DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.10.023

基于 CPLD 的旋转联接部件信号传输控制系统设计*

顾文斌,王 怡
(河海大学 机电学院,江苏 常州 213022)

摘要:针对固定部分的控制器与外部旋转执行机构之间的信号传输问题,对旋转联接部件信号传输控制系统的电路构成、控制模块与信号通信编解码等方面进行了研究,对旋转联接部件中的光通信过程进行了归纳,提出了一种以大规模可编程控制芯片 CPLD 为通信控制硬件核心,以激光作为数据通信载体的包含了控制信号接收、信号编码、光电转换、信号解码、信号反馈等多个功能模块的高速双向数据传输系统,并搭建了旋转联接部件实验平台对其中的旋转过程中信号传输的数据正确率和光信号传输的损耗率进行了测试。研究结果表明,基于大规模可编程控制技术的旋转联接部件信号传输控制器具有结构简单、工作性能可靠、光信号损耗小等优点,具有很强的实际应用价值。

关键词:旋转连接器;CPLD;信号传输控制;VHDL
中图分类号:TP273 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-4551(2016)10-1272-05

Design of signal transmission system of rotary joint component based on CPLD

GU Wen-bin, WANG Yi
(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China)

Abstract: Aiming at the problem of the signal transmission between the fixed control system and the external rotation executive mechanism, a research included the circuit structure, control module and signal was done, and the optical communication technique was applied to the signal transmission system of rotary joint component. Using the technique of large-scale programmable controller, a signal transmission system of rotary joint component which included control signal reception, signal encoding, photoelectric conversion, signal decoding and signal feedback was designed. This high-speed bidirectional signal transmission system used the CPLD chip as the communication controller and laser signal as the communication channel. A prototype system was developed to test the data accuracy and optical signal loss in the process of the signal transmission. The results indicate that this signal transmission system has simple structure, more reliable, lower optical signal loss and applicable.

Key words: rotary joint component; complex programmable logic device (CPLD); signal transmission control; VHDL

0 引 言

随着自动化控制技术的发展,很多场合都需要在一个相对旋转的连接部件中传递信号或能量,比如军事领域中的火控和雷达等系统和民用领域中的医疗 CT 和石油钻井平等[1-3]。传统的实现方法就是通过电滑动环(electrical slip ring)的形式来实现,但因其体积大,传输效率低且易受干扰,无法满足现代系统的信号传输需求[4-5]。而随着光纤技术的不断发展,以光做为信号的传输载体已经成为可能,不断涌现的光纤器件也为旋转联接部件的信号传输装置的设计提供了更多的选择[6-8]。

因此,本研究利用光波带宽大和电磁兼容性好的特性,以大规模可编程控制器为通信控制核心,将光/电信号转换处理技术与光纤连接技术相结合,设计基于 CPLD 的旋转连接部件信号传输控制系统,为解决

收稿日期:2016-05-09
基金项目:国家自然科学基金青年资助项目(51505126);江苏省常州市科技计划资助项目(CJ20159052)
作者简介:顾文斌(1980-),男,江苏连云港人,博士,讲师,主要从事智能制造与智能控制方面的研究. E-mail: 20021592@hhu.edu.cn

旋转连接部件之间稳定、高速、可靠的信号传输提供一套切实可行的解决方案。

1　信号传输系统结构及功能

在旋转连接部件信号传输系统中,其中一部分是与计算机连接的固定部分,其接收上位机发出的数据或控制信号,由以 CPLD 为核心的通信控制板以异步串行的方式发送到光电转换电路,将其调制转换为光信号并由激光器发出;而另一部分则为旋转工作部分,其由单纤双向收发器接收对面发来的光信号,并通过光电转换电路将其解调成电信号,经由以 CPLD 为核心的通信控制板接收,并将其发送给执行机构控制器,进而驱动执行机构动作。同理,执行机构所采集到各种数据、声音、图像等信息也通过相同的途径反馈回上位机,以便上位机可以做出实时的响应。

