

模糊 PID 技术在轧机 AGC 系统上的应用^①

胡金梅

(辽宁省阜新市第一中等职业技术学校, 阜新 123000)

摘要: 常规 PID 控制在对象变化时, 控制器的参数不能自动修改适应, 无法很好地满足轧机厚度控制精度的要求. 针对这一问题, 设计了一种模糊自适应 PID 控制器, 利用模糊推理方法实现对 PID 参数在线自适应, 来实现 AGC 系统的稳定, 提高厚度控制系统的精度. 通过 simulink 仿真, 结果表明模糊自适应 PID 控制器自适应能力更强、响应快、稳定性好, 同时也有更强的鲁棒性, 能够使厚度控制得到满意的结果.

关键词: AGC; 模糊 PID 控制; 自适应; Matlab/Simulink

Application of Fuzzy PID in the AGC for Rolling

HU Jin-Mei

(Fuxin No.1 Secondary Vocational Technical Professional School, Fuxin 123000, China)

Abstract: Once the conventional PID control at the object changes, the parameters of the controller cannot be automatically adapted, and it cannot well meet the requirements of thickness control precision of cold rolling mill. According to the problem, a fuzzy adaption PID controller is designed, the fuzzy inference method is used to achieve the PID parameters online self-adaptive to realize AGC stability and the precision of gauge control system is enhance. The results of simulation indicate that fuzzy PID has a better adaptive capacity, faster response, and stronger robustness. It gives a good control performance to the thickness control.

Key words: AGC; fuzzy PID control; adaptive; Matlab/Simulink

由于轧机是一个有着干扰的多变量系统, 单纯 AGC 系统很难做到精确的控制, 而且反应速度慢和稳定性差. PID(比例, 积分, 微分)逻辑控制用于液压自动厚度控制(AGC)提高了控制精度, 但难以处理复杂的非线性控制系统, 它不能实时调整 PID 参数, 且响应速度不够快. 故本文将模糊控制与传统 PID 控制相结合, 对自动调节厚度进行有效控制, 提高了系统的自适应性、稳态性以及鲁棒性^[1-3].

1 厚度控制系统模型的建立

1.1 轧机液压自动厚度控制(AGC)原理

以某型轧机为例, 其 AGC 控制原理如图 1 所示. 经 1 测厚仪测得板厚 h 与 2 厚度运算器设定的厚度 h_c 相比较, 得到厚度差 e 输入到 3 厚度调节器, 再经由

4 伺服放大器, 5 伺服阀, 6 液压缸, 调节轧机系统, 并反馈厚度输出 h , 形成闭环控制, 从而实现厚度调节. 为保持轧机恒压, 液压内环用 7 压力传感器, 和 8 液压调节器控制.

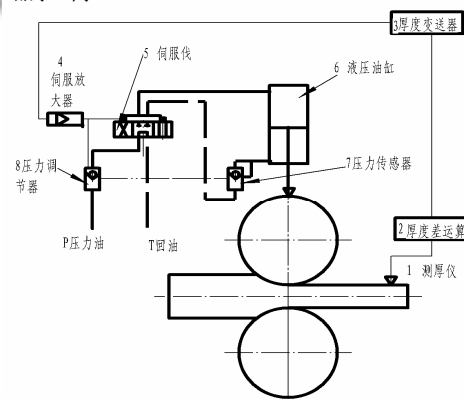


图 1 轧机液压自动厚度控制(AGC)原理图

① 收稿时间:2013-11-15;收到修改稿时间:2013-12-23

1.2 控制系统模型

在整个系统中，厚度调节器属于滞后系统，所以采用纯积分环节，液压调节器采用比例积分环节，伺服放大器响应速度很快，可不计时间常数，故可采用比例环节，压力传感器采用一阶滞后环节，测厚仪滞后环节的信号需要一定的时间处理，所以将对所检测的参数造成滞后，故采用一阶惯性环节来表示^[4]。经过优化处理后，得出了 AGC 系统方框图如图 2，其中， K_f —伺服放大器增益； W_{sv} —伺服阀等效固有频率； A_p —液压缸腔有效面积； K_{ce} —总流量压力系数； W_0 —

液压缸固有频率； K_s —位移传感器； K_i —PI 调节器积分系数； W —软管塑性刚度系数； K_{sv} —伺服阀流量增益； ζ_{sv} —伺服阀等效阻尼比； K —弹性负载综合刚度； W_r —惯性环节转折频率； ζ_0 —阻尼比； K_p —调节器比例系数； M —轧机纵向刚度模数； T_h —测厚仪时间常数。根据方框图得出厚度控制系统的传递函数为：

$$\Phi_h = \frac{M(T_h s + 1)H(s)\Phi(s)}{(M + W)(T_h s + 1) + MH(s)\Phi(s)e^{-\tau s}} \quad (1)$$

