

基于 FlexRay 总线线控制动系统的设计研究

戴晓晨 张凤登 张宇惠

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

摘要: 随着汽车电子的发展,汽车对其总线的要求愈发严格,而 FlexRay 总线无疑是未来汽车总线的方向。同时,汽车制动系统是保证汽车行驶安全性的重要组成部分,它直接影响汽车的形式安全性能。随着相关技术的发展。通过研究 FlexRay 总线协议与线控系统,基于 FlexRay 总线进行了整个制动系统设计。硬件选用 MC9S12XF512 芯片,其具有支持 FlexRay 通信的功能。整个线控制动系统通过电子装置实现压力数据的采集、磁粉制动执行机构的制动力输出等功能,最终实现汽车的线性制动控制,达到所需的线控制动系统的基本要求。

关键词: 线控制动;FlexRay 总线;MC9S12XF512

中图分类号: TP336 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.0811

Research and design based on FlexRay of brake-by-wire

Dai Xiaochen Zhang Fengdeng Zhang Yuhui

(1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: With the rapid development of the electrification of vehicles, X-by-wire technology has been a major subject in the field of automotive electronics research. To build up an appropriate brake-by-wire system model, it has greatly significance to improve the system safe, reliability and strengthen the real-time and also push the progress on the research and design level of the brake-by-wire system. In the braking process of brakes, For hardware and software, there are five FlexRay communication nodes, including designation of PCB, hardware circuit debugging, designation of software and using of the experimental car's platform to execute the order whether the car can brake smoothly. Experiments show that the brake-by-wire system can satisfy the national standard of braking performance requirements to ensure the system running safely and reliably.

Keywords: brake-by-wire; FlexRay; MC9S12XF512

0 引言

在制动系统的整个发展史中,纯机械的形式首先呈现于大众的眼前,随着纯机械的弊端的暴露,液(气)压形式随之而来。伴随其发展的交通事故带来的危害也不容忽视,因此交通安全问题日益突出^[1]。据国家交通部统计,2000年以来,我国每年的交通致死率已经达到了20%,其中每年都有50万起以上的交通事故发生,根据报道,这个数据还会在未来继续上升^[2]。在符合制动需求的情况下,制动系统的整体性能稳步甚至跨越式的发生提高。因此,线控系统的发展无疑是迫切而需要的。

近年来,在一辆汽车上的电子控制单元(electronic control unit,ECU)数量越来越多,功能也越来越复杂^[3],过去通信方式一般选择的是点对点的1种通信方式,但是这种通信方式显然无法满足汽车功能的扩展以及日益增长的

成本要求。而 FlexRay 协议就是为满足这些需求而开发的一种数字总线,其目的在于设计出一个可与物理层的物理性能直接相关的通信协议结构,从而改进通信的速度、安全性和实时性,提升操作的灵活性、网络拓扑结构的多样性和分布式系统的智能性等。

随着汽车电子技术的快速发展,线控制动系统得到了极大的发展。同时随着汽车行业对总线要求的不断提高, FlexRay 总线的实用化也得到更多科技领域的支持与发展的。虽然目前 FlexRay 总线协议的分配,线控制动器的控制算法,数据的最优控制算法相关研究十分活跃,但是还存在许多困难需要解决,甚至在短时间内还找不到很好的解决办法,如 FlexRay 总线技术复杂,成本昂贵,线控制动的最佳控制算法问题等。但是作为符合最新汽车需求的总线以及汽车行业的前沿技术,对基于 FlexRay 总线的汽车线控制动系统的研究,无疑具有十分重要的实际意义。

1 研究现状与内容

1.1 发展现状

随着汽车电子技术的不断发展和控制算法的成熟,汽车线控制动技术取得了重大突破。与此同时,也对汽车上车载电子总线提出了更高的要求。由于车载总线技术与线性制动系统极为广阔的应用前景,诸多开发者对其进行了研究,以下简要介绍国内外关于线控制动系统 BBW 以及 FlexRay 总线的理论研究及应用。

