

基于 CAN 总线的高可靠成像控制系统设计

李 华^{1,3}, 朱 波², 郑培云²

(1. 商洛学院, 商洛 726000; 2. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119;

3. 西安交通大学, 西安 710049)

摘要: 为了实现多套成像设备的智能化控制, 设计了基于 CAN 总线的成像控制系统, 并给出了设计中关键技术的解决方法; 首先, 给出了可靠性高的热备份 CAN 总线控制系统硬件设计原理; 其次, 介绍了基于 FPGA 的 CAN 总线协议芯片—SJA1000 逻辑控制原理与方法; 最后结合实际工程项目阐述了控制系统的工作过程; 试验结果表明, 该设计性能稳定、可靠性高, 能够满足多台成像系统的智能化控制; 设计理念和具有通用性, 系统的可扩展性强。

关键词: 成像系统; CAN; FPGA; 热备份; 时序

Design of High Reliability Imaging Control System Based on CAN Bus

Li Hua^{1,3}, Zhu Bo², Zheng Peiyun²

(1. Shangluo University, Shangluo 726000, China;

2. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China;

3. Xi'an Jiao tong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In order to achieve intelligent control of many sets of imaging systems, this paper presents an imaging control system based on CAN bus, and introduces how to solve some problems of key technology on the design. Firstly, hardware design principle of high reliability thermal back-up CAN bus control system is given; Then, logic control principle and method of SJA1000 chip based on FPGA is introduced; Finally, combined with the actual engineering project the working process of the control system is expounded. Experimental results proved that this system has advantages of stable and reliable, which can achieve intelligent control of more than one imaging system. The concept and method of this design is versatile, so the system has good universality.

Keywords: imaging system; CAN; FPGA; thermal back-up; timing

0 前言

成像系统在各行各业发挥着越来越重要的作用, 传统的成像系统都是一个控制单元控制一套成像系统, 控制往往采用 RS422 总线等点对点形式, 在成像系统只有一套时, 这样的设计性能稳定、可靠性高, 在一些对可靠性要求较高的场合, 如航天、航空等, 仍具有较普遍的应用^[1-2]。但是, 随着成像系统的发展, 单台成像系统已经远远不能满足应用需要, 必须增加成像系统的单机数量, 不同单机完成不同的功能, 但是, 随着单机数目的增加, 控制单元的负担也越来越重, 采用传统的点对点通讯形式无论是效率, 还是可靠性方面都不能满足要求。

本文在充分调研国内外相关控制技术的基础上, 研制了基于 CAN 总线的分布式成像控制系统。该系统采用了主从结合的体系结构, 硬件设计采用了双 CAN 协议芯片热备份设计, 极大的提高了整个成像系统的可靠性。通过 CAN 总线进行组网通信, 可快速灵活的搭建好控制平台, 根据不同的需求, 控制不同的单机进行工作^[3-4], 改变相应的成像参数, 同

时获取单机的工作状态, 从而达到完美成像的目的。

1 系统总体设计

本系统总体如图 1 所示。系统总共由三台相机和一套控制单元组成, 三台相机根据需要在不同时段, 使用不同参数进行相应图像的输出, 控制单元协调三台相机完成工程任务。

控制单元控制三台相机的指令参数包括: 曝光时间 (1~47 ms 可调)、帧频 (20 f/s、10 f/s、5 f/s 三挡可调)、增益 (3 档可调)、自动/手动曝光切换、校时 (配合秒脉冲对相机进行时间修正)、初始化 (相机 AD 配置参数) 等; 而相机则需要收到遥测请求指令 3 ms 内, 将相机当前工作状态以遥测参数的形式返回给控制单元。可以看出, 整个控制系统指令庞杂, 实时性要求高, 给设计带来一定挑战。

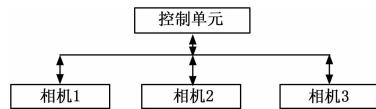


图 1 系统框图

针对以上任务需求, 本设计采用 CAN 总线作为指令、遥测传输通道, 其中, CAN 总线协议芯片使用业内比较成熟的 SJA1000, 接口芯片选用 PCA82C250, 工作方式增强型 CAN (PeliCAN) 模式, 使用标准帧格式传输, 每个 CAN 帧长度 11 字节, 数据前 3 字节为头部信息, 传输速率为 500 Kbps。