系统总体框图如图 1 所示。

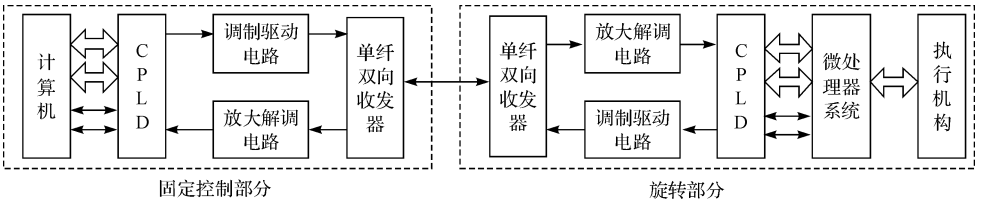


图 1　系统总体框图

2　通信控制系统工作原理

通信控制系统中的硬件核心就是基于 CPLD 的通信控制电路的设计,其主要功能包括信号采集、信号解码、数据校验、数据缓存、串并/并串转换、信号编码、数据发送等,其数据通信协议为异步通信协议。该系统采用的是 XILINX 公司的 XC95000 系列的 CPLD 来实现上述功能,利用其高集成度的优势和硬件描述语言(VHDL)的便利,将上述多个电路功能均集成到 CPLD 中实现,其具体的结构功能框图如图 2 所示。

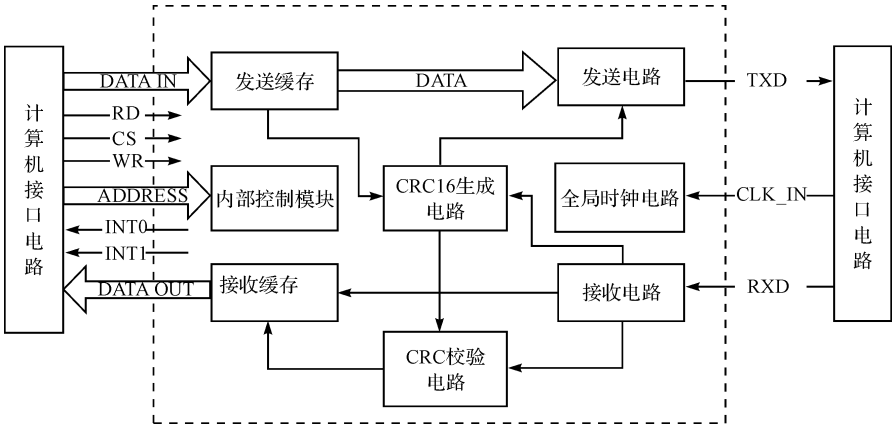


图 2　通信控制系统基本结构

由图 2 中可以看出,通信控制系统的基本结构,其主要任务就是完成数据的发送和接收工作。系统发送工作过程如下:当通信控制系统启动后,上位机发送指令,通信控制模块中的 I/O 口接收到并口发来的数据信号,CPLD 模块对其进行确认。确认无误后,产生 Enable 信号,打开数据缓冲器,由数据总线将并行口送来的数据存到“发送数据缓冲器”中。当数据缓冲器满后,则会自动发出中断信号通知上位机停止发送数据,而此时,数据缓冲器开始将缓冲器中的数据并行传输到发送电路上,由发送控制电路和发送时钟按照异步通信协议要求的格式,将其转换成串行序列,送入编码电路,最后在通过 TXD 信号线将数据信息发出去。

系统进行接收工作时,接收电路中的采样电路以 16 倍波特率的采样频率对 RXD 引脚进行监视,并按照规定好的异步通讯协议对采样到的信号进行译码,然后再将译码后得到的数据信息传往接收电路;接收电路接收到采样电路传来的数据后,先将其存入 8 bit 的“接收移位寄存器”,并对其进行判断,若寄存器中数据为“01111110”(起始标志字)时,则认为其后续数据信息为有效信息,对其进行读取并存入接收电路的数据缓冲器中;当连续接收到一帧字符后,按协议规定对其进行检验,若校验码无误且没有帧错误,则认为其为有效数据将其并行传送到“接收数据缓冲器”中,当缓冲器中数据存满后,则向上位机发送中断请求信号,上位机通过中断来取走接收到的信息,并清空“接收数据缓冲器”。

