

改进单神经元自适应 PID 控制器应用于污水处理

刘喜梅, 郭 静

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院, 山东 青岛 266042)

摘 要: 结合无需辨识的自适应控制算法, 提出一种动态调整增益系数和自适应学习率的改进型单神经元 PID 控制策略, 进一步提高了控制器参数的自校正能力。利用 ActiveX 技术将改进型单神经元自适应 PID 控制算法封装在 ActiveX 控件中, 并设计 MFC 应用程序对污水处理过程溶解氧的控制进行仿真。结果表明, 改进型单神经元 PID 与改进前的单神经元 PID 控制方法相比, 具有更好的自适应性和更强的鲁棒性。

关键词: ActiveX 控件; 单神经元; PID

中图分类号: TP183

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)19-0089-03

Improved single neuron adaptive PID controller with application to wastewater treatment

LIU Xi-Mei, GUO Jing

(College of Automatic and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: An improved single neuron self-adaptive PID algorithm which combines the identification-free adaptive control algorithm and adjusts the gain coefficient and the learning rate dynamically is presented in this paper. The self-tuning capability of the controller parameter is extend further. An ActiveX control which contains the improved single neuron self-adaptive PID algorithm was developed using the ActiveX Technology, and a MFC application is designed for simulating the control of dissolved oxygen in wastewater treatment. The results showed that the improved single neuron self-adaptive PID, compared with the conventional single neuron PID control method, has better adaptability and greater robustness.

Key words: ActiveX control; single neuron; PID

传统的 PID 调节器具有结构简单、调整方便和参数整定与工程指标联系密切的优点, 在过程控制中获得了广泛的应用, 但算法参数整定困难, 且参数不具有自适应能力。很多学者提出了改进型 PID 控制算法, 赵建华、沈永良等人^[1]推导出一种自适应 PID 控制算法, 仿真结果表明控制算法的有效性。神经元作为构成神经网络的基本单位, 具有自学习和自适应能力, 结合神经元构成的控制系统算法简单、易实现。将神经元技术与传统 PID 控制相结合, 则可以在一定程度上解决传统 PID 控制器不易进行在线实时参数整定的问题^[2]。

但是当前神经元 PID 系统中, 对于最敏感的系数之一的增益系数只在初始时设定, 不具备在线调整功能, 学习速率一般是通过大量的仿真和实验得来, 在控制过程中保持不变, 这些都在一定程度上影响了控制效果。孙夏娜等^[3]将单神经元自适应模糊 PID 控制策略用于对主动悬架的控制。本文在参考文献^[4]的基础上将神经

元与无辨识自适应控制率结合起来, 提出一种改进型单神经元 PID 控制器, 在线调整增益系数和学习率, 进一步提高控制系统的鲁棒性和自适应能力。

在实际生产过程中, 复杂控制算法的复用性较差, 且不易在监控组态环境中直接实现。ActiveX 技术可以灵活、高效地应用于重入、重用、完全分布式、与语言无关的各种场合。ActiveX 技术扩充了监控组态软件的功能, 可以使监控组态软件完成复杂高级控制算法。本文将改进型单神经元自适应 PID 控制算法封装于 ActiveX 控件, 并将该控件应用于污水处理过程溶解氧的控制, 仿真结果表明了改进算法的有效性和实用性。

1 PID 控制器

1.1 单神经元 PID 控制器

由具有自学习和自适应能力的单神经元构成的单神经元自适应 PID 控制器, 结构简单, 能适应环境变化,

有较强的鲁棒性。神经元作为构成神经网络的基本单元,具有自学习和自适应的能力,而且易于计算。传统的PID调节器具有调整方便和参数整定与工程指标联系密切等特点^[2]。将两者结合,便可以在一定程度上解决传统PID调节器不易在线实时整定参数和难于对一些复杂过程和参数慢时变系统进行有效控制的不足。用神经元实现的自适应PID控制器结构框图如图1所示。

