

# 用基于人工神经网络的数据融合法测量水流泥沙含量

张明社<sup>1</sup>, 李小昱<sup>2</sup>, 雷廷武<sup>3,4</sup>, 王 为<sup>2</sup>, 张 征<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学; 2 华中农业大学; 3 中国农业大学;

4 中科院、水利部水土保持研究所土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室)

**摘 要:** 在采用电容传感器测量泥沙含量的过程中, 电容传感器的输出值受环境温度的影响较大, 为消除温度对测量数据的影响, 提出了采用神经网络法对传感器进行数据融合处理的方法, 该方法以传感器的泥沙含量值与温度值作为网络的输入, 通过对网络的训练达到消除非目标参量——温度的影响。试验结果表明该方法收敛速度快, 输出稳定性可显著提高, 能够有效地消除温度带来的影响。

**关键词:** 神经网络; 数据融合; 电容传感器; 泥沙含量

**中图分类号:** TP183; TV 149

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1002-6819(2002)04-0041-03

在土壤侵蚀研究与治理水土流失中, 水流中泥沙含量的测量具有重要意义<sup>[1]</sup>。长期以来, 国内外测定水流泥沙含量普遍使用的仍然是传统的“烘干称重法”<sup>[2]</sup>这种方法测量周期长、检测过程烦琐、劳动强度大, 不能很好地监测水流的动态过程。用自行研制的电容式传感器(专利号: ZL 00226706 3)<sup>[3]</sup>测量了水流中的泥沙含量, 结果表明, 这一方法具有可行性。但温度的变化影响传感器的输出。因此, 本文提出在水流泥沙含量的测量中可用基于神经网络的数据融合方法来消除温度对传感器输入—输出特性的影响。

## 1 基于神经网络法的数据融合原理

神经网络是人工智能领域发展最快的信息处理技术之一<sup>[4]</sup>。它的功能表现在描述和表征自然界大量存在的非线性本质的形态、现象中具有其它学科难以比拟的优势<sup>[5]</sup>。BP 网络是神经网络中最常用的一种, 它是单向传播的多层前向网络。输入信号从输入层节点, 依次传过各隐层节点, 然后传到输出节点, 每一层节点的输出只影响下一层节点的输出<sup>[6]</sup>。理论证明: 具有偏差和至少一个 S 型隐层的 BP 网络, 能够逼近任何的有理函数<sup>[7]</sup>。本文利用 BP 网络的这一特性采用人工神经网络(Artificial Neural Network)对试验数据进行融合处理。

在测量泥沙含量时影响电容传感器的交叉灵敏度的因素是温度, 故必须对传感器的数据进行融合处理。如图 1 所示为二功能传感器信息融合智能传感器系统框图<sup>[8]</sup>。

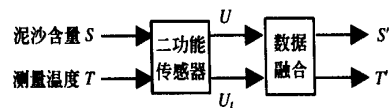


图 1 二功能传感器信息融合智能传感器系统框图

Fig 1 Intelligent sensor system diagram of two-function sensor's information fusion

二功能传感器在试验过程中输出两个电压值  $U$  与  $U_i$ 。由于受温度的影响,  $U$  并不是  $S$  的单值函数即  $U = g(S, U_i)$ ; 另一输出量:  $U_i = f(T)$ ,  $S$  为被测泥沙含量;  $T$  为测量温度。

数据融合部分是由软件实现的 BP 网络算法模型, 其中输入量  $X_1$ 、 $X_2$  分别为  $U$  与  $U_i$ , 输出为  $S'$ ,  $S'$  即为融合后的泥沙含量, 且  $S'$  仅为  $S$  的单值函数。它在温度波动的情况下系统输出  $S'$  以某个允许偏差逼近被测目标—— $S$  泥沙含量。要实现 BP 网络模型必须对网络进行训练。网络训练样本由标定试验数据提供。

## 2 试验材料与方法

试验材料选用陕北黄土高原的黄绵土作为试验用土。将土样和水配制成含泥沙量为 0, 200, 400, 600, 800  $\text{kg}/\text{m}^3$  的混合物, 分别在不同温度下对传感器的输出进行了标定。将用标定结果对网络进行训练。

水流泥沙含量的测量系统简图如图 2 所示。

收稿日期: 2001-11-12 修订日期: 2002-03-28

基金项目: 中科院 水利部西北水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室项目(10501-92); 西北农林科技大学科研专项资助项目(0808)

