

基于自适应模糊 PID 智能车用直流电机 控制器仿真研究

唐平江, 周永华

(广西大学 电气工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 以智能小车的电机控制系统为模型, 采用自适应模糊 PID 控制策略进行控制设计, 它克服了简单模糊控制和传统 PID 控制的一些缺点; 利用 MATLAB7.0 软件中的工具箱进行系统的辅助设计与仿真。仿真结果表明, 该系统的动态性能、稳态性能及抗扰性能都趋于良好。

关键词: 电机控制; 自适应模糊 PID; MATLAB; 仿真

中图分类号: TP29

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)14-0079-03

Computer simulation in intelligent vehicle' DC motor-control based on adaptive fuzzy PID

Tang Pingjiang, Zhou Yonghua

(College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: This article regards the intelligent vehicle's motor control system as a model, and adopts the auto-adaptation fuzzy PID control strategy to control and design. It has overcome some shortcomings of the simple fuzzy control and traditional PID control. Simulation of this system is performed using the MATLAB 7.0. The simulation results show that the dynamic function, stability and anti-interference performance of the system have tended to be good.

Key words: motor control; adaptive fuzzy PID; MATLAB; simulation

智能车是一种集环境感知、规划决策、自动行驶等功能于一体的综合系统, 具有时变且非线性特点。其中控制算法对智能车起着关键作用, 传统的 PID 控制难以得到很好的效果。采用自适应模糊 PID 控制算法可以使系统具有很好的动态响应性能, 并且可以对 PID 参数进行在线自调整, 提高了系统的适应性和鲁棒性, 改善了系统的稳态误差和效率, 并使其抗干扰能力明显提高。

1 自适应模糊 PID 控制器

自适应模糊 PID 控制器结构如图 1 所示, 自适应模糊 PID 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 ec , 利用模糊规则进行模糊推理, 查询

模糊矩阵表进行在线参数调整。本系统通过增量式旋转编码器对速度进行检测, 经过信号转换与单片机进行通信, 将输入给定信号 r 与反馈信号 y 进行比较得到误差信号 e 和误差变化率 ec , 并找出 PID 3 个参数与 e 和 ec 之间的模糊关系, 在运行中通过不断检测 e 和 ec , 根据模糊控制原理对 3 个参数进行在线修改, 以满足不同 e 和 ec 时对控制参数的不同要求, 使被控对象有良好的动、静态性能。

自适应模糊 PID 控制器以 e 和 ec 作为输入, 可以满足 e 和 ec 对 PID 参数自校正自调整的要求。从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等方面来考虑, k_p 、 k_i 、 k_d 的作用如下^[1]:

(1) 比例系数 k_p 的作用是加快系统的响应速度, 提高系统的调节精度。 k_p 越大, 系统的响应速度越快, 系统的调节精度越高, 但易产生超调, 甚至导致系统不稳定; k_p 取值过小, 则会降低调节精度, 使响应速度缓慢, 从而延长调节时间, 使系统静态、动态特性变坏。

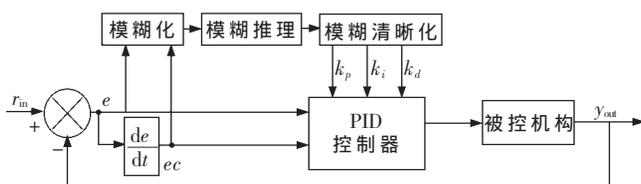


图 1 自适应模糊 PID 控制系统框图

技术与方法 Technique and Method

(2)积分作用系数 k_i 的作用是消除系统的稳态误差。 k_i 越大,系统的稳态误差消除越快,但 k_i 过大,在响应过程的初期会产生积分饱和现象,从而引起响应过程的较大超调;若 k_i 过小,将使系统稳态误差难以消除,影响系统的调节精度。

(3)微分作用系数 k_d 的作用是改善系统的动态特性,主要反应偏差信号的变化趋势,并能在偏差信号值变得太大之前,在系统引入一个有效的早期修正信号,从而加快系统的动作速度,减少调节时间。

根据上述整定原则将 k_p, k_i, k_d, ec, e 变化范围定义为模糊的论域: $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, 它们的隶属函数均选择为三角分布函数,如图2所示(横坐标表示 e/ec 的整数论域中的分布,纵坐标表示隶属度)。采用 Mamdani 模糊推理系统,清晰化法为重心法,则可以建立针对 k_p, k_i, k_d 3个参数的模糊规则表^[2],如表1、表2、表3

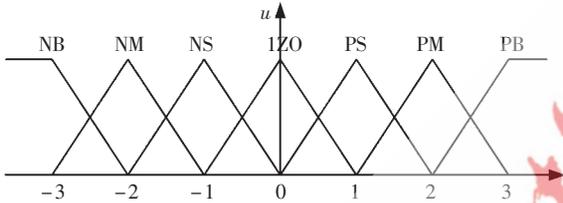


图2 输入 e/ec 和输出参数的三角分布函数曲线

表1 k_p 模糊规则表

$e/k_e \setminus ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	NS
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	PB	PB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表2 k_i 模糊规则表