1)在国内,线控制动系统的研究起步较晚,一些高校处在对国外的技术模仿学习阶段,也即是制动系统原理和结构方面。首先,东风公司开展 BBW(brake by wire, BBW)技术应用研究;随着对执行机构研究的不断深入,为了提高实时性和安全性,重庆交通大学将 CAN(controller area network, CAN)总线应用在汽车线控制动的系统中^[4],提出了系统方案、节点电路设计,简化了系统结构,提高了可靠性,具有良好的应用价值;2015年,贵州电子信息职业学院实现了 FlexRay 总线在嵌入式线控制动系统的应用和实现^[5]。其设计了 2 个 FlexRay 节点,可实现对两个电机的制动作用。

2)近年来,汽车上的电子控制单元越来越多,功能也日益复杂。以前的 ECU 通信方式多是点对点的方式,但是这种通信方式已经难以满足汽车的功能扩展和成本控制的要求。时至今日,许多用于多路传输工业网络的协议已经比较成熟了,如控制器局域网、局域互联网(local interconnect network, LIN)汽车多媒体网络(media oriented system transport, MOST)等。但受到速度等其他限制, CAN 总线已经渐渐无法满足日益提高的汽车电子对总线的要求。而 FlexRay 协议就是为满足日益增长的需求而开发的一种数字总线,其目的在于设计出一个可与物理层的物理性能直接相关的通信协议结构,从而改进通信的速度、安全性和实时性,提升操作的灵活性、网络拓扑结构的多样性和分布式系统的智能性等^[6]。

3) FlexRay 作为线控制动系统的选择,其特点如下^[7-9]:①通信带宽: FlexRay 可在个单个通道上支持 2.5、5 和 10 Mbit/s 的通信。②时间确定性: FlexRay 总线采用时分多路数据传输方式,以循环、通信周期为基础,确保报文到达的时效性。③容错传输: FlexRay 通过专用的确定性故障容错协议支持多个级别的容错,所需的冗余通过单或双通道传输;利用可扩展的系统容错机制确保数据传输的可靠性。④灵活性: FlexRay 总线的结构有多种,如总线型、星型、级联星型和混合型等多种拓扑结构,触发方式为时间触发和事件触发通信,支持报文的冗余和非冗余传输方式,且提供大量配置参数供用户灵活进行系统调整、扩展。其中,总线的媒体访问控制方式起着很大作用^[10]。综上所述,在如今, FlexRay 已经成为线控制动系统的选择之一^[11-12]。

1.2 研究内容

本设计是改装 1 个卡丁车的模型样车,然后根据样车进行基于 FlexRay 总线的线控制动系统的实现和制动控制算法的研究。研究内容主要分为以下几个部分:1)基于 FlexRay 总线制动系统的总体设计方案;2)系统软件设计分为数据提取部分、数据处理和制动器驱动部分;3)系统调试,设计并完成整个系统。

2 控制系统设计

2.1 总体设计

本系统的控制软件设计是基于 MC9S12XF512 的 C 语言编写。总体思路主要是让控制节点以 FlexRay 的格式进行信息传输,然后对采集踏板压力数据进行分析^[13],传回主控制节点进行处理,最后控制制动器。在具体的线控制动系统的开发过程中,设计了 5 个 ECU 节点,主要功能包括实现压力采集、PWM 控制磁力制动机构进行制动、FlexRay 实时通信。轮速传感器采集回信号,通过对速度信号进行处理比较,得出速度偏差值,制动信号再传给 4 个并列控制节点,最后驱动制动执行机构,达到控制 4 轮制动的效果。设计框图如图 1 所示。

