

Intelligent Home Indoor Environment Comfortable Forecast Based on Neural Network Optimized by Genetic Algorithm

Wang Xiaohui¹, Bian Huijuan^{1†}

1. School of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China

[†]Email:bianbianhuijuan@163.com

Abstract

Aiming at the influence of multiple indoor factors on the comfort of the smart home interior environment, the method of forecasting indoor comfort was researched. Thus on this basis, a back propagation neural network comfortable prediction model optimized by the genetic algorithm was proposed. To find the influencing factors that affecting the indoor comfort, the historical data of the intelligent home data acquisition system was analyzed. The BP neural network model improved by genetic algorithm was established to forecast indoor comfort in advance. Based on the Matlab toolboxes, the trained model was trained by test data, and the output data was compared to the results of traditional method. The results indicate that the application of genetic algorithm optimization is helpful to improve the precision of the BP neural network model and that the percentage of average error between the prediction results and measured results decreases. The proposed forecasting method has significance in engineering applications.

Keywords: Comfort Forecast; Genetic Algorithm; Neural Network;

基于遗传算法优化神经网络的智能家居室内环境舒适度的预测^{*}

王晓辉¹, 边会娟¹

1. 北京建筑大学 电气与信息工程学院, 北京 100044

摘要: 针对智能家居室内环境的舒适度是由诸多室内因素共同影响这一复杂问题, 本文对现有的计算室内舒适度的方法进行分析, 从而在此基础上, 通过对智能家居控制设备的相关数据采集, 搭建了基于遗传算法优化的神经网络舒适度预测模型, 实现对室内环境的舒适度的预测。运用 Matlab 作为测试工具平台, 对优化后的模型进行实验, 同时对优化后的模型与传统的神经网络预测结果进行对比分析。研究表明, 遗传算法优化后的方法提高了神经网络模型预测舒适度的精度, 预测结果与实测结果之间的误差明显减小, 预测方法具有实际工程应用意义。

关键词: 舒适度预测; 神经网络; 遗传算法;

引言

随着科学技术的不断进步, 很多工作在室内完成, 室内环境对人们工作生活的影响日益增大。因此实时、准确的预测室内舒适度, 并根据当前室内舒适度, 合理的调节室内空调、通风机和加湿器等设备的运行, 对提高工作效率是有重要意义的。传统的室内舒适度的预测是单一地基于室内温度的变化进行评估^[1], 而实际生活中室内环境的舒适度是很多因素综合影响的结果。目前解决该问题的方法大多采用 BP 神经网络

^{*}基金资助: 受北京市优秀人才资助项目 (2014000020124G054); 住建部科学技术项目 (2015-K1-012); 2017 年北京建筑大学研究生创新项目 (PG2017022) 共同支持资助。

作为核心的热舒适度预测模型^{[2]-[4]}，这些方法中 BP 神经网络权值和阈值的初始化是随机的，因此神经网络搜索方向并不一定指向全局最优解，所以可能导致收敛于局部最优解，造成计算提前终止。为了解决 BP 神经网络收敛速度慢，极易陷入局部最小值等问题。本文采用遗传算法对 BP 神经网络进行优化，因为遗传算法直接以适应度作为搜索信息，搜索过程不受函数连续性约束，具有良好的全局搜索能力，能快速找到全局最优的阈值和权值，从而有效提高预测舒适度的精度和速度。

1 舒适度的分析

丹麦学者 P.O.Fanger 教授提出了舒适度 PMV（预测平均投票指标- predicted mean vote, PMV）和评价指标 PPD（预测值不满意人数百分比- predicted percentage of dissatisfied, PPD）的概念，该舒适度评价指标是目前应用最广泛的舒适性评价标准^{[5]-[8]}。

表 1 符号说明表

符号	说明
M	人体热量代谢率
S	储备热量
E	由汗、呼吸、蒸发带走的热量
R	穿衣人体表面与周围表面辐射换热量
C	穿衣人体表面与周围表面对流换热量
W	人体所做的机械功
P _a	人体周围空气的水分子压力
t _a	人体周围空气温度
t _r	房间内平均辐射度
f _{cl}	穿衣人体表面与裸体人体表面积之比
I _{cl}	服装热阻
t _{cl}	衣服外表面温度
h _c	表面传热系数
v	室内风速