其中，为液压位置内环传递函数。

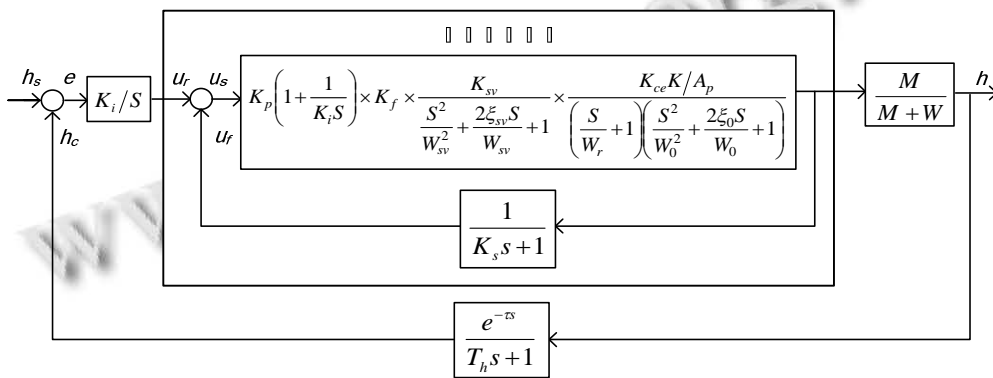


图 2 AGC 系统方框图

2 模糊自适应 PID 控制

2.1 控制器原理

模糊自适应 PID 控制器以偏差 e 和偏差变化率 ec 作为输入，找出 PID 三个参数与 e 和 ec 之间的模糊关系^[5]，在运行中通过不断检测 e 和 ec ，再根据模糊控制规则来对 3 个参数进行在线修改，便构成了自适应模糊 PID 控制器，如图 3 所示。

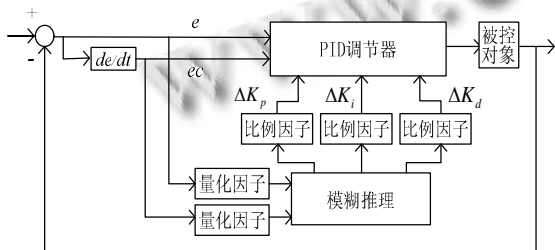


图 3 自适应模糊 PID 控制结构

实际应用时，将模糊 PID 控制器输入量通过量化因子 k_e 和 k_{ec} 调节后，化为模糊量供给模糊推理系统使用，根据控制规则，应用模糊推理算法和解模糊化过程，得出 PID 控制器的比例、积分和微分参数的变

化量，再将此量乘以比例因子，得到最终的 PID 参数变化量，通过和上一次的参数进行线性运算，最后实现模糊自适应 PID 控制。

2.2 模糊化

这里采用两输入(e, ec)和三输出($\Delta k_p, \Delta k_i, \Delta k_d$)的模糊控制器。将表 1 的变量值带入上述传递函数中，经计算，取输入(e, ec)的论域均为 $[-6,6]$ ，输出 Δk_p 的论域为 $[-3,3]$ ， Δk_i 的论域为 $[-1,1]$ ， Δk_d 的论域为 $[-0.5,0.5]$ ，设六者的模糊论域均为 $[-6,6]$ ，通过输出输入的论域转换公式 $k=2n/(b-a)$ ，式中 a 表示低限值， b 表示高限值， n 为模糊论域集， k 表示量化因子，得到量化因子 $k_e=1/10=0.1$ ， $k_{ec}=12/1=12$ ，比例因子 $k_p=6/3=2$ ，

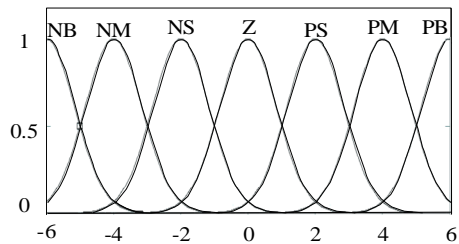


图 4 e, ec 的隶属函数

$k_i=1/10=0.1$, $k_d=6/10=0.6$. 设输入输出变量的模糊子集为负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(ZO)、正小(PS)、正中(PM)和正大(PB). 令输入变量 e 和 ec 的隶属度函数均为高斯型隶属函数, 如图 4 所示, 输出变量 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 的隶属度函数分布均为三角函数, 如图 5 所示.