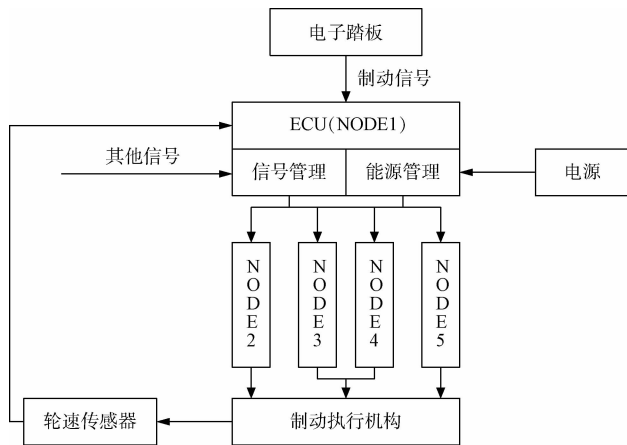


图 1 线控制动系统总设计

在研制节点过程,考虑到了通用性问题,每个节点都能实现线控制动系统中所需的功能。节点的整体框图如图 2 所示。

2.2 FlexRay 功能模块

在配置 FlexRay 的相关参数之前,初始化 FlexRay 通信模块,然后配置状态。

FlexRay 初始化基本流程基本包括:使能 FlexRay 通信模块,进入配置模式,最后设置 FlexRay 网络相关的通信参数等^[14]。在配置计时器时,1 是绝对计时器,显示通信周期;2 可为绝对也可为相对计时器。中断与其对应的中断服务子程序最后相关联。然后是功能模块的初始化,指在配置相关参数前,要简单的设置一下 FlexRay 的通信功能,

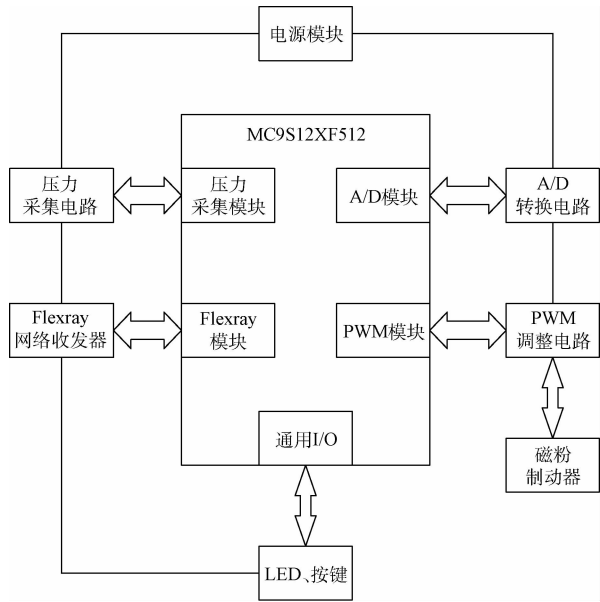


图 2 线控制动系统节点整体框图

使能该模块,步骤如图 3 所示。对应的软件流程图如图 4 所示。

步骤	具体方法
功能模块	(1)设置模块配置寄存器(MCR) (2)设置系统内存基地址寄存器SYMBADHR和SYMBADLR
使能模块	将MCR中模块使能位(MEN)置1即可
协议引擎	(1)对协议运行控制寄存器(POCR)写“配置”命令 (2)等待协议运行控制(POC)处于“配置”状态

图 3 互 FlexRay 功能初始化步骤

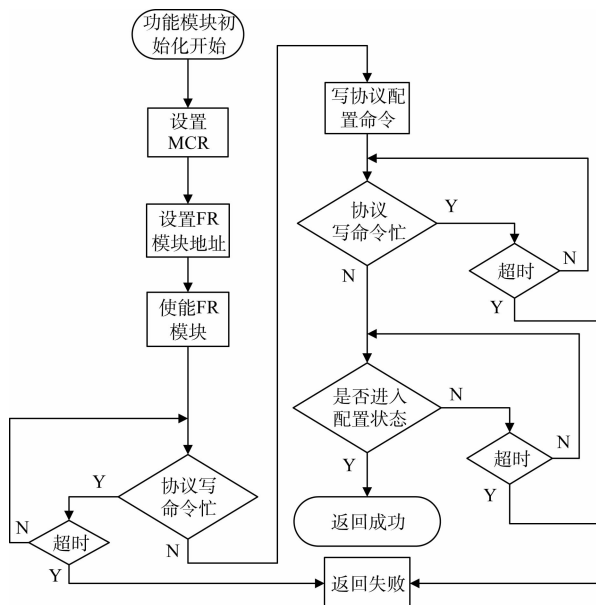


图 4 互 FlexRay 功能初始化步骤

2.3 制动器控制模块

制动执行器采用磁粉制动器,通过电流对磁粉的作用,制动力是与电流成正比关系的,力的大小直接改变了转矩的大小,因此输出转矩也与电流呈正比关系。正是基于这个特点,因此整个系统的 PWM 输出就可根据驾驶员所施加的作用力进行线性的控制,具体流程图如图 5 所示。

