

文章编号: 1672-8785(2014)02-0033-04

基于神经网络的红外辐射大气透过率建模及计算

席剑辉 李晴晴 傅 莉

(沈阳航空航天大学自动化学院, 辽宁 沈阳 110136)

摘 要: 基于定点测量的标准黑体温度实验数据, 建立大气透过率的神经网络估计模型。在不同距离测量黑体温度后, 引入 BP 网络自适应学习测试数据的潜在规律, 建立大气透过率与当前测量距离及测试温度之间的函数关系, 可以精确计算目标的实际温度。仿真结果表明, 用本文方法所建的 BP 网络可以有效地学习样本信息, 建立的非线性大气透过率模型解决了大气透过率因影响因素复杂计算难度大等问题。

关键词: 大气透过率; BP 神经网络; 红外测温

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.02.006

Modeling and Calculation of Atmospheric Transmittance of Infrared Radiation Based on Neural Network

Xi Jian-hui, Li Qing-qing, Fu Li

(School of Automation of Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: A neural network model for estimating the atmospheric transmittance of infrared radiation is established on the basis of the experimental temperature data of a blackbody measured at fixed points. After the temperature of a blackbody is measured at different distances, a BP network is introduced to adaptively learn the underlying regulations of the measured data. The functional relationship between the current measuring distance and the measured temperature is set up. The actual temperature of the target is calculated accurately. The simulation result shows that the built BP network can learn the sample information effectively and the nonlinear atmospheric transmittance model established can solve the problems such as the difficult calculation of atmospheric transmittance of infrared radiation due to the complicated influences.

Key words: atmospheric transmittance; BP neural network; infrared temperature measurement

0 引言

在大气中测量目标的红外辐射特性时会受到气体分子吸收和大气中悬浮粒子(气溶胶)散射的作用。吸收、散射虽然机理不同,但其作用结果均会使辐射功率在传输过程中发生衰减。为了

使红外辐射测量系统的输出能反映真实的目标辐射特性,需要计算出当前环境下红外辐射的大气透过率^[1],然后对实测值进行修正。常用的大气透过率计算方法有两种:一是利用 LOWTRAN (低光谱分辨率大气透过率)、FASCODE (快速

收稿日期: 2014-01-06

基金项目: 中航创新项目 (cxy2012SH003)

作者简介: 席剑辉 (1975-), 女, 工学博士, 副教授, 主要研究方向为复杂系统模型辨识、故障检测与诊断、混沌信号分析等。E-mail: xihui_01@163.com

大气信息码)、MODTRAN(中光谱分辨率大气透过率)以及HITRAN(高分辨率大气透过率)等专业软件进行计算^[2];二是利用经验公式进行计算^[3]。专业软件的计算精度较高,但使用较为复杂,而且我国还没有发展自己的标准大气模式,采用国外的大气模式进行近似计算并不一定适用。采用经验公式计算大气透过率具有简单、灵活且易于编程实现的特点。但是由于测量现场大气环境变化不确定,大气参数未知,该方法的使用具有局限性,修正后的结果与实际情况存在误差^[4-7]。

神经网络由于具有能逼近任意非线性函数的特性在许多领域都有着广泛的应用,对于那些已具有一定经验基础和实验数据的系统尤其有效。它的主要优势在于不需预知系统模型和动态特性,能从已有数据中自适应归纳规则,获得这些数据的内在规律。本文基于定点测量的实验数据,将BP神经网络引入大气透过率的建模和修正过程,通过自学习机制反映大气参数和大气环境的变化,可以在任意距离估计大气透过率,提高红外测试的精度。

1 基于红外测温实验的大气透过率计算

采用红外热像仪对目标进行测温时,根据普朗克辐射定律,测量温度与真实温度的关系为

$$t_c^n = \tau_a [\varepsilon_0 t_0^n + (1 - \varepsilon_0) t_u^n] + (1 - \tau_a) t_a^n \quad (1)$$

式中, t_0 为被测目标表面温度; t_a 为大气温度的; t_u 为环境温度; t_c 为测量温度; τ_a 为大气透过率; ε_0 为被测物体表面发射率。 n 的取值由所用热像仪的波段决定。若使用波段为 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 的红外热像仪进行测温,则 n 值约取为 4。一般情况下,可假设 $t_u = t_a$, 式(1)可简化为

$$t_c^n = \tau_a \varepsilon_0 (t_0^n - t_a^n) + t_a^n \quad (2)$$

由式(2)可知,当被测目标的温度较高(t_a 小于 t_0)时,随着大气透过率的下降,测量温度 t_c 也

会随之减小,从而产生测量误差。经推导,得到被测目标表面实际温度的修正公式为

$$t_0 = \left\{ \frac{1}{\tau_a \varepsilon_0} [t_c^n - (1 - \tau_a \varepsilon_0) t_a^n] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

