

基于 DSP 和 FPGA 的信息化发射平台 多协议网关设计

周永明, 刘云秋, 许进亮, 李向阳, 刘显勤

(北京航天发射技术研究所, 北京 100076)

摘要:为实现信息化发射平台控制系统不同网段之间互联互通, 实现了一种能够对以太网、CAN 等不同协议数据进行解析、过滤及转发的多协议网关; 该网关采用 DSP+FPGA 的控制器架构, 在 FPGA 内部通过 CAN IP 核的方式实现了六路 CAN 控制器; FPGA 内部还实现了一路 Microblaze 软核, 软核上运行 lwIP 以太网协议栈, 实现一路以太网控制器功能; DSP 作为控制核心, 调用 FPGA 实现的驱动函数实现以太网和 CAN 数据收发, 并根据特定的转发策略对接收数据进行解析、过滤和转发; 试验结果表明, 该多协议网关单元具有通信接口种类多、数量多, 数据转发实时性强、可靠性高, 数据解析、转发规则可编程设定、灵活性高等特点, 能够适应不同系统的应用需求。

关键词:多协议网关; DSP+FPGA; 解析; 转发

Design of Multi-Protocol Gateway for Informatized Launch Platform Based on DSP and FPGA

Zhou Yongming, Liu Yunqiu, Xu Jinliang, Li Xiangyang, Liu Xianqin

(Beijing Institute of Space Launch Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: In order to realize the interconnection between different network segments of the informatized launch platform control system, a multi-protocol gateway which can analyze, filter and forward the protocol data of Ethernet, CAN and so on was realized. The controller architecture of DSP+FPGA was used, and six CAN controllers was implemented by reusing CAN IP core inside the FPGA. Within the FPGA, a Microblaze core with the lwIP Ethernet protocol stack running on it was aimed to realize the function of Ethernet controller. As the control core, the DSP receives and transmits Ethernet data and CAN data by calling the API function provided by the FPGA, and analyzes, filters and forwards the received data according to specific forwarding strategy. The multi-protocol gateway has various and numerous communication interfaces, and the test results show that it is strongly real-time and highly reliable. Because the analyze and forward strategy is programmable, the gateway can meet the various requirements of different systems.

Keywords: multi-protocol gateway; DSP+FPGA; analyze; forward

0 引言

在信息化发射平台控制系统中, 为了优化网络结构、避免无关数据交叉干扰, 提高通信可靠性和实时性, 将网络架构划分为多个网段, 包括测发控网段、车控网段、供配电网段和底盘网段等。测发控网段采用以太网通信方式, 车控网段、供配电网段、底盘网段采用现场 CAN 总线通信方式, 其中车控网段和供配电网段的 CAN 总线均为双冗余 CAN 总线。

要实现各个网段间的互联互通, 完成以太网数据、车控 CAN 总线数据、底盘 CAN 总线数据和供配电 CAN 总线数据之间的双向数据解析、过滤及转发, 需要支持以太网协议、CAN 协议等多种协议的网关。网关连接在各个网段上, 接收各网段的数据, 按照特定的策略, 将数据进行解析, 并将数据封装成另外的协议格式, 转发到其它的网段中, 网关在系

统中应用原理图如图 1 所示。

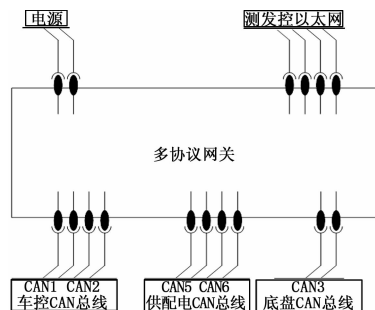


图 1 网关在系统中应用原理图

目前, 多通道 CAN 网关多采取内部自带多路 CAN 控制器的 CPU, 如英飞凌的 XC2287m 自带六路 CAN 控制器, 通过外扩隔离电路和 CAN 收发器来实现, 如文献 [1] 和文献 [2]。但是, 在此基础上外扩以太网控制器, 实现 CAN 和以太网的转发难度较大。而以以太网-CAN 网关多采用 ARM 等 CPU 芯片外扩以太网和 CAN 控制器的方式实现, 如文献 [3] 和文献 [4], 但是, 该方案能实现的 CAN 通道数量

