

基于神经元 PID 优化算法的智能温度控制系统研究

Research on the Intelligent Temperature Control System Based on Improved Neuron PID algorithm

(湖南信息职业技术学院) 朱 理
ZHU Li

摘要: 由于常规 PID 控制对非线性、动态变化系统的控制能力不理想,提出了一种基于神经元 PID 控制的单片机智能温度控制系统。与传统的 PID 控制方案相比,其控制精度有了很大的提高,系统响应速度快,超调量小。实验证明了该方法的可行性和有效性,同时便于实现数字化控制,具有控制准确、操作简单、故障率低等优点,具有极好的市场应用前景。

关键词: 神经元 PID 控制; 温度控制; 单片机

中图分类号: TP273

文献标识码: B

Abstract: Due to the conventional PID depending on the exact model and lack of control of nonlinear, dynamic changes in the control system, a neuron PID control of single-chip intelligent temperature control system is presented. Compared to the traditional PID control, applying the novel strategy, the accuracy has been greatly improved with fast response and small overshoot. Experiments show that the method is feasible and effective, at the same time to facilitate the realization of digital control, with excellent prospects. With the advantages in simple operation and low failure rate, the new control system has an excellent application and great market potential.

Key words: Neuron PID control; Temperature Control System; Single-chip

1 引言

目前工业生产过程中,系统的温度成为了一个关键的参数,因此如何控制好系统的温度变化对生产至关重要。但是对于温度控制对象如加热炉、反应炉、热处理炉等具有非线性、强耦合、时变、时滞等特征,其数学模型难以描述和建立,常规 PID 虽具有鲁棒性好、结构简单、易于实现等优点,但是对于受控对象的数学模型是非线性、大滞后、动态变化时,将很难达到理想的控制效果,具有调节时间长、参数整定困难、超调量大等缺点。本文以 MCS-51 以为核心,运用神经元 PID 的自适应调整能力,构建了以神经元 PID 控制器为核心的智能温度检测控制系统。对传统的神经元 PID 算法进行了优化设计,采用神经元控制的方法实现 PID 参数的在线自整定,不仅保持了常规 PID 控制系统原理简单、使用方便、鲁棒性好等优点,而且具有更大的灵活性、适应性,控制精度更高。实验结果表明,采用本文提出的智能控制方案,与常规的 PID 控制器相比,超调小,稳定性且很好的跟随温度指令。同时系统采用广泛使用的 MCS-51 单片机进行炉温控制,具有电路设计简单、精度和可靠性高等优点,对提高生产效率有极大的应用价值。

2 系统硬件构成

本系统由单片机是 MCS-51、电源电路、温度检测电路、键盘及故障指示电路、时钟电路、温度控制电路等部分组成。系统中采用了智能控制算法,功能强、精度高、硬件电路简单。其硬件原理图如图 1 所示。

2.1 温度检测和传感变送电路

温度检测元件和变送器的类型选择与被控温度的范围和

精度等级有关。镍铬/镍铝热电偶适用于 0°C – 1000°C 的温度检测范围,相应输出电压为 0mV – 41.32mV 。变送器由毫伏变送器和电流/电压变送器组成:毫伏变送器用于把热电偶输出的 0mV – 41.32mV 变换成 4mA – 20mA 的电流;电流/电压变送器用于把毫伏变送器输出的 4mA – 20mA 电流变换成 0 – 5V 的电压。

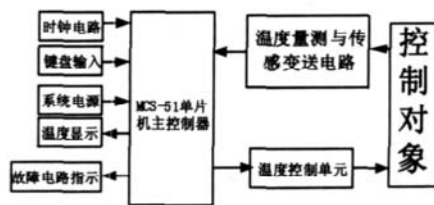


图1 基于神经元PID控制的智能温度控制系统

2.2 接口电路

接口电路采用 MCS-51 系列单片机 8051,外围扩展并行接口 8155, 程序存储器 EPROM2764, 模数转换器 ADC0809 等芯片。8155 用作键盘/LED 显示器接口电路,分成六行(L0–L5)五列(R0–R4),只要某键被按下,相应的行线和列线才会接通。

2.3 温度控制电路



图2 温度控制原理图

单片机 8051 对温度的控制是通过双向可控硅实现的。如图 2 所示,双向可控硅管和加热丝串接在交流 220V 、 50Hz 市电回路。在给定周期 T 内,8051 只要改变可控硅管的接通时间即可改变加热丝的功率,以达到调节温度的目的。可控硅接通时间可以通过可控硅控制极上触发脉冲控制。该触发脉冲由 8051

