

一种基于模糊控制的智能车转向控制算法研究

孙绍杰 齐晓慧

(机械工程学院光学与电子工程系 石家庄 050003)

摘要:针对飞思卡尔电磁车模型,探讨了从交变电流产生的电磁场中进行路径检测的问题,提出了一种基于模糊控制的舵机转向控制算法,目的是提高智能车通过复杂电磁赛道特别是S弯道时的稳定性,并进行了仿真与试验验证。结果表明,设计的电路能很好的进行路径检测,提出的转向控制算法能使小车的舵机输出以较高精度跟随期望输入信号,在复杂赛道上得到较为平稳的转向控制。

关键词:智能车 方向控制器 路径检测 模糊控制

Research on Intelligent Car's Servo Control Algorithm Based on Fuzzy Control

SUN Shaojie, QI Xiaohui

(Department of Optics and Electronics Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003 China)

Abstract: Aiming at the intelligent vehicle model, how to recognize navigation path from an AC electromagnetic field is discussed, and a steering control algorithm based on fuzzy control for autonomous navigation of vehicle is brought forward in this paper. Both the simulation and test results show that the designed circuit does better at path detection, and the fuzzy control can improve the stability of control greatly.

Keywords: Intelligent car, Direction controller, Path detection, Fuzzy control

第五届全国大学生智能汽车竞赛新增加了电磁组比赛。赛道引导线由原来的黑色线改为通有交变电流的导线,竞赛车模需要通过识别电流所产生的电磁场进行路径检测。除此之外在赛道的起跑线处还有永磁铁标志起跑线的位置^[1]。

影响赛车性能的主要因素有:①路径的采集识别;②控制算法,包括速度控制和方向控制。在实践中,智能车的速度采用的是常用的PID控制,且取得了较好的效果。但方向控制却由于赛道的复杂性,难以建立较为精确的数学模型,而不便于采用传统的PID控制。模糊控制算法不需要建立精确的系统数学模型,可以根据经验建立控制规则,并且比赛选用的MC9S12DG128单片机具有专门的模糊控制指令,该指令可以使编程大为简化;也使CPU负荷降低。鉴于此,本文针对飞思卡尔电磁车模型,在解决从交变电流产生的电磁场中进行路径检测问题,获得小车实际位置与“引导线”之间误差的基础上,设计了一种方向模糊控制器,给出了模糊控制算法,并通过仿真和试验进行了验证。

1 电磁车寻迹原理及实现

1.1 电磁车寻迹原理^[1]

根据麦克斯韦电磁场理论,交变电流会在周围产生交变的电磁场。智能汽车竞赛使用路径导航的交流

本文于2010-09-10收到,2010-12-28收到修改稿。

电流频率为 20kHz, 产生的电磁波属于甚低频 (VLF) 电磁波。如果在通电直导线两边的周围竖直放置两个轴线相互垂直并位于与导线相垂直平面内的线圈, 则可以感应磁场向量的两个垂直分量, 进而可以获得磁场的强度和方向。通过检测相应的电磁场的强度和方向可以反过获得距离导线的空间位置, 这正是可以进行电磁导航的原因。

当导线中的电流按一定规律变化时, 导线周围的磁场也将发生变化, 线圈中将感应出一定的电动势。由于本设计中导线中通过的电流频率较低, 为 20kHz, 且线圈较小, 令线圈中心到导线的距离为 r , 认为小范围内磁场分布是均匀的。再根据导线周围磁场分布规律, 则线圈中感应电动势 e 可近似为

$$e = -\frac{d\varphi}{dt} = \frac{k}{r} \frac{dI}{dt} = \frac{K}{r} \quad (1)$$

即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。其中常量 K 为与线圈摆放方法、线圈面积和一些物理常量有关的一个量, 具体的感应电动势常量须实际测定来确定。

1.2 寻迹电路设计

实际选用的电路由选频放大、幅度测量两部分组成, 如图 1 所示。电路中的电感线圈 $L1$ 可以对其周围的交变磁场感应出相应电动势。用 $L1$ 、 $C1$ 组成的 LC 串并联电路来实现选频, 在频谱上可以有效地避开周围其它磁场的干扰。感应出的信号经过单管放大器 $T1$ 放大后, 使用 $D1$ 、 $D2$ 组成的二极管检波电路将交变的电压信号检波形成直流信号, 然后再通过单片机的 AD 采集获得正比于感应电压幅值的数值 e 。由公式 (1), 可知横向偏差 E 满足:

$$E = r = K/e \quad (2)$$

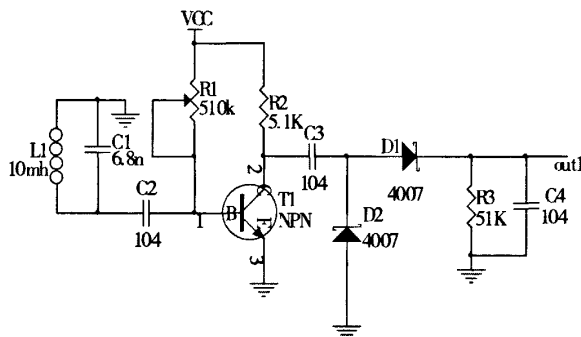


图 1 路径检测电路

为了提高控制的效果, 设计中还引入了误差的变化率作为控制量, 以实现转向的超前控制。误差的变化率用前后两次的检测误差的差值表示, 即 $E_c = E_{i+1} - E_i$ 。这样路径识别的结果就可以用在舵机转向的模糊控制中。

