

# 基于 Fuzzy-PID 智能车舵机控制系统

张晓群

(西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 为提高智能车舵机的响应速度, 分析了智能车控制系统的特点以及应用常规模糊控制器进行控制的局限性, 提出了模糊 PID 控制算法, 推导出模糊 PID 控制器消除稳态误差的原理, 并介绍了模糊 PID 控制器的设计方法. 实验结果表明, 模糊 PID 控制器既能消除稳态误差, 又有很强的鲁棒性, 对于具有非线性和迟滞性特点的智能车舵机控制系统具有良好的控制性能.

**关键词:** 智能车; 舵机控制; 模糊 PID 控制器

中图分类号: TP273

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)02-0301-04

智能车是集环境感知、决策控制、自动行驶于一身的一个综合系统. 要求智能车能根据路况及时调整转向和行驶速度, 在白色赛道上沿着一条黑色引导线自主、平稳地快速行驶, 以尽可能短的时间到达终点.

在智能车的控制系统中, 转向控制是一个复杂的问题, 其原因是控制对象舵机是一个非线性迟滞系统. 采用传统 PID 控制算法, 势必造成转向调节的阶梯式跳跃变化、对路径变化反应不灵敏、容易产生超调与振荡等现象, 难以达到满意的结果. 而模糊控制对于克服系统的非线性、时变性具有一定的优势<sup>[1-3]</sup>. 为了进一步提高模糊控制的控制精度, 本文结合智能车转向控制系统的特点, 采用模糊 PID 控制算法, 使智能车转向控制达到最佳状态<sup>[4-5]</sup>.

## 1 智能车系统分析

### 1.1 智能车的控制系统结构

智能车系统主要由主控模块、路径识别、速度采集、转向控制及车速控制等功能模块组成. 路径识别功能由线阵 CMOS 摄像头实现, 由摄像头采集道路信息, MCU 对道路信息进行分析处理, 提取黑色引导线, 设置路况状态; 速度采集模块采集智能车当前行驶速度,

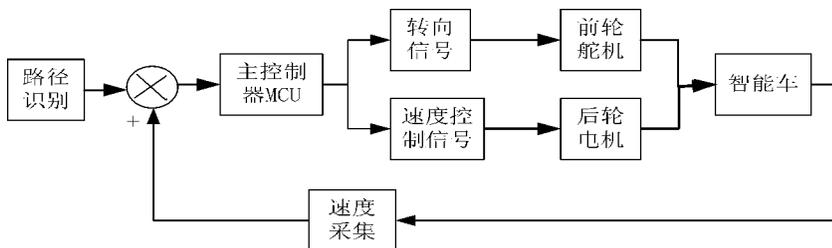


图1 智能车控制结构图

Fig. 1 Structure of smart car controller

再根据路况状态给出舵机的转角及小车的行驶速度. 该系统以 50 Hz 的频率不断地采集实时路况信息和速度, 实现对整个系统的闭环控制, 如图 1 所示.

### 1.2 智能车转向控制分析

智能车依靠安装在车子前部的摄像头对小车前方的赛道进行扫描, 分析赛道信息, 提取黑色引导线, 并按黑色引导线的走向实现自动导航. 为了使智能车在尽可能短的时间内流畅地跑完全程, 小车的速度控制与转向控制应协调统一. 当小车在直道上行驶时, 允许小车在偏离引导线的一定范围内以最快

的速度行驶,即小车的行驶速度最大而转向信号为零;当小车驶入弯道时,转向舵机快速做出反应,在速度迅速降低的同时,使小车转过一定的角度;在蛇形道上行驶时,小车应沿着蛇形赛道的中心直线前行,不需频繁地调整车头转向;当小车重新进入直道时,迅速调整车头、提高车速达到稳定车速。

