

文章编号: 1005-8893 (2005) 01-0037-03

基于神经网络的瓦斯传感器非线性校正^{*}

王正洪, 蒋建明, 张小鸣

(江苏工业学院 计算机科学与工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 瓦斯传感器输出非线性问题的原因很多, 其中包括敏感元件温度变化所带来的影响, 但即使使用恒温瓦斯检测技术, 非线性误差仍然存在, 影响了瓦斯检测的准确性。在简述用神经网络进行非线性校正的原理的基础上, 探讨了用 BP 神经网络实现瓦斯传感器非线性校正的模型、MATLAB 算法和实现程序, 通过计算机仿真, 其结果表明采用该方法能够得到令人满意的结果, 且结构简单, 准确度高。

关键词: 瓦斯传感器; 非线性校正; 神经网络; MATLAB

中图分类号: TP 212 文献标识码: A

矿井瓦斯传感器大多使用基于载体催化燃烧原理的敏感元件, 在实际使用中, 瓦斯检测的稳定性问题没能得到很好的解决, 关键原因之一是传感元件的升温越高, 其活性衰减的速度越快, 测值稳定性就越差。为此, 有关专家研究了一种新的瓦斯检测方法, 即恒温检测法, 可以使传感器在检测瓦斯气体浓度时, 始终处于恒温状态, 有效地改善了瓦斯检测的稳定性。但是进一步研究发现, 在采用了恒温检测技术后, 瓦斯检测的线性度虽然有了较大提高, 但由于种种原因, 检测值仍有一定的非线性误差, 需要进行修正^[1]。

传统的传感器非线性补偿技术是采用硬件补偿和曲线拟合。但硬件补偿很难做到全程补偿, 而且补偿硬件的漂移会影响整个系统的精度。曲线拟合法是采用 n 次多项式来逼近非线性曲线, 该多项式的各个系数由最小二乘法确定。这种方法的缺点是当有噪声存在时, 求解方程时会遇到矩阵病态情况而使求解受阻, 限制了曲线拟合法的运用。

本文结合恒温瓦斯检测技术的实测数据, 探讨用 BP 神经网络法实现瓦斯传感器的非线性校正。

1 神经网络非线性校正的基本原理

设传感器的特性函数为^[2]:

$$y' = f(x, t)$$

其中, x 为被测物理量, t 为环境参数。若对不同的 t , y' 都是 x 的单值函数, 则有:

$$x = f'(y', t)$$

为了补偿系统的非线性, 让传感器的输出通过一个神经网络。设神经网络的特性函数为: $y = u(y', t)$, 如果满足 $u(y', t) = f'(y', t)$, 可得 $y = u(y', t) = f'(y', t) = x$, 则神经网络的输出 y 与被测物理量 x 成线性关系, 且与环境参数 t 无关。但传感器的非线性特性 $y' = f(x, t)$ 往往不存在解析表达式, 因此其反函数 $x = f'(y', t)$ 也难以用一个函数式来表达。这时如果采用神经网络方法就可以方便地对系统进行非线性校正。

2 BP 神经网络的构成

在人工神经网络的实际使用中, 绝大部分的神经网络模型使用的是 BP 网络或其变化形式, 它也是前向型神经网络的核心部分^[3-6]。

使用神经网络的目的是让它逼近传感器非线性特性 $y' = f(x, t)$ 的反函数 $x = f'(y', t)$ 。为

* 收稿日期: 2005-02-20

基金项目: 江苏省科技厅社会发展项目基金资助 (BS200312)

作者简介: 王正洪 (1944-), 男, 上海人, 教授

为了实现非线性函数的逼近，BP 神经网络中采用了误差反传算法。误差反传算法的主要思想是把学习过程分为两个阶段：第一阶段（正向传播过程），给出输入信息通过输入层经隐含层逐层处理并计算每个单元的实际输出值；第二阶段（反向过程），若在输出层未能得到期望的输出值，则逐层递归地计算实际输出与期望输出之差值（即误差），以便根据此差值调节权值。

BP 网络具有很强的非线性映射能力。可以用传感器的输出即神经网络的输入信号和神经网络的期望输出值训练神经网络，让它通过自学习逼近传感器非线性特性的反函数，从而实现非线性校正。

本文使用的 BP 神经网络具有 1 个输入层，1 个隐含层和 1 个输出层。隐含层设定为 10 个神经元，输出层为 1 个神经元。隐含层和输出层分别采用双曲正切 S 型 sigmoid 传递函数和线性 purelin 传递函数。双曲正切 sigmoid 传递函数用于将神经元的输入范围 $(-\infty, +\infty)$ 映射到 $(-1, +1)$ 之间，对于大的输入信号，放大系数较小，而对小的输入信号，放大系数较大。线性 purelin 传递函数只是简单地将神经元输入经阈值调整后传递到输出，这样可以使网络输出任何值。训练算法采用 MATLAB 推荐的 Levenberg—Marquardt 算法，即 trainlm 训练函数。Levenberg—Marquardt 算法比 trainbp 和 trainbpx 函数所使用的梯度下降法要快得多，但它需要较多的内存。学习算法采用默认的梯度下降动量权重学习函数 learnqdm 函数，性能函数采用默认的 MSE 均方差函数。训练时间设置为 50 个单位时间，训练目标为误差小于 0.01。