P.O.Fanger 教授将人体在稳定条件下的状态平衡描述为热平衡方程：

$$S = M - W - E - R - C \quad (1)$$

公式（1）中，具体符号说明见表 1，认为在稳定环境中当人体 S=0 时，处于不冷不热状态，即热量平衡状态。根据这一理论，又定义了舒适度的公式（2），奠定了环境舒适度的理论基础，在此之上进一步提出 PPD 标准衡量尺度如公式（3），用于进一步分析室内环境。

$$PMV = (0.028 + 0.303e^{-0.036M}) \left\{ \begin{aligned} &M - W - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99(M - W) - P_a] - \\ &0.42 [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) - \\ &0.0014M (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 \right] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$PPD = 100 - 95 \times \exp \left[- \left(0.3353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2 \right) \right] \quad (3)$$

综合分析公式（2）：

- 1) 式(2)中 P_a 的计算过程为： $P_a = \varphi_a \times P_s$ ， φ_a 表示室内相对湿度，该数据可以由传感器直接获取，但是 P_s 根据文献[9]得知：随着室内温度变化空气中饱和水分子压力 P_s ，常用泰登公式（4）进行计算。

$$P_s = 610.6 \times \exp\left(\frac{17.260t_a}{273.3 + t_a}\right) \quad (4)$$

2) 式(2)中 f_{cl} 的计算公式为(5)，根据文献[10]，冬季采用 $I_{cl} = 0.9clo$ ，夏季采用 $I_{cl} = 0.5clo$ ，即不同季节需要根据不同公式计算得到 f_{cl} ，从而进一步计算舒适度 PMV。

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl}, & I_{cl} \leq 0.78 \\ 1.05 + 0.645I_{cl}, & I_{cl} > 0.78 \end{cases} \quad (5)$$

3) 式(2)中 t_{cl} 的计算过程如公式(6)：

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \left\{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} - 273)^4 - (t_r + 273)^4 \right] + \right. \\ \left. f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (6)$$

但是，式(6)中， h_c 也是需要根据不同的室内风速 v 进行计算，如式(7)所示。

$$h_c = \begin{cases} 12.1\sqrt{v}, & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \geq 12.1\sqrt{v} \\ 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25}, & 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \end{cases} \quad (7)$$

综上 1)-3)所述，由式(2)得到 PMV，其部分变量需要参考经验值，计算过程复杂，并且计算量大，这样在一定程度上局限了真实环境内变量数据变化对室内舒适度的影响情况。

进一步分析式(2)，Fanger 教授把影响室内环境的舒适度因素分为 6 个变量（ φ_a 室内湿度、 t_a 室内温度、 v 室内风速、 t_r 室内平均辐射度、 M 人体活动代谢和 I_{cl} 人体着装情况）共同作用的结果。归类为 2 个主观因素： M 、 I_{cl} ；4 个客观因素： φ_a 、 t_a 、 v 、 t_r 。

根据房间内平均辐射度公式 $t_r = \frac{\sum t_a A}{\sum A}$ 即室内平均辐射度是室内所有表面积和温度的乘积与室内表面积总和的比值，一般近似看作 $t_r = t_a$ 。

表 2 PMV-PPD 指标的标准对照表

	热	暖	稍暖	最佳	稍凉	凉	冷
PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
PPD	100%	75%	25%	5%	25%	75%	100%

因此，影响室内环境的舒适度的变量总结为 φ_a 、 t_a 、 v 、 M 、 I_{cl} 五个因素共同影响。2 个主观因素： M 、 I_{cl} 和 3 个客观因素： φ_a 、 t_a 、 v 最后由这 5 个因素，计算得出的舒适度 PMV，根据表 2 中的值，可进一步评估得出室内的舒适度的人员评价情况。

以上可以看出，传统公式计算得出 PMV 需要大量数据迭代，复杂且费时。只有实时快速地得出舒适度指标 PMV，才能对智能家居调节室内环境的各个设备配合运行具有实际参考意义。

2 神经网络预测 PMV

鉴于传统方程得出舒适度的方法计算量大，过程复杂，考虑各个因素和舒适度之间的复杂关系，采用神经网络作为核心算法构建一个室内舒适度的预测器，因为神经网络不需要知道输入值和输出值间的函数关系，只需要提供样本数据，既模型可以自行通过学习训练得到输入值和输出值的函数关系。考虑到人自身主观因素（ M 、 I_{cl} ）的不确定性，在搭建预测模型时人的活动量和衣着情况往往很难检测，一般是采用经验值来表示，因此本文作如下假设：

