

试
验
检
测基于 SOPC 技术的 MVB 网卡在分布式
车载故障检测记录系统中的应用

宋 娟, 王立德, 严 翔, 申 萍

(北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044)



摘 要：针对现有分布式车载故障检测记录系统所用控制器局域网(CAN)不适合用作车辆总线的情况, 提出采用多功能车辆总线(MVB)的方案。详细阐述了系统结构改造及工作原理转换等关键设计理念, 设计了一种基于 SOPC(可编程片上系统)技术的多功能接口 MVB 网卡, 给出其软硬件实现方案, 最终在实验室进行组网测试, 验证了设计的正确性和可行性。改造后的系统网络传输距离更远、速率更高, 并且具有较好的实时性和可靠性。

关键词：分布式车载故障检测记录系统; MVB; CAN; SOPC

中图分类号：TP277; TP393 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-128X(2012)02-0059-03

作者简介：宋 娟(1984-), 女, 博士研究生, 研究方向为电力牵引与网络控制。

The Application of MVB Adapter Based on SOPC Technology to Distributed
Locomotive Fault Detecting and Recording System

SONG Juan, WANG Li-de, YAN Xiang, SHEN Ping

(School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: According the controller area network (CAN) used in the existing distributed locomotive fault detecting and recording system not suitable for vehicles bus, the scheme using the multifunction vehicle bus (MVB) was proposed. The key design concepts of system structure and operating principle alteration were described in detail, and the multi-function interface MVB adapter based on SOPC (system on a programmable chip) technology was designed. Hardware and software realization of the design was given, and its correctness and feasibility were verified ultimately by the network test in the lab. The improved network has farther transmission distance, higher rates, better reliability and real-time performance.

Key words: distributed locomotive fault detecting and recording system; MVB; CAN; SOPC

0 引言

随着我国铁路提速和高速动车组的迅速发展, 如何保证机车运行的可靠性、安全性以及通信实时性已经成为当前最重要的技术之一^[1-2], 因此, 故障检测、故障诊断与故障数据记录系统已成为现代机车必不可少的一个重要组成部分^[3]。本文所述的分布式车载故障检测记录系统(以下简称为车载故障检测系统)通过对机车关键部件进行故障检测和诊断, 能及时发现并确定故障部位, 记录故障过程; 通过司机室显示屏向司乘人员报警并提示排除故障方法或采取应急措施

的建议。

目前此套系统已经应用在 SS₃ 4000 系 0641 号电力机车上, 采用 CAN 总线进行网络数据通信^[4]。由于在车载故障检测系统中需要传输大量的用于进行设备控制和故障诊断的信息, 因此需要一种大容量、高速度的信息传输系统来保证信息传输的实时性与可靠性。CAN 总线用作车厢总线时要考虑到其通信距离与波特率有关, 需要规划设备布置, 以减小通信连线的距离, 提高波特率, 并且 CAN 总线采用短帧结构, 网络传输的有效利用率比较低^[5]。因此协议相对简单的 CAN 总线并不很适合作为车辆总线, 而多功能车辆总线(MVB)是快速的过程控制总线, 能提供最佳的响应速度, 并且 MVB 已经逐渐成为当代车辆的通信总线标准^[6]。本文论述的是将 MVB 网络应用于现有车载故障检测系统。

收稿日期: 2010-07-30; 收修修改稿日期: 2011-11-24

基金项目: 中央高校基本科研任务专项资金资助项目 (2011JBZ011)

1 设计理念

1.1 系统结构改造

车载故障检测系统包括7个节点：2个司机室显示屏 (DIS), 2个数字量采集模块 (COL), 2个逻辑控制模块 (LCM) 和1个故障检测记录仪 (JCY)。根据网络各节点的功能特点, 本文提出一种包括串行外设接口 (SPI) 和通用异步收发器 (UART) 2种通信接口的MVB网卡设计方法。各节点只需按照应用层协议通过UART/SPI与MVB网卡进行通信, 而不必关心实际的MVB网络通信协议, 简单实用且具有良好的通用性。改造后的系统结构如图1所示。