朱 理: 讲师

用软件在 P1.3 引脚上产生,在过零同步脉冲同步后经光电耦合管和驱动器输出送到可控硅的控制极上。

3 温度控制算法设计

3.1 有监督的 Hebb 学习算法的单神经元 PID 温度控制器

系统要求温度控制动态性能好,稳态精度高,但被控对象在各种扰动下会造成系统存在参数时变和负载扰动等被控对象的非线性特性等不确定因素。因此理想的控制策略不仅要求能满足上述动态和静态性能,而且还应该具有抑制各种非线性因素对系统的影响。使用传统的控制算法 PID 是很能满足上述要求的。近年来,神经网络的研究引起了控制界的高度重视,而单神经元是最基本的控制部件,它只有一个神经元,结构简单,学习过程比较快,又具有神经网络的信息综合、学习记忆和自适应能力,表现出良好的自适应性和鲁棒性。本设计中采用单神经元 PID 温度调节器的设计方法。图 3 为神经元 PID 控制系统框图。图中转换器的输入反映被控过程及控制设定的状态, r 为设定值, y 为实际输出, e 为系统误差,经转换器转换成神经元学习控制所需要的状态量 x_1, x_2, x_3 , 这里 $x_1(k) = e(k) - e(k-1)$, $x_2(k) = e(k)$, $x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)$, $w_i(k)$ 为对应于 $x_i(k)$ 的加权系数, k 为神经元的比例系数,或称增益,且 $k > 0$ 。神经元通过关联搜索来产生控制信号,即:

$$\Delta u(k) = K \sum_{i=1}^3 w_i(k) x_i(k) \quad (3.1)$$

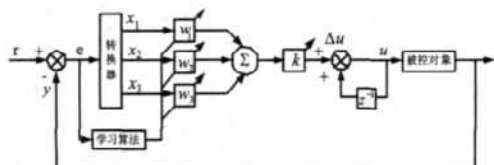


图 3 神经元 PID 控制系统框图

神经元 PID 控制器通过对加权系数的调整来实现自适应、自组织功能,加权系数的调整采用有监督的 Hebb 学习算法,它与神经元的输入、输出和输出偏差三者的相关函数有关,即:

$$w_i(k+1) = (1-c)w_i(k) + \eta r_i(k), r_i(k) = e(k)u(k)x_i(k) \quad (3.2)$$

式中, $r_i(k)$ —递进信号,且随过程逐渐衰减, $e(k)$ —系统误差, η —学习速率,且 $\eta > 0$, c —常数,且 $c \geq 0$ 。整理可得:

$$w_i(k+1) = (1-c)w_i(k) + \eta e(k)u(k)x_i(k) \quad (3.3)$$

$$\Delta w_i(k) = -c[w_i(k) - \frac{\eta}{c}e(k)u(k)x_i(k)] \quad (3.4)$$

其中, $\Delta w_i(k) = w_i(k+1) - w_i(k)$, 如果存在一函数

$f_i(w_i(k), e(k), u(k), x_i(k))$, 有

$$\frac{\partial f_i}{\partial w_i} = w_i(k) - \frac{\eta}{c}e(k)u(k)x_i(k) \quad (3.5)$$

则式(3.5)可写为

$$\Delta w_i(k) = -c \frac{\partial f_i(\bullet)}{\partial w_i(k)} \quad (3.6)$$

上式表明:加权系数 $w_i(k)$ 的修正按函数 $f(\bullet)$ 对应于 $w_i(k)$ 的负梯度方向进行搜索。应用随机逼近理论可以证明:当 c 充分小时,使用上述学习算法, $w_i(k)$ 可收敛到某一稳定值 w_i^* , 且与期望值的偏差在允许范围内。对上述学习算法进行规范化处理后可得:

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 w'_i(k) x_i(k) \\ w'_i(k) &= w_i(k) / \sum_{i=1}^3 |w_i(k)| \quad i=1, 2, 3 \\ w_1(k+1) &= w_1(k) + \eta_p e(k) u(k) x_1(k) \\ w_2(k+1) &= w_2(k) + \eta_p e(k) u(k) x_2(k) \\ w_3(k+1) &= w_3(k) + \eta_p e(k) u(k) x_3(k) \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.2 改进的单神经元 PID 温度控制器

大量实践表明,神经元 PID 参数的在线学习主要与 $e(k)$ 和 $\Delta e(k)$ 有关。因此,可将神经元 PID 控制算法中的加权系数学习修正部分进行修改。即将其中的 $x_i(k)$ 改为 $e(k) + \Delta e(k)$, 改进后的算法如下:

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 w'_i(k) x_i(k) \\ w'_i(k) &= w_i(k) / \sum_{i=1}^3 |w_i(k)| \quad i=1, 2, 3 \\ w_1(k+1) &= w_1(k) + \eta_p e(k) u(k) [e(k) + \Delta e(k)] \\ w_2(k+1) &= w_2(k) + \eta_p e(k) u(k) [e(k) + \Delta e(k)] \\ w_3(k+1) &= w_3(k) + \eta_p e(k) u(k) [e(k) + \Delta e(k)] \end{aligned} \quad (3.8)$$

采用上述改进算法后,权系数的在线修正就不完全是根据神经网络学习原理,而是参考实际经验制定的。

由式(3-8)可以看出,这种算法的结构比较简单,整个算法中需要调整的参数比较少,权值的调整算法也比较简单,只用计算加法和乘法,并且计算量不大,利用 MCS-51 单片机完全可以实现。

4 系统软件设计

温度控制程序的设计应考虑如下:1)键盘扫描、键码识别和温度显示;2)温度采样、信号数字滤波;3)数据处理;4)越限报警和处理;5)神经元 PID 算法运算、温度标度转换。

4.1 主程序框图

主程序包括 MCS-51 本身的初始化、并行接口 8155 初始化等等。总体说来,本程序包括设置有关标志、暂存单元和显示缓冲区清零、T0 初始化、CPU 开中断、温度显示和键盘扫描等程序。

4.2 中断服务程序

T0 中断服务程序是温度控制系统的主体程序,用于启动数/模转换器、读入采样数据、数字滤波、越限温度报警和越限处理、神经元 PID 计算和输出可控硅的导通角调节等。单片机引脚上输出的该同步触发脉冲宽度由 T1 计数器的溢出中断控制,8051 利用等待 T1 溢出中断的空闲时间完成把本次采样值转换成显示值而放入显示单元缓冲区和调用温度显示程序,8051 从 T1 中断服务程序返回后即可恢复现场和返回主程序。其整个流程如下图所示:

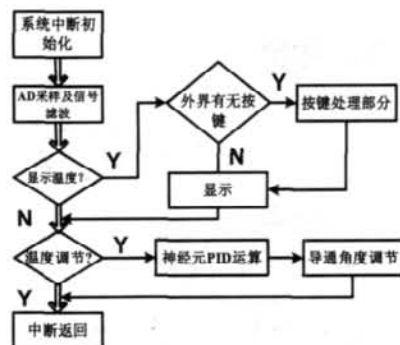


图 4 中断控制程序框图

4.3 主要子服务程序

主要服务子程序包括温度检测采样及数字滤波子程序、带符号双字节乘法子程序和标度转换子程序目的是把实际采样取得的二进制值转换成 BCD 码形式的温度值,然后存放到显示缓冲区中,供显示子程序调用。

(下转第 52 页)

在大多数的应用中,电流通过有效导线和电极穿过病人,再由病人极板及其导线返回高频电刀的发生器。

2. 双极模式

双极电凝是通过双极镊子的两个尖端向机体组织提供高频电能,来达到凝固组织的目的。它的作用范围只限于镊子两端之间,对机体组织的损伤程度和影响范围远比单极方式要小得多。

高频电刀能输出各种不同波形的高频电流。当高频电流波形发生改变时,电流对组织的切割效果也会发生变化。

1. 当高频电刀能输出固定的高频电流对应“电切”状态,高频电刀瞬时产生大量的热量,这种热量能够使细胞汽化并切割组织。

2. 当我们使电刀输出一种周期性的高频电流时对应“电凝”状态,这种电流的波形在单位时间产生的热量较少,因此与使细胞汽化效应不同的是,组织烧糊即呈现出电凝的效果。

3. 当高频电刀输出一种介于“电切”和“电凝”之间的混合波形时,高频电流对人体组织的热效应也介于“电切”和“电凝”之间。如图 5 所示。

设计完成的高频电刀能完成单极电切、单极柔和电凝、单极强力电凝、双极电凝、自动双极电凝、等、混切等功能,主程序流程图如图 6 所示。

7 结束语

本文所设计高频电刀已经投入使用,采用单片计算机作为高频电刀的中心控制器,完成输出功率的设置与调节,各种参数的设置与显示等其他控制与计算功能。通过 PWM 脉冲控制步进电机技术,实现功率的精确调解,保证刀头输出功率恒定。采用电子管,工作频率为 4M 时,功率可达 150W,电路设计相对简单。实验表明,该高频性能完全可以和进口的先进电刀媲美,而生产成本则大为降低。但仍需在性能、安全及人机化方面做了很多改进工作,以达到国外最先进技术水平,适应国际化的要求。

本文创新点:

电路中采用大功率电子管、谐振式输出电路,电路简单、可靠。PWM 脉冲控制步进电机,进而精确控制可调电容的容值,保证刀头输出功率恒定。

本项目的经济效益:20 万元。

参考文献

- [1]Frain G, et al. Technology of APC with Particular Regard to Endoscopic Applications [J]. Endoscopic Surgery and Allied Technologies, 1994, 2(1):100
 - [2]徐正平,翟林培等. 基于 DDS 技术的高频正弦波发生器的设计[J]. 微计算机信息, 2009, 2-2:67-68
 - [3]田红芳,李颖宏等. 基于 DSP 实现的步进电机控制器的设计[J]. 微计算机信息, 2007, 1-2:223-224
 - [4]郑国川,李洪英. 常用电子管应用手册[M]. 福建科学出版社, 2006.3
 - [5]杨昌汉. 高频电子线路[M]. 哈尔滨工程大学出版社, 2001.3
- 作者简介:曹智文(1972-)男,汉族,河北省保定人,华北科技学院讲师,研究方向:智能控制。
- Biography:** CAO Zhi-wen, Male (Han ethnic), He Bei Province, lecturer, Research area: Intelligent control.
(101601 北京东燕郊 华北科技学院电信系) 曹智文 于家城
(Electronic information engineering Department of North China Institute of Science and Technology, Yanjiao Beijing-

east 101601, China) CAO Zhi-wen YU Jia-cheng

通讯地址:(065201 河北三河燕郊华北科技学院 206 信箱电信信息电子教研室) 曹智文

(收稿日期:2009.04.30)(修稿日期:2009.07.30)

(上接第 57 页)

5 实验分析

通过反复的调整参数,实际运行结果如图 5 所示。其中 PID 参数 $K_p=10$, $K_i=0.31$, $K_d=15$ 。在用改进的单神经元 PID 控制方式的时候, PID 参数的初始值为常规 PID 的参数,式(3-8)中 K_p 学习速率 η_p 为 0.2, K_i 学习速率 η_i 为 1, K_d 学习速率 η_d 为 0.3, K_p 的限幅范围为[2,15], K_i 的限幅范围为[0.2,1], K_d 的限幅范围为[10,20]。设定温度为 60℃,图中曲线 1 表示设定的温度曲线,曲线 3 为常规 PID 控制器的对温度的跟踪控制结果,曲线 2 为神经元 PID 控制器下的温度跟踪曲线,可以看出,采用智能控制方案,系统的超调小,稳态性能与动态性能远优于常规控制方案。

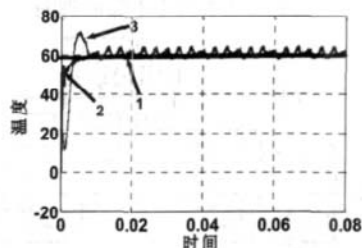


图 5 实际控制输出波形

6 结论

本文针对在工业温度控制过程中参数的时变,系统模型难以精确建立的情况,运用广泛使用的 MSC-51 单片机,设计了一个基于神经元 PID 控制的智能温度检测控制系统。由于神经元的自适应控制能力,控制效果好,超调小,具有控制准确、操作简单、故障率低等优点,具有很好的应用前景。

参考文献

- [1]吕小红,周凤星,马亮. 基于单片机的电阻炉温度控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2008, 6-2:119-120
 - [2]齐京礼,边永青,郑伟平,樊文晋. 基于自适应模糊 PID 控制器的温度控制系统[J]. 微计算机信息, 2008, 9-1:74-76
 - [3]刘东文,李捍东,李泽滔. 基于 ARM 嵌入式的单神经元温度控制系统[J]. 微计算机信息, 2008, 10-2:6-7
 - [4]孙凯,李元科. 电阻炉温度控制系统[J]. 传感器技术, 2003, 2:50-52.
 - [5]陶永华等. 新型 PID 控制及其应用[M]. 第 2 版. 北京:机械工业出版社, 2003
 - [6]刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 第 1 版. 北京:电子工业出版社, 2003
- 作者简介:朱理(1975-),女,湖南湘潭人,讲师,湖南信息职业技术学院机电工程系,研究方向为:工业自动化及计算机检测控制。
- Biography:** ZHU Li (1975-), female, lecturer, Hunan college of information, major in the research of Industrial automation and computer measure & control.
(410200 湖南长沙 湖南信息职业技术学院) 朱理
(Hunan college of information, Chang sha, Hu nan, 410200, China) ZHU Li
通讯地址:(410200 湖南长沙望城 湖南信息职业技术学院机电工程系) 朱理

(收稿日期:2009.05.11)(修稿日期:2009.08.11)