

# 基于光纤和 FPGA 的高速串行实时通信总线设计

Design of high-speed serial real-time communication bus based on FPGA and fiber

涂天祥, 黄剑锋, 王清阳, 裴海龙

TU Tian-xiang, HUANG Jian-feng, WANG Qing-yang, PEI Hai-long

(华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广州 510640)

**摘要:** 高速串行的实时通信是 CNC 控制技术的研究方向和研究热点。本文介绍了自主研发的高速串行实时通信总线, 其中重点阐述了总线的硬件架构设计, 对总线通信协议和总线驱动程序开发做了简要介绍。并在实际数控系统中检验了总线的有效性。

**关键词:** 高速串行实时通信总线; 光纤; FPGA; 数控系统

中图分类号: TN913

文献标识码: B

文章编号: 1009-0134(2009)06-0086-03

## 0 引言

随着数字伺服装置的发展, 控制单元与数字伺服装置的数据通信成为一个关键问题, 采用高速串行实时通信是发展方向和研究热点。目前国内在该领域的研究和应用尚处于起步阶段, 无法与国外主流技术(如 SERCOS)抗衡, 而国外软硬件产品技术附加值高、价格昂贵, 不利于在国内自动化领域中推广使用<sup>[1]</sup>。高速串行实时通信总线(High-speed Serial Real-time Communication Bus, HSRCBUS)就是为了满足底层设备间通信的高实时性、高可靠性要求, 为了掌握自主知识产权而成立的。

## 1 高速串行实时通信总线概述

现场总线中的“运动控制现场总线”, 是连接控制系统操作端进行驱动或是输入控制信号的设备(如 I/O 或传动装置等)的网络。运动控制现场总线注重多台伺服器间的精确同步控制和高速性, 具有代表性的有 SERCOS、MECHATROLINK 等<sup>[2]</sup>。我们开发的 HSRCBUS 也属于运动控制现场总线。

HSRCBUS 采用主从站环形网络拓扑结构, 非常适合工业加工现场的分布式控制。主从站之间采用光纤作为通信介质, 因此控制器和驱动器之间传送光信号, 从而有效地排除了传输过程中的噪声干扰。控制器与光纤环之间的连接件称为主站, 主站

指挥和控制一个环上的所有通信。驱动器与光纤环之间的连接件称为从站<sup>[3]</sup>。主站通过光纤通道将数据和控制信号发往各个从站, 各个从站将反馈数据发回主站, 送到控制器处理。其中, 一个通信环路中可以有多个从站连接伺服驱动器、变频器或步进电机驱动器进而控制电机, 可以有一个从站做为专门的 I/O 从站连接输入控制信息设备。图 1 为 HSRCBUS 基本结构示意图。每个站点都是环路上的一个节点, 数据在环路上按照图示的流向单向传输。为避免环路上的数据冲突, 各站点分时占有数据发送权。表 1 为 HSRCBUS 和 MECHATROLINK- II 通信规格对比<sup>[2]</sup>。

表 1 HSRCBUS 和 MECHATROLINK- II 通信规格对比

通信规格	HSRCBUS	MECHATROLINK-II
传输介质	光纤	双股绞合屏蔽线
拓 扑	环形	总线
最小站间距离	0.3 米	0.5 米
最大传输距离	100 米	50 米
连接站数	127 个	30 个
通信周期	1ms	250us-8ms
编码方式	4B/5B 编码	曼切斯特编码
帧 长 度	28 字节	17 字节/32 字节 可选
传输速度	10Mbps	10Mbps

收稿日期: 2008-10-22

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(60736024)

