

# 基于 MSP430 的人工气候箱神经网络 PID 控制系统

王晓雷, 吴必瑞

(中原工学院 电子信息学院, 郑州 450007)

**摘要:** 针对人工气候中温湿度控制系统结构复杂、精度不够高以及响应速度慢等问题, 提出以 TI 公司的超低功耗 MSP430 单片机为主控制器件, 采用 DS18B2 和 HM1500 测量系统的温湿度, 用 BP 神经网络智能算法自动整定 PID 控制参数的人工气候箱控制系统, 着重介绍了系统控制算法构成及软件设计。实验表明, 该控制系统结构简单, 具有响应速度快、精度高和鲁棒性好等优点。

**关键词:** 神经网络; PID; MSP430; 传感器; 人工气候箱

**中图分类号:** TP273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-188X(2008)10-0079-03

## 0 引言

人工气候箱是一种模拟自然环境变化的设备, 用于创造局部人工气候, 模拟自然环境, 使温湿度和光照模拟自然规律变化, 创造小气候, 以寻求农作物的最佳生长条件, 探索其生长发育规律, 获取优质、高产技术<sup>[1]</sup>。人工气候箱是一种非线性耦合滞后系统, 由于对象是温度和湿度, 并且其中放入的物体的质和量都是不可预测的, 所以控制对象会出现大延迟、大惯性和不确定等现象<sup>[2]</sup>。现行的人工气候箱控制系统大都采用常规的 PID 数字控制, 但控制对象是变化的, PID 控制不具有自适应性。国内大多数厂家所生产的人工自然环境控制系统仍采用模拟电子控制线路, 其线路复杂, 设定界面不够直观, 有的虽然已采用微机控制技术, 但系统的安全性和可靠性不高, 性价比缺乏市场竞争力。对于小气候的大容量滞后与时变非线性等特性, 有文献提出使用基于自适应模糊逻辑系统的非线性预测控制算法, 但其控制精度和效果不太令人满意。国外的有些控制系统算法采用专家系统, 此算法设定各项参数无章可循, 操作管理人员只能根据自己的经验, 理论上无法保障, 因此对于操作管理人员的素质要求极高。本文提出以 TI 公司的超低功耗 16 位单片机 MSP430 为主控制器, 实现神经网络 PID 控制及系统的温湿度测量等功能。实验表明, 该控制系统具有结构简单、工作稳定、功能强和低功耗

特点, 其实用性很强。

## 1 硬件系统设计

人工气候箱需要控制箱体内部的温度、湿度和光照度。光照是通过各种日光灯照明实现, 采用开关控制, 实现简单, 核心问题是温度和湿度控制的精度以及响应速度等<sup>[2]</sup>。系统采用 TI 公司的超低功耗 16 位单片机 MSP430 作为整个人工气候箱系统的核心, 其内部具有多个时钟源, 可以灵活地配置给各模块使用, 以及工作于多种低功耗模式, 降低控制电路的功耗, 提高整体效率。系统设计分为温湿度测量采集、MSP430 控制器和输出执行机构 3 部分。控制器系统运行时, 采样温湿度值, 并与当前阶段的温湿度设定值比较后得到相应控制量, 控制量作用于输出执行模块, 从而实现温湿度的调控。温度升温采用电加热器, 降温采用冷机; 湿度加湿采用超声波加湿器, 去湿采用排湿风扇<sup>[3]</sup>。系统总体设计框图如图 1 所示。

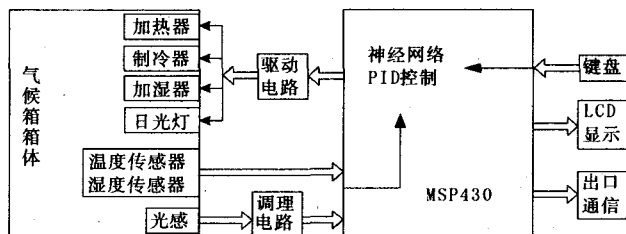


图1 系统硬件结构图

Fig. 1 System hardware structure diagram

### 1.1 温度检测器件

温度检测器件采用 DS18B20 集成式温度传感器, 其外围接口简洁, 采用单总线结构, 集温度变换电路、模数转换电路和单总线驱动器于一身。DS18B20 与传统的热敏电阻相比, 能够直接读出被测温度, 并且

收稿日期: 2008-05-09

作者简介: 王晓雷(1979-), 男, 郑州人, 副教授, 博士, 硕士生导师, (E-mail) www.218@126.com.

通讯作者: 吴必瑞(1982-), 男, 福建宁德人, 硕士生, (E-mail) waterok007@yahoo.com.cn.

