

基于BP神经网络的生化分析仪的温度控制

孙 久

(盐城工学院 远程教育学院, 江苏 盐城 224051)

摘要:对生化分析仪的硬件和软件进行了研究,针对常规PID控制参数在温度控制中难以达到最优,利用BP神经网络对PID控制参数进行学习调整以达到最优。实验结果表明BP神经网络自学习PID参数具有较好的性能。

关键词:生化分析仪;BP神经网络;比例-积分-微分控制器;温度控制

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2009)04-0048-04

生化分析仪在临床分析方面主要用来对人的血液和其他体液中的各种生化指标如血红蛋白、胆固醇、转氨酶、葡萄糖、淀粉酶、尿素氮、白蛋白、无机磷、尿酸、钙等进行分析。由于生化分析仪可以给医生提供受检者的综合信息,近些年来,生化分析仪成为临床分析最重要的检验仪器之一^[1]。长春光学精密机械与物理研究所将紫外平场分光技术用于生化分析仪,提出PID与PWM相结合温度控制系统和液路控制系统方案,解决全自动生化分析仪快速测试和精确定位等难题^[2]。中国海洋大学独立研发将生物技术与机电控制技术有机融合,集生物技术、机械设计、精密仪器、工业控制、电机技术、传感技术、通讯技术、计算机技术于一体的船载型机电一体化自动化分析仪工作站^[3-4]。

温度控制是生化分析仪的关键技术之一,目前国内生化分析仪通常采用常规PID达到对温度控制的目的,但常规PID控制参数在温度控制中难以达到最优。本文利用BP神经网络所具有的任意非线性表示能力,通过对PID参数的学习达到最优的PID参数组合。

1 生化分析仪的硬件结构

生化分析仪的主机是用来实现检测与控制的核⼼,包括人机交互、信号检测、数据传送、控制输出等,其具体需要实现的功能如下:

- (1) LCD 中文显示;
- (2) 键盘输入;
- (3) 恒温控制,温度控制执行器件是帕尔贴;
- (4) 内置打印机的控制;
- (5) 蠕动泵和光栅执行电机的控制;
- (6) 光信号的检测与放大条理电路;
- (7) 检测数据的存储;
- (8) 与上位机的通讯。

分析了生化分析仪要实现的功能,确定出生化分析仪的硬件结构如图1所示。

生化分析仪的主控芯片采用 Philips 公司生产的 P89C669 单片机,它是基于增强型 51MX 内核的首类 Flash 微控制器代表,包含 96K 字节的 Flash 程序存储器、2K 字节的数据 SRAM、1 个可编程计数器阵列 (PCA)、可配置成不同时间范围的看门狗定时器 (通过 SFR 的位设置)、2 个增强型 UART 串行口以及字节型 I2C 总线串行接口。

2 生化分析仪的软件结构

系统能否很好的工作,一方面要看其硬件设计的合理性和可靠性,另一方面要看其软件系统是否能够可靠运行。软件编写所要遵循的一个重要原则,就是软件要最大限度地与硬件配合。系统控制软件是实现实时控制的核心,合理的软件结构是设计出一个性能优良的单片机应用系统的基础,它必须达到以下基本要求:易理解性、易维

