

文章编号: 1006-1355(2014)05-0117-03

基于神经网络的柴油机声音品质评价预测

王芳¹, 丁新隆¹, 石岩²

(1. 天津交通职业学院, 天津 300110;
2. 中国汽车技术研究中心, 天津 300162)

摘要: 采用多元线性回归与人工神经网络系统(Artificial Neural Network, 简称ANN)分别建立了柴油发动机噪声声音品质预测模型, 并将两种模型的预测值与实测值进行比较。试验结果表明, 该系统可以反映客观参数和主观满意度间的非线性关系, 可以用来预测和描述柴油发动机噪声的声音品质。

关键词: 声学; 柴油发动机; 声音品质; 评价; BP神经网络

中图分类号: O241.82; TK421+.6

文献标识码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.05.027

Prediction and Evaluation of Sound Quality of Diesel Engines Based on Neural Network

WANG Fang¹, DING Xin-long¹, SHI Yan²

(1. Tianjin Transportation Vocational College, Tianjin 300110, China;
2. China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300162, China)

Abstract: Multi-element linear regression and artificial neural network (ANN) are used respectively to the establishment of the models for prediction of sound quality of the noise of diesel engines. The prediction values of the two models are compared with the measurement values. Results of the test show that the system can reflect the nonlinear relationship between objective parameters and subjective satisfaction, and can be used to predict and describe the sound quality of the diesel engine noise.

Key words: acoustics; the diesel engine; sound quality; evaluation; BP neural network

随着汽车保有量的急剧增加, 汽车噪声的监测和控制成为必要。据国内外声学主观评价研究现状^[1]。本文以我国三个不同生产厂家的柴油发动机为研究对象, 每台发动机选取其中比较典型的三种工况噪声作为评审团测试的样本, 得到数据。开展声音品质主观评价研究。再通过BP神经网络方法和多元线性回归方法拟合分析数据, 建立柴油发动机噪声声音品质预测模型, 并将两种模型的预测值与实测值进行了比较。

1 BP神经网络原理

人工神经网络(Artificial Neural Network, 简称ANN)是基于模仿大脑神经网络结构和功能而建立的一种信息处理系统^[2]。其中反向传播网络(Back-Propagation Network, 简称BP网络)利用误差反向传播算法对网络进行训练。由于其可逆性强, 网络简单, 应用最为广泛^[3]。

典型的BP网络拓扑结构图, 由隐含层、输入层和输出层所组成, 如图1。其中隐含层可以为单层或多层, 同层节点间无关联, 而异层节点间相互连接。

目前已经证明对于在任意闭区间的一个连续函数均可以用一个隐含层的BP网络来逼近, 所以一个带有偏差和至少一个隐含层及一个线性输出层的BP神经网络可以完成任意的映射^[4, 5]。

收稿日期: 2014-02-26

作者简介: 王芳(1980-), 女, 山西太原人, 硕士, 主要研究方向: 汽车发动机噪声与振动、汽车维修技术研究。
E-mail: linf1980@163.com

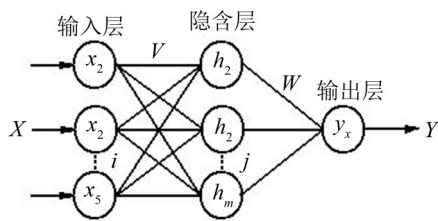


图1 BP网络结构图

2 柴油机主观评价实验

柴油机主观评价实验包括柴油机噪声样本的采集和评审团听音测试两个主要环节。

本次柴油机噪声样本的采集采用的实验设备为LMS Testlab,接受声音的设备为传声器。测试过程中的采样频率为16 384 Hz。

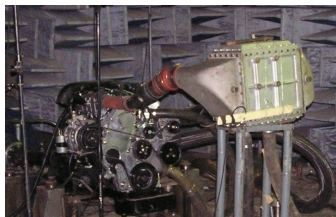


图2 测试场景

本次柴油机噪声主观评价测试选取了3台我国不同厂家的柴油发动机,选取噪声比较大的排气管侧测试分析,对每台发动机分别在怠速(800 r/min左右)、中速(1 700 r/min左右)、高速(2400 r/min左右)时的噪声进行测试,共9个噪声样本依次作为分析样本。测试场景如图2。通过评审团成对比较法测试,测试统计结果如表1。

