

基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器

白瑞青, 宋鑫霞, 赵岳楼, 郑小燕

(西安机电信息技术研究所, 西安 710065)

摘要: 针对目前弹载遥测系统对 PCM 编码器提出的通用化应用需求, 提出了一种基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器; 该方法以软件为主的信号处理方式代替硬件处理, 采用 Verilog HDL 语言和模块化的设计思想将编码器的各功能模块集成在单片 FPGA 中, 通过功能模块的积木式组合和参数配置实现了对被测弹箭系统的采集编码; 仿真测试结果表明该编码器满足绝大多数弹箭遥测系统的参数测试要求, 在弹箭遥测系统中飞行试验结果表明该编码器在全弹道飞行过程中工作稳定可靠, 该编码器实现了通用化的要求。

关键词: PCM 编码器; 现场可编程门阵列; 通用化

Universal PCM Encoder Based on FPGA

Bai Ruiqing, Song Xinxia, Zhao Yuelou, Zheng Xiaoyan

(Xi'an Institute of Electromechanical Information Technology, Xi'an 710065, China)

Abstract: For the universal requirements of of missile-borne telemetry system. It proposes a universal PCM encoder based on FPGA. A signal processing method based on software processing instead of hardware, applies verilog HDL language and modularization, down-top design ideas, integrates the encoder's functional modules in the single chip FPGA. It can encode telemetry datas by putting functional modules together and configuring parameters. Simulation results show that the coder parameters meet the test most telemetry system requirements. Telemetry system flight test results show that the encoder work stable and reliable, this encoder has strong universality.

Keywords: PCM encoder; field programmable gate array; universality

0 引言

PCM 编码器是弹载数字化遥测系统中的关键部件, 主要完成对模拟信号的采样保持、数字量化, 数字信号和帧同步码的插入控制、数据合并转化形成标准的 PCM 串行数据流。近年来随着常规弹箭的发展, 对弹载遥测系统提出通用化的应用需求, 为此 PCM 编码器也必须满足通用化的要求, 通用化的关键在于小体积和测试功能的齐备, 这样才能够适用于多品种、多口径、多参数的常规弹箭测试。常规弹箭遥测包括模拟量、开关量和多总线数字信号测试, 并要求对测试信号全弹道可靠接收。传统的 PCM 编码器采用以硬件为主的信号处理方式, 需根据被测参数种类和数量的变化进行针对性的设计, 采用外部静态存储器实现模拟信号的记忆重发^[1], 通过改写 EPROM 的内容变换帧格式^[2], 其体积大且测试参数的种类和数量均不完备。针对常规弹箭测试对 PCM 编码器提出的通用化需求, 本文提出了一种基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器。

1 PCM 编码器原理

1.1 PCM 编码原理

脉冲编码调制 (PCM) 是把模拟信号数字化传输的基本方法之一, 它通过抽样、量化和编码, 把一个时间连续、取值连续的模拟信号变换成时间离散、取值离散的数字信号, 然后在信道中进行传输。具体而言抽样是把模拟信号以其信号带宽 2 倍以上的频率提取样值, 变为在时间轴上离散的抽样信号的过程。把幅度连续变化的模拟量变成用有限位二进制数字表示的数字量的过程称为量化。把量化的抽样信号变换成给定字长的

的二进制码流的过程称为编码。PCM 编码原理如图 1 所示。

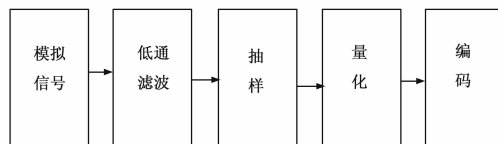


图 1 PCM 编码原理框图

1.2 PCM 编码器的时分复用

由于测试系统通常需要采集多路信号, PCM 编码器的功能是将量化后的多路参数按一定的时间排列顺序发送出去, 即将发送信道按时间加以分割, 各路信号的抽样值依一定的顺序占用某一时间间隔。时分复用方式中多路信号利用同一信道在不同的时间进行各自独立的传输, 在时域上各路信号是分离的, 但在频域上各路信号是混叠的, 即多信号可以采用时分复用方式以一定的结构形式复接成一路高速率的复合数字信号进行传输, 其传输的结构形式称为帧格式^[3]。

2 基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器

2.1 基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器组成及功能

现场可编程门阵列 (field programmable gate array) 既 FPGA, 是一种高密度的可编程逻辑器件, 具有硬件密度高、结构灵活、可编程、加密性强等良好性能, 可以将复杂的逻辑功能集成在一块芯片上, 易于实现片上系统^[4]。为通用化 PCM 编码器的实现, 提供了有效的途径。采用 Verilog HDL 语言进行功能模块分解设计, 相对原理图方式在参数配置方面灵活性更强。本文选用 Cyclone 3 系列中的 EP3C25 实现, 其内部逻辑单元多达 24 624 个, 满足现有遥测采集编码器模块化的设计要求, 并具有进一步功能扩展的能力。

