

基于 MC9S128 的电磁导航智能车的设计与实现

摆玉龙, 杨利君, 董存辉

(西北师范大学 物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:介绍了一种基于电磁导航路径识别的智能车控制系统。该系统基于第五届全国大学生飞思卡尔杯智能汽车大赛的设计要求,使用飞思卡尔 16 位单片机 MC9S128 为核心控制单元,设计了赛道信号源、电磁导航传感器、电源管理模块、电机驱动电路、停车磁铁检测电路等硬件电路;在控制算法方面利用 PID、Bang-Bang 及模糊控制相结合的方式,使得智能车能够自动采集信号,分析引导线信息、控制舵机转向,实现了智能车的自动寻迹功能。

关键词:飞思卡尔单片机;电磁导航;自动循迹

中图分类号:TP391.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8829(2011)11-0059-06

Electromagnetic Navigation Smart Car Control System Based on MC9S128

BAI Yu-long, YANG Li-jun, DONG Cun-hui

(College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: A smart car with the automatic detecting and following ability based on electromagnetic field was introduced. According to design requirements of the 5th Freescale smart car competition, the Freescale 16-bit MC9S128 MCU was taken as the system core, and the whole system was composed of the road track signal device, the electromagnetic sensor, the power source manage device, the electric motor drive device and the parking position detecting device. By using the PID, Bang-Bang and fuzzy control methods, the smart car can automatically collect the signal and control the car moving effectively.

Key words: Freescale MCU; electromagnetic field navigation; automatic detecting road

智能车辆技术是涵盖智能控制、模式识别等学科前沿的热点研究领域,其研究与应用具有巨大的理论和现实意义。在交通安全方面,由无人驾驶车辆研究形成的辅助安全驾驶技术,可以通过传感器准确、可靠地感知车辆自身及周边环境信息,及时向驾驶员提供环境感知结果。智能车辆的研究体现了车辆工程、人工智能、自动控制、计算机等多个学科领域理论技术的交叉和综合,是未来汽车发展的趋势^[1]。

全国大学生智能车大赛以迅猛发展的汽车电子为背景,涵盖了自动控制、模式识别、传感技术、电子、计算机、机械等多个学科交叉的科技创新比赛。随着赛事的逐年开展,不仅使参赛学生自主创新能力有所提

高,对于高校相关学科领域的学术水平的提升也有一定的帮助。此项比赛已成功举办五届,已经成为各高校展示科研成果和学生实践能力的重要途径,同时也为社会选拔优秀的创新人才提供了重要平台。目前是教育部重点支持的五大科技竞赛之一^[2]。电磁导航赛车是 2010 年新增设的项目,其核心要求是通过感应磁场变化来实现小车快速稳定的寻迹,从而赢得比赛的胜利。

电磁导航赛车的设计要求是,在赛道底下铺设电流大小为 100 mA、频率为 20 kHz 的交变电流导线,设计通过感知磁场变化来寻迹的智能小车。笔者根据大赛要求,自主设计了赛道信号源、电磁传感器和起跑线识别模块;利用电磁传感器,通过感知不同位置的磁场信号,自动控制小车前进和转向,从而实现快速稳定的循迹行驶。同时,为保证智能车稳定和平顺的行驶,采用了 PID、Bang-Bang 及模糊控制相结合的算法,该算法对转向舵机控制和直流电机驱动的控制提出了较为理想的解决方案。

收稿日期:2010-11-15

基金项目:甘肃省科技计划项目(1010RJZA021);甘肃省教育厅研究生导师科研项目(0901B-01);西北师范大学科研骨干培育项目(NWNU-KJXGC-03-54)

作者简介:摆玉龙(1973—),男,回族,甘肃会宁人,副教授,博士生,主要研究方向为机电系统的设计。

1 系统总体设计

1.1 设计原理

各种各样的磁场传感器在设计原理上均利用了物质与磁场之间的各种物理效应,例如,磁电效应(电磁感应、霍尔效应、磁致电阻效应)、磁机械效应、磁光效应、核磁共振和超导体与电子自旋量子力学效应。文中采用了最常用的电磁感应效应来检测磁场^[3]。

