

基于神经网络反演法的 3 mm 波辐射特性研究

龚冰¹, 娄国伟¹, 李兴国¹, 聂建英^{1,2}

1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094

2. 福州大学数学与计算机科学学院, 福州 350002

摘要 被动探测系统的天线温度与目标视在温度的关系是一种病态积分方程。为了从第一类 Fredholm 积分方程中解出物体的视在温度, 提出了一种利用天线温度反演视在温度的动态逼近方法。首先, 利用 3 mm 辐射计对不同条件下的目标及其背景进行测量, 得出相应的天线温度。然后, 引入辐射温度因子, 并给出视在温度影响因素的权值, 建立一种基于 BP 神经网络的视在温度动态逼近分析方法。最后, 利用该方法分析了物理温度等因素对视在温度的影响, 为毫米波辐射特性研究提供了一种有效的温度反演方法。由于天线温度可以通过测量直接得出, 所以利用温度因子仿真曲线, 可以比较快速地计算出变温目标的视在温度及其辐射特性信息。

关键词 毫米波; 反演; 辐射特性; BP 神经网络; 辐射温度因子

中图分类号 TN95

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)23-0062-04

Study on 3 Millimeter Wave Radiation by Using Neural Network Inversion Method

GONG Bing¹, LOU Guowei¹, LI Xingguo¹, NIE Jianying^{1,2}

1. School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technique, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

2. College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China

Abstract The relationship between the passive detecting system's antenna temperature and the apparent temperature can be expressed by a morbid integral equation. A dynamic approximation method for the inversion of the apparent temperature based on the antenna temperature is proposed, by solving a Fredholm integral equation of the first kind. The passive detector in this paper is 3 mm Dicke radiometer. Firstly, different objects and backgrounds are measured by the radiometer to obtain the antenna temperature. Secondly, with

the introduction of the factor of radiation temperature and the factor weight of the apparent temperature, the dynamic approximation method is formulated by using BP neural network. Finally, the effect factors on the apparent temperature are analyzed based on the above method. The relevant antenna temperature can be obtained by the measurement directly. The curve of temperature factors can be used to calculate the apparent temperature of objects easily to obtain the objects' radiation characteristics. The above approximation method can be used in the study of millimeter wave radiation characteristics.

Keywords millimeter wave; inversion; radiation characteristic; BP neural network; factor of the radiation temperature

0 引言

任何物体在一定温度下都要向周围辐射电磁波, 对物体辐射的电磁波能量的探测主要有主动和被动两种方式。辐射计是一种典型的被动探测系统, 近年来在遥感和制导中获得了广泛的应用^[1-2]。

辐射计天线口面温度(简称天线温度)与目标辐射温度关系研究是目标辐射特性研究的主要方面之一^[3]。由于目标的辐射温度受表面温度、地理环境、天气气候、天线的主/背/旁瓣、目标方位和探测角度、天线到目标的距离^[4], 以及目标尺

收稿日期: 2009-09-28

基金项目: 国防预研基金项目(9140A01020107BQ0211)

作者简介: 龚冰, 博士研究生, 研究方向为毫米波、亚毫米波传输及辐射特性, 电子信箱: gongbing1999@163.com; 李兴国(通信作者), 教授, 研究方向为毫米波精确探测及目标识别, 电子信箱: li-xg2004@163.com

3 视在温度的动态逼近法及其应用

被动探测系统的天线温度和目标视在温度的关系是一种病态积分方程,求解该类方程的方法有很多种,但其物理实质是相同的。这里,应用方向图和毫米波波束占空比方法研究辐射温度因子 $(\Delta T_a / \Delta T_t)$ 。文献[5]给出了辐射温度因子的近似公式

$$\frac{\Delta T_a}{\Delta T_t} \approx 1 - \exp\left(-\frac{bA_t}{\pi R^2}\right) \quad (8)$$

文献[5]指出,被测物体的有效面积 A_t 与辐射计与目标之间的距离 R 有关,且当 A_t 和表征天线方向图的系数 b 一定时,辐射温度因子随距离的变化十分迅速。

辐射温度因子与这些影响因素之间存在着复杂的非线性映射关系,各因数对温度因子的影响权重各不相同。不妨假设辐射温度因子是关于各影响因素的连续函数,即

$$\frac{\Delta T_a}{\Delta T_t} = f(A_t, R, b, \theta) \quad (9)$$

由于BP神经网络具有非线性逼近能力,可以用不同的权值表述各权重大小的特性,且性能稳定可靠,并有自学习和调整功能,使得实际输出可以不断逼近期望输出。所以,用BP神经网络分析辐射温度因子是最佳的方法选择之一。