可根据实际要求通过简单的编程实现9~12位的数字值读取或写入DS18B20的信息仅需一根总线。总线本身可以向所有挂接的DS18B20芯片提供电源,而不需额外的电源。

### 1.2 湿度检测器件

温度计算曾采用干湿球法,但计算湿度比较复杂,且受其他因素的影响。数字式温湿度传感器软件编程复杂,必须严格注意操作时序,因此该系统的湿度传感器选用线性电压输出式集成湿度传感器HM1500。其主要特点是采用恒压供电,内置放大电路,能输出与相对湿度呈比例关系的伏特级电压信号,响应速度快,重复性好,抗污染能力强。由于它是线性的电压输出湿度检测模块,所以能直接与MSP430芯片直接相接。运用最小二乘法可以求出其输出电压 $U_0$ 与相对湿度 $RH$ 之间的关系为

$$U_0 = 1.1711 + 0.02377RH$$

### 1.3 驱动电路

系统电路设计中用到的执行器为双向可控硅、继电器和接触器等。这些都是采用开关量控制,而开关量在控制过程中会产生很强的电磁干扰信号,因此必须考虑隔离问题。相对的每一路控制输出电路设计包括光电耦合隔离和驱动两部分。系统的输出电路设计中,电加热器、风机和加湿器等均由双向可控硅驱动,光照度由若干根日光灯管提供,采用分极控制,由继电器控制驱动。外电源控制采用接触器控制。当温度失控或报警仍没有外部操作时,程序通过控制接触器自动切断电源。

### 1.4 串行通信接口电路

串行通信接口是控制系统板与外界通信的基本电路,是为实现与上位通信及在以后的软件维护和升级时准备的。RS-232使用的是串行通信方式,采用MAX3221芯片把从USART0过来的信号进行电平转换后输出到计算机终端,把计算机或者终端发来的数发送给USART0。

## 2 系统控制算法

采用BP网络的PID控制作为人工气候中温湿度控制系统的控制器,此控制算法包括经典的PID算法和BP神经网络的多变量学习算法<sup>[4]</sup>。基于BP网络PID的人工气候箱控制器结构如图2所示。

经典的PID控制器直接对被控对象进行进环控制,并且以3个参数 $K_p, K_i$ 和 $K_d$ 为在线调整方式,其控制算法为

$$u(k) = u(k-1) + K_p[e(k) - e(k-1)] +$$

$$K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1)e(k-2)] \quad (1)$$

式中  $K_p, K_i, K_d$ —比例、积分和微分系数。

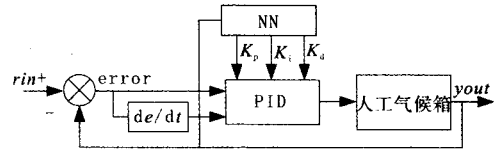


图2 BP网络的PID控制器结构图

Fig. 2 BP neural network PID controller schematic diagram

神经网络根据系统的运行状态,调节PID控制器的参数,达到某种性能指标的最优化。通过控制器的3个可调参数 $K_p, K_i$ 和 $K_d$ 通过神经网络的自学习与加权系数调整,使输出对应于某种最优控制规律下的PID控制器参数。

采用3层BP网络,网络输入层的输入为

$$O_j^{(1)} = x(j) \quad (j = 1, 2, \dots, M) \quad (2)$$

式中的输入变量个数 $M$ 取决于被控系统的复杂度。网络隐含层的输入和输出为

$$net_i^{(2)}(k) = \sum_{j=0}^M w_{ij}^{(2)} O_j^{(1)} \quad (3)$$

$$O_i^{(2)}(k) = f(net_i^{(2)}(k)) \quad (i = 1, 2, \dots, Q)$$

式中  $w_{ij}^{(2)}$ —隐含层加权系数;

上角标(1),(2),(3)—代表输入层、隐含层和输出层。

隐层神经元活化函数取正负对称的Sigmoid函数。网络输出层的输入输出为

$$net_l^{(3)}(k) = \sum_{i=0}^M w_{li}^{(3)} O_i^{(2)}(k)$$

$$O_l^{(3)}(k) = g(net_l^{(3)}(k)) = K_p \quad (4)$$

$$O_l^{(3)}(k) = K_i$$

$$Q_l^{(3)}(k) = K_d$$

$$(l = 1, 2, 3)$$

由于 $K_p, K_i, K_d$ 不能为负数,所输出层神经元的活化函数取非负的Sigmoid函数。

取性能指标函数为

$$E(k) = [rin(k) - yout(k)]^2 / 2 \quad (5)$$

按照梯度下降法修正网络的权系数,即按 $E(k)$ 对加权系数的负梯度方向搜索调整,并附以搜索快速收敛全局极小的惯性项,则

$$\Delta w_{li}^3 = -\eta \frac{\partial E(k)}{\partial w_{li}^3} + \alpha \Delta w_{li}^3(k-1) \quad (6)$$