由比奥-萨伐定律得知,真空中电流元 $I_1 dl$ 在空间所产生的磁感强度为

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I_1 dl \times a_r}{R^2} \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

对于通有稳恒电流 I 、长度为 L 的直导线,周围会产生磁场,距离导线距离为 r 处 p 点的磁感应强度为^[4]

$$B = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \sin\theta d\theta \quad (\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{TmA}^{-1}) \quad (2)$$

对于无限长直电流来说,式(2)中 $\theta_1 = 0, \theta_2 = \pi$,对式(2)积分,则有

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} \quad (3)$$

磁感线是垂直于导线平面内且以导线为圆心的一簇同心圆,越靠近导线的地方,磁感应强度就越强,还可以得出弧线内侧的磁感线密度大于外侧。当导线中有变化的电流通过时,导线周围的磁感应强度也会随着变化,如果在小车上固定一个轴线垂直于导线并且和赛道平行的线圈,这个线圈会随着磁场的变化来产生感应电动势。法拉第电磁感应定律表明,感应电动势的大小和通过线圈的磁通量的变化率成正比,即

$$e = - \frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

导线中通有 20 kHz 的交变电流,令线圈中心到导线的距离为 r ,且近似地认为在小范围内磁场是均匀分布的,可近似计算出在线圈上产生的感应电动势如下:

$$e = - \frac{d\varphi}{dt} = \frac{k}{r} \frac{di}{dt} \quad (5)$$

式中, k 为与线圈位置、面积等物理量有关的参数。由此可知,线圈中感应电动势的大小正比于电流的变化率,反比于线圈中心到导线的距离,如图 1 所示。

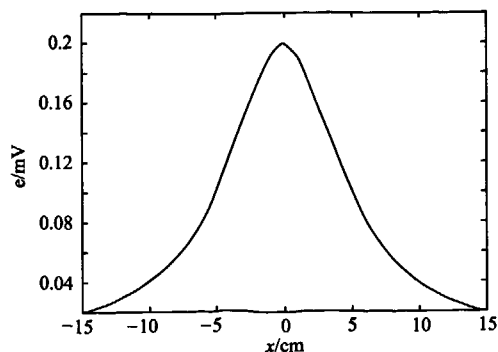


图 1 感应电动势与线圈位置关系图

在本设计中线圈的安装位置如图 2 所示,它由两组传感器组成^[5],上方两个为二级传感器,下方两个为一级传感器。二级传感器放大倍数比较大,曲线比较平滑,它们的差值经过处理后可以用于舵机的控制。一级传感器曲线比较陡峭,它们的差值可以用于对舵机的辅助控制和赛道类型的判断。

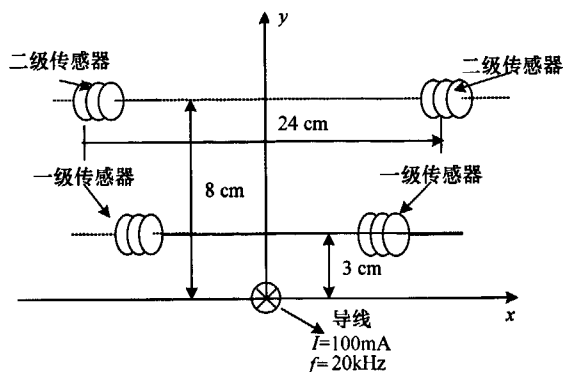


图 2 传感器位置图

1.2 整体框图

电磁导航车以飞思卡尔 MC9S12XS128 单片机为核心部件,设计了电磁感应模块和速度采集模块,通过控制算法控制电机和舵机驱动。整个设计的总体框图如图 3 所示。