$e/k_e \setminus ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZO
NM	NB	NB	NB	NS	NS	ZO	ZO
NS	NM	NM	NS	NS	NS	ZO	ZO
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	ZO	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表3 k_d 模糊规则表

$e/k_e \setminus ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO						
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

所示。在模糊规则表中 k_p, k_i, k_d, e, ec 均取7个模糊子集,其语言值分别为{正大,正中,正小,零,负小,负中,负大},用{PB,PM,PS,ZO,NS,NM,NB}表示。

2 智能车直流电机控制系统的数学模型^[3]

智能车直流电机驱动系统如图3所示。施加于电枢端的电压 u 产生电枢电流 i , i 与磁钢产生的磁通相互作用,产生的电磁转矩驱动 T_e 动负载。

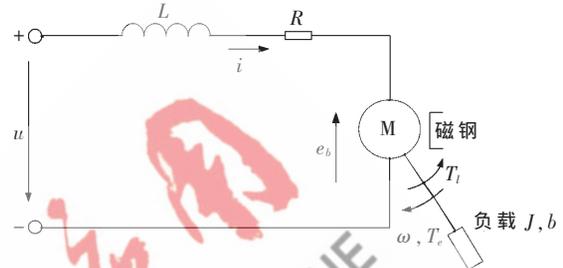


图3 智能车直流电动机驱动系统

在额定励磁条件下,直流电机的电压平衡关系为:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + e_b = u \quad (1)$$

式中, R 和 L 分别是电枢电阻和电枢电感, u 为电枢电压, i 为通过电机的连续电流。反电动势 e_b 正比于转速 ω , 即 $e_b = k_e \omega$, k_e 为反电动势系数。

直流电机的机械平衡关系为:

$$J \frac{d\omega}{dt} + b\omega = T_e - T_l \quad (2)$$

式中, J 是电动机和负载折合到电机轴上的转动惯量, b 是电机和负载折合到电机轴上的粘性摩擦系数, T_l 是折合到电机轴上的总负载转矩, ω 为直流电动机转速。电磁转矩正比于电枢电流, 即 $T_e = k_t i$, k_t 为转矩系数。

联立以上式子消去变量 i, e_b, T_e , 得到:

$$LJ \frac{d^2\omega}{dt^2} + (Lb + RJ) \frac{d\omega}{dt} + (Rb + k_t k_e) \omega = k_t u - L \frac{dT_l}{dt} - RT_l \quad (3)$$

电枢控制式直流电机采用公制单位, 转矩系数与电动势系数相等, 即 $k_t = k_e = k$ 。实际上, 在过渡过程中电磁转矩主要是用来克服惯性转矩, 可以假设 $T_l = 0$, 并且忽略粘性摩擦, 由式(3)可以得到以 ω 为输出量的电机微分方程:

$$LJ \frac{d^2\omega}{dt^2} + RJ \frac{d\omega}{dt} + k^2 \omega = ku \quad (4)$$

对式(4)取拉氏变换, 得到传递函数:

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{1}{k} \frac{1}{\frac{LJ}{k^2} s^2 + \frac{RJ}{k^2} s + 1} = \frac{1}{k} \frac{1}{\tau_e \tau_m s^2 + \tau_m s + 1} \quad (5)$$

式中, $\tau_e = \frac{L}{R}$ 为电枢回路电磁时间常数, $\tau_m = \frac{RJ}{k^2}$ 为电机系统的机电时间常数。

3 MATLAB 仿真

在 MATLAB7.0 数学分析软件命令窗口运行 Fuzzy 函数进入模糊逻辑编辑器, 选择控制器类型为 Mamdani 型, 建立 fuzzy logic controller 模块。再利用 Simulink 工具