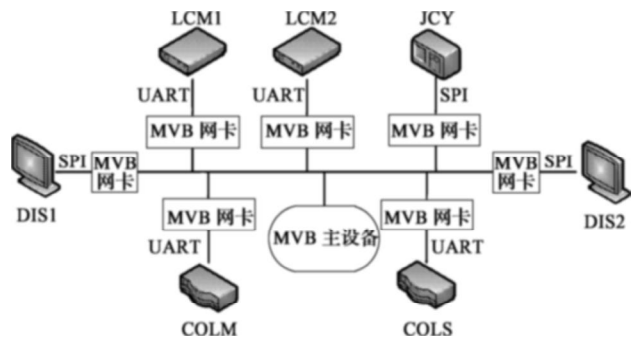


图1 基于MVB网络的车载故障检测系统结构图

1.2 工作原理论述

采用CAN总线的车载故障检测系统为多主网络。各节点的状态采用事件触发和周期轮询的方式更新。一旦各节点状态发生改变, 即主动向网络发送数据。平时由检测仪以较慢的速率 (周期720 ms) 轮询各节点。另外, 为了满足各节点可独立运行, 在较长时间 (大约3 s) 未被轮询时, 节点可主动发送其数据。

MVB网络则是主从网, 根据网络上所传输数据的特性和实时性的要求可将数据分为3类: 过程数据、消

息数据以及监视数据。过程数据的特点是可选择帧长度、实时性高而且传输时间确定。传输机制采用源地址数据广播方式。消息数据传输非实时性的信息, 诸如显示信息、诊断信息和旅客服务信息, 其长度可变, 目标设备寻址, 需要主设备发送一个消息数据请求, 被寻址的设备以一个消息数据响应此请求。监视数据是主设备对网络状态监测、从设备状态检测以及其他管理所用的数据, 采用短帧结构, 偶发性传输。监视数据主要在初运行或网络重构时传递, 因此在列车运行中网络传输的主要是过程数据和消息数据^[7]。

当采用MVB协议时, 系统为单主网络, 各模块的状态信息采用过程数据传输, 故障数据和状态改变数据采用消息数据, 以MVB主设备代替检测仪进行总线的轮询和控制。由于MVB自身速率为1.5 Mbps, 轮询速度和数据传输速度都按照特征周期进行。

1.3 端口分配和周期扫描表

MVB总线负责车辆内部各个设备之间的数据通信, 在运行过程中, 各个设备的地址保持不变。通信采用源设备寻址, 当前主设备 (总线管理器) 根据周期扫描表进行主帧广播, 从设备把收到的地址与自己的地址比较, 如果相同, 则发出从帧响应, 其他设备根据预定的情况, 接收从帧。消息数据对应于设备地址, 而过程数据则对应于端口地址。

本设计采用的基本周期是1 ms, 监视数据不需要实时观测, 故在一个宏周期里查询一次; 消息数据根据具体情况在偶发相期间发送。周期扫描表在启动时由应用程序进行配置。为保证系统运行的可靠性, 系统中有多个总线管理器, 轮流拥有总线主权。根据车载故障检测系统各节点传送数据资源的不同, 将其划分为不同的端口, 如表1所示。

表1 网络设备地址和端口分配表

设备名称	JCY	DIS1	DIS2	LCM1	LCM2	COLM	COLS
设备地址	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07
源端口地址	0x01;0x02	0x11	0x22	0x31;0x32	0x41;0x42	0x51;0x52	0x61
宿端口地址	0x11,0x22,0x31,0x32,0x41,0x42,0x51,0x52,0x61	0x01,0x02,0x22,0x31,0x32,0x41,0x42,0x51,0x52,0x61	0x01,0x02,0x11,0x31,0x32,0x41,0x42,0x51,0x52,0x61	0x01,0x02,0x41,0x42	0x01,0x02,0x31,0x32	0x01,0x02,0x61	0x01,0x02

本设计中MVB基本周期是1 ms, 宏周期包括4个基本周期, 即4 ms, 周期轮询设计如图2所示。在第1个基本周期轮询0x01, 0x11, 0x31, 0x32端口, 第2个基本周期轮询0x01, 0x22, 0x41, 0x42端口, 第3个基本周期轮询0x01, 0x11, 0x51, 0x52端口, 最后一个基本周期轮询0x01, 0x22, 0x61, 0x02端口。