取目标的有效面积 A_t 、天线方向图系数 b 、3 dB波束宽度的一半角度 θ ,以及天线波束中心的功率增益,这4个物理参数作为神经网络的输入量。取输入层节点数为4,输出层节点数为1。另外,由于Robert Hech-Niesen证明了对于任何闭区间内的连续函数都可以用隐层的BP网络逼近^[9],本文采用单隐层BP神经网络,应用公式为

$$m = \sqrt{n+l} + \alpha \quad (10)$$

式中, m 为隐层单元数, l 为输入层单元数, α 为1~10之间的常数。隐层的激发函数为sigmoid函数,而输出层则选线性函数,结构如图1所示。

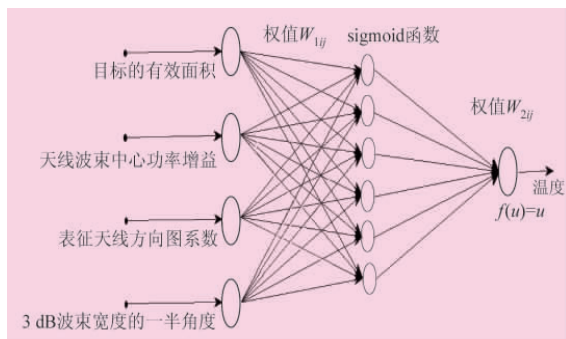


图1 BP神经网络结构图

Fig. 1 Structure figure of BP nerve net

对式(8)进行BP神经网络仿真。设 $b=400, A_t=15 \text{ m}^2$,可做出辐射温度因子关于 R 的关系曲线。然后,在同一坐标系里做出学习曲线。此时,输入和输出的维数都是1,隐节点数为6,训练样本数为100,测试样本数为400,最大训练次数为9 000,学习效率为0.000 1,目标误差为0.05。仿真结果如图2

和图3所示,且显示出最后的权值为

$$W_1=(-0.0300, 0.2527, 0.1495, 0.3663, 0.2790, -0.0210)$$

$$W_2=(0.8825, -0.0419, 0.0006, -0.1485, -0.0729, 0.9214)$$

以上结果可以看出,两条曲线比较接近,并且样本点越多的地方逼近效果越明显。因此,可以用该网络获取辐射温度因子的值。图中可以看出,训练次数越多,训练误差越小。仿真时还可以看到,训练样本数越多,仿真效果越好。因此,由神经网络可以逼近求出辐射温度因子曲线。设 $y=\Delta T_a/\Delta T_t$,则有 $\Delta T_t=\Delta T_a/y$,而 ΔT_a 可以通过测量得出。于是,利用曲线就可以计算出动态变温目标的视在温度,由此较快地获得理想的目标辐射特性信息。

