

基于 SmartFusion2 SoC FPGA 芯片的运动控制卡设计

张天佑, 李全英

(中国兵器装备集团自动化研究所 四川 绵阳 621000)

摘要: 多轴联动运动控制卡在运动控制领域有着广泛的应用。该运动控制卡是一种基于 SoC FPGA 芯片, 采用以太网通信的运动控制卡。该卡采用单芯片设计方案, 结构简单、通用性好、可靠性高, 可以控制 4 个步进电机系统或交流伺服电机系统实现高速、高精度运动, 具备自动加减速控制功能, 使用成本较传统运动控制卡降低 30% 以上。通过在木工雕刻机和点胶机设备上的应用, 验证了该运动控制卡的功能和性能。

关键词: 运动控制; SoC FPGA; 以太网; Cortex-M3

中图分类号: TN710.9

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2018)13-0109-05

Design of motion control card based on SmartFusion2 SoC FPGA chip

ZHANG Tian-you, LI Quan-ying

(China Ordnance Equipment Group Automation Research Institute, Mianyang 621000, China)

Abstract: Multi-axis linkage motion control card in the field of motion control has a wide range of applications. The motion control card is a SoC FPGA chip based on the use of Ethernet communication motion control card. The card uses a single chip design, simple structure, good versatility, high reliability, you can control the four stepper motor system or AC servo motor system to achieve high-speed, high-precision movement, with automatic acceleration and deceleration control function, the use of more traditional Motion control card reduced by more than 30%. The function and performance of the motion control card are verified by the application of woodworking engraving machine and dispenser equipment.

Key words: motion control; SoC FPGA; Ethernet; Cortex-M3

随着工业现代化的不断发展,运动控制领域的需求也在不断的发生变化。以前针对机床等设备的传统数控系统已经不适用于简易、低成本、对操作人员要求较低的应用场合,如木工雕刻机、点胶机等设备。

传统数控系统大部分采用 PC+NC 的架构,其中 NC 多采用 DSP+FPGA 的结构^[1-2],PC 和 NC 之间的通信采用 PC104 或 PCI 接口。NC 板上芯片较多^[3],从设计到生产调试均存在一定的难度,且成本偏高。在现场使用时电缆较多、凌乱也是一个问题。

针对这种情况,设计一种基于 SOC FPGA 芯片^[4],采用以太网通信的低成本、高可靠的运动控制卡^[5]。该运动控制卡可以实现 4 个坐标轴高速、高精度运动,结构简单,配置灵活。轴运动控制信号采用方向

加脉冲的方式,通用性好,可接步进电机系统或交流伺服电机系统^[6-7]。

1 系统组成结构

1.1 系统的组成

该控制系统由 PC 主机和运动控制卡组成,PC 主机与运动控制卡间采用以太网的方式通信,运动控制卡可放置在用户设备电控柜中,接线简单可靠。其中运动控制卡主要实现 PWM 脉冲输出、脉冲计数、输入输出点的逻辑控制、模拟量输出控制和对外串口通信等功能,PC 主机实现人机交互界面、编程语言解析等功能。运动控制卡是在 PC 主机的控制下完成各个功能。系统的构成如图 1 所示^[8-10]。