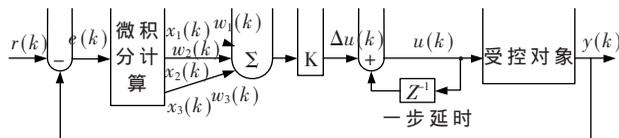


图1 单神经元自适应PID结构

其中微积分模块计算三个量:

$$\begin{cases} x_1(k) = e(k) \\ x_2(k) = \Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \\ x_3(k) = \Delta^2 e(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases} \quad (1)$$

使用改进的Hebb学习算法,三个权值的更新规则可以写成:

$$\begin{cases} w_1(k) = w_1(k-1) + \eta_p \cdot e(k) \cdot u(k) \cdot [e(k) - \Delta e(k)] \\ w_2(k) = w_2(k-1) + \eta_i \cdot e(k) \cdot u(k) \cdot [e(k) - \Delta e(k)] \\ w_3(k) = w_3(k-1) + \eta_d \cdot e(k) \cdot u(k) \cdot [e(k) - \Delta e(k)] \end{cases} \quad (2)$$

其中 η_p 、 η_i 、 η_d 分别为比例、积分、微分的学习速率。选择这三个权值变量为系统的状态变量,控制率可以写成:

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 w_i^0(k) x_i(k) \quad (3)$$

其中归一化权值

$$w_i^0(k) = \frac{w_i(k)}{\sum_{i=1}^3 |w_i(k)|} \quad (4)$$

K 为神经元的增益系数。 K 值越大,则快速性越好,但超调量大,甚至可能使系统不稳定。当被控对象时延增大时, K 值必须减小,以保证系统稳定。 K 值选择过小,会使系统的快速性变差。因此需要选择合适的 K 值,以获得良好的系统性能。

由式(1)可以看出各权系数的修正速度取决于各自的学习速率,目前所采用的神经元自适应PID控制器的学习速率是通过大量的仿真和实验得来,在控制过程中保持定值,这样便限制了控制器品质的进一步提高。对于神经元系统最敏感的增益系数也不具备在线学习自动调整功能,这样也一定程度上限制了控制效果。

1.2 改进型单神经元PID控制器

针对上述控制器的不足,结合Marsik、Strejc提出的无需辨识的自适应控制算法,动态调整增益系数,并且自调整学习率以进一步提高控制系统的鲁棒性和自适应能力。

Marsik和Strejc提出的无辨识自适应控制算法可描

述为:

$$\Delta u(k) = g(k)[e(k) + 2T_v(k)\Delta e(k) + 2T_v(k)\Delta^2 e(k)] \quad (5)$$

其中 $\Delta u(k)$ 为控制器的输出增量; $e(k)$ 、 $\Delta e(k)$ 、 $\Delta^2 e(k)$ 同式(1); $g(k)$ 为控制器增益; $T_v(k)$ 为控制器参数,它具有如下在线校正方法:

$$\Delta T_v(k) = L \operatorname{sgn}[|\Delta e(k)| - T_v(k-1)|\Delta^2 e(k)|] \quad (6)$$

其中, $0.025 \leq L \leq 0.1$ 。

$$g(k) = \begin{cases} cg(k-1) / T_v(k-1), & \operatorname{sgn}[e(k)] = \operatorname{sgn}[e(k-1)] \\ 0.75g(k-1), & \operatorname{sgn}[e(k)] \neq \operatorname{sgn}[e(k-1)] \end{cases} \quad (7)$$

其中, $0.025 \leq L \leq 0.05$ 。

上述控制器的自适应问题实质上是参数 $g(k)$ 、 $T_v(k)$ 在线校正问题,将无辨识自适应控制的参数 $g(k)$ 来代替神经元的增益系数 $K(k)$,用神经元学习获得的权值 w_i^0 直接代替式(5)中的 $2T_v(k)$ 、 $2T_v^2(k)$ 。