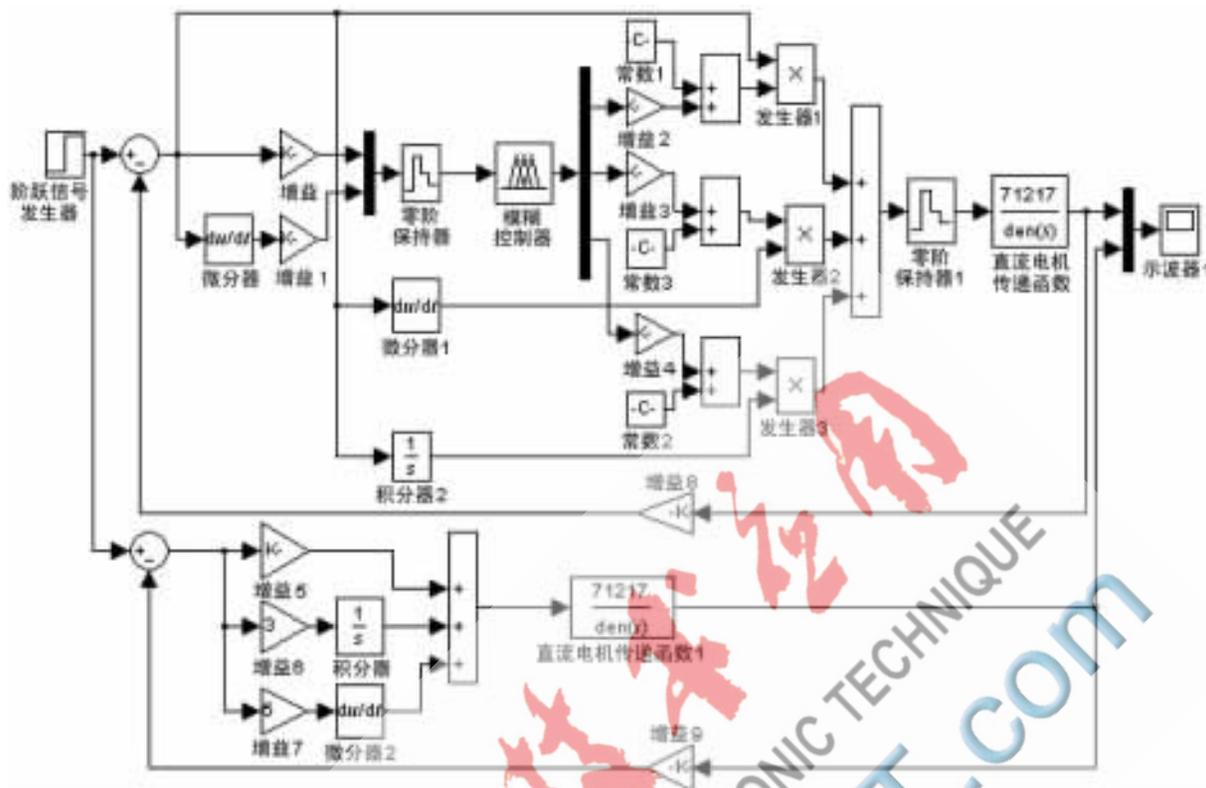


图4 MATLAB/Simulink 系统仿真结构图

箱,搭建自适应模糊 PID 控制系统的模型^[4],如图4所示。

根据直流电机的技术参数,确定被控对象的传递函数^[5]为: $G(s)=\frac{71\ 217}{s^2+476s+30}$,于是得到系统在自适应模糊 PID 和常规 PID 控制下单位阶跃信号的仿真结果,如图5所示。

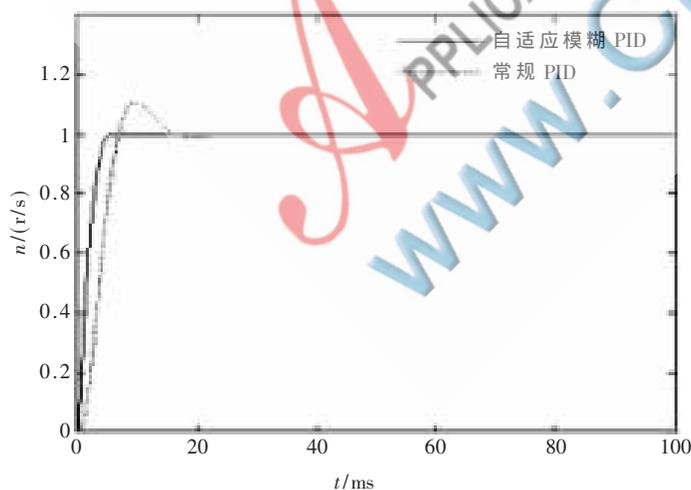


图5 系统阶跃响应的仿真曲线

以上仿真结果表明:

(1)自适应模糊 PID 控制系统的动态性能、稳态性能要比 PID 控制系统要好得多,既能有效减少振荡,又能较好地达到稳态。系统的鲁棒性、稳态精度高。

(2)控制器参数的变化对控制性能有如下影响:PID 参数 k_p 、 k_i 、 k_d 对系统影响很大,应合理选取这 3 个参数的论域以获得最佳的 PID 控制特性;模糊 PID 控制器的控制规则对该系统的参数影响较大,从而将直接影响系统的调节效果。

参考文献

- [1] 刘金琨.先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003:66-70.
- [2] 胡家耀,吴植翘,宋寿山.参数自调整 Fuzzy-PI 调节器[J].信息与控制,1987(06):26-33.
- [3] 彭登,徐建闽,王少猛.模型小车电机建模及其控制器的设计[J].微计算机信息,2010,26(4-1):24-25.
- [4] 贾东耀,曾智.基于模糊控制的直流电机调速系统 MATLAB 仿真[J].电机电器技术,2002,5:2-5.
- [5] 周儒勋,张泽龙,亓迎川.直流电机模型参数的直接辨识[J].计算机仿真,2006,23(06):113-115.

(收稿日期:2011-01-21)

作者简介:

唐平江,男,1985年生,在读硕士研究生,主要研究方向:智能信息处理。

周永华,男,1962年生,教授,主要研究方向:智能信息处理。