

一种具有自调整比例环节的模糊 PI 控制器

曾 光, 梁慧冰

(广东工业大学 电气工程及自动化系, 广东 广州 510090)

摘要: 提出了一种利用 6 条调整规则自动调节比例环节的自调整模糊控制器. 它算法简单, 实现容易, 通过仿真研究证明该控制器具有较好的动态和稳态性能.

关键词: 模糊控制器; 自调整; 比例环节

中图分类号: TP13

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(1999)04-0049-05

由于模糊控制系统本身具有的特性, 在某控制领域的上较常规控制具有更好的性能. 通常来说, 模糊控制器适应于那些难以建立准确数学模型的系统, 特别是非线性复杂系统. 由于模糊控制系统具有易于熟悉, 无需建模, 可靠性高等优点, 近几年来, 模糊控制在自动控制领域得到越来越广泛和成功的应用.

本文提出了一种调节输入和输出比例因子的模糊控制器. 我们仅用 6 条调整规则来自动调整比例因子. 它结构简单, 算法方便, 效果显著, 是值得推介的一种高性能模糊控制器.

1 PI 和 PD 型模糊控制器

模糊控制器具有两种类型, 它们是位置型和速度型. 其中位置型相当于 PD 控制器, 而速度型相当于 PI 模糊控制器. 二者都广泛应用于各个领域.

我们知道, PI 模糊控制器具有较好的静态性能. 输入语言变量为误差及误差的变化率, 以 $\{e, \Delta e\}$ 表示. 输出语言变量为模糊控制器输出信号的变化率, 以 $\{\Delta u\}$ 表示. 被控对象的输入信号表示为 $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$. 然而, PI 模糊控制器的缺点是动态性能较差, 表现为上升时间及稳定时间较长.

相对而言, PD 模糊控制器具有较好的动态性能. 与 PI 型模糊控制器不同的是, 它的输出说是控制信号 $u(k)$. 通常不讲, PD 模糊控制器反应速度比较快, 但是, 有可能会因为太 $\{e, \Delta e\}$ 太小导致模糊推理的输出为零, 以致于产生静态误差^[1, 2].

文献[3]曾经提出过一种开关 PI 模糊控制器, 这利控制器成功的对模糊 PI 控制器的缺陷进行改进. 它的基本思想是将系统的响应分为 5 个区间, 每区间分别对应不同的比例环节. 但是此方法对于每一区间需要调节 4 个参数($e, \Delta e, d^2e/dt^2, \Delta u$ 的比例系数), 也就是说, 总共需要调节 20 个参数, 这就导致系统变得极为复杂. 在这里我们提出一种新的简单方法, 并通过仿真证明可以达到相同的控制效果.

2 具有自调整比例环节的模糊控制器

2.1 模糊控制器的结构

假设离散模糊控制器有 2 个输入变量 $\{e(k), \Delta e(k)\}$ 和一个输出变量 $\{\Delta u(k)\}$, 定义为:

$$e(k) = r(k) - y(k),$$

收稿日期: 1998-11-20

作者简介: 曾光 (1978), 男, 研究生; 主要研究方向: 智能控制.

$$\Delta e(k)=e(k)-e(k-1),$$
$$\Delta e(k)=u(k)-u(k-1).$$

这里 $r(k)$ 一给定输入, $y(k)$ 一系统输出.

自调整模糊控制器的结构如图 1 所示, 其中:

$$E(k)=[r(k)-y(k)] \times G_e(k)=e(k) \times G_e(k),$$
$$\Delta E(k)=[e(k)-e(k-1)] \times G_{\Delta e}(k)=\Delta e(k) \times G_{\Delta e}(k),$$
$$\Delta U(k)=\Delta u(k) \times G_{\Delta u}(k).$$