## 2 模糊 PID 控制器的设计

根据对小车转向控制系统的分析可知,小车需要根据引导线的走向及时调整方向.由于小车行驶的赛道是不确定的,当遇到大弯时,车头需要大调整;当遇到小弯或偏离引导线时,车头需要进行小调整或不调整.对此,该系统采用了模糊控制算法,以增强系统的控制响应速度及对不确定性因素的适应性;采用 PID 控制算法,以增强模糊控制器的控制性能(即减少稳态误差).本文在模糊控制器中引入模糊积分,构成模糊 PID 控制器,其结构图如图 2 所示.由图 2 可知,对于模糊 PID 控制器,可得如下关系式:

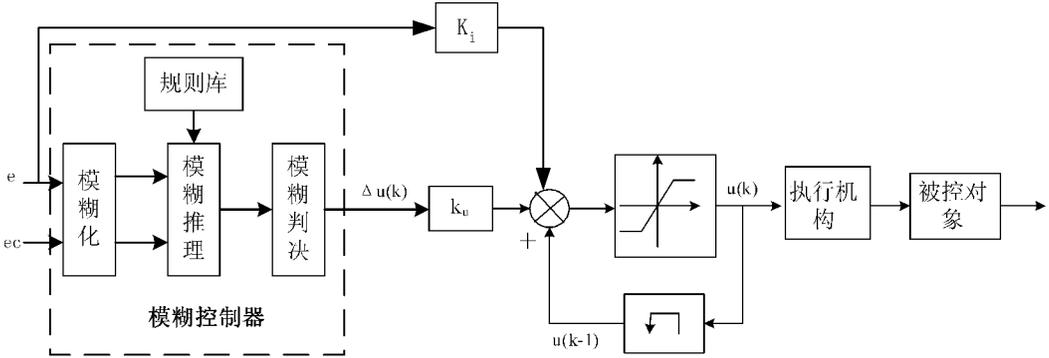


图 2 模糊 PID 控制器结构图

Fig. 2 Structure of fuzzy-PID Controller

$$u(k) = u(k-1) + k_u \cdot \Delta u(k) + k_i \cdot e(k) \quad (1)$$

式中  $u(k)$  为第  $k$  次的输出量;  $u(k-1)$  为第  $k-1$  次的输出量;  $\Delta u(k)$  第  $k$  次的输出增量;  $e(k)$  为第  $k$  时刻的误差量。

对(1)取  $Z$  变换,并整理得:

$$U(z) = \frac{1}{1-Z^{-1}} K_u \Delta U(z) + \frac{K_i}{1-Z^{-1}} E(z) \quad (2)$$

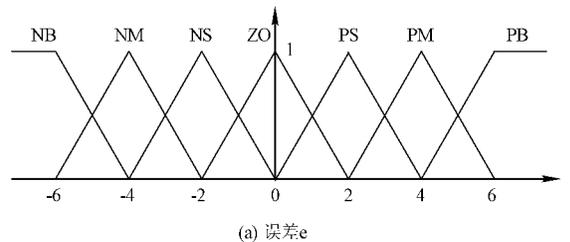
在离散域中,  $\frac{1}{1-Z^{-1}}$  表示累加和,即积分作用。

由(2)式可以看出,第 1 项中,  $\Delta U=0$  时,偏差  $e$  并不等于 0;在第 2 项中,只有  $e=0$  时,积分才结束.这表明,对于模糊 PID 控制器,只有当偏差  $e=0$  时,其控制量输出就会停止变化,从而达到系统无静差效果,也就是说模糊 PID 控制器能够改善的系统稳态性能<sup>[6-8]</sup>。

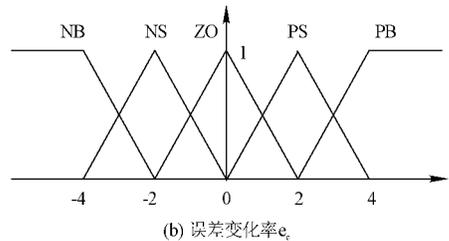
通常,一个模糊控制器的实现需要解决如下问题:模糊化,即设定隶属度函数;确定控制规则;模糊推理;反模糊化等。

