

基于电磁导航智能车的控制研究及实现

吴 祥, 王冠凌

(安徽工程大学电气工程学院, 安徽 芜湖 241000)

摘 要:在分析研究智能化自动驾驶技术的基础上,设计了一种电磁自主导航式智能车控制系统。以飞思卡尔 32 位微处理器 MK60FN1M0VLQ15 为主控模块,包括电源模块、起跑线检测模块、电磁检测模块、舵机转向模块、速度检测模块、直流电机模块、人机交互模块等组成。对于车速的控制,在传统 PID 控制的基础上,提出了 Fuzzy - PID 控制的自适应控制算法,并进行了仿真对比验证。实验结果表明,该方案能很好地实现对智能车的最优控制,对复杂赛道有很强的适应性。

关键词:电磁导航;模糊控制;飞思卡尔;智能车

中图分类号:TP273

文献标志码:A

引 言

随着汽车的普及和技术的创新,汽车的智能化在生活中扮演着越来越重要的地位,其中自动驾驶智能汽车得到了快速发展^[1-2]。智能车系统是高科技的综合体,与人工智能、自动控制、计算机等学科紧密相连。随着“中国制造 2025”计划的提出,必将促进此方面的投入和发展,通过对汽车智能化自动驾驶技术的研究,为智能车带来更广阔的应用前景。全国大学生飞思卡尔杯智能车大赛是关于智能车的比赛,是为了促进智能化汽车的研究与应用。大赛共分为电磁组、光电组、摄像头组,在规定的赛道上进行比赛,在不冲出赛道的情况下,用时最短的即为获胜^[3]。本文设计了一种电磁组的智能车控制方案。

1 总体设计

根据要实现的功能,智能车的硬件系统以飞思卡尔公司的 32 位微处理器 MK60FN1M0VLQ15 为控制核心,由电源模块、起跑线检测模块、电磁检测模块、速度检测

模块、直流电机模块、舵机转向模块、人机交互模块等组成^[3-4],其硬件框架如图 1 所示。用电磁检测模块采集路径信息,经过选频、放大、检波,输入到微处理器的 A/D 模块,把磁信号转换成电信号,进行数据处理,根据位置定位算法得到智能车相对于赛道的偏移位置。光电编码器实时监测智能车的速度并反馈给微处理器。微处理器通过控制算法综合判断,输出相应的 PWM 脉冲信号,进而控制电机和舵机,使智能车沿着中心线快速前行。人机交互模块方便对小车的调试。电源模块为各模块进行供电。

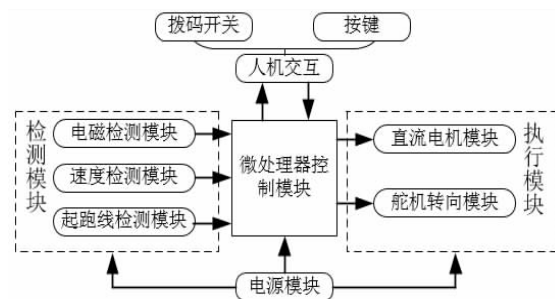


图 1 智能车硬件框架图

收稿日期:2015-10-23

基金项目:安徽高校省级自然科学研究重点项目(KJ2013A042)

作者简介:吴 祥(1992-),男,安徽亳州人,硕士生,主要从事智能仪器与控制装置方面的研究,(E-mail)631174550@qq.com;

王冠凌(1971-),男,安徽芜湖人,副教授,硕士,主要从事智能仪器与控制装置方面的研究,(E-mail)13675532712@163.com

2 硬件电路设计

2.1 电源模块

采用 7.2 V 直流电源,设计不同的变压电路,以需要提供不同电压模块使用^[5]。电机驱动模块采用升压芯片 LM2731 提供 12 V 电压,用来驱动半桥功率放大芯片 IR2184;舵机正常工作的额定电压是 6 V,采用了 LM26941 芯片进行降压处理;微处理器主控模块、电磁检测模块、速度检测模块、人机交互模块等进行正常工作需要 5 V 供电,采用了 LM2940 芯片进行降压。