作者简介: 张明社, 男, 陕西扶风人, 硕士生, 研究方向为智能化检测与监控。陕西杨凌 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 712100

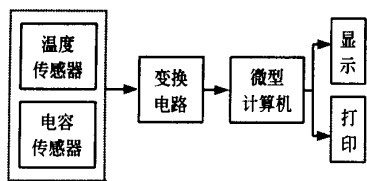


图 2 水流泥沙含量测量系统

Fig 2 The system of measuring of sediment concentration

### 3 试验结果融合处理及评价

#### 3.1 试验结果融合处理

神经网络输入、输出值应该在-1与1之间,因此在输入网络之前应先将用来训练网络的标定实验数据归一化处理。将归一化处理后的 $U$ 及 $U_i$ 值作为网络的输入,选用3层<sup>[9]</sup>(即输入层、隐层、输出层)BP网络(如图3所示)对网络进行训练。隐层节点数根据训练结果定,隐层与输出层均选用S型函数

$$f_1(s_j) = 1 / (1 + \exp(-s_j))$$

$$s_j = \sum_{i=1}^l x_i w_{ji} - b_j$$

式中  $f_1(s_j)$  —— 神经元输出值;  $w_{ji}$  —— 连接权值;  $b_j$  —— 阈值;  $x_i$  —— 神经元输入值。

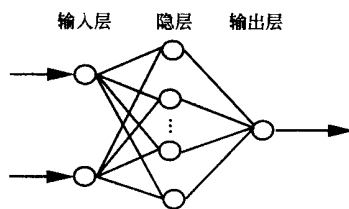


图 3 神经网络的拓扑结构

Fig 3 Topologic pattern of neural network

为了使网络快速和稳定地收敛,本文采用附加动量法和自适应学习速率法对网络进行改进。网络训练过程及算法流程图如图4所示。经过对网络的训练,得到所需的权值矩阵 $[W_1]$ 及 $[W_2]$ 和阈值矩阵 $[B_1]$ 及 $[B_2]$ ,由权值、阈值及S型函数就可以融合处理试验数据。为了验证网络的有效性,在此分别对泥沙含量为100, 200, 300, 400, 500, 600, 700  $\text{kg}/\text{m}^3$ 的混合物进行了融合处理,表1为融合处理后的试验结果。由此可知,该处理能满足工程中测量精度的要求。

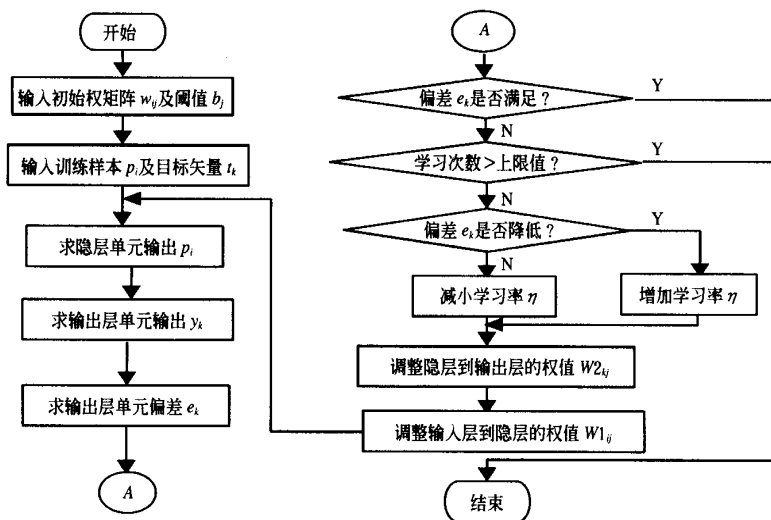


图 4 网络算法及流程图

Fig 4 Algorithm & flow chart of neural network

表 1 数据融合处理后的结果

Table 1 The result of fused information

温度 /	泥沙含量标定值及融合值/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$													
	标定值	融合值	标定值	融合值	标定值	融合值	标定值	融合值	标定值	融合值	标定值	融合值	标定值	融合值
0	100	100.1	200	199.3	300	299.9	400	399.7	500	500.0	600	599.8	700	699.0
10	100	102.5	200	203.0	300	299.7	400	400.0	500	499.7	600	601.5	700	699.2
20	100	98.7	200	199.3	300	299.4	400	400.7	500	499.3	600	600.7	700	697.3
30	100	102.8	200	199.8	300	300.4	400	399.6	500	500.7	600	599.0	700	700.2
40	100	101.3	200	200.5	300	300.3	400	399.6	500	500.0	600	599.0	700	702.1
max $ \Delta S $		4.1		3.7		1.0		1.1		1.4		2.5		4.8

