

一种增益自适应的单神经元PID控制器

于雷, 何小阳, 刘涛

(广西大学 电气工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 针对时滞不确定对象, 提出一种单神经元PID控制器, 此控制器不依赖于对象模型。由于神经元的权值能在线调整, 因此具有自学习和自适应能力, 同时应用自适应PSD算法调整比例系数 K 值的大小, 构成了增益自适应的单神经元PID控制器。在MATLAB/SIMULINK下对算法实现仿真控制, 结果证明增益自适应单神经元PID控制器是一种具有自学习、自适应、鲁棒性强且算法简单适用的控制器, 适合于工业上不确定对象的平稳控制。

关键词: 单神经元; PID控制器; 自适应; 不确定对象; 仿真

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)05-0045-03

On Single Neural PID Controller with Gain Self-Adaptive

Yu Lei, He Xiaoyang, Liu Tao

(School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Aiming at the control of nonlinear and time-delay and uncertainty plant, a gain-adaptive single neural PID controller is presented, which is independent of the model of plant. Due to the links of neural adjustable online, the arithmetic has the ability of self-learning and self-adaptability, and adjusts the proportion coefficient K which based on the self-adaptive PSD arithmetic, then makes the gain-adaptive single neural PID controller. The simulation in MATLAB/SIMULINK shows that the controller having the ability of self-learning and self-adaptive function and strongly robust, is a simple and applicable controller. The arithmetic is especially applied to uncertain object for placidity control.

Key words: single neural; PID controller; self-adaptive; uncertainty plant; simulation

0 引言

常规PID控制是一种应用广泛且成熟的控制方法, 但对于工业上典型的时滞不确定对象的控制效果很差, 且控制参数整定的很困难。而诸如自适应控制、预测控制^[1]等智能控制手段的实施需建立在对象的精确模型之上, 而时滞不确定对象的精确模型是无法获得的, 受到常规PID控制器的启发, 结合有自学习、自组织能力的单神经元, 从机理上构成了单神经元自适应PID控制器。此算法不但结构简单, 而且能适应环境的变化, 使得控制参数能够在较大范围内自由的选取即可获得很好的控制效果, 因此具有较强的鲁棒性。

算法中神经元的比例系数 K 值对控制性能的影响很大: K 值小则系统响应超调小, 但上升时间很长; K 值大则快速性好, 但超调量大, 导致调整时间过长; K 值过大, 则系统进入不稳状态。而当时滞增大时, 为防止系统发生长时间的振荡, K 值又必须减小。结合无模型自适应PSD (Proportional, Summation, Derivative, 即比例、求和、微分) 算法, 实现对 K 值的大小进行在线调整, 使得在控制器在保持较好的动态性能的同时大大提高控制器的稳定性和鲁棒性。利用MATLAB对时滞不确定对象进行仿真研究的结果表明: 此控制器对工业上不确定对象可实现很好的平稳控制, 并能适应环境的变化, 具有较强的鲁棒性。本

收稿日期: 2000-08-10

作者简介: 于雷 (1983-), 男, 江苏宿迁人, 广西大学硕士研究生, 主要研究方向为综合自动化;

何小阳 (1957-), 男, 广东兴宁人, 广西大学副教授, 主要研究方向为综合自动化。

自适应算法的平稳控制效果明显优于常规 PID 控制。

1 单神经元 PID 控制^[2]

常规的模拟调节系统中, PID 算法的表达式为:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right], \quad (1)$$

相应的增量式数字 PID 算法为:

$$\Delta u(k) = K_p e(k) + K_i [e(k) - e(k-1)] + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)], \quad (2)$$

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

式中: K_p 为比例系数; $K_i = K_p T / T_i$ 为积分系数;

$K_D = K_p T_D / T$ 为微分系数; T 为采样时间。

在一般的数字控制系统中, 只需调节好 K_p 、 K_i 、 K_D , 即可实现有效的控制。

单神经元 PID 控制器结构框图如图 1 所示。

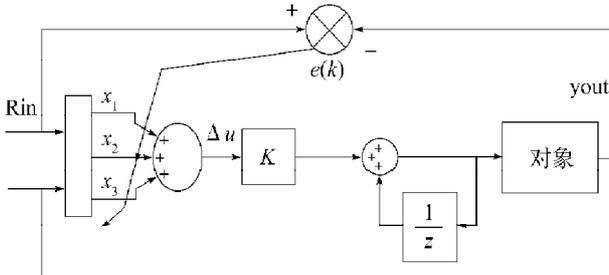


图 1 单神经元 PID 控制器结构

Fig. 1 The framework of single neural PID controller

单神经元 PID 控制算法为:

$$\Delta u(k) = K \{ w_1 e(k) + w_2 [e(k) - e(k-1)] + w_3 [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \}, \quad (3)$$

