

13 68-72

一种改进的带修正函数的模糊控制算法

甘明* 廖常初[✓] 侯世英

TP273.2

(重庆大学电气工程系, 重庆, 400044; 第一作者 29岁, 女, 硕士)

摘要 给出了一种改进的带修正函数的模糊控制算法, 此算法调试方便、需要整定的参数少、适应性强, 适合工程实时控制。

关键词 模糊控制论; 算法 / 修正函数

中国图书资料分类法分类号 TP273.24

0 引言

在工业过程控制中, 如果大滞后、时变、非线性的复杂系统采用常规的PID控制, 难以达到预期的效果。常规的模糊控制器往往难以兼顾超调量和上升时间这两个性能指标, 且容易出现稳态误差。

文献[1]介绍了一种带修正函数的模糊控制器, 笔者在它的基础上提出了一种改进的模糊控制器, 这种控制器具有结构简单、待整定参数少、调试方便、适应性强等特点, 对大多数被控对象均能达到较好的控制效果。

1 改进的带修正函数的模糊控制器的控制规则

改进的带修正函数的模糊控制器的控制规则如下:

$$u = u_0 + \Delta u$$

$$\Delta u = \begin{cases} GU[\alpha E + (1 - \alpha)EC] & |E| > E_w \\ GU[\alpha E + (1 - \alpha)EC + \beta \Sigma E] & |E| \leq E_w \end{cases}$$

首先将系统误差 e 及其变化率 ec 归一化为 e/s 及 ec/s (s 为阶跃输入信号的幅值), 并将它们各自的基本论域中分成若干段, 以完成模糊量化。 E 、 EC 分别为 e/s 和 ec/s 的模糊值; u 和 u_0 分别为模糊控制器的总输出与稳态输出; α 为修正因子; β 为积分作用 $\beta \Sigma E$ 的系数; E_w 为偏差阈值(模糊量); 描述 α 与归一偏差 e/s 间关系的修正函数为 $\alpha = K|e/s|^p$ 。

笔者对几种典型系统作了大量的仿真实验, 并对实验结果进行了理论分析或从物理意义上进行了解释。使用的对象数学模型为:

$$\text{一阶惯性加纯滞后: } G(s) = e^{-\tau}/(4s + 1) \quad (1)$$

$$\text{二阶惯性加纯滞后: } G(s) = e^{-\tau}/(2s + 1)(4s + 1) \quad (2)$$

* 收文日期 1996-12-04

** 作者现在后勤工程学院工作

$$\text{二阶惯性加纯滞后: } G(s) = e^{-0.12s} / (0.44s + 1)(0.40s + 1) \quad (3)$$

$$\text{三阶惯性加纯滞后: } G(s) = e^{-s} / (2s + 1)(4s + 1)(2.3s + 1) \quad (4)$$

2 误差分段的处理与 e/s 、 ec/s 基本论域的确定

原控制规则将误差分为三段, 分别采用不同的控制规则, 我们将其中的两段合并为一段, 对上述的 4 种被控对象分别作了将误差分为三段和两段的阶跃响应仿真, 实验中发现, 每一个对象的仿真图形中两条响应曲线基本重合, 说明对于一般的系统, 当控制器的参数不变时, 将误差分为三段或两段对输出响应的影响甚微, 因此我们提出的控制规则将误差分为两段。

在阶跃响应的初始时刻, 误差 e 为最大值 $|e_{\max}| = s$, 显然 e/s 的基本论域应为 $[-1, 1]$ 。

由 ec 的定义 $ec(n) = e(n) - e(n-1)$ 可知, ec 的基本论域的大小与采样周期 T_s 有很大的关系。同一系统若 T_s 较小, 由相邻采样点计算出的 $|ec|$ 就小, 因此 ec 的基本论域应相应减小。 ec 的基本论域选取对系统输出响应的性能影响比较大, 若 ec 的基本论域过大, 减小了 EC 的作用, 对抑制超调量不利; 若 ec 的基本论域过小, 会夸大 EC 的作用, 从而影响快速性。

在实时控制时, 可采用以下方法确定 ec 的基本论域:

初定一组参数(其中包括 T_s 和 e 的基本论域), 在实时运行中求出 $|ec|$ 的最大值 $|ec|_{\max}$, 取比 $|ec|_{\max}$ 略大一点的值作为 ec 的基本论域。若采样周期变化, 必须重复上述过程。从仿真实验中发现这种方法比较简单, 效果也好, 是一种很实用的方法。

