

自适应模糊 PID 控制器在电动助力转向系统中的应用

Application of fuzzy self-tuning PID controller in electric power steering system

周冬林, 黄菊花, 曾群

ZHOU Dong-lin, HUANG Ju-Hua, ZENG Qun

(南昌大学 机电工程学院, 南昌 330031)

摘要: 针对电动助力转向系统中被控参数具有非线性, 时变等特点, 提出一种模糊与 PID 结合的控制策略与方法, 此控制策略根据不同的工况在线整定 PID 系数, 发挥了模糊控制动态响应快和 PID 控制精度高的优点。通过 MATLAB 进行仿真, 与常规 PID 控制相比较, 仿真结果表明采用模糊 PID 控制策略, 系统的控制精度高, 超调小, 调整时间短, 适应性强, 满足 EPS 系统对动态和静态性能的要求。

关键词: 电动助力转向; 控制策略; 模糊控制; 仿真

中图分类号: TP273

文献标识码: B

文章编号: 1009-0134(2009)06-0072-03

0 引言

电动助力转向系统(简称 EPS)一般由机械转向系统加上转矩传感器、车速传感器、电子控制单元、减压器、电动机等组成,它在传统机械转向系统的基础上,根据方向盘上的转矩信号和汽车的车速信号,利用电子控制装置使电动机产生相应大小和方向的辅助动力,协助驾驶员进行转向操作。EPS 是一个复杂的非线性的时变系统,运行工况变化范围较广,其助力大小必须是实时可调与控制的,随着车速和转矩的变化,要满足转向轻便性与操纵稳定性的首要条件。

常规 PID 控制原理简单容易实现,稳态无静差,但常规的 PID 控制需要有精确的数学模型,针对非线性、参数时变的系统控制效果不佳。模糊控制不需要精确的数学模型,模糊控制的动态性能较好,但由于控制器的输入端仅有被控量的偏差和变化率,其稳态性能稍差,对非线性、参数时变系统有一定的适应能力。

1 自适应模糊 PID 控制器设计

1.1 目标电流的获取

众所周知在汽车低速停车时,驾驶员转向所需的手力大,此时所需提供的助力应很大。而高速行驶时

转向所需的手力小,所需助力也应较小。在同一转向盘的力矩输入下,电动机的目标电流随车速的增加而减小。目标电要满足以下特点:

- 1) 灵活变动助力力矩大小,即可以灵活改变助力电流。
- 2) 低速时或停车且扭矩大时,电流大,保证驾驶员驾驶轻便。
- 3) 高速且扭矩较小时,电流较小,以获得路感保证安全。例如当车速大于 60 Km/h 或转向盘输入力矩小于某一特定值时 T_0 时,目标电流基本为 0。

1.2 目标电流确立的模糊规则

以车速传感器和扭矩传感器所采集的车速 V 和扭矩 T 做为输入,目标电流作为输出,把此 3 个变量模糊化,隶属函数选择三角形函数,然后经过已经制定的模糊规则表,用重心法解模糊,就可以得到任何车速任意扭矩下理想的目标电流。

车速 V 范围从 0km/h~60km/h,模糊论域上的模糊子集为 $\{ZO, PS, PM, PB\}$, 扭矩传感器的扭矩 T 的范围 $0N \cdot m \sim 12N \cdot m$, 模糊论域上的模糊子集 $T = \{ZO, PS1, PS2, PM1, PM2, PB1, PB2\}$, 电流 I 的范围 $0A \sim 20A$, 模糊论域上的模糊子集 $I = \{ZO, PS1, PS2, PM1, PM2, PB1, PB2\}$ 。

控制规则如表 1 所示。

收稿日期: 2008-10-22

作者简介: 周冬林(1982 -)男, 硕士研究生, 主要研究方向为汽车电子工程。

表 1 目标电流规则表

v \ T	ZO	PS	PM	PB
ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PS1	PM1	PS2	PS1	PS1
PS2	PM1	PM1	PS2	PS1
PM1	PM2	PM1	PS2	PS1
PM2	PM2	PM2	PM1	PS1
PB1	PB1	PM2	PM1	PS1
PB2	PB2	PB1	PM1	PS1

1.3 模糊控制器结构

自适应模糊控制器以误差 e 和误差变化率 ec 作为输入, 根据模糊控制原理通过一定的推理原则获得模糊输出量 DK_p 、 DK_i 、 DK_d , 从而对 3 个参数进行在线修改, 以满足不同时刻 e 和 ec , 使被控对象有良好的动、静态特性。其结构如图 1 所示。