3 BP神经网络模型

隐含层神经元数目,是隐藏节点数拟合过程需

要的重要数值,如果该值假设得过低就会出现拟合不足,而过高会出现过度拟合^[6]。神经网络处于过度拟合状态时,参数会变得过大,而此准则可以将参数维持在较小的状态,在数据较少的情况下过拟合罚项作用较大。隐含节点数的选择可通过设置不同隐藏节点数量和过拟合罚项数值进行拟合,找出最佳的拟合模型。由排气噪声品质的主、客观参数可知,输入层节点数为4,输出层节点数为1。选择隐藏节点数为5,过拟合罚项为0.01作为模型的拟合参数。图3为该神经网络的4—5—1结构形式,其中H1至H5分别为拟合模型的五个隐藏节点,各隐藏节点和客观参数间均执行折迭交叉验证。

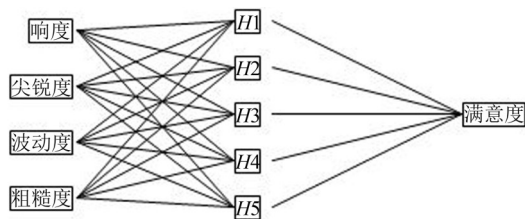


图3 预测模型网络结构

本文通过调用Matlab神经网络工具箱中的函数实现BP神经网络的训练过程^[7, 8]。取初始权值为 $(-1, 1)$ 之间的随机数,学习速率自适应,初始值设为0.02,收敛精度设为0.000 01,并对拟合结果进行5次折迭交叉验证。将输入层数据进行线性归一处理 $x_i' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$,之后进行模型拟合,将数据转化为 $(0, 1)$ 区间的值,以避免使S函数进入饱和区^[9]。

经过1 200次训练,预测误差达到0.001的要求,表2为模型的拟合结果,训练数据R平方值约等于1,说明样本数据被模型几乎完全拟合,精度很高。从图4实际值和预测值关系图中也可以看出全部数

表1 比较法样本的偏好值和最优值统计表

样本	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0.5	0.29	0.19	0.65	0.57	0.6	0.61	0.3	0.22
B	0.71	0.5	0.51	0.84	0.86	0.84	0.85	0.79	0.5
C	0.81	0.49	0.5	0.87	0.79	0.87	0.92	0.57	0.34
D	0.35	0.16	0.13	0.5	0.54	0.46	0.46	0.28	0.17
E	0.43	0.14	0.21	0.46	0.5	0.52	0.58	0.29	0.17
F	0.4	0.16	0.13	0.54	0.48	0.5	0.55	0.23	0.16
G	0.39	0.15	0.08	0.54	0.42	0.49	0.5	0.21	0.17
H	0.7	0.21	0.43	0.72	0.71	0.77	0.79	0.5	0.43
I	0.78	0.5	0.66	0.83	0.83	0.84	0.83	0.66	0.5
最优值	0.3	-1	-0.94	0.76	0.62	0.72	0.87	-0.33	-0.99

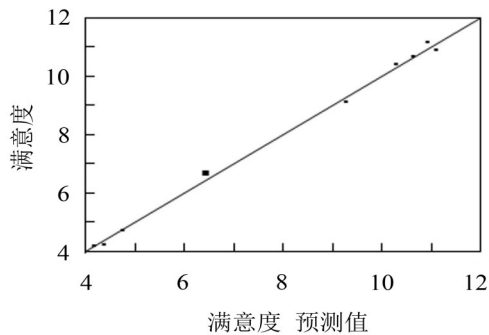


图4 实际值对预测值图

据基本都在拟合均线上,说明了拟合模型的有效性。

4 BP神经网络模型和多元线性回归模型预测结果比较

将目标样本的客观参数值输入拟合得到的满意

度神经网络预测模型中,便可得到其满意度预测值^[10]。在这里,又多准备一组共6个柴油发动机噪声样本,为使两次比较法的测试数据相关联,参与测试人员与之前相同,同样采用成对比较法,然后分别通过BP神经网络模型和多元线性回归模型这两种预测模型计算出全部样本的满意度预测值,并与评审团测试得到的满意度实测值进行对比,验证神经网络预测模型和多元线性回归预测模型的有效性。