3 $|e/s|$ 、 $|ec/s|$ 的归一模糊量化方法

文献[1]中所给 $|e/s|$ 、 $|ec/s|$ 的归一模糊量化方法是针对某一特定系统的, 我们通过分析, 同时用大量的仿真实验进行验证, 提出了一种具有普遍意义的归一模糊量化方法。

3.1 $|e/s|$ 、 $|ec/s|$ 量化曲线的选择及量化处理方法

量化曲线 $y = f(x)$ 可由任意一种过原点的函数来描述。在模糊控制器语言变量的量化设计中, 多以幂函数 $y = ax^n (n = 1, 2, 3)$ 来描述。当 $n = 1$ 时为线性量化, $n > 1$ 时为非线性量化, n 的大小选取可以参考手工操作时的控制经验。

仿真中发现, 对 $|e/s|$ 采用非线性量化比线性量化效果好, 因为非线性量化恰好反映了手动控制的思维特点: 在偏差 E 较大时对被控过程进行粗调, 而在 E 较小时进行细调, 这样既能使系统迅速平稳地结束过渡过程, 又能保证要求的控制精度。笔者选 $n = 2$, 即用二次曲线进行量化。仿真中发现对 $|ec/s|$ 采用线性量化比非线性量化的效果好, 若 $|ec/s|$ 采用非线性量化, 当 $|e/s|$ 较小时, $|e/s|$ 的模糊值 EC 较大, 过分增大了 ec 抑制超调的作用, 因而会出现响应曲线在稳态值以下波动的现象。

对 $|e/s|$ 模糊量化时, 取 $|e/s|$ 的基本论域为 $[-1, 1]$, 量化等级 $m = 5, n = 2$, 量化曲线为

$$y = f(x) = ax^n = x^n / (m + 0.5)^n = x^2 / 5.5^2$$

在量化曲线上, 令 $x = i + 0.5 (i$ 为 $0 \sim m$ 的整数), 求出 $f(x)$, $f(x)$ 即为归一模糊量化的分界点(见图 1, 图中的 e/s 与 x 均无量纲), 于是得到 e/s 的模糊量化规则为

$$E(e) = \begin{cases} 5\text{sign}(e) & 0.67 < |e/s| \leq 1 \\ 4\text{sign}(e) & 0.40 < |e/s| \leq 0.67 \\ 3\text{sign}(e) & 0.20 < |e/s| \leq 0.40 \\ 2\text{sign}(e) & 0.074 < |e/s| \leq 0.20 \\ 1\text{sign}(e) & 0.033 < |e/s| \leq 0.074 \\ 0 & 0 < |e/s| \leq 0.033 \end{cases}$$

设 ec/s 的基本论域为 $[-L, L]$, 取 $m = 5, n = 1$, 量化曲线为

$$y = f(x) = ax = Lx/(m + 0.5) = Lx/5.5$$

量化规则的分隔点为 $0.091L, 0.273L, 0.454L, 0.636L, 0.818L$.

3.2 量化等级的选择

量化等级 m 越大, 控制精度越高, 但同时也增加了运算量。常规模糊控制规则的量化等级 $m \geq 5$, 在仿真实验中发现, $m = 5, m = 6$ 控制效果相差不大, 因此取 $m = 5$ 。