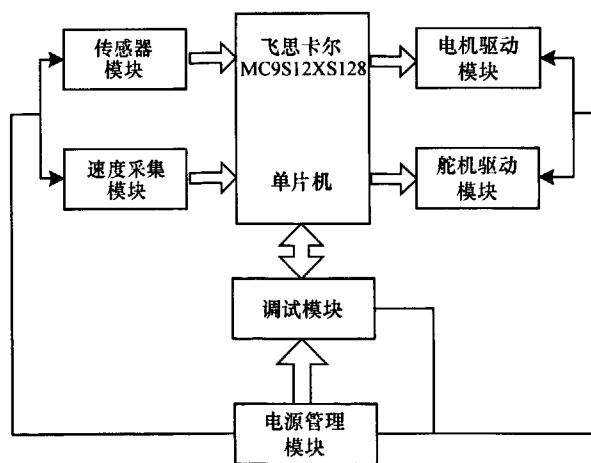


图 3 电磁导航车整体设计框图

2 系统硬件设计

系统硬件设计基于 16 位微控制器 MC9S128 单片机,包括赛道信号源、车载电源、传感器、电机驱动电路、磁铁检测电路等相关电路^[6]。

2.1 赛道信号源的设计

根据比赛的要求需要设计大小为 50 ~ 100 mA、频率为 (20 ± 2) kHz 的交流信号源。赛道信号电源电路包括振荡电路、功率输出电路、恒流控制电路等单元电路。完整的电路如图 4 所示。