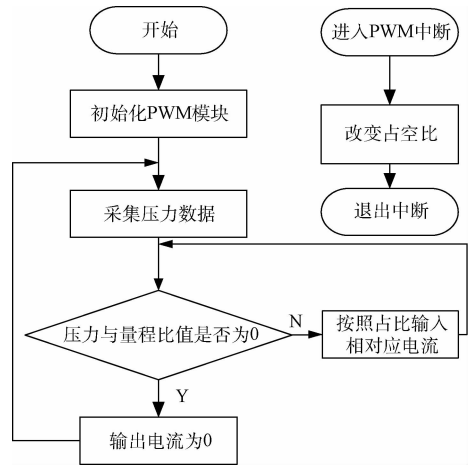


图 5 制动执行器流程

在对 PWM 模块进行初始化后,通过压力模块采集压力数据,与量程 5 000 g 进行比较,当比值为 0 时,退出再重新采集;如果存在比值,根据比值大小进入中断,改变占空比,按照相应的占空比输入相应的电流,当超过量程时,以 1 为占空比输出电流。

2.4 压力传感器模块

HX711 压力传感器集成模块,采用高精度的 24 位 A/D 转换器芯片 hx711,双通道模拟输入,具有增益型可编程放大器,放大倍数达到 128 倍。输入电路可配置为提供桥压的电桥式传感器模式,具有精度高、低成本等优点;模块输出 4 根线,分别为 5 V 电源、GND、SCK(时钟)、DOUT(数据),其中量程为 0~5 000 g。压力传感器如图 6 所示。

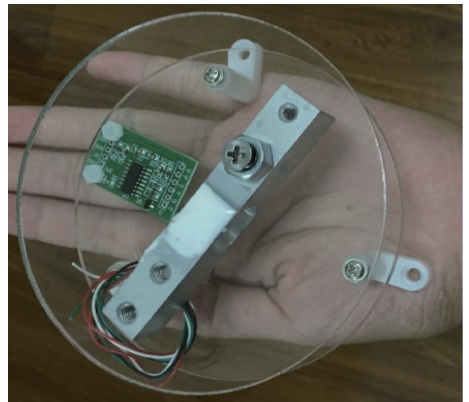


图 6 压力传感器

3 实验数据及应用结果

在硬件软件比较成功的开发下,利用对汽车的认识以及对资料的查阅,将一辆卡丁车进行回收,根据论文所需要的 4 轮同时分别制动,将其 4 个车轮进行后期改造,后轮中间加入 1 个从差速变速器,以达到 4 轮制动可根据所需的制动力进行分配,分别对车轮部分进行重新安装制动机构——磁粉制动器,因为其制动力与电流成线性关系等优点,对整个卡丁车进行搭载。在速度小于 30 km/h 时进行刹车制动,并进行制动时间以及制动距离的测量,判断是否符合所需。

卡丁车调试平台如图 7 所示。



图 7 制动调试平台

3.1 国家标准数据值比较

汽车的制动性能应符合 GB 12676 和 GB/T 13594 的规定,对于汽车初始速度 30 km/h 时,制动距离不超过 9 m。在实际测量中,因为驾驶员会有反应时间,因此会产生反应距离。一般情况下反应时间在 0.75~1 s。在假设的初始速度下,会产生 8.33 m 的反应距离。在本文中,因为只考虑制动距离,因此,最后会减去一般行为下的反应距离,最后采集的数据如表 1 所示。

表 1 制动系统实验数据

速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	制动 时间/s	制动 距离/m	高于标准 百分比/%
30	15.23	8.26	0.082
20	7.43	6.29	0.177
10	4.87	3.97	0.213

