

织物柔软度等级评价的 BP 网络方法

欧建文¹, 李淑红², 梁小平³, 樊小伟³

¹天津工业大学纺织学院, 天津 (300160)

²天津工业大学理学院, 天津 (300160)

³天津工业大学改性与功能纤维天津市重点实验室, 天津 (300160)

E-mail: o.jw@163.com

摘要: 基于织物柔软度等级评价体系, 建立一个织物力学指标与柔软度关系的 BP 神经网络模型, 对织物柔软度进行评价。借助 KES-F 风格仪测得的 12 组数据对 BP 神经网络进行训练, 训练好的模型对织物进行检验。结果表明: 网络迅速完成训练, 误差平方和低于 10^{-3} ; 对检验用的织物进行等级评价, 其输出等级与综合评价等级保持一致。此方法客观、准确、简捷。

关键词: 织物; 柔软度; BP 神经网络; 评价方法

中图分类号: TS101.1

1. 引言

织物的柔软度是织物品质评定的重要内容, 它不仅影响织物的外观风格, 而且影响织物的穿着性能。然而, 目前还没有一套完整的体系用于评价织物的柔软度, 大多数还是采用主观评价的方法。王亚等对织物进行主成分分析, 所得的综合评价值作为织物柔软度的评价指标, 对织物柔软度进行等级划分, 得到了一个较为客观完善的评价体系^[1]。但是这种方法在用主成分分析计算各子样的综合评价值时数据较多且算法复杂, 因此有必要对此算法进一步改进, 寻求简洁的方法评价织物柔软度。

织物的弯曲性能、剪切性能和压缩性能等与织物的柔软度存在着复杂的非线性关系, 而 BP 神经网络具有自学习、自组织、自适应和非线性动态处理等特性, 特别适合处理复杂的非线性过程^[2]。在处理问题时, 不需要研究对象的精确数学模型, 而是通过对神经网络的训练和学习, 逐步调整各权值, 解决问题。本文基于王亚等所建立的织物柔软度评价体系, 提出以织物弯曲性能、剪切性能和压缩性能等指标作为输入, 以柔软度等级作为输出, 建立一个织物力学指标与柔软度等级关系的 BP 神经网络模型, 对织物柔软度进行评价。

2. BP 神经网络工作原理

BP 神经网络是一种基于误差反向传播的多层前馈型网络。一般由输入层、输出层和隐层构成, 每一层包含若干个神经元, 各层之间相互连结。样本由输入层传入, 经隐层处理后传向输出层。若输出层的输出与目标输出不符, 则产生一个误差, 误差反向传播, 从输出层经过各隐层传回到输入层, 从而逐层修正各连接权值。权值不断调整, 直到网络的目标误差达到要求或进行到设定的学习次数为止, 该过程也称作网络的学习过程。由于网络结构简单、可调参数多、可控性好, 因此获得了广泛的应用, 并且在纺织上已成功应用于织物疵点识别、上浆率预测和纺纱工艺参数评定^[3-5]等方面。

3. 柔软度评价体系模型的建立与训练

3.1 试验数据

织物的柔软性与其弯曲性能、剪切性能和压缩性能有着密切的关系, 文献[1]选取了 30 块柔软范围较大、波动均匀、较具代表性的织物进行测试。试验中利用 KES-F 风格仪对织

物的弯曲刚度、弯曲滞后矩、剪切刚度、剪切滞后矩、厚度等 12 项指标进行测试，并根据所求得的综合评价值对织物柔软度由软到硬划分为 6 个等级，1 级最软 6 级最硬。

试验数据的选取对模型的建立及训练密切相关。一般来说，选择的试样应具有广泛性和随机性，这样的数据才有可能包含问题的全部模式。因此，本文随机选取了 1~6 等级中每等级 3 组共 18 组数据用于模型训练，仍选用 $F_1\sim F_4$ 四块织物做模型检验。测量数据及织物所属等级见表 1、表 2。

表 1 织物力学指标测量值^[1]