其中JCY的0x01是轮询端口, 具有较高的优先级, 故在周期扫描表中设计为每个基本周期都对其进行轮询; 显示屏的数据量大而且要求实时显示, 所以0x11和0x22的特征周期是2 ms; 其余端口则在每个基本周期剩余时间内交替进行轮询, 其特征周期是4 ms。在4 ms内即可对所有网络端口轮询1次, 可见网络具有较高的实时性。

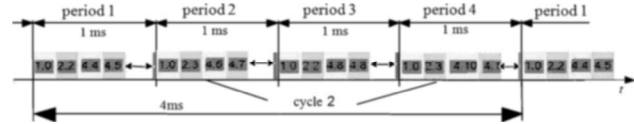


图2 宏循环结构图

每个基本周期轮询4个过程数据端口, 按照MVB协议规定计算, 每个基本周期在网络最不利情况下传输过程数据需时 $22 \times 4 + 102 \times 4 + 4 \times 4 + 42.7 \times 4 = 682.8 \mu s$ 。对于1 ms的基本周期, 剩余时间足够传输偶发的消息数据和监视数据, 所以此设计是合理的。

2 系统设计

本系统采用MVB网络作为通信协议, 为了符合

IEC61375-1 标准,并实现各节点之间的互连互通,每个接入网络的节点都应当具有统一的软硬件接口。MVB 网卡实现物理层信号的传输转换,完成数据链路层的通信规则,主要任务是将网络节点要发送的数据送入网络,或从网络中接收其他节点发来的数据。网卡的软件接口完成 MVB 链路层服务,屏蔽底层协议,为其高层提供透明可靠的链路通路及服务访问接口。

2.1 硬件设计

本设计的 MVB 网卡主控芯片采用 Altera 公司 EP2C8 系列 FPGA,并利用 SOPC 技术,将 MVB 底层控制器、CPU 及其他模块共同集成在一片 FPGA 上,实现了真正的片上系统。此卡可以实现 MVB 双线冗余,并且设计了 ESD (电气短距离)、EMD (电气中距离) 2 种传输介质接口,与传统网卡相比,具有体积小、集成度高、功耗低、易于系统扩展升级等优势。图 3 所示为 MVB 网卡实物图,其大小与银行卡相当。

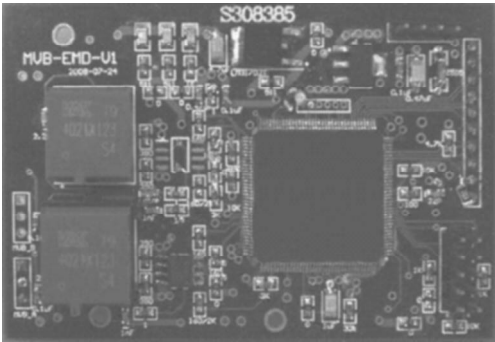


图 3 MVB 网卡实物图

2.2 软件设计

2.2.1 底层设计

MVB 网卡在底层包括 2 个部分:一个是通过 Avalon 总线定制实现的专用处理器,它由 NiosII CPU、MVB IP 软核的 Avalon 接口、控制信号模块、SPI 核和 UART 核集成,表 2 所示为其主要信号接口;另一个是 MVB IP 软核,由 MVB 编解码模块、通信存储器和总线接口部分组成^[8]。

表2 MVB网卡专用处理器模块信号接口

信号	位宽	方向	功能
sys_clk	1	输入	系统时钟
sys_rst_n	1	输入	系统复位
mqsnd_almostfull	1	输入	发送队列满
mrcrv_almostempty	1	输入	接收队列空
avaslv_readdata[7..0]	8	输入	读数据
avaslv_addr[12..0]	13	输出	地址
avaslv_writedata[7..0]	8	输出	写数据
avaslv_rd_n	1	输出	读使能
avaslv_wr_n	1	输出	写使能
SPI_MOSI	1	输入	SPI 数据输入
SPI_MISO	1	输出	SPI 数据输出
SPI_CLK	1	输入	SPI 时钟
SPI_SSN	1	输入	SPI 片选
Uart_Rx	1	输入	串口接收
Uart_Tx	1	输出	串口发送

图4所示为系统SOPC的原理图,其中NiosII CPU主要完成以下2个功能:其一是通过SPI/UART与车载故障检测系统各节点的MCU进行通信;其二是通过Avalon总线接口访问MVB IP 软核,将从网络上接收的MVB数据转换为各节点可识别的内网数据,经过处理再将各个节点发送来的数据转换为MVB格式,从而实现整个网络数据的传输。

