

基于 SoC FPGA 的 CNC 齿轮测量中心控制器设计

马盼盼, 王建华, 杜虎兵, 梁雯

西安工业大学

摘要: 设计了一种基于 Altera SoC 的 CNC 齿轮测量中心控制器。该控制器通过以太网与计算机通信, 内部的 HPS 与 FPGA 通过 AXI 总线通信。利用 Qsys 工具设计 HPS 与 FPGA 通信的命令解析组件, 实现 HPS 与 A/D 控制模块、光栅计数模块、电机驱动模块通讯。设计 HPS 测试程序并进行测试, 结果表明: 基于 SoC 的控制器采样速度约为 CAMAC 控制器的 10 倍。

关键词: HPS; FPGA; Qsys; 命令解析组件; AXI 总线; DDA

中图分类号: TG86; TH741

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2020.01.024

Design of CNC Gear Measurement Center Controller Based on SoC FPGA

Ma Panpan, Wang Jianhua, Du Hubing, Liang Wen

Abstract: A CNC gear measurement center controller based on Altera SoC is designed. The controller communicates with the computer via Ethernet and the HPS communicates with the FPGA via AXI bus in the internal. Command parsing components for HPS to communicate with FPGA by using Qsys tools is designed, and HPS communication with A/D control module is realized, counting module and motor drive module is grated. The HPS test program is designed and tested, and the results show that the sampling speed of SoC-based controller is about 10 times than that of CAMAC controller.

Keywords: HPS; FPGA; Qsys; command parsing component; AXI bus; DDA

1 引言

控制系统是 CNC 齿轮测量中心的核心, 控制器作为控制系统的核心部件, 分为专用控制器和通用控制器^[1]。国外的齿轮测量中心多采用专用控制器, 而国内的齿轮测量中心多采用通用控制器^[2]。与通用控制器相比, 专用控制器针对实际需求设计, 性能更强, 受计算机升级换代影响小, 整个控制系统的生命周期长^[3]。

基于 CAMAC 总线的控制器是为 CNC 齿轮测量中心研制的专用控制器, 目前在国内外占有很大市场。随着电子技术的迅猛发展, 这套系统虽使用了多个 FPGA 芯片^[4], 但仍由多个板卡组成, 体积较大, 可靠性有待进一步提高。鉴于以上问题, 本文设计了一种与现有齿轮测量中心兼容的专用控制器。该控制器搭载 Altera 公司 Cyclone V 系列的 SoC 芯片, 其优势在于单一芯片上集成了基于 ARM 的硬核处理器系统 (HPS) 和丰富的 FPGA 逻辑资源^[5]。相较于传统的 ARM 处理器或 FPGA 芯片, SoC 拥有 ARM 处理器灵活高效

的数据运算和事务处理能力, 并集成了 FPGA 的高速并行处理特性。采用 SoC 独特的片上互联架构, 可将 FPGA 端的模块映射为 ARM 处理器中具有特定功能的外设。而 HPS 与 FPGA 通过高达 128 位宽的 AXI 高速总线进行通信, 实现了双芯片无法实现的互联性能^[6]。因此可充分利用该性能实现基于 SoC 的齿轮测量中心控制器的设计。

2 齿轮测量中心控制器结构

基于 SoC 的齿轮测量中心控制器总体结构见图 1, 主要由 SoC 芯片和外围电路组成。控制器通过以太网与计算机通信, 内部的 HPS 与 FPGA 通过 AXI 总线通信。SoC 控制器主要实现测头数据和光栅数据的采集、电机驱动的控制, 实时监控机械系统和控制面板状态等功能。

2.1 SoC 控制器与计算机通信

基于 SoC 的齿轮测量中心控制器与计算机采用千兆以太网通信, 使控制器受计算机升级影响小。以太网通信是外部总线以数据包的形式进行的长线传输, 适用于传输数据量大、传输频率低的场合^[7]。因此在 SoC 控制器中实现计算机对控制器的直接操作函数及常用功能, 能减少控制器和计算机的通信次数。

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划—重大基础研究项目 (2016ZDJC-10); 西安市科学技术局科技创新引导项目 (201805031YD9CG15(3))

