



大时滞过程的 M-FPID 控制系统仿真研究

刘海舰, 杨世凤, 薛 薇
(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

摘要: 提出一种基于模态分析的模糊 PID 控制器 (即 M-FPID)。通过对偏差、偏差变化率、二阶偏差变化率等组成的特性空间的分析, 针对大时滞过程提出了一套控制模态集, 对大时滞过程进行 M-FPID 控制, 并对该控制系统进行了仿真研究。仿真结果表明, M-FPID 控制对大时滞过程具有较好的控制效果。

关键词: 大时滞过程; M-FPID; 特征空间; 控制模态

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6510 (2008) 02-0069-04

Simulation Learning of the M-FPID Control System for Processes with Large Time Delay

LIU Hai-jian, YANG Shi-feng, XUE Wei

(College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology,
Tianjin 300222, China)

Abstract: A fuzzy controller in model reference named M-FPID was presented. A set of control models was built to control the process with large time delay through the characteristics space analysis which is made up of the deviation, the deviation change and the second deviation change. Some simulations of PID controller were also carried out. The control results show that the M-FPID controller has a better control result for processes with large time delay.

Keywords: processes with large time delay; M-FPID; the characteristic space; control models

长期以来, PID 控制器被广泛应用于工业控制过程中, 并取得了良好的控制效果。由于工业被控对象具有延时、滞后或随机干扰等各种不确定性, 常规的 PID 控制不能够实现在线自整定参数。

在实际工业生产中, 尤其在轻化工、石油以及污水处理等领域有许多控制对象具有较大的时滞性。通常, 当滞后时间达到了被控对象时间常数的 0.5 倍及其以上时, 或控制对象的时间常数较大时, 被控制对象被称为大时滞过程控制对象。采用传统的 PID 控制器, 对大时滞过程不能获得很好的控制品质, 而采用 Smith 预估补偿控制也有不足之处: 一是系统的结构较复杂; 二是预估补偿的模型一定要与实际被控对象的模型严格匹配, 否则也达不到好的控制品质^[1-6]。

本文针对工业控制中的大时滞过程, 提出一种基

于模态分析的模糊 PID 控制器 (即 M-FPID), 应用模糊推理的方法实现 PID 参数在线自整定, 对大时滞过程进行模糊控制, 并对控制器进行了仿真分析。

1 M-FPID 控制系统结构和参数整定原则

1.1 模糊控制系统结构

对典型的大时滞控制对象和有、无自平衡的多阶控制对象进行分析, 对象中的时间常数较大或滞后时间为时间常数的 1/2 以上, 具有较大的时滞性。以此为研究对象, 设计的 PID 控制器采用模糊推理的方法, 可以在 e 、 e' 和 e'' 组成的特性空间, 对 PID 参数 K_P 、 K_I 、 K_D 进行整定。以典型二阶无自平衡控制对象为例, 模糊控制系统结构如图 1 所示。

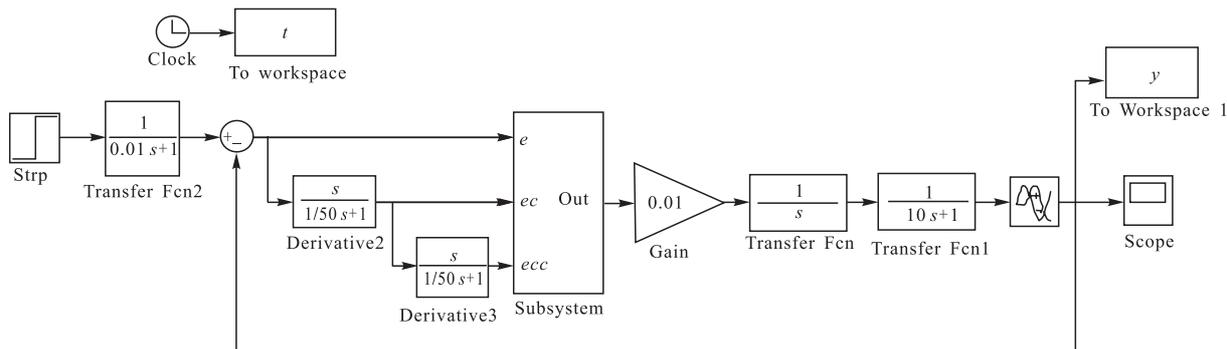


图 1 二阶无自平衡对象的系统框图
Fig. 1 Block diagram of unself-poise object

1.2 设定参数整定原则

常规 PID 控制器的控制作用可以用下面的控制算式来描述:

$$u(k) = K_P [e(k) + \frac{T}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + T_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T}] = K_{Pe}(k) + K_I \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + K_D ec(k)$$

M-FPID 控制是通过由 e 、 e' 和 e'' 组成的特性空间进行分析, 在不同的模态区间对参数 K_P 、 K_I 、 K_D 进行自整定. M-FPID 的特征空间由 e 、 e' 和 e'' 组成, 可组合成 8 种共 4 组基本的特征模式^[1]:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{11} \cup M_{12} = \{e > 0 \cap e' > 0 \cap e'' > 0\} \cup \{e \leq 0 \cap e' \leq 0 \cap e'' \leq 0\} \\ M_2 &= M_{21} \cup M_{22} = \{e > 0 \cap e' > 0 \cap e'' < 0\} \cup \{e \leq 0 \cap e' \leq 0 \cap e'' > 0\} \\ M_3 &= M_{31} \cup M_{32} = \{e > 0 \cap e' < 0 \cap e'' > 0\} \cup \{e \leq 0 \cap e' > 0 \cap e'' < 0\} \\ M_4 &= M_{41} \cup M_{42} = \{e < 0 \cap e' > 0 \cap e'' > 0\} \cup \{e \geq 0 \cap e' \leq 0 \cap e'' \leq 0\} \end{aligned}$$

4 种特征模式分别与图 2 所示的运动轨迹对应.

图 2 (a) 中点 n 将远离坐标系, 此时控制器应予以最强的加速控制, 控制模态同时包含比例和微分作用, 不宜加入积分, 积分作用的加入将极大的降低系统稳定性, 取 $K_I=0$.

图 2 (b) 中点 n 将远离坐标原点, 但由于 $e'' < 0$, 使得 e' 变小并趋向于 0, 增大到某一数值后将不再增大, 此时采用单一的比例控制为宜, 应取较大的 K_P .

图 2 (c) 中点 n 很明显地向坐标原点靠近, 系统趋于稳定, 此时应以积分作用为主导以利于消除余差, 应取较大的 K_I . 考虑到 n 可能离原点较远, 适当加入比例作用可提高系统相应的快速性, 则选取的 K_P 数值要适中.

图 2 (d) 中点 n 靠近坐标原点, 但 $e' < 0$ 使得 e

变小且趋向于 0, 控制模态采用较弱的比例控制, 取较小的 K_P . 由于 $e'' < 0$ 使得 e' 将进一步下降, 模态中也须加入适当的微分作用, 选取较适当的 K_D 值, 以降低系统的震荡.

针对不同的特征模式, 控制器必须设计相应的控制模态. 根据特征参数 e 、 e' 和 e'' 分析控制点的运动方式, 对参数 K_P 、 K_I 、 K_D 进行整定, 产生决策信号, 实现各模态间的调度.

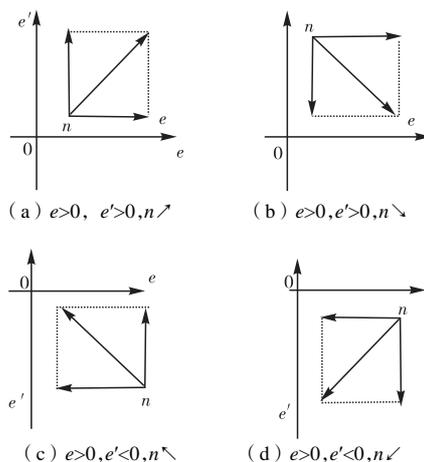


图 2 平面运动轨迹示意图
Fig. 2 Sketch map of plane trajectory

2 M-FPID 控制器设计

二维模糊控制器的两个输入变量为误差 e 和误差的变化 ec , 输出量为一个, 即控制量 u .

2.1 模糊控制器的论域和量化因子的选择

首先选择模糊控制器的输入变量误差、误差变化的实际范围, 即基本论域 $(-x_e, x_e)$, $(-x_c, x_c)$. 控制量的基本论域是 $(-y_u, y_u)$.

进行模糊化处理时, 须将输入变量从基本论域转换到相应模糊集的论域^[5]. 这中间需将输入变量乘以相应的量化因子. 量化因子用 K 表示, $K_e = n/x_e$,

$K_c=m/x_c$ (n, m 为误差及误差变化的模糊子集的论域边界值)。

2.2 各参数隶属函数的确定

设模糊控制器的语言变量的论域为

$$|e|: X=\{0, X_1, X_2, X_3\}$$

$$|ec|: Y=\{0, Y_1, Y_2, Y_3\}$$

$$K_P: Z_P=\{0, Z_{P1}, Z_{P2}, Z_{P3}\}$$

$$K_I: Z_I=\{0, Z_{I1}, Z_{I2}, Z_{I3}\}$$

$$K_D: Z_D=\{0, Z_{D1}, Z_{D2}, Z_{D3}\}$$

在各语言变量论域中,输入变量 $|e|$ 和 $|ec|$ 的论域取语言值“大”、“中”、“小”、“零”4种,用符号表示分别为“B”、“M”、“S”、“Z”;输出语言 K_P, K_I, K_D 的论域也用相同方法表示.图3给出了隶属函数.

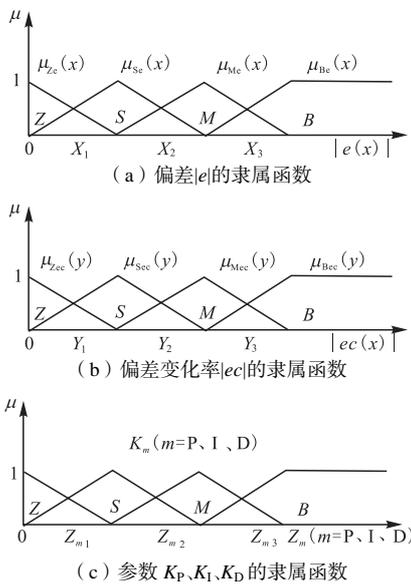


图3 输入变量的隶属函数
Fig.3 The function of the input variables

2.3 建立控制规则表

由图1模糊控制系统结构可见,此模糊器是以 $|e|, |ec|$ 和 $|ecc|$ 作为输入语言变量,以 K_P, K_I, K_D 作为整定系数, U 作为输出变量的三输入单输出的模糊控制器,其控制规则就是对参数 K_P, K_I, K_D 的调节规则.根据上述的基于模态的特征空间的参数整定原则以及专家的经验,可列表表1—表3所示的参数调节规则.

表1 K_P 值调节规则表

Tab.1 Rules regulating table of K_P

ec	e			
	Z	S	M	B
Z	Z	B	M	B
S	B	B	M	B
M	B	B	M	B
B	M	M	S	M

表2 K_I 值调节规则表

Tab.2 Rules regulating table of K_I

ec	e			
	Z	S	M	B
Z	B	B	Z	Z
S	B	B	Z	Z
M	B	B	S	Z
B	B	M	S	Z

表3 K_D 值调节规则表

Tab.3 Rules regulating table of K_D

ec	e			
	Z	S	M	B
Z	Z	S	B	B
S	S	S	B	B
M	Z	S	M	M
B	Z	Z	M	S

2.4 模糊推理和模糊运算

由模糊控制规则可知,以上参数调节规则表可写成条件语句形式.例如,对于表1的调节规则可以写成如下16条模糊条件语句:

- (1) if $|e| = Z$ and $|ec| = Z$ then $K_P = Z$;
- (2) if $|e| = S$ and $|ec| = Z$ then $K_P = B$;
- (3) if $|e| = M$ and $|ec| = Z$ then $K_P = M$;
-

那么对于第一条语句规则的隶属度计算为

$$\mu_{K_P1}(Z_P) = \mu_{ZK_P}(Z_P) = \mu_{Ze}(x) \wedge \mu_{Zec}(y)$$

第二条语句规则的隶属度计算为

$$\mu_{K_P2}(Z_P) = \mu_{SK_P}(Z_P) = \mu_{Se}(x) \wedge \mu_{Zec}(y)$$

第三条语句规则的隶属度计算为

$$\mu_{K_P3}(Z_P) = \mu_{MK_P}(Z_P) = \mu_{Me}(x) \wedge \mu_{Zec}(y)$$

.....

依次类推,可以求得 K_P 在不同的偏差 $|e|$ 和偏差的变化率 $|ec|$ 条件下的所有模糊取值的隶属度.

3 仿真结果及分析

设定控制对象的传递函数为二阶传递函数,并由无自平衡对象和 T, τ 等参数的变化分为多种.以 T 和 τ 均较大,即时滞程度较深的仿真对象为例,更具代表性.设无自平衡控制对象为 $G_0(s) = \frac{e^{-\tau s}}{s \cdot (TS + 1)}$,选取 T 远大于1, τ 接近或大于0.5,为较强程度的大时滞过程,以阶跃信号为输入的部分控制系统仿真曲线如图4所示.

