

# 基于自适应模糊 PID 控制的汽车 ESP 系统控制研究

陈佳佳<sup>1,2</sup>,梅涛<sup>2</sup>,梁华为<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学,合肥 230031;2. 中国科学院合肥智能机械研究所,合肥 230031)

**摘要:**汽车 ESP 系统是汽车的一种主动安全装置,近年来仿真技术在汽车 ESP 系统的研究中得到了广泛的应用。基于模糊控制与 PID 控制,对 ESP 提出了自适应模糊 PID 控制的控制方法。首先以某汽车车型为研究对象,建立了其传递函数模型。然后运用 Matlab/Simulink,进行了模糊控制器与 PID 控制器地设计,建立了仿真模型并进行仿真。结果表明,这种方法可以提高汽车的稳定性。实际工作中,由于路面条件不断变化,并且汽车本身是一个复杂的系统,传统控制方法无法进行有效地控制,自适应模糊 PID 控制器可以不断地调整参数,进行控制。目前,以完成关于该控制算法的控制器设计。

**关键词:**ESP;自适应模糊 PID 控制;建模仿真

**中图分类号:**U461 **文献标识码:**A

## Study of Automobile ESP Basing on Self - adaptive Fuzzy PID Controlling

CHEN Jia-jia<sup>1,2</sup>, MEI Tao<sup>2</sup>, LIANG Hua-wei<sup>2</sup>

(1. China Science & Technology University, Hefei 230031; 2. Institute of Intelligent Machines Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Automobile ESP is a kind of Active safety device. Recently, the simulation was widely used in the research of Automobile ESP. A new method of the self-adaptive fuzzy PID control was put forward for ESP basing on the fuzzy control and PID control. First, a transfer function model of automobile was established, and then designing the fuzzy controller and the PID controller by using Matlab. At last, we use simulink to do the simulation experiment. It turned out that this method can improve the stability of automobile. In practice, because of the change of road conditions, and vehicle is also a complex system, Traditional control methods can not work effectively. Self-adaptive fuzzy pid controlling can constantly control by adjusting parameters. Now, the design of the controller using this control algorithm have been finished.

**Key words:** ESP; self-adaptive fuzzy PID control; simulation

## 0 引言

ESP (Electronic Stability Program)——车身电子稳定系统是车辆新型主动安全系统,它是通过实时调整车辆的运行状态,使车辆能够按照驾驶员的意图行驶,并防止车辆失稳的汽车主动安全装置,是当今国际上汽车技术的发展趋势。

汽车 ESP 系统是一个复杂的系统,其控制方法的研究是当前汽车界的热点。目前,在国内,ESP 的研究工作还处在起步阶段,只有少数学者进行了控制方法

的仿真研究,如 PID 控制、模糊控制<sup>[1]</sup>。在运用 PID 控制时,需要建立被控对象精确的数学模型,参数往往整定不良,对被控过程的适应性差,难以处理复杂的非线性控制系统。单纯使用模糊控制时,又由于其控制精度不高、自适应能力有限、可能存在稳态误差、引起振荡。为此,本文针对 PID 控制和模糊控制的各自特点,将模糊控制与 PID 控制结合起来,运用了自整定模糊 PID 控制器,可以利用模糊控制规则对 PID 参数进行在线修改,因而具有较好的自适应能力。

## 1 二自由度整车仿真模型

### 1.1 建模假设

该二自由度车辆模型中(图1),忽略了转向操纵系统的影响,直接以前轮转角  $\delta$  作为输入;汽车只有侧向运动和旋转运动两个自由度。此外,汽车的侧向加速度限定在 0.4g 以下,轮胎的侧偏特性处于线性范围。建立运动微分方程时还假设:驱动力不大,不考虑地面切向力对轮胎侧偏特性的影响,没有空气动力的作用,忽略左右车轮轮胎由于载荷的变化而引起轮胎特性的变化以及轮胎回正力矩的作用。分析时,令车辆坐标系的原点与汽车质心重合。

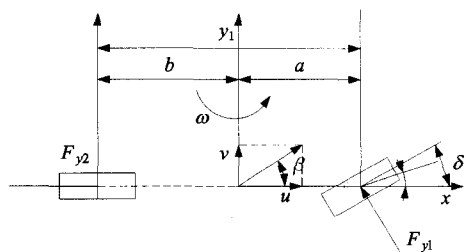


图1 二自由度单轨汽车模型

### 1.2 模型参数的确定

本文以某型号汽车为研究对象,其主要参数如表1所示。

表1 整车参数

整车参数	数值	整车参数	数值
整车质量/kg	2325	车轮轮距 d/m	1.5
转动惯量 I <sub>z</sub> /kg·m <sup>2</sup>	4132	车体质心高度 h <sub>g</sub> /m	0.5
轴距 L/m	3.025	前轮总侧偏刚度 C <sub>f</sub> /N·rad <sup>-1</sup>	40000
质心至前轴距离 a/m	1.430	后轮总侧偏刚度 C <sub>r</sub> /N·rad <sup>-1</sup>	48000
质心至前后轴距离 b/m	1.595		

### 1.3 建模过程

基于以上假设,建立方程:

$$\left. \begin{aligned} F_{y2} + F_{y1} \cos\delta &= m(\dot{v} + u\omega_r) \\ aF_{y1} \cos\delta - bF_{y2} &= I_z \dot{\omega}_r \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

考虑到  $\delta$  角较小,参考模型运动方程可表述为:

$$\left. \begin{aligned} FY2 + FY1 &= m(\dot{v} + u\omega_r) \\ aFY1 - bFY2 &= I_z \dot{\omega}_r \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中汽车前轮和后轮所受到的侧向力与其相应的侧偏角成线性关系<sup>[1]</sup>,即:

$$\left. \begin{aligned} FY1 &= C_f \cdot af \\ FY2 &= C_r \cdot ar \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中<sup>[1]</sup>

$$\left. \begin{aligned} af &= \delta - \beta - \frac{aw}{u} \\ ar &= -\beta + \frac{bw}{u} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

将式(3),(4)代入到公式(2)中并进行拉普拉斯变换可以得到线性二自由度单轨模型的传递特性<sup>[1]</sup>:

$$\frac{\omega(s)}{\delta(s)} = \frac{muaC_f \cdot s + lC_f C_r}{mul_z \cdot s^2 + [l_z(C_f + C_r) + m(a^2 C_f + b^2 C_r)] \cdot s + \frac{C_f C_r l^2}{u} \left[ 1 + \frac{mu^2 (bC_r - aC_f)}{C_f C_r l^2} \right]} \quad (5)$$

## 2 模糊PID控制器的设计

自适应模糊PID控制的思想是以误差  $e$  和误差变化率  $ec$  作为输入,可以满足不同时刻的  $e$  和  $ec$  对PID参数自整定的要求。利用模糊控制规则对PID参数进行实时修改,以构成自适应模糊PID控制器,其结构如图(2)所示。

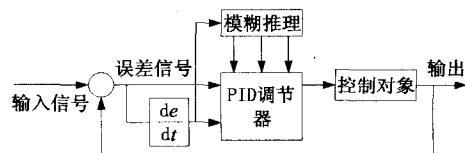


图2 自适应模糊PID控制器结构

### 2.1 模糊控制器的设计

#### (1) 确立输入输出变量

基于对系统的上述分析,以横摆角速度  $\omega$  作为研究对象,将  $e$  和  $ec$  作为模糊控制器的输入,PID控制器的3个参数  $k_p$ 、 $k_i$  和  $k_d$  作为输出。

#### (2) 确定输入输出变量及其隶属度函数

设定输入变量  $e$ 、 $ec$  和输出变量  $k_p$ 、 $k_i$ 、和  $k_d$  语言值的模糊子集为{负大,负中,负小,零,正小,正中,正大},并记为{NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB}, $e$ 、 $ec$  的论域为(-6,6), $k_p$  论域为(-0.3,0.3), $k_i$  论域为(-6,6), $k_d$  的论域为(-3,3),为了论域的覆盖度和灵敏性,以及为了调整方便,均采用三角形隶属函数。

#### (3) 模糊控制规则的语言描述

根据参数  $k_p$ 、 $k_i$  和  $k_d$  对系统输出特性的影响情况,可以归纳出在不同的  $e$  和  $ec$  时,被控参数  $k_p$ 、 $k_i$  和  $k_d$  的自整定要求,从而可得模糊控制规则如表2~4所示。

表2 模糊控制规则表

$k_p$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM

(续表)

$k_i$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NM
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 3 模糊控制规则表

$k_i$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 4 模糊控制规则表

$k_d$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NS	NS	NB	NB	NB	M	PS
NM	PS	NS	NM	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

对  $\omega$  和  $\dot{\omega}$  的变化率取得相应语言值后,根据模糊规则表,进行模糊推理,整定得到的 3 个参数需要进行反模糊化,转化为精确量进行控制,反模糊化方法运用加权平均法

### 3 仿真及结果

#### 3.1 仿真模型建立

在 MATLAB 中创建图 5 所示的自适应模糊 PID 控制系统仿真模型,该方框图中的 PID 控制器和模糊控制器分别是封装好的子系统,其内部模型如图 3 ~ 图 4 所示。