收稿日期:2017-11-21 稿件编号:201711115

作者简介:张天佑(1980—),男,四川南充人,高级工程师。研究方向:数控技术。

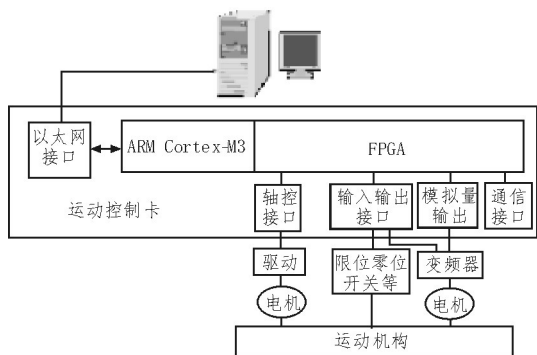


图1 系统构成图

1.2 运动控制卡的功能

运动控制卡主要具备以下功能：

1) 可控制4个运动轴,采用方向信号加脉冲信号的方式对电机驱动进行控制,如图2所示^[18]。

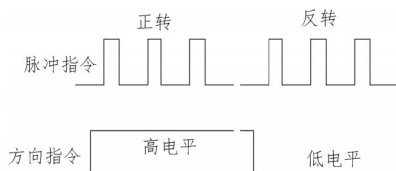


图2 脉冲加方向控制方式示意图

2) 位置反馈信号为相位差90°的A、B脉冲和Z脉冲,共四路信号对应4个控制轴,可接收的信号形式如图3所示。

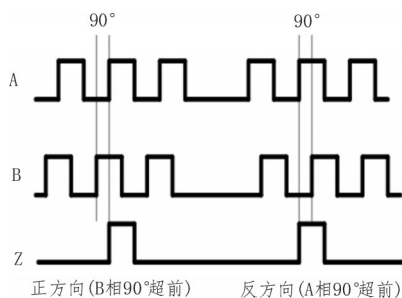


图3 相位差90°的A、B脉冲示意图

3) 主通信接口为隔离的以太网接口,10M/100M自适应,支持Auto MDI/MDI-X,自动适应交叉线缆和直通线缆。

4) 自动加减速控制。

5) 一路0~10 V模拟量输出。

6) 隔离输入点接口16个。

7) 隔离输出点接口8个,最大输出电流100 mA。

8) 辅助通信接口为一个RS232接口^[13]。

2 运动控制卡的硬件设计

该运动控制卡以Microsemi公司的SmartFusion2

系列SOC FPGA芯片为核心。该芯片内嵌Cortex-M3处理器和FPGA^[17],其中FPGA具备6060个逻辑单元,1个DDR控制器,191Kb的RAM,同时具备AES256、SHA256、RNG硬件加密功能;集成的Cortex-M3处理器是最高频率达166 MHz的32位ARM Cortex-M3处理器,内部集成128 KB的非易失存储器,144KB的RAM,1个以太网控制器,1个CAN控制器,多模式串口SPI口和I²C接口各2个。相比于传统的DSP+FPGA结构的运动控制卡,本卡采用SOC单芯片设计,在保证功能的同时,可显著降低采购成本和制造成本。运动控制卡的构成如图4所示^[12]。

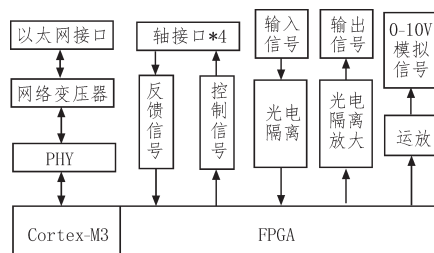


图4 运动控制卡构成图

2.1 以太网接口的设计

SOC芯片内已经集成以太网控制器,外围电路只需要增加以太网物理层收发器、隔离变压器和相应的电路保护器件。以太网物理层收发器采用MICREL公司KSZ8041NL接口芯片,该芯片是单芯片的10BASE-T/100BASE-TX物理层解决方案,可在直通线缆和交叉线缆之间进行自动校正,采用单电源供电,适用范围广,成本较低,可靠性高。KSZ8041NL采用MII方式与SOC芯片接口,对应的以太网接口电路原理如图5所示^[9]。