2.2 检测模块

电磁检测模块相当于人的视觉系统,进行信息采集,用来确定智能车与中心线的相对位置。电磁检测模块的好坏直接影响数据收集的准确性。该模块包括感应、选频、放大、检波四个部分。赛道中心通有交变电流的漆包线,电流是 100 mA、频率为 20 kHz。由麦克斯韦电磁场理论可知,以导线上的各点为圆心,辐射发出不同强度的磁感线。本文选用了 6.8 nF 的电容和 10 mH 的工字电感组成 LC 串联谐振电路进行感应,选出 20 kHz 的交变磁场信号,滤除其他频率的干扰信号。选出的有用交变磁场信号通过电感线圈产生感应电动势,感应电压数据量较小,不宜进行后期处理,要对其进行放大处理。放大芯片采用 OPA1612,它具有超低失真、处理速度快、处理带宽宽、单位增益稳定等,放大倍数可以达到百倍以上,足以达到处理数据的需要。采用肖特基二极管构成检波电路,得到的直流电压和感应电动势呈现一定的关系。将得到的直流电压传输到微处理器的采集接口进行处理。

为实现简单而又不失精度,控制起来方便可靠,使用了 5 个传感器,为了保证智能车的前瞻性,经过反复试验得到,传感器距离车身为 24 cm,离地高度为 8 cm。最外 2 个和中间的传感器和车身平行放置,其余 2 个与

中心线呈 45° 夹角放置。对采集的数据进行均值滤波,能够快速准确地检测智能车和中心线的相对偏移位置^[6-7]。

智能车在前行的过程中,并不是速度越快越好,当遇到直角弯道、S 弯道、交叉弯道时,速度要进行相应的减小才能平稳通过。为了实现速度的闭环控制,设计中采用了欧姆龙编码器 E6A2 - CW3C 光电编码器来反馈速度。该编码器的脉冲速率为 500 线,测速精度高;最高响应频率为 30 kHz,实时性较好;同时操作简单等优点。微处理器的 FTM 模块通过接收处理编码器采集的数据而得到当前速度。

根据比赛要求,赛道起始位置的两边,分别铺设 3 个磁场强度为 3000 Gs ~ 5000 Gs 的磁铁,作为检测的标志。本文采用了干簧管进行探测感知,实现智能车的起跑。

2.3 执行模块

执行模块包括直流电机模块和舵机转向模块。舵机相当于智能车的方向盘,执行打角的方向和大小。使用的是大赛规定的 S - D5 型舵机,力矩为 5.0 N·m,定位精确。通过微处理器输出的 PWM 波控制转角的方向和角度大小。

电机是大赛提供的 RS - 540 直流电机,在最大功效时,转速是 19 740 r/min,电流是 13.0 A,力矩是 30.6 N·m,输出功率是 63.2 W。由上述指标可以看出,该电机在工作时电流大、功率高,所以微处理器产生的 PWM 波无法进行驱动,因此需要设计电机驱动模块来驱动电机。本设计采用 2 块半桥驱动芯片 IR2184 组成全桥驱动电路,4 个 MOS 管搭建 H 桥电路,此电路设计,导通阻抗小、驱动能力强、额定工作电流可以达到 100 A 以上,大大提高了电动机的工作转矩和转速,同时采用 74HC02 芯片转变电平,实现电机的正反转。电机驱动原理如图 2 所示。

