



基于模糊神经网络的气体检测

摘要：介绍了基于模糊神经网络（FNN）的气体检测系统。通过该系统，对甲醛气体进行了定量检测分析。实验结果表明：该系统能以较高的精度检测出气体的浓度，有一定的实用性。

关键词：模糊神经网络；气体传感器；定量检测

中图分类号：TP212; TN4 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2006)03-0030-004

▶▶ 王丽芳 满达虎 陈建群

一、引言

神经网络能够通过学习和训练获得用数据表达的知识，除了可以记忆已知信息外，还具有较强概括能力和联想记忆能力，但神经网络的推理知识表现在网络连接权值上，表达比较难以理解。模糊神经网络以 L.A.Zadeh 创立的模糊集合论为基础，抓住了人类思维中的模糊性特点，以模糊推理来处理常规难以解决的问题，能对复杂事物进行模糊识别、模糊度量。模糊系统显著特点是能够直接表达逻辑，适合直接或高级的知识表达，具有较好的逻辑功能，这点弥补了神经网络的缺陷。对于模糊系统来说，模糊推理虽是一个善于表达知识的推理方法，但它没本质的获取知识能力，模糊规则确定比较困难，通常需要专家知识指导。因此如何构造可自动处理模糊信息的模糊系统，一直困扰模糊信息处理技术的推广。随着对模糊系统和神经网络的研究深入，将两者结合，采取神经网络的自学习能力，根据输入输出样本来自动辨识和调整模糊系统的规则，实现模糊系统自学习和自适应功能，具有广泛应用前景。

笔者建立了一套测试系统，结合模糊神经网络的功能，对甲醛气体进行了定量检测分析，实验表明能以较高的精度检测出气体的浓度。

二、原理介绍

1、模糊神经网络（FNN）结构

假如一个 n 输入、单输出模糊逻辑系统，模糊规则是： R_l :if x_l is F_i^l and x_n is F_n^l then y is G_l ，其中 R_l 表示第 l 个规则， $l=1,2,\dots,L$ ； x_i ($i=1,2,\dots,n$) 为输入语言变量； y 为输出语言变量； F_i^l 和 G_l 分别为第 l 个输入语言变量和输出语言变量的模糊子集。若采用乘积推理规则和加权法去模糊化，则表示为模糊合成

$a_l = \prod u(F_i^l(x_i))$ 和去模糊化 $y = \sum w_{ij} a_l$ 。为方便设网络三输入变量一个输出变量，每输入变量有三个隶属函数。

一个四层模糊神经网络见图 1，由输入层、模糊化层、模糊逻辑层、输出层组成，其中圆圈及实线代表存在的节点及连接， F_i^k 、 net_i^k 、 y_i^l 分别为第 k 层第 i 个输入变量、净输入变量、输出变量， $N(k)$ 表示第 k 层节点数， n 、 m 、 l 分别为输入变量个数、每个输入变量对应隶属函数个数、总规则数，则每层节点函数描述如下：

(1) 输入层：节点只起数据传输作用，无计算功能

$$y_j^1 = net_j^1 = x_i^1, i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

(2) 模糊化层：该层每个节点对应一个模糊子集，如正小、零、负小等，其节点函数取 Gaussian 隶属函数为：

$$net_j^2 = -\frac{(x_i^1 - m_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2}, y_j^2 = e^{net_j^2}, i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m \quad (2)$$