对于学习率的调节准则是:判断权值的修正是否使 $|e(k)|$ 降低,若 $|e(k)| < \alpha |e(k-1)|$ 且 $|\Delta e(k)| > \beta |\Delta e(k-1)|$,则学习速率乘以因子 $\lambda (\lambda > 1)$;若 $|e(k)| > e(k-1)$,则学习速率乘以一个因子 $\rho (\rho < 1)$ 。一般 $\alpha > 1$,仿真中取 $\alpha > 1.5$, $\beta = 0.5$, $\lambda = 1.05$, $\rho = 0.8$ 。由以上分析,将式(3)中的 K 根据式(7)的 $g(k)$ 在线调整,式(2)中的学习速率 η_p 、 η_i 、 η_d 根据上述调节规则在线调整,得到改进型单神经元PID控制策略。

2 控件设计

为了增强该算法的应用性,本文将其封装成ActiveX控件,使控制算法能重复使用于支持ActiveX的组态软件或者其他软件,实现在线控制或者仿真。ActiveX控件是一个软件组件,可以嵌入到许多不同的程序,并把它当作程序自身的一部分来使用。ActiveX控件具有可移植性、扩展性强、使用广等特点^[5]。本文在VS2005环境下,通过MFC ActiveX Control向导制作ActiveX控件,它为要创建的任何ActiveX控件建立一个外壳,生成所有的必要文件并配置项目,在编译项目时编译器就会建立一个ActiveX控件,它将生成OCX文件。

在控件中添加的接口属性包括周期、期望输出、反馈输入、控制器各种参数等;事件包括控制器输出超出上限、超出下限,反馈输入超出上限、超出下限,方法包括控制器输出清零。

在CPidctrl类中实现增量式PID和神经元PID控制算法。添加WM_TIMER消息,取周期属性的值设置定时器,在OnTimer函数中判断ControlFlag的值,它会随着用户属性页中选择所需控制器类型改变而改变。添加WM_CREATE消息,在响应函数中动态添加“启动”、“设置”按钮,分别用来启动控制器和弹出属性设置画面。在OnDraw函数中绘制控件外观,显示当前期望输出、反馈输入、控制器输出等过程量和运行、控制器输出超限等标志。

《微型机与应用》2010年第29卷第19期

3 ActiveX 控件应用实例

将此控件应用于污水处理过程 DO(溶解氧)浓度的控制。典型的污水处理过程见图 2。

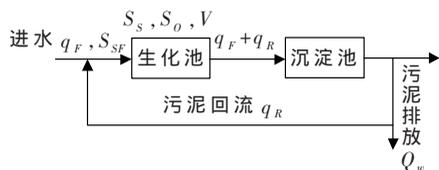


图 2 污水生化处理过程

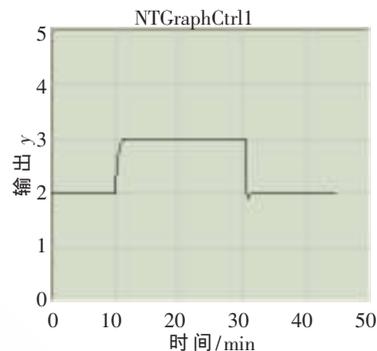
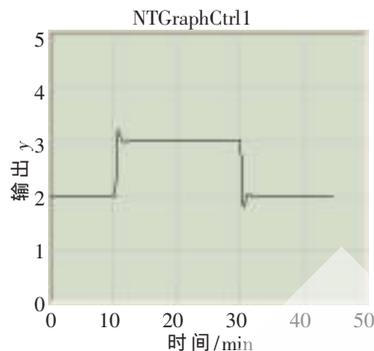


图 3 改进前单神经元 PID 仿真结果 图 4 改进后单神经元 PID 仿真结果

其中 q_F 、 S_{SF} 分别为进水流量和进水底物浓度； S_S 、 S_O 、 V 分别是生化池的底物浓度、溶解氧浓度和体积； q_R 为污泥回流量。

典型的活性污泥污水处理模型可描述为：

$$\frac{dS_S}{dt} = \frac{q_F}{V}(S_{SF} - S_S) - \frac{\hat{\mu}_H}{Y_H} \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + (1 - f_p) b_H X_H$$

$$\frac{dS_O}{dt} = \frac{q_F}{V} S_{OF} - \frac{q_F + q_R}{V} S_O - \frac{Y_H - 1}{Y_H} \hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) + a \left(1 - e^{-\frac{q_A}{b}} \right)$$