- 1) 智能家居室内人员活动量导致的新陈代谢率其范围为： $M \in (42, 102)$ M 随机取值，人员服装热阻考虑数据采集的时间为 2017 年 3 月，考虑为冬季则 $I_{cl} = 0.9clo$

2) 客观因素 (φ_a 、 t_a 、 v) 带来的影响, 则由传感器实时采集到的数据表示。

为了真实地反映室内舒适度与 5 个因素 (室内温度 t_a , 室内湿度 φ_a , 室内风速 v , 人体活动代谢 M 和人体着装情况 I_{cl}) 之间的关系, 本文采用某大学的日常办公室作为研究对象, 如图 1 所示。办公室的长度为 6.6 米, 宽度为 4.4 米, 共有办公桌 11 张, 可容纳 10 个人同时办公, 窗户为 2 扇宽 1.5 米, 长 2.0 米的双层保温玻璃窗, 室内配备挂式空调 1 台, 数据采集传感器 1 台。现场采集数据的传感器安装在合理位置, 如图 1 所示。实时采集办公室的温度、湿度和风速数据, 构造训练样本数据用于提高预测的准确度和真实性。

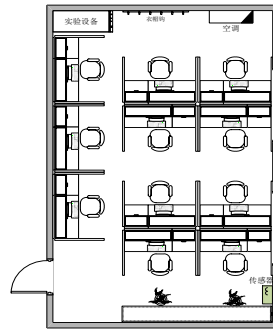


图 1 办公室平面布置图

2.1 模型建立

预测模型输出参数 1 个, 即热舒适度指标 PMV。输入参数 5 个: 人体活动代谢 M 、人体着装情况 I_{cl} 、室内温度 t_a 、室内湿度 φ_a 和室内风速 v 。选择 BP 神经网络作为预测器核心算法进行建模。模型的层数设置为 3 层 (输入层、隐含层和输出层), 其中隐含层节点根据经验设置为 11 个, 阈值函数选用 sigmoid 函数。神经网络模型示意图, 如图 2 所示。

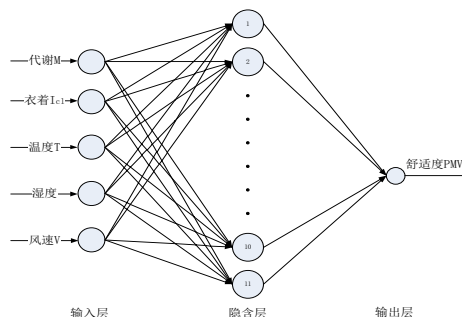


图 2 神经网络示意图

该预测器的模型可以表述为: $PMV = f(t_a, v, \varphi_a, M, I_{cl})$, 采用误差 $e = PMV_{\text{预测值}} - PMV_{\text{期望值}}$, 反向修正各层的连接权值, 从而达到最优的内部函数关系, 得到训练成熟的网络就可以对实时数据进行实时舒适度预测。

2.2 数据预处理

经过为期一个多月的数据采集, 以每天 15 分钟的频率采集室内数据, 得到了原始数据集合, 共计 2968 条数据。但不可否认这些庞大的数据中间存在着很多噪声和冗余, 因此数据处理是重要的一步, 也是真实地得到预测数据和影响数据之间关系的必要一步。

2.2.1 数据集

为了能合理地去除数据冗余, 采用聚类分析, 将同一类型的数据合并, 减少数据冗余带来的影响。聚类采用 K-means 算法^[11], 它可将数据原始输入矩阵矩阵 X 划分为 K 个类, 使得同类内各个对象之间的距离最

大,而异类之间的距离最小。该算法的实施过程如下。

- 1)从 N 个输入矩阵中随机选取 K 个数据作为质心
- 2)对剩余的每个数据测量其到每个质心的距离,并把它归到最近的质心的类
- 3)重新计算已经得到的各个类的质心
- 4)迭代 2~3 步直至新的质心与原质心相等或小于指定阈值,算法结束

经过 MATLAB 的计算,2968 个数据分成了 2133 类,为了形象的说明分类的情况,本文随机挑选 20 组原始数据点,并将其与聚类后的类均值点作比较,如图 3 所示。