(3) 模糊逻辑层：该层每个节点对应一个模糊控制规则，完成模糊逻辑规则的前提条件匹配运算，其输入为隶属度，输出为匹配度：

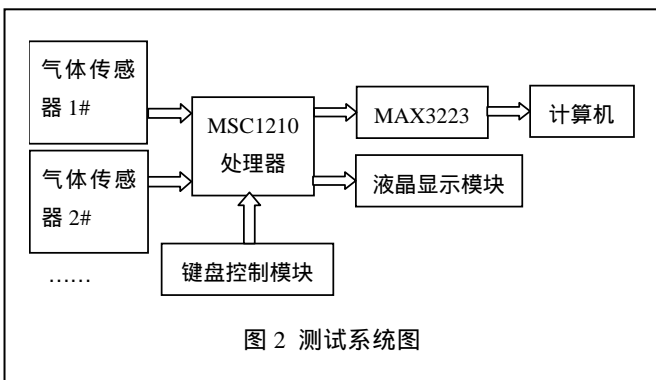
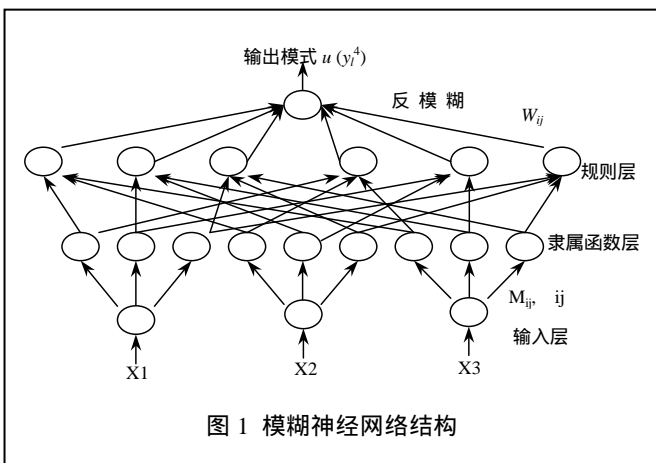
$$net_j^3 = y_j^3 = x_1^3 x_2^3 \dots x_l^3, i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,l \quad (3)$$

(4) 解模糊层：模糊逻辑层的值与连接权线性求和的运算，求准确输出值，

$$y_j^4 = net_j^4 = \sum w_i x_i^4, j=1,2,\dots,m, \text{其中 } l=m^n \quad (4)$$

这里可调节参数有三类，一类是规则中结论的数值 $w_i (i=1,2,\dots,l)$ ，它们是第三四层的权系数，代表规则参数；第二、三类是 Gaussian 隶属函数中均值 m_{ij} 和标准差 σ_{ij} 。

2、模糊神经网络的学习方法



FNN 具有多层感知器结构形式，可以用 BP 算法修正

其中 w_i, m_{ij} 和 σ_{ij} ，定义指数函数为 $E = \frac{1}{2}(d - y_i^4)^2 = \frac{1}{2}e^2$ ，

其中 d 为教师信号，误差信号降第四层向第一层反转。

(1) 解模糊层：

$$\delta_l^4 = \frac{-\partial E}{\partial net_l^4} = d - y_l^4 = e \quad (5)$$

$$\Delta w_i = \frac{-\partial E}{\partial w_i} = \frac{-\partial E}{\partial net_l^4} \frac{\partial net_l^4}{\partial w_i} = \delta_l^4 y_i^3, \text{其中 } i=1,2,\dots,l \quad (6)$$

(2) 规则层：

$$\delta_j^3 = \frac{-\partial E}{\partial net_j^3} = \frac{-\partial E}{\partial net_l^4} \frac{\partial net_l^4}{\partial net_j^3} = \delta_l^4 w_i, \text{其中 } j=1,2,\dots,l \quad (7)$$

(3) 隶属度层：

$$\delta_j^2 = \frac{-\partial E}{\partial net_j^2} = \frac{-\partial E}{\partial y_j^2} \frac{\partial y_j^2}{\partial net_j^2} = \left(\sum_k \frac{-\partial E}{\partial net_k^3} \frac{\partial net_k^3}{\partial y_j^2} \right) \frac{\partial y_j^2}{\partial net_j^2} = \left(\sum_k \delta_k^3 y_i^2 \right) y_j^2 \quad (8)$$

其中， k —第二层 j 节点相连的第三层的节点；

l —第三层 k 节点相连的第二层的其他节点 ($i \neq j$)