收稿日期: 2019 年 7 月

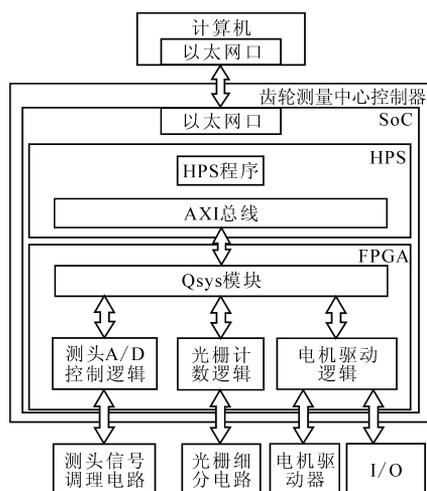


图1 齿轮测量中心控制器结构

2.2 HPS 软件设计

HPS 软件是控制器的核心,通过设计具有独立处理能力的底层软件,使控制器可以自主完成相关项目的测量工作,提高控制器的性能。SoC 控制器可实现对齿轮测量中心机械系统的独立控制,与基于计算机总线的控制器相比更专业化,对齿轮测量中心的适应性更强。

在 HPS 程序中能实现各种运动控制的基本功能,如齿面扫描测量、齿距测量、刃口扫描与搜索和齿面网格点测量等,计算机只保留人机交互界面,执行测量参数输入及测量结果显示。HPS 接收到计算机的测量命令时,对命令进行解析并确定测量项目,然后执行相应的测量算法,实现独立测量。测量过程中将采样数据存储在内单元中,测量结束后,HPS 将采样数据通过以太网发送给计算机程序,由计算机对测量数据进行处理,显示相应测量项目的实际测量曲线和理论曲线,按照所测项目的相关评定指标对其进行评定。

2.3 HPS 与 FPGA 通信

(1) 基于 Qsys 的通信组件设计

基于 Qsys 设计 A/D 控制、光栅计数和电机驱动模块的命令解析组件,实现 HPS 命令的解析,并将产生的控制信号与相应模块连接,实现 HPS 对 FPGA 中各个模块的控制。

根据 Avalon 总线规范,HPS 与 FPGA 通信的信号线主要有地址线、数据线、片选信号线和读写控制线^[8]。根据 A/D 控制、光栅计数和电机驱动模块的读写时序特点,将命令解析组件与 HPS 连接信号的地址总线设置为 5 位,读写数据总线均设置为 32 位,片选信号、读信号和写信号各一位。自定义 HPS 与 FPGA 命令解析组件的时序见图 2。

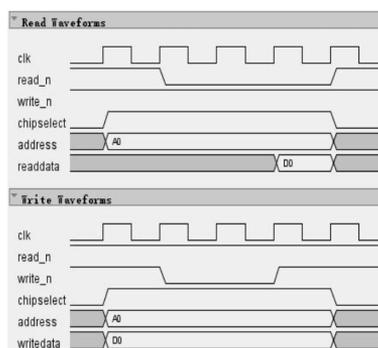


图2 命令解析组件时序

(2) Qsys 互联

在 Qsys 中将命令解析组件 AD、Counter 和 Driver 与 HPS 连接。由于 HPS 端使用 AXI 总线,FPGA 端使用 Avalon 总线,而 Qsys 可以实现 AXI 协议到 Avalon 协议的自动转换^[8],所以可将 Avalon 总线的命令解析组件与 HPS 连接。Qsys 中组件连接见图 3。

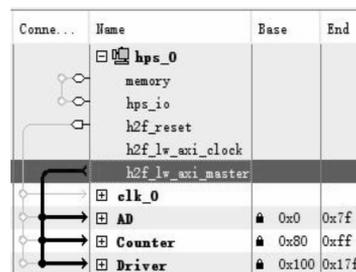


图3 Qsys 组件连接

(3) HPS 与 FPGA 通信程序设计

设计 HPS 与命令解析组件 AD、Counter、Driver 通信的 Linux 程序。3 个组件挂在 HPS 端的 AXI 总线上,可被 HPS 寻址,使用虚拟地址映射的方式实现 HPS 与 FPGA 通信。

FPGA 端 3 个组件在 H2F_LW_AXI 桥上的偏移地址宏定义为 AD_BASE、COUNTER_BASE 和 DRIVER_BASE,将 adAddr、counterAddr 和 driverAddr 三个指针变量分别指向 AD、Counter 和 Driver 模块的基地址。HPS 中的其它函数调用读写 FPGA 寄存器的函数时,可通过参数选择要操作的指针变量,从而实现对各模块的控制^[8]。

