

82-8

一种多模态自适应模糊控制器

A Multimode Adaptive Fuzzy controller

梁 坚

Liang Jian

(重庆大学自动化系, 重庆, 630044)

杨永臻

Yang Yongzhen

董 伟

Dong Wei

(中国原子能科学研究院, 北京, 102413)

摘 要 提出了一类基于三种控制策略的多模态自适应控制方法, 通过在线获取对象的有关信息对各控制策略中的相应参数和规则进行修正, 以期在复杂工况下提高被控系统的性能——鲁棒性。仿真试验研究证实了方法的有效性。

关键词 多模态; 模糊控制; 变范围

中国图书资料分类法分类号

自适应控制, 模糊控制器

ABSTRACT Based on three control strategies, a multimode adaptive controller is presented in this paper. Parameters and rules in every strategy are changed after the information of plant is gathered. This enables the realization of stable control for plants under some sophistic conditions and improves the control performance-robustness. Its validity is proven by simulation research.

KEYWORDS multimode; fuzzy control; varying area

0 引 言

随着工业的发展和控制技术的不断创新, 采用单一控制策略的控制器由于其功能的单一, 越来越不能适应人们对控制品质日益提高的要求。例如, 使用简单模糊控制算法的控制器虽然不需要被控对象的数学模型, 而且对参数缓慢时变、直流扰动、白噪声干扰等复杂工况都能实现良好的控制, 但是在实际应用中仍暴露出一些弱点。首先, 作为模糊控制算法核心的模糊控制表, 一般是固定不变的, 针对性较强。一旦对象特性有较大的改变时, 过渡过程时间、超调量、振荡等指标将会严重恶化, 甚至导致不稳定。其次, 模糊控制的控制范围与控制的实时性是一对较难克服的矛盾, 简单模糊控制往往只能顾及一个方面。当把控制范围扩大时, 控制的稳定性和鲁棒性均会有所提高, 但减缓了整个系统的响应速度, 反之亦然。笔者提出的多模态自适应模糊控制算法, 针对简单模糊控制的弊端, 引入了渐加控制和比例控制, 提出了可变范围模糊控制的思想, 同时设立了对对象在线辨识机构和参数规则修正机构,

对各控制策略中的一些参数和规则进行实时修正,很大程度上解决了简单模糊控制器存在的问题。

1 控制算法设计

1.1 结构框图

图 1 中,对象辨识机构的设立是为了根据在线提取的对象信息,建立对象的近似数学模型,然后把有关对象特性变化的信息传递给参数规则修正机构,以修正各控制策略中相应的参数和规则,决策机构由各控制策略相应的前提条件组成,可实现多控制策略在各种控制状态下的切换,其具体形式是一组产生式规则集(最少的规则),有如下几条:

$R_1: \text{IF } |e| > A_1 \text{ TEHN 渐加控制}$

$R_2: \text{IF } A_2 < |e| < A_1 \text{ TEHN 比例控制}$

$R_3: \text{IF } |e| < A_2 \text{ TEHN 模糊控制}$

规则集中的 A_1 为常数,由经验或仿真确定, A_2 的选择决定了模糊控制范围的大小,在本算法中 A_2 可以在线修正。

1.2 控制策略分析

1.2.1 渐加控制

这是一种简单的控制策略,它能促使被控变量从前一时刻所处的稳态启动,以恒增量的方式产生变化的控制作用,其作用是力图消除被控量与输入之间已出现的偏差和偏差趋势,目的是迫使被控量尽可能地快速跟上输入的变化,它与 Bang-bang 控制、开关控制不同,更能贴切地描述实际生产过程中调节阀等执行机构的操作情况。同时,渐加控制作用还具有一定的试探性,可以避免控制增量过大给对象带来的不良影响,其具体形式可用下式来表达:

$$u(k) = u(k-1) + a$$

式中 a 是一个符号数,其符号和数值大小由参数规则修正机构整定。

1.2.2 比例控制

为了能从启动阶段的渐加控制平稳地过渡到模糊控制,在偏差不是太大的情况下引入一段比例控制:

$$u(k) = u(k-1) + k_p e(k)$$

式中 $e(k)$ 为当前偏差, k_p 为比例系数。该控制策略的作用主要是为后面的模糊控制阶段做好准备,目标是减少超调量,使过渡过程平缓, k_p 由参数规则修正机构在线修正,这样可以保证在对象特性变化的情况下仍能平滑进入模糊控制的有效控制范围之内,而不产生较大的超调和频繁振荡。