编号	B_1	B_2	$2HB_1$	$2HB_2$	T_0	T_m	G_1	G_2	$2HG_1$	$2HG_2$	$2HG_{5_1}$	$2HG_{5_2}$
f_2	0.051	0.013	0.053	0.016	0.325	0.182	0.870	0.890	1.050	1.650	3.100	3.830
f_3	0.860	0.550	0.730	0.580	0.792	0.518	1.380	1.390	0.900	0.210	5.030	4.230
f_5	0.693	1.520	0.751	1.852	0.898	0.488	4.430	3.940	2.550	0.980	10.98	8.430
f_6	0.350	0.058	0.277	0.051	0.537	0.330	1.840	1.810	0.430	1.330	4.780	7.200
f_7	0.101	0.027	0.072	0.021	0.428	0.222	1.020	0.880	0.700	1.130	3.550	3.900
f_{10}	0.104	0.017	0.077	0.014	0.365	0.171	1.100	1.120	1.730	1.850	3.980	5.400
f_{11}	0.237	0.192	0.245	0.188	0.506	0.319	5.000	5.520	5.880	5.500	10.80	17.00
f_{13}	0.151	0.053	0.066	0.033	0.149	0.190	0.380	0.400	0.630	0.700	0.980	1.050
f_{15}	0.019	0.074	0.013	0.033	0.110	0.161	0.240	0.240	0.050	0.100	0.330	0.180
f_{16}	0.039	0.046	0.020	0.024	0.252	0.311	0.240	0.230	0.060	0.010	0.100	0.180
f_{17}	0.212	0.106	0.335	0.159	0.405	0.610	2.280	2.420	3.900	3.800	7.850	7.580
f_{18}	0.780	0.310	1.030	0.424	0.933	0.480	4.870	6.080	15.60	15.80	10.60	23.50
f_{20}	0.386	0.164	0.510	0.216	0.628	0.300	5.010	5.960	13.80	14.28	18.90	22.10
f_{22}	0.394	0.146	0.346	0.132	0.537	0.270	5.210	5.980	7.250	6.600	11.20	19.00
f_{24}	0.981	0.280	1.290	0.326	1.150	0.666	4.020	4.840	11.40	11.53	9.030	18.30
f_{25}	0.672	0.479	1.010	0.437	0.742	0.422	4.670	6.070	10.88	11.00	10.20	23.50
f_{28}	0.183	0.024	0.245	0.045	0.376	0.222	2.380	3.260	8.280	5.730	5.990	11.30
f_{30}	0.228	0.549	0.018	0.398	0.873	0.447	5.820	7.030	10.08	10.65	8.260	17.10
F_1	0.009	0.006	0.008	0.007	0.187	0.244	0.190	0.180	0.150	0.380	0.130	0.150
F_2	0.883	0.302	1.360	0.426	1.060	0.471	4.250	5.170	13.85	15.68	9.450	21.80
F_3	0.118	0.103	0.394	0.091	0.667	0.342	3.080	3.180	2.750	3.980	8.200	9.900
F_4	0.056	0.044	0.022	0.014	0.562	0.321	0.702	0.837	0.420	0.392	1.250	1.360

表 2 织物所属柔软度综合评价等级^[1]

柔软度等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	6 级
试样	f_{13}, f_{15}, f_{16}	f_2, f_7, f_{10}	f_6, f_{17}, f_{28}	f_3, f_{11}, f_{22}	f_{20}, f_{25}, f_{30}	f_5, f_{18}, f_{24}

3.2 设计 BP 神经网络

1) 输入与输出层设计

根据 KES-F 风格仪所测得数据，共有 12 项参数共同影响织物的柔软度，对应于这些参数，BP 神经网络的输入神经元个数应为 12。以柔软度等级作为输出，则输出神经元个数为 1。