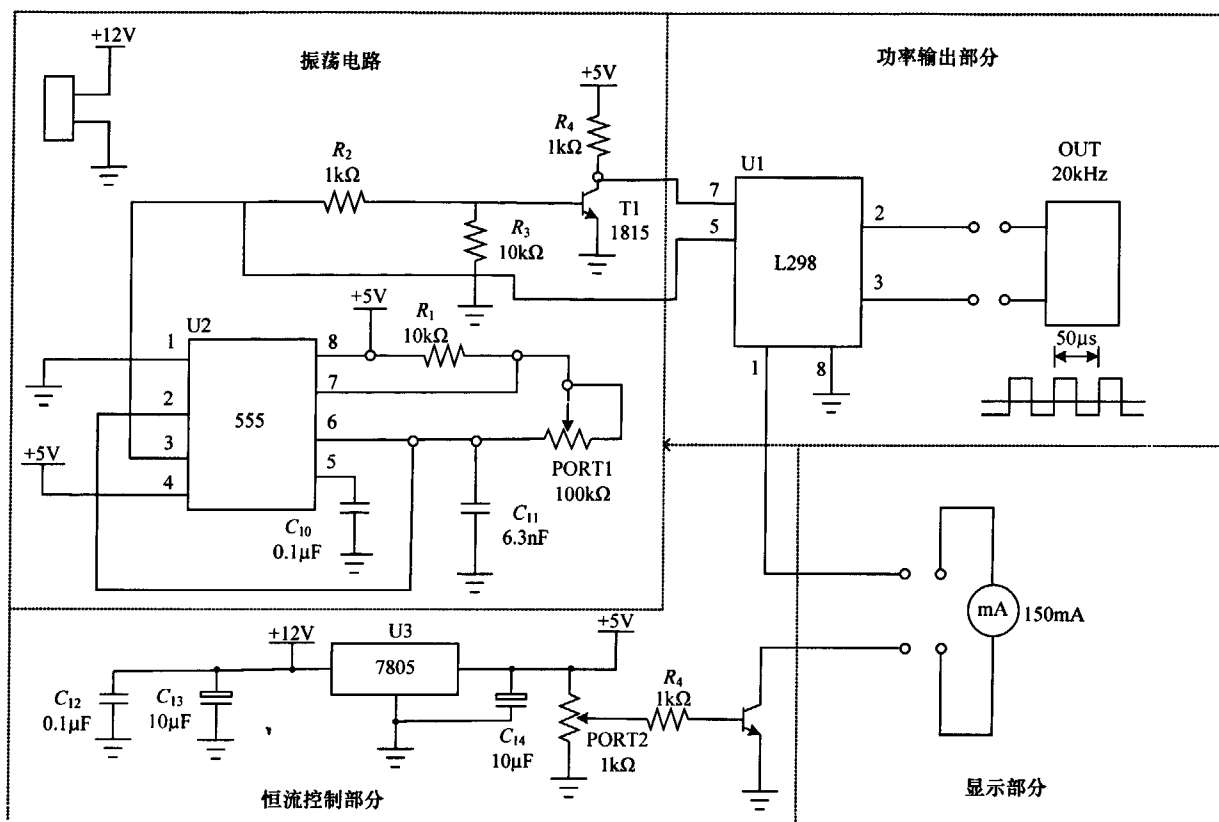


图4 赛道信号源发生电路

(1) 振荡电路。

为了产生中心频率为 20 kHz 的对称方波信号,同时满足功率输出电路的需要,一般输出极性相反的信号,设计中使用普通的 555 定时器电路产生振荡信号。

(2) 功率输出电路。

由于输出驱动信号的电压、电流、频率较大,需要一定的输出功率的电源驱动,因此需要设计功率输出电路。本设计采用 L298 芯片来驱动,电路简单,出错的概率小。

(3) 恒流控制。

恒流电路控制输出电流在 100 mA 左右,不随着电源的变化而发生波动。根据比赛规则的要求,恒流输出控制不需要特别精确。设计中用 BU406 代替 C2233,利用晶体管的在放大区集电极的恒流特性进行控制。

(4) 电源。

采用市售的 12VDC 电源转换器直接连接市电来为信号源供电,另外利用 7805 设计了 5 V 电源电路,并安装了表头。

2.2 电源模块

电源是智能车各个模块正常工作的先决条件。高性能的电源管理系统对于电子系统稳定的运行是至关重要的。作为智能车动力的来源,电源模块为系统的

控制器、执行机构、传感器等各个模块提供可靠的工作电压。设计中,除了需要考虑电压范围和电流容量等基本参数之外,还要在电源转换效率、降低噪声、防止干扰和电路简单化等方面进行优化。

智能车控制系统中,不同电路模块需要的工作电压和电流容量各不相同,因此电源模块应该包含多个稳压电路。控制器、测速编码盘以及各个芯片的工作电压为 5 V;摄像头的工作电压为 9 V;舵机和电机的供电可以直接通过 7.2 V 的电池供电。

2.3 电磁导航传感器设计

传感器是小车的核心部件。设计的传感器依据法拉第电磁感应定理,利用普通的 10 mH 电感设计出可靠的传感器。

传感器部分主要由电磁感应、选频、放大和检波 4 部分组成。由此可以产生能送入单片机的模拟信号。选频的主要目的是滤除其他频率干扰信号,可以通过容感耦合即 LC 谐振来选频;放大部分采用三极管放大电路,实验最终选择两级放大,来解决一级放大信号微弱和传感器探测范围小(只有 3 cm)的问题。图 5 给出了传感器设计的原理图。