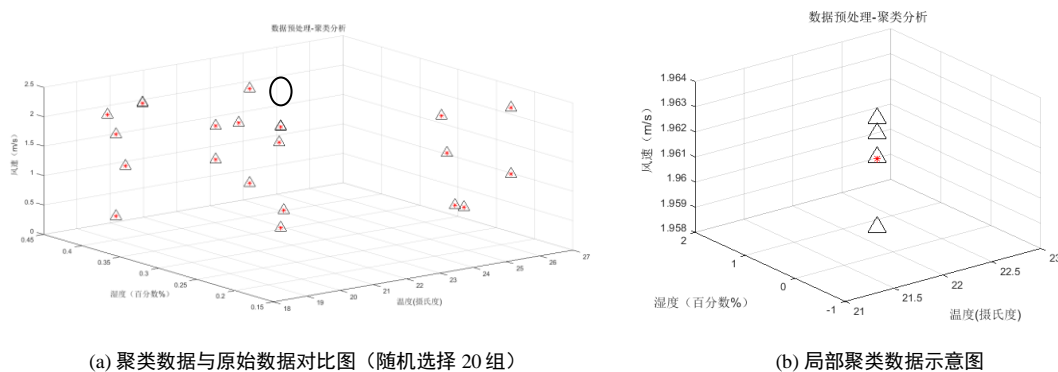


图 3 数据集效果图

图中星号表示该聚类簇的均值点,三角符号表示原始数据,图 b 是图 a 的标记处局部放大图,可以看出,通过该聚类分析可以将该位置相近的点,用均值簇点表示,能有效地降低了冗余对数据的重复影响。

2.2.2 数据变换

如果待测数据每一个变量都有自己的变化范围,当值域很大的变量与值域很小的变量放在一起时,大多数情况下考虑的变化量的绝对值时,前者的影响会掩盖后者的影响,进而导致每一个变量相关度变高,那么建模就不容易找到每个相对独立变量之间的关系,因此需要把所有的变量放在一个相似的值域变化范围,在同等条件下,每一个变量的真实影响效果将得到均衡展现,而不存在由于值域范围不同而相互影响的情况。因此需要先规范采集数据。即利用线性变换将采集到的数据规范化^[11],其过程如下。

将待建模数据集 $U = \{t_a, v, \varphi_a\} = \{x_1, x_2, x_3\}$ 中的特征向量提取出来: 温度 $x_1 = \{t_{a1}, t_{a2} \dots t_{an}\}$; 湿度 $x_2 = \{\varphi_{a1}, \varphi_{a2} \dots \varphi_{an}\}$; 风速 $x_3 = \{v_1, v_2 \dots v_n\}$ 其中 x_1, x_2, x_3 是不同的特征值向量,但是它们是同维数组, n 是代表去除冗余和噪声后的数据量的个数。假设 $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, x_3\}$ 为待处理的输入矩阵,其均值矩阵为: $\bar{\mathbf{X}} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3\}$, 第一个特征向量的均值为 $\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$, 同理可得剩余特征向量均值 \bar{x}_2, \bar{x}_3 。由标准偏差公式: $\delta_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2$ 得出每一个特征向量的标准偏差 $\delta_1, \delta_2, \delta_3$, 又根据 $y_1 = \frac{x_1 - \bar{x}_1}{\delta_1}$ 可以将采集数据矩阵 \mathbf{X} 标准化为 $\mathbf{Y} = \{y_1, y_2, y_3\}$ 如图 4 所示。

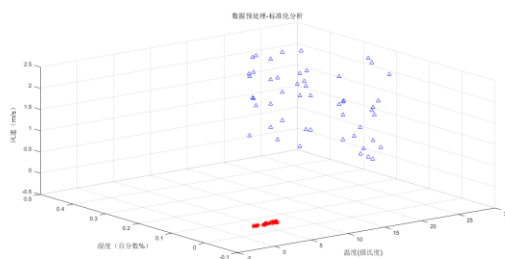


图 4 标准化数据与原数据组对比图 (随机选择 50 组)

三角符号为初始数据集，红星符号为标准化后数据集，被变换的特征值变量间具有相同的均值 0 和单位标准偏差。神经网络预测时，使得待输入的不同特征向量之间呈现了相同的数量级，并且能够保证在神经网络进行迭代权值时，每个变量的影响变化区间是统一的。