3.2 传统机械制动系统数据值比较

表 2 线控制动系统与机械制动系统数据对比

车速/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	制动距离/m			制动时间/s		
	线控 制动	机械 制动	差值 比/%	线控 制动	机械 制动	差值 比/%
10	3.97	3.99	-0.50	4.87	4.90	-0.61
20	6.29	6.34	-0.79	7.43	7.49	-0.80
30	8.26	8.36	-1.20	15.23	15.40	-1.10

4 结 论

本设计利用线控制动系统的特点,提出了一个整体方案:分布式线控制动系统利用 FlexRay 进行节点通信,进行硬件和软件的设计,并对整个系统进行比较评估。本设计在过程中作了以下研究:1)对线性制动控制原理进行了剖析和分析,提出了系统由压力传感器、ECU 节点、磁粉制动器等单元硬件构成,并搭载 FlexRay 网络通信,保证能够有效、合理并且实时的进行制动。2)对 FlexRay 协议进行深入研究,对于 FlexRay 驱动软件进行深刻的理解和设计,对 FlexRay 通信时所利用的节点进行了时隙分配,以确保具备一个传输信息可靠和实时的系统。

通过将本设计在小车平台上的验证结果与国家标准 GB 12676 和 GB/T 13594 以及与传统机械式制动系统的性能对比。可以发现,本设计达到了设计一个具有实际意义的线控制动系统的目的。可基本满足目前工程的实际需要,有较强的工程意义和广阔的应用前景。

在设计中还存在一定不足之处,还可尝试在以下方面进行优化改进^[15]:1)控制系统时,未对系统进行精确的建模和系统辨识,作为一个多输入与多输出系统,在 PID 调试中,一味地靠试凑,而未根本地从系统分析出发,所以在调试中浪费了很多时间;2)由于采用的算法受限,所以小车的制动效果并未达到最优状态;3)缺少冗余系统。

参考文献

- [1] 黄莉莉,展靖华.我国道路交通安全状况的分析[J].交通节能与环保,2016,7(2):85-87.
- [2] 刘健.汽车的技术状况对行车安全性的影响[J].客车技术与研究,2013,10(4):1-3,10.
- [3] 谢梦如.FlexRay 总线系统实时调度方法研究与实现[D].合肥:合肥工业大学,2014.
- [4] 汤锴杰.基于 CAN 总线的电子机械制动系统研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [5] 金紫阳.FlexRay 总线在嵌入式线控制动系统的应用与实现[J].电气应用,2015,4(5):103-106.
- [6] 魏志强,张凤登.基于 FlexRay 线控转向系统的传输延时算法[J].电子测量技术,2016,39(9):82-86.

- [7] 袁春柱,刘思远,杨芳. 星载 FlexRay 总线应用层传输方法研究[J]. 航天器工程,2013,17(3):67-71.
- [8] 张纯鹏. 汽车 FlexRay 网络静态段调度及其参数设计研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2014.
- [9] 吴宝新. 汽车 FlexRay 总线系统开发实战[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [10] 张凤登. 分布式实时系统[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [11] 罗峰,陈智琦,刘鑫,等. 基于 FlexRay 的车载网络系统开发[J]. 电子测量与仪器学报,2009,23(s1):289-295.
- [12] 许张义,张桂香,周聪. 线控转向中 FlexRay 总线的应用[J]. 电子测量与仪器学报,2013,27(3):258-263.
- [13] 崔宏敏,陈宝成,丁钟凯,等. 压力传感器结构参数识别及优化方法[J]. 仪器仪表学报,2016,37(12):2805-2812.
- [14] 王跃飞,曹三峰,毕翔,等. 一种基于时隙动态分配的 FlexRay 系统通信机制[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(2):179-186.
- [15] 郭全民,雷蓓蓓. 半主动悬架 PID 控制的研究和优化[J]. 国外电子测量技术,2015,34(4):60-63.

作者简介

戴晓晨,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式、汽车电子与现场总线等。

E-mail:Stevexc@163.com

张凤登,博士,教授,研究方向为汽车电子与现场总线、分布式系统等。

张宇惠,硕士研究生,研究方向为汽车电子与车载总线、操作系统等。