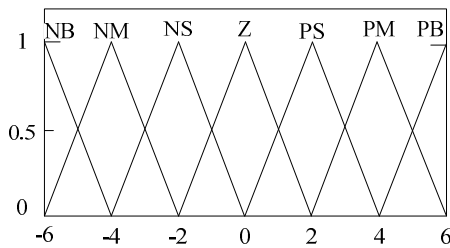


图 5 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 的隶属函数

2.3 模糊规则建立

规则库包含应用领域的知识和控制目标, 它由数据和模糊语言控制规则组成. 根据以往的经验来建立以下参数调整规则^[6-7]:

(1) 当系统进入调整前期, 被控量还未达到设定值, 当偏差 e 较大时, 为了加快响应速度, 并避免因开始时偏差 e 的瞬间变大, 可能引起微分过饱和, 而使控制作用超出许可范围, 因此应取较大的 k_p 和较小的 k_d , 同时为了防止积分饱和, 避免系统响应出现较大的超调, 此时应去掉积分作用, 取 $k_i=0$.

(2) 当系统进入调整阶段, 被控量已达到设定值, 偏差 e 和偏差变化率 ec 为中等大小, 为使系统响应的超调减少, k_p 、 k_i 、 k_d 都不能取大, 应取较小的 k_i 值, k_p 和 k_d 值的大小要适中, 以保证系统的响应速度.

(3) 当系统进入稳定阶段, 偏差 e 和偏差变化率 ec 都较小, 为使系统具有良好的稳态性能, 应增大 k_p 和 k_i 值, 同时避免系统在设定值附近出现振荡, 并考虑系统的抗干扰性能, 应适当地增大的 k_d 值.

根据上述原则, 参数自适应 PID 模糊控制建立模糊规则如表 1. 采用 Mamdani 的 max-min 的合成法的模糊推理方式对控制规则^[8-10]: if (e is a_i) and (ec is b_i) then (Δk_p is c_i) (Δk_i is d_i) (Δk_d is e_i) ($i=1, 2, \dots, 49$). 其模糊蕴含采用最小值法, 模糊合成采用最大值法, 将检测输入变量值变换成相应的论域. 通过模糊推理, 解模糊集得到的值乘以量化因子, 得到修正参数 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 实际的值, k_p^0 、 k_i^0 、 k_d^0 , 为 PID 控制器的初始参数, 新的控制参数:

$$\begin{aligned} k_p &= k_p^0 + \Delta k_p \\ k_i &= k_i^0 + \Delta k_i \\ k_d &= k_d^0 + \Delta k_d \end{aligned} \quad (2)$$

根据模糊控制规则表和 Mamdani 模糊推理方式, 得到模糊控制器的输出变量 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 的三维关系曲面, 分别如图 6、7 和 8 所示.

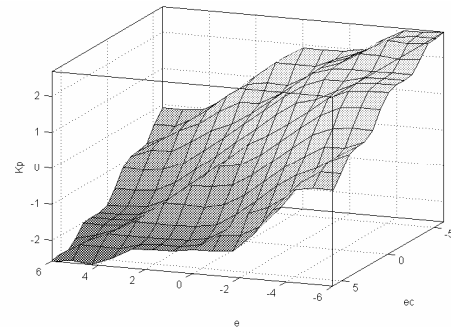


图 6 Δk_p 三维关系曲面

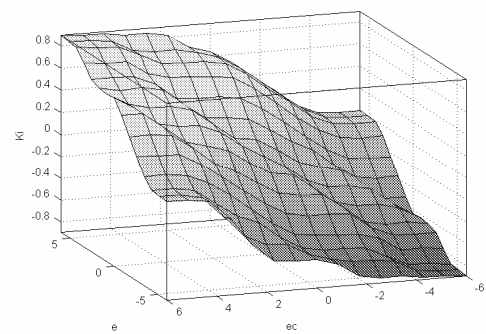


图 7 Δk_i 三维关系曲面

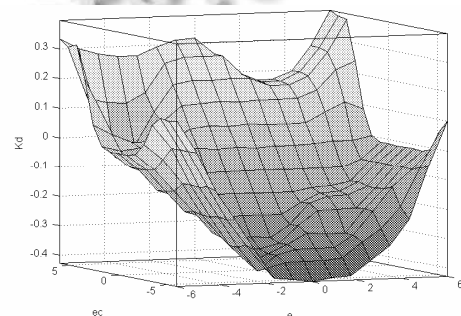


图 8 Δk_d 三维关系曲面

观察关系曲面的平滑性, 可以直观地判断模糊规则编写是否合理、隶属函数选取是否合理、是否有不适当的模糊运算, 从而对模糊规则和隶属函数进行及时调整, 以构造出性能较好的模糊控制器. 上述所示的关系曲面比较平滑, 说明模糊规则和隶属函数的选取比较合理.