2.4 电机驱动模块

电机驱动模块用大功率场效应管搭建 H 桥电路,经济实惠而且驱动能力更强。

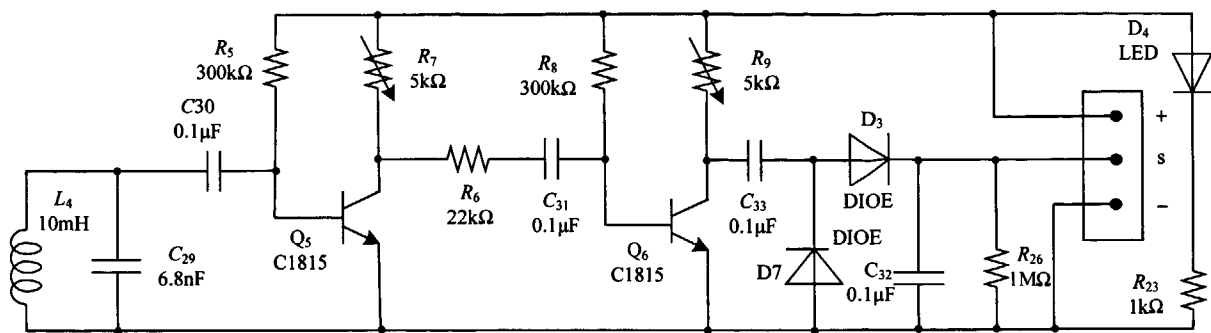


图 5 传感器设计原理图

整个电路由 2 个 P 型场效应管 Q1、Q2 与 2 个 N 型场效应管 Q3、Q4 组成。P 型管在栅极低电平时导通,高电平时关闭;N 型管在栅极高电平时导通,低电平时关闭,场效应管是电压控制型元件,栅极通过的电流几乎为“0”。正因为这个特点,如图 6 电路所示,控制臂 1 置高电平($U = VCC$)、控制臂 2 置低电平($U = 0$)时,Q1、Q4 关闭,Q2、Q3 导通,电机左端低电平,右端高电平,设为电机正转;控制臂 1 置低电平、控制臂 2 置高电平时,Q2、Q3 关闭,Q1、Q4 导通,电机左端高电平,右端低电平,设为电机反转。当控制臂 1、2 均为低电平时,Q1、Q2 导通,Q3、Q4 关闭,电机两端均为高电平,电机不转;当控制臂 1、2 均为高电平时,Q1、Q2 关闭,Q3、Q4 导通,电机两端均为低电平,电机也不转,所以,此电路有一个优点就是无论控制臂状态如何,H 桥都不会出现“共态导通”(短路)。

栅极驱动电路由 4 个 CD4011 组成的,提供控制臂所需的 0~7.2 V 电压。

2.5 起始线的识别模块

电磁起始线采用在起跑区的赛道下方放置磁铁的形式。检测的方法有霍尔传感器、干簧管等。文中设计了如图 7 所示的干簧管磁铁检测电路。

干簧管是一种磁敏的特殊开关,它在没有遇到磁铁的时候是断开状态,当达到它能检测到的磁场强度时就会接通,于是图 7 的检测端口 s 会发生电平的跳变(从高电平跳到低电平再到高电平),检测端口 s 第一次识别为起始线,当第二次识别到时就认为是终止线,这时刹车并停车。