3 遗传算法优化

为了解决 BP 神经网络作为预测算法，收敛速度慢，极易陷入局部最小值等问题，采用遗传算法优化 BP 神经网络，因为遗传算法直接以适应度函数作为搜索信息，搜索过程不受函数连续性约束，具有良好的全局搜索能力，能快速找到神经网络的全局最优的阈值和权值的数值，因此被广泛的应用^{[12]-[14]}。遗传算法优化神经网络的工作流程如图 5 所示，实现过程如下：

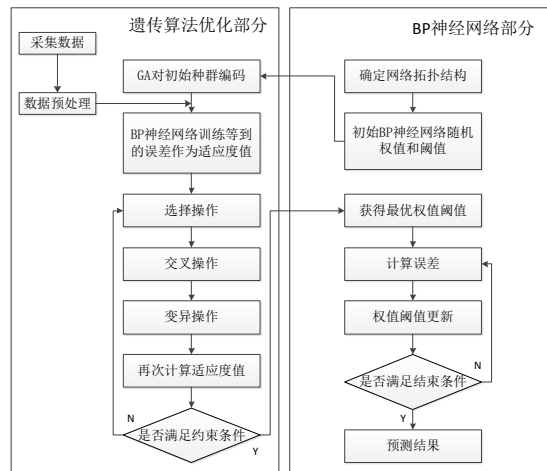


图 5 遗传算法优化神经网络阈值/权值流程图

- 1) 将 BP 神经网络的初始阈值和权值作为初始种群，在 Matlab 中采用 GA 工具箱中编码函数对初始种群中每一个个体进行编码。
- 2) 初始阈值和权值的神经网络预测输出结果误差 e 作为个体的适应度函数 F ，并且对种群中个体的适应度进行计算，获得每个个体适应度值。
- 3) 根据适应度值，选择适应度高的个体作为种群的父辈，执行遗传算法的复制、交叉和变异操作，产生新的种群。计算适应度函数值，即返回 2) 继续执行，直到满足约束条件（最大进化次数或者达到期望误差），输出最优阈值和权值。
- 4) 最优阈值和取值作为训练成熟的神经网络阈值和权值，直接对待测数据进行预测，得到预测值。

4 模型仿真与分析

在 Matlab 中，搭建神经网络训练模型，其参数指标如表 3 所示，将预处理过后 2133 组数据，随机抽取 2033 组数据作为训练数据，其余 100 组数据作为测试数据。为了验证该算法的有效性和准确性，实验比较了遗传算法优化后的神经网络相比未优化前的神经网络，在相同情况下处理相同数据的预测结果之间的差异。