收稿日期:2017-03-24; 修回日期:2017-04-10。

基金项目:国家自然科学基金项目(61273366);陕西省自然科学基金基础研究计划(2016JM6060)。

作者简介:李 华(1980-),女,陕西西安人,副教授,主要从事基于可编程逻辑器件的图像处理相关与教学工作方向的研究。

SJA1000 的配置、数据发送与接收等操作由 FPGA 进行控制, 满足了系统工作需要。

2 系统硬件设计

相机通讯系统的硬件组成如图 2 所示。其中, FPGA 模块选用 Xilinx 公司 Virtex II 系列的 XC2V3000, 其核电压为 +1.5 V, 辅助电压为 +3.3 V, 接口电压本设计取 +3.3 V。CAN 总线通讯模块采用 Philips 公司生产的 SJA1000 作为 CAN 控制器芯片, PCA82C250 作为 CAN 总线收发器。对于 Virtex II 系列的 FPGA 而言, 接口电平不支持 5 V I/O 标准, 如果与 5 V I/O 标准的 SJA1000 直接相连, 将可能导致 FPGA 管脚通过极大电流, 造成器件的永久损坏。为了兼容电平差异, 设计上采用了一片 TI 公司的双向总线收发器 SN54LVTH16245, 将 SJA1000 的 5 V TTL 电平数据信号 AD0~AD7、中断信号 INT 转换成 3.3 V I/O 标准信号, 连接到 FPGA 的相应引脚上, 而 SJA1000 读写控制信号 CS、WR、RD、ALE 对于 FPGA 来说是输出信号, 因此, 直连至 SJA1000 相应的管脚即可。

为了增加系统的可靠性, 适应复杂的工作环境, 本设计使用了两片 SJA1000 芯片, 构成热备份结构。为了节约总线资源, SJA1000 采用数据总线共用的形式, 即两片 SJA1000 的数据总线在经过 SN54LVTH16245 芯片前进行了 2 合 1 操作, 合并后的信号经过 SN54LVTH16245 后进入 FPGA 进行处理。而两片 SJA1000 的控制信号则分别进入 FPGA 进行控制, 保证了两片 SJA1000 操作的独立性, 不会造成数据丢失。

该硬件设计的两片 SJA1000 互为备份, 正常工作时通过 SJA1000A 进行通讯, 如果 A 路出现故障, 立即切换至 SJA1000B 进行通讯, 同时对 SJA1000A 进行复位初始化操作, 极大的提高了系统的可靠性和环境适应能力。

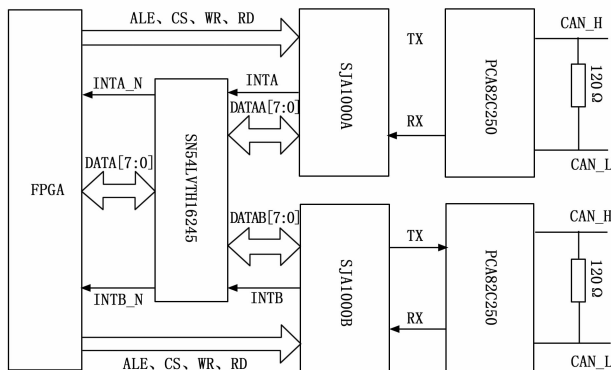


图 2 SJA1000 热备份硬件设计

3 系统逻辑设计

逻辑设计是本系统的核心, 整个控制过程由一片 FPGA 完成, 主要功能包括: 系统主逻辑控制、初始化 SJA1000、写 SJA1000 和读 SJA1000。在介绍 SJA1000 具体操作之前, 先对 CAN 总线的数据格式和本设计应用层数据协议简要介绍。

CAN 协议规定了两种不同的帧格式, 不同之处为标识符的长度, 具有 11 位标识符的帧称之为标准帧, 具有 29 位标识符的帧被称为扩展帧。本设计根据项目需求, 使用标准帧

