

# 基于 FPGA 和单片机的多路信号 光纤传输系统设计

李言武

(安徽工贸职业技术学院 电气与电子工程系, 安徽 淮南 232007)

**摘要:** 基于 FPGA 和单片机技术, 设计了多路信号光纤传输系统, 利用单片机实现了模拟数据的高精度采集和通信信号的双向传输, 利用 FPGA 实现了多路复杂信号的处理与传输; 实验证明: 该系统不仅能传输多路模拟与数字信号, 以及低速数字信号与高速脉冲信号, 还能实现双向 CAN 通信; 与现有光纤传输系统相比, 多路信号光纤传输系统不仅实现了多路复杂信号的采集, 而且使用一根光纤实现了大容量多数据的双向传输, 一方面减小了产品体积, 另一方面降低了产品成本。

**关键词:** FPGA; 单片机; 多路信号; 光纤传输

## Multi-channel Signal Optical Fiber Transmission System Based on FPGA and MCU

Li Yanwu

(Electrical and Electronic Engineering Department, Occupation's Technology Institute of Anhui Industry and Commerce  
Huainan 232007, China)

**Abstract:** Based on FPGA and MCU technology, a multi-channel signal optical fiber transmission system is designed, which makes use of MCU for high-precision analog data acquisition and bidirectional transmission of a communication signal; FPGA for processing and transmission of multi-channel complex signals. Experiments show that: the system not only can transmit multi-channel analog and digital signals, low-speed digital signal and high-speed pulse signal, but also can realize the bidirectional CAN communication. Compared with the existing optical fiber transmission system, the multi-channel signal optical fiber transmission system realizes data acquisition of multi-channel complex signals, also realizes bi-directional transmission of multiple high-capacity data with a fiber. On the one hand reduces the volume of the product, on the other hand to reduce the product cost.

**Keywords:** FPGA; MCU; multi-channel signal; fiber optic transmission

## 0 引言

光纤通信是以光纤为传输介质、光波为信息载体, 用光来传输信息的一种通信方式<sup>[1-3]</sup>, 与传统的电通信相比具有通信容量大、传输损耗低、传输距离远、抗电磁干扰能力强、保密性好、重量轻等诸多优点。目前, 在产品研制和工程实践中经常需要处理和传输不同的信号, 如多路模拟信号与数字信号, 低速数字信号与高速脉冲信号等, 此外还会涉及到远距离高速通信和组网信号传输, 若采用传统的电通信方式, 则存在传输系统庞大、信号互相干扰、通信距离受限等不足<sup>[4-6]</sup>。多路信号光纤传输系统是基于 FPGA 和单片机技术设计的、使用一根光纤实现了大容量多数据双向传输的多路复杂信号传输系统, 采用一种高效的、实用的光纤传输方法, 能够传输多路模拟与数字信号, 以及低速数字信号与高速脉冲信号。与现有光纤传输系统相比, 多路信号光纤传输系统不仅实现了多路复杂信号的采集, 而且使用一根光纤实现了大容量多数据的双向传输, 既减小了产品体积, 又降低了产品成本, 易于组网与通信。<sup>[7-8]</sup>

## 1 系统工作原理

多路信号光纤传输系统主要由信号采集模块、数据处理控制模块与传输介质光纤三部分构成, 其工作原理如图 1 所示。其中, 信号采集模块、数据处理控制模块之间依靠光纤进行信号传输, 而且二者分别通过 CAN 方式实现组网与远距离高速通信。

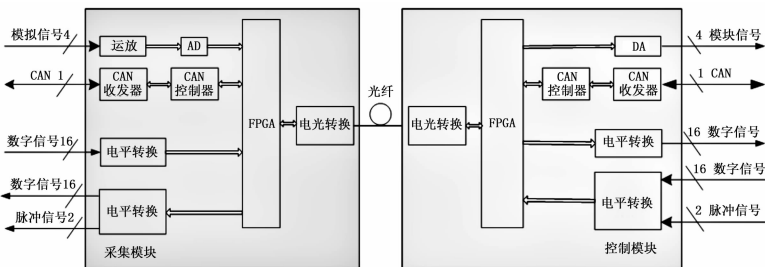


图1 多路信号光纤传输系统工作原理框图

在图1中, 信号采集模块主要功能是实现4路模拟信号的采集、16路数字信号的发送、2路脉冲信号的接收、16路数字信号的接收; 数据处理控制模块主要功能是负责4路模拟信号电压、16路数字信号的接收、2路脉冲信号和16路数字信号的发射。