2 转向模糊控制算法

模糊控制是以模糊集理论、模糊语言变量和模糊控制逻辑推理为基础的一种智能控制方法, 从行为上模拟人的思维方式。它对难建模的对象实施模糊推理和决策, 实际上是一种非线性控制。该方法首先将操作人员或专家经验编成模糊规则, 然后将来自传感器的实时信号模糊化, 将模糊化后的信号作为模糊规则的输入, 完成模糊推理, 再将推理后得到的输出量加到执行器上^[2]。

模糊控制器由 3 个功能模块组成, 即模糊化模块、模糊推理模块和解模糊模块, 如图 2 所示。MC9S12DGL28 中为这 3 个阶段分别设置了相应的指令, 即 MEM、REV、REVV 和 WAV。其中 MEM 为模糊化指令, REV 和 REVW 分别为普通和加权推理运算指令, WAV 为解模糊指令。

2.1 输入输出变量的确定

智能车模糊控制采用二维模糊控制器。输入变量 E 、 E_c ，分别为赛车前端的传感器给出的赛车位置和道路中心的横向偏差和偏差的变化率，其输出变量 U 为赛车的前轮转向角，通过改变输出 PWM 波的占空比来改变。

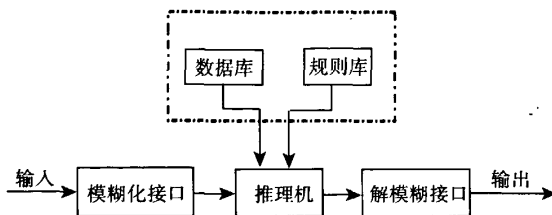


图2 模糊控制器的组成框图

2.2 模糊化

在模糊控制系统中，电磁车所检测的信息是精确量，要将这些精确的物理量转变成语言变量即模糊化。

为了减少单片机的运算量，提高处理速度，各变量均采用线形的三角型隶属度函数。在本系统中，共有九个图1所示的模块并排于智能车前端，用来检测引导线的位置，其标号定义为1-9，标号5的模块位于智能车中心，这样检测到信号的模块标号与5的差值就可表示为当前误差值，因此可将误差 E 的论域设定为 $[-4, 4]$ ；由每一次控制中，误差的变化值范围可将误差变化率 E_c 的论域设定在 $[-6, 6]$ ；小车转动角度 $Angle$ 的范围在 $[-30, 30]$ 内。为了兼顾系统的控制精度和响应速度，各变量论域均取7个模糊子集，即 $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 。其各个变量的隶属度函数如图3、图4、图5所示。

2.3 模糊规则库的建立

确定控制规则是模糊控制器设计的核心工作。控制规则的多少视输入及输出数目及所需控制精度而定。控制规则库常根据人们的经验得到。

根据驾驶员驾车的经验，当车与轨道的偏差很大，且偏差的变化率也很大时应使舵机向相反的方向打较大的角度；当车与轨道的偏差不是很大时，舵机应稍打或不打；当偏差较大而偏差变化率向相反方向很大时，说明偏差正在变小此时舵机可以不打。根据以上控制经验可建立方向模糊控制规则表，如表1所示。将这些模糊规则以程序的形式写到单片机中，从而实现对智能车的控制。

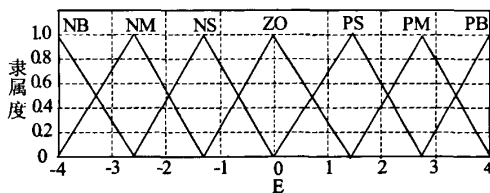


图3 误差 E 的隶属度函数

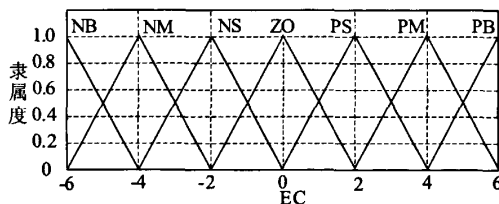


图4 误差变化率 E_c 的隶属度函数

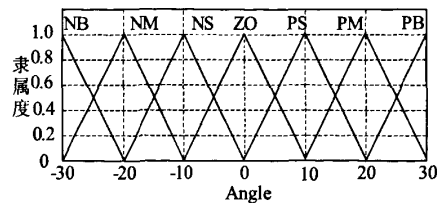


图5 小车转动角度 Angle 的隶属度函数

表1 模糊控制规则表

E		Ec						
U		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB		NB	NB	NB	NM	NS	NS	NS
NM		NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS		NM	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO		NM	NS	NS	ZO	ZO	PS	PM
PS		NS	NS	ZO	PS	PS	PM	PM
PM		NS	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB		ZO	PS	PS	PM	PB	PB	PB