收稿日期:2018-07-11; 修回日期:2018-10-25。

作者简介:周永明(1988-),男,山东寿光人,工程师,硕士研究生,主要从事信息化发射平台的电气控制方向的研究。

有限。

由于本应用中 CAN 网段的数量较多,且部分 CAN 网段采用双 CAN 总线进行冗余,对网关的 CAN 总线接口数量提出了较高要求;并且,系统对网关的转发实时性要求较高。因此,文献中的网关不能满足需求,需重新设计网关。

本文实现了一种应用于信息化发射平台的多协议网关,该网关具有如下特点:

(1) 具有六路 CAN 总线接口,一路以太网接口,一路 RS232 接口,能够实现上述多种通信接口的多种协议数据的解析、过滤及转发。通信接口种类多、数量多。

(2) 核心控制器采用 DSP (Digital Signal Processor, 数字信号处理器) + FPGA (Field Programmable Gate Array, 现场可编程逻辑门阵列) 架构,依靠核心控制器内部运行的嵌入式软件实现网关功能,数据转发实时性强,可靠性高,在高总线负载时仍能可靠转发数据。

(3) 数据解析、转发策略可编程设定,灵活性高,能够适应不同的应用需求。

1 硬件设计

多协议网关内部组成框图如图 2 所示,采用 DSP+FPGA 的核心控制器架构,通过在核心控制器外围扩展相应功能的元器件实现各项功能需求。DSP+FPGA 的构架较为灵活,两种器件相互配合,灵活性和扩展性很高,能够满足系统需求。

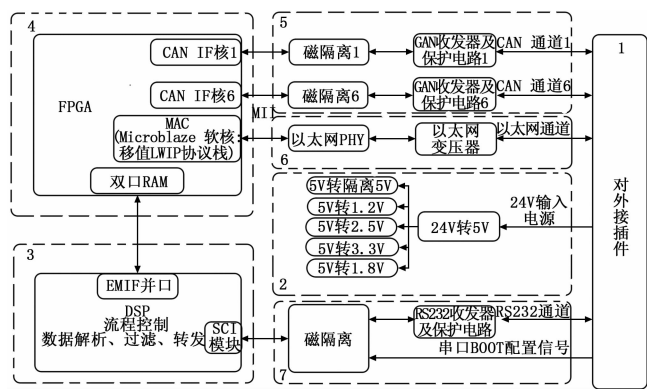


图 2 多协议网关组成框图

以 DSP 芯片为控制核心,通过 FPGA 芯片扩展 CAN 控制器、以太网控制器 LAN8740AI。能够接收 CAN 总线及以太网数据,并完成数据的过滤和转发。

DSP 采用 TMS320F28335,完成控制和任务协调,包括 RS232 总线通信,外部信号采集等,并外扩 SRAM 芯片。FPGA 采用 Xilinx 公司 Virtex4 系列 FPGA,例化异步总线接口与 DSP 相连,各模块同时控制 CAN、以太网的通信。

多协议网关由①对外接插件、②电源转换电路、③DSP 控制器及其外围电路、④FPGA 控制器及其外围电路、⑤ CAN 总线收发电路、⑥以太网收发电路、⑦RS232 收发及串口 BOOT 配置电路七部分组成。

1.1 对外接插件

对外接插件为多协议网关与系统的电气接口,实现网关内外的信号连接,主要信号包括 24 V 直流输入电源信号,六通道 CAN 总线信号、一通道以太网信号、一通道 RS232 异步串行通信信号及串口 BOOT 配置信号。

1.2 电源转换电路

多协议网关由 20~30 V 直流电源供电,电源转换电路完成输入电源的滤波、电压变换,将 24 V 直流输入电源经过滤波后进行转换,输出其它电路需要的 1.2 V、1.8 V、2.5 V、3.3 V、隔离 5 V 等二次电源。

1.3 DSP 控制器及其外围电路

DSP 控制器及其外围电路主要包括 DSP 控制器及其工作必须的晶振、复位电路等,是网关的控制核心。DSP 控制器采用了 TI 公司的 TMS320F28335 芯片,是一款高性能的 32 位浮点 DSP 处理器,最大主频可达 150 MHz^[5]。

DSP 控制器通过自身的 XINTF 接口与 FPGA 控制器进行数据交互,调用 FPGA 实现的驱动函数,将 FPGA 接收到的数据读入到 DSP 中,或者将需要发送的数据写入到 FPGA 中,实现以太网和 CAN 总线数据的收发。

DSP 控制器通过其内部嵌入式软件实现了网关数据解析、过滤、转发的策略,根据其内部策略,对接收的 CAN 或以太网数据进行解析,并对需要转发的数据进行分包处理,再转发到特定的 CAN 或以太网通道,实现网关功能。

采用 MAX706 产生上电复位信号,FPGA DONE 输出引脚也连接至 MAX706/MR 引脚,当配置 FPGA 结束后 DONE 引脚置高电平,MAX706 经过 200 ms 后将/RESET 引脚置高电平使 DSP 开始运行。

1.4 FPGA 控制器及其外围电路

FPGA 控制器及其外围电路主要包括 FPGA 控制器及其工作必须的晶振、复位、配置电路、JTAG 电路等,实现 CAN 总线、以太网总线基本的收、发功能。FPGA 控制器采用了 Xilinx 公司的 XC4VLX60,为 Xilinx Vertex-4 系列 FPGA,含有 59904 个逻辑单元 (logic cell),2880Kb RAM 存储空间^[6]。

FPGA 控制器内部例化了 6 个 CAN IP 核,实现了六路 CAN 总线控制器,CAN IP 核在功能与接口方面与 SJA1000 芯片相同。通过 CAN IP 的方式可以减少芯片数量,降低成本,并且降低印制板布线的难度,提高可靠性。通过 FPGA 的相应对外引脚与 CAN 总线收发电路相连,实现六路 CAN 总线功能。

FPGA 控制器内部实现了一路 Microblaze 软核,运行 lwIP 以太网协议栈,实现以太网的 MAC 层 (Media Access Control, 介质访问控制层) 功能,通过 MII 接口 (Media Independent Interface, 介质独立接口) 与以太网收发电路相连,实现以太网总线接口功能。

LwIP 是瑞士计算机研究院的一种开源的 TCP/IP 协议栈

实现, 其实现重点是在保持 TCP/IP 协议主要功能的基础上减少对内存的占用, 数十 KB 的 RAM 和 Flash 便可使其良好运行, 这样就可以让 Lwip 适用于资源有限的小型平台。LwIP 支持的主要协议有 ARP、IPv4、ICMP、TCP、UDP 等^[7]。

1.5 CAN 总线收发电路

CAN 总线收发电路主要包括隔离电路、CAN 收发器电路、TVS 保护电路等, 将 FPGA 控制器的 CAN 接收和发送信号转换为符合 CAN 协议要求的 CAN 差分信号, 是 CAN 控制器和物理总线之间的接口。采用磁隔离电路可以将 FPGA 控制器与总线信号电气隔离, 结合 TVS 保护电路可以使 FPGA 控制器在静电和瞬态高电压等情况下不受损坏。

CAN 总线驱动器选用 TJA1050 驱动芯片, 具有更高的 ESD 能力、更高的共模工作电压、更高的 CAN 总线速度等优点^[8]; 隔离芯片选择磁隔离技术, ADuM1402 芯片为 2 发 2 收结构, 适合通讯需要^[9]。

磁隔离电路和 CAN 总线收发电路如图 3 所示。

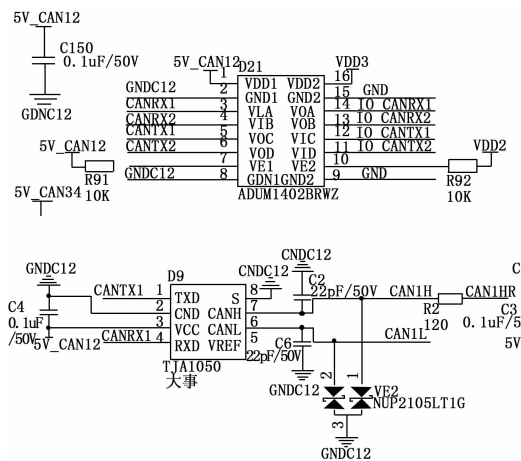


图 3 磁隔离电路和 CAN 总线收发电路

1.6 以太网收发电路

以太网收发电路包括以太网 PHY 及变压器隔离电路, 以太网 PHY 芯片选择 SMSC 公司的 LAN8740A, 该芯片是物理接口收发器, 发送数据时, 将 MAC 层发送过来的并行数据转化为模拟信号发送出去, 收数据时的流程反之。PHY 也能实现载波监听多点接入/碰撞检测功能^[10]。