### 2.1 模糊化

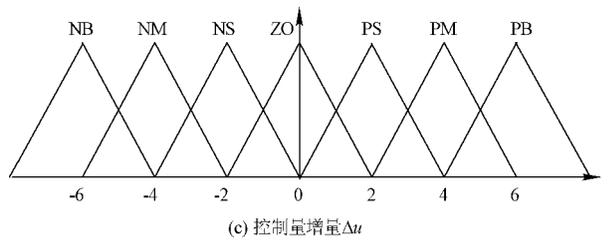
该模糊控制器采用二输入一输出结构,输入变量为黑色引导线相对于摄像头中心的偏差  $e$  和偏差变化率  $e_c$ ,其输出量是小车的转向角增量  $\Delta u$ .根据实践经验和控制要求设置偏差  $e$  和偏差变化率  $e_c$  的基本论域分别为  $(-40, 40)$ 、 $(-20, 20)$ ,转向角增量的基本论域为  $(-0.06, 0.06)$ ,偏差  $e$  和转向角增



(a) 误差  $e$



(b) 误差变化率  $e_c$



(c) 控制量增量  $\Delta u$

图 3 模糊集的隶属度函数

Fig. 3 Membership function of fuzzy set

的基本论域分别为  $(-40, 40)$ 、 $(-20, 20)$ ,转向角增量的基本论域为  $(-0.06, 0.06)$ ,偏差  $e$  和转向角增

量的模糊论域为  $(-6, 6)$ , 偏差变化率  $e_c$  模糊论域为  $(-4, 4)$ , 则得偏差  $e$  的量化因子  $k_e = 6/40 = 0.15$ , 而偏差变化率  $e_c$  的量化因子  $k_c = 4/20 = 0.2$ , 控制增量  $\Delta u$  的比例因子  $RU = 0.06/6 = 0.01$ . 本系统中, 偏差、偏差变化率和控制增量均取 7 个语言值, 分别为 NB(负大)、NM(负中)、NS(负小)、ZO(零)、PS(正小)、PM(正中)、PB(正大), 其隶属函数采用三角形或梯形形式, 语言值的隶属函数分别如图 3 所示.

## 2.2 模糊控制规则的建立

模糊控制规则是模糊推理的依据, 根据控制经验, 建立一个智能小车舵机自动控制系统模糊控制规则表, 如表 1 所示.

表 1 模糊控制规则表  
Tab. 1 Fuzzy control rule table

$\Delta u$	$e$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	ZO	NS	NM	NB
NS	PM	PS	PS	ZO	NS	NS	NM
ZO	PM	PS	ZO	ZO	ZO	NS	NM
PS	PM	PS	PS	ZO	NS	NS	NM
PB	PB	PM	PS	ZO	NM	NB	NB

## 2.3 反模糊化及模糊 PID 控制器的实现

由于模糊控制输出的是模糊量, 不能直接用于被控对象, 需要进行反模糊化操作, 或模糊判决, 即需要将模糊量转换成一个执行机构可以接受的精确量. 常用的反模糊化方法有最大隶属度法、系数加权平均法和重心法等. 在以上模糊判决方法中, 由于重心法全面考虑模糊量的有关信息, 能够全面的反映输出的模糊推理结果, 且执行运算较容易, 因此, 在本系统中采用重心法.

S12 单片机提供了一套模糊运算指令<sup>[9]</sup>, 这些指令分别是 MEM、REV、REVW 和 MAV. 其中: MEM 指令完成过程量向模糊输入转化的模糊化处理过程; REV 指令是规则推理的核心指令, 完成模糊推理处理; REVW 指令与 REV 指令功能相似, 完成加权模糊推理功能; MAV 指令反模糊运算指令, 它使用重心法, 将模糊输出作为权值, 对输出模糊子集对应的模糊单点集的值(Singleton)求加权平均.

## 3 实验结果及分析

应用本文设计的模糊 PID 控制器控制智能车的转向系统, 在各种不同形状的赛道上智能车均能够平稳快速地运行, 达到了较好的控制效果. 在相同的测试赛道上, 分别应用模糊 PID 控制器和 PID 控制器对同一智能车进行多次比较实验, 测得智能车跑完全程的平均时间及速度如表 2 所示.

