

基于BP网络的活塞裙部纵向型线的拟合^{*}

李敏通, 杨 青, 赵友亮

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 在分析有关活塞裙部纵向型线拟合方法的基础上, 提出了基于BP网络拟合的方法; 应用实例拟合结果表明: 基于BP网络的拟合方法适用性广, 且拟合精度较高。

[关键词] BP网络; 活塞裙部; 纵向型线

[中图分类号] TP183; TK413.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)04-0182-03

在内燃机活塞裙部的测量分析中, 通常得到的是离散点的坐标值, 而不知道其实际型线方程。一些国外活塞图样上, 裙部纵向型线也用坐标值表示, 缺少整体概念, 这给引进活塞外形曲线分析带来不便。活塞裙部型线的研究一直受到人们的重视, 裙部纵向型线的拟合一般采用二次曲线拟合、多项式拟合、分段多项式拟合和样条函数拟合^[1~4]。用二次曲线拟合对拟合点的选择要求高, 如果选择不当, 拟合精度就很差^[2]; 用多项式拟合时, 拟合阶次受到限制^[4]; 分段多项式拟合和样条函数拟合过程比较复杂。人工神经网络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, 其实质体现了网络输入与其输出之间的一种函数关系。人工神经网络因其高度的并行性、非线性全局作用、良好的容错性和联想记忆功能、自适应自学习功能, 已在工程领域得到广泛应用。本研究将BP网络用于活塞裙部纵向型线的拟合, 对于活塞裙部型线的分析研究进行了有益的探讨。

1 拟合活塞裙部纵向型线的BP网络设计

用BP网络拟合活塞裙部纵向型线, 就是要用已知的输入、输出矢量来训练一个网络, 使其逼近活塞裙部纵向型线。BP网络的设计包括确定网络的层数、每层中的神经元个数和激活函数、初始权值以及学习速率等。

理论上已经证明^[5]: 具有偏差和至少一个S型隐含层加上一个线性输出层的网络, 能够逼近任何

有理函数。增加层数主要可以降低误差, 提高精度, 但同时也使网络复杂化, 从而增加网络权值的训练时间。本研究选择具有一个隐含层加上一个线性输出层的两层网络来拟合活塞裙部纵向型线。隐含层采用双曲正切型的激活函数, 输出层采用线性函数。

隐含层的神经元个数与网络的训练精度有关。一般情况下, 增加神经元数可提高网络的训练精度。神经元数的选择可用试验的方法, 本研究选择的隐含层神经元数为5个。

初始权值大小对于网络训练是否能够收敛以及训练时间的长短有关。如果初始权值太大, 使加权后的输入和 n 落入S型激活函数的饱和区, 将使调节过程几乎停顿。一般初始权值取(-1, 1)之间的随机数。

网络的学习速率决定每一次循环训练中所产生的权值变化量。学习速率过大可能导致系统不稳定; 学习速率过小可能导致训练时间长, 收敛慢。本研究采用变化的自适应学习速率, 使网络的训练在不同阶段自动设置学习速率大小。自适应学习速率调整公式为:

$$\eta_{k+1} = \begin{cases} 1.05\eta(k), & \text{当 } SSE(k+1) < SSE(k) \\ 0.7\eta(k), & \text{当 } SSE(k+1) > 1.04SSE(k) \\ \eta(k), & \text{其他} \end{cases}$$

式中, SSE 表示误差函数值, η 表示学习速率, k 为训练次数。

另外, 由于BP算法采用的是梯度下降法, 训练是从某一起始点沿误差函数的斜面逐渐达到误差的最小值。有时可能得到的是局部极小值而并非全局

* [收稿日期] 2002-08-27

[基金项目] 西北农林科技大学青年基金资助项目

[作者简介] 李敏通(1968-), 男, 陕西武功人, 副教授, 在读博士, 主要从事几何量检测的研究。

极小值。为了解决此问题, 本研究采用了附加动量法。附加动量法使网络在修正权值时, 不仅考虑误差在梯度上的作用, 而且考虑在误差曲面上变化趋势的影响。它是在反向传播法的基础上, 在每一个权值的变化上加上一项正比于前次权值变化量的值, 并根据反向传播法来产生新的权值变化。

2 应用实例

以两种不同类型的活塞作为实例(实例 I 和实例 II), 用 BP 网络对其裙部纵向型线进行拟合, 并与其他比较适用的拟合方法的拟合结果进行比较。在进行网络训练时, 首先对测得数据作尺度变换进行预处理, 使网络更快的收敛。当需要更高的拟合精度时, 可通过增加网络隐含层的神经元个数或增大

网络的训练次数实现。
2 1 实例 I 的拟合结果
实例 I 活塞裙部高度 x_i 及径向削减量 y_i 的图纸给定值见表 1。

用 BP 网络拟合时, 网络经过 8 000 次训练后, 训练完成, 网络权值为:
 $W_1 = [3.470\ 6; -3.464\ 7; 3.036\ 2; -4.072\ 9; 3.453\ 9]$
 $B_1 = [1.929\ 8; -0.513\ 7; -4.015\ 1; 2.884\ 2; -0.909\ 3]$
 $W_2 = [-0.562\ 0\ -0.515\ 0\ 1.751\ 9\ 2.097\ 0\ -0.611\ 0]$
 $B_2 = [-1.371\ 8]$