隔离变压器通过电磁场的转换将 PHY 的差分信号耦合到网线的另外一端, 对内部电路起到隔离、保护的作用。

1.7 RS232 收发及串口 BOOT 配置电路

RS232 收发及串口 BOOT 配置电路包括磁隔离电路、RS232 收发器电路、TVS 保护电路以及串口 BOOT 配置电路。通过串口 BOOT 配置电路, 可以将 DSP 控制器配置为串口 BOOT 模式, 然后使用 SDFlash 软件, 通过 RS232 通信接口, 即可更新 DSP 控制器内的应用软件, 从而对网关的数据解析、过滤、转发策略进行重新编程和配置。

2 软件设计

2.1 FPGA 软件设计

FPGA 软件运行在 FPGA 控制器上, 主要实现基本的数据收、发功能, 具体如下:

(1) CAN 数据收发: FPGA 软件内部例化 6 个 CAN 总线控制器 IP 核, 并产生 CAN IP 核的读写时序, 实现 FPGA 读取 CAN IP 核内部寄存器、写 CAN IP 核内部寄存器、接收一帧 CAN 数据和向 IP 核发送一帧 CAN 数据四个 CAN 总线控制功能, 同时向 DSP 提供 CAN 数据的接收和发送中断信号。

(2) 以太网数据收发: FPGA 软件内部例化一个 MicroBlaze 32 位处理器软核, 软核中运行以太网控制器的驱动和 LwIP TCP/IP 协议栈。软核上还运行以太网执行程序, 用于在 DSP 和 LwIP 之间传递数据。网关以太网收发的软件架构如图 4 所示, 应用层的数据由运行在 DSP 上的以太网代理程序经由 XINTF 和 comregs 交给运行在 MicroBlaze 上的以太网执行程序, 以太网执行程序再调用 lwip 协议栈将数据发送到网络上, 网络上的数据则通过相反的路径交给应用层。

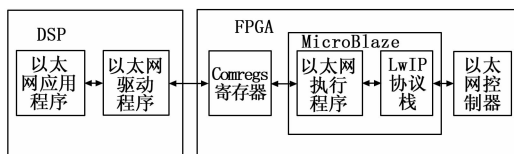


图 4 网关以太网收发的软件架构

(3) XINTF 总线接口: FPGA 软件实现了和 DSP 的 XINTF 总线接口逻辑, 完成 DSP 和 FPGA 之间的数据交互。

2.2 DSP 软件设计

DSP 控制器作为多协议网关的控制核心, 调用 FPGA 实现的收发驱动函数实现以太网和 CAN 数据的接收, 并根据特定的转发策略对接收数据进行解析、过滤和转发。

DSP 软件架构采用轮询加中断方式: 轮询方式用于处理数据接收, 如图 5 所示, 在主循环中依次调用车控网段接收处理、供电网段接收处理、底盘网段接收处理和以太网段接收处理, 如果查询到有数据接收则进行相应过滤和转发, CAN 数据接收处理流程图如图 6 所示; 中断方式用于处理数据周期发送, 利用定时器中断周期发送部分传感器数据。

3 试验结果与分析

3.1 转发实时性

向多协议网关的 CAN 通道或以太网通道发送数据, 转发到其它的 CAN 通道或以太网通道, 通过示波器测量转发的延时时间, 验证多协议网关的转发实时性, 具体结果见表 1 所示。

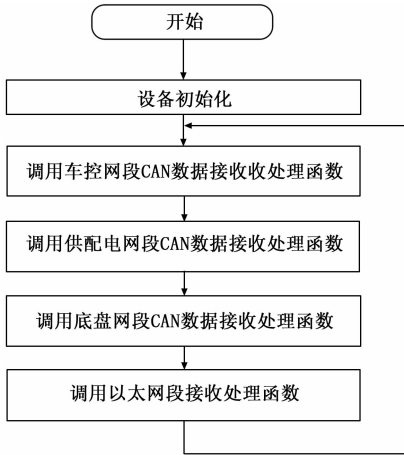


图 5 DSP 软件主循环流程图

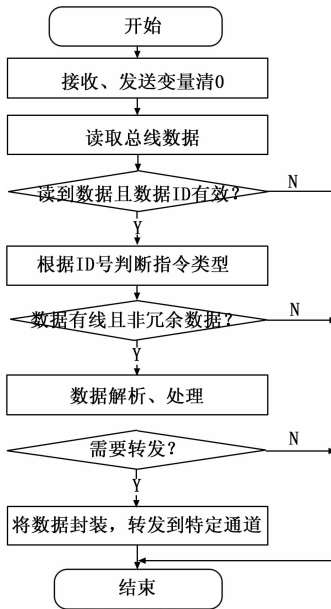


图 6 CAN 数据接收处理流程图

表 1 转发实时性

| 序号 | 数据流方向 | 转发总延时 | 处理时间 | 发送时间 |
|----|-----------|-------|-------|-------|
| 1 | CAN 转 CAN | 630us | 210us | 420us |
| 2 | 以太网转 CAN | 528us | 108us | 420us |
| 3 | CAN 转以太网 | 128us | 122us | 6us |

其中：通过一个 CAN 通道接收数据，经过处理后转发到另一个 CAN 通道的波形图如图 7 所示，上方波形为接收数据波形，下方波形为发送数据波形。

3.2 高负载率压力测试

向多协议网关的单个 CAN 通道循环发送 CAN 数据，同时转发到其它 CAN 通道和以太网通道，不断调整 CAN 总线发送的负载率，并监测网关转发的 CAN 和以太网数据，当负载率接近上限 100% (2 000~2 500 帧/秒) 时，网关可靠转发数据。

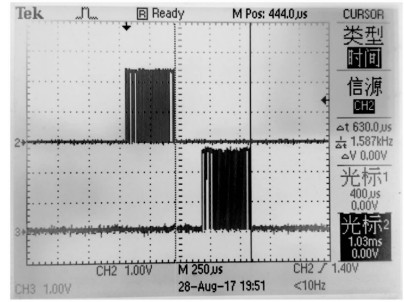


图 7 CAN 总线转 CAN 总线转发波形

向多协议网关的多个 CAN 通道同时循环发送 CAN 数据，同时转发到其它 CAN 通道和以太网通道，不断调整 CAN 总线发送的负载率，并监测网关转发的 CAN 和以太网数据，当各 CAN 通道负载率均接近上限 100% (2 000~2 500 帧/秒) 时，网关仍可靠转发数据。

向多协议网关的以太网通道循环发送不同字节长度的数据，并不断调整发送数据的速度，测试以太网高速接收的可靠性，测得在不同字节长度下，以太网接收极限性能如图 8 所示。

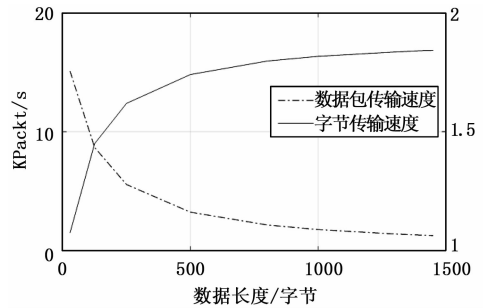


图 8 以太网接收的极限性能

4 结论

本文实现的多协议网关具有六路 CAN 总线接口，一路以太网接口，一路 RS232 接口，能够接收多种通信接口的多种协议的总线数据，并根据协议或策略进行解析、过滤及转发。该多协议网关具有通信接口种类多、数量多的特点。由于核心控制器采用了 DSP+FPGA 架构，并使用嵌入式软件编程实现网关功能，数据转发实时性强，可靠性高，在高总线负载时仍能可靠转发数据。并且数据解析、转发规则可编程设定，灵活性高，能够适应不同的应用需求。

参考文献：

[1] 张素伟, 王志刚, 王 红, 等. 基于 Infineon 单片机的 CAN 网关研究 [J]. 电子技术应用, 2009 (12): 125-127.
 [2] 李广鑫, 秦贵和, 刘文静, 等. CAN 总线网关的设计与实现 [J]. 吉林大学学报 (信息科学版), 2010, 28 (2): 166-171.
 [3] 刘晓莉, 高 军, 赵延明. 基于 ARM 的以太网与 CAN 总线互连网关的设计 [J]. 工业控制计算机, 2007, 20 (4): 15-16.