2.4 FPGA 固件设计

(1) A/D 控制模块

测头数据采集模块 FPGA 固件如图 4 所示,主要控制 A/D 转换及转换数据读取。采用中位值滤波算法对采集到的数字信号进行滤波,将三次采样的中值作为最终的测头数字信号。经过滤波的数字信号存储与时钟下降沿同步,锁存信号与时钟上升沿同步。锁存信号有效时,将三路测头数字信号和

状态信息锁存到四路数据锁存模块。

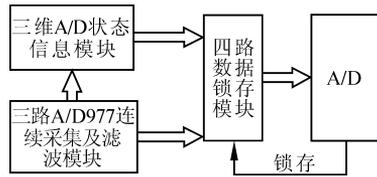


图4 测头数据采集模块 FPGA 固件

(2) 光栅计数模块

光栅计数模块 FPGA 固件见图 5, 主要实现光栅信号四倍频、辩向及计数功能。可逆计数器的计数操作与时钟下降沿同步, 锁存信号与时钟上升沿同步。锁存信号有效时, 在时钟的上升沿将计数器的值锁存到寄存器中, HPS 直接从寄存器读取锁存的光栅数据。在光栅计数模块中设计预置数寄存器, HPS 通过置数操作, 用预置数寄存器值初始化计数器, 使计数器从需要的起始值计数。

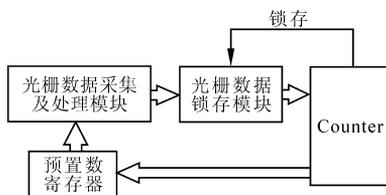


图5 光栅计数模块 FPGA 固件

(3) 电机驱动模块

电机驱动模块 FPGA 固件见图 6, 该模块主要产生驱动电机的脉冲, 并实现插补速度控制。插补脉冲产生算法采用数字积分法 (DDA), 电机加减速控制方式采用梯形速度控制方式, 电机控制方式采用方向加脉冲的方式或 AB 正交信号。

插补控制模块接收 HPS 的插补数据, 然后将插补数据传送给脉冲产生模块和速度控制模块。脉冲产生模块将插补坐标转换为驱动电机的脉冲, 速度控制模块根据插补控制数据实现插补速度的控制。

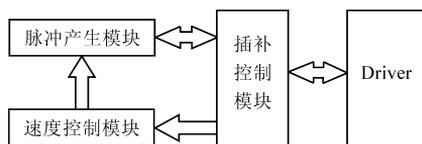


图6 电机驱动模块 FPGA 固件

2.5 接口设计

SoC 控制器的接口电路保持与现有齿轮测量中心兼容, 适用于多种电机控制模式和光栅信号处理模式。电机控制模式可选择位置控制或速度控制, 光栅信号处理模式可选择增量式光栅信号处理或绝对式光栅信号处理, 该控制器可接受串行数字量形式的测头信号, 也可接收模拟量形式的测头信号, 使

控制器外围接口更灵活, 可适应各种接口的齿轮测量中心。

3 实验验证及结果分析

搭建测试环境, 连接信号源、SoC 控制器电路板、电机驱动器和计算机。用齿轮测量中心诊断程序对 SoC 控制器进行测试。运行参数见图 7, 各轴坐标和测头示值见图 8。结果表明, 各轴实际驱动距离与所设定的运行参数一致, 测头示值与万用表所测电压对应的 A/D 转换值一致。因此, 该 SoC 控制器符合设计要求。



图7 诊断程序运行参数

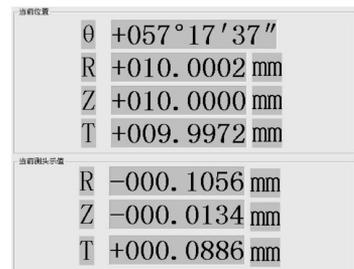


图8 诊断程序各个轴采集结果

用 SoC 控制器和 CAMAC 控制器进行四轴采样, 采样 2000 个点, SoC 控制器用时 0.021706s, CAMAC 控制器用时 0.227315s。SoC 控制器的采样速度大约为 CAMAC 控制器的 10 倍。

4 结语

SoC 齿轮测量中心控制器的设计是提高齿轮测量中心测量精度和速度的关键。使用虚拟地址映射方法实现 HPS 与 FPGA 通信, 使 HPS 访问 FPGA 中寄存器就像访问某个内存单元同样便捷, 利用 AXI 总线提高了 HPS 与 FPGA 通信速度。测试结果显示, SoC 控制器数据传输速度更高, 采样频率是 CAMAC 机箱控制器的 10 倍。采样频率的提高为实现滤波算法和闭环控制提供了基础。

参考文献

[1] 余张国. 嵌入式多轴运动控制器的开发与应用[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2005.