该方法主要存在的问题是,在车冲过起跑线的时候可能已经有好几次电平跳变了,一般为了保险起见,当车冲过的时候会有 2~3 个干簧管导通。但是在软

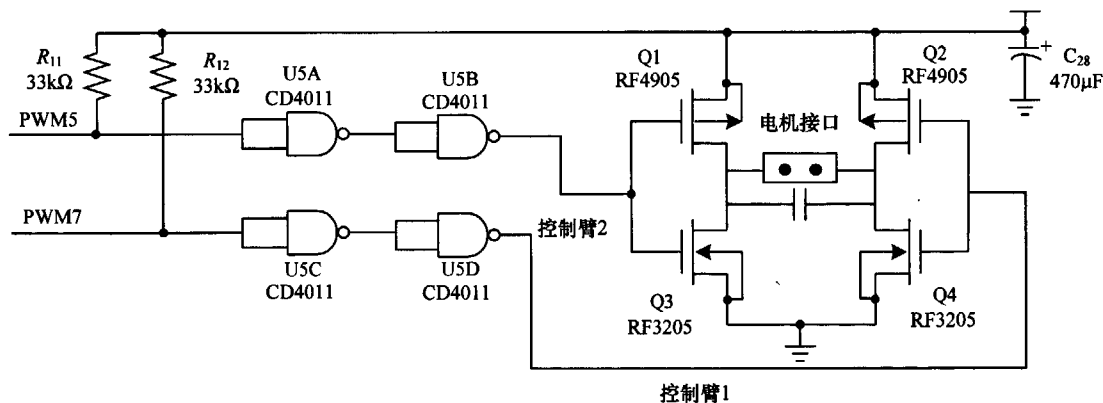


图 6 完整的 H 桥电机驱动电路

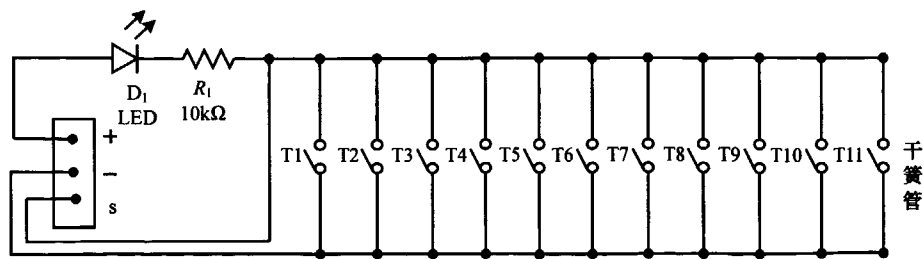


图 7 干簧管磁铁检测电路

件上经过相应的处理后,该方法识别率极高而且完全符合比赛要求。

2.6 调试模块

在调试部分本设计用无线蓝牙模块,通过串口将数据发送到 PC 机上,方便分析和调试。

3 系统软件设计

本系统使用的是 MC9S128S12 单片机最小系统,通过前面硬件部分的设计了解到,可以通过电磁传感器采集路径、车速等信息,根据单片机提供的 PWM 调制信号控制电机和舵机。因此智能车循迹控制软件策略包括 2 个部分:转向控制策略和速度控制策略。

3.1 系统的软件流程图

系统软件部分流程图如图 8 所示。软件设计的主要部分在于对采集到的数据进行数据处理分析、赛道类型分析和舵机电机控制等部分。

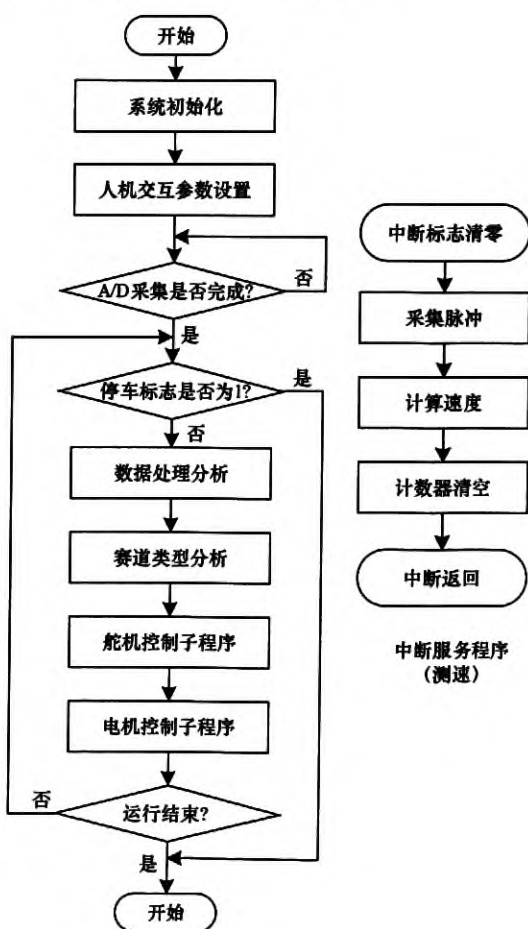


图 8 系统软件流程图

3.2 舵机的控制

舵机的控制采用开环控制,首先确定舵机的中心位置和左右极限位置,然后根据赛道类型分析结果对各种参数进行调整。

图 9 给出了电压差和舵机的输出关系,从图中看出二者呈现出较好的线性关系。实验中当采用分段线性控制时,在数据变化复杂的分段交界处,由于所测得的数据为模拟量,在交界处车体摆动比较严重,但转弯比较及时。最后,本设计将压差和舵机的输出处理为二次函数,效果优于分段线性的方法,而且对电流的波动适应比较好。

