

基于贝叶斯正则化 BP 神经网络的挤出温度预测模型

颜卫卫¹, 肖业兴¹, 马铁军^{1,2}

(1. 华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东 广州 510640; 2. 广州华工百川科技股份有限公司, 广东 广州 510640)

摘要: 简要介绍贝叶斯正则化 BP 神经网络原理, 并应用于基于贝叶斯正则化训练方法的 BP 神经网络建立挤出温度预测模型。预测与试验结果对比表明, 经过训练后的网络模型基本获取了实际挤出温度的函数形式, 网络输出值与样本对应的挤出温度实际值几乎完全重合, 表明该方法能达到较好的预测精度, 同时具有使用简洁、快速等优点。

关键词: 轮胎; 胎面挤出; 温度预测模型; 人工智能; BP 神经网络; 贝叶斯正则化

中图分类号: TQ336.1+1; TQ330.6+4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2014)04-0241-03

在轮胎生产过程中, 挤出胎面的质量直接影响到成品轮胎的外观和使用性能。汽车工业的飞速发展极大地促进了胎面复合挤出技术的进步, 其中三复合胎面挤出联动线因具有诸多工艺优点而得到广泛应用。然而, 作为挤出过程综合指标的挤出温度的获取, 目前大多仍采用人工或者激光测温仪进行测量^[1]。但是人工测量方法易产生测量结果不准确、速度慢、反馈滞后等问题, 且耗财费力。而仪器测量易受现场环境和挤出联动线的干扰, 在线测量的精度也不能满足生产需求, 因此软测量是解决上述问题的较好途径。

软测量模型是其技术核心。建立软测量模型的方法可以归纳为基于物理、化学等过程机理或基于对象数学模型的传统软测量建模方法以及基于统计分析的方法、基于统计学习理论的方法、人工智能方法和混合建模方法等^[2]。前 4 种方法在变量选择合适、数据处理得当的情况下可以达到较高的预测精度, 但这些基于基础理论和统计分析的方法在模型建立过程中需要对数据或成分进行分析选择和计算, 工作量很大, 而且要求设计人员深入了解产品生产过程变量。本研究选择人工智能方法的神经网络建立温度预测模型, 以期以较高的精度对温度进行预测, 同时降低对设计人员的技术要求。

作者简介: 颜卫卫(1987—), 男, 湖南湘潭县人, 华南理工大学在读硕士研究生, 主要从事过程控制与装备的研究。

1 贝叶斯正则化 BP 神经网络原理

1.1 人工神经网络的特点

人工智能是 21 世纪三大尖端技术之一, 而人工神经网络则是人工智能理论中最具代表意义的算法之一。它是模仿动物神经网络行为特征进行分布式并行信息处理的算法数学模型, 经过反复学习增加对环境的了解, 在学习过程中改变其内部表示, 提高自身性能, 使输入-输出变换朝好的方向发展。神经网络在应用上具有以下几方面的显著特点:

- (1) 能够充分逼近任意复杂的非线性关系;
- (2) 能够学习与适应严重不确定性系统的动态特性;
- (3) 所有定量或定性的信息都等势分布贮存于网络内的各神经元, 因此有很强的鲁棒性和容错性;
- (4) 采用并行分布处理方法, 使快速进行大量运算成为可能;
- (5) 具有很强的组合优化功能。

正因为人工神经网络的诸多优点, 加上它不依赖被控对象的数学模型, 能适应任何不确定性的系统, 无需任何先验知识, 近些年来, 其在信息处理、模式识别、智能控制等众多领域得到越来越广泛的应用^[3-4]。