基于 HALCON 的锥形表面小孔测量

庄孝斌, 杨龙兴

江苏理工学院

摘要: 为解决等离子切割保护帽表面小孔尺寸的测量问题, 提出一种区域分割与 RANSAC 算法联合拟合圆的方法。首先提取出小孔区域, 再用二阶高斯函数导数计算出小孔的边缘点位置。选用矩形分割法对边缘点进行阵列分割, 以矩形区域中两个边缘点连线求半径, 生成一个假定的圆模型方程, 再将其他边缘点代入圆模型中, 判断该点是否为圆模型的解, 运用 RANSAC 算法迭代计算出最优圆模型, 最后使用 HALCON 软件完成拟合测量。实验结果表明, 该测量方法能更准确地识别边缘轮廓, 与最小二乘法对比, 拟合圆弧更加接近实际轮廓。在测量中使用标定板和游标卡尺进行标定, 适合于实际检测。

关键词: RANSAC 算法; 区域分割; 边缘点

中图分类号: TG806; TH741

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2020.01.025

Measurement of Conical Surface Holes Based on HALCON

Zhuang Xiaobin, Yang Longxing

Abstract: In order to solve the measurement problem of the small hole size on the surface of the plasma cutting protection cap, a method of combining the region segmentation and the RANSAC algorithm to fit a circle is proposed. The method first extracts the small hole domain, and then uses the second-order Gaussian function derivative to calculate the edge point of the small hole. The rectangular segmentation method is used to segment the edge points, and the radius is obtained by connecting the two edge points in the rectangular region to generate a hypothetical circular model equation. The other edge points are substituted into the circular model to determine whether the point is its solution. Using RANSAC algorithm to iteratively calculate the optimal circle model, and finally complete the fitting. The measurements are done by using HALCON software. The experimental results show that the measurement method can identify the edge contour more accurately. In contrast to the method of least squares, the fitted arc is closer to the actual contour. In the actual measurement, calibration is performed by using a calibration plate and a vernier caliper, which is suitable for use in actual inspection.

Keywords: RANSAC algorithm; region segmentation; edge point

1 引言

保护帽作为等离子切割机中的关键零件, 可用

测量卡尺直接测得其外形轮廓数据。保护帽为锥形结构, 圆锥面上的小孔是用于等离子切割时的高压喷射口, 直径尺寸约 1mm。传统测量方法中测量数值稳定性不足, 故采用机器视觉测量方法来拟合测量, 使用单目测量法不仅满足单个零件的全尺寸测

基金项目: 江苏省研究生科研与实践创新计划项目 (SJCX18_1070)
收稿日期: 2019 年 7 月

- [2] 孙振坤. 基于 Turbo PMAC2 齿轮测量中心控制系统的开发 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2012.
- [3] 张峰. 嵌入式多轴运动控制器的研究与开发 [D]. 青岛: 山东科技大学, 2008.
- [4] 王亚晓, 李平, 王建华. 基于 PCI9052 的 CNC 齿轮测量中心 CAMAC 机箱控制器的研制 [J]. 工具技术, 2010, 44 (4): 87-90.
- [5] 唐文龙, 田茂, 吴志强, 等. 基于 SoC FPGA 异步通信接口的实现 [J]. 物联网技术, 2015, 5 (12): 38-39.
- [6] 刘丹, 龚晓峰. 基于 SoC FPGA 的中频数字接收机设计与实现 [J]. 计算机与数字工程, 2016, 44 (9): 1836-1841.
- [7] 吕刚. 基于以太网接口的 CAMAC 机箱控制器研制 [D]. 西安: 西安工业大学, 2014.

- [8] 吴国增, 韦照川, 唐振辉, 等. 基于 Qsys 的 HPS 与 FPGA 数据通信接口 IP 核的实现 [J]. 桂林电子科技大学学报, 2018, 38 (1): 16-22.

第一作者: 马盼盼, 硕士研究生, 西安工业大学机电工程学院, 710021 西安市

First Author: Ma Panpan, Postgraduate, School of Electrical and Mechanical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China

通信作者: 王建华, 教授, 西安工业大学机电工程学院, 710021 西安市

Corresponding Author: Wang Jianhua, Professor, School of Electrical and Mechanical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China