

# 基于冗余 CAN 总线的实时通信系统设计

苏虎平,沈三民,刘文怡,叶 勇

(中北大学 电子测试技术国家重点实验室,仪器科学与动态测试教育部重点实验室,太原 030051)

**摘要:** 针对航天现场工业环境对通信系统的可靠性有较高的要求, 该文提出了基于冗余 CAN 总线的实时通信系统设计方法, 该方法为系统的 CAN 网络主节点进行节点冗余设计, 同时对 CAN 网络中的每个节点进行总线冗余设计。当主节点出现故障时系统切换到备份主节点工作, 当总线出现故障时系统切换到备份总线上工作。该系统制定了统一的通信协议, 系统主控模块 FPGA 对整个 CAN 网络中的节点进行实时监控, 有效提高了系统数据传输的可靠性。

**关键词:** CAN 总线; CAN 节点; 冗余; 通信协议

**中图分类号:** TN914.1 **文献标志码:** A

## Real-time Communication System Based on Redundancy CAN-Bus

SU Hu-ping, SHEN San-min, LIU Wen-yi, YE Yong

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement, Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** According to the higher request about the reliability of the communication system for industrial environment of aerospace, this paper propose a design method about real-time communication system based on redundancy CAN-bus, which the method make a node-redundancy-design for host-node in the CAN-network of the system, and a bus-redundancy design for each node in the CAN-network at the same time. When the main-node was failed, the system switches to the backup-node, and when the CAN-bus was failed, the system switches to the backup-bus. The main control module-FPGA of the system that have developed a unified communication-protocol monitors all real-time CAN-node in the network, which this method effectively enhance the system reliability of the data transmission.

**Key words:** CAN bus; CAN node; redundancy; communication protocol

CAN (控制器局域网) 总线是最先由德国 BOSCH 公司提出的用于汽车控制并支持分布式控制和实时控制的串行通信网络, 具有高可靠性、高实时性和配置灵活等特点, 被公认为最具前途的现场总线之一。CAN 总线是一种串行数据总线, CAN 控制器结构简单, 使用性能良好, 因此在工业控制

领域、汽车应用领域和航空航天领域中应用广泛。随着 CAN 总线在工业控制领域的广泛应用, CAN 总线网络中的节点数目越来越多, 通信距离越来越长, 但这对 CAN 总线的通信可靠性提出了更高的要求。目前, 常用于提高 CAN 总线通信系统可靠性的措施是冗余设计。而大部分的冗余设计又是对 CAN

收稿日期: 2012-07-13; 修订日期: 2012-09-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50975266)

作者简介: 苏虎平 (1987—), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为电路与系统和微系统集成; 沈三民 (1972—), 男, 副教授, 研究方向为测控技术。

总线进行总线冗余,这在一定程度上减少了工业现场恶劣环境对 CAN 总线可靠性的影响。如果在 CAN 网络中起主控制作用的主节点出现通信故障,则整个 CAN 网络将陷于瘫痪状态。针对此问题,本文对基于 CAN 总线的实时通信系统进行了总线冗余设计和节点冗余设计的双冗余措施来提高系统通信的可靠性<sup>[1-2]</sup>。

## 1 系统总体思想和结构简介

本设计逻辑上划分为上位机部分、上位机和主控模块的通信接口(USB)、主控模块 FPGA、CAN 网络部分等四个部分。由于通信系统要对整个 CAN 总线网络进行实时监控,所以设计 CAN 主节点 1 来接收上位机下发的命令和设置参数,然后按照制定的系统上层通信协议将上位机的命令和参数转发给各 CAN 子节点;同时各 CAN 子节点需要将数据实时发送给 CAN 主节点 1,然后主控 FPGA 将实时监控数据转发给上位机进行分析、处理和存储。由此可见 CAN 主节点 1 在对整个 CAN 网络监控的过程中起到非常重要的作用。但由于电子设备在设计、生产、运输和使用过程中经常会经受各种复杂恶劣环境的考验,这些状况给 CAN 总线的正常通信带来了极大地挑战,因此对通信系统进行冗余容错设计是很有必要的,如图 1 所示。本设计的总体结构图中,总线 1 为默认总线,总线 2 为冗余备份总线。对

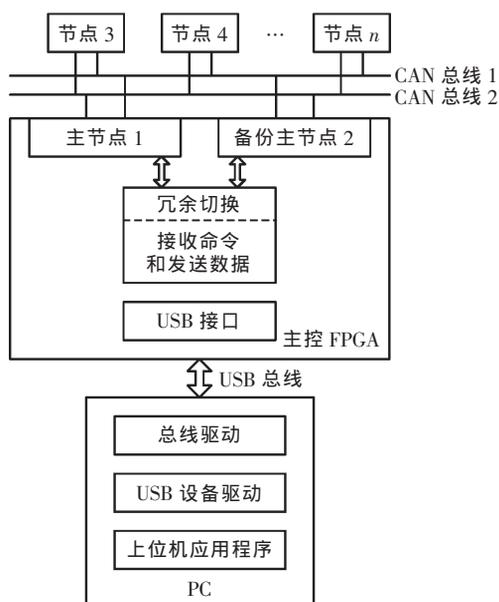


图 1 系统总体结构图

Fig.1 Total structure diagram for the system

CAN 主节点 1 进行冗余备份,当 CAN 主节点 1 发生故障后,自动切换到备份主节点 2,继续对整个 CAN 网络进行监控;本设计对 CAN 总线通信通道进行冗余备份,如果系统默认总线 1 通道发生故障,则自动切换到备份 CAN 总线 2 通道进行正常通信,并向用户进行故障报警<sup>[3-4]</sup>。

## 2 硬件电路设计

### 2.1 CAN 节点硬件设计

本设计利用 STC89C52 单片机控制 CAN 协议芯片 SJA1000 以及 CAN 收发器 TJA1050 实现 CAN 节点电路。CAN 总线协议主要由 CAN 控制器 SJA1000 完成,SJA1000 是 Philips 公司设计生产的 CAN 协议控制器,可完成数据链路层和物理层的所有功能,应用层功能可由 STC89C52 单片机实现。为提高 CAN 总线节点的抗干扰能力,SJA1000 的发送接收管脚不是直接连接到 CAN 收发器 TJA1050 上,在它们中间增加了高速光耦 6N137 以实现 CAN 节点与总线通道的电气隔离。由于本设计的 CAN 网络具有总线冗余即自动切换总线的功能,所以每个 CAN 节点需要连接两套 CAN 总线网络通道,本设计利用两个 CAN 收发器 TJA1050 来实现与每个 CAN 总线通道的连通。因为只有一套 CAN 协议控制器 SJA1000,因此要通过模拟开关实现 SJA1000 与每个 TJA1050 的切换导通,根据总线通道的通信状态,本设计采用 STC89C52 单片机控制模拟开关 CD4052 选择与其中一个总线通道进行连通。

### 2.2 CAN 主节点和主控 FPGA 接口

如图 2 所示,由于主控 FPGA 与 CAN 主节点之间是双向的数据通信接口,其中上位机发送给 CAN 网络的命令和设置参数是偶然、不连续的小批量数据,可以用 FPGA 内部寄存器缓冲,继而发送给 CAN 节点控制器(单片机 STC89C52)内部命令缓冲区;而 CAN 网络各节点发送的是大批量持续的监控数据,需要用 FPGA 内部异步 FIFO 进行数据缓冲,再将 FIFO 中数据传送给上位机。综上所述,由于 STC89C52 单片机与 FPGA 需要进行大量快速数据通信,串行通信无法满足要求,本设计采用单片机的双向 I/O 端口实现与 FPGA 实际的并行通信接口,用单片机和 FPGA 内部的 FIFO 实现各自的数据缓冲。具体采用 P1 口作为双向数据通信接口,P3 口的相关管脚用作读(RD)、写(WR)、错误标志(atc)、故

障切换指令(ERR\_S1、ERR\_S2)等命令状态控制。因为主控 FPGA 与 CAN 主节点需要进行数据的发送与接收,为了避免通信冲突,设置一个通信方向的标志,即“CE”。“CE”为低电平,表示将方向标志设置为数据发送状态,通知 CAN 主节点停止发送信息,转为接收 FPGA 信息;“CE”为高电平表示将通信方向标志设置为数据接收状态,通知 CAN 主节点可以发送数据信息,使主控 FPGA 可以读取 CAN 主节点的数据。

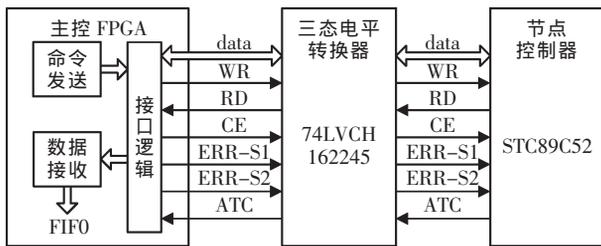


图 2 CAN 主节点和主控 FPGA 接口示意图  
Fig.2 Interface diagram between main CAN-node and master FPGA

### 3 系统软件设计

#### 3.1 主节点工作流程图

由于系统对整个 CAN 总线网络进行实时监控, CAN 主节点起到非常重要的作用:与主控 FPGA 通信,接收 FPGA 转发的上位机命令,并且向 FPGA 发送各 CAN 子节点的数据;监控整个 CAN 总线网络,向 CAN 子节点转发上位机命令和设置参数,接收各子节点的数据,并对各子节点的通信状态进行监控,及时向上位机报告子节点工作情况;冗余容错,当检测到自身或总线工作不正常时,与 FPGA 协同进行故障的再判断,确定故障原因,进行备份 CAN 主节点的切换或者备份总线的切换。如图 3 为主节点的工作流程图。

#### 3.2 CAN 主节点和主控 FPGA 通信时序

FPGA 接收到上位机发送的命令帧后,随即启动向单片机发送命令的进程:首先将方向标志“CE”拉低,表示 FPGA 向单片机写数据开始;略过片刻将数据送入 P1 口总线,当数据稳定后将写信号“WR”由低变高,产生一个上升沿;单片机检测到“WR”的上升沿后,在保持时间之内就读入数据到内部寄存器;一段时间之后再将数据设为高阻态,“WR”信号拉低,至此一个字节的数据发送完毕。FPGA 向 STC89C52 发送数据的时序图如图 4 所示。

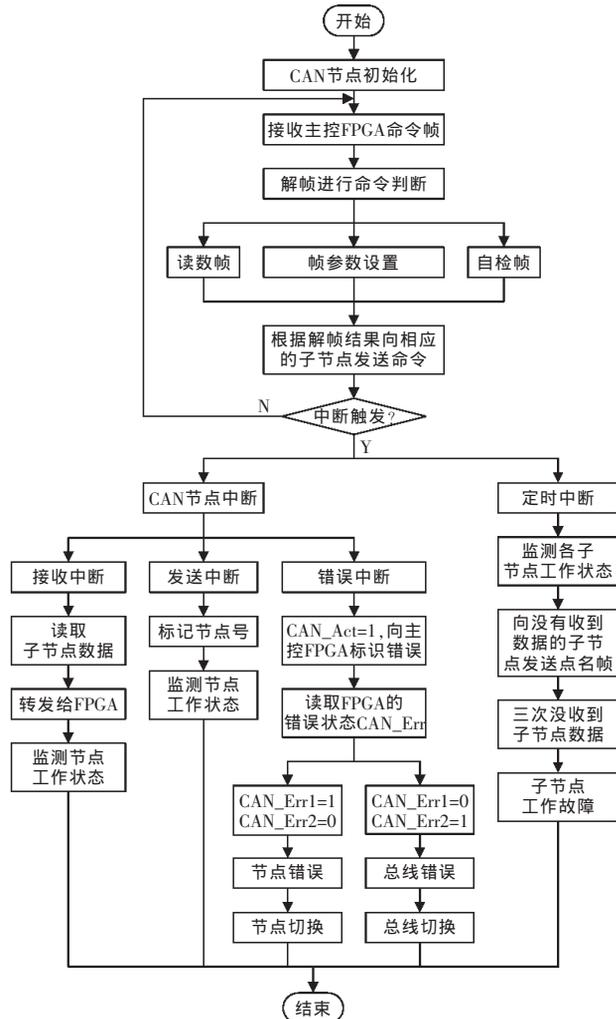


图 3 主节点流程图  
Fig.3 Flow chart of main node

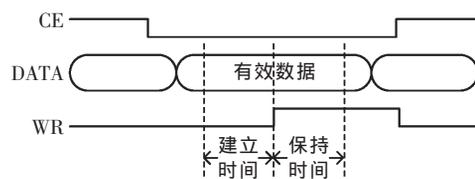


图 4 FPGA 向 STC89C52 发送数据的时序图  
Fig.4 Timing-diagram for data transmission from FPGA to STC89C52

当全部命令发送完毕,将方向标志“CE”拉高,表示单片机可以向 FPGA 发送数据。单片机检测到方向标志“CE”为高电平时,表示可以向 FPGA 发送数据。本设计单片机为数据主动发起者, FPGA 为被动数据接收者。当 FPGA 检测到“RD”信号由低变高时,说明单片机已经送出数据,并且在保持时间内数据保持稳定,就可以读取 P1 口上的数据。FPGA 读取 STC89C52 发送数据的时序图如图 5 所示。

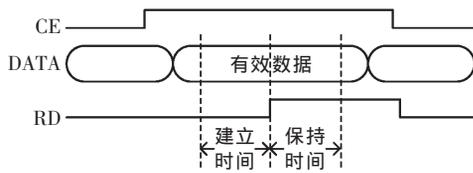


图5 FPGA从STC89C52读取数据的时序图  
Fig.5 Timing-diagram of reading data from STC89C52 to FPGA

#### 4 CAN 总线帧格式

在CAN协议规范中,每次最多只能传送8字节数据,这可满足大多数CAN总线应用领域过程中传送控制命令、节点状态和检测数据的要求。当CAN节点需要发送CAN消息时,根据制定的应用层协议组合成符合CAN协议数据链路层格式的信息帧,并将其存储于CAN控制器的发送缓冲区内。在CAN节点检测到总线处于空闲状态时,就可以通过仲裁获取总线使用权,启动信息发送。

本设计采用CAN总线的扩展帧结构,扩展帧的仲裁场标识符共29位(ID28~ID0);设计的CAN网络中存在CAN主节点1、备份主节点2,以及4个CAN子节点;信息帧类型有点名帧、命令请求帧、数据帧、状态帧;帧传播方式有对全部节点广播的方式和点对点的方式。

ID17~ID14/ID13~ID10代表源节点和目的节点,各节点对应的源节点、目的节点的编号为:主节点1(0001)、备份节点2(0011)、子节点3(1000)、子节点4(1010)、子节点5(1100)、子节点6(1110)。

信息帧类型编码为:点名帧(001)、命令请求帧(010)、状态帧(011)、数据帧(100),其中点名帧、命令请求帧、状态帧、数据帧的优先级分别为0、1、2、3。

#### 5 CAN 网络冗余设计

本设计利用主控FPGA与CAN主节点1协同控制实现CAN总线冗余容错机制,两主节

点时刻检查自身工作状态,若出现错误中断就认为整个总线发生通信故障,驱动错误标志“atc”信号变“高”,向主控FPGA发送错误标志。当主控FPGA接收到CAN主节点1发送的错误状态信息时,同时查询CAN备份主节点2的状态信息:如两者都标志为错误状态,则说明CAN总线出错,驱动错误切换标志“ERR\_S1”和“ERR\_S2”都变高,通知两节点进行冗余总线切换,主节点1仍作为主控节点;如备份主节点2标志为良好状态,则说明CAN主节点1发生故障,驱动错误切换指令“ERR\_S1”为高,“ERR\_S2”变低,下发命令通知进行CAN备份主节点2的切换,同时主控FPGA与CAN主节点1的通信接口也进行切换,并向上位机报告故障状态,之后备份主节点2转变为当前工作主节点与主控FPGA进行数据通信。流程图如图6所示。

由CAN主节点和主控FPGA接口示意图图2可知FPGA与两节点有相同的通信接口,FPGA根据两节点通信状态进行判断,最终确定CAN节点、备份节点和CAN总线通道的各工作状态,从而发送指示命令,进行相应的处理。

#### 6 数据实时监控结果

CAN总线传输是基于CSMA/CD非抢占的仲裁方式,即节点要发送数据时首先检查总线是否有数据

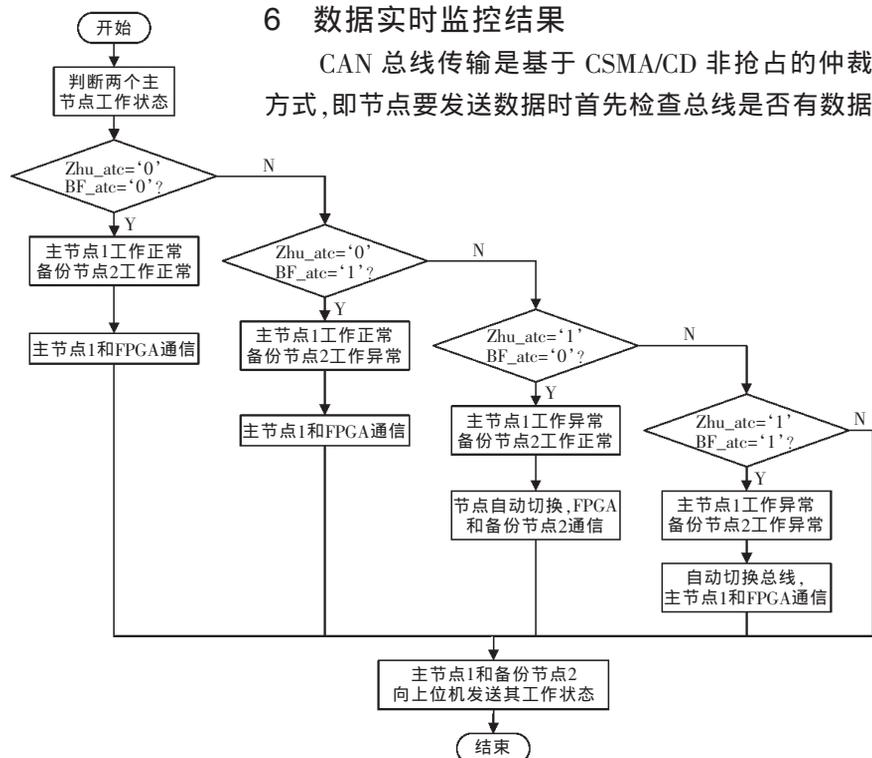


图6 CAN总线冗余切换流程图

Fig.6 Switching flow chart of CAN-bus redundancy

(下转第55页)

表3 实际温度/测得温度/误差数据表

Tab.3 Data table of actual temperature/measuring temperature/error

实际温度/(°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
测得温度/(°C)	0	4.9	10.1	14.8	19.9	24.8	30.1	34.8	40.2	45.2	49.8	54.8	60.1	64.7	70.1	75.2	79.9	84.7	90.3	94.6
误差/(°C)	0	-0.1	+0.1	-0.2	-0.1	-0.2	+0.1	-0.2	+0.2	+0.2	-0.2	-0.2	+0.1	-0.3	+0.1	+0.2	-0.1	-0.3	+0.3	-0.4

## 7 结语

提出了一种新的热敏电阻测温方法,即把阻值信号转化为频率信号,根据一元线性分段拟合法算出被测温度值,给出详细的设计过程,结果已得到实践证明。基于单片机的 RC 震荡 R/F 测温系统,其具有设计简单、成本低、热敏电阻探头引线长、抗干扰能力强等优点。适用范围较广,可用于大棚蔬菜测温、太阳能热水器以及各种测温系统。由于输出震荡频率  $f$  仅与热敏电阻  $R$  和电容  $C$  有关,与常规系统测温电路相比,成本低廉、可靠性高,其显著优点是可以在较远距离测量温度。

### 参考文献:

[1] 沈恒,李舜韶,周华鹏,等.高精度铂电阻温度测量新方法[J].压电与声光,2010,32(5):889-893.

[2] 刘二林,姜香菊.基于热敏电阻的新型温度检测装置研究与实现[J].自动化与仪器仪表,2010(2):84-86.  
 [3] 冯荣达,曹柏荣.基于热敏电阻的多点温度测量系统[J].单片机开发与应用,2008,24(4-2):110-111.  
 [4] 阎石.数字电子技术基础[M].5版.北京:高等教育出版社,2006:480-486.  
 [5] 丁超,张科峰,王磊.一种新型高精度数字 RC 振荡电路[J].计算机与数字工程,2007,35(11):167-169.  
 [6] 文小玲,易先军,曾涛.高精度温度测控系统[J].仪表技术与传感器,2007(8):46-50.  
 [7] 宋大雷,宋国永,田川,等.一种新型低成本海洋测温仪的研制[J].中国海洋大学学报,2012,42(1-2):157-162.  
 [8] 季渊,徐美华,唐智杰.新型单片机水温自适应测控系统[J].自动化仪表,2004,25(9):51-54.  
 [9] 张鹏超,张强.一种 NTC 热敏电阻校正方程的试验研究[J].传感技术学报,2012,25(2):220-223.  
 [10] 沙占友,王彦朋,杜之涛.NTC 热敏电阻的线性化及其应用[J].自动化仪表,2004,25(9):28-30.

(上接第 29 页)传输,只有总线空闲才能发送自己的数据;当两节点同时发送数据时就会出现总线冲突,优先级高的会优先获得总线使用权首先发送数据;优先级低的节点则时刻检测总线,只有优先级高的节点传输完毕,才能传输。本设计对这种传输仲裁进行测试,让主节点 1 向所有节点发送广播命令帧,节点收到命令后同时传输数据,冲突仲裁波形如图 7 所示。

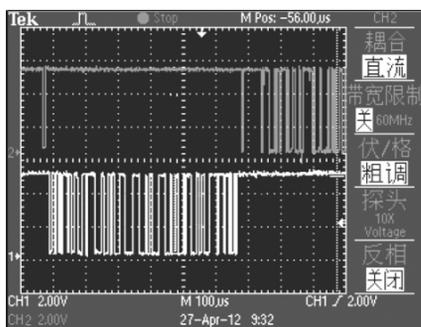


图7 CAN 总线冲突传输“仲裁”波形

Fig.7 Arbitration waveform of transmission conflict for the CAN-bus

图中高优先级的通道 1 显示的 CAN 节点数据抢占了低优先级的通道 2 显示的 CAN 节点数据传输,通道 2 数据等通道 1 数据发送完毕方才进行自

己的数据传输。

## 7 结语

考虑到航天工业现场的恶劣环境,对总线电缆及 CAN 主节点进行了冗余设计,可灵活地切换备用总线和备用节点,保证了通信系统数据传输的可靠性。利用 CAN 总线通讯的高速率,实现多节点(或多通信系统)之间的数据传输。该系统经反复测试,在总线或通道处引入故障时,备用总线和备份节点均能顺利进行切换,并保障通讯正常。本设计满足航天工业现场对通信系统的需求,目前已经成功应用于某信号航天测试系统中,该方案可灵活、快捷地扩展 CAN 网络中的通信节点。

### 参考文献:

[1] 郭晓松,王振业,于传强,等.基于 CAN 总线的容错冗余技术研究[J].计算机测量与控制,2009,17(1):60-63.  
 [2] 孙立辉,原亮.基于 CAN 总线的双机冗余系统设计方法[J].单片机与嵌入式系统应用,2002(9):33-35.  
 [3] 冯源,向桂林,李军.基于 C8051 的冗余 CAN 总线智能节点设计[J].航空计算技术,2008,38(5):107-110.  
 [4] 王红亮,田帅帅.基于节点冗余的 CAN 总线网络双冗余方法[J].探测与控制学报,2010,32(4):90-94.