基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器集模拟量、数字总线、开关量采集、编码、发送功能于一体, 包括多总线

收稿日期:2014-10-14; 修回日期:2014-10-28。

作者简介:白瑞青(1972-),女,河北安新人,硕士,高工,主要从事遥测遥控方向的研究。

协议收发控制器、A/D 采样控制器、时钟发生器、同步码生成器、记忆重发器、时序控制器等功能模块,完成对模拟信号的采样及数字量化控制、开关量、数字总线和同步码的插入控制、数据合并转化并形成标准的 PCM 串行数据流,其结构框图如图 2 所示。

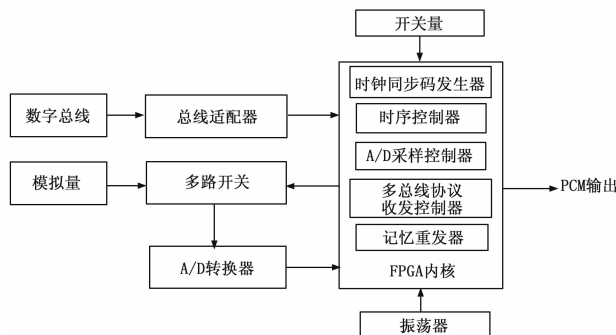


图 2 基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器框图

具体而言时钟、同步码发生器产生编码器所需的时钟和同步信号;模拟量依据 FPGA 内部的 A/D 控制器的选通指令进入高速 A/D 转换器完成模数转换;同时 FPGA 可以直接对开关量信号进行处理;数字总线信号的接收通过 FPGA 内部的多总线协议控制器完成相应的协议转换,并将其暂存在内部存储器中;记忆重发器对黑障区的遥测数据实时存储,经一定时间延迟后将存储器中数据插入 PCM 码流中实现数据延迟发送,从而确保了黑障区数据的可靠接收;时序控制器的作用是将 A/D 转换器输出的数字信号、接收的总线信号、同步码发生器产生的特殊码组、以及直接输入的开关量、存储的黑障区数据按一定的顺序排列成 PCM 码流。其中多总线协议收发控制器是该编码器的核心部分,该模块的实现使得 PCM 编码器中以往硬件电路中所需的针对数据总线类型一对一增加的多个总线控制器硬件电路以软件模块的形式加以体现,可根据测试任务中总线类型和数量的变化随意调整总线模块的种类和数量,将从而使得 PCM 编码器体积更小,通用于总线类型及数量不同的弹载遥测系统中。

2.2 基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器的模块化参数设置

基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器的各功能模块即协同工作又相互独立,各模块的工作参数都可以通过参数设置的方式实现,因而可通过积木式组合的方式满足不同测试系统的要求。主要包括以下参数。

1) 测试参数的种类和数量:

不同的弹载遥测系统中,由于测试对象不同,被测参数的数目和种类也各不相同,有的只有几个,有的多达几十个,甚至上百个。有的被测参数为模拟量,有的被测参数为数字总线,有的被测参数为开关量,有的三者并存。由于该编码器中 FPGA 内集成的总线协议控制器(包括 CAN 和 UART 总线控制器,可处理 CAN、RS422、RS232、RS485 总线信号)、A/D 采样控制器模块相互独立,因而只要 FPGA 的容量范围内,根据被测系统的要求增加或减少调用总线协议控制器、A/D 采样控制器模块的种类和数量,并完成总线长度、波特率等参数的设定既可满足要求。

2) 帧格式:

在多路信号中,编码器对各路信号以一定的时间间隔排列

的格式,称为帧格式,包括帧长、帧码、字长、码型等参数,并体现了各信号的采样频率。在该编码器的帧格式预存在 FPGA 内部存储器中,根据不同的测试要求修改参数完成。

3) 码速率:

码速率是 PCM 编码器的一个重要技术指标,体现了的弹载遥测系统的测试容量。这个指标通常随着被测系统的要求而改变。修改 FPGA 内部的锁相环参数,即可获得测试所需的码速率。

4) 记忆重发:

遥测系统处于黑障区时,采用记忆重发器可确保被测系统全弹道数据的完整接收。记忆重发方式和记忆时间是记忆重发器中的关键指标,在该编码器中这些指标都是通过修改记忆重发器的设置参数实现的。