表 1 实例 I 数据及 BP 网络拟合、二次曲线拟合结果比较
Table 1 Data and results of example one in different methods

x_i	y_i	y_{1i}	Δ_{1i}	y_{2i}	Δ_{2i}
- 14.5	- 0.099	- 0.098 28	0.000 72	- 0.104 72	- 0.005 7
- 10	- 0.093	- 0.094 39	- 0.001 39	- 0.097 65	- 0.004 6
- 5	- 0.091	- 0.091 00	- 0.000 00	- 0.092 44	- 0.001 4
0	- 0.090	- 0.089 35	0.000 65	- 0.090 0	0.000 0
5	- 0.091	- 0.090 01	0.000 99	- 0.090 34	+ 0.000 6
10	- 0.093	- 0.093 35	- 0.000 35	- 0.093 44	- 0.000 4
15	- 0.099	- 0.099 47	- 0.000 47	- 0.099 3	- 0.000 3
20	- 0.108	- 0.108 29	- 0.000 29	- 0.108 0	0.000 0
25	- 0.119	- 0.119 57	- 0.000 57	- 0.119 44	- 0.000 4
30	- 0.133	- 0.133 06	- 0.000 06	- 0.133 66	- 0.000 7
35	- 0.149	- 0.148 65	0.000 35	- 0.156 7	- 0.001 6
40	0.168	- 0.166 59	0.001 41	- 0.170 4	- 0.002 4
45	- 0.188	- 0.187 48	0.000 52	- 0.193 0	- 0.004 9
50	- 0.211	- 0.212 26	- 0.001 26	- 0.218 33	0.007 3
55	0.240	- 0.241 86	- 0.001 86	- 0.246 4	0.006 4
59	- 0.271	- 0.269 32	0.001 68	- 0.270 98	0.000 12

其拟合值 y_{1i} 及误差 Δ_{1i} 见表 1。为便于分析比较, 表 1 同时给出了较适用于该类活塞的二次曲线拟合的拟合值及误差 Δ_{2i} [2]。

从表 1 可以看出: 二次曲线拟合的最大拟合误差绝对值为 0.007 3 mm, 而用 BP 网络拟合的最大

拟合误差绝对值为 0.001 86 mm; 总体上看, 用 BP 网络比用二次曲线拟合误差要小得多。

2 2 实例 II 的拟合结果

实例 II 活塞裙部高度 x_i 及径向削减量 y_i 的图纸给定值见表 2。

表 2 实例 II 数据及 BP 网络拟合、多项式拟合结果比较
Table 2 Data and results of example two in different methods

x_i	y_i	y_{1i}	Δ_{1i}	y_{2i}	Δ_{2i}
- 14	0.008	0.007 87	- 0.000 13	0.010 1	0.002 1
- 8	0.004	0.003 79	- 0.000 21	0.001 97	- 0.002 0
0	0	0.001 08	0.001 08	- 0.001 1	- 0.001 1
10	0.008	0.006 79	- 0.001 21	0.007 54	- 0.000 5
24	0.040	0.040 85	0.000 85	0.042 96	0.002 9
32	0.076	0.075 54	- 0.000 46	0.075 4	- 0.000 5
39	0.112	0.112 07	0.000 07	0.111 1	- 0.000 9

用 BP 网络拟合时, 网络经过 3 000 次训练后, 训练完成, 网络权值为:

$W_1 = [3.439\ 8; -3.436\ 6; 3.569\ 3; -3.252\ 0; 3.647\ 3]$

$B_1 = [2\ 019\ 8; -\ 0\ 473\ 3; -\ 3\ 219\ 2; 2\ 786\ 3;$
 $-1\ 470\ 9]$

$W_2 = [0\ 784\ 7\ 0\ 464\ 0\ 0\ 261\ 6\ 0\ 624\ 3\ 1\ 597\ 8]$

$B_2 = [0\ 536\ 6]$

其拟合值 y_{1i} 及误差 Δ_{1i} 见表 2。为便于分析比较, 表 2 同时给出了较适用该类活塞的多项式拟合的拟合值 y_{2i} 及误差 $\Delta_{2i}^{[2]}$ 。

从表 2 可以看出: 用多项式拟合的最大拟合误差绝对值为 $0\ 002\ 9\ \text{mm}$, 而用 BP 网络拟合的最大拟合误差绝对值为 $0\ 001\ 21\ \text{mm}$; 从总体上看, 用

BP 网络拟合比用多项式误差要小。

3 结 论

(1) 基于 BP 网络的活塞裙部纵向型线拟合方法, 可适用于不同类型的活塞;

(2) 用 BP 网络对活塞裙部纵向型线拟合, 其拟合精度高于多项式等其他拟合方法;

(3) 用 BP 网络对活塞裙部纵向型线拟合, 可根据拟合精度要求, 调整网络隐含层的神经元个数或者网络的训练次数实现。

[参考文献]

- [1] 陈 伟 内燃机活塞裙部型线的测量及回归方法[J]. 计量技术, 1988, (1): 9- 10
- [2] 虞孝斌 活塞裙部的变椭圆—中凸型面[J]. 小型内燃机, 1991, (2): 24- 31
- [3] 黄荣瑛, 王乃信, 杨 青 活塞裙部外形轮廓误差的评定[J]. 西北农业大学学报, 1993, 21(3): 41- 46
- [4] 李敏通, 杨 青 活塞裙部纵向型线的拟合[J]. 计量技术, 1998(3): 4- 6
- [5] 丛爽编著 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998

The approximation to the longitudinal-section contour of piston skirt based on BP neural network

L IM in-tong, YANG Qing, ZHAO You-liang

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northw estern Sci-Tech University of Agricultural and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the concerned methods for approximating the longitudinal-section contour of piston skirt, one new approximating method based on BP neural network is presented in this paper. The results of different approximating methods are compared. The results illustrate that the new method can be used in different types of piston skirt, and it can get better result.

Key words: BP neural network; piston skirt; longitudinal-section contour