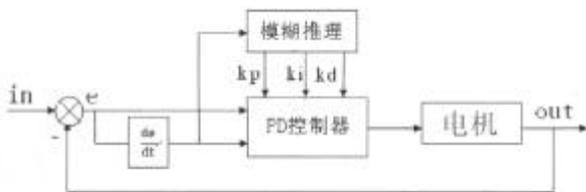


图 1 自适应模糊控制器结构图

1.4 语言变量的确定

在 EPS 系统中, 模糊 PID 控制器主要是以目标电流和实际电流之间的偏差 e 以及偏差的变化率 ec 作为输入, 以 PID 3 个系数作为输出。系统输入变量

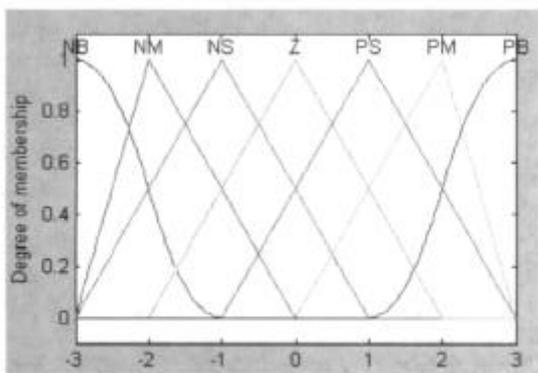


图 2 隶属函数图

误差 e 和误差变化率 ec 的变化范围定义为模糊集上的论域为 $[-21 \ 21]$, 模糊输出量 DK_p 、 DK_i 、 DK_d 的基本论域分别 $[-3 \ 3]$ $[-0.06 \ 0.06]$ $[-1 \ 1]$ 所有变量量化等级均为 $\{-3 \ -2 \ -1 \ 0 \ 1 \ 2 \ 3\}$, 其模糊子集为 $\{\text{负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}\}$, 量化因子 DK_p 、 DK_i 、 DK_d 分别为 0.14, 0.14, 1, 50, 3。系统的输入输出变量的隶属度函数均如图 2 所示。

1.5 PID 参数整定规则

常规的 PID 控制规律为：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad \text{控制器}$$

中, K_p 值的作用是加快系统的响应速度, 增大 K_p 能提高响应速度, 减小稳态误差; k_d 作用在于改变系统的动态特性, 能反映信号变化的趋势, 并能在偏差信号变化太大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快响应速度, 减少调整时间, 消除振荡。最终改变系统的动态性能。 K_i 的作用是消除系统的稳态误差。

在 EPS 系统中：

1) 电机刚开始助力时, 偏差 $|e|$ 很大, 无论 ec 如何, 都应采取最强的, 使误差绝对值以大速度减小, 加快系统响应速度, 为避免误差瞬间变大可能引起的微分和积分过饱和可以取较小的 K_i 与 k_d 。

2) 在稳定助力时, 当偏差 $|e|$ 处于中等大小时, 为使系统响应具有较小的超, 应取 K_p 小些, K_i 取值要适当, 在这种情况下, K_d 的取值对系统影响较大, 通常取较小的 k_d 以提高系统的稳态性能, 避免产生震荡, 能够提供稳定的助力。

3) 在助力调节后期, 偏差 $|e|$ 较小即接近于设定值, 为提高助力控制精度, 减小静差, 降低调节时间, 应该增大 K_p 和 K_i , 减小 K_d , 增强系统的抗干扰性。根据以上规则, 可以制定模糊规则表, 如表 2 所示。

1.6 解模糊

在进行模糊控制时, 将输入值按照上面的规则推算, 得到的是一个模糊集合, 但是受控系统需要给出一个确定的控制量, 因此需要对模糊结果进行解模糊, 解模糊常用的方法有重心法、高度法、面积法等。本系统采用重心法进行解模糊。

1.7 模糊自适应推过程

根据确定的隶属度函数, 得出各模糊子集的隶

表 2 模糊规则表

ec e \	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB NB PS	PB NB NS	PM NM NB	PMNM NB	PS NS NB	ZO ZO NM	ZO ZO PS
NM	PB NB PS	PB NB NS	PM NM NB	PS NS NM	PS NS NM	ZO ZO NS	NS ZO ZO
NS	PM NB ZO	PM NM NS	PM NS NM	PS NS NM	ZO ZO NS	NS PS NS	NS PS ZO
ZO	PMNM ZO	PM NM NS	PS NS NS	ZO ZO NS	NS PS NS	NMPM NS	NM PM ZO
PS	PS NM ZO	PS NS ZO	ZO ZO ZO	NS PS ZO	NS PS ZO	NM PMZO	NM PB ZO
PM	PS ZO PB	ZO ZO NS	NS PS PS	NM PS PS	NM PM PS	NM PB PS	NB PB PB
PB	ZO ZO PB	ZO ZO PM	NM PS PM	NMPMPM	NM PM PS	NB PB PS	NB PB PB