2) 隐层的设计

一个三层 BP 网络可以完成任意 N 维到 M 维的映射^[6]，简洁起见本文选取的网络层数

为3层。

对于最佳隐层神经元数目可以根据(1)式进行计算：

$$S = \sqrt{n+m} + a \quad (1)$$

其中： S 为隐层神经元个数， n 为输入神经元个数， m 为输出神经元个数， a 为[1,10]之间的常数。

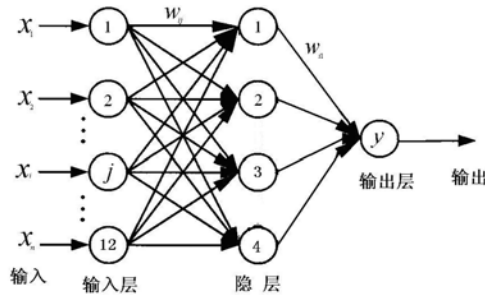


图1 12-4-1 三层结构的 BP 神经网络

本文选取 $n=12$ 、 $S=4$ 、 $m=1$ ，建立一个 12-4-1 三层结构的 BP 神经网络，见图 1。网络的数学表达式为：

$$f(X_{L,12} \times W_{12,4} \times W'_{4,1}) = Y_{L,1} \quad (2)$$

其中： f 为神经元激励函数； $X_{L,12}$ 为 L 个样本的 12 项指标； W 、 W' 分别为各层的连接权值； $Y_{L,1}$ 为 L 个样本的输出评价等级。从式中可以看到，BP 神经网络可以同时完成对 L 个样本的柔软度等级评价。

输入参数对输出结果的影响由网络权值决定，因此，知道网络各层间的权值及其分布就可以得到织物柔软度的评价等级，而各层神经元之间的连接权值通过对模型的训练得到。

3.3 模型的训练

由于原始数据中量纲不同，数值差异较大对训练神经网络造成影响，为了消除这种影响需要对原始数据进行归一化处理，即将数据处理为在区间[0,1]之间的数。归一化的方法有很多，这里对于输入数据采用如下公式：

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

对于输出数据则可以直接除以 10 得到，即：

$$X' = \frac{X}{10} \quad (4)$$

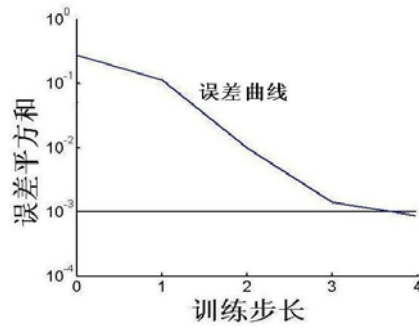


图2 模型训练曲线

把经过归一化处理的数据输入网络进行训练，训练参数：最大训练步数为 1000；允许误差为 0.001；学习率为 0.001。其训练过程曲线见图 2。由图可知，经过 4 步训练就达到了设定的允许误差值，模型迅速完成了学习，并且性能参数达 0.068%，说明所建立的模型具有很高的精度和准确性。

训练权值见式(5)和式(6):

$$W = \begin{bmatrix} -1.3613 & -0.956 & -1.2435 & -0.5633 & 1.055 & 0.1416 & 1.4793 & 1.2788 & -0.0368 & -0.2947 & 0.3401 & 0.6438 \\ -0.4096 & -0.476 & -0.369 & -1.7926 & 0.4151 & 1.2542 & -1.2691 & 0.6774 & -0.6814 & 0.9411 & 0.805 & 1.1581 \\ 0.3656 & 0.589 & -0.1666 & -0.3761 & 0.9259 & 0.3318 & -0.2022 & -0.3192 & -0.4045 & 1.2911 & -0.4758 & 1.5488 \\ -0.8905 & 0.2984 & -1.267 & 0.4898 & -0.0997 & -1.6134 & 0.8058 & 0.8443 & -0.2273 & -0.8181 & 0.8056 & -0.855 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$W' = [-0.1129 \quad -1.3796 \quad 1.4804 \quad -0.3562] \quad (6)$$