作者简介: 涂天祥(1984 - ), 男, 研究生, 主要研究方向为数控技术。

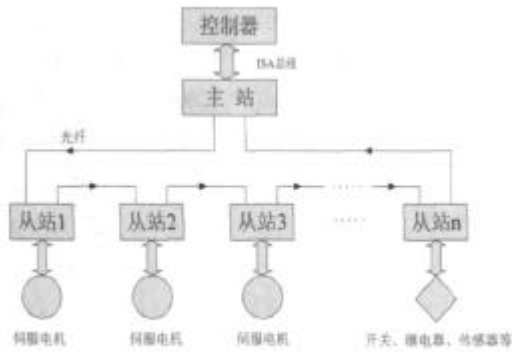


图1 HSRCBUS基本结构示意图

## 2 硬件设计

### 2.1 主站设计

主站直接与控制器相连，指挥和控制环路上的所有通信。硬件部分主要实现与控制器的连接以及主站通信协议的运行。主站硬件主要由电源、主站协议电路、光收发器、面板控制电路等组成。其中主站电路的协议芯片选用某公司的Cyclone系列的FPGA，光收发器选用某公司的单模收发器RTXM135。基于FPGA的主站硬件结构，如图2所示。

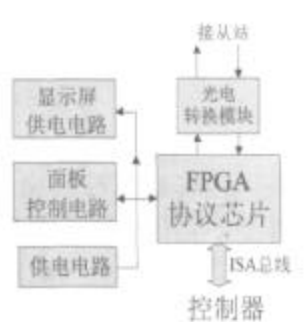


图2 HSRCBUS主站硬件结构图

FPGA 做为核心器件，用于实现 HSRCBUS 物理层和数据链路层协议，FPGA一组I/O端口定义为标准ISA接口，并通过ISA接口实现与控制器的数据交换，另外一对I/O端口与光电转换模块相连，通过光收发器让来自控制器的数据或控制信号和从站的反馈信号完成通信。面板控制电路，基于单片机实现对数控机床操作面板的按键功能的定义和控制。显示屏供电电路，通过高压包升压，向数控机床操作平台的液晶显示屏提供工作电压。

### 2.2 从站设计

#### 伺服从站设计

由于HSRCBUS采用主从结构，而从站又可用于连接伺服器和外部I/O设备，因此对于从站硬件

设计也分为两个部分，首先介绍伺服从站设计，下一小节介绍I/O从站设计。伺服从站与伺服器直接相连，并加入环路实现对伺服电机的控制。伺服从站硬件主要由电源、从站协议电路、光收发器、D/A转换电路等组成。其中D/A采用某公司的16位串行D/A转换器DAC714。基于FPGA的伺服从站硬件结构，如图3所示。

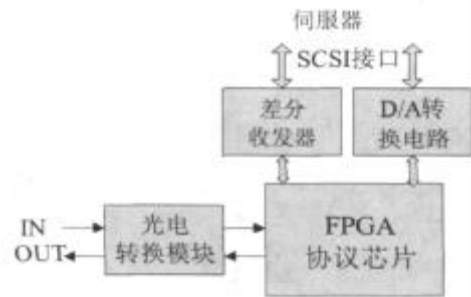


图3 HSRCBUS伺服从站硬件结构图

FPGA中运行伺服从站协议，其一组I/O端口与D/A转换器和差分收发器相连，并通过SCSI接口连接伺服控制器，其一对I/O与光电转换模块相连，实现伺服电机与主站控制器之间的数据交换。

### 2.3 I/O从站设计

I/O从站与开关、继电器和传感器等直接相连，并加入环路实现对外部信号的响应和处理。I/O从站硬件主要由电源、从站协议电路、光收发器、I/O接口电路等组成。基于FPGA的I/O从站硬件结构，如图4所示。

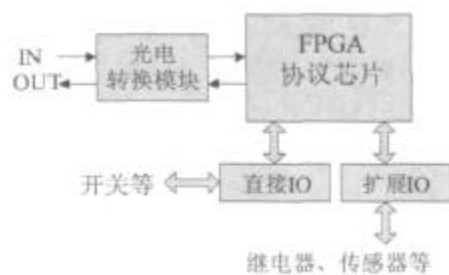


图4 HSRCBUS I/O从站硬件结构图

FPGA中运行I/O从站协议，其一组I/O端口通过直接IO接口与开关等器件相连，另一组I/O端口通过扩展IO接口与继电器、传感器等器件相连，其一对I/O与光电转换模块相连，实现外部控制信号与主站控制器之间的数据交换。