注：表中分别代表 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d

属度，根据各模糊子集的隶属度赋值表和各参数模糊控制模型，应用模糊合成推理设计PID承诺书的模糊矩阵表，查出修正参数带入下式进行计算：

$$\begin{cases} K_p = K'_p + \Delta K_p \\ K_i = K'_i + \Delta K_i \\ K_d = K'_d + \Delta K_d \end{cases}$$

在线运行过程中，控制系统通过对模糊逻辑规则的结果处理、查表和运算，完成对PID参数的在线自校正。

2 系统仿真及分析

2.1 系统仿真

在MATLAB6.5下，分别对用常规PID控制与用模糊PID控制的EPS系统，进行仿真分析，电机的数学模型为典型的二阶系统，系统的控制参数初

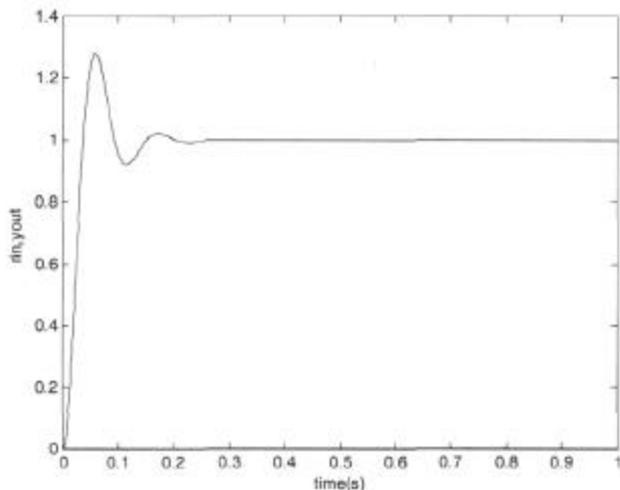


图 4 常规 PID

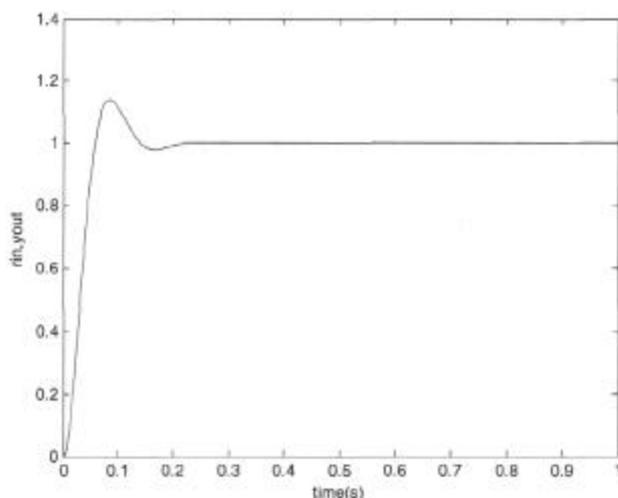


图 5 模糊 PID 仿真

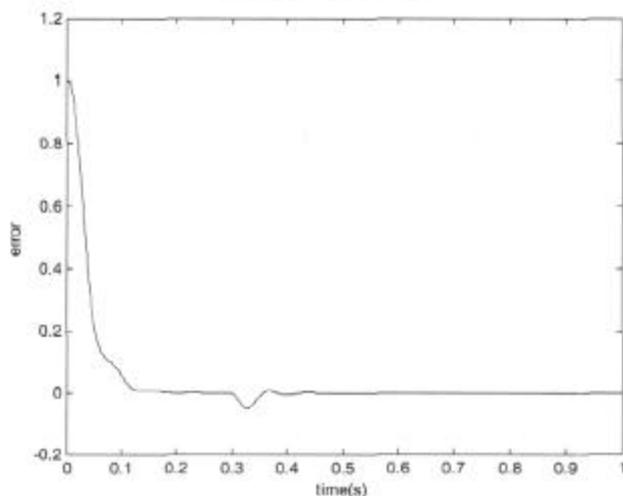


图 6 模糊 PID 控制误差响应

始值分别为 $K_p=5$ 、 $K_i=0$ 、 $K_d=1$ 。图 4 和图 5 分别为常规 PID 与模糊自适应 PID 控制系统响应曲线，图

6 为模糊PID 误差响应曲线。

2.2 分析

对比图4和图5两条曲线可以看出采用模糊PID 控制算法,系统的响应速度快,调节精度高,超调量减少,振荡次数也减小,具有较强的鲁棒性,明显地改善控制系统的动态性能,这些都是单一的PID 控制无法实现的,并且此算法计算量小,易于在EPS 系统中应用。