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

式中: w_1 、 w_2 、 w_3 分别为单神经元的 3 个输入的权值; K 为神经元的比例系数。

比较式 (2) 和式 (3) 可以看出: 式 (3) 值的 3 个权值分别乘以比例系数 K 后, 得到的数值分别对应着式 (2) 中常规数字 PID 的比例系数 K_p 、积分系数 K_i 、和微分系数 K_D 。区别是: 在常规的数字 PID 控制算法中, 针对特定的对象, 3 个控制参数一旦整定完成后就不再改变, 当被控对象特性确定时可以获得很好的控制效果。但对于大多数的工业被控对象, 其特性都是时变不确定的, 且存在一定的滞后量和各种干扰量影响, 算法无法自适应调整控制参数来克服被控对象的特性变化和干扰对控制效果的不利影响, 从而导致了长时间的超调和振荡, 难以实现有效的平稳控制。

单神经元 PID 控制算法结合常规 PID 算法的简易性和单神经元自学习、自组织的优点, 针对被控对象特性的变化自适应调整比例系数 K_p 、积分系数 K_i 和微分系数 K_D 这 3 个控制参数, 本质上是一种自适应 PID 控制。

单神经元的学习规则主要有 3 种: 无监督的 Hebb

学习规则、有监督的 Delta 学习规则和有监督的 Hebb 学习规则。本文采用的是最后一种学习规则。其权系数的规范化学习算法为:

$$\begin{cases} w_1(k) = w_1(k-1) + \eta_p z(k) u(k) x_1(k); \\ w_2(k) = w_2(k-1) + \eta_i z(k) u(k) x_2(k); \\ w_3(k) = w_3(k-1) + \eta_D z(k) u(k) x_3(k). \end{cases} \quad (4)$$

$$w'_i(k) = \frac{w_i(k)}{\sum_1^3 w_i(k)}, \quad (5)$$

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_1^3 w'_i(k) x_i(k). \quad (6)$$

式中: $x_1(k) = e(k) - e(k-1)$; $x_2(k) = e(k)$;

$$x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2); z(k) = e(k);$$

$w_1(k)$ 、 $w_2(k)$ 、 $w_3(k)$ 是单神经元比例、积分、微分这 3 个输入的权系数;

η_p 、 η_i 、 η_D 为 3 个权值的学习率, 以实现不同的权系数分别进行学习调整。

控制增量的值只和 3 个权值的归一化量有关。仿真^[3]表明: 在规范化的算法中, 权系数和学习率均可在较大范围内方便选定。

单神经元 PID 算法中的权系数和学习率由使用者根据不同的被控对象选定, 比例系数 K 值的选取对控制性能影响很大, 同时影响着动态响应和稳定性。

2 自适应 PSD^[4]

由 Marisk 和 Strejec 提出的无辨识的自适应控制算法 PSD 可以用于单神经元 PID 中比例系数 K 值的在线调整, 从而构成了增益自适应的单神经元 PID 控制器, 其算法简单且易于实现。

结合 PSD 算法后, 式 (6) 中的定值 K 由变量 $K(k)$ 代替。 $K(k)$ 的 PSD 自适应在线调整算法如下:

当 $\text{sign}e(k) = \text{sign}e(k-1)$ 时:

$$K(k) = K(k-1) + c * K(k-1) / T_v(k-1); \quad (7)$$

当 $\text{sign}e(k) \neq \text{sign}e(k-1)$ 时:

$$K(k) = 0.75K(k-1). \quad (8)$$

其中:

$$T_v(k) = T_v(k-1) + L * \text{sign}[|\Delta e(k)| - T_v(k-1) |\Delta^2 e(k)|]; \quad (9)$$

$$0.025 \leq c \leq 0.05; 0.05 \leq L \leq 0.1;$$

$$\Delta e(k) = x_1(k) = e(k) - e(k-1);$$

$$\Delta^2 e(k) = x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2).$$

引入 PSD 自适应算法对 K 值进行在线调整后, K 值可以自适应改变大小来改善控制性能。当误差 $e(k)$ 较大时, K 值能逐渐增大, 使得误差能够迅速减小; 当误差值变号时, 即系统刚刚出现超调时, K 值衰减为前一时刻的 0.75 倍, 以抑制超调量的增大, 从而使得算法的控制效果、自学习、自组织能力和鲁棒性都比一般的单神经元控制算法有所提高。

何继爱^[5]等人利用此算法实现了对一个无干扰小滞后量离散对象的仿真控制, 获得了较好的控制效果。但是, 应用此算法对实际工业对象(特别是时滞不确定对象)进行定值控制时, 由于各种噪声和干扰的影响, 误差是不可能为零的, 而是在零值附近反复波动。当波动较频繁时, 很可能使 K 值因频繁衰减为前一时刻的 0.75 倍而趋向于一个非常小的数值, 导致控制器无法保证一定的动态性能; 同时, 当时滞增大时, 可能会使 K 值被调整得过大。因此, 必须为 PSD 调整算法的加入设置一定条件, 以限定 K 值的调整范围。本文给出的解决办法是: 给 K 值设置一个下限值 K_{\min} ($K_{\min} > 0$) 和上限值 K_{\max} , 当 $K \leq K_{\min}$ 且 $\text{signe}(k) \neq \text{signe}(k-1)$ 时, 跳过式 (8) 的衰减运算和式 (9) 调整 $T_v(k)$ 的运算; 当 $K \geq K_{\max}$ 且 $\text{signe}(k) = \text{signe}(k-1)$, 则跳过式 (7) 增大 K 值运算和式 (9) 运算。这样, 既可以有效地限定 K 值的调整范围, 又能保证 PSD 算法的完整性不被破坏, 增强了控制算法在实际应用中的稳定性。