3 基于 VHDL 硬件语言的通信功能实现

该设计采用 XILINX 公司提供给的专用编程工具 ISE Design Suite 13. X 作为编程环境,使用 VHDL 语言编程与原理图表述的方式相结合来实现通信控制系统的控制功能。按照模块化设计的原理,该设计将控制系统功能分为 4 大模块进行编写,分别是地址译码模块 Addinout,发送电路模块 Txmit,接收电路模块 Rec-search 和波特率发生器模块 Fre16,其中每个模块单元均由若干个实现不同功能的次级 VHDL 设计文件构成。通过这样的逐级分解功能的模块式编写方式,可以有效地降低控制系统的总体复杂度,利于代码的编写和程序的调试。最后,再利用原理图的方式将各个功能模块之间的逻辑关系综合起来,完成最后的设计,其总的原理图如图 3 所示。

3.1 地址译码模块

在地址译码模块(Addinout)在整个程序中的作用就是实现 CPLD 与微处理器系统之间的信息交互。在本模块中,利用原理图编译的方式根据读写信号及地址线 A0、A1 的值的不同,双向数据传输口(datainout)连接的数据缓冲单元也不同。当 A0、A1 的值为“00”时,datainout 连接到发送数据缓冲单元 tfifo 上,将其中的数据读出,等待数据发送出去,其表现为输出口功能;而当 A0、A1 的值为“10”时,datainout 连接到接收数据缓冲单元 rfifo 上,将接收到的数据存入其中,其表现为输入口功能。

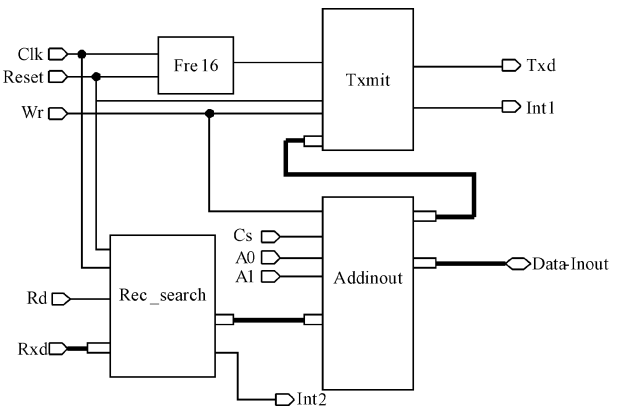


图 3 异步通信控制器原理图

3.2 发送电路模块

发送电路模块(Txmit)是该设计的核心模块之一,其根据数据发送功能需要又分为以下 5 大模块分别进行了程序编写,主要有:数据选择开关模块、发送缓冲单元模块、CRC 校验电路模块、串并转换模块和信号编码模块,其相互之间的逻辑关系图如图 4 所示。