### 3.2 结果比较及分析

融合处理前传感器输出的相对波动情况由标定值及下式<sup>[4]</sup>可求得

$$\alpha_y = \max |\Delta y| / y_{FS} \quad (1)$$

式中  $\alpha_y$  —— 传感器输出电压波动的相对波动值;  $\max |\Delta y|$  —— 传感器输出电压的最大值;  $y_{FS} = 1.403 \text{ mV}$  —— 传感器满量程输出电压值(即在  $T = 0$ 、 $S = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  时的传感器输出值)。由标定数据求得当  $S = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  时工作温度由  $0$  升高到  $40$ ,  $\max |\Delta y| = 814 \text{ mV}$  代入(1)式得

$$\alpha_y = 58\%$$

经神经网络融合处理后的结果如表1所示,由表1及(2)式可以计算出被测泥沙含量融合值的波动  $\alpha_s$

$$\alpha_s = \max |\Delta S| / S_{FS} \quad (2)$$

式中  $S_{FS} = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  —— 满量程泥沙含量标定值。

将  $\max |\Delta S| = 4.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  代入(2)式得

$$\alpha_s = 0.6\%$$

可见,在相同工作温度变化下,传感器的输出稳定性比原来提高了96倍。用神经网络法进行数据融合非常有效。

## 4 结论

1) 在测量水流中泥沙含量的过程中,用基于人工神经网络的数据融合法可有效消除温度产生的影响。

2) 在网络的训练过程中,采用附加动量法和自

适应学习率来对神经网络进行改进可以避免网络陷入局部极小,同时可以大大减小网络的训练次数,使网络很快收敛。

3) 用神经网络对水流泥沙含量传感器的数据进行融合处理,精度高、速度快、编程简单,其输出稳定性可提高96倍,为水流中泥沙含量的在线测量提供了一种有效的方法。

### [参 考 文 献]

- [1] 郑粉莉 浅谈我国土壤侵蚀学科亟待加强的研究领域[J] 水土保持研究, 1999, 6(2): 26~ 31.
- [2] 方彦军, 张红梅, 程 瑛 含沙量研究的新进展[J] 武汉水利电力大学学报, 1999, 32(3): 55~ 57.
- [3] 李小昱, 雷廷武, 王 为 一种电容式水流泥沙含量传感器[P] 专利号: ZL 00226706 3
- [4] 张际先 神经网络在农业工程中的应用[J] 农业工程学报, 1995, 11(1): 28~ 34
- [5] 王献昌 人工智能的研究趋向多元化—参加第十三届国际人工智能联合大会总结[J] 计算机科学, 1994, 21(1): 1~ 5
- [6] 王 雪, 丁天怀, 刘旭平 基于遗传模糊神经网络算法的棉花轧花过程智能监控方法研究[J] 农业工程学报, 1998, 14(1): 204~ 205
- [7] 丛爽 面向MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M] 合肥: 中国科技大学出版社 1998 46~ 48
- [8] 刘君华 智能传感器系统[M] 西安: 西安电子科技大学出版社 1999, 3: 265~ 273
- [9] 杨培岭, 冯 斌, 任树梅 利用人工神经网络预报不同水分条件下作物根系发育系数[J] 农业工程学报, 2000, 16(2): 46~ 49

## Data Fused Method Based on Artificial Neural Network to Measure Sediment Concentration in Flow-Water

Zhang Mingshe<sup>1</sup>, Li Xiaoyu<sup>2</sup>, Lei Tingwu<sup>3,4</sup>, Wang Wei<sup>2</sup>, Zhang Zheng<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electronics Engineering, North West Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, China; 2. College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 3. China Agricultural University, Beijing 100083, China; 4. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Ministry of Water Resources of China, Yangling 712100, China)

**Abstract** In the process of measuring the sediment concentration in flow water, the temperature will greatly influence the testing results. A new method, based on artificial neural network under MATLAB environment is designed to fuse the two-sensor information. The neural network used the capacitance sensor and the temperature sensor output as input. After the network is trained, it can make the sensor eliminate the temperature influence and improve the target parameter input. The simulation results show that the fusion results are stable and precise enough with this method.

**Key words:** neural network; data fusion; capacitance sensor; sediment concentration