其中，式（5）是输入层与隐层间的连接权值，这是一个 4×12 的矩阵，矩阵元 w_{ij} 表示第 j 个输入神经元与隐层中第 i 个神经元之间的连接权值。式（6）是隐层与输出层的连接权值，矩阵元依次表示隐层中第 1-4 个神经元与输出层的连接权值。至此，织物柔软度等级评价的 BP 神经网络模型已完全建立。

3. 模型检验

根据上面训练好的 BP 神经网络，对 $F_1 \sim F_4$ 四块织物进行检验。首先对这四组数据进行归一化处理，然后代入训练好的模型中，得到网络输出并对其做还原处理后，就可得到经 BP 神经网络输出的织物柔软度等级。其输出等级与综合评价等级的比较见表 3。

表3 织物柔软度训练输出等级与综合评价等级

试样编号	训练输出等级	综合评价等级	误差值
F_1	1.157	1	0.157
F_2	5.671	6	-0.0548
F_3	3.011	3	0.00367
F_4	1.983	2	-0.0085

运用 BP 神经网络模型对织物的柔软度进行评价，训练输出等级表明 $F_1 \sim F_4$ 四块织物分别属于 1 级、6 级、3 级、2 级，与文献[1]中的综合评价等级保持一致，具有较高的准确性。在处理问题过程中神经网络只需以测试指标作为输入，通过网络的训练和学习，自动决定影响织物柔软度的参数及其影响程度，形成模型，完成对织物柔软度等级的评价。此方法客观、准确、简洁。

4. 结论

织物柔软度是织物品质评定的重要内容,依据织物的综合评价对柔软度进行等级划分可以得到量化的结果,并且具有客观性和合理性^[1]。用 BP 神经网络对织物柔软度进行等级评价,建立织物力学指标与柔软度等级之间关系的模型,省略了中间的求解过程,方法客观、准确、简洁,为快捷评价织物的柔软度提供了新思路。

参考文献

- [1] 王亚,卢雨正,高卫东. 织物柔软度的等级划分[J]. 纺织学报, 2008, 29(11): 53-56.
- [2] 朱大奇,史慧. 神经网络原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [3] 刘建立,左保齐. BP神经网络在织物疵点识别中的应用[J]. 纺织学报, 2008, 29(9): 43-47.
- [4] 杨艳菲,崔世忠. BP神经网络预测上浆率[J]. 纺织学报, 2006, 27(10): 84-86.
- [5] 刘贵,于伟东. 毛精纺前纺工艺参数重要性的BP网络定量评价法[J]. 纺织学报, 2008, 29(1): 34-37.
- [6] 葛哲学,孙志强. 神经网络理论与MATLAB2007实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [7] 梅兴波,顾伯洪. 预测织物拉伸性能的BP网络方法[J]. 纺织学报, 2000, 21(5): 292-295.
- [8] 曹建达,顾小军,殷联甫. 用BP神经网络预测棉织物的手感[J]. 纺织学报,2003,24(6): 35-37.

Fabric softness evaluation with BP neural network

Ou Jianwen¹, Li Shuhong², Liang Xiaoping³, Fan Xiaowei³

1 School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin, PRC, (300160)

2 School of Science, Tianjin Polytechnic University, Tianjin, PRC, (300160)

3 Tianjin Municipal Key Lab of Fiber Modification and Functional Fiber, Tianjin Polytechnic University, Tianjin, PRC, (300160)

Abstract

Based on the evaluation system of fabric softness, the establishment of a mechanical indicator of Fabric relationships with the flexibility of the BP neural network model to evaluate fabric softness. By KES-F-style instrument measured 12 sets of data on the BP neural network training, a good model for testing of fabrics. The results showed that: the rapid completion of the training network, the output error of less than 10^{-3} ; to test fabric used in rating the output level and maintain a consistent level of comprehensive evaluation. This method is objective, accurate and concise.

Keywords: Fabric Softness BP neural network evaluation method

作者简介:

欧建文(1986—),男,本科生,纺织工程专业。

通讯作者:

李淑红(1974—),女,研究方向为数值模拟和传感器。