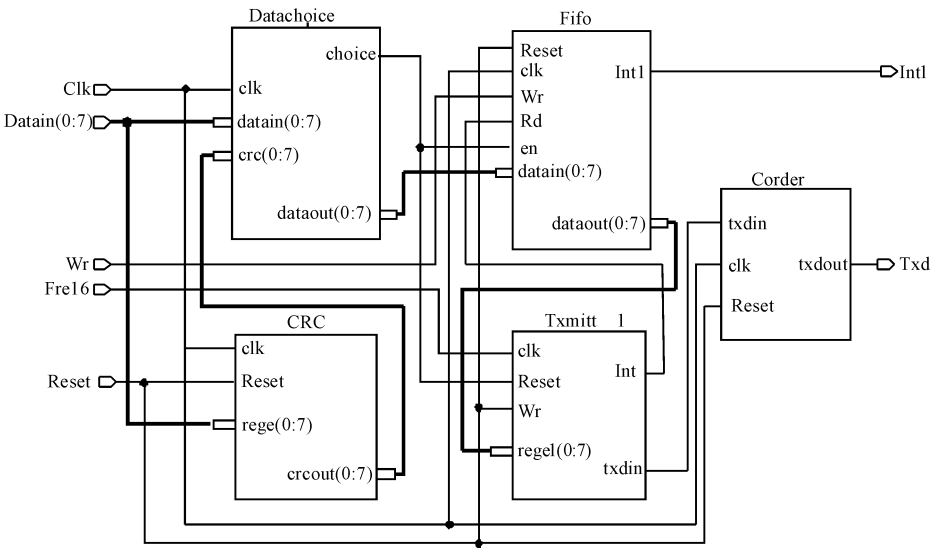


图 4 发送电路模块

当发送电路模块工作时,微机系统首先将待发送的数据分批发送缓冲单元模块 Fifo,同时由 CRC 校验电路模块根据公式对这些数据进行验算,当一段数据信息写完后,将生成的 CRC 校验码附在该数据包后面,因此,在发送数据之前,还需要一个数据选择开关模块 Datachoice 来准确地连接不同的数据模块,即发送缓冲模块 Fifo 和 CRC 校验码生成模块。最后,通过串并转换模块 Txmitt1 进行转换并由信号编码模块 Corder 编码后发送出去。

3.3 接收电路模块

接收电路单元(Rec-search)主要是有 5 个模块组成:信号解码电路 deeoder、串并转换电路 rec、CRC 校验电路、数据选择开关 datachoiee 和收数据缓冲器 fifo。接收器开始工作时,首先要由信号解码电路 deeoder 模块将收到的经过 ZFSK 调制的信号 rxdin 恢

复成原有的数字数据信息,然后,经串并转换电路 rec 模块将串行数据转换为以字节为单位的数据输出,并同时进行 CRC 校验码的计算和校验。当一帧数据传送完毕后,CRC 校验无误,则由接收数据缓冲器发出信号,将数据发送到外部系统中。