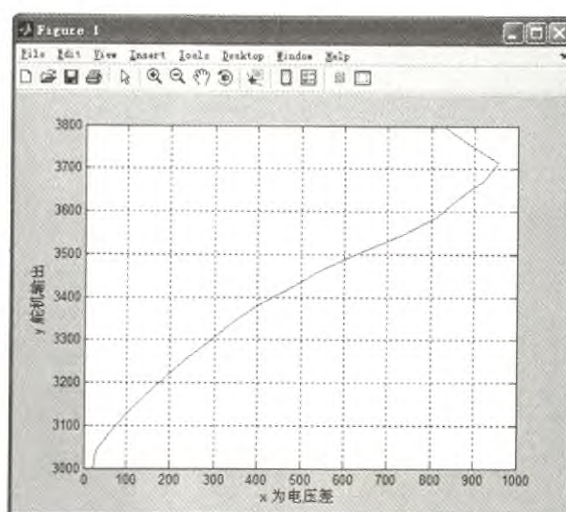


图 9 电压差和舵机的输出函数图

3.3 电机控制

电机的控制采用 Bang-Bang 控制和 PID 控制相结合的方式,如图 10 所示。PID 控制有利于提高控制精度;Bang-Bang 控制方式在某些方面具有比常规 PID 控制更为优越的性能,尤其是对于给定值的提降及大幅度的扰动作用,效果更显著。在动态质量上不仅体现为过渡时间短这一特点,而且在超调量等其他指标上也具有一定的改善;为使小车获得更高的速度,对于不同的赛道所采取的控制参数也不尽相同。由于智能车跑道情况复杂,使用传统 PID 很难达到需要的智能化程度。模糊控制则不要求掌握受控对象的精确数学模型,而是根据工作人员或专家的经验,建立控制规则,组织控制决策表,然后由该表决定控制量的大小。将经典 PID 和模糊 PID 控制结合起来,使系统既具有模糊控制灵活且适应性强的优点,同时又具 PID 控制精度高的优点,而 Bang-Bang 控制有利于控制的力度。所以,将这几种控制方案结合是一种优势互补的解决方案。另一方面,由于在不同类型的赛道采用不同的速度,可以优化路径、提高平均速度,因此,在程序设计上使用反转制动等方法,提高加减速性能。在直道和

欢迎订阅《测控技术》月刊

订阅代号:82-533 ● 定价:18.00 元/期

弯道上都采用较高的速度行进,从长直道进弯道的时候降低速度来保持车的行驶路径。通过前瞻传感器的变化趋势来判定进弯减速条件,可以实现提前减速。

模糊 PID 控制器以误差 e 和误差变化 de 作为输入,可以满足不同时刻的 e 和 de 对 PID 参数自整定的要求,并利用模糊控制规则对 PID 参数进行修改。它就是在 PID 算法的基础上,通过计算当前系统误差 e 和误差变化率 de ,利用模糊规则进行模糊推理,查询模糊矩阵表进行参数调整。