2.4 模糊推理及反模糊化输出

这里采用 MAX - MIN 法进行模糊推理。MAX - MIN 法则规定:当相同后件的规则强度不同时,模糊输出取其大者^[3]。MC9S12DG128B 单片机规定各个前件之间只进行模糊与运算,而如果几个规则的逻辑后件影响到同一个模糊输出,它们之间就隐含模糊或运算,此时即使用 MIN - MAX 法进行模糊推理。反模糊化就是将模糊推理后得到的模糊集转化为用作控制的数字值的过程。本方案反模糊化算法采用常用的重心法(COG 法)。S12 单片机反模糊化指令 WAV 采用的就是重心法,其计算公式为

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^n S_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

(3)

式(3)中: F_i 为变量属于各模糊子集的隶属度; S_i 为语言值。

3 MATLAB 仿真分析

由于电机的转向与输出的 PWM 波成正比例的关系,所以可以近似的认为小车转向速度与电机的输出成正比例的关系。根据小车的动力学模型,可推得小车的转向模型近似为一个三阶系统,结合小车参数,简单估算其舵机的传递函数为^[4]

$$G(s) = \frac{1}{0.4s^3 + 2s^2}$$

(4)

为了考查模糊控制的控制效果,利用 Matlab 模糊控制工具箱和 Simulink 模块对加模糊控制前后系统的性能加以仿真比较,仿真结构如图 6 所示。仿真中所用激励为模拟 S 弯道的信号,仿真时间设置为 70s。

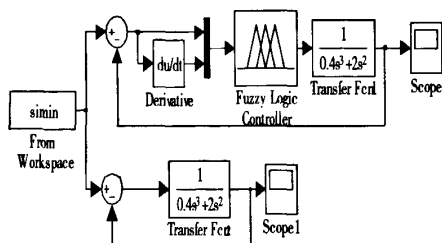


图 6 舵机系统 Simulink 仿真结构图

仿真结果如图 7、8 所示:

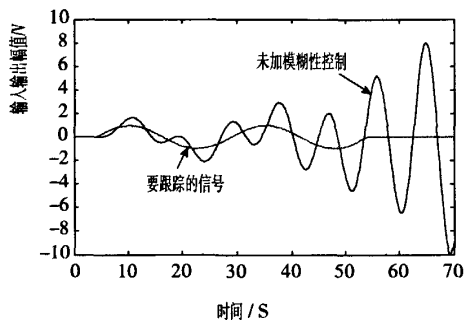


图 7 未加模糊控制的舵机仿真效果

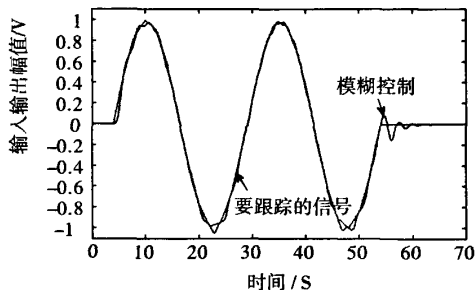


图 8 具有模糊控制的舵机仿真效果

图 7、图 8 中虚线为需要跟踪的模拟 S 弯道的信号,实线为加模糊控制前后舵机的仿真输出值。对比可知,基于模糊控制的舵机方向控制器能使智能车实现较高精度的跟踪。

4 结束语

本文首先对电磁车的路径检测问题进行了探讨,实践表明设计的检测电路可以实现非常好的检测效果。其次,基于模糊控制设计了一种转向控制算法,在实际应用中,经反复调试,实现了智能小车的方向控制。与传统控制方法相比,该控制器提高了稳定性,改善了动态特性,具有一定的实用价值。

参 考 文 献

- [1] 飞思卡尔竞赛秘书处. 电磁组竞赛车模路径检测设计参考方案. 2010.
- [2] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [3] 杨纶标,高英仪. 模糊数学原理及应用. 广州:华南理工大学出版社,2003.
- [4] 程柏林. 基于模糊 PID 控制的智能小车控制器的研制. 合肥工业大学硕士学位论文,2007. 39-45
- [5] 张国亚,钱新恩,程耕国,李峰波. 基于模糊控制的智能车转向控制仿真研究. 湖北汽车工业学院学报,2008. 22(1):26-28

作者简介

孙绍杰,(1987-),男,山东郯城人,在读硕士,专业为控制理论与控制工程。

齐晓慧,(1962-),女,辽宁人,教授,博导。