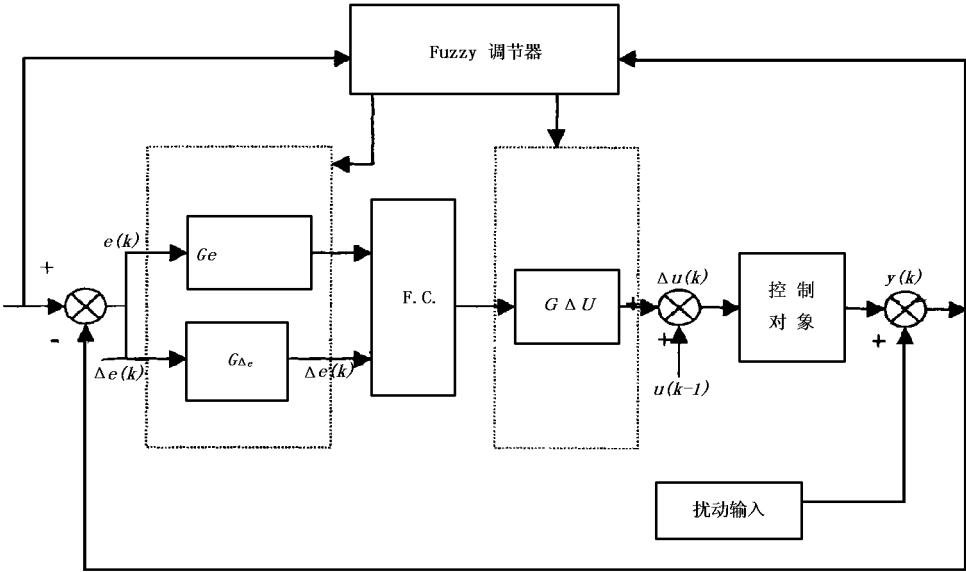


图 1 自调整模糊控制器结构图

其中 $G_e(k)$, $G_{\Delta e}(k)$, $G_{\Delta u}(k)$ 为比例因子. 模糊控制器的控制规则表如表 1 所示.

其中, 2 个输入变量 $\{e(k), \Delta e(k)\}$ 子集均为 (PB, PS, ZE, NS, NB), 输出变量 $\{\Delta u(k)\}$ 的子集为 (PB, PM, PS, ZE, NS, NM, NB), N、P、B、S、M、E 分别指负、正、大、小、中、零. 输入和输出变量的隶属函数如图 2(a) 所示, 其中规范化后输入量的论域为 $[-1, 1]$.

表 1 控制规则表

$E \setminus \Delta F$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NS	NB	NM	NS	ZE	PS
ZE	NM	NS	ZE	PS	PM
PS	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB

这里, 如图 2(b) 所示, 我们利用最大隶属度法对系统进行解模糊, 则模糊控制器的输出 $u(k)$ 为:

$$u(k)=u(k-1)+\Delta u(k)$$

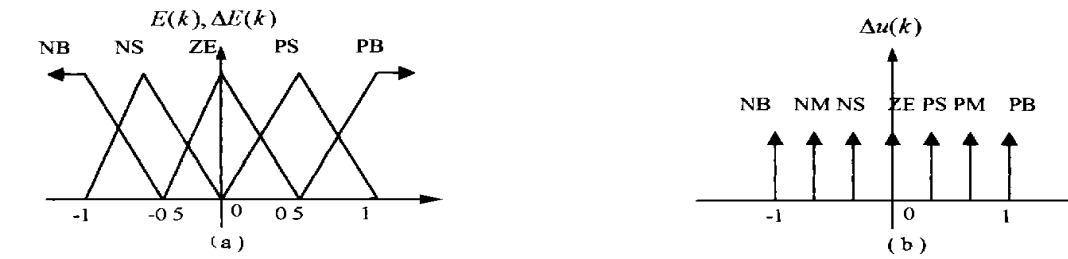


图2 $E(k), \Delta E(k), \Delta u(k)$ 的隶属函数

2.2 利用模糊调节器调节比例因子

理想的系统应具有以下特性: (1) 响应快速: (2) 超调量小: (3) 稳态误差小: (4) 抗干扰能力强. 已经证明, 利用模糊PI控制器, 可以得到较好的稳态性能, 但是其动态性能较差. 为了得到好的动态性能, 必须对模糊PI控制器加以改进.

对系统进行控制的策略为: 在响应的起始点附近, 为了得到快速的系统响应, 必须加大被控制对象的输入量, 也就是说, 必须加大比例因子来减小上升时间和稳定时间, 而在系统输出接近理想输出时, 为减小系统响应的超调量, 必须减小比例因子. 在上面的基础上, 我们可以建立控制规则, 如表2所示, 共有6条规则.

表2 调整规则

C	ZE	S	NM	PM	B	VB
ΔG_e	ZE	NS	NM	ZE	PM	PB
$\Delta G_{\Delta e}$	ZE	NS	NM	ZE	PM	PB
$\Delta G_{\Delta u}$	ZE	NS	NM	ZE	PM	PB

表中 $C = |E/(r - y_0)|$, y_0 为初始条件.

V = Very (非常);

C 的隶属函数如图 3(a)所示, $\Delta G_e, \Delta G_{\Delta e}, \Delta G_{\Delta u}$ 的隶属函数均如图 3(b)所示.

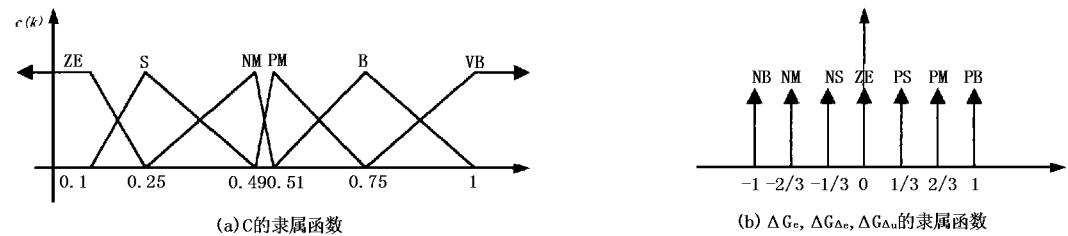


图3 模糊控制器的隶属函数

2.3 调整策略

由上可知 $\Delta G_e, \Delta G_{\Delta e}, \Delta G_{\Delta u}$ 均相同, 假设存在这样一个函数 $T(c(k))$

$$T(c(k)) = \Delta G_e(k) = \Delta G_{\Delta e}(k) = \Delta G_{\Delta u}(k).$$

则我们可以得到新的比例因子的值:

$$G_e(k)=\frac{1+\Delta G_e(k)}{h}=\frac{1+T(c(k))}{h},$$

$$G_{\Delta e}(k)=\frac{1+\Delta G_{\Delta e}(k)}{h}\times 10=\frac{1+T(c(k))}{h}\times 10,$$

$$G_{\Delta u}(k)=(1+1.5\times \Delta G_{\Delta u}(k))\times h\times w=(1+1.5\times T(c(k)))\times h\times w.$$

式中 $h=|r-y|$, w 为会聚系数.

我们知道, 当 G_e 一定时, $G_{\Delta e}$ 的大小影响系统的灵敏度, 为了使系统有较好的动态响应, 二者必须很好的配合, 在这里取 $G_e=10\times G_{\Delta e}$ 能得到较好的仿真效果; 基于同样的考虑, 我们取 $G_{\Delta u}=1.5\times \Delta G_{\Delta u}^{[4]}$.

3 仿真结果

我们先取一个 3 阶滞后环节作为仿真的对象. 其传递函数为:

$$G(s)=\frac{16}{s^3+6s^2+26s+1}e^{-0.96s}.$$

采样间隔设为 0.064s, 给定的输入波形如图 4 所示. 假设在 50s 和 80s 分别加入扰动输入, 其波形如图 5 所示.