表 3 遗传算法优化 BP 神经网络参数设置

最大进化次数	变异率	交叉率	神经网络迭代次数	神经网络学习率	期望误差
100	0.2	0.4	200	0.01	0.004

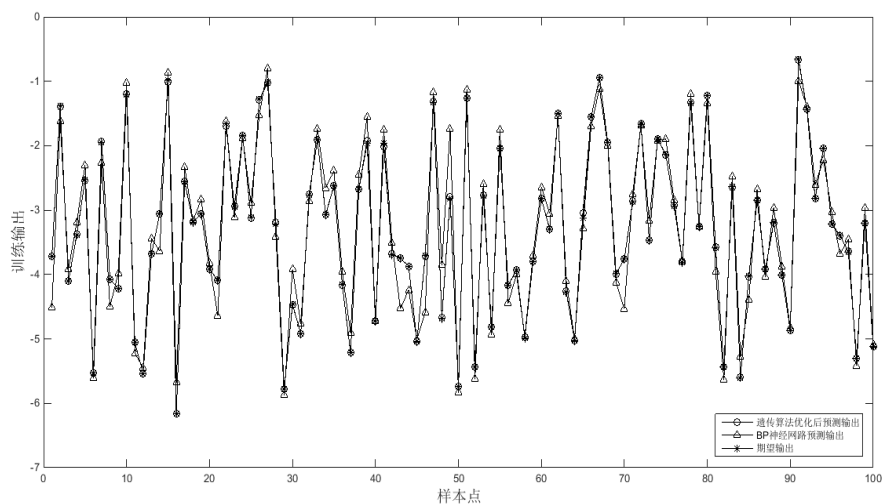


图 6 优化前后预测输出与期望输出对比图

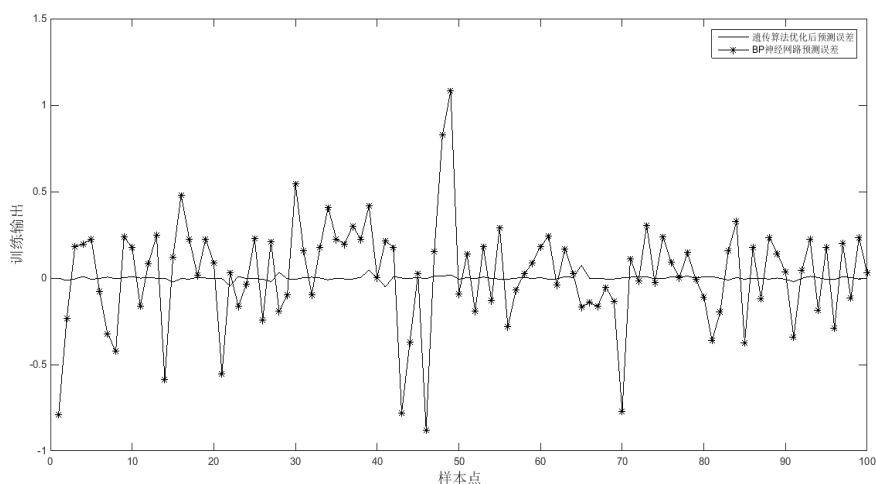


图 7 优化前后预测输出与期望输出之间误差对比图

表 4 遗传算法优化前后预测结果比较（100 组测试数据中随机 5 组）

编号	室内温度 / $^{\circ}\text{C}$	室内风速 / $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	相对湿度 / %	新陈代谢率 / $(\text{w}\cdot\text{m}^{-2})$	服装热阻 / clo	遗传算法优化 BP 神经网络			BP 神经网络		
						训练步数	pmv 预测值	误差	训练步数	pmv 预测值	误差
1	26.2	1.4	27.5	49	0.9	84	-1.0569	-0.0011	185	-1.1966	-0.1408
2	18.1	0.7	37.1	53			-4.9136	0.0020		-4.7595	0.1561
3	19.1	2.2	40.3	58			-5.7436	-0.0067		-5.8279	-0.0909
4	22.3	2.2	31.6	69			-3.9910	-0.0054		-4.1221	-0.1364
5	19.1	1.3	39.1	65			-5.1232	0.0009		-5.0956	0.0284

- 1) 从表 4 中可以得知，采用遗传算法优化神经网络预测的绝对误差在 ± 0.01 之间，平均误差为：0.21%，和仅仅采用 BP 神经网络预测模型相比，平均误差降低了 2.8%。
- 2) 由图 6 可以看出，遗传算法优化后的神经网络预测曲线接近期望值曲线，拟合效果好。并且由图 7 可以看出遗传算法优化后的神经网络预测误差明显减小。
- 3) 遗传算法优化后的神经网络预测模型将遗传算法和神经网络相结合，从预测精度和拟合效果都可以看出，该方法理论上符合要求，而且经过实际数据测试的实例对比分析表明预测结果更为准确。

5 参考文献

- [1] 马庆, 李歧强, 聂清珍. 公共建筑空调温度设定值的动态优化控制研究[J]. 系统工程学报, 2011, 26(4): 435-441
- [2] 王文标, 郝源, 汪思源, 等. 基于神经网络的建筑室内温度预测比较研究[J]. 微型机与应用, 2015, 34(3):99-102
- [3] 徐瑞东, 戴淦, 孙晓燕. 基于 BP 神经网络的光伏阵列温度预测[J]. 工矿自动化, 2012, 38(7):59-63
- [4] 赵博, 连之伟, 周湘江等. 基于神经网络的室内热舒适评判模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(12):1436-1438
- [5] 康兹, 魏润柏. 人与室内环境[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985
- [6] Ekici C. "Measurement Uncertainty Budget of the PMV Thermal Comfort Equation." International Journal of Thermophysics, 2016, 37(5):1-21
- [7] Lachireddi G K K, Muthukumar P, Subudhi S. "Thermal comfort analysis of hostels in National Institute of Technology Calicut, India." Sādhanā, 2016:63-73
- [8] 魏东, 潘兴华, 张明廉. 舒适性指标 PMV 在暖通空调控制中的应用[J]. 北京建筑工程学院学报, 2004, 20(1):52-56
- [9] Xia J, Hang Y U, Jin X, et al. "A PMV-based fuzzy controller for VAV applications [J]." Science Et Technique Du Froid, 2000
- [10] 丁秀娟. 浅谈衣服热阻对人体热舒适的影响[J]. 建筑节能, 2009, 37(2):27-29
- [11] Han Jiawei, Micheline Kamber. "Concept and Technology of Data Mining." China Machine Press. 2007:294-296
- [12] 黄敏敏, 颜文俊. 基于遗传算法优化神经网络的光伏发电预测[J]. 机电工程, 2015, 32(11):1509-1512
- [13] 王志斌, 孔亚楠, 刘永成, 等. 遗传算法优化 BP 神经网络的大功率 LED 结温预测[J]. 光电子·激光, 2014, 25(7):1304-1309
- [14] 杨健, 赵杭生, 陈曦. 遗传算法优化的神经网络频谱预测模型训练[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2016, 17(6):505-511