3 结束语

本文通过对EPS 系统对动态和静态性能要求较高的特点,运用模糊控制理论获得理想的助力电流,在采用电流闭环控制电机的基础上,在传统的PID 控制效果不佳的情况下,采用模糊PID 控制算法,充分利用模糊控制规则少动态响应快和PID 控制精度高的优势,在系统控制中可以发挥汽车在不同工况下,各

种干扰因素存在的条件下自动的对调整PID 参数寻优,从而达到更好的控制效果,提高了系统的性能。

参考文献:

- [1] 吴文江,季学武.电动转向控制系统跟踪性能研究[J].机械工程学报.2004(4):77-80.
- [2] 李鸿伟,李伟.汽车电动助力转向系统控制策略的研究[J].公路运输.2006(2):56-59.
- [3] 姚慧杰,高秀华,张小江.基于FUZZY 控制策略的汽车EPS 助力特性分析[J].机械设计与制造.2008(7):9-10.
- [4] 李士勇.模糊控制、神经控制和智能控制理论与应用[D].哈尔滨工业大学,1999.
- [5] 刘金琨.先进PID 控制MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [6] 刘英英,魏静敏,褚云凯.模糊自适应PID 在磁悬浮系统中的应用[J].微计算机信息.2008(07):54-56.
- [7] Ji-Hoon Kim,Jae-Bok Song.Control logic for an electric power steering system using assist motor[J].Mechatronics 12(2002): 447-459 .

【上接第39页】

留有一定空隙;主控电路的电源进线先进行共模滤波,然后再进行其它滤波。主控电路CPU的I/O 口线都用光电耦合器进行隔离,CPU 回路单独供电,并用DC/DC 电源模块进行隔离,以保证外部进来的干扰与CPU 回路最大限度的隔离。

信息显示器的机箱选择具备高导磁率、高导电率的铝合金壳体结构;机箱散热孔采用覆盖金属丝网、穿孔金属板的方法增加电磁屏蔽功能。机箱上的散热孔开成圆形小孔(圆孔比长孔屏蔽效果好)。

电源和接地方面:因为信息显示器工作在低频带时,遵循“一点接地”原则,以有效地克服地电位差的影响和公共阻抗引起的干扰,机箱面板及内部电路板都可靠接地,使静电放电电流有一个良好的接地通道,机箱上设计有专门的接地螺钉。考虑电源的防雷电等保护,在信息显示器电源输入端保险管后增加压敏电阻或TVS 管。

由于屏蔽线和一般电缆线相比,能提供较好的屏蔽效果,其中双绞屏蔽线的屏蔽效果略胜一筹。因此,信息显示器与车载工业以太网之间选用双绞屏蔽线。其中,屏蔽层根据传输信号频率的高低及有效性和可维护性等方面,选用单端接地或双端接地(高频段时)。

4 结论

根据地铁列车通信网络的发展需求,开发了基于

工业以太网的列车信息显示,该显示器已通过了EMC 试验和振动试验,以及与车载网络系统的联合调试。目前,该显示器已在国产化A 型地铁列车中装车试用,应用考核表明:该显示器能很好地完成对汉字和图形的静态显示及各种动态显示,且具有亮度高、无闪烁、逻辑控制简单等特点,通信接口方面也完全满足地铁列车车载工业以太网对终端设备的要求。

参考文献:

- [1] Stijn Verstichel, Sofie Van Hoecke,Matthias Strobbe,etc.Ontology-driven middleware for next-generation train backbones [J].Science of Computer Programming,2007,66(1):4-24.
- [2] Rodriguez-Morcillo,C.,Alexandres,S.,Mumoz Frias,J.D.Broadband system to increase bitrate in train communication networks[J].Computer Standards & Interfaces,2009,31(2), 261-271.
- [3] European trains run on Industrial Ethernet.<https://www.automation.com/content>.
- [4] 田晓声,郭其一.列车司机室显示器软件的设计与实现[J].液晶与显示,2008,28(4):50-53.
- [5] 胥军.基于交换式以太网的车间数字设备集成控制系统设计[J].制造业自动化,2008,30(8):66-68.
- [6] 贺德强,鄯萍,刘飞,等.网络化制造环境下车间层信息交互模型及实现技术.计算机集成制造系统CIMS.2004,10(5):514-518.
- [7] 贺德强,张锐锋,苗剑.铁路高速列车网络控制系统及其电磁兼容性研究[J].广西大学学报(自然科学版),2008,33(4): 251-255.