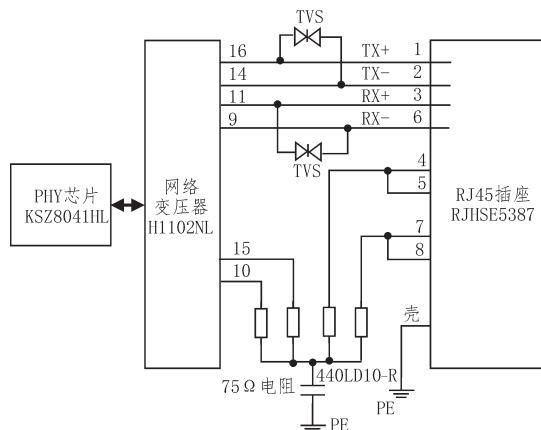


图5 以太网接口电路原理图

2.2 轴控接口设计

各轴的方向信号和脉冲信号均由FPGA产生,

经过差分信号发送芯片 AM26LS31 变换成差分信号后送到对应的步进电机系统或交流伺服电机系统^[4]。

同时与各轴对应的反馈接收电路采用高速光耦接收信号,可接收相位差 90° 的 A、B 脉冲和 Z 脉冲。A、B 脉冲信号经光耦接收后,进入 SOC 芯片,由 FPGA 进行硬件 4 倍频并计数,提高反馈信号的采样率。而后反馈信号计数值作为电机实际运行位置,通过 Cortex-M3 以以太网通信的方式传送给 PC 端,从而实现整个系统的位置半闭环控制。轴反馈脉冲接口电路原理如图 6 所示。对相位差 90° 的 A、B 脉冲进行采样和 4 倍频的硬件描述语言如下:

```

process(f_bas,nreset)
begin
    if( nreset = '0') then
        aq <= (others=>'0');
    elsif( f_bas'event and f_bas = '1') then
        aq(1 downto 0) <= aq(0) & a;
    end if;
end process;

process(f_bas,nreset)
begin
    if( nreset = '0') then
        bq <= (others=>'0');
    elsif( f_bas'event and f_bas = '1') then
        bq(1 downto 0) <= bq(0) & b;
    end if;
end process;

process(f_bas,nreset)
begin
    if(nreset = '0') then
        ab_dir <= '0';
        ab_set <= '0';
    elsif( f_bas'event and f_bas = '0') then
        if(ab_pulse_dummy='1')then
            ab_set <= '0';
        elsif((ab_cur="00" and ab_pre="10")
        or (ab_cur="01" and ab_pre="00")
        or (ab_cur="11" and ab_pre="01")
        or (ab_cur="10" and ab_pre="11"))
        then
            ab_dir <= '0';
            ab_set <= '1';
        end if;
    end if;
end process;
end process;

```

```

        ab_set <= '1';
    elsif(( ab_pre="00" and ab_cur="10")
    or ( ab_pre="01" and ab_cur="00")
    or ( ab_pre="11" and ab_cur="01")
    or ( ab_pre="10" and ab_cur="11"))
    then
        ab_dir <= '1';
        ab_set <= '1';
    end if;
end if;
end process;

```

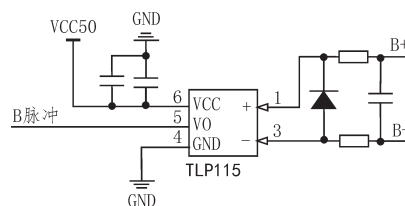


图6 轴反馈脉冲接口电路原理图

2.3 模拟量输出接口设计

模拟量输出主要用于设备的主轴变频器调速控制。采用TI的DAC081S101 数字模拟转换芯片,该芯片具备8位精度,采用SPI接口,具有轨到轨输出能力。DAC081S101 数字模拟转换芯片通过SPI接口接收控制指令后,按要求输出0~5 V的模拟量,后经运算放大器放大两倍后,输出0~10 V的模拟量。模拟量输出接口电路原理如图7所示。