综上所述基于现场可编程门阵列的通用化 PCM 编码器以软件为主的信号处理方式代替硬件处理,采用 Verilog HDL 语言和模块化的设计思想将模拟量、数字总线、开关量采集、编码、发送、记忆重发等功能模块集成在单片 FPGA 中,通过功能模块的积木式组合和参数配置实现了对被测数据的采集编码,在上位机软件支持下,通过计算机和串行 AS 接口对编码器进行在线调试,即可在不改变硬件电路的基础上满足不同测试系统的要求,极大地提高了遥测 PCM 编码器通用化技术水平。

3 实验结果与分析

目前常规弹箭遥测信号主要包括模拟量、开关量和多总线数字信号,采用的数字总线方式主要有 CAN、RS422、RS232、RS485 异步传输总线,各总线的波特率、字节长度、数据帧头各不相同,这就要求遥测编码器具有模拟量、开关量及多总线协议数据包合成及实时传输的能力。为了验证该编码器的正确性和完备性,体现绝大多数弹箭遥测对编码器的通用化要求,该编码器验证参数为 128 路模拟量和 8 路数字总线信号,数字总线的字节长度各不相同,其波特率分别为 230.4 kbps (RS422 总线)、500 kbps (CAN 总线)、230.4 kbps (RS422 总线)、230.4 kbps (RS422 总线)、115.2 kbps (RS232 总线)、115.2 kbps (RS232 总线)、460.8 kbps (RS485 总线)、230.4 kbps (RS485 总线),记忆重发时间为 2 ms。根据验证参数的要求,将编码器的码速率设定为 1 024 kbps,字长 8 位,帧长 256 字节,帧码为 FDB18540。在 Quartus II 9.1 软件环境下,通过对 FPGA 内部的功能模块组合和参数配置,对该编码器进行了仿真测试。受计算机数据处理能力的限制,只能对该编码器短时间的工作过程进行仿真测试,长时间的工作过程通过实物测试验证。仿真结果如图 3 所示,图中的 `zm_d` 为帧码选通信号,在该信号作用下帧码输出;`txd0~txd7` 分别对应 8 路数字信号源,依数字选通信号 `rdreq0~rdreq7` 的顺序将数字信号源中的数据依次插入到 PCM 数据流;`rdreq8` 为模拟信号选通信号,随 `mux_cs` 和 `mux_addr` 信号的变化依次选取 128 路模拟信号进行模数转换,并输出到 PCM 数据流;`store_flag` 为记忆重发器启动信号,此时写入信号 `store_wrreq` 将数据写入存储器,2 ms 后停止记录,存储器中的数据依选通信号 `rdreq15` 以先进先出的顺序依次插入到端口 `pcm` 重新发送出去;PCM 数据流通过端口 `pcm` 输出。仿真结果表明该编码器性能稳定,满足绝大多数弹箭遥测

(下转第 1698 页)

否为满,如果不满且FPGA的FIFO内有数据,则往USB的FIFO内写入数据,即slwr=0(写控制信号低电平有效),当一个脉冲的三个参数全部被读出到USB的FIFO中而下一个脉冲还未计算完成(IsDone=1),FPGA的FIFO为空,或者USB的FIFO满,此时,USB停止写数(slwr=1),等到第二个脉冲的参数写入FIFO中后,FPGA的FIFO非空,不断地重复上述过程。

4.2 数据传输速度测试

完成系统的硬件连接以及USB的固件程序下载之后,启动程序,将程序下载到FPGA内,FPGA中的数据经端点6输入给USB传输给上位机。传输速度为传输数据量和时间的比值^[8],通过测试可知,数据写入USB的传输速度可达29.8 MB/s。本设计所采用的USB的同步时钟为20 MB/s,所以该速度完全可以满足流式细胞仪数据采集系统数据传输速度的要求。

5 结论

本文针对流式细胞仪数据采集系统提出了总体设计方案,并据此对系统功能和模块设计进行了详细介绍和分析,经实验测试,该系统能准确地对数据进行滤波并在FPGA内进行参数计算与传输,将提取的参数与原始曲线进行对比,提取的3

(上接第1694页)