其相互逻辑关系及其连接顺序如图 5 所示。

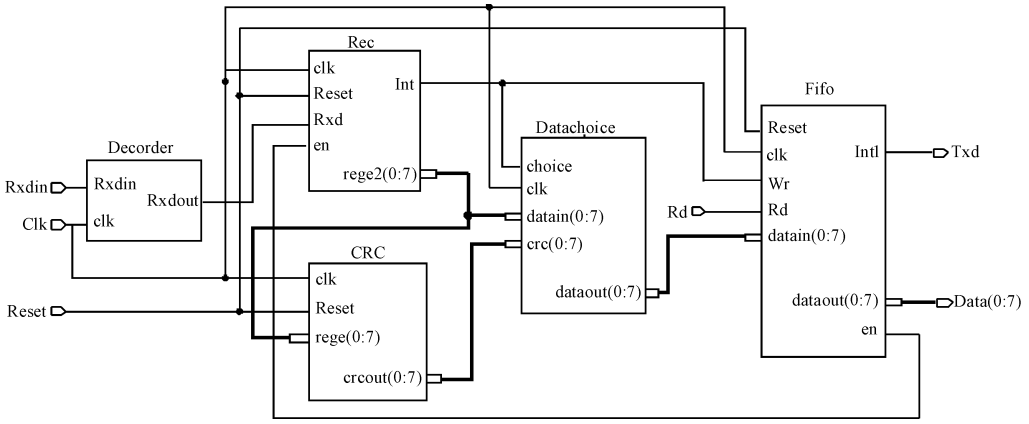


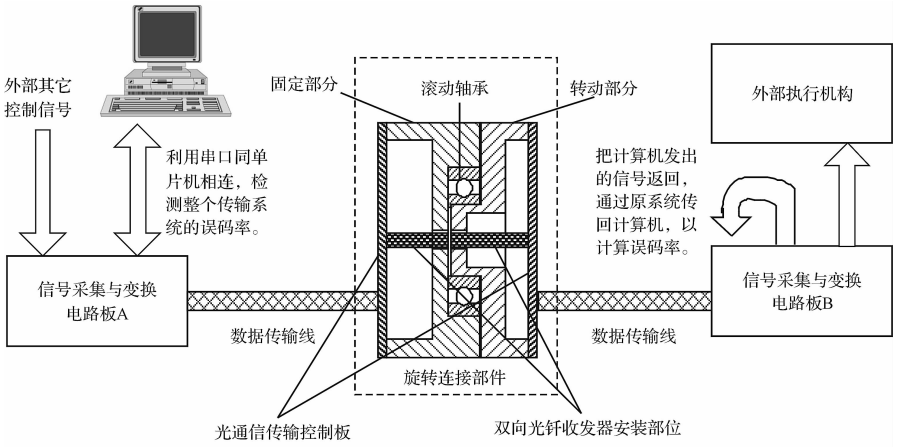
图 5　接收电路模块

3.4　波特率发生器

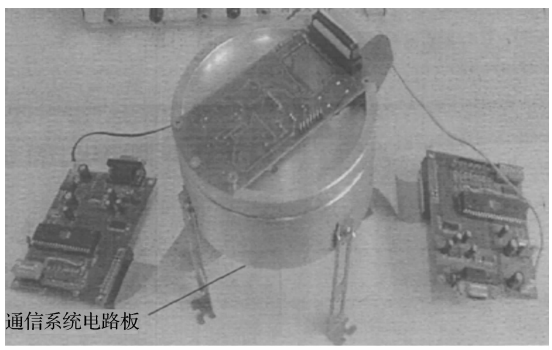
该模块电路主要是为了输出两个不同的时钟频率,一个是系统时钟(即所谓的波特率),主要用系统数据的收发时钟;另一个是采样时钟,主要功能是使用 16 倍频的波特率对接收数据进行采样,以提高接收的准确性,减少误码率。通常情况下,这两种时钟都是通过分频外部时钟所得,而在该单元设计中,这两种分频电路是通过 VHDL 语言在 CPLD 中编程实现的,因此,用户可以根据外接钟振的频率和系统波特率的要求来进行实时设计,从而可以灵活地改变该单元的设置,进而对数据传输的速率进行更改。系统也可利用外部时钟作为数据采样的频率,而将其 16 分频作为系统的波特率,从而减少一次分频,简化系统电路。

4　实验及结果分析

为了验证本研究所设计的旋转连接部件综合信号传输系统的可行性与有效性,并测试机械结构和装配精度所带来的影响,本研究设计的实验装置如图 6 所示。



(a) 实验装置框架图



(b) 实验装置实物图

图 6　外部旋转通信控制实验装置

该实验平台主要是由旋转连接部件综合信号传输系统、机械部分、光信号测量部分以及主控计算机组成。首先,将发送、接收器件安装在可旋转的机械装置上,通过定位装置保证其在机械部分转动旋转过程中,综合信号传输系统的接收端与发射端不会产生过大的轴向偏移而影响信号传输。为了检测该装置的可行性,当实验平台运转时来,发送一条指令给下位机,并通过示波器进行信号采集,从信号波形图可以看出,传输速率较高、信号内容准确,说明本设计方案均有良好的可行性。

同时,为了测试在该系统在短距离内的光纤信号传输损耗,本研究使用了 1 310 nm 的半导体激光器和光功率计对旋转连接部件综合信号传输系统的旋转过程中角度变化时的光信号损耗做了测试。

旋转连接部件综合信号传输系统在旋转到不同的角度时的光信号损耗值如表 1 所示。

表 1 信号传输系统在不同转角下的光信号损耗值

旋转角度/(°)	由电脑发送数据到执行端/dB	从执行端返回数据到电脑/dB
0	1.63	1.64
90	1.78	1.68
180	1.82	1.78
270	1.92	1.83
360	1.70	1.65