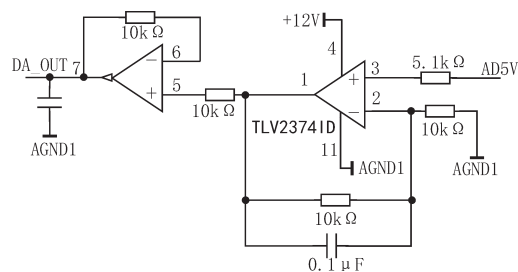


图7 模拟量输出接口电路原理图

2.4 输入输出接口设计

输入输出接口均采用光耦隔离,提高系统的抗干扰能力,输出接口的最大驱动能力为 100 mA。对应的输入输出接口电路原理如图 8 所示。

3 可靠性设计

该运动控制卡一般放置在设备的电控柜中,电气工作条件比较恶劣,特别是以太网接口由于线缆

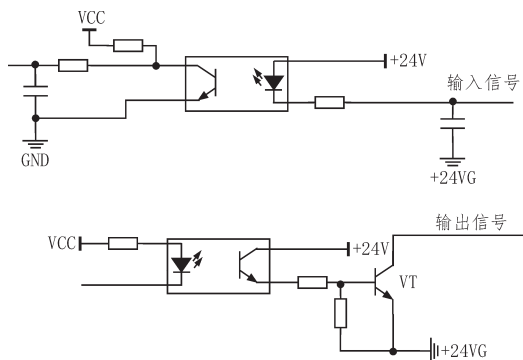


图8 输入输出接口电路原理图

较长,极易引入干扰,影响系统的正常工作。故必须在硬件设计层面采取一定的措施来应对^[11]。

3.1 电源设计

作为板卡正常工作的首要条件,电源系统对系统的稳定工作具有决定性作用,该设计主要采用了以下措施以提高可靠性^[15]。

1)采用隔离的5 V和24 V直流供电,24 V用于外部接口使用,5 V为内部控制电源。所有外部的信号均采用光耦隔离的方式进入控制系统,防止干扰信号引入运动控制卡。

2)采用四层印制板设计,保证地平面的完整性,为信号回流提供最优路径。同时严格隔离5 V和24 V的线路,减少由对外接口引入的外部干扰。运动控制卡的板卡地层分割如图9所示^[16]。

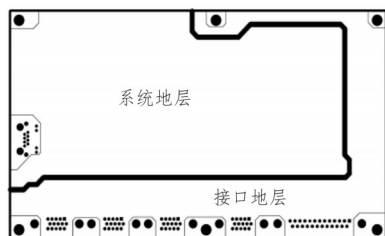


图9 电源地层的分割

3)在每个集成电路电源和地引脚处放置高频去耦、滤波电容,如图10中0.001 μF 和0.1 μF 电容所示。

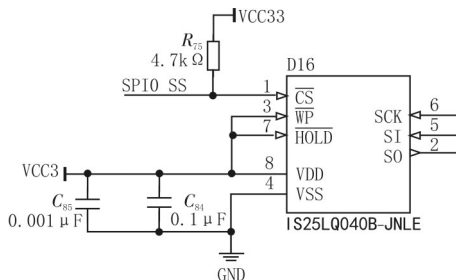


图10 电源和地引脚间放置的去耦电容

3.2 以太网接口设计

以太网接口由于线缆较长,比较容易将外部干扰引入运动控制卡,影响系统工作稳定性。

针对这种情况,以太网接口采用了隔离变压器和TVS管,提高接口抗干扰和抗冲击能力。特别是在中间地层的分割方面,采用隔离的措施,保证隔离地层和系统地层的间距,尽量减少干扰信号的引入,以太网接口的底层分割如图11所示。运动控制卡的成品外形图如图12所示。

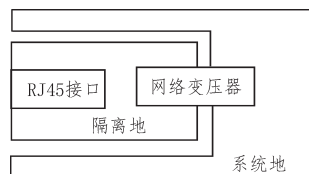


图11 以太网接口的地层分割



图12 运动控制卡外形图

4 结束语

本文介绍了一种基于SOC FPGA芯片^[19-21]的运动控制卡,单芯片设计,采用以太网通信方式与PC主机通信,可控制4个步进电机系统或交流伺服电机系统,具有0~10 V模拟量输出1路、隔离输入接口16个、隔离输出接口8个。该运动控制卡功能齐全、安装设置简单快捷、性价比高,可满足大部分四轴运动控制应用场合。目前已在木工雕刻机和点胶机上应用成功,控制效果令人满意,具有一定的市场推广价值。

参考文献:

- [1] 祝本明,陈军.特种工业缝纫机控制系统设计及实现[J].电子设计工程,2016(1):109-111.
- [2] 郭丽,石航飞.基于DSP的双轴交流伺服运动控制系统[J].兵工自动化,2010(9):79-81.
- [3] 尚春华,张洪涛.嵌入式技术在特种工业缝纫机上的应用[J].电子设计工程,2014(7):154-157.
- [4] 王天放.基于FPGA步进电机细分控制系统[J].电子设计工程,2016(1):121-123.