进行数据传输, 一帧 CAN 数据帧共 11 字节, 其中前 3 字节为帧头, 用于数据链路层的控制, 后面 8 字节为用户数据。帧头 1~帧头 3 与 SJA1000 的地址 16、17、18 对应, 用户数据与 SJA1000 的地址 19~26 对应。

应用层数据在 CAN 总线上传输之前, 若总数据量少于等于 8 字节, 则按照 CAN 总线单帧数据域结构组织数据, 组成 CAN 单帧传输帧传送。若总数据量大于 8 字节, 则按照 CAN 总线复合帧数据域结构组织数据, 组成 CAN 复合帧传输帧传送。复合帧首帧最先发送, 之后按照顺序发送中间帧, 最后发送尾帧。

基于 SJA1000 的控制系统其工作实际就是按照协议接收指令并按照要求组帧发送数据的过程, 也就是在一个主控逻辑的指挥下完成 SJA1000 的初始化、读、写等操作^[5]。

3.1 主控逻辑

本系统的主控逻辑如图 3 所示。

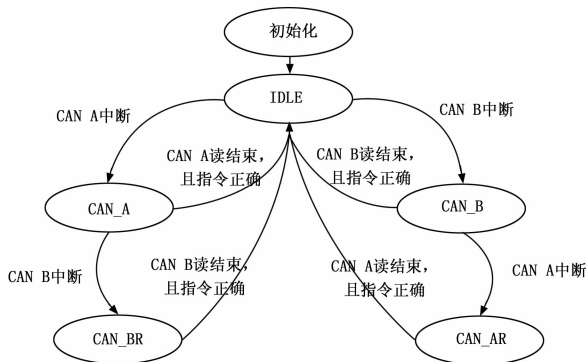


图 3 本系统主控时序

分析图 3 可以看出, 系统的主控逻辑由一个大的状态机组成, 其工作过程如下: 系统上电稳定后, FPGA 首先对两片 SJA1000 芯片进行初始化, 然后启动状态机进入 IDLE 状态等待 SJA1000 芯片中断的到来, 此时, 如果是 SJA1000A 产生的中断, FPGA 就开始对 SJA1000A 进行读操作, 根据读取到的指令进行下一步工作, 期间如果 SJA1000B 有中断到来, 先将其寄存, 等待 FPGA 将 SJA1000A 的数据处理完毕, 接着再读取 SJA1000B 内的数据, 并进行相应的后续处理工作。以上操作完成后, 状态机重新进入 IDLE, 等待下一次中断的到来。同理, 如果是 SJA1000B 的中断先来, 就先处理 B 内的数据。如此往复就可以控制两片 SJA1000 连续工作, 完成控制系统指令和遥测参数的处理。

3.2 初始化 SJA1000

对 SJA1000 进行初始化是一切操作的开始, 也是最重要的一步, 系统通过配置相关的寄存器, 完成 SJA1000 芯片的初始化。值得注意的是, SJA1000 的寄存器配置只能在芯片复位模式下进行, 所以应该对 SJA1000 实行有效的复位操作。初始化过程就是依次对总线定时寄存器 0、总线定时寄存器 1、输出控制寄存器、时钟分频器、验收代码寄存器、验收屏蔽寄存器、中断使能寄存器等 7 类寄存器进行寻址和赋值。

在 SJA1000 需要初始化的寄存器中, 最重要的是验收代码寄存器 (ACR) 和验收屏蔽寄存器 (AMR)。ACR 和 AMR 是 CAN 总线实现点对点、一点对多点的重要寄存器。其中,

AMR 是专门为实现一点对多点而设置的寄存器，因为 CAN 控制器实际对网络数据的标识符和本身的 ACR 值进行比较时还要参考 ARM 值，当 AMR 中某位为 1 时也就意味着 ACR 中的该位被屏蔽，任意值都可以接收，也即只比较 AMR 寄存器中位置为 0 的位，只要他们符合就接收。

