

文章编号:1007-6492(2001)03-0025-03

PID 控制的参数模糊自整定方法

师 黎, 丁 海

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 针对一般 PID 控制算法在线调整 PID 的三个参数难度较大的问题, 研究了 PID 控制的参数模糊自整定方法, 即根据偏差和偏差变化率与 PID 三个参数的模糊关系, 进行参数模糊自整定. 该方法具有通用性和适应性强, 参数容易整定, 控制效果好等特点. 并应用在 WK-1 型温度控制系统上, 进行了实时控制实验, 取得了很好的控制效果.

关键词: PID 控制; 参数整定; 模糊控制

中图分类号: TP 13 **文献标识码:** A

0 引言

PID 控制是工业控制中应用最广泛, 也是最成熟的控制算法. PID 参数整定的情况直接影响控制效果的好坏. 参数整定的实质就是用控制器的特性去校正对象的特性, 使整个控制系统特征方程的根全部落入根平面的某一范围内, 从而满足对稳定性、快速性和准确性的要求. 而实际中许多被控对象的模型随时间或生产工艺状况的不同会发生变化, 这就会造成系统控制质量下降甚至不稳定^[1]. 要保证控制质量保持不变, 就需要及时在线调整 PID 的三个参数.

针对一般的 PID 控制算法在线调整 PID 参数难度较大的缺点, 研究 PID 控制的参数模糊自整定方法是非常有实际意义的.

1 控制原理

PID 控制的参数模糊自整定方法的基本思想是: 根据偏差 e 和偏差变化率 ec 与 PID 的三个参数的模糊关系, 制定模糊规则库. 在实际运行中, 不断检测 e 和 ec , 进行模糊推理, 激活相应规则, 然后解模糊, 输出控制量. 具体实现分五步^[2]:

1.1 计算偏差 e 和偏差变化率 ec

根据实时检测的被控量 $y[m]$, 计算偏差 e 和偏差变化率 ec .

$$e = r - y[m],$$

$$ec = |e[m] - e[m-1]|.$$

1.2 偏差 e 与偏差变化率 ec 模糊化

偏差 e 的隶属函数如表 1 所示. 偏差变化率 ec 的隶属函数如表 2 所示.

表 1 偏差的论域划分及隶属度

Table 1 The range division of the error and the belonging degree

偏差 e	zd	zz	zx
$(y[0], r-3x)$	1.0	0.0	0.0
$(r-3x, r-2x)$	$(e[m]-2x)/x$	$(3x-e[m])/x$	0.0
$(r-2x, r-x)$	0.0	$(e[m]-x)/x$	$(2x-e[m])/x$
$(r-x, r)$	0.0	0.0	1.0

说明: $y[0]$ 为被控制量的初值; r 为被控制量的设定值; $x = (r - y[0])/4$.

1.3 模糊规则库及模糊推理

统响应), 且使 T_i 很大(避免出现较大的超调).

1.3.1 模糊规则库

规则一: 当 e 较大时, 应取较大的 K_p (加快系

规则二: 当 e 中等, ec 较大时, 应取较大的 K_p 和较小的 T_d .

收稿日期: 2001-03-01; 修订日期: 2001-04-09

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(984061200)

作者简介: 师 黎(1964-), 女, 河南省尉氏县人, 郑州大学副教授, 硕士, 主要从事计算机控制系统及控制算法方面的研究.

规则三:当 e 中等, ec 中等时,应取较小的 K_p (减少超调)和较小的 T_d 。

规则四:当 e 中等, ec 较小时,应取较小的 K_p (加快系统响应)和适当的 T_d 。

规则五:当 e 较小时,应取较大的 K_p 和 T_i (加快系统响应), T_d 取值要适当,以避免在平衡点附近出现振荡。

表 2 偏差变化率 ec 的隶属函数Table 2 The belonging function of the rate of the error ec

ec	f_{xc}	f_{ac}	f_{dc}
$[0, Y)$	1.0	0.0	0.0
$[Y, 2Y)$	$(2Y - ec)/Y$	$(ec - Y)/Y$	0.0
$[2Y, 3Y)$	0.0	$(3Y - ec)/Y$	$(ec - 2Y)/Y$
$[3, +\infty)$	0.0	0.0	1.0

说明: $ec = |e[m] - e[m-1]|$, $Y = 0.01 * r$ 。

1.3.2 模糊推理

令 $(A \rightarrow B) = A \wedge B$, 则推理结论 B' 的隶属函数为

$$\mu_{B'} = \bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge [\mu_{A(x)} \wedge \mu_B(x)] \} =$$

$$\bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_{A(x)} \wedge \mu_B(x) \} = \alpha \wedge \mu_B(x).$$