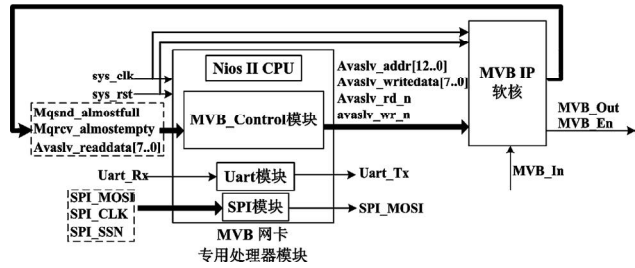


图 4 SOPC 系统原理图

2.2.2 上层设计

由于车载故障检测系统内各节点硬件资源的差别,因此分别采用 UART 或者 SPI 与 MVB 网卡进行通信。图 5 所示为主程序流程图。

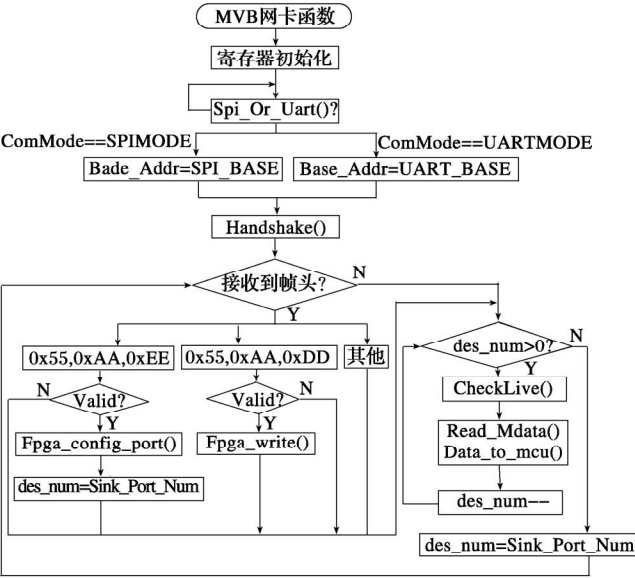


图 5 主程序流程图

3 试验

对现有分布式车载故障检测记录系统进行改造,每个节点配置 1 个 MVB 网卡,在试验室条件下进行了组网测试。经过多项功能测试,试验证明此多功能接口 MVB 网卡设计成功,而且网络数据传输的实时性和可靠性都比原系统有明显提升。采用 EMD 传输介质,在不需要中继器的情况下,达到 185 m 传输线的正确通信。图 6 是试验波形,图中上部分是一个 MVB 宏周期的波形,下部分是放大其中一个 MVB 主从帧响应的波形,实际波形与理论研究一致,每个节点有正确的响应,验证了本设计的正确性。(下转第 81 页)

控制命令则可以对列车上所有的显示器进行程序更新, 如通过轮询的方式发送复位控制命令则可以对列车上的部分显示器进行程序更新。

系统控制器程序运行时, 先发送复位控制命令, 如收到正确回复数据则每隔 0.1s 发送程序更新控制命令, 如收到正确回复数据, 则根据协议将应用程序镜像文件中的有效数据按 1024 字节打包发送, 最后一个包如不足 1024 字节则填 0xff。校验采用 CRC 校验。如超时未收到回复数据或者收到错误的回复数据则重新发送数据。重发最大次数为 3 次。系统控制器软件流程图见图 4。

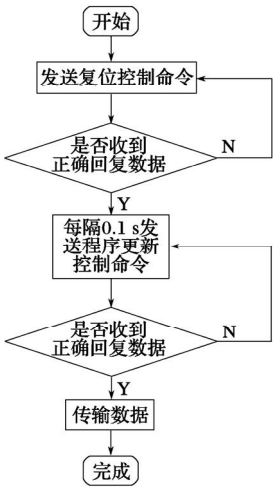


图 4 系统控制器软件流程图

5 与传统程序更新方式相比的优点

传统的程序更新有 2 种方式：

- ①仿真器下载, 这需要有特定的烧写工具和烧写软件, 一般用于调试。
- ②ISP 下载的方式。现在大多数带有片内 Flash 的 Arm7 芯片都具备 ISP 功能。但这种方式只支持串口通信, 在程序的下载过程中还需要设置跳线, 而且 ISP 程