3 神经网络编程和仿真试验结果

文献 [7] 给出了恒温瓦斯浓度检测输出信号和相应标准气样浓度数值，见表 1。

表 1 恒温瓦斯浓度检测输出信号

Table 1 Output signals of thermostatic methane density detection

Methane gas/ %	2.20	4.06	6.42	8.50	9.80
Thermostatic detection signals	2.20	4.20	7.05	9.98	11.26

从表 1 中可见，未经处理的恒温瓦斯浓度检测输出信号有较大的非线性误差，这是由于催化传感器的帽罩等因素的影响造成的，因此需要研究一种动态的调校方法。应用人工神经网络的学习功能，可以较好地实现恒温瓦斯检测的动态线性校正。

用 MATLAB 语言编写的 BP 神经网络程序如

下：

```
p=[ 2.20 4.20 7.05 9.98 11.26];
t=[ 2.20 4.06 6.42 8.50 9.80];
plot (p, t)
net=newff (minmax (p), [10 1], {'tansig'
'purelin'});
y1=sim (net, p);
figure;
plot (p, t, p, y1)
net.trainParam.epochs=50;
net.trainParam.goal=0.01;
net=train (net, p, t);
y2=sim (net, p)
figure;
plot (p, t, p, y1, p, y2, 'o')
```

以上程序中，*p*、*t* 分别表示训练输入和期望输出矩阵；函数 newff 用以确定样本输入数据取值范围、网络的层数、每层中的神经元个数、传递函数、训练函数、学习函数和性能函数。网络设计为 1—10—1 结构，隐含层和输出层分别采用正切 S 型和线性函数，训练函数、学习函数和性能函数采用默认值。函数 newff 返回一个可训练的 BP 网络。这里用传感器输出和期望输出来训练神经网络。训练时间为 50 个单位，训练目标为误差小于 0.01。函数 train 用于训练网络并返回训练结果。函数 sim 用于仿真并返回仿真结果。

仿真试验结果见表 2。

表 2 瓦斯浓度检测信号神经网络校正结果

Table 2 Output of neural network calibration on detection signals of methane density

Methane gas/ %	2.20	4.06	6.42	8.50	9.80
Output of nonlinear calibration using neural network	2.1997	4.0600	6.4207	8.4995	9.8004

结果表明，神经网络校正后实现了较高的检测精度，并且在 MATLAB 命令行中显示，只经过 5 个单位时间以后，网络的误差就达到了要求。在瓦斯传感器使用过程中，如需要重新标定，只要获得一组输入输出数据对，就可用以训练神经网络，实现瓦斯传感器的动态标定。

4 结束语

本文结合恒温瓦斯检测技术的实测数据，探讨了用 BP 神经网络实现瓦斯传感器非线性校正的方法，算法中可以根据需要改变隐层单元神经元数

目、训练时间和目标误差, 算法精度高且易于实现, 充分发挥了BP网络的非线性映射能力, 具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 童敏明, 杨胜强, 田丰. 新型瓦斯传感器关键技术的研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32 (4): 399-401.
- [2] 王正洪, 张小敏, 徐君. 矿井瓦斯传感器自动调校技术及其进展 [J]. 江苏工业学院学报, 2004, 16 (2): 61-64.

- [3] 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 辅助神经网络分析与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [4] 朱庆保. 智能检测仪器非线性误差神经网络校正研究 [J]. 仪器仪表学报, 2000, 21 (5): 516-518.
- [5] 曹建荣, 姚庆梅. 人工神经网络在传感器非线性校正上的应用 [J]. 自动化仪表, 2001, 22 (8): 19-20.
- [6] 林康红, 施惠昌, 卢强等. 基于神经网络的传感器非线性误差校正 [J]. 传感器技术, 2002, 21 (1): 42-43.
- [7] 童敏明, 钱毅. 恒温瓦斯检测输出非线性的动态调校 [J]. 仪器仪表学报, 2001, 22 (5): 462-465.

Nonlinear Compensation of Methane Sensor Based on Neural Network

WANG Zheng-hong, JIANG Jian-ming, ZHANG Xiao-ming

(Department of Computer Science and Technology, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: There are a lot of reasons for nonlinear characteristics of methane sensor, including the changing temperature of sensitive components. Although a kind of new measuring technique of thermostatic methane detection was used, the nonlinear error was still there, which has decreased the accuracy of the methane detection. Based on a brief introduction of the general principles of nonlinear calibration using neural network, this paper discusses the model, MATLAB algorithm and realized program for nonlinear calibration of methane sensor using BP neural network. After computer simulations, the ideal result was obtained through the approach and the construction of the neural network is simple and the precision is good.

Key words: methane sensor; nonlinear compensation; neural network; MATLAB