表 1 模糊控制规则表

$\Delta k_p/\Delta k_i/\Delta k_d$	e						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PB/NM/NB	PM/NM/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
ec	ZO	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NS/PM/NS
PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	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	NM/PM/PM	NM/PM/PM	NB/PB/PS	NB/PB/PB

3 实验仿真及分析

采用 Z-N 算法设计 PID 控制器初始的参数, 开始只加比例校正, 系统先以低增益值工作, 然后增加增益, 直到闭环系统的衰减率达到约四分之一, 此时测量并记录比例增益值 $k_u=5.6$. 则得 PID 控制器的初始比例控制参数: $k_{p1}=0.6k_u$.

而为了得到更准确的参数, 根据改进的 Z-N 算法, 引入修正参数 λ , 使其为 $\lambda = k_c \cdot k_{p1}$, 其中 k_c 是系统的幅值裕量, 整理后, 得到修正后的 PID 控制器的初始参数为:

$$k_p' = \frac{5(12+\lambda)}{6(15+14\lambda)} = 4.1762,$$

$$k_i' = \frac{375(12+\lambda)}{6(15+14\lambda)(4\lambda+15)} = 0.1028,$$

$$k_d' = \frac{(4\lambda+15)}{900} = 0.0497.$$

再由这些初始参数, 结合系统传递函数与模糊 PID 控制器, 搭建厚度调节自适应模糊控制系统的 simulink 的仿真模型^[11-13], 如图 9 所示. 设置仿真时间为 2s, 仿真程序中的输入为单位阶跃信号. 为了更好的测试控制器的抗干扰能力, 分别在 1s 处加了一个单位脉冲干扰信号和斜坡干扰信号.

如图 10 至 13 所示, 分别常规 PID 控制系统的仿真曲线与模糊 PID 控制系统的仿真曲线. 可以看出, 模糊 PID 相对于常规 PID 在上升时间、超调量、稳定时间上都具有明显的优点. 并且在受到干扰作用时, 模糊 PID 相对于常规 PID 受到波动小, 稳定时间更短.

