

# 基于神经网络软测量的虚拟仪器设计及实现

王莉, 冯丽辉, 张军, 王合山

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650051)

**摘要:** 提出利用 MATLAB Script 节点实现 MATLAB 和 LabVIEW 混合编程的方法, 并用此方法完成了污水处理出水水质的神经网络软测量预测. 该方法同其它单一语言编程方法相比, 具有更大的灵活性和实用性, 使复杂的控制算法融入虚拟仪器及软测量技术成为可能.

**关键词:** 神经网络; 虚拟仪器; MATLAB; LabVIEW

**中图分类号:** TS736 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2005)01-0033-04

## Design and Implementation of the Virtual Instrument Based on Neural Network Softsensing

WANG Li, FENG Li-hui, ZHANG Jun, WANG He-shang

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

**Abstract:** A method of the hybrid programming of MATLAB and LabVIEW with MATLAB Script node is proposed, and the neural network soft\_sensing forecasting of effluent quality of sewage treatment is implemented by using this method. Compared with other single-language programming methods, this one possesses bigger flexibility and practical nature. It is possible that the complicated control arithmetic melts into virtual instrument and soft\_sensing technique.

**Key words:** neural network; virtual instrument; MATLAB; LabVIEW

### 0 引言

近年来,随着现代工业的发展,全球的水资源遭到了极大的破坏,水污染已成为制约人类发展的主要因素之一.因此,如何采取有效的污水处理方法已成为人类迫在眉睫的事情.污水处理过程控制已成为国内外的研究热点.美国的厌氧消化处理、德国的污水物化处理都成功地应用了模糊控制技术.但是,由于目前还不能实时检测污水指标,许多方法只能采用开环控制,或者选择其它间接指标进行控制,因而影响了控制效果.用软测量进行预测和估计已成为一种有效的途径.而软测量模型的建立是实现软测量的关键,可采用回归分析理论、系统辨识理论、神经网络理论、模糊理论、遗传理论等建模,其中神经网络建模理论是被广泛采用的方法之一.针对这一问题,论文采用BP神经网络软测量模型,以解决污水处理过程中污水处理出水水质指标的实时检测.并利用LabVIEW的优势,进行了基于神经网络软测量的虚拟仪器的设计,从而使软测量技术具有实用化的功能.

### 1 污水处理出水水质软测量的实现

污水处理出水水质有BOD<sub>5</sub>(5d生化需氧量)浓度、T<sub>N</sub>(总含氮量)浓度、T<sub>P</sub>(总含磷量)浓度等等,现以BOD<sub>5</sub>浓度的预测为例,介绍其实现方法.

#### 1.1 BP神经网络软测量模型

BP神经网络一般由输入层、一个或多个隐含层(典型的为一层)、输出层组成.它的隐含层或输出层

收稿日期: 2004-05-13. 基金项目: 云南省教育厅基金项目(项目编号: 03Y226D).

第一作者简介: 王莉(1976.12~), 女, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 虚拟仪器技术. E-mail: mail-wangli@163.

的某神经元  $j$  的输出由此式确定:  $Q_j = f(\text{net}_j) = f(\sum w_{ji} O_i + \theta_j)$  其中  $f(x)$  为激活函数, 通常  $f(x) = 1 / (1 + \exp(-x))$  (Sigmoid 函数);  $\theta_j$  为该神经元的阈值;  $O_i$  为前一层的第  $i$  个神经元输出;  $w_{ji}$  为前一层神经元  $i$  与该神经元这间的权值.

BP 神经网络学习的目的是使网络实现给定精度的映射. 对于  $n$  维输入和  $q$  维输出的样本模式, 对  $(A_k, C_k), k = 1, 2, \dots, M$ , 构造代价函数  $E = \frac{1}{2M} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^q (c_j^k - c_j)^2$  采用误差反向传播算法(BP 算法)调整权值, 使  $E$  在学习过程中按梯度下降. 当网络的实际输出与期望输出之差足够小时, 我们就认为网络训练成功, 最后确定网络结构及其权值. 经过训练的 BP 网络, 对于不是样本集中的输入, 也能给出合适的输出, 这种性质称为泛化(generalization)功能<sup>[1-2]</sup>. 在 MATLAB 环境中, 可以用 newff 函数来创建一个 BP 神经网络.

污水处理出水水质软测量模型采用的 BP 神经网络其结构如图 1 所示, 为多入单出的三层前向 BP 网络, 输入层有 7 个神经元, 分别为前 1 d 出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度( $x_1$ )、当天进水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度( $x_2$ )、当天曝气池 MLSS( $x_3$ )、当天处理量( $x_4$ )、前 2 d 出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度( $x_5$ )、前 3 d 出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度( $x_6$ ) 和前 4 d 出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度( $x_7$ ). 中间隐层经仿真计算后确定为 12 个神经元, 输出层有一个神经元即当天出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度( $y$ ). 其中的输入层神经元作用函数选为 S 型(tansig), 中间隐层也为 S 型(tansig), 输出层选为纯线性作用函数(purelin).