1.2.3 模糊控制

在这里所介绍的模糊控制策略是在普通二维模糊控制的基础上引入了变控制范围的思想而形成的。就简单模糊控制策略而言,其控制范围 $[-X_c, X_c]$ 往往是固定不变的,这样就

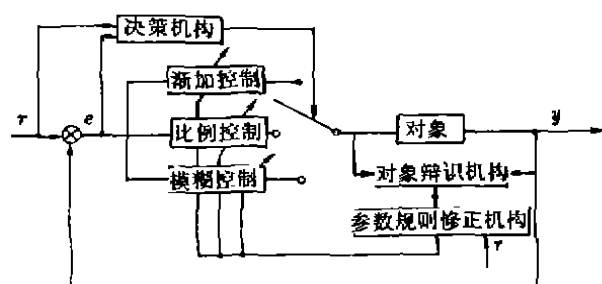


图 1 多模态自适应模糊控制器的结构框图

使简单模糊控制的运用受到了限制,若其控制范围 $[-X_0, X_0]$ 可根据某些信息如系统设定值和对象稳态增益等在线修正,就可充分发挥模糊控制作用的工作稳定、鲁棒性强等优点,从而进一步提高整个控制算法的品质。本文正是从这个角度出发对简单模糊控制策略进行修改的。

可变范围模糊控制器与简单模糊控制器一样^[1],选择系统偏差 e 和偏差变化率 \dot{e} 作为模糊控制器的输入变量,系统控制输入 u 作为模糊控制器的输入变量。结构设计时,必须解决三方面问题:

- 1) 精确量的模糊化,把语言变量的语言值化为某适当论域上的模糊子集;
- 2) 模糊控制算法设计,通过一组模糊条件语句构成模糊控制规则,并计算模糊控制规则决定的模糊关系;
- 3) 输出信息的模糊判决,并完成由模糊量到精确量的转化。

它与简单模糊控制不同的是参数和控制范围 $[-X_0, X_0]$ 可以根据系统信息在线修正。为保证控制精度,在控制范围发生变化时,总控制表中的量化等级和控制输出的量化值也应作相应的调整。

1.3 对象信息的在线获取

大量的仿真试验表明,对象的稳态增益 k_0 是影响渐加控制、模糊控制效果的一个主要因素,因而如何在线获取对象稳态增益 k_0 便是对象辨识机构的主要任务。若采用二阶模型对线性系统进行辨识,可以较高精度地逼近对象真实模型^[2]。本文中采用三阶辨识模型模拟实际对象,可使稳态增益 k_0 辨识的数值精度得到进一步保证。

三阶对象的离散模型可以表示为:

$$y(k) = a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + a_3 y(k-3) + b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \dots + b_d u(k-d)$$

d 为对象时延上限,传递函数为

$$Y(Z) = \frac{b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_d Z^{-d}}{1 - a_1 Z^{-1} - a_2 Z^{-2} - a_3 Z^{-3}}$$

根据 k_0 的定义和终值定理有:

$$\begin{aligned} k_0 &= \lim_{z \rightarrow 1} (Z-1)Y(Z)U(Z) \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} (Z-1) \cdot \frac{b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_d Z^{-d}}{1 - a_1 Z^{-1} - a_2 Z^{-2} - a_3 Z^{-3}} \cdot \frac{Z}{Z-1} \\ &= \frac{b_0 + b_1 + \dots + b_d}{1 - a_1 - a_2 - a_3} \end{aligned}$$

采用最小二乘法(RLS)辨识出模型参数,代入上式便可得到对象稳态增益的估计值 \hat{k}_0 。

1.4 参数规则的在线修正

1) 当渐加控制策略中 $|a|$ 值过大时,不仅会对对象造成较大的冲击,还将影响到系统工作的稳定性。若 $|a|$ 过小,则系统响应速度较慢,影响控制的实时性。一种简单的整定方法是:

$$a = \text{Sgn}(e(k)) * r(k) / (n * k_0)$$

式中 $e(k) = r(k) - y(k)$, $r(k)$ 为系统当前设定值, n 取 10 ~ 20 之间的整数。

2) 比例控制策略中 k_p 的选取关系到控制过程的平滑过渡。施加一段比例控制后再进入模糊控制范围的中心域,就可以避免因过渡不平滑而造成的振荡现象。一般取 $k_p = (\lambda * n) /$