6 结论

通过对智能家居室内环境的分析, 传统的方程计算舒适度的方法, 考虑因素诸多, 计算公式复杂。本文基于智能家居室内影响舒适度的多种因素之间的非线性变化这一特点, 充分利用遗传算法和神经网络预测模型的优势互补性, 将两个组合, 并建立了遗传算法优化神经网络预测模型。结合实验数据分析, 与仅使用单一神经网络预测模型相比, 该方法预测精度更高, 适应力强。因此智能家居室内舒适度的预测, 采用基于遗传算法优化神经网络的预测方法, 效果更好, 实用性更强, 值得在工程实践中推广。

REFERENCES

- [1] Ma Qing, Li Qiqiang, Nei Qingzhen. "Research on Dynamic Optimal Control of Temperature Setting Value of Public Building Air Conditioning." Journal of Systems Engineering, 2011, 26(4): 435-441
- [2] Wang Wenbiao, Hao Yuan, Wang Siyuan. "Comparative Study on Indoor Temperature Prediction of Buildings Based on Neural Network." Microcomputer and Application, 2015, 34(3):99-102
- [3] Xu Ruidong, Dai Yu, Sun Xiaoyan. "Temperature Prediction of PV Array Based on BP Neural Network." Industry and Mine Automation, 2012, 38(7):59-63
- [4] Zhao Bo, Lian Zhiwei, Zhou Xiangjiang, et al. "Indoor Thermal Comfort Judgment Model Based on Neural Network." Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(12):1436-1438
- [5] Kang Zi, Wei Run bo. "People and the interior environment." Beijing: China Construction Industry Press, 1985
- [6] Ekici C. "Measurement Uncertainty Budget of the PMV Thermal Comfort Equation." International Journal of Thermophysics, 2016, 37(5):1-21
- [7] Lachireddi G K K, Muthukumar P, Subudhi S. "Thermal comfort analysis of hostels in National Institute of Technology Calicut, India." Sādhanā, 2016:63-73
- [8] Wei Dong, Pan Xinghua, Zhang Minglian. "Application of Comfort Index PMV in HVAC Control." Journal of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2004, 20(1):52-56

- [9] Xia J, Hang Y U, Jin X, et al. "A PMV-based fuzzy controller for VAV applications [J]." Science Et Technique Du Froid, 2000
- [10] Ding Xiujuan. "Talking about the Influence of Clothing Thermal Resistance on Human Thermal Comfort." Building energy saving, 2009,37(2):27-29
- [11] Han Jiawei, Micheline Kamber. "Concept and Technology of Data Mining." China Machine Press. 2007:294-296
- [12] Huang Minmin, Yan Wenjun. "Prediction of Photovoltaic Power Generation Based on Genetic Algorithm Optimized Neural Network." Electrical and Mechanical Engineering, 2015, 32(11):1509-1512
- [13] Wang Zhibin, Kong Yanan, Liu Yongcheng, et al. "Prediction of High - power LED Junction Temperature by BP Neural Network Optimized by Genetic Algorithm." Journal of Optoelectronics • Laser, 2014,25(7):1304-1309
- [14] Yang Jian, Zhao Hangsheng, Cheng Xi. "Genetic Algorithm Optimization Neural Network Spectrum Prediction Model Training." Journal of PLA University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2016,17(6):505-511

【作者简介】



¹ 王晓辉（1982-），女，汉族，博士，讲师，研究方向：微电网优化、智能家居控制系统等。

Email:wxhbucea@sina.com



² 边会娟（1992-），女，汉族，在读硕士，研究方向：智能家居控制系统，神经网络优化算法等。

Email: bianbianhuijuan@163.com

: