

模糊自整定PID控制器的设计及其应用

吴振顺, 姚建均, 岳东海

(哈尔滨工业大学 流体传动及控制研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:以液压伺服控制系统为研究对象,根据模糊控制理论,运用常规PID控制器的设计方法,设计出了模糊自整定PID控制器,实现了PID控制器参数在线自调整.仿真试验表明,该PID控制器与常规PID控制器相比较,提高了控制系统的适应能力和鲁棒性,改善了系统的静、动态性能.

关键词: 液压伺服系统;模糊控制;PID控制器

中图分类号: TP271.3

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2004)11-1578-03

A self-tuning fuzzy PID controller and its application

WU Zhen-shun, YAO Jian-jun, YUE Dong-hai

(Research Institute of Fluid Power Transmission and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The defects of the traditional PID controller are analysed. The design method of the Fuzzy PID controller based on self-tuning parameters and fuzzy control theory is discussed. By simulation and comparison with other ordinary PID controls, we conclude that the use of the method in a hydraulic servo system can greatly improve the robustness and the dynamic static and properties of the system.

Key words: hydraulic servo system; fuzzy control; PID controller

常规PID控制器是应用最基本、最广泛的一种控制器,它具有算法简单、稳定性、可靠性好等优点^[1~5].常规PID控制器的调节规律对相当多的控制对象,特别是对于线性定常系统是非常有效的,其调节过程的品质取决于PID控制器各个参数的整定.然而,传统的PID控制算法是在某一特定条件下整定完成的,因此当工况发生变化时,一组PID参数很难适应不同的工作条件,因此往往不能达到理想的设计性能^[6~9].本文基于参数自整定控制理论的PID控制器以误差 e 和误差率 de 作为输入,根据不同时刻的误差 e 和误差率 de 对PID参数进行在线自调整,具有较好的鲁棒性和较好的动静态性能.

1 常规PID控制器的设计

常规PID控制规则:设误差信号 $e(t)$ 为PID控制器的输入, $u(t)$ 为PID控制器输出,有

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]. \quad (1)$$

式中: K_p , T_I , T_D 分别为比例系数、积分时间常数和微分时间常数.

和微分时间常数.

利用差分方程对式(1)离散化,得

$$u(k) = K_p \{ e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=1}^k e(i) + \frac{T_D}{T} [e(k) - e(k-1)] \} = K_p e(k) + K_i \sum_{i=1}^k e(i) + K_d de(k).$$

式中: $K_i = K_p T / T_I$,积分系数; $K_d = K_p T_D / T$,微分系数; T 为采样周期, $de(k)$ 为误差率.

2 模糊自整定PID控制器的设计

利用模糊控制规则在线对PID参数进行修改,便构成了模糊自整定PID控制器,结构如图1所示.模糊控制器的工作过程可描述为:首先,将控制器的输入 e , de 模糊化;其次,模糊逻辑决策根据模糊控制规则,应用模糊逻辑推理算法得出控制器的模糊输出量;最后,经精确化得到的精确值即为PID控制器的3个参数.模糊控制器如图2所示.

模糊控制器的工作过程可分为3个过程:模糊化、模糊逻辑推理和精确化.本文以常见液压伺服系统为被控对象分别加以说明,模型为

$$G(s) = \frac{K\omega_h^2}{s(s^2 + 2\zeta_h\omega_h s + \omega_h^2)}.$$

式中: K 为开环增益; ζ_h 为液压阻尼比; ω_h 为液压固有频率.

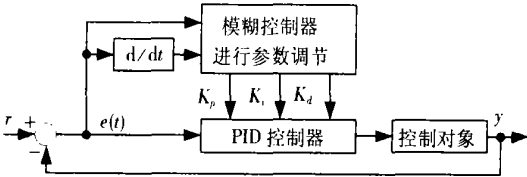


图 1 模糊自整定 PID 控制器系统结构图

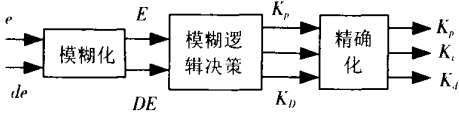


图 2 模糊控制器

2.1 模糊化

模糊控制器的输入量为误差 e 和误差率 de , 输出量为 PID 控制器的参数 K_p 、 K_i 及 K_d . 将系统误差 e 和误差率 de 变化范围定义为模糊集上的论域:

$$e, de = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\},$$

其模糊集为 $E, DE = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$, 它们分别代表负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大. 它们的隶属度函数如图 3、4 所示.

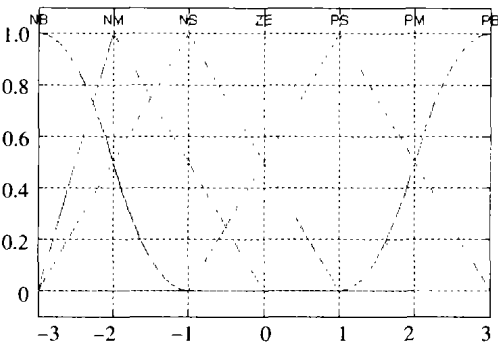


图 3 误差的隶属度函数图

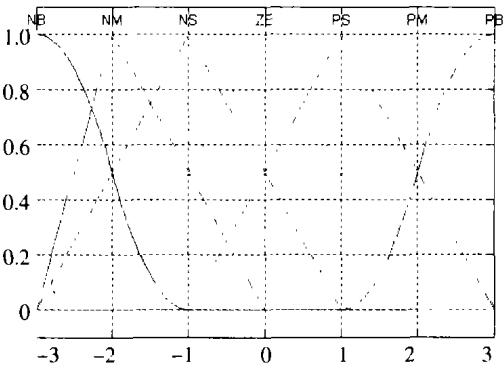


图 4 误差率的隶属度函数图

为了按照一定的模糊规则进行模糊推理, 这里还要事先确定 PID 控制器的参数的隶属度函数. 定义它们的模糊论域为

$$K_p = \{-0.33, -0.22, -0.11, 0, 0.11, 0.22, 0.33\}$$
$$K_i = \{-0.063, -0.042, -0.021, 0, 0.021, 0.042, 0.063\}$$

$$K_d = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}.$$

其模糊集为

$$K_p, K_i, K_d = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}.$$

2.2 模糊控制规则的建立

规则的建立根据专家的经验, 也可以通过多次仿真找出最佳的一组. 表 1~3 列出 PID 控制器三个参数的模糊规则表.

表 1 K_p 的模糊规则表

DE	E						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZE	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZE	NS	NS
ZE	PM	PM	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZE	ZE	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 K_i 的模糊规则表

DE	E						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZE	ZE
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	ZE	ZE	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB

表 3 K_d 的模糊规则表

DE	E						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PS	NS	PM	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZE
NS	ZE	NS	NM	NM	NS	NS	ZE
ZE	ZE	NS	NS	NS	NS	NS	ZE
PS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

2.3 精确化

精确化计算是把语言表达的模糊量回到精确的数值, 也就是根据输出模糊子集的隶属度计算输出的确定值. 首先得到某时刻的 e 和 de 值, 根据它们的隶属度函数曲线得到它们的隶属度; 再根据模糊控制规则表进行相应的推理计算, 得出 K_p 、 K_i 、 K_d 各语言值的对应隶属度; 最后用重心法进行精确化计算, 就可得出 K_p 、 K_i 、 K_d 的修正值, 代入下式即可得到 K_p 、 K_i 、 K_d 的精确调整值. 其调整如下式进行: $K_p = K_{p0} + Fuzzy(K_p)$, $K_i = K_{i0} + Fuzzy(K_i)$, $K_d = K_{d0} + Fuzzy(K_d)$. 式中: K_{p0} 、 K_{i0} 、 K_{d0} 表示常规 PID 控制器的参数.

由于重心法具有平滑的输出推理规则, 因此在这里采用重心法来确定模糊推理的最终输出值, 即取模糊隶属度函数曲线和横坐标围成面积的重心为模糊推理的最终输出值. 在线运行过程中, 控制系统通过对模糊规则的结果处理、查表和运算, 完成对 PID 参数的在线自调整.

3 模糊自整定 PID 和常规 PID 控制器的仿真比较

在仿真时,取液压阻尼比 $\zeta_h = 0.4268$,液压固有频率 $\omega_h = 102.32$,开环增益 $K = 50.01$. 则系统传递函数可描述为

$$G(s) = \frac{523573.69}{s(s^2 + 87.34s + 10469.38)}$$

再取常规 PID 控制器参数为 $K_{p0} = 0.52$, $K_{i0} = 0.01$, $K_{d0} = 1.01$.