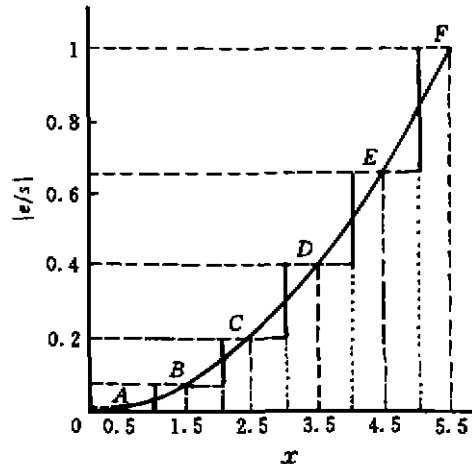


图1 量化曲线

4 K、P 值对系统输出响应的影响

4.1 K 值大小的影响

修正因子 $\alpha = K|e/s|^P$, 当 P 一定时, 如果 K 值过小, α 过小, 使 E 的作用减弱, 对快速性不利。当 K 增大时, 一方面, α 增大, 即 E 的加权值增大, 从这个角度来说, 对快速性有利; 另一方面, α 增大, $(1 - \alpha)$ 减小, EC 、 E 的加权值之比 $\frac{(1 - \alpha)}{\alpha}$ 减小 ($\alpha < 1$), 即 EC 的作用相对减弱, 对抑制超调量不利, 此时为了兼顾超调量, 在控制量的精确值 $u = u_0 + \Delta u$ 中, Δu 的比例因子 GU 相对于 K 值较小时要取得小些, GU 减小使快速性下降, 从这个角度上说, K 值不宜选择过大。

笔者对以传递函数(1)、(2)、(3)、(4)为被控对象的数学模型作了大量的仿真, 令 $P = 1$, 阶跃输入的幅值 $s = 10$, 调节 GU 得到的各自条件下的相对较好的响应曲线。以传递函数(3)为对象模型的仿真曲线(见图2, 图2~图4中的 y 均无具体量纲)为例, 可以看出 $K = 0.5$ 时响应曲线很差, $K = 2$ 时响应曲线的快速性变差, 因此 K 值的选取必须适当, K

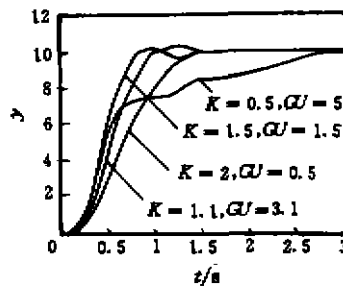


图2 K 值大小的影响

过大或过小, 对快速性都不利, 建议 $K \in [1, 1.5]$ 。

4.2 P 值大小的影响

文献[1]给出的 P 的取值范围为 $P \in [0.5, 3]$, 考虑到 P 若取小数, 会增加计算机实时控制程序编程的难度, 因此, P 一般取整数。

我们对一阶、二阶、三阶惯性加纯滞后作为被控对象进行了仿真,它们的传递函数分别为(1)、(3)、(4),阶跃输入的幅值 $s = 10$ 。选取 $K = 1.1$,每一个对象分别选择 $P = 1, 2, 3$ 。观察 P 值大小对不同的控制系统输出响应的影响,仿真图形如图 3 所示,每一条曲线均是 K, P 一定时,只调整比例因子 GU 得到的各自条件下相对较好的曲线。

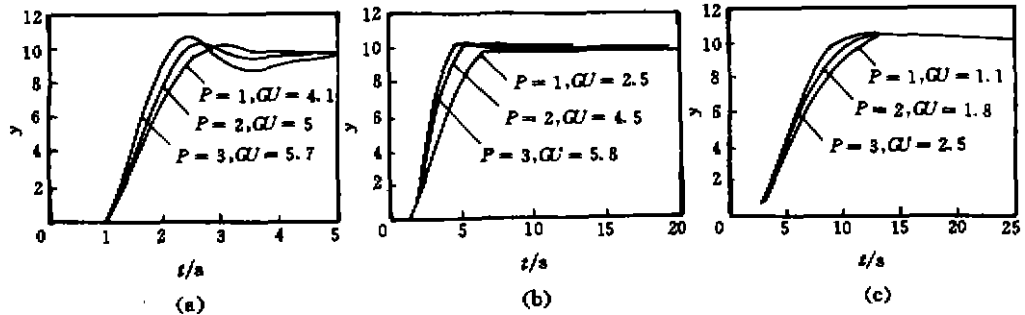


图 3 P 值大小实验

通过大量的仿真实验发现,一阶惯性加纯滞后系统在 $P = 1$ 时效果最好;二阶惯性加纯滞后系统在 $P = 1, 2$ 时效果都比较好;三阶惯性加纯滞后系统在 $P = 1, 2, 3$ 时效果都比较好。当 P 增加时(需调节 GU),响应曲线的快速性略有提高。我们还发现这样一个规律,对不同的控制系统, $P = 1$ 均能得到较满意的控制效果。

我们分别以一阶、二阶、三阶惯性加纯滞后作为对象的模型,作了大量的仿真实验,令 $K = 1.1, P = 1$ 固定不变,在系统的对象参数发生变化时,除积分部分外,只需调整 GU 便能得到较好的响应曲线。