如果采用目标为黑体,则 ε_0 近似为 1。

2 大气透过率的BP网络建模

2.1 BP网络建模

BP神经网络是一种多层前馈网络,包含输入层、输出层、一个或多个隐层,如图1所示。隐层由大量神经元组成,不同层间的神经元通过权系数互相作用。本文采用一种改进的自适应参数变化BP算法训练网络,计算权值^[8]。设网络有 n 个输入, m 个输出,训练样本数为 P 。将第 k 个样本输入网络,可依序求出各层的输出:

$$y_j^l(k) = f\left(\sum_i w_{ji}^l(k) y_i^{l-1}(k) - \theta_j^l\right) \quad (4)$$

式中, y_j^l 为第 l 层第 j 个神经元的输出; w_{ji}^l 为 $l-1$ 层 i 神经元指向 l 层 j 神经元的权值; θ_j^l 为 l 层第 j 个神经元的阈值; $f(\bullet)$ 为变换函数,隐层神经元函数常取为 S 型或双曲正切等非线性函数,输出层可以直接取为线性求和函数。

依次输入样本。在 P 个样本输入完毕后,计算网络的总误差 E_P :

$$E_P = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^P \sum_{j=1}^m (d_j(k) - y_j(k))^2 \quad (5)$$

$d_j(k)$ 为实际系统的理想输出。 E_P 足够小时,网络权值训练完毕;否则,调整权值

$$w_{ji}^l(k+1) = w_{ji}^l(k) + \mu(k) \cdot \Delta w_{ji}^l(k) + \eta \cdot \Delta w_{ji}^l(k-1) \quad (6)$$

式中, μ 为自适应学习率,可调整; η 为动量因子, $0 < \eta < 1$; $\Delta w_{ji}^l(k)$ 为权值调整值。

$$\Delta w_{ji}^l(k) = \delta_j^l(k) \cdot y_i^{l-1}(k) \quad (7)$$

$$\delta_j^l(k) =$$

$$\begin{cases} y_j^l(k)(1 - y_j^l(k))(d_j(k) - y_j^l(k)), l \text{ 为输出层} \\ y_j^l(k)(1 - y_j^l(k)) \cdot \sum_q \delta_q^{l+1}(k) w_{jq}^{l+1}(k), l \text{ 为中间层} \end{cases} \quad (8)$$

所以,神经网络建模的主要思想是:输入学习样本,采用训练算法反复调整网络权值、阈值等,使网络输出与期望输出尽可能地接近。当网络的输出误差小于指定值时训练完成,保存当前的网络权值和偏差;然后输入测试样本,对网络输出与测试样本的期望输出进行比较。如果误差满足要求,则网络模型有效^[9]。

2.2 大气透过率估计模型

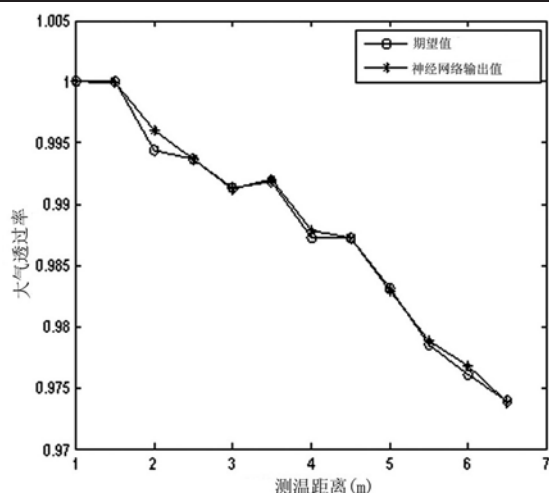
大气透过率是根据大气中各种分子对红外辐射的吸收和散射所造成的衰减来计算的。一般远场测量大气透过率时,主要利用红外探测器在不同距离上对已知辐射特性的标准辐射源进行测量,将测量值与标准源真实辐射值对比,比值就是该距离上的红外辐射大气透过率。在红外测温实验中,将大气透过率看成是当前测试距离和测试温度的函数。选择当前测试距离和测试温度作为输入,选择大气透过率作为输出,建立一个三层 BP 网络结构,如图 1 所示。

选择的网络隐层神经元函数为

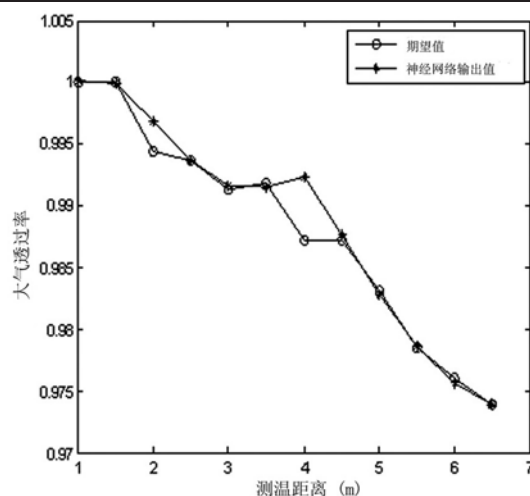
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (9)$$