1.2 贝叶斯正则化算法理论

基于误差反向传播算法的 BP (Back Propa-

gation) 神经网络是一种典型的前馈神经网络,主要用于多参数非线性预报和预测,尤其适用于无法建立准确数学模型的复杂问题。目前实际应用的人工神经网络中 80%~90% 是 BP 网络或其变化形式。BP 神经网络一般采用网络响应的均方差(E_d)作为性能指数:

$$E_d = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n (t_p - a_p)^2$$

式中, n 为学习集样本总数, t_p 为第 p 组训练的期望输出值, a_p 为第 p 组训练的实际输出值。

BP 网络使 E_d 尽量减小或达到某一值为目标,但在训练和应用过程中因为不可避免的过拟合、欠拟合现象,易陷入局部最小值,存在运行效率不够高等问题。由于神经网络的泛化能力主要依赖于网络结构和训练样本的特性,因此研究人员提出了众多可供选择的训练策略和优化网络结构来提高其泛化能力,主要有修剪法、正则化法和进化法等^[5],本研究采用正则化方法,它通过修正神经网络的训练性能函数来提高其泛化能力。常用的正则化方法是在误差函数后加上权衰减项 E_w ,使网络的性能指数变为

$$F(\omega) = \alpha E_w + \beta E_d$$

$$E_w = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \omega_j^2$$

式中, ω 为网络的权值向量; E_w 为网络所有权值的均方差, m 为网络权值的总数, ω_j 为网络权值; α 和 β 为正则化系数。

α 和 β 的大小影响网络的训练效果。如果 $\alpha \ll \beta$, 则训练算法倾向于使学习集网络响应的误差减小,容易使网络出现过拟合现象;如果 $\alpha \gg \beta$, 则训练强调权值的减小,自动缩小了网络规模,使网络的输出更加平滑,可有效增强网络的泛化性能,但容易导致网络欠拟合。

贝叶斯正则化算法在网络训练中将网络权值视为随机变量,以最大后验概率为目标,自适应调节 α 和 β ,使其达到最优。本研究以数学软件 matlab 工具箱为基础进行编程并设定参数,以寻求最优的网络输出。

2 挤出温度预测模型的建立和分析

数据采集在广州华工百川科技股份有限公司

生产的胎面三复合挤出联动线上进行。三台挤出机的机筒直径分别为 250, 150 和 120 mm, 采用三段强制收缩, 冷却水箱总长约 120 m, 每台挤出机的螺杆转速、各功能段温度和机头温度均可以实现手动设置和调节, 并可在线显示各参数的数值。挤出胎面胶的温度采用激光红外测温仪测量, 测量灵敏性较高, 满足对挤出温度的实时测量要求。综合考虑胎面三复合挤出生产线的结构和挤出原理^[6-7], 本研究选择包括三台挤出机螺杆转速、机头压力和温度等因素的 24 个初始辅助变量, 共采集到 185 组样本数据, 经过箱型图法剔除离群点后, 获得 144 组有效数据。结合主成分分析方法, 将均值滤波与准则相结合对样本数据进行矫正处理, 最后获得 21 个辅助变量、117 组数据。为使模型建立和预测分析更科学合理, 将样本空间划分成建模样本和测试样本两部分, 采用前面的 100 组样本点进行建模, 而将另外 17 组样本数据作为测试样本用以分析模型的预测效果。

建立人工神经网络需要确定的参数包括网络层数、各层神经元个数、学习速率和终止条件等。理论证明, 三层神经网络可以逼近任何函数, 同时运算在 5 万次以内即可以达到目标精度。神经元越多, 拟合效果越好, 但是过多的神经元也会导致网络模型运行效率降低。本研究建立的 BP 网络为 3 层, 固定学习速率为 0.1, 采用训练样本批量学习的方式调整网络权值。运行试验后, 目标值和网络输出的拟合如图 1 所示。