## 2 硬件架构设计和程序设计

### 2.1 硬件架构设计

多路信号光纤传输系统的硬件架构如图2所示, 主要由

收稿日期:2015-08-18; 修回日期:2015-09-22。

作者简介:李言武(1974-),男,硕士研究生,副教授,副主任,主要从事电子、通讯及自动化控制技术方向的研究。

稳压电路、输入输出接口电路、电平转换电路、单片机外围电路、FPGA 外围电路、串化/解串器电路和光模块电路组成。

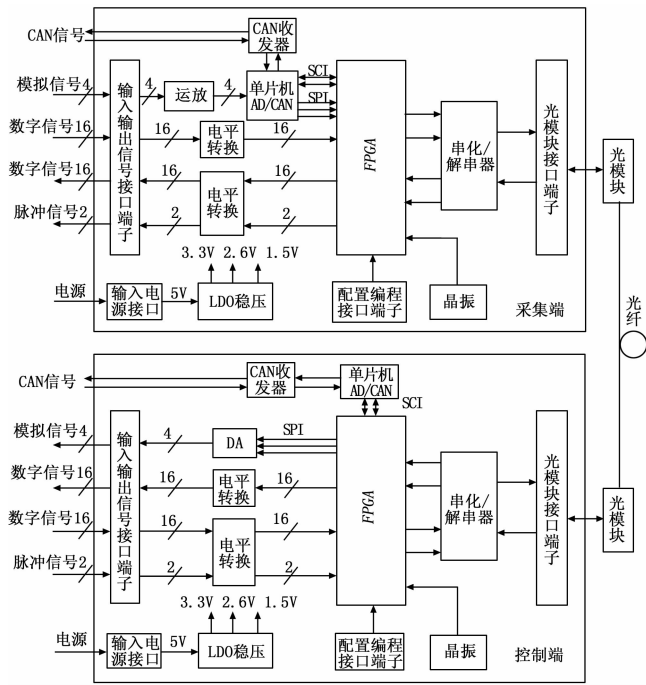


图 2 多路信号光纤传输系统硬件架构图

整个硬件系统接入 5 V 电源，通过 LDO 稳压芯片，转换成 3.3 V、2.6 V、1.5 V 电压为相应单元电路供电。输入输出数字信号和脉冲信号的电平均为 5 V TTL，而 FPGA 采用的是 3.3 V 供电，因此，输入输出的数字、脉冲信号与 FPGA 之间需要相应的电平转换电路进行电平转换。信号采集端 AD 采样后的电压信号通过 SPI 接口与数据处理控制端的 FPGA 进行通信，数据处理控制端的 FPGA 通过 SPI 接口将电压信号输出给 DA。CAN 总线信号通过单片机的 SCI 接口与 FPGA 进行了通信。在光模块与 FPGA 之间采用了串化/解串器 (SERDES)，匹配光模块与 FPGA 的传输速率，实现并行数据和高速串行数据之间的串并/并串转换。

### 2.2 程序设计

程序设计包括单片机程序与 FPGA 程序设计两部分，单片机主要实现 4 路模拟电压的采集和 CAN 双向通信，FPGA 主要实现对数字信号的转换、编码和校验。

1) 多路信号光纤传输系统单片机程序设计流程如图 3 所示。

在图 3 中，主程序主要完成外设的初始化和通过 SPI 发送数据给 FPGA。采用定时器 2 定时触发 AD 采样，AD 采样完成后，进入中断对采样数据进行处理，默认开始采样第一路，当第一路采样结束，对 ADC0 结果寄存器的值进行处理，处理后的数据存入 8 位 AD0\_H 和 AD0\_L 寄存器中。然后依次将转换通道切换成通道 2、3、4，当第 4 路采样结束后就完成了 4 路模拟信号的一次采集，再切换至第一路进行采样，依次循环往复实现了 4 路模拟信号的分时采样；AD 采样完成后需要将采样值发送给 FPGA，单片机与 FPGA 之间采用 SPI 通