同时, 多次实验结果证明, 应用模糊 PID 控制算法控制舵机转向使舵机的响应速度相对常规 PID 控制算法快, 并且能使智能车转向相对比较连续, 不出现突变现象, 运行轨迹相对平滑、稳定, 对智能车的整体性能的提升有一定的作用.

## 4 结 论

针对智能车转向控制系统的特点, 设计了一个模糊 PID 控制器, 该控制器对智能车的整体性能有一定程度的提升, 达到了较好的控制效果. 实验证明, 模糊 PID 控制算法相对传统 PID 控制算法而言, 有助于提高智能车转向系统的响应速度, 减小稳态误差, 使智能车运行更快更平稳等.

实际上, 智能车的行驶速度对其转向控制也有影响, 这里, 在研究模糊 PID 控制器时只考虑了智能车对引导线的偏差对转向角度的影响. 对于其他方面的问题, 以后会作进一步的讨论分析.

表 2 智能车运行参数比较

Tab. 2 Running parameter for smart car		
控制方法	跑完全程的时间/s	平均速度/ $m \cdot s^{-1}$
PID 控制	21	1.64
模糊 PID 控制	20	1.71

## 参考文献 References

- [1] 褚静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.  
CHU Jing. Fuzzy control theory and application[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [2] 邹伯敏. 自动控制理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.  
ZOU Bo-min. Automatic control theory[M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [3] 薛定宇, 陈阳泉. 控制数学问题的MATLAB求解[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.  
XUE Ding-yu, CHEN Yang-quan. MATLAB Solution to Mathematical Problems in Control[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.
- [4] 朱晓娟. 工业控制中Fuzzy-PID控制的策略与方法[J]. 西安科技大学学报, 2009, 29(1): 109-112.  
ZHU Xiao-juan. Fuzzy-PID control strategies for industrial control[J]. Journal of Xi'an university of Science and Technology, 2009, 29(1): 109-112.
- [5] 程宇, 程磊. 基于模糊控制的智能车调速系统设计[J]. 武汉科技大学学报, 2007, 30(4): 388-391.  
CHENG Yu, CHENG Lei. Design of speed regulation system of smart car based on fuzzy control[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology, 2007, 30(4): 388-391.
- [6] 任庆昌, 徐鹏, 罗西, 等. PID自整定调节器在VAV空调系统解耦控制中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2009, 41(6): 759-763.  
REN Qing-chang, XU Peng, LUO Xi, et al. The Application of PID parameter self-adjusting regulator in VAV decoupling control[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2009, 41(6): 759-763.
- [7] 郭芳瑞. Fuzzy-PI复合控制在坩埚炉温度控制中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2003, 35(1): 67-70.  
GUO Fang-rui. Application of Fuzzy-PI combined control in temperature control of pot furnace[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2003, 35(1): 67-70.
- [8] 李志鸿, 启春, 张龙, 等. 二级倒立摆的参数自整定模糊-PI控制[J]. 西安科技大学学报, 2007, 27(4): 635-638.  
LI Zhi-hong, QI Chun, ZHANG Long, et al. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2007, 27(4): 635-638.
- [9] 贾智平, 张瑞华. 嵌入式系统原理与接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.  
JIA Zhi-ping, ZHANG Rui-hua. Embedded system principle and interface technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.

## Intelligent vehicle steering control system based on fuzzy-PID

ZHANG Xiao-qun

(School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture  
And Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract** To increase response speed of the intelligent automobile, fuzzy-PID control algorithm is proposed by analyzing the characteristics of smart car and limitation of a conventional fuzzy controller. The principle how fuzzy-PID controller eliminates the steady-state error is deduced. The design method of the fuzzy-PID controller is introduced. Experiments showed that the fuzzy-PID controller can eliminate the steady-state error and has good robustness. It has good performance in smart car system and has the character of nonlinear and hysteresis.

**Key words:** intelligent vehicle, steering control, fuzzy-PID control