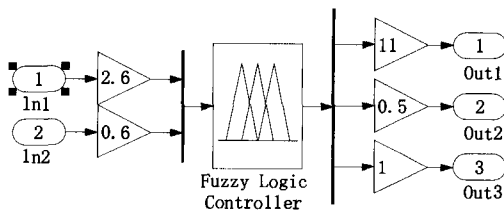


图 3 模糊控制器子系统内部模型

#### 3.2 仿真结果

在仿真中分别采用阶跃和单周期正弦信号作为转向转角信号,阶跃输入角为 0.15rad,正弦信号幅值为 0.15rad,频率为 0.5Hz,汽车初始速度为 25m/s,仿

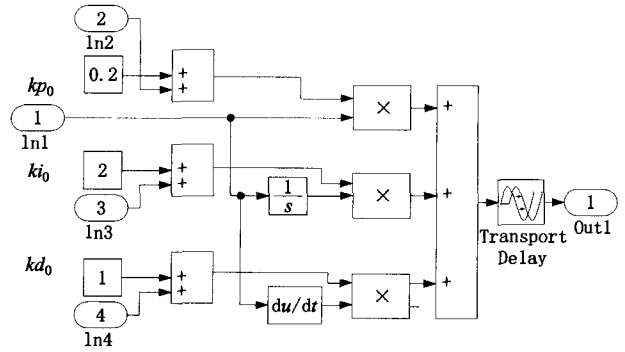


图 4 PID 控制器子系统内部模型

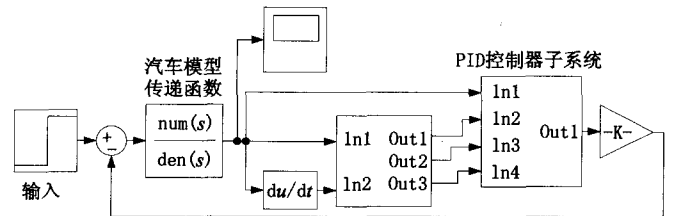


图 5 自适应模糊 PID 控制系统仿真模型

真工作步长 0.005s,仿真时间为 10s 和 2 秒,仿真模型中的各个模块参数为 ( $k_p0 = 0.2, k_i0 = 2, k_d0 = 1, k = 0.1$ )。仿真结果见图 6 ~ 9。

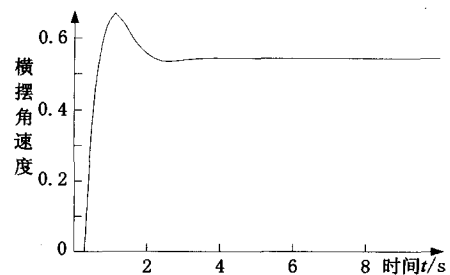


图 6 未加控制的横摆角速度响应图

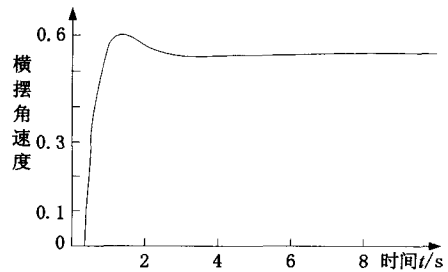


图 7 模糊 PID 控制的横摆角速度响应图

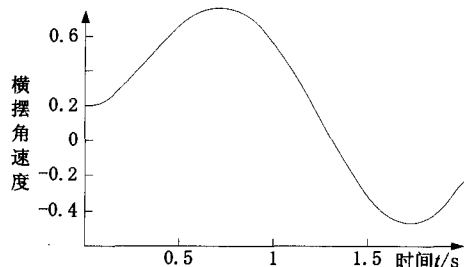


图 8 未加控制的横摆角速度响应图

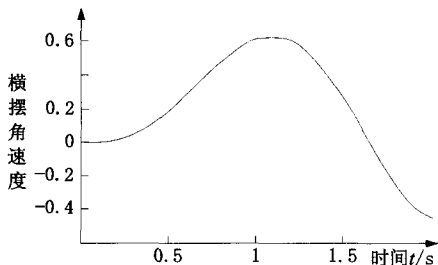


图9 模糊PID控制的横摆角速度响应图

4 结论

从仿真结果中可以看出,自适应模糊PID控制可以明显地减小响应的超调量,使系统的响应速度加快、调节精度提高;稳态性能变好,提高了系统的鲁棒性与智能性,从而可以对ESP系统进行良好的控制。