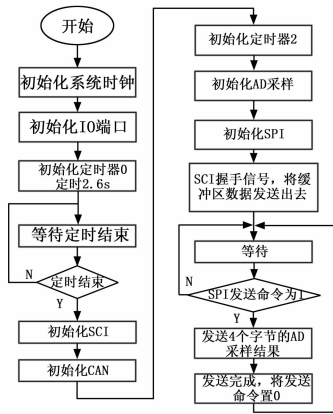


图 3 多路信号光纤传输系统单片机程序设计流程图

信，SPI 的波特率为 1M。在主程序中，判断发送命令 Send\_Command 是否为 1，当发送命令为 1 时，将使能信号 NSS 置 0，告之 FPGA，在此期间接收到的数据有效，然后依次发送高字节和低字节数据，最后一个发送完成时，将发送命令 Send\_Command 置 0。每发送完一个字节后，等待 SPI 发送完成标志 Send\_Over，若 SPI 没发送完成，等待，若发送完成，发送下一个字节。

2) 多路信号光纤传输系统的 FPGA 程序设计如图 4 所示。

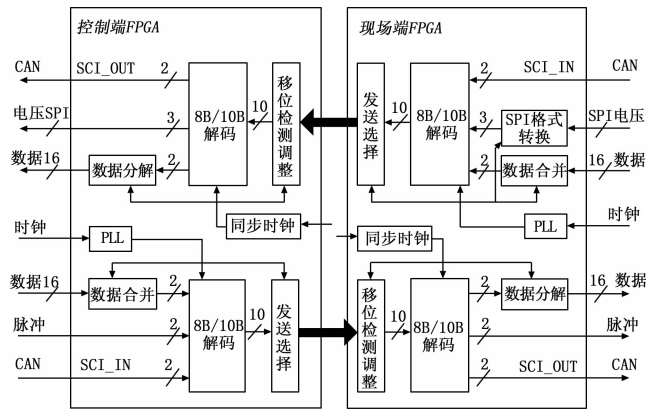


图 4 多路信号光纤传输系统 FPGA 程序设计

FPGA 处理的数据码流中的长连 0 和长连 1 不利于时钟的提取和判别，为了减少长连 0 和长连 1，多路信号光纤传输系统采用了 8B/10B 编码方式，以此减少了低频分量的影响。要想实现用一根光纤传输 2 位脉冲信号（单向）、16 位数字信号（双向）、4 路模拟信号（单向）、1 路 CAN 总线信号（双向）的传输，在软件设计时采用了数据的并串转换。在程序调试过程中，发现串化/解串器的输入输出发生了移位现象，而且移位是随机的。为了解决该问题，在程序设计中加入了移位检测部分，每隔 1 s (10<sup>6</sup> 个时钟周期)，连续发送 3 个时钟周期的移位检测序列，移位检测序列采用 8B/10B 编码中的 K28.5；在接收端检测移位的位数，对传输的数字信号进行调整，以此解决了移位现象造成的误传输。

### 3 实验结果及分析

通过实验，对多路信号光纤传输系统进行了验证。

### 1) 脉冲信号测试

实验结果如图 5 所示。

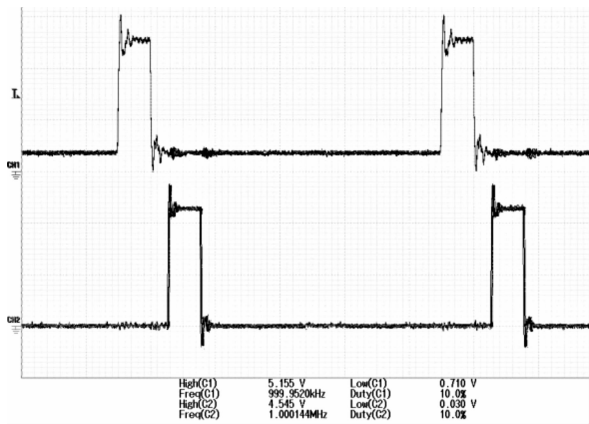


图 5 脉冲信号实验结果

在图 5 中,采集端输入 5 V 1MHz、脉冲宽度 100 ns、上升沿和下降沿均为 3 ns 的 TTL 脉冲信号,测得输出脉冲信号前后沿抖动小于 15 ns,上升沿和下降沿小于 5 ns,输入输出延时小于 180 ns。