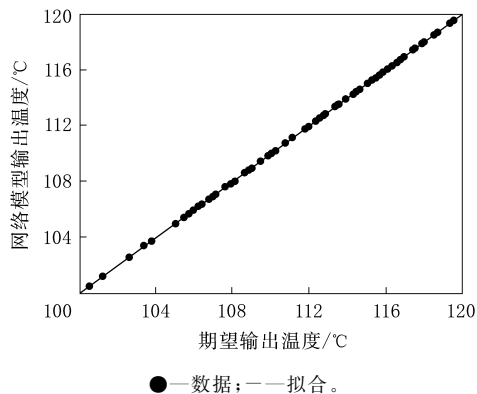


图 1 神经网络输出与期望拟合效果

从图 1 可以看出, 如果挤出温度的期望输出与网络模型输出两者完全重合, 则所有输出点都将在斜线上面。由此可见, 经过训练后的网络模

型已基本获取了实际挤出温度的函数形式,网络输出值与样本对应的挤出温度实际值几乎完全重合,对应的残差如表 1 所示。

表 1 挤出温度模型预测结果 ℃

序 号	预测值	实测值	残差
101	98.9	100.9	2.0
102	98.8	101.0	2.2
103	101.7	103.2	1.5
104	106.0	106.9	0.9
105	110.7	109.5	−1.2
106	103.7	103.3	−0.4
107	104.6	102.8	−1.8
108	107.0	107.0	0
109	103.4	103.4	0
110	116.8	115.5	−1.3
111	109.8	109.8	0
112	109.9	109.9	0
113	116.0	114.1	−1.9
114	116.6	115.7	−0.9
115	115.7	115.5	−0.2
116	115.5	114.4	−1.1
117	116.1	114.8	−1.3

3 结语

应用基于贝叶斯正则化训练方法的 BP 神经网络建立的挤出温度预测模型能对挤出温度做出较精确的预测,与采用如偏最小二乘法等统计分析方法建立的预测模型相比,在精度上有较小的差距,但其简洁性和快速性突出。

需要注意的是,在某些情况下对训练样本拟

合精度并不等同于预测样本的精度,中间可能会存在一定的差距。另外,由于目前尚未有成熟的理论,该方法虽然不需要建立明确的数学模型,但是对神经元数量以及训练样本、学习参数等的选择需要研究人员具有一定的经验,或者经过一定的试验进行比较确认,在运行过程中还需要考虑网络模型可能陷入局部极小值而无法达到指定精度。这些缺点在一定程度上制约了神经网络的应用。但毋庸置疑的是,神经网络作为一种解决问题的新思路和新方法,随着越来越广泛的应用和研究,在新的理论和实践成果支持下将不断完善,同时在各领域的应用也将越来越成熟。

参考文献:

[1] 于清溪. 橡胶挤出机现状与展望[J]. 橡塑技术与装备,2010, 36(7):16-23.

[2] 傅永峰. 软测量建模方法研究及其工业应用[D]. 杭州:浙江大学,2007.

[3] 陈格. 人工神经网络技术发展综述[J]. 中国科技信息,2009 (17):88-89.

[4] 汤同奎,邵惠鹤. 神经网络在控制中的应用[J]. 轮胎工业, 1998,18(1):45-49.

[5] Wasserman P D. Neural Computing Theory and Practice[M]. New York: Van Nostrand Reinhold,1989:124-129.

[6] 吴大鸣,刘颖,李晓林. 精密挤出成型原理及技术[M]. 北京: 化学工业出版社,2004:350-372.

[7] 王武义,徐定杰,陈健翼. 误差原理与数据处理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社,2001:52-64.

收稿日期:2013-10-24

Extruding Temperature Prediction Model Based on Back Propagation Artificial Neural Network through Bayesian-regularization

YAN Wei-wei¹,XIAO Ye-xing¹,MA Tie-jun^{1,2}

(1. South China University of Technology,Guangzhou 510640,China;2. Guangzhou SCUT Bestry Technology Co.,Ltd,Guangzhou 510640,China)

Abstract: The principle of back propagation(BP) artificial neural network based on Bayesian-regularization was briefly introduced,and the prediction model of extrusion temperature was established by using the BP artificial neural network. The comparison of prediction with test results showed that the trained network model correctively predicted the actual extrusion temperature function. This simulation method was very effective and simple.

Key words: tire;tread extrusion;temperature prediction model;artificial intelligence;back propagation artificial neural network;Bayesian-regularization