输入隶属函数参数修正：

$$\Delta m_{ij} = \frac{-\partial E}{\partial m_{ij}} = \frac{-\partial E}{\partial net_j^2} \frac{\partial net_j^2}{\partial m_{ij}} = \delta_j^2 \frac{2(y_i^1 - m_{ij})}{\sigma_{ij}^2} \quad (9)$$

$$\Delta \sigma_{ij} = \frac{-\partial E}{\partial \sigma_{ij}} = \frac{-\partial E}{\partial net_j^2} \frac{\partial net_j^2}{\partial \sigma_{ij}} = \delta_j^2 \frac{2(y_i^1 - m_{ij})^2}{\sigma_{ij}^3} \quad (10)$$

其中， $i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m$ 。

各可调节参数学习算法为：

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \eta_1 \Delta w_i(t) \quad (11)$$

$$m_{ij}(t+1) = m_{ij}(t) + \eta_2 \Delta m_{ij}(t) \quad (12)$$

$$\sigma_{ij}(t+1) = \sigma_{ij}(t) + \eta_3 \Delta \sigma_{ij}(t) \quad (13)$$

其中， t —离散时间变量。

三、测试系统

笔者根据需要设计了测试系统 (见图 2)，此系统主要包括传感器、单片机和上位机等三个部分。

对于气体传感器，温度影响较为严重，因此每个传感器采取温度补偿和自校正措施 (如图 3)，通电后仪器可以对传感器零点检测，如零点变动符合要求，则开始工作，如果没有符合，人工校正，调节零点平衡，使零点变动符合要求为止。仪器长期使用后传感器响应不符合要求可以

通过灵敏度调整,使响应恢复正常。整机中还有一个温度传感器,用户在训练的时候将温度作为参数送入网络参与训练,以校正温度对气体传感器的影响。

系统的核心硬件为美国 TI 公司推出的功能很强的带 24 位 A/D 转换器的微处理器 MSC1210。MSC1210 的 ADC 因其在多通道单输入或差分输入选择、可编程增益放大器(PGA)、数字滤波器上灵活,具有抗干扰强、分辨率高、线性度好、量化噪声小、转换速度快的优点,特别适合高精度测量传感器输出的微弱信号,可以满足多通道传感器输入的计算量和精度的需要,且允许较多的存储空间和计算能力,外围电路可按要求设灵活。单片机 MSC1210 单片机完成微弱信号的数据采集、多路切换、信号缓冲、PGA 编程放大、24 位 A/D 转换、数字滤波、数据处理、信号校准以及 UART 通信以及键盘、液晶的控制等功能。

计算机采取 RS232 与单片机 MSC1210 通信,获得传感器测量数据,并进行模糊神经网络的训练。程序采用 Visual C++6.0 面向对象可视化编程工具,加快软件设计、训练和速度。把 FNN 各算法封装在类 CFnn 中,同时封装 FNN 网络各层数据(数组形式),学习步长参数,网络参数,预测方法,调整网络参数的调整函数,网络初始化函数,误差计算函数以及类私有函数设置与获取函数等。文档类 CsensorDoc 通过事件触发来调用类 CFnn 中函数来初始化并学习训练网络。视图类 CsensorView 显示状态以及结果。整个程序有两个模式:预测模式和学习模式。预测模式使用已经训练好的网络进行网络正演,得到预报结果。学习模式是本程序核心,即建立模型过程,以确定网络参数,首先提供一组训练样本集给网络,每个样本由输入输出对组成,当实际输出与理想输出一致才表明学习结束,否则继续反演,使网络收敛并达到稳定。

四、实验结果

定量模糊神经网络将分析领域中的相对误差概念引入网络模型,有效提高了模糊神经网络的定量分析能力。也即,实际测量得到数据在计算机模式识别之前需要进行归

$$\text{一化预处理: } x' = \frac{(x_0 - x)}{x_0} \quad (14)$$

式中, x_0 —注入空气时传感器电压信号;

x —注入样品后传感器电压信号。

这样能减小外界影响,又能削弱气体浓度对传感器响应影响过度,从而提高识别能力。

以训练抗干扰的甲醛气体为例,将传感器阵列信号和甲醛气体浓度送入模糊神经网络训练,并设定训练过程中网络的收敛的误差标准 RE。当网络输出浓度值相对于实际浓度值小于误差标准时,网络认为输出正确,否则错误。

$$\text{网络预报准确度根据误差率 } e \text{ 判断: } e = \frac{n_e}{n_t} \quad (15)$$

其中, n_e —网络预报错误数目;

n_t —所有训练数据数目;