表 1 实验数据

距离 (m)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
333 K 时测量温度 (K)	333	333.1	332.8	332.7	332.6	332.7	332.5	332.5	332.3	332.1	332	331.8
373 K 时测量温度 (K)	373	372.9	372.7	372.8	372.7	372.6	372.4	372.4	372.3	372.1	372	372.1
大气透过率 τ_a	1.0000	1.0000	0.9944	0.9937	0.9913	0.9919	0.9872	0.9872	0.9832	0.9785	0.9761	0.9739



(a) 目标为 333 K 时大气透过率的计算



(b) 目标为 373 K 时大气透过率的计算

图 2 大气透过率的计算与比较

x 为该神经元的输入。输出层采用线性输出函数。

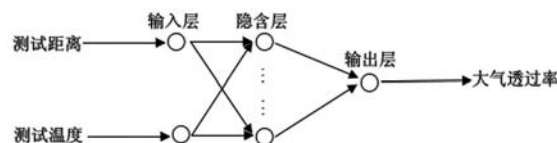


图 1 BP 神经网络结构图

3 仿真实例

张勇等人^[7]采用 Ulis 公司生产的用 UL03162 型焦平面制成的红外热像仪在不同距离上对 Raytek 加热型黑体辐射源进行了测温。在室温为 294 K、湿度为 50% 的环境下,对温度为 333 K 和 373 K 时的黑体进行测温,同时保证测温时黑体充满红外热像仪的视场。距离范围为 1~6.5 m,采样间隔为 0.5 m。在不同距离计算大气透过率,通过取平均值以滤除干扰的作用。具体实验数据见表 1。

表 2 目标温度计算及其相对误差

真实目标温度 (K)	333			373		
距离 (m)	2.0	4.0	6.0	2.0	4.0	6.0
测量温度 (K)	332.8	332.5	332	372.7	372.4	372
τ_a	0.9960	0.9879	0.9768	0.9969	0.9924	0.9757
目标温度计算 (K)	332.93	332.90	332.76	372.88	372.84	373.41
相对误差	2.08×10^{-4}	3.15×10^{-4}	7.31×10^{-4}	3.29×10^{-4}	4.42×10^{-4}	1.08×10^{-3}

根据表 1 数据, 在 333K 和 373K 温度下分别选取 1.0 m、1.5 m、2.5 m、3.0 m、3.5 m、4.5 m、5.0 m、5.5 m、6.5 m 和该距离下的测试温度作为 BP 网络输入, 选取对应的大气透过率作为目标输出, 可得 18 组样本数据训练网络。表 1 剩下的 6 组数据作为网络验证样本。训练和验证样本的神经网络输出与期望值的比较如图 2 所示。其中, “o” 线对应期望值, “*” 线对应神经网络输出值。

对于 6 组验证数据, 可以根据估计的大气透过率进一步计算实际的目标温度。计算结果与相对误差见表 2。

可以看出, 采用 BP 网络可以充分学习实验数据中隐含的测试距离及大气环境对测试温度的影响, 建立有效的大气透过率模型, 从而精确计算出目标的实际温度, 最大的相对误差值为 1.08×10^{-3} 。

4 结论

由于大气环境复杂多变, 红外大气透过率的计算难度大, 对红外测试影响较大。本文建立了一种利用 BP 神经网络建立大气透过率估计模型的方法, 可根据测量距离和测试温度来推算大气透过率, 精确计算目标的实际温度。仿真结果表明, 在测量条件下, 所建模型可以克服大气

复杂变化、现场环境不确定和未知当前大气环境具体参数等局限, 有效地估计出不同距离的大气透过率, 是一种既简单方便又行之有效的方法。

参考文献

- [1] 孟凡斌, 郑丽. 基于 LOWTRAN7 的红外大气透过率计算方法 [J]. 光电技术应用, 2009, 24(3): 29-32.
- [2] 周国辉, 刘湘伟, 徐记伟. 一种计算红外辐射大气透过率的数学模型 [J]. 红外技术, 2008, 30(6): 331-334.
- [3] 唐嘉. 红外辐射大气透过率的工程计算 [J]. 飞行器测控学报, 2007, 26(3): 25-29.
- [4] 杨满忠, 宋劲松, 尹健. 红外辐射的大气透过率计算方法研究 [J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(2): 601-603.
- [5] 杨词银, 张建萍, 曹立华. 基于实时标校的目标红外辐射测量新方法 [J]. 红外与毫米波学报, 2011, 30(3): 284-288.
- [6] Kim D, Lyzenga D R. Efficient Model-based Estimation of Atmospheric Transmittance and Ocean Wind Vectors from WindSat Data [J]. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2008, 46(8): 2288-2297.
- [7] 张勇, 王新赛, 贺明. 距离对红外热像仪测温精度的影响及误差修正 [J]. 红外, 2011, 32(2): 24-27.
- [8] Lippmann R P. An Introduction to Computing with Neural Nets [J]. ASSP Magazine, IEEE, 1987, 4(2): 4-22.
- [9] 刘涛, 李永峰, 黄威. BP 神经网络在红外热波无损检测定量识别中的应用 [J]. 红外与激光工程, 2012, 41(41): 2304-2309.