其中控制变量 q_A 为空气流量。其他参数请参考文献[6]。

将上述微分方程进行线性化,可得到线性状态方程:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} -170.6 & -18.6 \\ -66.6 & -69.5 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 49.0 \end{pmatrix} u$$

其中, $y = (0 \ 1)x$, $u = q_A - 6.3$ 。

设计 MFC 应用程序对溶解氧控制过程进行仿真,用封装了改进型单神经元 PID 控制策略的 ActiveX 控件作为控制器。程序中添加了绘图控件 NTGraphCtrl,以直观地显示被控系统的响应曲线。

改进前的单神经元 PID 控制策略使用的学习率 $\eta_p = 1.4$, $\eta_i = 1.35$, $\eta_d = 1.2$, 增益系数 $K = 2$ 。改进后的单神经元 PID 控制器学习率和增益系数的初始值与改进前的相同。仿真结果如图 3、图 4 所示。由以上的仿真结果可以看出,改进前单神经元 PID 控制的仿真曲线超调为 6.8%,而改进型的单神经元 PID 调节器控制的仿真曲线可以达到基本无超调,具有更好的控制性能。经过大量的仿真实验发现,单神经元 PID 控制器在参数设置合适时控制效果比较理想,但是对参数的要求比较敏感,而改进型神经元 PID 控制器的参数具有自调整特性,表现出更强的自适应性和鲁棒性。

本文结合无需辨识的自适应控制算法,提出一种动态调整增益系数和自适应学习率的改进型单神经元 PID 控制策略,并利用 ActiveX 技术将改进型单神经元自适应 PID 控制算法封装在 ActiveX 控件中,使控制算法能方便地重复应用于支持 ActiveX 的组态软件以及其他支持 ActiveX 控件的应用软件。在 VS2005 环境下,设计了 MFC

应用程序,对污水处理过程溶解氧的控制进行仿真。结果表明,改进型单神经元 PID 与未改进单神经元 PID 控制方法相比,具有更好的自适应性和更强的鲁棒性。开发的 ActiveX 控件可重复利用,具有良好的实用价值。

参考文献

- [1] 赵建华,沈永良.一种自适应 PID 控制算法[J].自动化学报,2001,27(2):417-420.
- [2] 刘金琨.先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [3] 孙夏娜,余群明.主动悬架单神经元模糊 PID 控制策略与仿真[J].系统仿真学报,2009,21(8):2165-2168.
- [4] 罗文广,覃伟年.单神经元无辨识自适应预估控制算法及在过热汽温控制中的仿真研究[J].中国电机工程学报,2005,25(2):103-108.
- [5] 费春国,白瑞祥.模糊自适应 PID 控制及控件实现[J].化工自动化及仪表,2003,30(2):53-55.
- [6] 乌尔松 G,纽厄尔 B.污水处理系统的建模诊断和控制[M].高景峰,彭永臻,译.北京:化学工业出版社,2005.
- [7] WEI Tao, ZHANG Shun Yi. Active queue management based on single neural adaptive PID Algorithm. International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008:923-926.
- [8] OMATU S, FUJINAKA T. Neuron-PID control for inverted single and double pendulums. Energy Conversion and Management, 2004,45(15):2405-2415.
- [9] QIAO Jun Fei, HAN Hong Gui. A new growing selforganizing neuron-fuzzy network with application to wastewater treatment. 2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems.
- [10] 贾立,陶鹏业.基于模糊神经模型的自适应单神经元控制系统设计[J].华东理工大学学报,2008,34(1):135-140.

(收稿日期:2010-04-12)

作者简介:

刘喜梅,女,1961年生,教授,博士,主要研究方向:智能控制、复杂系统的建模及优化控制、软测量技术。

郭静,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:智能控制、计算机软件编程。