系统的参数测试要求。

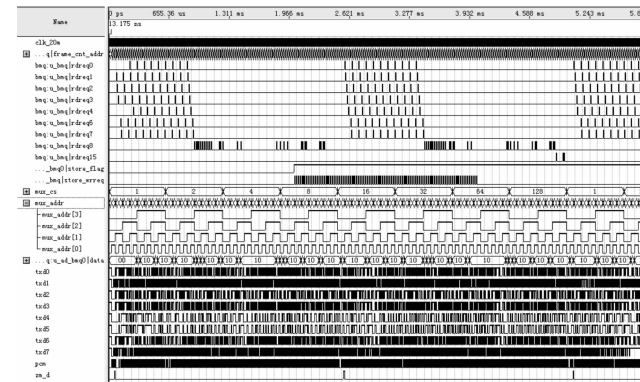


图3 基于现场可编程门阵列的通用化PCM编码器仿真图

基于现场可编程门阵列的通用化PCM编码器样机的测试能力为模拟量1~128路、数字总线(CAN、RS422、RS232、RS485)1~8路、记忆重发时间1~200 ms、码速率2 m范围内可设置,适用于φ50 mm以上口径弹箭的动态验证。

为了验证该编码器样机的可靠性,将其安装在多个弹箭遥测系统中进行了应用,通过FPGA内部软件功能模块的积木式组合和参数配置,在上位机软件支持下通过计算机和串行AS接口对编码器进行在线调试,满足了不同弹箭遥测系统的应用需求。例如根据制导火箭遥测系统测试要求,通过在线配置将该编码器模拟通道数设置为20路,码速率设置为819.2 kbps,通过遥测地面站接收数据。图4为基于现场可编程门阵列的通用化PCM编码器应用在制导火箭上的时间—幅度测试曲线,飞行试验结果表明该编码器在全弹道飞行过程中工作稳定可靠。

4 结论

本文提出了一种基于现场可编程门阵列的通用化PCM编

码参数精确度高,系统的随机误差小。本系统采用CY7C68013A完成了基于Slave FIFO模式的数据传输模块设计,经测试,实际传输速度可达29.8 MB/s,满足系统要求。

参考文献:

- [1] 吴后男. 流式细胞术原理及应用教程 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2008.
- [2] 陈世海, 裴东兴, 张琦. FPGA实现滑动平均滤波算法和LZW压缩算法 [J]. 电子设计工程, 2010, 18 (2): 67-69.
- [3] 夏宇闻. Verilog数字系统设计教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [4] 郑宝华, 修连存. 基于FPGA的多道脉冲幅度分析器设计 [J]. 核电子学与探测技术, 2013, 33 (2): 230-233.
- [5] 廖祖禹, 黄建国, 戴志坚. FPGA在峰值检测中的应用 [J]. 测控技术, 2010, 29 (1): 10-12.
- [6] 钱峰. EZ-USB FX2单片机原理、编程及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [7] 吴磊, 郭超平, 申世涛. 基于CY7C68013与FPGA的便携式数据采集系统 [J]. 计算机应用, 2012, 32 (S1): 164-166.
- [8] 向文芳, 邢涛, 曹红兵, 等. 高速数据采集系统的USB接口设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (10): 2567-2570.

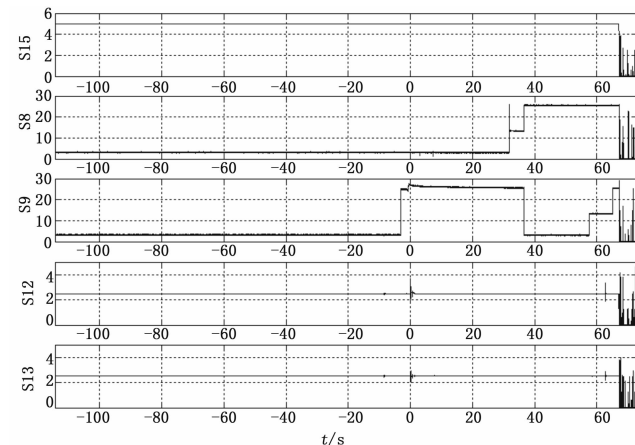


图4 通用化PCM编码器在制导火箭上的测试曲线

码器。该方法以软件为主的信号处理方式代替硬件处理,采用Verilog HDL语言和模块化的设计思想将编码器的各功能模块集成在单片FPGA中,通过功能模块的积木式组合和参数配置实现了对被测弹箭系统的采集编码。仿真测试结果表明该编码器满足绝大多数弹箭遥测系统的参数测试要求,在弹箭遥测系统中飞行试验结果表明该编码器在全弹道飞行过程中工作稳定可靠,该编码器实现了通用化的要求。

参考文献:

- [1] 闫鑫. PCM记忆重发编码器的设计 [J]. 电子测试, 2012 (3): 73-76.
- [2] 车继华, 王琪. 基于FPGA的可编程PCM采编器的实现 [J]. 计算机与现代化, 2006 (1): 24-27.
- [3] 樊昌信等编著. 通信原理 (第五版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [4] 王诚, 吴继华, 范丽珍, 等. Altera FPGA/CPLD设计 (基础篇) [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.