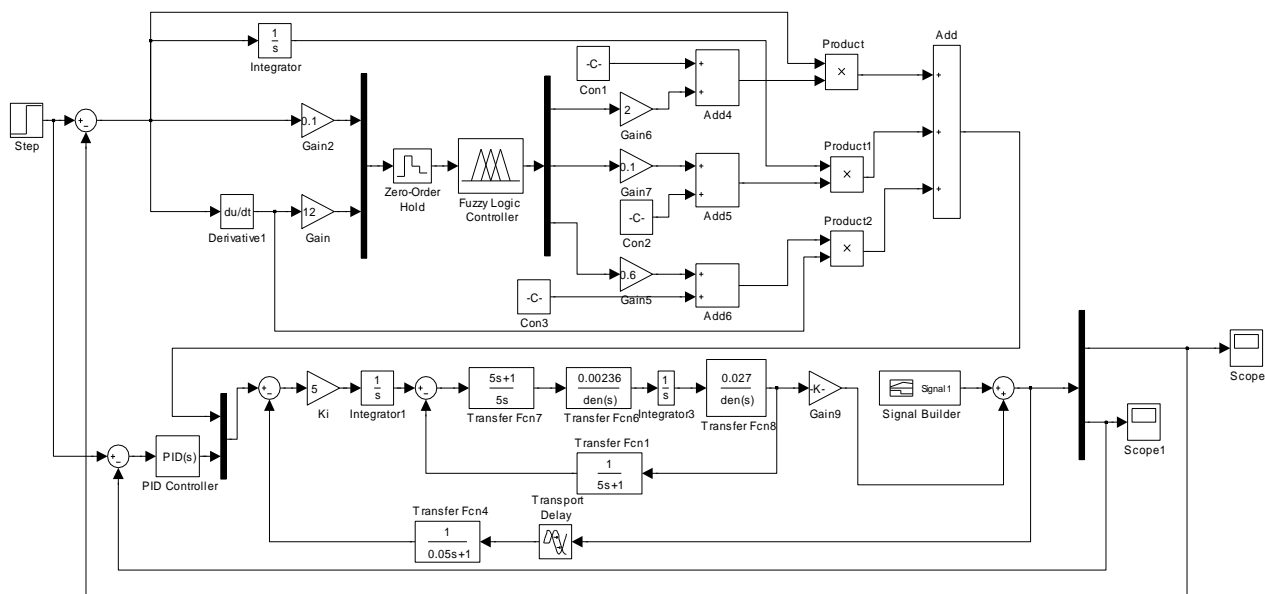


图 9 simulink 仿真模型

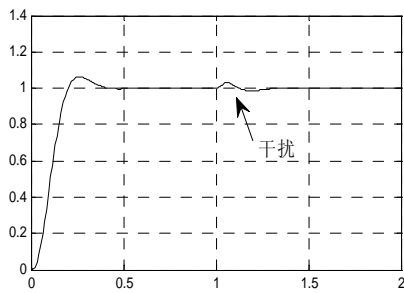


图 10 单位脉冲干扰下常规 PID 控制

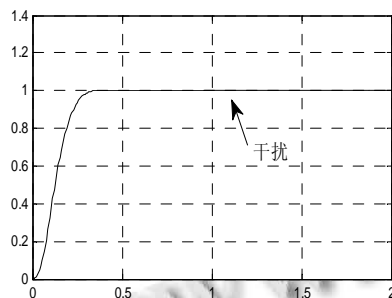


图 11 单位脉冲干扰下模糊 PID 控制

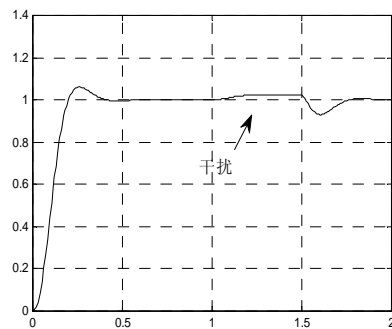


图 12 斜坡信号干扰下常规 PID 控制

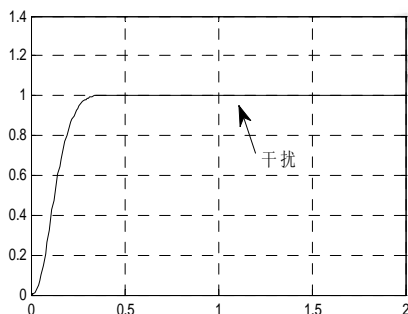


图 13 斜坡信号干扰下模糊 PID 控制

4 结论

本文通过对轧机的厚度控制系统的分析,建立了合理的数学模型,优化修正了 PID 控制器的参数,设计了模糊 PID 控制器.仿真结果表明,模糊自适应 PID 相对于常规 PID 控制系统效果较好,且模糊 PID 控制器避免了对该系统的控制出现的振荡现象.模糊 PID 控制器的鲁棒性、稳态精度方面具有明显的优势,更能满足高精度工况的要求.

参考文献

- 1 李迅,宋东球,喻寿益,桂卫华.高精度铝薄板带材可逆冷轧机厚度的协调控制策略.信息与控制,2009,38(4):444-448.
- 2 冯冬青,谢宋和.模糊智能控制.北京:化学工业出版社,1998.
- 3 杨安,欧阳奇.轧机液压 AGC 系统建模及仿真.机床与液压,2008,36(9):243-246,262.
- 4 田树军,胡全义,张宏.液压系统动态特性数字仿真.大连:大连理工大学出版社,2012.
- 5 张国良.模糊控制及其 MATLAB 应用.西安:西安交通大学出版社,2002.
- 6 檀甲友,谭冠军,王伟.电液比例压力阀的模糊-自适应模糊 PID 复合控制技术.现代制造工程,2010,32(9):118-121.
- 7 廖宗凡.模糊 PID 参数自整定技术及其在中央空调系统中的应用.PLC&FC,2006,24(10):131-138.
- 8 侯勇严,孙瑜,郭文强.一种自适应模糊 PID 控制器的仿真研究.陕西科技大学学报,2004,22(2):48-52.
- 9 黄明辉,熊欢欢,赵啸林,段俊,刘新良.模糊 PID 在液压机位置控制系统中的应用.控制工程,2011,18(1):15-21.
- 10 冯冬青,张希平,费敏锐.一种基于 MATLAB 的模糊控制器综合优化设计方法.系统仿真学报,2004,16(4):849-852.
- 11 李付举.PID 参数自整定模糊控制器的应用.辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2011,30(S1):190-192.
- 12 吴俊杰,武立军.几种模糊控制算法的 MATLAB 仿真.辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2003,22(2):278-280.
- 13 殷云华,陈闯鄂,郑宾,李彬.基于 Matlab 的模糊控制器设计及仿真.控制工程,2007,14(5):488-490.