式中: $\alpha = \bigvee_x \{ \mu_{A'}(x) \wedge \mu_{A(x)} \}$ 为适配程度。

结论 B' 可用此适配程度 α 与模糊集合进行模糊“与”,即取极小值运算。在图形上就是用 α 作基准去切割 B , 这就是玛达尼推理方法, 又称削顶法。

利用玛达尼方法进行推理, 每种状态(上述 5 种)的隶属度可分别用下式计算

$$\mu_1(e, ec) = \mu_{zd}(e); \quad (1)$$

$$\mu_2(e, ec) = \mu_z(e) \wedge \mu_{fdc}(ec); \quad (2)$$

$$\mu_3(e, ec) = \mu_z(e) \wedge \mu_{fxc}(ec); \quad (3)$$

$$\mu_4(e, ec) = \mu_z(e) \wedge \mu_{fdc}(ec); \quad (4)$$

$$\mu_5(e, ec) = \mu_{zx}(e). \quad (5)$$

1.4 输出量解模糊

采用重心法作为解模糊判决。所谓重心法就是取模糊隶属度函数曲线与纵坐标轴围成面积的重心作为代表点。理论上, 可以计算输出范围内一系列连续点的重心, 即

$$\mu = \frac{\int \mu_N(x) dx}{\int \mu_N(x) dx}.$$

但是实际上, 对于采样控制系统是通过计算输出范围内整个采样点的重心, 即

$$\mu = \sum x_i \cdot \mu_N(x_i) / \sum \mu_N(x_i).$$

这样就可以根据 e 和 ec 的测量值利用下式计算 PID 的参数

$$K_p = \left[\sum_{j=1}^5 \mu_j(e, ec) K_{pj} \right] / \left[\sum_{j=1}^5 \mu_j(e, ec) \right];$$

$$T_i = \left[\sum_{j=1}^5 \mu_j(e, ec) T_{ij} \right] / \left[\sum_{j=1}^5 \mu_j(e, ec) \right];$$

$$T_d = \left[\sum_{j=1}^5 \mu_j(e, ec) T_{dj} \right] / \left[\sum_{j=1}^5 \mu_j(e, ec) \right].$$

式中: $K_p, T_i, T_d (j=1, 2, \dots, 5)$ 为参数 K_p, T_i, T_d 在不同状态下的加权。在不同的状态下它们的取值如下:

$$K_{p_1} = K_0, T_{i_1} = 0, T_{d_1} = 0;$$

$$K_{p_2} = K_0, T_{i_2} = 0, T_{d_2} = T_{d_{02}};$$

$$K_{p_3} = K_0, T_{i_3} = 0, T_{d_3} = T_{d_{03}};$$

$$K_{p_4} = K_0, T_{i_4} = 0, T_{d_4} = T_{d_{04}};$$

$$K_{p_5} = K_0, T_{i_5} = T_i, T_{d_5} = T_{d_{05}}.$$

其中: $K_0 \sim K_5, T_{i_0}, T_{d_0} \sim T_{d_{05}}$ 分别是在不同状态下 K_p, T_i, T_d 参数用常规参数法整定得到的整定值。

1.5 计算控制增量 Δu

输出控制增量或控制量(控制量 $u[m] = u[m-1] + \Delta u$),

$$\Delta u = d_0 e[m] + d_1 e[m-1] + d_2 e[m-2],$$

其中: $d_0 = K_p(1 + T/T_i + T_d/T)$, $d_1 = -K \cdot p(1 + 2T_d/T)$, $d_2 = K_p T_d/T$ 。

2 应用效果和结论

应用 PID 控制的参数模糊自整定方法时, 应首先在不同状态下, 通过实验和经验的方法整定 PID 的参数值。这些参数的选取对 PID 控制的参数模糊自整定方法控制效果有直接影响。

在 WK-1 温度控制系统上, 我们应用微机过程控制平台进行了 PID 控制的参数模糊自整定方法的实例验证^[3,4]。图 1 就是应用 PID 控制的参数模糊自整定方法控制效果, 验证了该算法具有通

用性和适应性强,参数容易整定,控制效果好等特点.

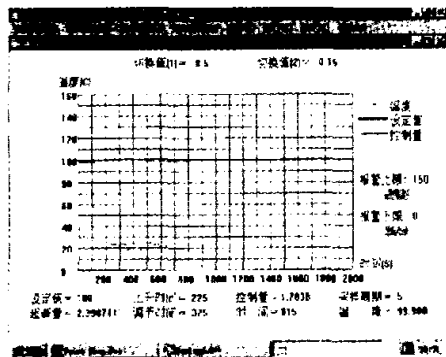


图1 WK-1型温度对象的PID控制的
参数模糊自整定方法实验曲线

Fig.1 The experiment result of PID control
with parameter fuzzy self-tuning

参考文献:

- [1] 陶永华. 新型PID控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 窦振中. 模糊逻辑控制技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学, 1995.
- [3] 周升峰. Borland + 3.1 用户界面程序设计[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.
- [4] 师 黎. 微机过程控制平台的界面设计[M]. 郑州: 郑州工业大学学报, 1997, 18(4): 31 - 34.

A Kind of Method of PID Control

SHI Li, DING Hai

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this paper, we put forward a kind of method of parameter fuzzy self-tuning of PID control in order to resolve the problem that parameters of PID controller couldn't be adjusted in line. The method has a series of good characteristics, for example, it can be generally used in practical control process, has a strong adaptability, is convenient for parameter tuning and can derive a good performance. We apply it to WK-1 device with temperature control and get a good result.

Key words: PID control; parameter self-tuning; fuzzy control