(本文所列公式中, $m$ 为汽车总质量; $I_z$ 为绕Z轴的转动惯量; $L$ 为轴距; $d$ 为车轮轮距; $a, b$ 分别是质心至前后轴距; $\omega_r$ 为横摆角速度; $u, v$ 分别是汽车沿x轴和y轴方向的速度; $\beta$ 为质心侧偏角; $\delta$ 为转向轮转角; $F_{Yi}(i=1,2)$ 是轮胎所受的侧向力; $C_f, C_r$ 分别是前后轮总的侧偏刚度。)

[参考文献]

[1] 谢敏松,李以农,郑玲,等. 基于模糊技术的汽车ESP系统

综合反馈控制[J]. 重庆大学学报,2007,30(4):1-5.  
 [2] 陈黎卿,陈无畏,郑泉,等. 基于联合仿真技术的主动悬架自适应模糊PID控制研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(5):1340-1343.  
 [3] 王晓东,杨南生. 红外搜索跟踪系统伺服机构模糊PID控制器设计及仿真研究[J]. 红外技术,2007,29(2):56-59.  
 [4] 李英顺,薛定宇. 汽车防抱制动参数自整定模糊PID控制器[J]. 机床与液压,2006(5):131-133.  
 [5] A. T. van Zanten. Bosch ESP Systems: 5 Years of Experience. Sae Technical Paper Series. 2000.  
 [6] Anton T. van Zanten. VDC, The Vehicle Dynamics Control System of Bosch. SAE Technical Paper Series. 1995.  
 [7] 韩建保,云志刚,陈历兵. 汽车电子稳定系统的工作原理及应用[J]. 汽车电器,2004(4):29-31.  
 [8] 崔胜民,林清芝. 基于模糊控制的汽车ESP建模仿真[J]. 农业装备与车辆工程,2007(5):17-19.  
 [9] 陈胜金. 简析汽车稳定控制系统的ECU的性能要求[J]. 学术论坛,2004:21-23.  
 [10] 李亮,宋健. 汽车动力学控制系统研究进展[J]. 世界科技研究与发展,2005(2):10-17.  
 [11] 王会义,宋健. 汽车电子稳定程序的控制算法[J]. 清华大学学报(自然科学版),2007(2):224-227.

(编辑 李秀敏)

(上接第58页)Applet粘贴数据过程,图5为客户端Applet进行FFT分析过程。

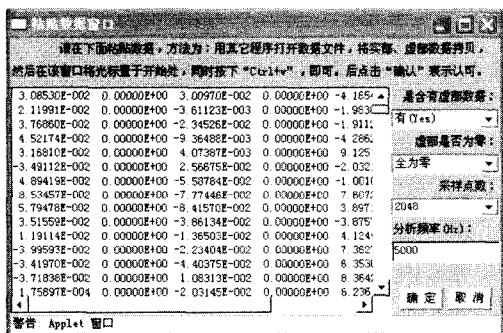


图4 客户端 Applet 粘贴数据

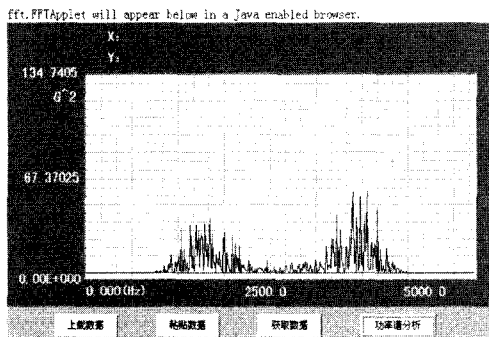


图5 客户端 FFT 分析的 Applet

4 结论

本文研究了适用于数控机床分布式网络监控的通用结构,数控机床加工过程网络监控系统的功能及其组成结构,并阐述了数控机床加工过程基于局域网和Internet的监控与诊断的实现方案。该系统的有效运行,可降低企业数据机床设备维护费用,提高机床设备利用率。

[参考文献]

[1] 黄湛,龙伟,黄吉力. 远程视频技术在网络数控加工监控中的应用[J]. 机械,2002(2):76-78.  
 [2] S. K. Choudhury, K. K. Kishore. Tool wear measurement in turning using force ratio. International Journal of Machine Tools & Manufacture[J]. 2000(6):899-909.  
 [3] 路勇,姚英学,董申. 基于客户/服务器模式的数控加工单元远程监控系统研究[J]. 计算机集成制造系统,2000(6):67-70.  
 [4] 周奇,师汉民. 基于Internet的数控设备远程故障诊断技术[J]. 机械设计与制造,2002(6).  
 [5] 王国锋,王子良,秦旭达,等. 基于Internet的数控机床远程故障诊断系统的研究[J]. 机械设计,2004,21(2):4-6.

(编辑 李秀敏)