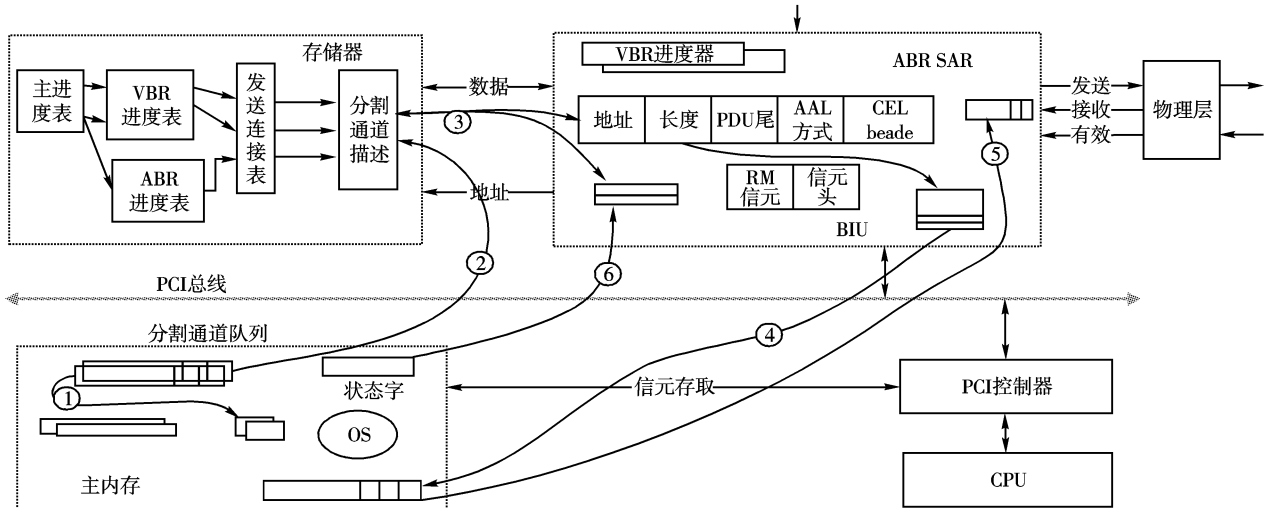


图 3 数据发送流程

2 CIPOA 的设计和实现

考虑和 IP 技术进行融合,主要是考虑一方面可以充分发挥 ATM 技术固有的优势,另一方面也可以与当前大规模使用的网络资源进行整合、实现互通性的目的。IP over ATM 技术允许现有的 IP 用户转向采用 ATM 作为底层数据传输技术,同时仍然采用现有的为传统 IP 系统设计的应用。星载计算机为了实现和其他类型网络进行通信的能力,同样也需要实现 IP over ATM 等。为了在 RTEMS 上基于 ATM 实现 TCP/IP 协议和路由功能,选择基于 PVC 的 CIPOA 实现方法来实现在 IP over ATM。

CIPOA 模块主要解决了两个基本问题:一个是实现在 ATM 信元上承载 IP 数据报,即数据报的封/拆装;另一个是实现 IP 地址和 VPI/VCI 对之间的转化,即 ATM 的地址解析。对于前者,根据 RFC1483 将 IP 数据报封装成 AAL5 的 CS-PDU。对于后者, RFC1577 说明了 IP 在 ATM 网络上的操作,以及 IP 地址和 ATM 地址的解析方法。

如图 4 所示,CIPOA 通过使用逻辑链路控制/子网访问控制 LLC/SNAP 封装,在 ATM 网络上传输 IP 和 ATMARP 分组。这些分组使用 AAL5 直接映射到 ATM 信元中,而这些信元在永久虚连接(PVC)或交换虚连接(SVC)中传送。对于上层交