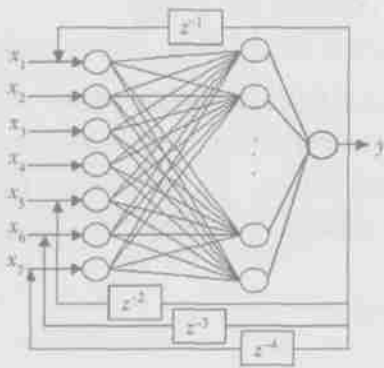


图 1 出水 BOD<sub>5</sub> 浓度四插值四记忆 BPN 结构图

Fig.1 Four inserting values and remembering BPN structure figure of effluent BOD<sub>5</sub> density

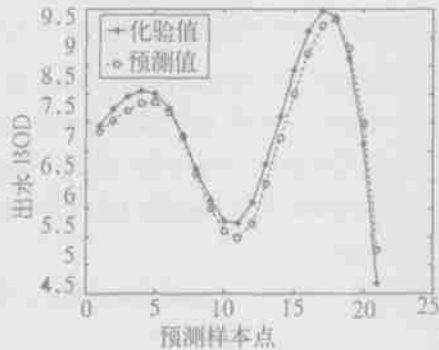


图 2 出水 BOD<sub>5</sub> 浓度四插值四记忆 BPN 软测量模型预测结果

Fig.2 Forecasting the result of four inserting values and remembering BPN soft-sensing model of effluent BOD<sub>5</sub> density

## 1.2 MATLAB 仿真预测结果

MATLAB 是美国 Math Works 公司的产品, 是目前功能最为齐全的仿真软件之一, 覆盖面包括控制、通信、金融、图像处理、建筑、生物医学等几乎所有的行业和科学领域. 其所用到的技术除了经典的一些算法(如傅立叶变换等)之外, 还包括目前兴起的神经网络、小波分析、模糊系统、混沌理论等. 对污水处理出水水质指标 BOD<sub>5</sub> 浓度数据进行四插值和四阶 BP 神经网络软预测<sup>[3]</sup>. 网络的训练方法采用的是动量梯度和学习率自适应的反向传播算法. 网络训练次数设为 1 500, 期望训练均方误差设为 0.000 1. 预测评价该模型的经插值等预处理后的最后 21 个预测评价样本记录. 其预测评价效果如图 2 所示.

## 2 LabVIEW 与 MATLAB 的接口

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench 实验室虚拟仪器工程平台) 是美国 NI 公司(National Instrument Company)推出的一种基于 G 语言(Graphics Language, 图形化编程语言)的虚拟仪器软件开发工具. 在 LabVIEW 平台下, 一个 VI 由两部分组成: 前面板和框图程序. 前面板的功能等效于传统测试仪器的面版, 框图程序的功能等效于与传统仪器面版相联系的硬件电路<sup>[4,5]</sup>. 用 LabVIEW 设计的虚拟仪器可脱离 LabVIEW 开发环境, 用户最终看见的是和实际硬件仪器相似的操作面版.

尽管 LabVIEW 中提供了一些信息处理功能函数, 但是毕竟功能有限, 仍然无法满足用户各种各样的

数值计算和分析需求.而 MATLAB 特别擅长数值分析和处理,所以,如果能够在 LabVIEW 中调用它的话,不失为一种较好的解决方法. LabVIEW 中同样提供了各种与其他应用程序进行相互调用的方法,如 ActiveX, DDE 等事实上的标准接口方式.虽然可以通过这些方式实现在 LabVIEW 中调用 MATLAB,但是过程相对烦琐. NI 公司为此提供了一种相对容易的方式,即 MATLAB Script 节点方式<sup>[1]</sup>.通过这种方式,用户可以在 LabVIEW 中使用 MATLAB 强大的数值运算功能. MATLAB Script 节点使得用户既可以将 M 程序导入到框图程序中,又可以在框图程序中根据 MATLAB 程序的语法编辑 M 程序.选择该节点的操作为: Function » Analyze » Mathematics » Formula » MATLAB Script 操作.添加节点之后就可以按照 MATLAB 的语法要求在节点中编写 M 程序,完成后通过单击 Export 将程序保存到选定目录中.如果事先已经将 MATLAB 程序编好,则可以直接将其导入到节点中,可通过单击 Import 完成导入.还可以对节点增加输入输出变量,这些变量在程序运行时,起到在 LabVIEW 和 MATLAB 之间传递参数的作用.要使用 MATLAB Script 节点方式,要求计算机上必须安装 MATLAB 5.0 及以上版本和 LabVIEW 6.1 及以上版本,否则是不可以运行的.在运行使用 MATLAB Script 节点的 LabVIEW 程序时, MATLAB 也同时启动了,这就是必须安装 MATLAB 的原因.

### 3 基于 BP 神经网络软测量虚拟仪器的设计

#### 3.1 框图程序设计

1) 建立训练和校验网络.执行 Function » Analyze » Mathematics » Formula » MATLAB Script 操作,放置两个图标,第一个用于对网络进行训练和校验,第二个则将网络用于具体的预测出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度.各个节点图标内分别需要添加如下的 MATLAB 文件(由于程序太长,只列出重要的部分).