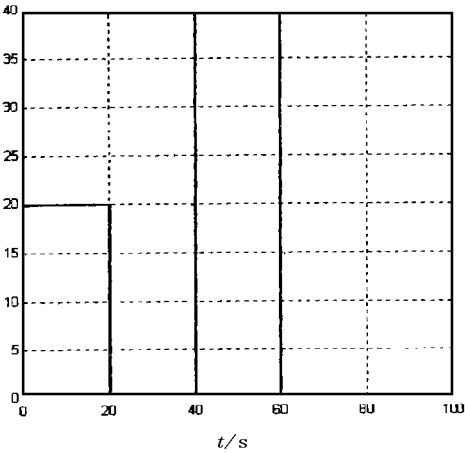


图 4 给定输入

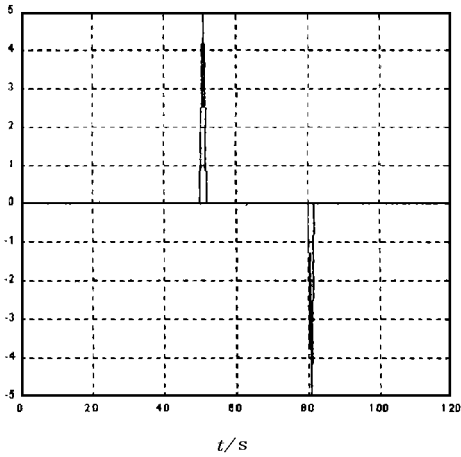


图 5 扰动输入

仿真结果如图 6 所示, 可见系统具有很好的动态及静态性能, 同时扰动输入对系统的影响不大, 系统很快能恢复, 具有良好的抗干扰能力. 此时的会聚系数 w 取 0.02.

4 结论

本文提出了一种仅采用 6 条控制规则的自调整比例因子的模糊控制器, 并利用其对一高阶滞后环节进行仿真分析. 证明了与传统的模糊控制器比较, 自调整比例因子模糊控制器的性能有了显著改善, 具有较好的动态和静态性能, 同时有较强的抗干扰能力.

参考文献:

- [1] 赵振宇, 徐用樊. 模糊控制理论和神经网络的基础和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996, 24~ 30.
- [2] J J Buckley, H Ying, Expert Fuzzy Controller, Fuzzy Sets and System[J]. 1991, (44): 373~ 390.
- [3] C C Wong, S M Feng, A Switching Type of Fuzzy Sets and System[M]. IEEE Intemat, Conf, on Fuzzy System, 1994, 30~ 34.
- [4] 何平, 王鸿绪. 模糊控制器的设计及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1997, 234~ 260.

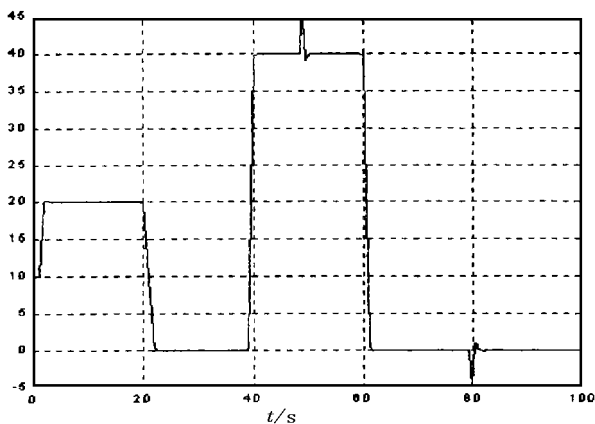


图6 在给定输入和扰动输入下系统的响应

A PI-type Fuzzy Controller with Self-tuning Scaling Factors

ZENG Guang, LIANG Hui-bing

(Dept. of Electric Engineering and Automation, GDUT, Guangzhou 510090, China)

Abstract: PI fuzzy controller with adaptive proportional adjustment. A adaptive proportional adjustment fuzzy controller was proposed. It used only 6 regulation rules, simplified computation. Simulation results showed that the controller had better kinetic and static performance.

Key words: fuzzy controller, self-tuning, scaling factor

(责任编辑: 杨耀辉)