

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.04.0012

电梯现场总线系统的优化设计

汤志强, 马钧华, 杨雅薇

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对当前电梯通信系统任务繁重,通信效率较低、实时性不高等问题,提出了基于SPI和CAN总线的电梯现场总线系统的优化设计方案。设计了一种基于串行外设接口的SPI电梯通信协议,对SPI电梯通信的帧机制、数据流、差错控制等做了较完善的规定;设计了SPI通信在干扰情况下重新帧同步的方法;设计了主控板与电梯外围控制器的统一CAN总线协议。实验表明本方案不仅实现了电梯系统中主控板与电机控制板的全双工实时通信,还降低了通信系统设计的复杂性,提高了通信性能。本设计能极大地改善当前电梯通信的状况。

关键词:电梯;现场总线;SPI电梯通信协议;CAN总线协议

中图分类号:TP273

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)04-0058-05

Optimization Design of Field Bus System for Elevators

TANG Zhiqiang, MA Junhua, YANG Yawei

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: As for the complexity and low efficiency of elevator communication, the paper designed a new optimized field bus system for elevators based on SPI and CAN bus. A lift communication protocol based on SPI was designed in detail with its frame mechanism, data flow, error control mechanism; a resynchronize method was proposed to ensure the reliability. And the unified CAN field bus protocol was designed for the main control board and other elevator peripheral controllers. It proved that it not only implemented full duplex real-time communication between the main control board and the driver board, but also improved the performance of elevator communication system, and simplified the system.

Key words: elevator; field bus; SPI(serial peripheral interface) elevator communication protocol; CAN field bus protocol

电梯控制系统是一个分布式和模块化的系统,各个分布模块之间通过合适的总线协议相互联系,构成一个统一调度的整体。随着现代楼层的不断增加,电梯功能和性能的不断增强,对电梯现场总线的要求也不断增加。

1 电梯现场总线系统简介

常见电梯系统的控制部分主要由5个模块组成:主控板,是整个电梯的核心,负责协调控制整个电梯的正常运行;轿顶板,是轿厢的控制中心,负责轿厢门机控制,采集轿内呼梯信息等;轿内呼梯板(内呼板)和轿外呼梯显示板(外呼板)分别实现了轿厢内、外的呼梯请求;驱动板,控制电梯曳引机运行。

主控板与电机驱动板的通信特点是近距离、多功

能和实时性强,而主控板与其他的功能模块之间的通信具有节点多和距离长的特点,但信号实时性要求相对较低^[1-2]。图1为本文提出的电梯现场总线系统结构。

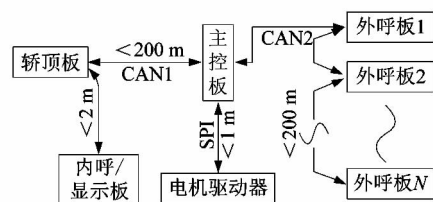


图1 电梯主要功能模块之间的现场总线结构

Figure 1 Elevator field bus system between function modules

收稿日期:2015-12-21;修回日期:2016-03-10

作者简介:汤志强(1991),男,江西吉安人,硕士研究生,主要研究方向为电机控制与嵌入式系统设计。E-mail: daretzq@163.com

根据电梯现场总线特点,方案采用了 SPI 和 CAN 总线协议。SPI 是一种高速全双工的同步通信总线,为主从通信模式,由 1 个主设备和 1 个或多个从设备构成;CAN 总线以其高可靠性、实时性、灵活性和低成本的特点,广泛应用于分布式控制系统中,成为国际上应用最为广泛的现场总线之一。

2 SPI 电梯通信协议设计

方案主控板采用 ARM 微处理器 STM32F103,电机驱动板采用型号为 TMS320F28069 的 DSP。电梯的主控板 ARM 与驱动板 DSP 之间的通信,不仅需要双向高实时性的控制信息流,还需要实时性要求略低的参数读写信息流。SPI 总线高速全双工通信的特点能很好满足电梯的这种双 MCU 通信要求。SPI 本身只对通信的物理层进行了规定,缺少组帧机制,没有指定的数据流控制,缺少控制传输差错的机制^[3],因此,需要对帧机制进行定义。

为匹配不同 MCU 或外部设备的时序,SPI 支持 4 种时钟模式。本方案采用空闲时钟为高电平,下降沿采样的时钟模式。ARM 设置为 $C_{POL} = 1, C_{PHA} = 0$;DSP 设置为 $C_{POL} = 1, C_{PHA} = 1$ 。

2.1 数据帧结构设计

本方案中,电机驱动板 DSP 作为 SPI 通信主机,主控板 ARM 作为从机。根据 SPI 的同步移位通信机制,主、从机的报文采用相同的数据长度,且结构相似。数据解码采用按位置定义的方法,简单明了。数据帧按定时交换的方式永远在线。SPI 采用 16 位字符长度,具体报文结构如表 1 所示。

表 1 SPI 报文结构

Table 1 SPI message structure					
帧标识	实时通道	参数通道	流水号	校验码	帧间隔
1	5	6	1	1	≥ 8

帧标识:为握手字符,可快速检测帧同步。主控板:0xA55A。驱动板:0x5AA5。使用不同的帧标识,便于区别帧的来源。

实时通道:电梯主控板与驱动板之间的运行指令和状态反馈的实时性要求高,为此设置了实时通道,如表 2 所示。预留备用字 Word 4(表 2 中未列出)为扩展功能时无需改变位置解码规则。

控制字实现对曳引机的运行控制;状态字反馈驱动器当前状态、主接触器控制和电梯抱闸控制等;指令运行模式和实际运行模式也在其中定义:1—检修,2—正常,3—复位,4—井道自学习、端站超速保护,5—电

机自学习等,可以根据需要定义更多的模式。控制/状态字定义如表 3 所示。

表 2 实时通道结构

Table 2 Real time channel structure

字	主控板	驱动板
Word 0	控制字	状态字
Word 1	给定转速	实际转速
Word 2	称重信号	转矩电流
Word 3	楼层信息	故障编码

表 3 控制/状态字位结构

Table 3 Control/status bit structure

位	控制字	状态字
15:5	指令运行模式等	实际运行模式等
4	备用	接触器合
3	备用	抱闸继电器合
2	反转	驱动器故障
1	正转	运行
0	运行使能	运行准备好

对于故障编码字,将常见的故障类型按位定义,可同时指示 16 种常见故障的有无。

参数通道:主控板和驱动板之间涉及到数据和信号交换,为此设计了参数和信号通道(简称参数通道)。通道包含参数命令/状态,用于寻址的参数地址和参数数值。为了结构简单,每次读写都是 1 个参数(可以是 16 位 1 个字,也可以是 32 位占 2 个字,这里按 16 位描述)。读写可以双向进行。参数通道结构如表 4 所示。

表 4 参数通道结构

Table 4 Parameter channel structure

参数状态/命令	写地址	写数据	读地址	被读地址	被读数值
1	1	1	1	1	1

参数状态/命令:主要实现对参数的读写控制,具体结构如表 5 所示。为了保证每次读写的正确性,通信一方只有接收到对方被读/被写完成状态位,才能确认读取数据的有效性和写入数据的完成情况。可以采用同时发出对同一地址的读和写命令,当收到读和写完成状态,且读出的内容正确后,才确认写入的完成。

表 5 参数状态/命令位结构

Table 5 Parameter status/command bit structure

位	功能
15:4	备用
3	1:写请求命令;0:无写请求
2	1:读请求命令;0:无读请求
1	1:被写完成状态;0:写未完成
0	1:被读完成状态;0:读未完成

流水号:记录主从机之间通信帧的正常完成情况。主机的流水号是在上次正确接收的从机流水号上加1(开机时从1开始);从机正确接收到主机的流水号后,加1返回给主机,以此类推。各方如果接收的帧不正确,则保留最后一次正确的流水号。这样,主机和从机都可以据此判断对方是否正确接收了本机发出的数据帧。需要规定可容忍的通信错误的次数。一旦超出,驱动板立刻安全停车,主控板取消运行命令。需要人工干预后才可恢复运行。

校验码:进行差错检测,保证通信可靠性。本协议采用和校验。

帧间隔:主机提供2个数据帧之间的间隔,为从机提供再同步标志信息。采用至少 N 个字传输(取 $N=8$)时间作为帧间隔。

采用上述报文结构,既保证了电梯重要信息的全双工实时通信,又满足了主、从机之间参数和信号的应答读写的需要。

2.2 帧同步设计和实验验证

SPI通信机制是主机和从机的移位寄存器同步移位操作,且主、从机共用主机的时钟信号。正常同步后,主、从双方将自动持续保持同步移位状态。但是,当通信过程受到外界干扰,或者在系统开机时从机后于主机开机,也会导致从机接收到的数据失去同步。非同步时移位传递的数据是无效的。

为了实现SPI的帧自同步和同步丢失后的再同步,采用帧间隔期间从机清空SPI移位寄存器的方法。对于从机ARM,若接收报文的帧标识不是约定值,或者报文校验码错误,判定此时帧错误或不同步,直接丢弃接收到的帧,并复位SPI模块,清空从机的移位寄存器;待帧间隔时刻到来时,再重新使能SPI模块。若连续尝试 n 次(如 $n=100$)仍然无法建立正确的同步通信,则向系统发出SPI通信故障警告,要求人工干预。

实验中,保持主机DSP的SPI一直工作,并保持约定的帧间隔周期;随机重启ARM从机或插拔SPI的连接线,SPI帧通信能在帧间隔后重新同步,验证了本方法的有效性。

2.3 SPI通信软件设计

SPI的传输波特率可以为0.25~1.00 MHz,可依据CPU的负荷水平合理选择。本方案主机DSP采用主动发送数据的方式,结合FIFO,在PWM的主中断中按查询方式工作。从机ARM采用中断接收方式,同时在接收中断程序中发送数据;并设置定时器中断,以Gap_count变量计数检测帧间隔;To_be_handle=1表

示SPI有接收数据待处理,T8表示8个字传输时间的定时器计数值。以从机为例,主要的程序流程如图2所示^[4-6]。

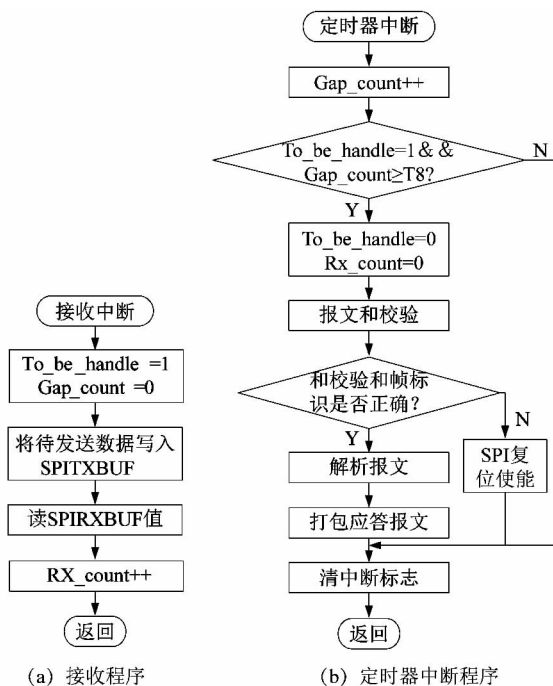


图2 从机SPI通信程序流程图

Figure 2 SPI program flow chart for slave

考虑到从机发送的报文总是滞后于主机1个字,所以主机报文的最后发送1个哑巴字。实验中通过逻辑分析仪截取部分通信报文如图3所示。图中对主机报文的各个字进行了简要的标注说明。对照上文对SPI的规定,主控板发送报文表明电梯上行,正处于12层,主控板请求读驱动板0x0118地址中的参数。驱动板发送报文分析类似。

图4所示为主控板通过上述设计SPI协议传送给电机驱动板的实时生成速度曲线。

3 电梯外围统一CAN总线设计

CAN总线电路原理如图5所示。TJA1051是一款高速CAN收发驱动器,提供CAN总线控制器和物理双绞线之间的接口。

相比于主控板与驱动板的核心通信,主控板与轿顶板和内外呼板之间的外围通信,具有节点多、数据包短小但交换频繁、通信距离长(很多现代大厦都在100 m以上)和可靠性要求高等特点。采用统一的CAN总线通信,利用CAN数据帧可携带最多8个字节的数据,固有的冲突避让多主协议机制,ID标识符的报文身份和功能确认特点,可以很好地满足这种外围通信要求,又可简化通信软件编制的工作量。

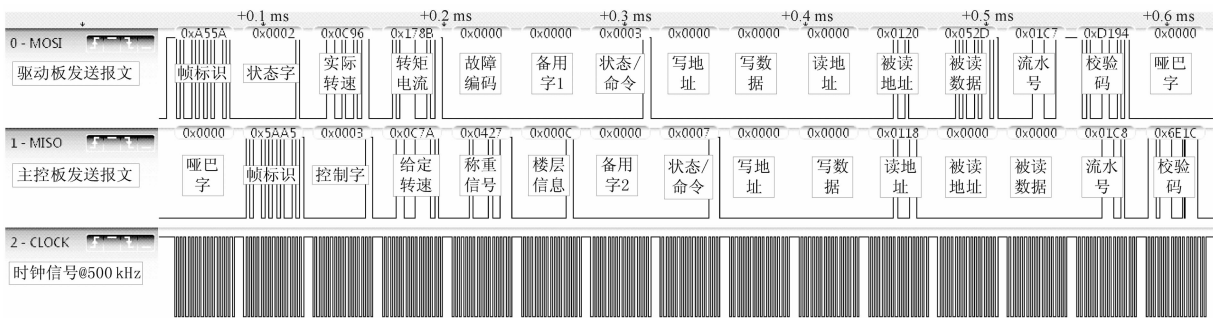


图 3 SPI 协议报文

Figure 3 SPI message

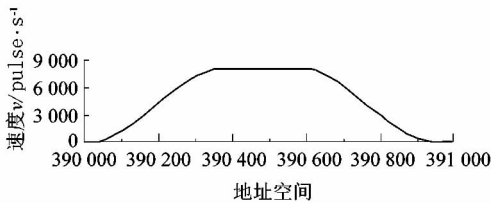


图 4 SPI 协议传输的电梯运行曲线

Figure 4 Transmitted elevator running curve

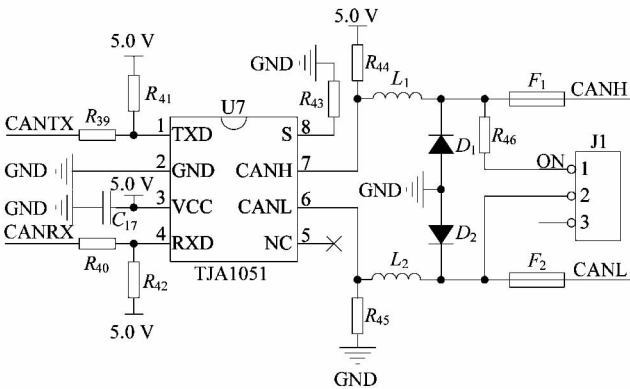


图 5 CAN 总线电路原理图

Figure 5 Circuit diagram of CAN bus

对于高层电梯,将安装在每层的众多外呼板采用一条独立的 CAN 总线连接;而主控板与轿顶板之间采用另一路 CAN 总线。对于低层电梯,由于通信节点较少,主控板与轿顶板、外呼板之间可统一采用一路 CAN 总线。为了协议简洁,2 路 CAN 总线仍采用统一的 ID 分配。

根据 CAN 总线的总线仲裁机制,标识符数值越小的报文具有越高的发送优先级,因此可以通过设置标识符的大小来保证主控板与轿顶板的发送报文具有更高优先级。各个外呼板以节点方式挂接在总线上,相互独立,单块板出现故障不会导致系统瘫痪,而是该节点的自动退出^[7-8]。

CAN 现场总线网络中,需要对标识符进行合理的分配。本方案采用 11 位标准 ID 模式,具体如表 6 所示。其中,通信节点使用 2 位编码:“00”代表主控板,“01”代表轿顶板,“10”代表内呼显示板,“11”代表外呼板。外呼板 ID 的后 6 位表示对应的楼层。

表 6 电梯 CAN 总线标准 ID 位结构

Table 6 Standard ID structure of CAN bus

位	位含义	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
10:9	发送节点	00	00	00	00	01	01	01	10	11
8:7	接收节点	00	01	01	11	00	00	10	01	00
6	内容编号	0	0	1	0	0	1	0	0	0
5:0	外呼板编号	0	0	0	0	0	0	0	0	1~63

表 6 中:①表示主控板广播电梯状态信息,由电梯当前楼层、电梯运行方向和满载超载情况、电梯运行模式等 3 个字节组成;②表示主控板对轿顶板控制、报警等信息;③表示主控板响应轿顶板内呼信息;④表示主控板响应外呼板信息;⑤表示轿顶板至主控板的门机、载重信息;⑥表示轿顶板发往主控板的内呼信息;⑦表示轿顶板发往内呼/显示板的信息;⑧表示内呼/显示板至轿顶板的内呼信息;⑨表示外呼板发往主控板外呼信息。

据以上 ID 分配,报文发送优先级顺序依次为:主控板,轿顶板,内呼显示板和外呼板。

CAN 总线的软件实现首先进行 CAN 模块初始化,主要包括 IO 口初始化、模式配置、中断配置、过滤器组配置等。本方案 CAN 总线采用主动发送、中断接收的方式^[9]。CAN 总线的 ID 过滤和循环冗余校验(CRC)由硬件自动完成,极大地减轻了 CPU 的负担。其发送和接收程序流程图如图 6 所示。

通过逻辑分析仪分析 CAN 收发报文,截取部分结果如图 7~10 所示(为了保证截图清晰,报文中 ctrl 字节和末尾 ACK 未放大显示出来)。

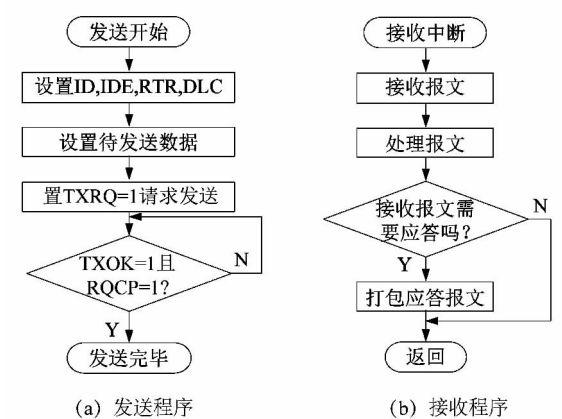


图6 CAN发送和接收程序流程图

Figure 6 T/R program flow chart of CAN

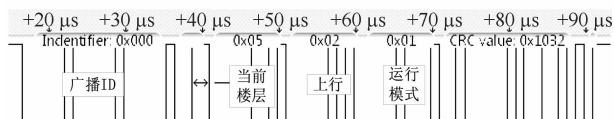


图7 主控板广播信息

Figure 7 Broadcast information



图8 轿顶板内呼报文

Figure 8 Call message of car call board

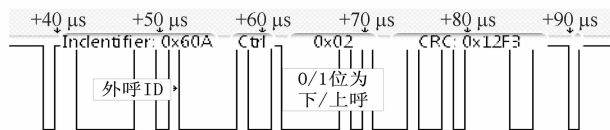


图9 外呼报文

Figure 9 Message sent by hall call board

图7为主控板发送的电梯处于5层上行正常运行模式状态的电梯广播报文;图8为8楼内呼请求的报文;图9表示10楼上呼请求;图10为主控板发送的10楼外呼请求的应答报文。

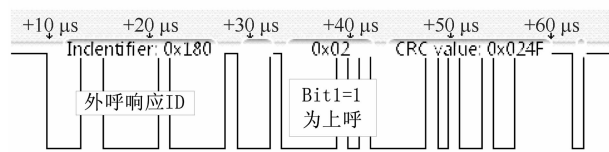


图10 外呼响应报文

Figure 10 Response message of hall call board

4 结语

本文提出了电梯现场总线系统的一套优化设计方案。在高速全双工实时通信上采用单一的SPI数据帧结构,集成了实时通道和参数通道,按位置解码,具有自动帧同步功能,全面满足了主控板与驱动板的通信需求;在电梯外围的众多节点通信上,利用CAN总线的多主和仲裁特性,兼顾优先级,将多主节点的通信任务进行了统一ID编码。这套优化方案,满足了现代分布式电梯的通信需求,易于实现,为电梯系统的现场总线控制系统提供了一种新的选择。

参考文献:

- [1] 段晨东,张彦宁. 电梯控制技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2015:10-34.
- [2] 檀永. 基于ARM技术的嵌入式电梯控制系统研制[D]. 苏州:苏州大学,2009:41-49.
- [3] 张岩,马旭东,张云帆. ARM与DSP的SPI通信设计实现[J]. 工业控制计算机,2008,21(9):56-57.
- [4] 杨美刚,李小文. SPI接口及其在数据交换中的应用[J]. 通信技术,2007,40(11):385-387.
- [5] 华卓立,姚若河. 一种通用SPI总线接口的FPGA设计与实现[J]. 微计算机信息,2008,24(6):212-213.
- [6] 胡立,刘明,黄声华. 一种简易的电梯速度曲线生成方法[J]. 机电工程,2006,23(7):10-12.
- [7] 邓斌. 基于STM32的电梯呼梯控制器设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2011:33-49.
- [8] 王坚峰,张任,严海. 基于CAN总线的温室环境控制系统[J]. 轻工机械,2009,27(1):69-72.
- [9] 李霖霖,陈阳生,章玮. 基于CAN总线的电动汽车中继站研究[J]. 机电工程,2015,32(3):379-383.