## 3 通信协议设计

HSRCBUS协议包含4层，分别是：物理层、数

据链路层、网络层和应用层,其中物理层、数据链路层和网络层在FPGA中实现,应用层由应用软件实现。在协议设计上采用分层的自顶向下的模块化设计思想和主从协议分离设计思想,先根据整体要实现的功能,划分各个功能模块,定义各个模块的接口,确定各个模块的关系,然后把每一层封装成一个大模块,供上一层模块调用。HSRCBUS协议模块化结构,如图5所示。



图5 HSRCBUS协议模块化结构

按照HSRCBUS协议结构,在物理层,主要封装成IN模块和OUT模块,这两者共同完成HSRCBUS协议中物理层的工作。前者负责数据接收及相关模块的工作,后者负责数据发送及其相关模块的工作;在数据链路层,用一个INOUT模块来封装,它调用了物理层的IN模块和OUT模块,再加上链路层的其他功能如计数器模块等

根据主从协议分离思想,在网络层,HSRCBUS协议分为主站部分、伺服从站部分和IO从站部分,他们分别固化在各自的协议芯片中,其中主站协议控制整个系统的工作流程,即通信环路的启动、测试、同步、数据传输等命令均由主站发出。相对于从站,主站拥有总线控制权。从站协议之间关系对等,相对于主站他们的区别在于每个从站分配的ID不同。各个从站定义了一个7位地址寄存器用于存放ID号。

## 4 总线驱动程序开发

HSRCBUS协议在硬件平台调试成功后,可以编写运行于控制器中的控制程序和驱动程序<sup>[4]</sup>。程序是在内核为2.4.18的Linux操作系统下用C语言编写。整个HSRCBUS驱动程序包括3大部分,它们的任务是正确初始化FPGA,建立通信链路。

## 5 总线在HL—B0408数控系统中的应用

HL-B0408数控系统是学院数控研发团队开发

的一款高性能,高精度的数控系统,为了检测高速串行通信系统的稳定性和可靠性,我们将HSRCBUS应用在HL-B0408数控系统中。其通信周期为1ms,在一个周期内能够完成控制器对所有伺服装置的速度指令更新,以及各个伺服装置往控制器的位置值反馈。有效通信速度为5.33Mbps。HSRCBUS应用在数控系统中,加工代码连续24小时稳定运行,总线数据帧抖动为1ns。总线的有效性、稳定性和实时性得到某公司资深工程师认可。基于HSRCBUS的数控系统运行情况,如图6所示。



图6 基于HSRCBUS的数控系统运行图

## 6 结论

本文提出的高速串行实时通信总线(HSRCBUS)成功应用于HL-B0408数控系统中,它满足高实时性、高稳定性的性能要求,总线结构具有简便性和灵活性特点,成本合理。通过提高时钟和通信周期带宽的利用率,进一步提升有效传输速率,HSRCBUS有着广阔的应用前景和推广空间,为实现在高速串行实时通信领域掌握自主知识产权奠定了基础。

参考文献:

- [1] 焦莹. 数控系统高速串行通讯协议及其验证平台的建模与设计[D]. 广州: 华南理工大学, 2008.
- [2] MECHATROLINK Members Association. MECHATROLINK介绍[EB/OL]. <http://www.mechatrolink.org>.
- [3] 陈卫福, 杨建武. 开放式数控系统及SERCOS接口应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 16-17.
- [4] 邹极, 尹旭峰. 数字伺服通信协议SERCOS驱动程序设计及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 102-103.