以设置双滤波，接收标识符 ID.28~ID.18 为 0000_1010，010 和 ID.28~ID.18 为 0110_1011，111 的两类 CAN 标准帧为例，在 PeliCAN 模式下，设置验收代码寄存器 ACR0=0x0A、ACR1=0x40、ACR2=0x6B、ACR3=0xE0；根据双滤波器时信息帧与滤波器的位对应关系，将需要参与滤波的信息位对应的验收屏蔽寄存器位设置为 0，设置 AMR0=0x00，AMR1=0x0F、AMR2=0x00、AMR3=0X0F。其他 ID 的标准帧则会被过滤，不会产生 INT 中断。此时，如果还需要接收标识符 ID.28~ID.18 为 0000_1011，010 的标准帧，则需要将 AMR0 设置为 0x01，告诉 SJA1000 对 ID.21 位进行屏蔽，任意值都可以通过。

本系统 SJA1000 时钟为 16 MHz，CAN 总线的通讯波特率为 500 Kbps，需要处理的帧类型有三类，因此，7 类 13 个寄存器的值分别设置为：0x00、0x1C、0x1A、0xC7、0x20、0x00、0x02、0x00、0x01、0x0F、0x00、0x0F、0x01。寄存器设置完后，SJA1000 初始化完成，就可以进行 CAN 总线的读写操作^[6-7]。

3.3 读 SJA1000 操作

FPGA 对 SJA1000 的读操作是通过 INT 管脚的状态触发的,在初始化 SJA1000 时,设置接收中断使能,即如果 SJA1000 的缓存中有数据时,会触发 SJA1000 的 INT 管脚电平由高变低。此时,FPGA 就执行图 4 所示的读操作,将 SJA1000 内的数据读取到 FPGA 的相关寄存器内。当 FPGA 将 SJA1000 中的数据读取,并释放缓冲器后,INT 管脚电平又由低变高,等待下一次数据的到来。

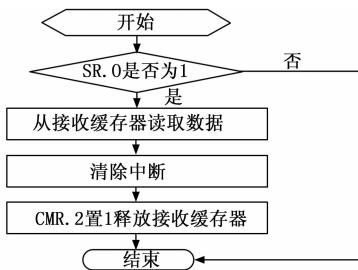


图 4 读 SJA1000 流程图

SJA1000 的读流程时序波形如图 5 所示。可以看出, 读过程由 4 个步骤组成, 在 ALE、CS 和 RD 时序有效的情况下, 先判断 SR 寄存器的值, 然后将 SJA1000 接收缓存器中的数据读出, 最后再进行中断清除和释放接收缓存器操作。对照 SJA1000 手册可知, 本设计完全满足要求。

3.4 写 SJA1000 操作

FPGA 对 SJA1000 的写操作是通过向 SJA1000 相应的寄存器写入要发送的值完成。当相机收到控制单元发送的指令时, 首先进行判断, 如果是遥测请求, 则按照协议要求以复合帧的形式向控制单元发送三包遥测参数, 用于反映相机当前的状态。写 SJA1000 时首先判断 SJA1000 芯片当前是否在

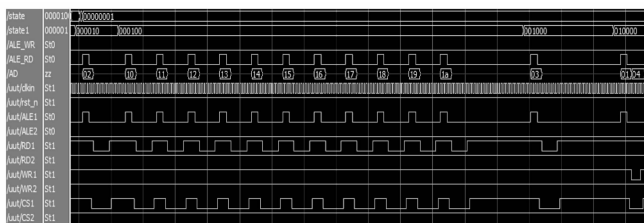


图 5 读 SJA1000 时序仿真波形

接收、发送数据,如果是则等待 $10\ \mu\text{s}$ (根据系统指令长度和工作频率决定),再进行判断,如果 SJA1000 完成了数据的收、发,则将需要发送的数据写入发送缓存器,如果没有则进行恢复操作,即对 SJA1000 进行初始化。数据写入操作完成后,须执行发送命令,即对 CMR.0 位写入 0x01,最后释放缓存器,以等待下一次操作。具体的操作流程如图 6 所示。

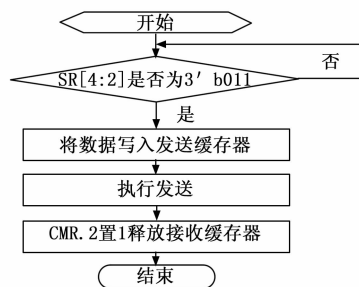


图 6 写 SJA1000 流程图

按照图 6 所示的流程，写 SJA1000 时序仿真波形如图 7 所示，可以看出，整个写过程由 4 个步骤组成，完成一个数据包的写操作。在 ALE、CS 和 WR 有效的情况下先判断 SR 的状态是否满足发送条件，如果满足，将需要发送的数据写入 SJA1000 的相关寄存器，再释放接收缓存器。对照 SJA1000 手册可知，设计完全满足要求。

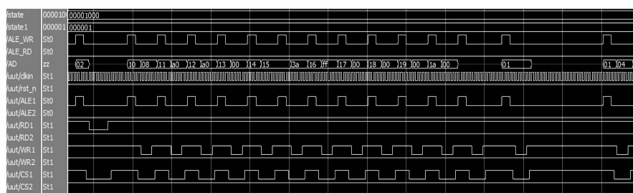


图 7 写 SJA1000 时序仿真波形

4 实验结果分析

按照以上章节思路进行系统硬件设计, 两片 SJA1000 构成热备通讯系统, 数据信号和中断信号经过一片 SN54LVTH16245 后进入 FPGA, 控制信号从 FPGA 直连至 SJA1000。物理层连接方面, SJA1000 的 TX0 口和 RX0 口分别和 PCA82C250 的 TXD 口和 RXD 口相连接, PCA82C250 通过带有差动发送和接收功能的两个总线终端 CAN_{-H} 和 CAN_{-L} 连接到外部总线, 为了匹配阻抗, 提高信号传输的可靠性, CAN_{-H} 与 CAN_{-L} 之间端接了 120 Ω 的电阻。

相机硬件设计完毕,通过地面检测设备模拟控制单元和相机进行通讯,通讯界面如图 8 所示。当发送遥测请求指令(02 20 00 00 FF)时,相机会向地检连续返回由 3 条指令(即



图 8 指令发送与接收界面

帧头为 08 A0 E0、08 A0 C0、08 A0 A0 的三条指令) 构成的遥测数据包, 其内容按照约定协议填充, 包括: 曝光参数、指令计数、电压遥测等; 当发送控制指令时, 相机会判断指令的对错, 如果指令对 (如 30 ms 曝光: 05 20 00 0A 97 1E 01 C0) 则返回指令接收正确 (03 A1 00 3D 97 AA), 如果指令错 (如错误曝光指令: 05 20 00 0A 97 12 01 B4), 则返回指令接收错误 (03 A1 00 3D 97 55)。结合图 8 中其它指令的发送和响应, 可以看出, 指令握手严格、响应及时, 设计完全满足成像系统的控制需求, 具有较高的可靠性。

5 结束语

由于 CAN 总线结构简单、通信速率高、可靠性好、连接 (上接第 68 页)
高质量建筑。最后, 利用本文算法和传统算法进行建筑装配工程成本预测和成本控制, 所得到的预算精度如图 5 所示。

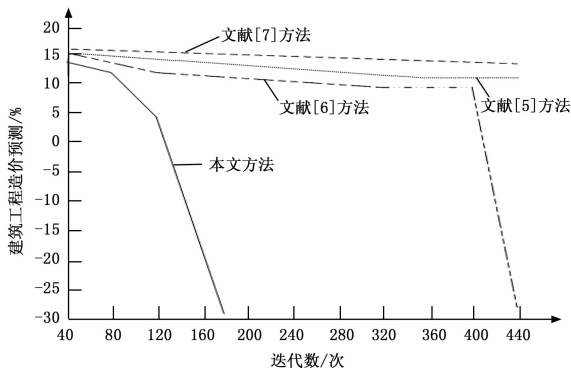


图 5 成本控制模型性能对比

从图 5 可知, 使用智能视觉和 BIM 对建筑装配的成本预算及质量的控制到达了高精度的控制成果, BIM 虚拟模型的预算精准, 大幅度降低成本, 提高了建筑效率, 节约 32% 的成本, 提高 10% 的效率, 而智能视觉监控检测技术提高了建筑装配的质量, 与相同成本的建筑进行对比, 质量提高了 12%。

3 结论

针对当前方法在建筑装配的过程中无法显示成本、质量的信息, 决策者无法做出准确的判断问题。提出一种基于智能视

方便、通信协议简单, 且具有统一的国际标准, 被公认为最有前途的现场总线之一, 因此, 工业上得到了普遍的应用, 近些年, 随着对 CAN 总线的认可, 航天应用也越来越普遍。本设计通过 FPGA 控制 SJA1000 实现 CAN 总线通信, 可扩展性好, 稳定性高, 降低了应用系统的重量、体积以及功耗, 同时为了进一步提高 CAN 总线通信系统的可靠性, 设计了基于双 SJA1000 芯片的热备结构, 经过实际工程项目检验, 证明了其良好的效果。目前, 该控制系统已在工程项目中获得了成功的应用。

参考文献:

- [1] 赵庆磊, 龙科慧, 韩诚山, 等. 空间 TDICCD 相机的在轨成像参数重注 [J]. 航空学报, 2014, 35 (8): 2271-2278.
- [2] 韩红霞, 孙航, 曹立华. 基于 FPGA 的红外相机时序构造设计 [J]. 液晶与显示, 2014, 29 (3): 370-376.
- [3] 刘鑫, 林兆华, 杜璧秀. CAN 总线分布式自动调焦控制系统设计 [J]. 国外电子测量技术, 2014, 33 (8): 44-48.
- [4] 毛晴, 梁军, 刘赞. 基于 FPGA 的通用开放式星载陀螺模拟器设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (5): 160-166.
- [5] 徐木水, 刘金国. 基于 FPGA 的 CAN 总线通信接口的设计 [J]. 电子设计工程, 2010, 18 (18): 96-99.
- [6] 孟磊. 基于 CAN 总线技术的汽车数字仪表的研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [7] 关俊强, 左丽丽, 吴维林. 基于 FPGA 和 CAN 控制器软核的 CAN 总线发送系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (3): 281-284.

觉和 BIM 的建筑装配过程高精度控制方法, 仿真实验结果表明, 所提方法能够有效提高施工效率, 且建筑装配成本控制精度较高。

参考文献:

- [1] 陈远, 任荣. 基于 BIM 的建筑消防安全管理应用框架研究 [J]. 图学学报, 2016, 37 (6): 816-821.
- [2] 廖哲男, 魏巍, 赵亮, 等. 大体积混凝土 BIM 智能温控系统的研究与应用 [J]. 土木建筑与环境工程, 2016, 38 (4): 132-138.
- [3] 喻钢, 胡珉, 高新闻, 等. 基于 BIM 的盾构隧道施工管理的三维可视化辅助系统 [J]. 现代隧道技术, 2016, 53 (1): 1-5.
- [4] 任继昌, 杨晓东. 基于互信息的高精度双目视觉测距方法研究 [J]. 控制工程, 2015, 22 (1): 199-204.
- [5] 张晓龙, 尹仕斌, 任永杰, 等. 基于全局空间控制的高精度柔性视觉测量系统研究 [J]. 红外与激光工程, 2015, 44 (9): 2805-2812.
- [6] 王耀南, 陈铁健, 贺振东, 等. 智能制造装备视觉检测控制方法综述 [J]. 控制理论与应用, 2015, 32 (3): 273-286.
- [7] 李冠楠. 基于智能视觉的电力网络敏感区设备过热识别 [J]. 电网与清洁能源, 2016, 32 (1): 59-63.
- [8] 汤一平, 韩旺明, 胡安国, 等. 基于机器视觉的乘用车智能采茶机设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2016, 47 (7): 15-20.
- [9] 罗威, 周航, 侯云. 基于机器人技术的电能表拆箱机的设计 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (20): 143-146.
- [10] 颜萌. 基于传感视觉智能化的工业污水监测系统设计 [J]. 现代电子技术, 2016, 39 (14): 143-146.