### 2) 数字信号测试

实验结果如图 6 所示。

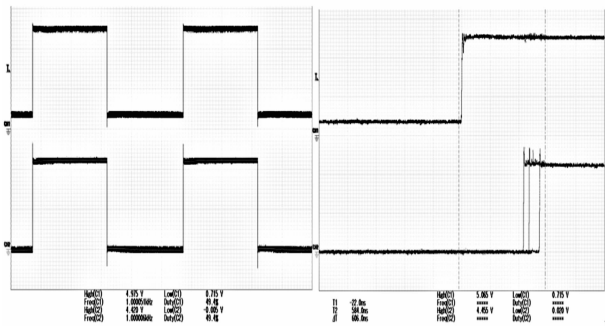


图 6 数字信号实验结果

在图 6 中,在信号采集端和数据处理控制端依次用信号发生器输入 16 路 5 V、1 kHz、占空比 50% 的数字信号,测得 16 路数字信号输出频率为 1 kHz、高电平约为 5 V,输入输出延时小于 700 ns。

### 3) 模拟信号测试

结果如图 7 所示。

在图 7 中,在信号采集端输入 0.5~4.5 V 的模拟信号,

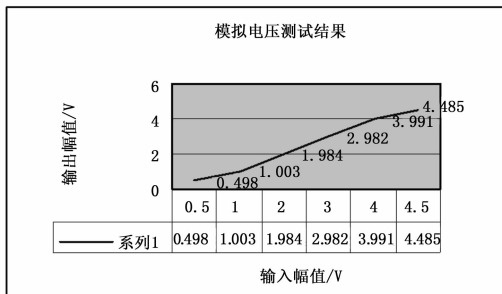


图 7 模拟电压测试结果

选取不同的测试点进行测试,由测试结果可知,在 0.5~4.5 V 的输入电压范围内,输出电压最大误差为 18 mV,精度不低于 0.6%。

## 4 结论

多路信号光纤传输系统基于单片机和 FPGA 联合开发技术,使用一根光纤实现了多路信号的双向传输,不仅实现了多路模拟与数字信号的采集和传输,还实现了高速脉冲信号和低速数字信号的传输,一方面减小了产品的体积,另一方面降低了产品成本,使用方便、便于工程维护。通过实验验证了多路信号光纤传输系统的正确性,其设计原理、硬件架构设计和程序设计为其他多路信号的采集、控制、传输提供了设计参考,具有重要的指导意义。

### 参考文献:

[1] 李亮,胡一梁,韩瑞珍.基于 FPGA 的数字光端机的设计 [J]. 中国有线电视,2008 (9): 955-957.

[2] 卢敏,张子墨.基于 FPGA 的 LVDS 光纤通讯系统的实现 [J]. 信息技术,2007,12 (12): 164-166.

[3] 蹇清平,余新平.一种新的多路数字信号光纤传输系统的设计与仿真 [J]. 长江大学学报(自然科学版)理工卷,2009 (3): 81-84.

[4] 来卫国.10 位 BLVDS 串化器 DS92LV1023 和解串器 DS92LV1224 的原理及应用 [J]. 国外电子元器件,2002 (8): 45-47.

[5] 季晓飞,迟泽英,游明俊,等.光纤双向传输系统中数字光端机的研制 [J]. 南京理工大学学报,2001,25 (2): 182-185.

[6] Johnson H, Graham M. High-speed digital design [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006: 106-127.

[7] 孙坚.基于 GPIB 的光纤收发器的设计与实现 [J]. 数字技术与应用,2009 (12): 22-23.

[8] 郭玉彬,霍佳雨,靳江涛,等. LiNbO<sub>3</sub> 外调制器的 10Gbit/s 光纤传输系统 [J]. 光学精密工程,2007,15 (1): 22-26.

(上接第 221 页)

[10] Hu Q, Bai Y S, Zhao J M, et al. Modeling spare parts demands forecast under two-dimensional preventive maintenance policy [J]. Mathematical Problems in Engineering Volume 2015: 1-9.

[11] Iskandar B P, Murthy D N P. Repair-replace strategies for two-dimensional warranty policies [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2003, 38 (11): 1233-1241.

[12] Moskowitz H, Chun Y H. A poisson regression model for two-attribute warranty policies [J]. Naval Research Logistics (NRL), 1994, 41 (3): 355-376.

[13] Iskandar B P, Murthy D N P, Jack N. A new repair-replace strategy for items sold with a two-dimensional warranty, Computers & Operations Research 2005 (32): 669-682.

[14] Yun W Y, Kang K M. Imperfect repair policies under two-dimensional warranty. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, [J]. Journal of Risk and Reliability, 2007, 221 (4): 239-247.

[15] 贾希胜.以可靠性为中心的维修决策模型 [M]. 北京:国防工业出版社,2007.