来的 IP 数据报在头部加 8 字节的 LLC/SNAP 头,在尾部加 0~47 字节的填充和 8 字节的 CPCS 尾,就可以完成对 IP 数据报的封装。加填充的目的是使整个 AAL5 CS-PDU 的长度成为 48 字节的整数倍,从而使 SAR 芯片可以对其进行等长切割,形成 ATM 信元负载。对于 ATM 地址解析,由于 ATM 没有本机广播功能,因此,使用基于客户机—服务器的 ATMARP 协议代替了传统的广播地址解析协议 ARP。在基于 PVC 和 SVC 的环境下分别有不同的实现方法。我们要完成的是在 PVC 环境下由 IP 地址解析出相应的 VPI/VCI 对,即 RFC1577 协议所描述的 ATM 逆向地址解析协议(InATMARP)。在使用 ATM PVC 连接的逻辑 IP 子网(LIS)中,LIS 内的每一台 IP 端站在与其相连接的所有 PVC 上发送含有其 IP 地址的 InARP-REQUEST 报文,所有收到该请求的 IP 端站都用含有其本身 IP 地址的 InARP-PREPLAY 报文进行响应。当请求端站收到 InARP-PREPLAY 应答后,将该应答报文中提供的对等端的 IP 地址填入本机所维护的 ATMARP 地址解析表中。ATMARP 表的每一条目都含有 IP 地址和与其相对应的 VPI/VCI 对。驱动程序根据上层递交下来 IP 报文的地址去查询本地的 ATMARP 表,从而得到传送报文所用的通道号 VPI/VCI。ATMARP 表既可以设置为动态定时刷新,也可由用户静态配置。

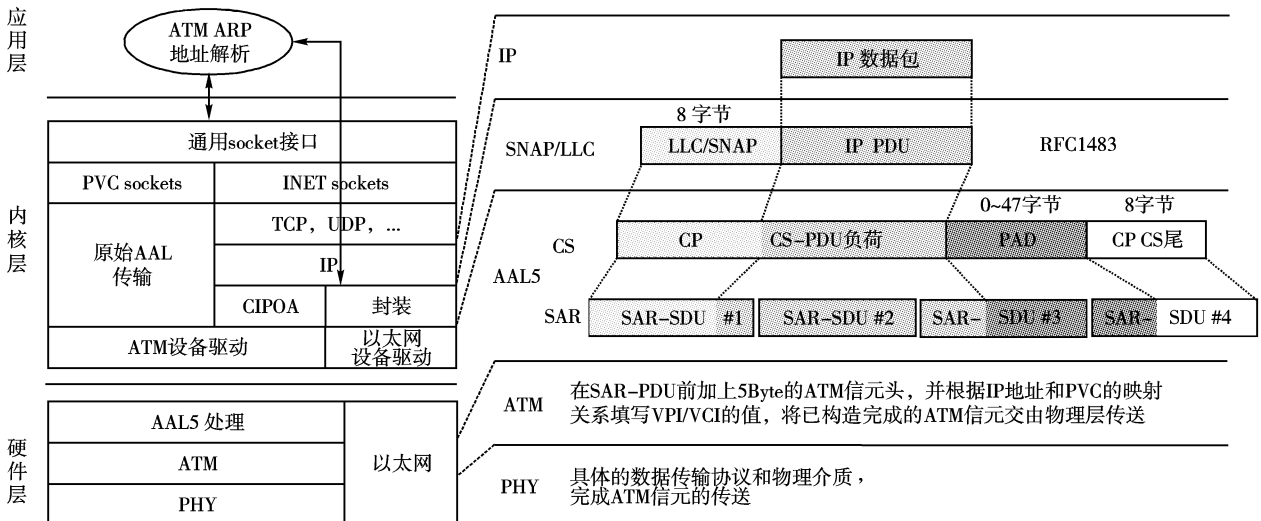


图4 ATM on RTEMS 驱动软件协议栈

3 ATM 在 RTEMS 的上层应用

要实现卫星互连组网、卫星与地面的可靠通信,为了提高卫星网络传输能力和自治能力,需要实现路由器。RTEMS 目前仅支持静态路由,通过把静态路由由表项添加到启动文件中,系统启动时建立路由表;同时,也提供了相关命令函数可操作路由表。但是,这样的静态路由显然无法满足以后星载计算机系统发展的需要。于是我们考虑在现有的函数和数据结构的基础之上实现简单动态路由。RIP 路由协议是一种动态路由协议,它简单、可靠,应用十分广泛,是一种非常适合于星载计算机系统的路由协议。于是,我们在 CIPOA 的基础上,实现了 RIP 动态路由。