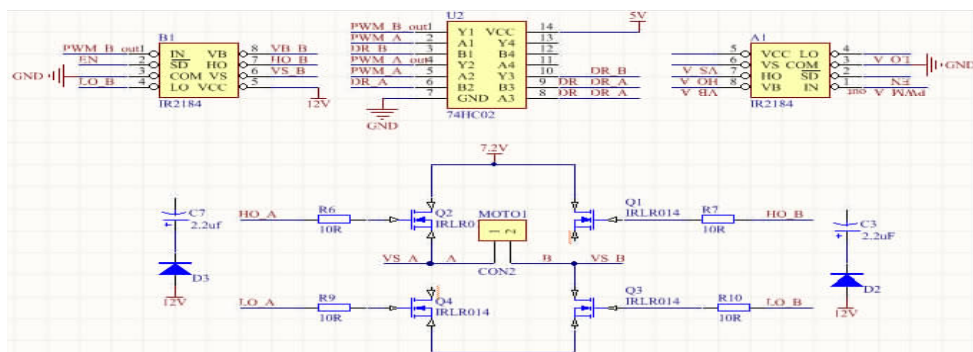


图 2 电机驱动原理图

3 软件设计

3.1 舵机控制

舵机控制主要控制小车的行驶方向,由于加入 I 控制会引起超调,造成舵机的抖动,所以不采用 I 控制,在正确得到偏差 e_k 的基础上,采用 PD 控制舵机。当偏差在增大时,说明上次的动作的没有补偿够偏差,此时要求 P 参数要增大;当偏差在减小,说明智能车在趋于直道行驶,此时要求 P 参数要减小^[8]。参数 P 和曲率 ρ 呈现一定的线性关系式。

$$Kp = \alpha \cdot \rho \pm \beta \tag{1}$$

根据位置式 PD 控制公式:

$$u = Kp \times e_k + Kd \times (e_k - e_{k-1}) \tag{2}$$

式(2)中, u, e_{k-1}, e_k 分别为微处理器输出、当前输入、上一次的输入。得到:

$$SPWM = Smid + Kp \times e_k + Kd \times (e_k - e_{k-1}) \tag{3}$$

其中, $SPWM, Smid$ 分别为微处理器输出 PWM 波、舵机中值时的 PWM 波,从而实现对舵机的控制。

3.2 电机控制

经典 PID 因其控制精度高、鲁棒性强及实现简单,在工业自动化等领域得到广泛的应用。智能车控制是一种模糊不确定的、非线性的、较复杂的系统,仅用经典 PID 控制具有滞后性,因此在电机控制设计中提出了模糊控制与经典 PID 相结合的方法,实现参数 Kp, Ki 和 Kd 的在线自整定,不仅继承了经典 PID 算法的优点,而且具有实时性好、灵活性大、精度更高等优点,实现对不同工况的最优控制^[9]。模糊 PID 控制器构成如图 3 所示。

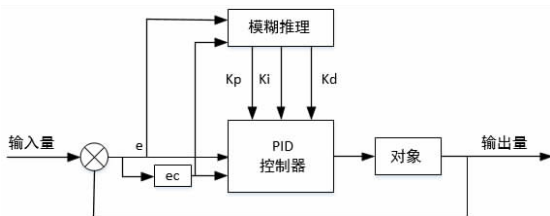


图 3 模糊 PID 控制器构成图

3.2.1 变量确定及模糊化

设计采用的是两输入三输出的模糊控制器,输入变量 e 和 ec 分别表示误差以及误差的变化率,输出变量 Kp, Ki 和 Kd 是经模糊推理得到的三个参数。将偏差和偏差变化率量化到 $(-6, 6)$ 的区域内,三个输出变量量化到 $(0, 6)$ 的区域内。为实现系统的控制精度、灵活性,根据参数的特性和前人的经验,偏差 e 、偏差变化率 ec 以及输出量 Kp, Ki 和 Kd 的模糊子集均取 7 个模糊状态,即

负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(ZO)、正小(PS)、正中(PM)、正大(PB)。为了提高整个系统的可靠性, NB、PB 模糊函数选择高斯型隶属函数,其余模糊函数选择三角形隶属函数作为系统误差 e 、误差变化 ec 和输出量 $Kp/Ki/Kd$ 的隶属度函数。其中 e/ec 的隶属度函数图相同。如图 4 所示。