收稿日期:2009-02-19

作者简介:孙久(1980-),男,江苏盐城人,助教,北京工业大学在读硕士,主要研究方向为模式识别和计算机网络。

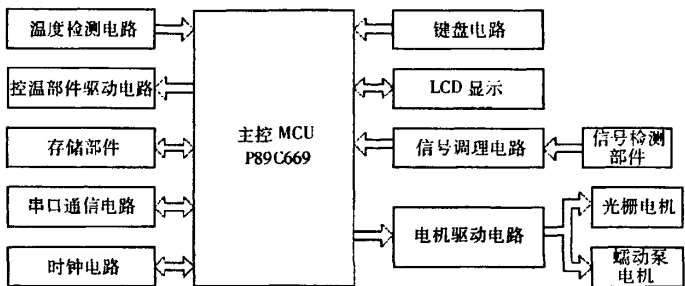


图 1 生化分析仪的硬件结构
Fig. 1 The hardware structure of Biochemical analyzer

护性、实时性、可测试性、准确性和可靠性^[5-7]。
主程序实现数据采集、处理、存储,生化过程检测控制,测量结果显示,数据查询和打印等功能。本仪器系统开机先执行初始化子程序,进入检测初始化页面,然后根据按键处理或页面跳转条件进入不同的操作流程,执行相应的操作。软件设计的整体框图如图 2 所示。

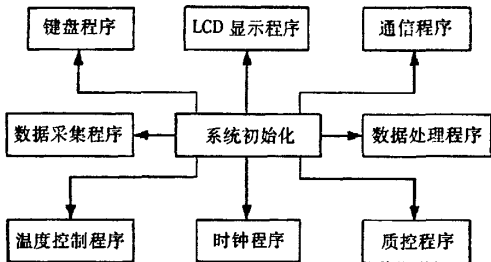


图 2 生化分析仪的软件结构
Fig. 2 The software structure of Biochemical analyzer

3 BP 神经网络自学习 PID 控制器

PID 控制要取得好的控制效果,就必须对比例、积分和微分三种控制作用进行调整以形成相互配合又相互制约的关系,这种关系不是简单的“线性组合”,可从变化无穷的非线性组合中找出最佳的关系。神经网络所具有的任意非线性表示能力,可以通过对系统性能的学习来实现具有最佳组合的 PID 控制。本文应用的 BP 神经网络 PID 控制系统结构如图 3 所示。

PID 控制器由两个部分组成:①经典的 PID 控制器:直接对被控对象进行闭环控制,并且 K_p , K_i , K_d 三个参数为在线整定;②BP 神经网络(如

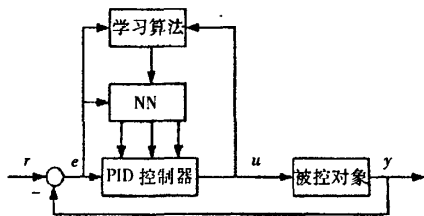


图 3 基于 BP 神经网络的 PID 控制系统
Fig. 3 PID control system based on BP neural network

图 4):根据系统的运行状态,调节 PID 控制器的参数,以期达到某种性能指标的最优化,即使输出层神经元的输出状态对应于 PID 控制器的三个可调参数 K_p , K_i , K_d ,通过 BP 神经网络的自学习、调整权系数,从而使其稳定状态对应于某种最优控制律下的 PID 控制器参数^[8-11]。

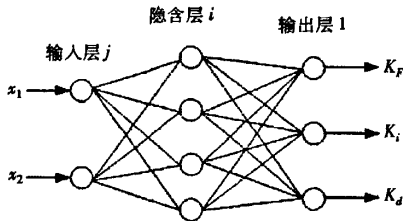


图 4 BP 神经网络结构
Fig. 4 The structure of BP neural network

经典增量式数字 PID 的控制算法为
$$u(k) = u(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

控制器采用三层 BP 网络:
输入层 输出节点: $o_j^{(1)} = x_j (j = 1, 2) \quad (2)$

隐含层 输入节点: $I_i^{(2)}(k) = \sum_{j=1}^4 W_{ij}^{(2)} \cdot$

$$O_j^{(1)} (i = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

$$\text{输出节点: } o_i^{(2)}(k) = f(I_i^{(2)}(k)) \quad (4)$$

隐含层神经元的活化函数取正负对称的 Sigmoid 函数:

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)} \quad (5)$$

输出层 输入节点:

$$I_i^{(3)}(k) = \sum_{l=1}^4 W_{li}^{(2)} \cdot O_l^{(1)}(k) (l = 1, 2, 3) \quad (6)$$

$$\text{输出节点: } o_i^{(3)}(k) = g(I_i^{(3)}(k)) \quad (7)$$

$$\text{即: } o^{(3)}_1(k) = K_p, o^{(3)}_2(k) = K_i,$$

$$o^{(3)}_3(k) = K_d \quad (8)$$

由于输出层对应的 3 个可调参数, K_p, K_i, K_d 不能为负值, 所以输出层神经元活化函数取非负的 Sigmoid 函数为:

$$g(x) = \frac{1}{2}(1 + \tanh(x)) = \frac{\exp(x)}{\exp(x) + \exp(-x)} \quad (9)$$

$$\text{取性能指标函数为 } E(k) = (r_{in}(k) - y_{out}(k))^2/2 \quad (10)$$

按梯度下降法修正网络的权系数, 并附加使搜索快速收敛全局极小的惯性项:

$$\Delta W_{li}^{(3)}(k) = -\eta \frac{\partial E(k)}{\partial W_{li}^{(3)}} + \alpha \Delta W_{li}^{(3)}(k-1) \quad (11)$$

式中, η 为学习速率; α 为惯性系数。

$$\frac{\partial E(k)}{\partial W_{li}^{(3)}} = \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \cdot$$

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial O_i^{(3)}(k)} \cdot \frac{\partial O_i^{(3)}(k)}{\partial I_i^{(3)}(k)} \cdot \frac{\partial I_i^{(3)}(k)}{\partial W_{li}^{(3)}(k)}$$

(5-17)

$$\text{式中, } \partial I_i^{(3)}(k) / \partial W_{li}^{(3)}(k) = o_i^{(2)}(k) \quad (12)$$

由于 $\partial y(k) / \partial u(k)$ 未知, 故近似用符号函数 $\text{sgn}(\partial y(k) / \partial u(k))$ 取代, 所带来计算不精确的影响可通过调整学习速率 η 来补偿, 由式(1)和式(8)可得:

$$\frac{\partial u(k)}{\partial o_1^{(3)}(k)} = e(k) - e(k-1),$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial o_2^{(3)}(k)} = e(k),$$

$$\frac{\partial u(k)}{\partial o_3^{(3)}(k)} = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \quad (13)$$

网络输出层权系数的学习算法为:

$$\Delta W_{li}^{(3)}(k) = \alpha \Delta W_{li}^{(3)}(k-1) + \eta \delta_i^{(3)} o_i^{(2)}(k) \quad (14)$$

$$\delta_i^{(3)} = e(k) \text{sgn}\left(\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)}\right) \cdot \frac{\partial u(k)}{\partial O_i^{(3)}(k)} \cdot g'(I_i^{(3)}(k))$$

$$(l = 1, 2, 3) \quad (15)$$

同理, 可得隐含层加权系数的学习算法为:

$$\Delta W_{ij}^{(2)}(k) = \alpha \Delta W_{ij}^{(2)}(k-1) + \eta \delta_i^{(2)} o_j^{(1)} \quad (16)$$

$$\delta_i^{(2)} = f'(I_i^{(2)}(k)) \sum \delta_l^{(3)} W_{li}^{(3)}(k) \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (17)$$

式中,

$$g'(\cdot) = g(x)(1 - g(x)),$$

$$f'(\cdot) = (1 - f^2 9x)) / 2 \quad (18)$$

上述 BP 神经网络参数自整定 PID 控制算法, 采用经验法整定的 PID 参数, 经过 t_s 时间的学习后切换到神经网络 PID 控制, t_s 根据系统模型的特点来选择。

4 实验结果

温度控制是在 Matlab7.0 软件环境下进行的仿真。针对比色皿的温度特性, 经实验确定 $k = 0.5, \tau = 5 \text{ s}, T = 10 \text{ s}$, 系统设定的温度为 37°C , 本文对常规 PID 控制和 BP 神经网络参数自学习 PID 控制两种算法进行对比仿真实验^[9-11], 比较它们对阶跃信号的响应结果。