除此之外,当前的 RTEMS 平台还没有提供一个统一的 ATM Socket API 通用网络编程接口。从用户的角度考虑,没有一个通用接口供用户调用,就会造成 ATM 上层应用极大的不便性。因此,很有必要实现一个基于 RTEMS 的 ATM Socket API 接口。另外,从现有的 Socket 编程方法兼容和程序员编程习惯的角度出发,ATM Socket API 网络编程接口应该能够提供与传统 Socket 相同的界面,这样就能大大推动 ATM 上层应用的扩展。

4 相关测试

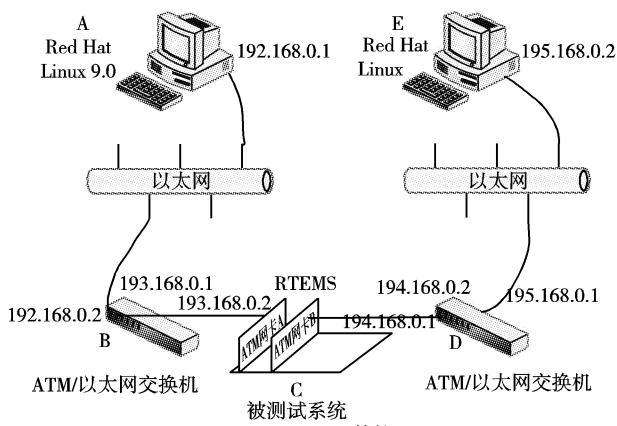


图5 RTEMS 下双网卡 RIP 动态路由测试

我们设计了基于 SPARC v8 Leon2 的 S698M 处理器和 RTEMS 实时操作系统平台上的双网卡 RIP 动态路由测试,一

方面进行 RIP 动态路由的测试,另一方面也验证了:ATM 网卡和 SCOM 公司的 SB-100 ATM 网卡 Linux 下驱动的互通性,以及在实现了 IP Over ATM 之后 CIPOA 与以太网的互通性。主机 A 与主机 E 能够进行正常的网络通讯,表明系统已经通过了测试,也证明了设计上的正确性。经过长时间连续传输测试,整个网络工作正常,数据接收和发送正确无误。

5 结语

本文主要讨论了如何在 RTEMS 这一平台上进行 ATM 网卡设备驱动程序的设计和实现,并在实现设备驱动的基础上研究并实现了 CIPOA 以及路由协议、Socket API 等上层应用。之后,又进行了系统、综合的测试,充分证实了设计和实现的正确性。下一步的研究工作将会围绕着如何在现有的基础上进一步保证系统的实时性和可靠性、提高 ATM 网络的性能、简化 ATM 协议的实现等方面问题展开。

参考文献:

- [1] OAR Corporation. RTEMS C User's Guide[Z], 2003.
- [2] OAR Corporation. RTEMS Network Supplement[Z], 2003.
- [3] OAR Corporation. BSP and Device Driver Development Guide[Z], 2003.
- [4] LAUBACH M. RFC 1577: Classical IP and ARP over ATM[S], 1994.
- [5] HEINANEN J. RFC 1483: Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5[S], 1993.
- [6] PAPANITRIOU K, MATHIOUDAKIS C, MARKATOS E, et al. Experimental ATM Network Interface Performance Evaluation[R]. Technical Report 244, ICS-FORTH, Heraklion, Crete, Greece, 1999.
- [7] IDT77252 NICStAR User Manual/Datasheet[Z]. Integrated Device Technology, Inc.
- [8] PM5384 S/UNI-1x155 SATURN? User Network Interface (1X155) Telecom Standard Product Datasheet[Z]. PMC-Sierra, Inc.
- [9] 丁晓宇. 实时系统 RTEMS 在航天应用中的实时性及可靠性研究[D]. 北京:北京航空航天大学, 2002.
- [10] 李飞, 王岩飞. 实时操作系统在星载计算机中的应用[J]. 电子技术应用, 2004, 30(10).
- [11] 苗启广, 杨思燕, 王宝树, 等. 基于 Linux 的 ATM 网卡驱动程序研究与实现[J]. 计算机工程, 2004, 30(7).
- [12] 曹小白, 葛宝忠, 路海. 基于 MPC8260 的 ATM 驱动开发[J]. 微计算机信息, 2005, 21(5).