从表中可以看出,从电脑发送数据到执行端的最大损耗值为 1.92 dB,其旋转过程的损耗变化量为 0.29 dB;而从执行端返回数据时,光通道的最大损耗值为 1.83 dB,其旋转过程的损耗变化量为 0.23 dB。按照市场上现有的光纤旋转连接器的光信号旋转过程中损耗小于 1 dB 的设计要求,该设计符合要求,具有可行性和实用性。

同时,本研究设计的旋转连接部件综合信号传输系统可同时双向旋转传输光信号,文献[9]中设计了一种双通道光纤旋转连接器,其使用的是红外收发技术,不仅产品成本昂贵、结构复杂,而且易受电磁干扰;文献[10]提出了一种使用多个透镜的光学对称结构的双通道光纤旋转连接器,其结构比较复杂,而且光信号损耗也较大;文献[11]则是市场上已有的光纤旋转连接器产品,其成本高,且旋转变化等性能也比此种结构要差。因此,本研究设计的旋转连接部件综合信号传输系统不仅满足必须的设计要求,还具有成本低、结构简单、光信号损耗小等优点。

5 结束语

本研究针对众多工业/能源/军事等设备中转连接部件的电滑动环信号传输装置稳定性差、结构复杂、无法满足现代控制需求的问题,提出了一种基于 CPLD 的旋转联接部件信号传输控制系统,该控制系统以大规模可编程控制芯片 CPLD 为系统控制核心,完成了对通信控制系统的软硬件设计,以激光作为数据通信载体,实现了旋转联接部件的高速双向数据传输功能。

实验结果表明,基于大规模可编程控制技术的旋转联接部件信号传输控制器具有结构简单、工作性能可靠、光信号损耗小等优点,具有很强的实际应用价值。

参考文献(References):

[1] 米 磊,姚胜利,孙传东,等. 光纤旋转连接器的发展及其军事应用[J]. 红外与激光工程,2011,40(6):1138-1142.

[2] STARK M, RANK M. Micro-optical rotary joint for multi-channel communication via a rotating interface[J]. **Free-Space Laser Communication Technologies**, 2005, 57(12):241-250.

[3] 张兆亭. 光旋转连接头专利技术综述[J]. 现代商贸工业,2014,26(21):195-196.

[4] 王 雁. 电缆、油管绕曲装置设计[J]. 电子机械工程,2014,30(6):27-33.

[5] 闫亚妮,程为彬,李耀东,等. 旋转导向钻井工具稳定平台监控系统通信设计[J]. 石油机械,2012,40(4):26-29

[6] 贾建波,刘俊彦,孙师贤,等. 基于芯片 HI3110 的旋转导向 CAN 通信系统设计[J]. 电子测量技术,2015,38(6):143-147

[7] 王艳丽,汤 楠,霍爱清,等. 旋转导向钻井稳定平台前馈模糊算法研究[J]. 电子设计工程,2009,17(1):76-78.

[8] JIA Da-gong, JING Wen-cai, ZHANG Yi-mo, et al. Low-loss fiber optic rotary joint using C-lens collimators[J]. **Optoelectronics Letters**,2005,22(11):12-21

[9] 贾大功,张尹馨,等. 双通道红外耦合旋转连接器[J]. 光电子激光,2003,14(12):27-33

[10] 徐 明,李 超. 光电组合式滑环在雷达系统中的应用[J]. 电子机械工程,2011,27(1):44-46.

[11] 普林光电技术有限公司. 双通道光纤旋转接头(光滑环和电滑环)[EB/OL][2016-02-15]. http://www.princetel.com.n/forLmj2.asp

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

顾文斌,王 怡. 基于 CPLD 的旋转联接部件信号传输控制系统设计[J]. 机电工程,2016,33(10):1272 - 1276.

GU Wen-bin, WANG Yi. Design of signal transmission system of rotary joint component based on CPLD[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(10):1272 - 1276.

《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn