FlexRay总线在嵌入式线控制动系统的应用与实现

对于线控制动系统，数据的实时性、安全性和可靠性是必须解决的关键问题。目前广泛应用的CAN、LIN等车载总线由于缺少同步性、确定性和容错性，而且通信速度相对较低，并不能满足线控制动系统的要求。针对线控制动系统对车载总线的要求，选用FlexRay协议作为通信协议对系统进行研究与应用。尽管针对对象是线控制动系统，但亦可应用于其他的线控系统中，如线控转向系统、线控悬挂系统和线控离合系统等，具有一定的理论和实践参考价值。

金紫阳／贵州电子信息职业技术学院

金紫阳／讲师

关键词／Keywords
FlexRay总线·
线控制动系统·
嵌入式系统·
车载总线·

系统整体架构设计

基于FlexRay总线的嵌入式线控制动系统的整体架构设计如图1所示。

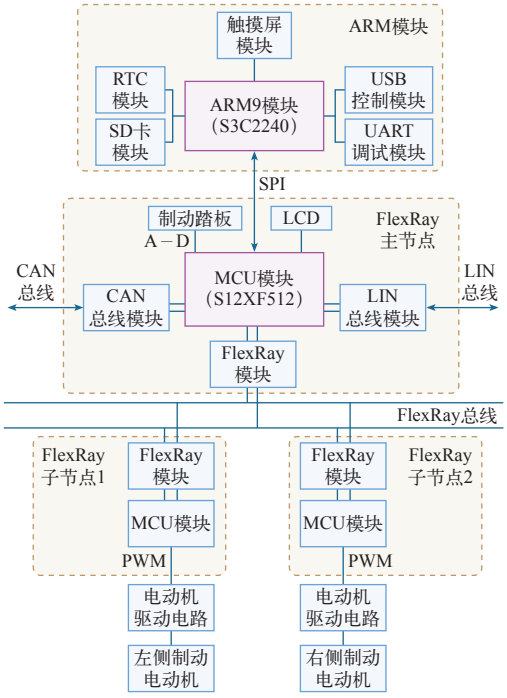


图1　基于FlexRay总线的嵌入式线控制动系统的框架图

国家科技支撑计划项目（2013BAA01B01），国家科技部中欧中小企业节能减排科研合作资金项目（2150804）。

嵌入式线控制动系统的硬件设计

由图1的系统框架图可以看出，本文设计的嵌入式线控制动系统在硬件上主要分为两大部分：FlexRay节点模块（包括主节点和2个子节点）以及ARM9模块。

FlexRay模块中的主节点和子节点采用相同的硬件电路设计，在实际的生产和焊接过程中可以考虑子节点只需要设计FlexRay通信相关的模块。FlexRay主节点与ARM9模块之间的通信采用一种改良后的Two－Way SPI通信[1]。ARM9模块通过触摸屏进行终端显示和控制操作，另外可以扩展CAN和LIN总线的控制操作，例如车身控制器的实现。整个系统的架构以FlexRay主节点和子节点作为线控制动系统核心电子控制单元（ECU），ARM主要作为触摸屏辅助控制界面的控制器。

1. 主控MCU

FlexRay节点采用飞思卡尔公司的MC9S12XF512单片机作为主控芯片，它是一款内部集成了单/双通道FlexRay通信控制器的新系列16位车用微控制器，非常适合用于中高档汽车线控系统中。MC9S12XF512单片机不仅可以满足对成本低、线路板空间小的要求，而且具有高速率、低功耗、高稳定性和价格便宜等特点[2]。主要用于提供安全与主动驾驶应用，例如主动防止车辆翻覆、悬吊控制、线控制动和停车调度协助等。

2. 电源电路

FlexRay节点一共需要3种电压：

中国知网　https://www.cnki.net

3.3 V、5 V和12V。3.3 V电压主要给节点中所设计的MicroSD卡模块供电，5 V电压主要给MCU以及外部电路供电，12 V电压主要给LIN收发器芯片供电。3.3 V电源模块采用AMS1117－3.3电源芯片，5 V电源模块采用LM2940S－5.0电源芯片，这两款电源芯片外围电路简单，只需要一些电容电阻即可产生稳定的所需电压。而且，其所提供的电流可以满足节点的电流需求。5 V电源芯片的输入由12 V的车载电源提供，同时12 V电压源可以为LIN总线模块供电。

3. CAN总线通信模块电路

为了此方案以后的功能扩展，也将CAN总线和LIN总线模块设计进了FlexRay节点的硬件电路中。采用TJA1050作为CAN总线的收发器。TJA1050是连接控制区域网络（CAN）协议控制器和物理总线的接口，是一种标准的高速CAN总线收发器。它可以为控制器提供差动接收功能，同时为总线提供差动发送性能。TJA1050是继PCA82C250和PCA82C251等高速CAN收发器之后的升级产品。在本设计中，在TJA1050和总线接口之间并联了一个 120 Ω的终端匹配电阻。这是因为CAN总线采用的差分信号传输，匹配电阻不仅可以降低CANH和CANL回路间的阻抗，同时还能使CANH和CANL具有确定的电平，避免高阻抗的出现。另外采用HCPL2630作为高速光耦，起到隔离和抑制共模的作用。图2为具体实现电路图。

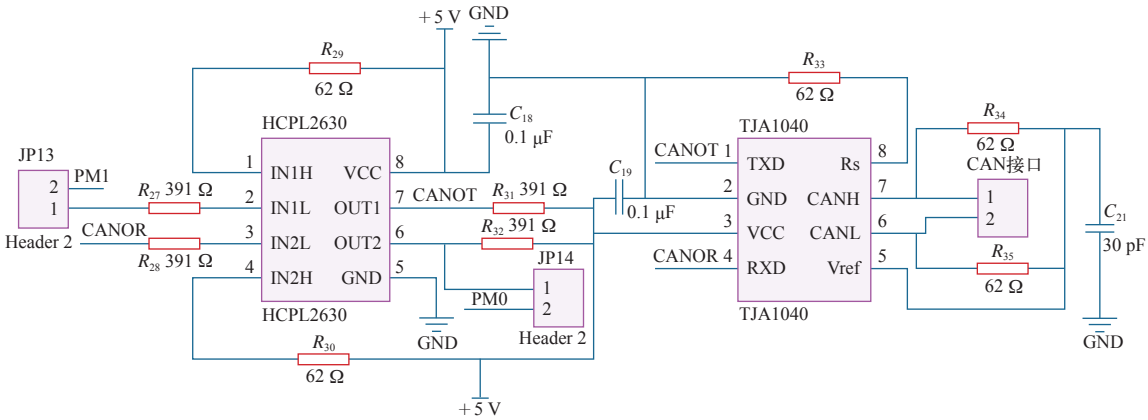


图2 CAN总线通信模块电路

嵌入式线控制动系统的软件设计

本文所设计的嵌入式线控制动系统的软件主要是基于线控制动系统的硬件电路，利用C语言和QT4来实现所需功能。并且，通过电位器模拟制动踏板制动力的输入，通过刹车减速电动机模拟制动过程。软件系统的总体思想是：

1）对于FlexRay主节点，MCU模块将系统所要实现的功能按对实时需要的程度，分为不同的优先级，然后利用主控芯片在时钟节拍下，不断查询优先级高的就绪任务进行执行。

2）对于FlexRay子节点，根据FlexRay协议规范，在子节点的时间段内不断地接收总线上的数据，根据总线的数据调节 PWM 对刹车减速电动机执行控制功能。

3）对于ARM9模块，需要移植Linux系统进行QT4完成界面编写。然后通过不断的定时查询是否有触摸屏的操作，若有，则解析操作指令，然后根据类型不同，将对应的指令通过SPI总线传送给FlexRay主节点，同时通断查询是否有MCU模块通过SPI总线发送过来的信息指令，若有，先解析，然后再发送到触摸屏上显示。

1. FlexRay初始化流程

在设计完节点收发消息的ID值、缓冲器序号及协议参数的配置值后，就可将这些内容放在FlexRay初始化的系统配置文件中，当系统初始化时，对芯片FlexRay模块的相关寄存器进行赋值，初始化FlexRay系统。对FlexRay模块的寄存

中国知网 https://www.cnki.net

器进行配置，初始化模块最基本的硬件部分，如FlexRay模块在芯片中的地址以及内存地址的配置、发送通道的选择、发送模式以及总线时钟的选择等。

在FlexRay模块相关寄存器配置完成之后，通过发送CONFIG命令使系统进入到POC：config状态。当系统处在POC：config状态时，可以开始系统协议参数的配置和系统消息缓冲器的配置。协议参数配置是指对POC0～POC30寄存器中的一些协议参数进行赋值，消息缓冲器的配置对已经分配给指定时槽的缓冲器进行类型、发送模式、发送通道、是否中断、发送帧的ID和缓冲器索引号等值的设置。当一切配置完成之后，通过发送CONFIG_COMPLETE命令离开配置模式。当总线上的节点全部唤醒，并且都处在POC：ready 状态下时，各个节点通过发送RUN命令来使节点准备开始通信，当反馈的协议状态表明系统处于POC：normal_active状态时，FlexRay系统的初始化完成，节点控制器进入正常的工作状态，开始发送接收数据。

2. 消息发送流程

FlexRay节点在发送消息时，先需要将待发送消息封装到一个数据帧里，然后将该数据帧放在一个时槽里面发送。一个基于TDMA机制的时槽，无论是在静态段发送还是在动态段发送，都需要先将时槽分配给指定的节点，只要满足该时槽的ID和相应数据帧的ID相同即可。每个节点在每个通道中都可能发送一连串消息，而节点中的发送器只发送那些已经编码完成，等待发送的编码帧。MC9S12XF512芯片在FlexRay模块中设置有很多与发送缓冲器有关的状态位，当消息准备好发送时，模块就会设置相应的寄存器指示位和中断位，实时产生中断通知程序读取消息并发送消息。

3. FlexRay主节点与ARM9通信模块

考虑到传统的SPI通信的缺点以及本系统中要求从机也能主动向主机发送数据的要求，在原有的四线制SPI通信的基础上，加入一条中断信号线，用来实现数据流的控制和响应的应答机制。其具体实现方式是，当主机向从机发送数据时，当从机接收到数据后会拉低中断信号线提示主机数据已经收到；同时当从机要向主机主动发送数据时，从机也会拉低中断信号线，主机响应外部中断，然后发送时钟时序将从机中的数据接收回来。

系统联调与测试

本文所设计的嵌入式线控制动系统硬件在回路的实物图如图3所示。跟本文上述所提出的方案图一致，ARM9模块通过SPI与FlexRay主节点相连，FlexRay主节点通过集线器连接到两个子节点，两个子节点分别控制左右两侧制动电动机。

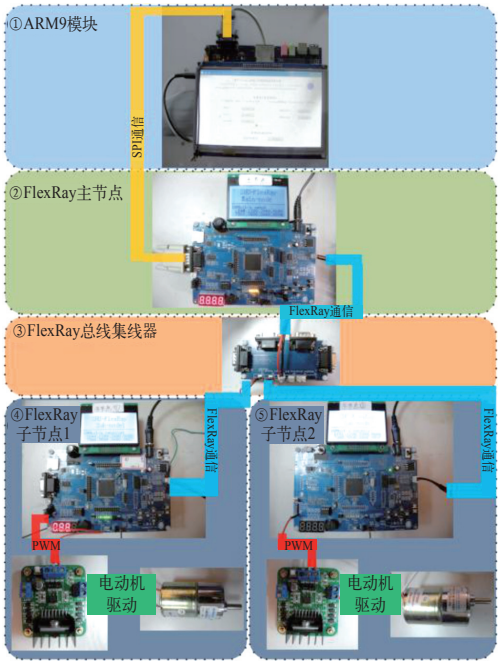


图3 基于FlexRay总线的嵌入式线控制动系统的硬件实物图

1. ARM9模块

ARM9模块的触摸屏控制界面中设计了用于通信测试的按键。利用FlexRay主节点上的蜂鸣器、LED和数码管等硬件资源来响应ARM9的控制命令，如果FlexRay主节点能够做出相应的动作则证明ARM9与FlexRay主节点之间的SPI通信功能正常。另外，该界面还设计了用于测试FlexRay通信的控制功能，可以分别向主节点发送控制FlexRay

中国知网 https://www.cnki.net

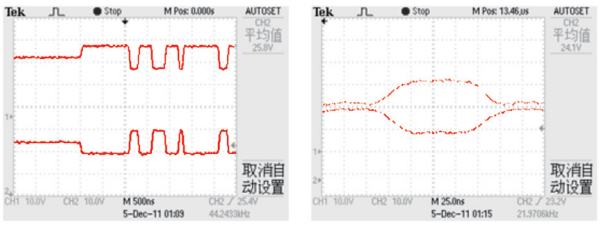
子节点的命令，主节点此时起到网关的作用。根据SPI上的信息，对两个子节点发送控制制动命令，如果子节点可以根据触摸屏的控制命令完成制动，则证明FlexRay通信正常。

此外，ARM9模块的控制界面中还设计了一个辅助紧急制动按钮，如果FlexRay通信正常，但是主节点上的刹车采集模块出现故障，可以通过SPI和FlexRay通信辅助完成制动。

2. FlexRay主节点

FlexRay主节点在整个系统中起到核心控制器的作用。一方面，它可以通过SPI接收ARM9模块上触摸屏的控制命令，作为网关对FlexRay子节点进行控制。更重要的是，它作为线控制动系统的主节点完成制动信号的采集和处理，然后根据制动力向子节点发送制动信号。在本方案中利用电位器改变电压值来模拟制动信号的模拟输入，然后利用S12XF512的A－D模块进行数字处理。

在本文设计的FlexRay主节点中，硬件上采用的晶振频率是4 MHz，利用S12XF512内部的PLL模块可以将总线频率设置为80 MHz。在单片机的FlexRay模块的寄存器中，将通信速率设置为10 Mbit/s。图4是在实验过程中，通过示波器截图得到FlexRay总线上的信号波形。



（a）横坐标每格500 ns　　（b）横坐标每格25 ns

图4　FlexRay总线信号波形

通过图4b可以知道横坐标每格表示25 ns，1 bit数据的波形为4格，通过计算可知该系统FlexRay总线上的比特率可以达到10 Mbit /s。

在实际的系统操作中，制动电动机能够实时地对电位器的动作做出反应，可以很好地实现制动功能。

结束语

本文研究了FlexRay总线的时间特性，提出了总线静态段与动态段时间参数配置的关键问题以及相应的优化方法，提出了一套基于FlexRay的线控制动系统设计方案。采用MC9S12XF512单片机和TJA1080ATS/2收发器连接，进行相关的数据通信。另外，对于子节点设计了电动机驱动电路以连接刹车直流电动机；设计了一个基于ARM9的上位机触摸屏控制界面，可以利用触摸屏对整个系统进行通信测试，必要时还可以进行辅助紧急制动。在这个模块的设计过程中，实现了Linux系统的移植，完成了软件系统的总体结构。本文采用模块化的结构设计方法，利用C语言设计了系统的软件，包括：制动信号采集模块、FlexRay通信模块、LCD显示模块和PWM电动机控制模块等。利用FlexRay网络通信实现了线控制动功能。

参考文献

[1] 孙斌，胡越黎，王昆．SPI总线用于双处理器通信的数据链路层设计及其实现 [J]．上海大学学报：自然科学版，2012，18 (6)：580-584．

[2] 王婧，张欣．汽车网络通信协议TTP/C和FlexRay的研究分析 [J]．北京汽车，2006 (6)：40-43．

（收稿日期：2014－12－16）EA

欢迎订阅　欢迎投稿　欢迎刊登广告

中国知网 https://www.cnki.net