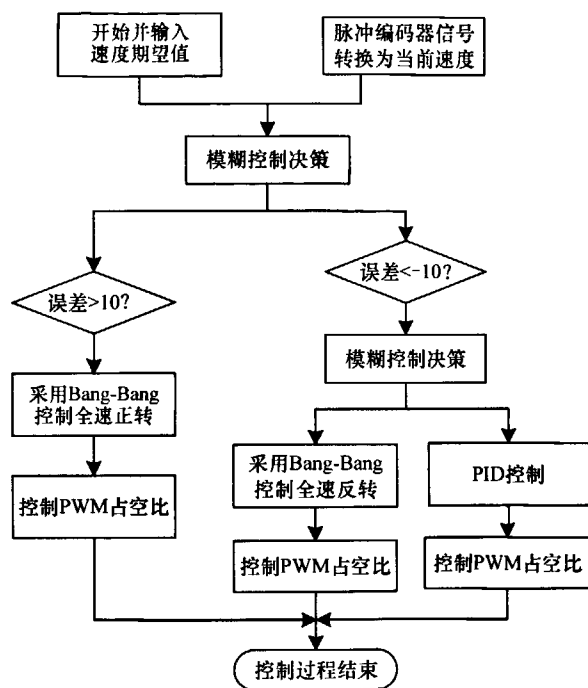


图 10 控制流程图

4 结束语

智能车技术作为智能交通系统的关键技术,是许多高新技术综合集成的载体,而汽车自动驾驶技术的研究在公路管理、交通运输等方面有着广阔的应用前景,受到广泛的重视。

本设计以全国大学生飞思卡尔智能车比赛为背景,根据比赛要求自主设计了信号采集与处理模块、赛道信号源、起跑线识别等硬件电路,采用 PID、Bang-Bang 及模糊控制算法相结合,控制智能车可以快速地自动循迹,通过比赛测试,其各方面性能指标都满足比赛要求。经实验测试,智能车可以在各种曲率的跑道上自动寻迹行驶,行驶过程稳定、可靠。在不同难度的赛道,小车的速度可以达到 $2.5 \sim 2.9 \text{ m/s}$ 的平均速度。

整个设计成本较低,功能完善,在后续工作中需要改进传感器电路,加大探测范围,在改进算法的基础上进一步提高智能车的性能。

参考文献:

- [1] 付梦印,邓志红,刘彤等. 智能车辆导航技术[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [2] 飞思卡尔竞赛委员会. 赛事介绍[EB/OL]. http://www.bds-tech.com/feisi_introduction.php,2009-11.
- [3] 张三慧. 大学物理学(第三册)电磁学[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [4] 张昊飏,马旭,卓晴. 基于电磁场检测的寻线智能车设计[J]. 电子产品世界,2009(11):48-49.
- [5] 李仕伯,马旭,卓晴. 基于磁场检测的寻线小车传感器分布研究[J]. 电子产品世界,2009(12):41-44.
- [6] 卓晴,黄开胜,邵贝贝. 学做智能车——挑战“飞思卡尔”杯[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.

□

(上接第 58 页)

无论正向调节还是反向调节,控制精度和速度均满足要求。然后,对迎角以 $\Delta\alpha = 0.5^\circ$ 增量阶梯变化时的系统控制精度和速度进行了仿真,仿真结果如图 13 所示,响应调节时间为 0.7 s ,误差为 0.000006° 。

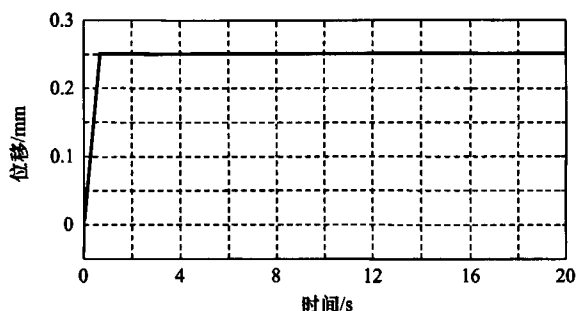


图 13 迎角以 $\Delta\alpha = 0.50$ 增量阶梯变化时仿真结果

最后,实际控制系统调试结果表明,实际仿真控制算法满足系统稳定性和定位精度要求。

5 结束语

笔者对迎角控制系统进行了综合分析,在载荷和输入饱和的条件下,建立了控制系统传递函数,在此基础上,对控制系统在试验过程中的稳定性、控制速度、控制精度等动态和稳态性能进行了分析,提出了满足控制要求的校正方式和控制算法。

参考文献:

- [1] 刘长年. 液压伺服系统优化设计理论[M]. 北京:冶金工业出版社,1989-08.
- [2] 刘金钺. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2003-01.

□