在修正函数 $\alpha = K|e/s|^P$ 中,表面上看似比较难以把握的 K, P 两个值完全可以固定。算式中的积分部分只在小误差时起作用,积分部分的系数 β 和偏差阈值 E_w 很容易整定,对同一类系统整定好后基本上可以固定不变,被控对象的参数变化时,只需要整定和调试比例因子 GU 这一个参数,因此调试起来非常方便。

4.3 模糊控制输出的取整问题

常规模糊控制器查控制总表得到的控制器输出的模糊量为整数,需要将它转换为精确量。而我们计算出来的 Δu 的值一般情况下不是整数,在实时控制中,没有必要将计算出来的值取整,因为取整运算必然会丢失一些信息,反而会影响到控制精度。

5 控制算法对过程参数变化的适应性

因笔者提出的控制算法需要整定的参数极少,可以用它作智能控制器中的基本控制器。根据经验初定 GU 后,使实际系统运行,求出系统阶跃响应的性能指标,如不能满足要求,通

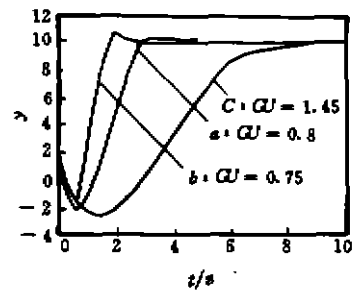


图 4 水轮机仿真曲线

过智能控制器中预先确定的规则修改 GU 的值,使系统重新运行,直到性能指标满足要求。与需要自动整定多个参数的智能控制器相比^[2,3],因为仅需对 GU 自动寻优,可以很快得出较为理想的结果,这种智能控制器对在线实时过程参数的时变也有很好的适应性。

以水轮机控制系统为例,对这种控制系统对系统参数变化的适应性进行了仿真。水轮机的简化传递函数为

$$G(s) = \frac{1}{1 + T_y s} \cdot \frac{1 - T_w}{1 + 0.5T_w} \cdot \frac{1}{e_n + T_i s}$$

式中 T_y 、 T_w 、 T_i 分别为接力器、引水管道和机组的惯性时间常数, e_n 为转速对力矩的变化系数,仿真结果如图 4 所示,输入阶跃信号的幅值 $s = 10$, $T_y = 0.2$, $e_n = 0.2$, $K = 1.1$, $P = 1$, 采样周期 $T_s = 0.1$ s, 对象 c 的 $T_w = 0.8$, $T_i = 0.96$, 对象 b 的 $T_w = 0.2$, $T_i = 0.5$, 对象 a 的 $T_w = 2$, $T_i = 4$ 。由图 4 可知,在 T_w 和 T_i 分别变化了 10 倍和 8 倍的情况下,只需调整 GU 便能得到较好的响应曲线。用这种控制算法可以构成需要整定的参数少、鲁棒性好的智能控制器。

6 结束语

笔者在带修正函数的模糊控制器的基础上,将原控制规则中的三段减少为两段,提出了具有普遍意义的 $|e/s|$ 、 $|ec/s|$ 归一模糊量化的方法,研究了修正函数 $\alpha = K|e/s|^P$ 中 K 、 P 的取值对动态性能的影响,提出了一种简便的固定 K 、 P ,除积分部分外,只整定比例因子 GU 的参数整定调试方法,这种控制算法参数整定的难度小,适应性强,适合工程实时控制。

参 考 文 献

- 1 李友善. 模糊控制理论及其在过程控制中的应用. 北京:国防工业出版社,1993. 120~122
- 2 He Shizhong, Tan Shaohua, Xu Fenglan. Fuzzy self-tuning of PID controllers. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 56(1), 37~46
- 3 Maeda M, Murakami S. A self-tuning Fuzzy controller. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 51(1), 29~40

An Improved Fuzzy Control Algorithm with Modification Function

Gen Ming Liao Changchun Hou Shijiang

(Department of Electrical Engineering, Chongqing University)

ABSTRACT An improved Fuzzy control algorithm with modification function is proposed. It is easy to adjust, only one major parameter have to be adjusted. With the algorithm, better response curves and powerful adaptability can be obtained. It is especially suited for real time control project.

KEYWORDS fuzzy control theory; algorithms / modification function