序由芯片出厂厂家写入不可更改, 使用时不能灵活更改。

本文提出的这种程序更新方式, 可以很好地利用乘客信息显示器原来的通信机制, 在系统控制器里实现对程序的更新, 不需要仿真器, 不需要专业的人员, 也不需要多余的接口, 通信方式和通信协议也可以根据通信机制灵活选择。

6 结语

实践证明按照上面的方法编写的起始程序, 能够稳定地接受系统控制器发来的新程序, 并成功烧写进 Flash 区, 实现程序的远程更新。目前烧写该起始程序的乘客信息显示器已实现批量生产。文中虽然以 ARM7 处理器为例, 但对于带片内 FLASH 的处理器应用, 如需用到程序更新, 也具有借鉴意义。

参考文献：

[1] NXP Semiconductor. LPC2000 secondary bootloader for code update using IAP [M/OL]. 2009-05-26[2011-03-15]. <http://www.nxp.com>.
[2] 刘忆辉, 魏银库, 邹 程, 等. 片外 Flash 存储器 IAP 的一种方案 [J]. 北京: 单片机与嵌入式系统应用, 2006(2).
[3] Philips Corporation. LPC2132 Product Data Sheet Rev04 [M]. Holand: Philips Corporation, 2007.
[4] Philips Corporation. Volume 1:LPC213X User Manual Rev.0 1 [M]. Holand: Philips Corporation, 2005.
[5] 胡秀丽. 基于 ARM7 片内 Flash 的两种软件升级方案 [J]. 电脑学习, 2010(2).

(上接第 61 页)

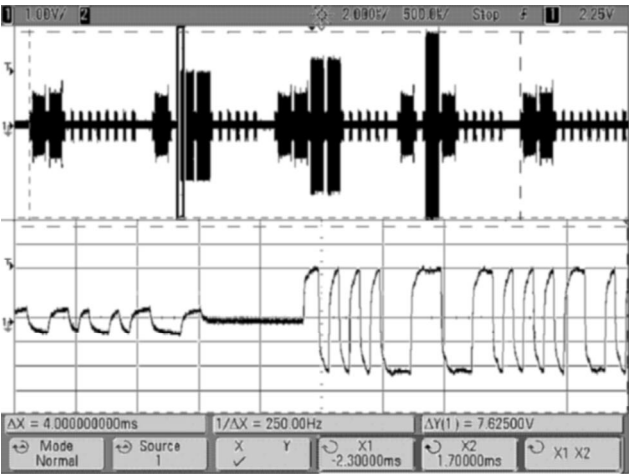


图 6 试验波形

4 结论

本文提出了一种基于 SOPC 技术的多功能接口 MVB 网卡的设计, 并结合其在分布式车载故障检测记录系统上的应用展开讲述。此系统已在试验室运行测试完毕, 并完成与国外 TCN 产品的一致性测试, 新系统网络通信正确, 具有较好的实时性和可靠性。基于

MVB 网络通信技术的列车网络控制是目前中国铁路网络控制技术发展的主流技术之一, 本文的设计具有一定的创新性, 在铁路机车上有良好的应用前景。

参考文献：

[1] 王树宾. 动车组列车通信网络及其可靠性设计 [J]. 铁道车辆, 2007, 45(10): 20-22.
[2] 黄采伦. 基于 TCN 的网络化旅客列车轮对状态在线监测系统 [J]. 湖南科技大学学报: 自然科学版, 2007, 22(2): 68-72.
[3] 王立德. 机车瞬间故障检测诊断记录系统的设计与运用 [J]. 铁道学报, 2002, 22(2): 16-19.
[4] 王苏敬. 列车用 CAN 总线应用层协议研究与实现 [J]. 北京交通大学学报, 2008, 32(5): 102-106.
[5] 钱存元. CAN 总线在列车微机控制系统中的应用 [J]. 机电传动, 1999(2): 8-10.
[6] IEC. IEC61375-1: 2007, Electric Railway Equipment-Train Bus Part1: Train Communication Network [S]. 2007.
[7] 柴庆芬. 一种高性能实时通信总线研究和实现 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
[8] Yongxiang Wang. Design and Implementation of MVB Controller Using SOPC Technology [C] //2007 Second IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. Harbin:IEEE, 2007: 2 666-2 669.