3.1 采用两种控制算法的曲线比较

采用模糊自整定 PID 控制算法和常规 PID 控制算法的系统响应曲线比较如图 5 所示. 曲线 1、2 分别为常规 PID 控制器和模糊自整定 PID 控制器的系统响应曲线. 图 9 表示方法也一样. 从仿

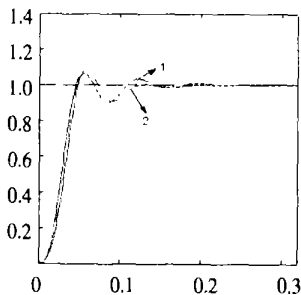


图 5 两种控制算法系统响应比较

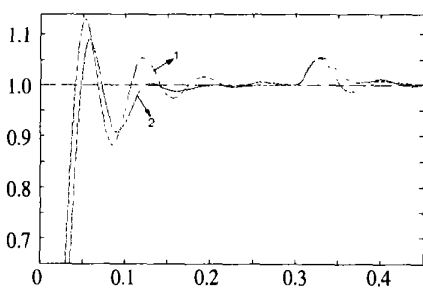


图 6 两种控制算法的抗干扰特性

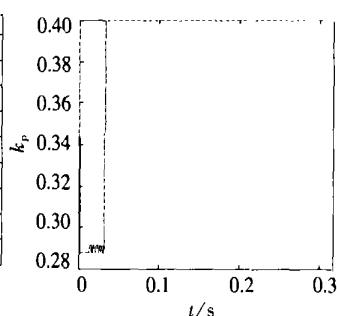


图 7 K_d 参数的调整图

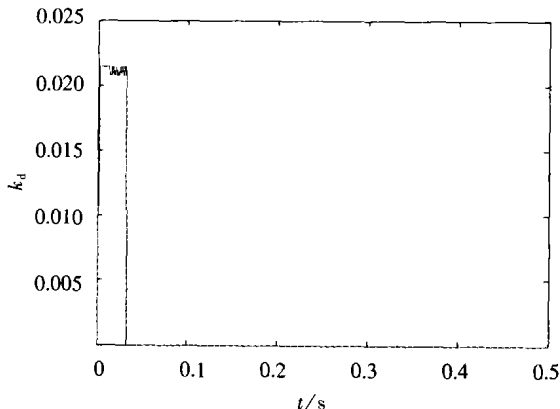


图 8 K_i 参数的调整图

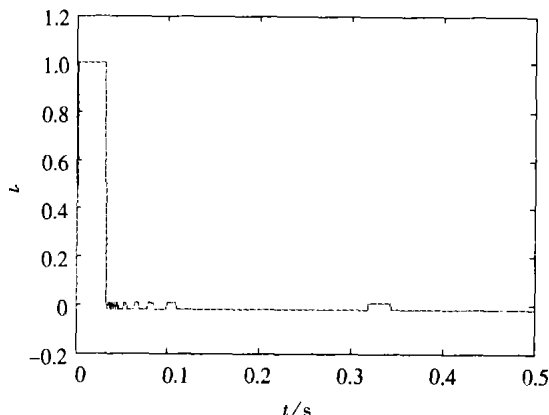


图 9 K_p 参数的调整图

真结果可以看出,模糊自整定 PID 控制器的参数调整较快. 从系统响应上看,其稳态响应过程比常规 PID 控制器快.

3.2 两种控制算法的抗干扰特性

当系统进入稳态工作点后,给系统加入一定量的扰动信号,此时两种控制算法的系统响应曲线如图 6 所示. 模糊自整定 PID 控制器的参数调整如图 7~9 所示. 从图 9 可知,加入干扰后对 K_d 参数的调整产生了影响,但随后就进入稳定自整定状态,而对参数 K_p 、 K_i 的整定基本没有影响. 通过比较可知,模糊自整定 PID 控制器能有效地抑制随机干扰,能及时对 PID 控制器的参数进行在线调整,并以比常规 PID 控制器更小的误差和更快的速度重新进入稳态工作点,它的抗干扰特性要优于常规 PID 控制器.

4 结 论

模糊自整定 PID 控制器具有方法简便、调整灵活、实用性强等特点. 仿真结果表明,模糊自整定 PID 控制器在线参数自整定能力强,对抑制干扰和噪声是有效的,能提高控制系统的品质,具有较强的自适应能力和较好的鲁棒性.

参考文献:

- [1]王积伟,吴振顺.控制工程基础[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [2]李洪人.液压控制系统[M].北京:国防工业出版社,1988.
- [3]韦 巍.智能控制技术[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [4]张国良.模糊控制及其 MATLAB 应用[M].西安:西安交通大学出版社,2002.
- [5]张化光,何希勤.模糊自适应控制理论及其应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [6]齐建玲,赵秀芬,褚 泽.一种自整定模糊 PID 型控制器的设计[J].华北航天工业学院学报,2001,11(4):25-31.
- [7]张 涛,李家启.基于参数自整定模糊 PID 控制器的设计与仿真[J].交通与计算机,2001(增刊):27-29.
- [8]姜 平,宋文忠.神经元自适应 PID 控制器的研究[J].工业仪表与自动化装置,1997,(4):11-13.
- [9]王积伟,陆一心,吴振顺.现代控制理论与工程[M].北京:高等教育出版社,2003.

(编辑 王小唯)