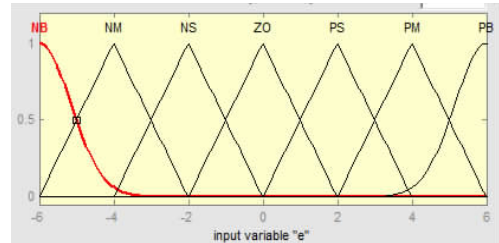


图 4 e 的隶属度函数图

3.2.2 模糊规则表

模糊规则表主要是找出输入变量和输出变量之间的关系。即根据偏差 e 和偏差变化率 ec , 通过模糊规则表,在线实时输出参数 Kp, Ki 和 Kd , 作用于被控对象,以满足不同的工况。通过查阅相关资料以及在 Matlab 中对不同规则的和参数的仿真和验证,设定模糊整定规则为:当偏差较大时,先令 Ki 为零,这样不会出现很大的超调,同时 Kp 取值较大、 Kd 取值较小,为了让系统加快响应;当偏差和变化率中等时, Kp 取值较小, Ki 和 Kd 取值大小要适当,使超调小、获得较好的稳态性能;当偏差较小时, Kp 和 Ki 的取值较大,同时避免设定值附近振荡, Kd 的取值适当,增强系统的抗干扰能力,最终获得控制器良好的静态和动态性能^[10]。根据 PID 参数的整定原则及模糊整定规则,经过 Matlab 仿真和实验修改,采用 if - then 形式,可得 Kp, Ki 和 Kd 的整定规则,见表 1。

3.2.3 模糊推理及反模糊化

变量经过模糊化,由精确值变成相对于各模糊子集的隶属度,经过模糊规则得到输出量相对于各模糊子集的隶属度,在经过模糊推理和反模糊化,得到模糊控制器输出的精确值,作用于被控对象。本文采用了广泛使用的 MAX - MIN 模糊推理方法,即将规则前提逻辑组合的隶属程度与结论命题的隶属函数作 min 运算,求得结论的模糊程度,对所有规则结论的模糊程度作 max 运算,得到模糊推理结果。

反模糊化又称解模糊,就是将模糊推理得到的模糊值进行精确化的过程。常使用的反模糊化方法包括:最大隶属度法、重心法、隶属度限幅元素平均法、系数加权平均法。最大隶属度法即取隶属函数中隶属度最大的值

表 1 K_p 、 K_i 和 K_d 的整定规则表

偏差 e	偏差变化率 ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB/NB/NB	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	PS/NS/NM	ZO/ZO/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	ZO/NS/NM	NS/ZO/NS	NS/ZO/ZO
NS	PM/NB/ZO	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/ZO/NS	NS/PS/ZO
ZO	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/ZO
PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	NM/PB/ZO
PM	PS/ZO/PB	ZO/ZO/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB
PB	ZO/ZO/PB	ZO/ZO/PB	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

作为结果的输出,相较于其他三种方法,虽简单易行,因其忽略了隶属度较小的模糊状态,所以不具有代表性。重心法从理论上讲,属于较精确的解模糊方法,但其操作起来比较复杂,对于要求实时性较高的智能车来讲,不是很好的选择。系数加权平均法和隶属度限幅元素平均法相比,加权平均法具有方法简单、灵活性强的优点,常用于工业控制中^[11]。因此设计中的反模糊化方法全部使用加权平均法。

$$U = \frac{\sum \mu_i U_i}{\sum \mu_i} \quad (4)$$

式中, U 为控制器经反模糊化输出的精准控制量, μ_i 为输出对各模糊子集的隶属度, U_i 为各输出模糊子集对应模糊单点集的值。图 5 为模糊推理输入/输出关系曲面图。

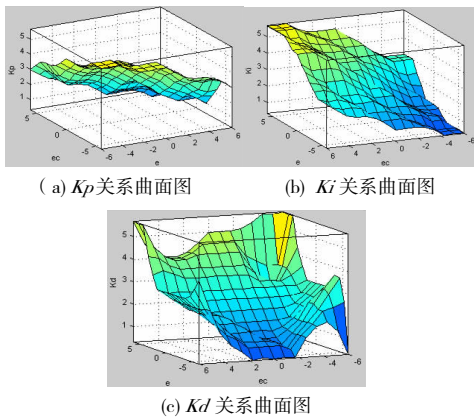


图 5 模糊推理输入/输出关系曲面图

3.3 Matlab 仿真

通过查阅智能车的相关资料,结合本车的实际情况,最终简化模型的传递函数为:

$$G(S) = \frac{400}{S^2 + 50S + 1} \quad (5)$$

采样时间为 1 ms,在 Matlab/Simulink 中进行仿真比较,如图 6 所示。图 6 中,曲线(a)为用模糊 PID 仿真的

曲线,曲线(b)为用传统 PID 进行的仿真。相比较可知,采用模糊自整定 PID 控制器,能快速达到稳态,抗干扰能力更强,取得了良好控制效果,满足智能车控制和高指标的要求。