式中  $\eta$ —学习速率;

$\alpha$ —惯性系数。

$$\frac{\partial E(k)}{\partial w_{li}^3} = \frac{\partial E(k)}{\partial y(k)} \frac{\partial y(k)}{\partial \Delta u(k)} \frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_l^{(3)}(k)} \frac{\partial O_l^{(3)}(k)}{\partial net_l^{(3)}(k)} \frac{\partial net_l^{(3)}(k)}{\partial w_{li}^3(k)} \quad (7)$$

由于  $\frac{\partial y(k)}{\partial \Delta u(k)}$  求知,所以近似用符号函数  $\text{sgn}$   $\frac{\partial y(k)}{\partial \Delta u(k)}$  取代,由此带来的计算不精确的影响可以通过调整学习速率  $\eta$  来补偿。由式(1)和(4)式可求得

$$\frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_1^{(3)}(k)} = e(k) - e(k-1)$$

$$\frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_2^{(3)}(k)} = e(k) \tag{8}$$

$$\frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_3^{(3)}(k)} = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)$$

通过上述分析,可得网络输出层权的学习算法为

$$\Delta w_i^3 = \alpha \Delta w_i^3(k-1) + \eta \delta_i^{(3)} O_i^{(2)}(k)$$

$$\delta_i^{(3)} = e(k) \text{sgn}\left(\frac{\partial y(k)}{\partial \Delta u(k)}\right) \frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_i^3(k)} g'(net_i^{(3)}(k)) \tag{9}$$

(l=1,2,3)

同理,可得隐含层加权系数的学习算法为

$$\Delta w_i^2(k) = \alpha \Delta w_i^2(k-1) + \eta \delta_i^{(2)} O_i^{(1)}(k)$$

$$\delta_i^{(2)} = f'(net_i^{(2)}(k)) \sum_{j=1}^3 \delta_j^{(3)} w_{ij}^{(3)}(k) \tag{10}$$

(i=1,2,...,Q)

式中  $g'(\cdot) = g(x)g(1-g(x))$ ;  
 $f'(\cdot) = (1-f^2(x))/2$ 。

应用 MATLAB 仿真环境,对提出的算法进行仿真,并与常规的 PID 控制算法进行比较,图3给出了仿真的结果。它表明,采用本文的控制算法具有超调小、响应速度快、精度高和鲁棒性好等优点。

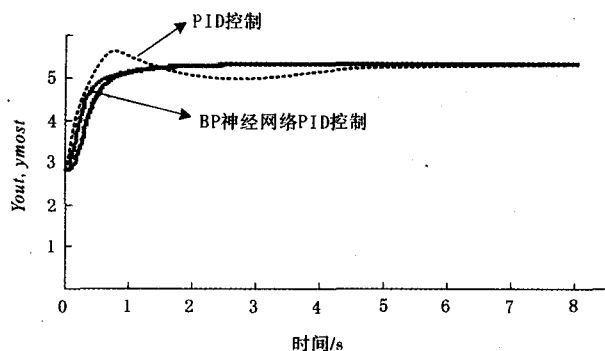


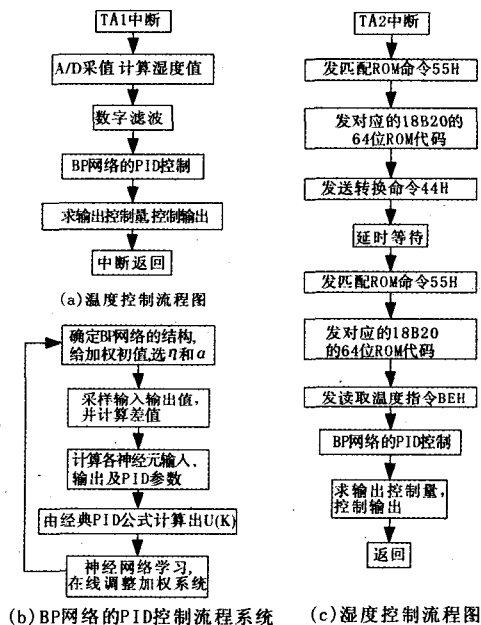
图3 仿真结果图

Fig.3 Simulate result diagram

### 3 系统软件设计

该系统的软件是在 IAR Embedded Workbench 开发环境下采用 C 语言编写的,采用模块化程序设计。传感器 DS18B20 是按其通信协议编写的,包括初始化程序、读程序和写程序。湿度传感器 HMI50 输出电压信号经 MSP430 内部自带的 12 位 ADC,选用合适的参