3 仿真研究

本文在 MATLAB/SIMULINK 下对增益自适应单神经元 PID 算法进行仿真研究, 所选被控对象为典型的二阶参数不确定滞后系统, 其传递函数为:

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)} e^{-\tau s}$$

其中: $T_1=0.714$, $T_2=0.056$, $K=1$, T_1 、 T_2 以及 K 均在各自给定值附近 10% 的范围内做周期性较缓慢变动, 滞后时间在 3~5 s 之间变动。

分别采用常规增量式数字 PID 和增益自适应单神经元 PID 算法对该对象实现控制, 采样时间为 $T=0.1$ s, 常规增量式数字 PID 的控制参数采用试凑法, 按照比例——积分——微分的顺序——整定为: $K_p=0.05$, $K_i=0.15$, $K_d=0.02$; 单神经元初值参照以上参数的比例分别定为: $w_1(0)=0.5$ 、 $w_2(0)=0.15$ 、 $w_3(0)=0.2$ 、 $K(0)=0.065$; 学习率分别为: $\eta_p=50$ 、 $\eta_i=15$ 、 $\eta_d=20$ 。自适应 PSD 算法的参数定为: $T_v(0)=0.01$, $c=L=0.05$, $K_{\min}=0.0002$, $K_{\max}=0.08$, 然后, 将滞后时间分别设置为 3 s、4 s 和 5 s, 给定输入量为 2, 并在 100 s 时加入外界干扰, 得到图 2~4 仿真结果。

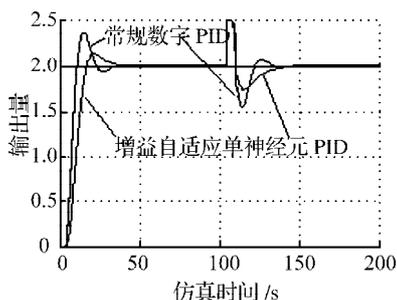


图2 滞后3 s时的控制效果

Fig. 2 The control effect when lag is 3 s

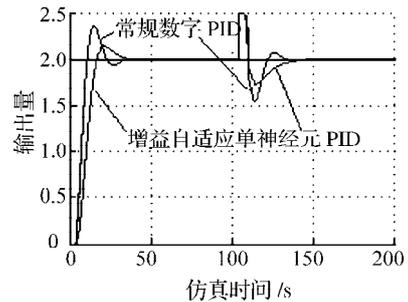


图3 滞后4 s时的控制效果

Fig. 3 The control effect when lag is 4 s

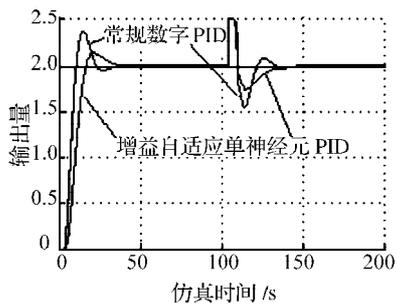


图4 滞后5 s时的控制效果

Fig. 4 The control effect when lag is 5 s

4 结论

由图 2~4 对比可知: 当滞后加大时, 增益自适应单神经元 PID 比常规数字 PID 超调小、无振荡, 能平稳地趋向设定值; 加入外界干扰后恢复曲线很平滑, 始终未发生振荡。与常规 PID 相比增益自适应单神经元 PID 算法更能克服系统滞后以及外界干扰的所带来的对控制性能的不利影响, 因此有着良好的动态性能和抗滞后、抗干扰性, 所以增益自适应单神经元 PID 是一种简单适用、具有较强的鲁棒性的算法, 并能很好地适应环境变化, 且参数整定比常规 PID 算法容易的多, 适合于对工业上典型的难建模的不确定滞后对象的平稳控制。

参考文献:

- [1] 韩江洪, 鲁照权, 陆阳. 滞后不确定系统控制[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2000, 23(1): 16-20.
- [2] 刘金琨. 先进PID控制及其MATLAB仿真[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2003: 153-162.
- [3] 贾立忠, 万迪光. 一种单神经元PID自适应控制的仿真研究[J]. 淮阴工学院学报, 2004, 13(2): 24-26.
- [4] Marsik J, Strejc V. Application of Identification free algorithms for adaptive control[J]. Automatic, 1989, 25(2): 273-277.
- [5] 何继爱, 黄智武, 田亚菲. 一种单神经元PID控制器[J]. 甘肃科学学报, 2004, 16(4): 70-73.