如果 e 小于 0.15 (本实验设定),则网络训练结束。

结果(图 4)表明,训练有 86.7% 通过训练,在设定误差标准条件下能对甲醛气体浓度进行准确预报。同时将训练好的气体传感器用于未知浓度的气体预报,预报浓度的 91.3% 在误差允许范围内,即使在干扰气体存在下也能准确对甲醛气体进行定量识别。

五、结论:

根据要求设计了测试系统,在甲醛气体定量模糊神经网络检测的实验中获得很好的结果,在别的气体检测中也同样适用。模糊神经网络有效结合了神经网络的计算能力和模糊逻辑系统的自适应抗干扰能力,具有广泛应用前景。

参考文献:

[1]曲建玲,王磊,高峰.运用人工神经网络进行混合气体定量分析的研究[J].西北工业大学学报,2001,19(3):399-402.

[2]黄家锐,李广义等.基于单传感器动态检测和神经网络的气体监测[J].传感器技术,2005,24(7):72-75.

[3] Texas Instruments. MSC1210 data sheet, http://www-s.ti.com/sc/ds/msc1210.pdf

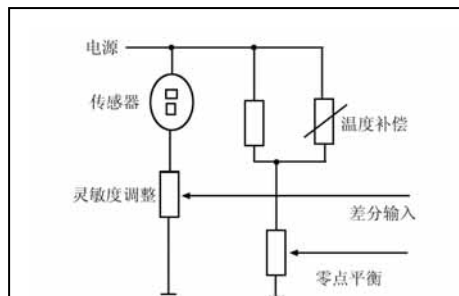


图 3 气体传感器测试示意图

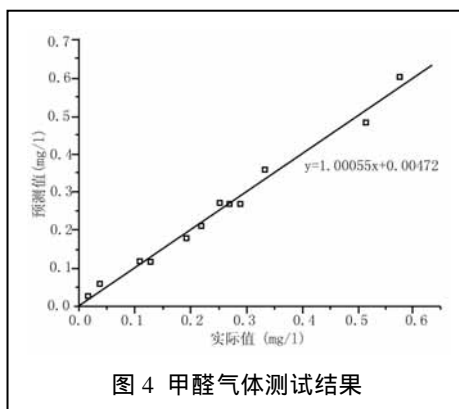


图 4 甲醛气体测试结果

[4] 何嘉斌,马海红等.用 MSC1210Y5 构成的高精度数据采集器[J], 单片机与嵌入式系统应用, 2005,5.

[5] 林海安,吴冲若.阵列和模式识别与气敏传感器,微电子学与计算机, 1995, 1: 38-56

[6] Dutta,R.,Hines,E.L.Gardner,etc.Determination of tea quality by using a neural network based electronic nose.Neural Networks,2003.Proceedings of the international joint conference on,2003,7(1):404-409.

[7] 杨建华,侯宏,王磊.基于集成气敏传感器阵列的电子鼻系统环境响应特征分析[J],传感技术学报,2002,3:197-202.

The Gas Detection Based On Fuzzy Neural Network

Abstract:An experiment system for gas detection based on fuzzy neural network (FNN) is introduced in this paper.The quantitative detection and analysis for formaldehyde are processed by this experiment system.Experiment results show clearly that this system can detect gas concentration in high

precision and has high practicality.

Keywords: fuzzy neural network ; gas sensors; quantitative detection

作者简介:

王丽芳,九江学院讲师,研究方向为检测技术与自动化装置。

联系地址:江西省九江市前进东路 551 号九江学院材料科学与工程学院 邮编:332005

联系电话:13870279775;0792-8842731

电子信箱:mywlf@163.com

满达虎:合肥工业大学 材料科学与工程学院在读研究生,研究方向为材料组织与性能;

陈建群:中国科学院合肥智能机械研究所仿生感知与控制研究中心在读研究生,研究方向为检测技术与自动化装置。

本文编辑:陈明 读者服务卡编号 007