图 5 是常规 PID 控制器仿真图, 系统存在超调, 超调量为 14%、存在振荡、调节时间为 22 s; 图 6 是神经网络参数自学习 PID 控制器仿真图, 系统无超调、无静差、无振荡, 温度调节时间为 12 s。从性能指标上看, BP 神经网络参数自学习 PID 控制器与常规 PID 控制相比具有较好的性能。

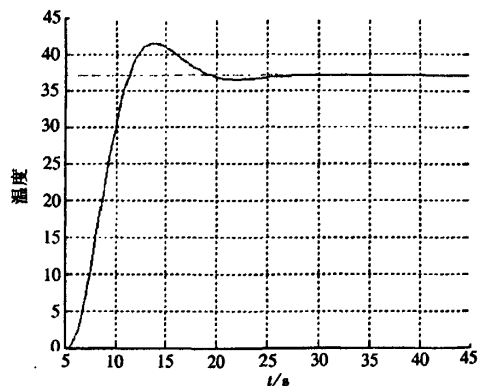


图 5 常规 PID 控制阶跃响应

Fig. 5 Step Response is controlled by regular PID

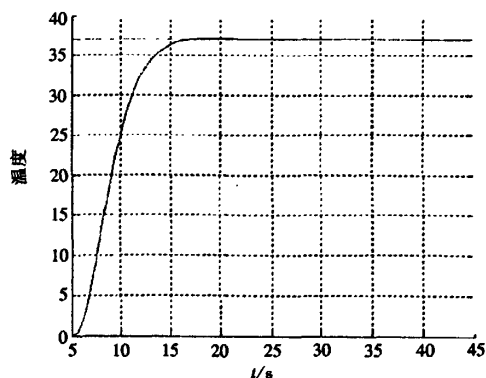


图6 BP神经网络参数自学习PID控制阶跃响应

Fig.6 Step Response is controlled by PID
based on BP neural network

5 结论

本文利用BP神经网络对生化分析仪的温度控制PID参数进行学习,通过系统仿真实验分析和比较了常规PID控制和BP神经网络参数自学习PID控制两种算法对阶跃信号的响应结果,实验结果表明BP神经网络参数自学习PID控制器与常规PID控制相比具有较好的性能。

参考文献:

- [1] 张玉海. 新型医用检验仪器原理与维修[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [2] 谭洪学,刘伟,唐玉国. 全自动生化分析仪控制软件设计[J]. 云南大学学报:自然科学版,2004,26(6A):116-120.
- [3] 姚鹏,于志刚,米铁柱. 海洋浮游藻的化学分类法[J]. 海洋环境科学,2003,22(1):75-80.
- [4] 苏德胜,王树杰,庄森. 赤潮藻自动分析仪与预处理装置的研究[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2004,40:722-726.
- [5] 何立民. 单片机应用系统设计·系统配置与接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1990.
- [6] 张友德. 单片微型机原理、应用与试验[M]. 上海:复旦大学出版社,1992.
- [7] 潘新民. 单片微型计算机实用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- [8] 郭前岗. 一种新型神经网络结果的PID控制器及其仿真研究[J]. 西北轻工业学报,1998,9(3):108-113.
- [9] 欧阳黎明. MATLAB控制系统设计[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [10] 刘金硯. 先进PID控制MATLAB仿真[M]. 第二版. 北京:电子工业出版社,2004.
- [11] 飞思科技产品开发中心. MATLAB6.5辅助神经网络分析与设计[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

Temperature Control of Biochemical Analyzer Based on BP Neural Network

SUN Jiu

(School of Distance Education Yancheng Institute of technology, Jiangsu Yancheng 224051, China)

Abstract: Hardware and software of biochemical analyzer are researched. The parameter of regular PID are difficult to be optimized in the temperature control. To solving it, the parameters of PID are studied by BP neural network. Experiments results indicate that the proposed method has good performance.

Keywords: Biochemical analyzer; BP neural network; PID Controller; temperature control

(责任编辑:张英健;校对:沈建新)