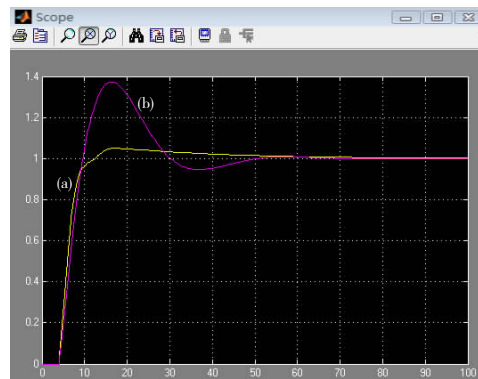


图 6 仿真曲线对比图

4 结束语

本文设计了一种基于飞思卡尔智能车电磁组的实施方案。在硬件方面,对各功能模块进行了介绍,其中重点阐述了电磁检测模块和电机驱动模块。在软件方面,提出了基于模糊 PID 在线整定的控制算法,通过进行 Matlab 仿真,该算法的有效性得到了验证。通过智能车在赛道测试,测试结果见表 2。由表 2 可知,与传统 PID 相比,该算法对复杂工况的适应程度更好、控制精度更准、抗干扰能力更强,平均速度能够达到 2.5 m/s,很好地完成智能车的高速稳定的自循迹。

表 2 赛道测试比较结果

路 况	算法		节省时间率/%
	经典 PID/s	模糊 PID/s	
直道	4.4	4.0	10
弯道	7.7	6.3	18
综合路况	5.9	5.0	15

参考文献:

- [1] 熊和金.智能汽车系统研究的若干问题[J].交通运输工程学报,2001,1(2):37-40.
- [2] 蔡翠.我国智慧交通发展的现状分析与建议[J].公路交通科技,2013,9(6):224-227.
- [3] 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.
- [4] 杨东轩,王嵩.ARM Cortex-M4 自学笔记:基 KinetisK60[M].北京:北京航空航天大学出版社,2013.
- [5] 黄玉水,黄辉,周美娟,等.电磁导航式智能车的设计与实现[J].自动化仪表,2014,35(5):72-76.
- [6] 马仕伯,马旭,卓晴.基于磁场检测的寻线小车传感器布局研究[J].电子产品世界,2009,10(12):41-44.
- [7] 于寒,沈世斌.磁导航智能车定位计算方法研究[J].渤海大学学报:自然科学版,2014,35(1):55-60.
- [8] Dwyer O.A Handbook of PI and PID controller tuning rules[M].London:Imperial College Press,2003.
- [9] 魏建新.足球机器人模糊 PID 控制算法的应用研究[D].重庆:重庆理工大学,2012.
- [10] 刘金镔.先进 PID 控制及其 Matlab 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [11] 赵文峰.基于 Matlab 6.x 的控制系统设计与仿真[M].西安:西安电子科技大学出版社,2002.

Control Research and Realization of the Intelligent Vehicle Based on the Electromagnetic Navigation

WU Xiang, WANG Guanling

(College of Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: On the basis of the analysis and study of intelligent autonomous driving technology, a kind of electromagnetic autonomous navigation control system of intelligent vehicle had been designed. The control system used Freescale 32-bit microprocessor MK60FN1M0VLQ15 as the main control module, including the power module, the detection module of the starting line, the electromagnetic detection module, the steering control module, the speed detection module, the DC motor control module, the man-computer interaction module and so on. For the speed control, on the basis of the traditional PID control, the adaptive control algorithm of Fuzzy-PID control was proposed, which was verified by simulation and comparison. The experimental results showed that the proposed scheme can achieve the optimal control of the intelligent vehicle, which has a strong adaptability to the complex circuit.

Key words: electromagnetic navigation; fuzzy control; Freescale; intelligent vehicle