表3为6个噪声样本声音品质的心理声学客观参数和两种预测模型以及满意度评审团测试实测值计算得到的预测值,得出了实测值和模型预测值间的误差百分比。

从表3中数据可以看出,通过BP神经网络建立的柴油发动机噪声主观评价预测模型的预测值与实测值误差在10%范围内,多元线性回归模型的预测

表2 模型拟合结果

误差平方和	均方根误差	归一化后的误差平方和	归一化后的均方根误差	训练数据R平方	检验数据R平方
0.199	0.257	0.021 4	0.084 5	0.997 3	0.863

表3 模型预测值与实测值比较

样本	响度	尖锐度	粗糙度	波动度	满意度				
					实测值	神经网络预测值	神经网络误差	多元回归预测值	多元回归误差
1	36.73	1.7	0.39	0.51	10.18	10.16	0.24 %	10.25	- 0.72 %
2	42.73	2.32	0.42	0.55	4.17	3.83	8.23 %	5.31	- 27.3 %
3	47.76	1.79	0.39	0.51	5.67	5.72	- 0.93 %	7.1	- 25.23 %
4	41.39	1.63	0.41	0.54	8.97	8.95	0.2 %	9.45	- 5.37 %
5	43.85	1.96	0.4	0.52	6.18	5.6	9.39 %	7.07	- 14.45 %
6	42.65	1.57	0.43	0.57	8.66	8.74	- 0.89 %	9.41	- 8.67 %

结果比实测值有30%的误差,预测结果不稳定,且误差波动较大。两种模型的误差对比结果说明,通过BP神经网络建立的柴油发动机噪声主观评价预测模型的预测结果比较理想,神经网络模型的预测能够更好地反映客观参数和主观满意度间的非线性关系。

5 结 语

通过BP人工神经网络拟合数据建立了非线性的柴油发动机噪声声音品质BP神经网络模型,并将其预测结果与多元线性回归模型的预测结果以及实测值进行了对比,结果表明,BP神经网络模型的预测能力优于多元线性回归模型,能够更好地反映客观参数和主观满意度间的非线性关系,该模型可以用来预测和描述柴油发动机噪声的声音品质。

参考文献:

[1] 刘月辉. 基于虚拟技术的发动机噪声控制研究[D]. 天津: 天津大学, 2004.

- [2] 焦风雷. 噪声信号及声品质评价及分析方法研究[D]. 北京: 中科院声学研究所博士论文, 2005.
- [3] 白书战, 李国祥, 王浩国, 等. 基于神经网络的排气消声器的优化设计方法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 153-155.
- [4] Robert H N. Theory of the backpropagation neural network [C]. Neural Networks. 1989, vol.1:593-605.
- [5] 程静, 王维庆, 何山. 基于回归分析与BP神经网络的风机噪声预测[J]. 噪声与振动控制, 2013, 33(6): 49-52.
- [6] 李俭川, 秦国军. 神经网络学习算法的过拟合问题及解决方法[J]. 振动、测试与诊断, 2002, 22(4): 260-264.
- [7] 丛爽. 面向MATLAB工具箱的神经网络理论与应用. 第3版[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009. 1-10.
- [8] 石 岩, 舒歌群, 毕凤荣. 车辆排气噪声声品质仿真计算方法[J]. 噪声与振动控制, 2011, 10(5): 62-65.
- [9] 韩萌, 丁剑. 基于交叉验证的BP算法的改进与实现[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(14): 3738-3742.
- [10] 石岩. 排气消声器消声特性仿真分析与排气噪声声品质设计[D]. 天津: 天津大学, 2010.