考电压,即可测量系统的湿度。整个程序的子模块包括键盘控制模块、DS18B20 测温模块、HMI50 测湿模块和 BP 网络的 PID 控制等几个部分<sup>[5]</sup>。软件流程图如图4所示。



(b)BP网络的PID控制流程系统 (c)湿度控制流程图

图4 软件主要程序流程图

Fig.4 Flowchart of main program

### 4 结束语

人工气候箱固有的滞后、时变和非线性等特点,使得精确的数学模型很难建立,传统的 PID 控制对这类对象的控制效果并不理想。文中提出采用 BP 神经网络智能算法,克服了传统方法难以获得精确模型、计算量大、获得的参数对系统敏感等问题。选择超低功耗特性的、功能强大的 MSP430 单片机为主控制器件,外围电路设计简单,使整个系统具有精确、可靠和先进的性能。经实验调试,系统的温度误差  $\pm$  为  $0.4^\circ\text{C}$ ,湿度误差为 2% RH,高于人工气候箱的控制要求。

#### 参考文献:

- [1] 王艳霞,唐为义,刘蕾.基于 AT89C55WD 单片机的人工气候箱设计[J].自动化仪表,2007,(28)8: 54-56.
- [2] 彭勇刚,韦巍.人工气候箱温湿度模糊控制[J].农业工程学报,2006,22(8):166-168.
- [3] 黄晓因,徐丽芬.基于单片机的人工气候箱控制系统[J].云南农业大学学报,2003,18(9):225-227.
- [4] 刘金琨.先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2003:162-170.
- [5] 沈建华,杨艳琴.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计[M].北京:清华大学出版社,2005:169-173.

(下转第 111 页)

表1 实验结果记录表

试验次数	实测籽粒数	喂入籽粒数	检测比率	籽粒损失/g
1	1339	1395	0.96	13.39
2	1311	1395	0.94	13.11
3	1325	1395	0.95	13.25
4	1297	1395	0.93	12.97
5	1325	1395	0.95	13.25
6	1339	1395	0.96	13.39
7	1339	1395	0.96	13.39
均值	1325	1395	0.96	13.25

#### 4 结束语

试验证明,本系统可以实时测试联合收割机籽粒损失,方便地调节阀值电压和截止频率等重要参数,而且当作物和工况变化时,可以通过改变参数来调节

系统适应所收割的作物或工况,真正做到了实时测试籽粒损失,既方便又实用。

#### 参考文献:

- [1] 陆云松,岑文远. 虚拟仪器的开发应用及计量检定[J]. 现代计量测试,2001(6):43-45.
- [2] 李俊峰. 联合收割机谷物损失传感器结构改进设计及其实验室标定[J]. 农业装备与车辆工程,2006(11):10-13.
- [3] 曾光奇. 工程测试技术基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002:3-4.
- [4] 镇江农业机械学院. 农业机械学[M]. 北京:中国农业机械出版社,1981:222-223.
- [5] Anon. DASYLab8.0[EB/OL]. [2007-03-28]. <http://www.dewetron.com/cn/products/software/DASYLab>.

## PVDF Type Grain Loss Measurement System

LI Jun-feng, ZHAO Guo-qing

(Department of Physics & Electronic Engineering, Handan College, Handan 056005, China)

**Key words:** This virtual instrument measurement system uses the grain loss sensor made by the author, charge amplifier, wavebook516, uses DASYLAB programming the measurement code, and carries out an indoor simulation experiment according to real operating mode. It is proved that this system can discriminate the grain loss from the straw which is originally discharged from the back of the combines quite exactly. This paper performs dynamic online test of grain loss at home firstly, This study provides useful experience and data as well as new ideas for the applications of virtual instrument technique in agricultural engineering.

**Abstract:** virtual instrument system; grain loss; sensor; sensor indoor simulation experiment

(上接第81页)

Abstract ID:1003-188X(2008)10-0079-EA

## The Neural Network PID Control System of Artificial Climate Chest Based on MSP430

WANG Xiao-lei, WU Bi-rui

(College of Electric and Information, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** In order to solve many kinds of problems that baroque system under temperature and humidity, inadequate accuracy and the lower response speed in the Artificial Climate Chest, this paper puts forward a system includes a core device based on MSP430, meanwhile it adopts DS18B2 and HM1500 as there measure system and neural network PID control system as its control arithmetic, this paper introduces the control arithmetic and the software design. Experiment indicates this controller based on PID-like neural network has response speed to be fast precision high and more robust and adaptive.

**Key words:** neural network; PID; MSP430; sensor; artificial climate chest