网络训练和校验节点: % 获取训练样本数据; load('f:\wl\bodsample.mat'); % 剔除异常数据; % 样本作插值处理,每间隔插入个数: insertNu; % 将数据分为训练样本和校验样本.

```
net = newff([- 2.5 3.6; - 2.5 3.6; - 2.5 2.7; - 2.7 1.8; - 2.5 3.6; - 2.5 3.6; - 2.5 3.6], [12
1], {'tansig' 'purelin'}, 'traingdx', 'learngdm', 'mse');
```

```
net.trainParam.epochs = 1500; net.trainParam.goal = 0.0001; net = train(net, p, t);
```

```
Ry = sim(net, p); save('f:\wl\ net.mat', 'net');
```

预测出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度值节点: value = [x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7]';

```
net = load('f:\wl\ net.mat');
```

```
result = sim(net, value);
```

```
y = result;
```

2) 执行 Functions » Structures » While Loop 操作,放置一个循环图标.

3) 连线,完成后的部分框图程序如图 3 所示.

#### 3.2 面版设计

启动 LabVIEW,设计如图 4 所示的仪器面版.

1) 执行 Controls » Numeric » Numeric Control 操作,在面版设计窗口中放置 7 个 Numeric Control 控件,分别用于输入预测 BOD<sub>5</sub> 浓度所需要的数据.

2) 执行 Controls » Numeric » Numeric Indicator 操作,在面版设计窗口中放置 1 个 Numeric Indicator 控件,用于输出预测的当天出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度值.

3) 执行 Controls » Boolean » Ok Button 操作,放置 3 个按钮,分别用于控制训练和校验网络、预测出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度值及仪器的关闭.

#### 3.3 运行结果

程序开始运行后,当点击训练和校验网络按钮后,就开始训练和校验神经网络, MATLAB 也同时启动,且弹出神经网络训练的误差——训练代数曲线图.在输入数据区按要求输入要预测当天污水处理出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度所需要的数据后,按预测按钮,就在输出数据区显示当天出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度的预测值.

最后的运行结果如图4所示。

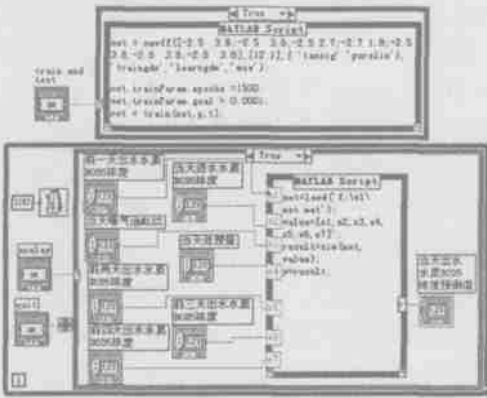


图3 部分框图程序  
Fig.3 Block diagram

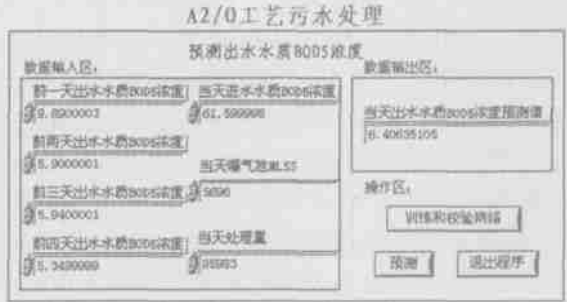


图4 程序运行结果  
Fig.4 Running result of the program

### 4 结束语

实验充分利用污水处理工艺大时滞特点,设计了污水处理出水水质数据插值和多步记忆结构的软预测模型,预测效果非常好.此模型的应用范围不仅仅限于污水处理过程,也可适用于其他具有相同特点的工业过程.而且 MATLAB 数值运算和处理功能强大,LabVIEW 是基于 G 语言的功能强大的编程语言,编程简单、有丰富完善的功能图标,通过二者的混合编程,可以开发出能进行大量数据运算处理的、功能更强的、更复杂的虚拟仪器.通过对 A<sup>2</sup>/O 工艺污水处理出水水质 BOD<sub>5</sub> 浓度的软测量虚拟仪器的设计及实现,表明本文采用的 MATLAB 与 LabVIEW 混合编程的方法是实用可行的.

### 参考文献:

[1] 刘君华. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003. 1~ 146.  
 [2] 张乃尧, 阎平凡. 神经网络与模糊控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 10~ 143.  
 [3] 彭云峰. 污水处理出水水质软测量预测预报系统开发[学位论文][D]. 昆明: 昆明理工大学, 2003. 17~ 34.  
 [4] 杨乐平, 等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. 131~ 162.  
 [5] 张玉强. 基于计算机的虚拟仪器技术[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2003, 22(1): 30~ 34.  
 [6] 钟伟红, 冯丽辉, 史红梅. 糖厂锅炉燃烧系统的模糊控制研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2003, 28(6): 58~ 60.