7.2 取 0.3 ~ 0.7 之间的小数, T 为采样周期。

3) 前已提及, 采用可变范围模糊控制的目的是在充分利用模糊控制稳定性好、鲁棒性强的基础上, 进一步提高模糊控制运用的灵活性, 以适应更为复杂的工况。这里介绍的是可变范围模糊控制的具体方法, 它包括以下两个方面:

a α 因子的修正

设模糊控制的基本论域为 $[-X, X]$, 引入放大(缩小)因子 α , $[-\alpha X, \alpha X]$ 为模糊控制的有效范围, α 由量化的系统设定值 R 和对对象稳态增益变化率 dk_0 来模糊确定。 α 参数调整的思想是: 当设定值较大、稳态增益增量较大时, 相同的控制量将产生较大的输出变化, 因而将 α 置大一些; 当设定值较小、稳态增益增量较小时, 相同的控制增量将产生较小的输出变化, 因而将 α 置小一些。

设 R, dk_0, α 的语言变量 M, N, S 分别为下列模糊子集

$$M = \{SS, MS, BS, SM, MM, BM, SB, MB, BB\} \quad (1)$$

$$N = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\} \quad (2)$$

$$S = \{HA, MA, LA, OK, SC, MC, BC\} \quad (3)$$

(1) 式中 SS, MS, BS, SM, MM, BM, SB, MB, BB 分别代表小小, 中小, 大小, 小中, 中中, 大中, 小大, 中大, 大大; (2) 式中 NB, NM, NS, O, PS, PM, PB 分别代表负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大; (3) 式中 HA, MA, LA, OK, SC, MC, BC 分别代表高放, 中放, 低放, 不变, 小缩, 中缩, 大缩。

S 的论域规定为:

$$S = \{4, 3, 2, 1, 1/2, 1/4, 1/8\}$$

S 的隶属度赋值如下:

$$HA: HA = 0.3/2 + 0.7/3 + 1/4$$

$$MA: MA = 0.6/2 + 1/3 + 0.4/4$$

$$LA: LA = 0.1/1 + 1/2 + 0.5/3 + 0.1/4$$

$$OK: OK = 0.3/(1/2) + 1/1 + 0.3/2$$

$$SC: SC = 0.1/(1/8) + 0.5(1/4) + 1/(1/2) + 0.3/1$$

$$MC: MC = 0.4/(1/8) + 1/(1/4) + 0.6/(1/2)$$

$$BC: BC = 1/(1/8) + 0.7/(1/4) + 0.3/(1/2)$$

参数调整规则见下表

α 因子修正规则表

α	R								
	SS	MS	BS	SM	MM	BM	SB	MB	BB
dk_0	NB	BC	BC	MC	SC	SC	SC	OK	LA
	NM	BC	MC	SC	SC	SC	OK	LA	LA
	NS	MC	SC	SC	SC	OK	LA	LA	MA
	0	SC	SC	SC	OK	OK	LA	LA	MA
	PS	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	MA
	PM	LA	LA	LA	LA	MA	MA	MA	HA
	PB	MA	MA	MA	MA	MA	MA	HA	HA

采用与推导模糊控制表相同的方法,可以推出 α 因子修正表。

b 模糊控制表的修正

为保证模糊控制的精度,当 α 变化时,系统偏差和偏差变化率的量化等级也应发生变化。算法中可这样规定: $r \leq 0.67r_{\max}$ 时 (r_{\max} 为系统最大设定值),保持系统偏差和偏差变化率的量化等级 n ; $r > 0.67r_{\max}$ 时 ($\alpha > 1$),将系统偏差和偏差变化率的量化等级取为不小于 αn 的整数,新模糊控制表中控制量的量化值由原模糊控制表线性插值得到。

1.5 控制策略的切换

在各控制策略相互切换时,必须保证实现无扰切换。所谓无扰切换,是指在控制策略的切换过程中,控制信号之间可自动对位平衡,以保证切换时不会对过程产生较大的扰动。

为实现无扰切换,控制器控制量的计算采用增量形式,即 $u(k) = u(k-1) + \Delta u$ 。在一种控制策略作用时,不断刷新历史数据,如 $e(k-1)$ 和 $\dot{e}(k-1)$,同时 $u(k-1)$ 跟踪当前控制策略输出控制量这样,一旦切向另一种控制策略, $u(k-1)$ 等于切换前瞬间的前一种控制策略的输出控制量。新的控制量增量由当前控制策略输出,这就保证了控制量的连续性。

另外,在仿真程序中,当一种切换条件满足时,并不马上进行控制策略的切换,而是保持前一种控制策略工作状态 3~4 个采样周期,若保持时间过后仍满足切换条件,才进行切换。这样可以避免因频繁切换对系统造成的不良影响。

2 仿真试验研究

选用下面几个非最小相位系统:

$$\text{I} \quad y[k] = 0.6345y[k-1] + 0.244y[k-2] - 0.672y[k-3] - 0.1147u[k-1] + 0.3065u[k-2]$$

$$\text{II} \quad y[k] = 0.6345y[k-1] + 0.244y[k-2] - 0.672y[k-3] - 0.3111u[k-1] + 0.5343u[k-2]$$

$$\text{III} \quad y[k] = 0.6345y[k-1] + 0.244y[k-2] - 0.672y[k-3] - 0.3065u[k-1] + 0.8533u[k-2]$$

$$\text{IV} \quad y[k] = 0.8y[k-1] - 0.2y[k-2] - 0.1y[k-3] - 0.1u[k-1] + 1.03u[k-2]$$

例 1 采用简单模糊控制,当 210 步时对象模型由 I 变为 II,稳态增益变化了 20%,出现大幅度频繁振荡,控制效果不理想,如图 2 所示。

例 2 采用多模态自适应模糊控制算法,对例 1 的对象进行仿真,如图 3 所示。

例 3 采用多模态自适应模糊控制算法,当 210 步时对象模型由 III 变为 IV,对象稳态增益变化 200%,并附加 $d = 0.35$ 的直流扰动和方差 $\delta = 0.05$ 的白噪声干扰,仿真曲线如图 4 所示。

由以上三幅图可以看出,多模态自适应模糊控制较好地解决了对象特性大范围改变的

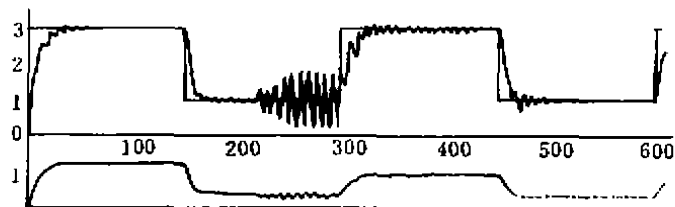


图 2 对象稳态增益变化 20% 时的简单模糊控制仿真曲线



图 3 对象稳态增益变化 20% 时的多模态自适应模糊控制仿真曲线



图 4 对象稳态增益变化 200% 并施加干扰时的多模态自适应模糊控制仿真曲线图

问题,并对干扰有较强的控制鲁棒性,从而证实了多种控制策略综合使用和模糊控制范围在线修正技术的有效性。

3 结束语

本文研究提出了一种多模态自适应模糊控制器,它在简单模糊控制器的基础上引入变控制范围的思想,并辅以渐加控制和比例控制,增强了控制系统的性能——鲁棒性,扩展了适用范围,计算机仿真试验验证了该方法的有效性,为过程控制器的设计提供了一种新方法。

参 考 文 献

- 1 李士勇等编著. 模糊控制和智能控制理论与应用, 哈尔滨工业大学出版社, 1990. 103~145
- 2 钱钟韩等. 模型降阶的机理探讨及几种新方法, 第四届全国控制理论及应用学术会议论文, 1983, 12. 405~411
- 3 白丽. 多变量自适应模糊控制器的研究, [学位论文]. 重庆: 重庆大学自动化系, 1994. 38~44