- [5] 赵毅忠,陈志锦.基于通用缝制设备控制平台的430F套结机控制系统开发[J].兵工自动化,2014(2):75-76,81.
- [6] 南余蓉.永磁同步电动机的混沌同步控制[J].微特电机,2010(9):7-9.
- [7] 王葳,张永科.步进电动机加速控制算法研究及仿真[J].兵工自动化,2012(1):75-77,85.
- [8] 童卓,方浩舟.运动控制器在地面效应试验中的应用[J].兵工自动化,2011(10):88.
- [9] 焦亚涛,任勇峰,李娜娜.一种可靠的百兆以太网接口设计与实现[J].化工自动化及仪表,2012(39):71-73.
- [10] 雷丹.运动控制系统[M].北京:人民邮电出版社,2013.
- [11] 朱文立,陈燕,郭远东.电子电器产品电磁兼容质量控制及设计[M].北京:电子工业出版社,2015.
- [12] 黄凤.运动控制器及数控系统的工程应用[M].北京:机械工业出版社,2015.
- [13] 熊田忠.运动控制技术与应用[M].2版.北京:中国轻工业出版社,2016.
- [14] 吴贵文.运动控制系统[M].北京:机械工业出版社,2014.
- [15] 张颖.电子产品设计宝典可靠性原则2000条[M].2版.北京:机械工业出版社,2016.
- [16] 丁镇生.电子电路设计与应用手册[M].北京:电子工业出版社,2013.
- [17] 廖义奎.ARM与FPGA综合实际与应用[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [18] 田宇.伺服与运动控制系统设计[M].北京:人民邮电出版社,2010.
- [19] 赵威,孙绍辉,曹勇.基于超低功耗无线通信技术的电子墨水标签显示系统研究[J].电力信息与通信技术,2018(4):54-58.
- [20] 杨延飞,雷倩倩,王春兰.基于边界扫描技术的FPGA延时故障检测[J].纺织高校基础科学学报,2017,30(3):396-401.
- [21] 汪鹤,王劲松,张道农.基于FPGA的智能变电站二次设备曼彻斯特编码同步研究[J].电力信息与通信技术,2015,13(4):26-29.

(上接第108页)

- [7] 唐成虹,杨志宏,宋斌,等.有源配电网的智能分布式馈线自动化实现方法[J].电力系统自动化,2015,39(9):101-106.
- [8] 陈志伟,徐丙垠,韩国政,等.IEC61850的Web Services映射及实现[J].电力自动化设备,2013,33(3):136-140.
- [9] 徐迅,梅军,钱超,等.基于IEC 60870-5-104规约扩展的配电终端自描述功能实现方法研究[J].电力系统保护与控制,2016,44(7):128-133.
- [10] 石文江,冯松起,夏燕东,等.新型智能配电自动化终端自描述功能的实现[J].电力系统自动化,2012,36(4):105-109.
- [11] 樊俊言.馈线自动化终端设备的信息模型及接入方法研究[D].重庆大学,2013.
- [12] 罗建,朱伯通,蔡明,等.基于CIM XML的CIM和SCL模型互操作研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(17):134-138.
- [13] 马静,许冬,王增平,等.基于加权理想点法的配网故障供电恢复策略[J].电力自动化设备,2014,34(2):61-67.
- [14] 范开俊,徐丙垠,董俊,等.基于智能终端逐级查询的馈线拓扑识别方法[J].电力系统自动化,2015(11):180-186.
- [15] 高孟友,徐丙垠,范开俊,等.基于实时拓扑识别的分布式馈线自动化控制方法[J].电力系统自动化,2015,39(9):127-131.
- [16] 刘健,张小庆,陈星莺,等.集中智能与分布智能协调配合的配电网故障处理模式[J].电网技术,2013(9):2608-2614.
- [17] 齐雪婷,马训鸣,刘霞,等.基于CAN的分布式顶升控制系统设计[J].西安工程大学学报,2016,30(1):118-123.
- [18] 卢成赛,张大伟.带有网络诱导时延的分布式H_∞-一致性滤波[J].纺织高校基础科学学报,2016,29(1):114-122.