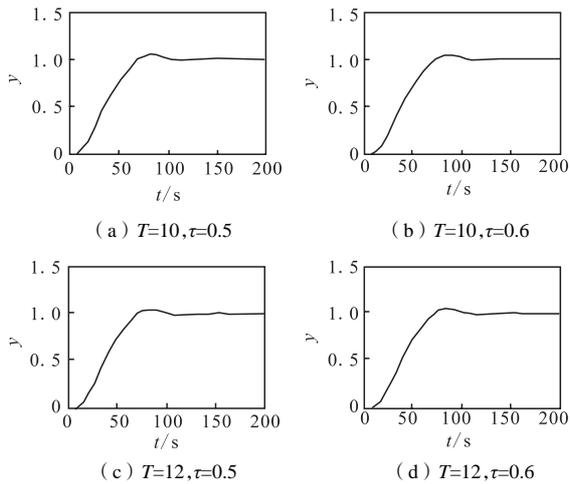


图4 M-FPID仿真曲线
Fig. 4 Simulation Curve for M-FPID

通过仿真结果可以看出, M-FPID 控制器应用在较强程度的大时滞过程时变对象时, 过渡过程仍然快速平稳, 超调较小, 无余差, 具有较好的暂态响应和稳态响应性能. 该控制器对被控对象的参数不敏感, 具有较好的鲁棒性. 当控制对象参数在较大范围内变化时, 仿真曲线仍然保持较好的过渡过程, 这表明, M-FPID 控制具有较好的控制效果.

4 结 语

本文提出的 M-FPID 控制器, 通过分析 e 、 e' 和 e''

组成的特征空间, 应用模糊推理过程, 对参数 K_P 、 K_I 、 K_D 进行整定, 产生决策信号, 实现各模态间的调度, 降低了控制算法对被控对象模型的依赖, 达到了较好的控制效果.

另外, 本文提出的大时滞过程 M-FPID 控制系统具有结构简单, 易于实现的特点. 目前, M-FPID 控制器在大时滞时变系统中的应用是非常适宜的, 具有较好的应用前景.

参 考 文 献:

- [1] 周泽魁, 张光新. 啤酒发酵 M-PID 控制 [J]. 仪器仪表学报, 1999, 20 (1): 87—89.
- [2] 王 鸣. 基于模糊控制理论的一种 PID 参数自整定控制器的设计与仿真 [J]. 自动化与仪器仪表, 2000 (1): 14—17.
- [3] Germani A. A new approach to state observation of nonlinear systems with delayed output [J]. IEEE Trans Automatic Control, 2002, 47 (1): 96—101.
- [4] 宋云霞, 朱学峰. 大时滞过程控制方法及应用 [J]. 化工自动化及仪表, 2001, 28 (4): 9—15.
- [5] 李士勇. 模糊控制、神经网络控制和智能控制论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- [6] 张 平, 苑明哲, 王 宏. 大时滞系统自适应模糊 Smith 控制 [J]. 计算机仿真, 2006, 23 (9): 87—90.

(上接第 54 页)

应当指出, 虽然分析中取壁面波纹的波幅相对于液膜厚度为小量, 但实际上, 当此二者达到相当接近的程度时, 这里的模型仍然适用.

参 考 文 献:

- [1] 腊 栋. 带扩展面的竖壁降膜蒸发机理研究 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [2] Ataki A. Wetting of structured packing elements-CFD and experiment [D]. Kaiserslautern, Germany: Technical University of Kaiserslautern, 2006.
- [3] Bontozoglou V, Papapolymerou G. Laminar film flow down a wavy incline [J]. Int J Multiphase Flow, 1997, 23 (1): 69—79.
- [4] 陈亚平, 周强泰, 施明恒. 竖直波纹板表面凝结过程的强化传热研究 [J]. 工程热物理学报, 2002, 23 (增刊): 81—84.
- [5] Wang S C, Chen C K, Yang Y T. Film condensation on a finite-size horizontal wavy plate bounded by a homogeneous porous layer [J]. Applied Thermal Engineering, 2005, 25: 577—590.
- [6] 赵镇南, 郝 睿. 管内与波纹板通道内冷凝传热和降压关联式 [J]. 石油化工设备, 2004, 33 (3): 51—55.
- [7] 徐 波, 冯殿义. 横向波纹管强化传热研究与应用 [J]. 上海理工大学学报, 2004, 26 (3): 239—242.
- [8] Sinici N, Dini S. Heat transfer characteristics in a wavy-walled channel [J]. ASME J Heat Transfer, 1993, 115: 788—792.