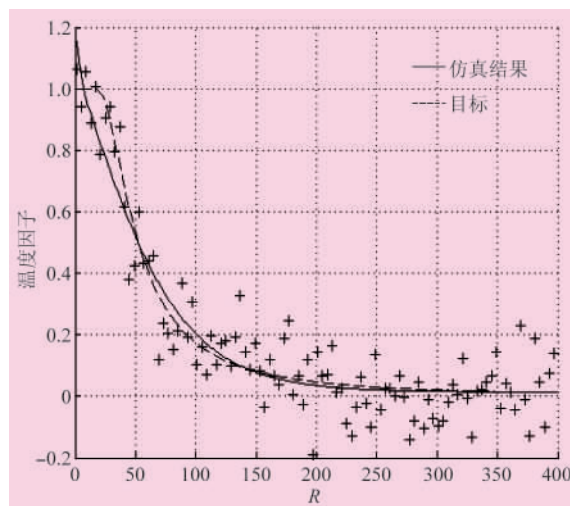


图2 训练完成后的神经网络和目标曲线

Fig. 2 Nerve net and object's curves

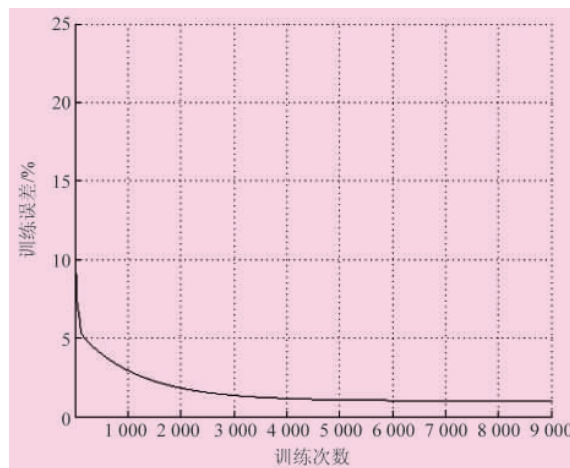


图3 神经网络训练的学习曲线

Fig. 3 Study curve of nerve net

基于辐射温度因子的BP神经网络仿真结果,结合表1天线温度数据,可以得到角度、介电常数,以及物理温度等因素对视在温度(差)的影响情况,如图4和图5所示。

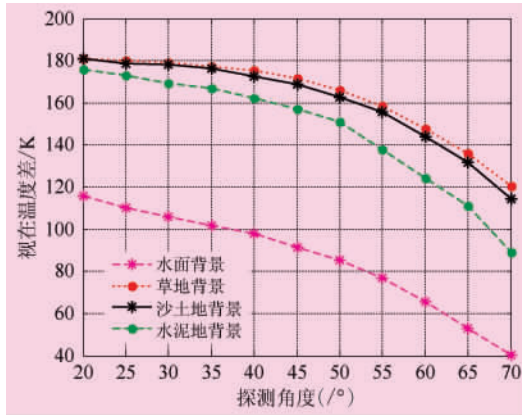


图 4 探测角度对视在温度差的影响
Fig. 4 Detection angle's effects on the difference in apparent temperatures

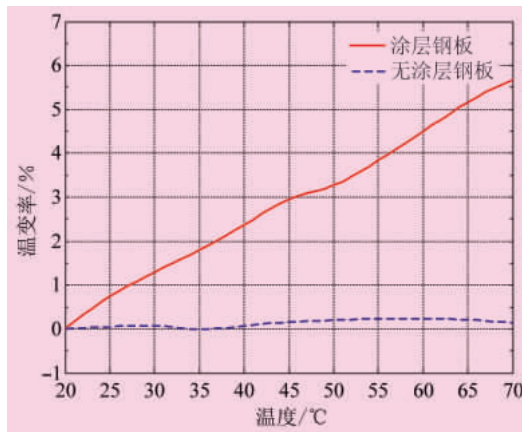


图 5 物理温度对钢板视在温度的影响
Fig. 5 Physical temperature's effects on the apparent temperature

从图 4 可以看出,在不同背景下,目标(钢板)的视在温度与背景的视在温度之差随着探测角度的增大而减小。其中,水泥地背景下目标的视在温度差随探测角度增加而变化的量最大。图 5 显示的是涂装隐身涂层前后的钢板的视在温度在不同物理温度下的温变率情况。可以看出,由于隐身涂层改变了钢板的表面发射率,所以涂装隐身涂层后钢板的视在温度的温变率(图 5 中实线)远大于未涂装之前的温变率(图 5 中虚线)。

4 结论

为了利用天线口面温度求解物体视在温度,本文提出了一种基于 BP 神经网络的动态逼近方法。并利用该方法对不同背景下的金属目标受探测角度和物理温度的影响情况进行了仿真分析。结果验证了文中提出的动态逼近方法的合理性和正确性。

研究发现,利用 BP 神经网络获取辐射温度因子时,训练

次数越多,误差就越小。而且,训练样本数越多,仿真效果就越好。由于天线口面温度可以通过测量得出,所以利用文中给出的温度因子仿真曲线,可以较快地计算出动态变温目标的视在温度,由此获得目标理想的辐射特性信息。

参考文献 (References)

- [1] 郭伟, 张光锋, 张祖荫. 毫米波辐射计目标检测仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(3): 470-473.
Guo Wei, Zhang Guangfeng, Zhang Zuyin. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(3): 470-473.
- [2] Melnick G J. Submillimeter wave astronomy satellite science highlights [J]. *Advances in Space Research*, 2004, 34: 511-518.
- [3] 缪晨, 娄国伟, 李兴国. 3 mm 涂层隐身材料的天线温度模型 [J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(3): 221-224.
Miao Chen, Lou Guowei, Li Xingguo. *Journal Infrared Millimeter and Waves*, 2004, 23(3): 221-224.
- [4] Gong B, Lou G, Li X, *et al.* Research on the distance equation of the submillimeter radiometer via lambert W function [C]//The 8th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory Proceedings. Kunming: ISAPE 2008, 2008: 841-843.
- [5] 李兴国. 毫米波近感技术及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
Li Xingguo. *Millimeter wave near-sense technology*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1991.
- [6] 王振占, 姜景山, 刘 怡, 等. 全极化微波辐射计遥感海面风场的关键技术和科学问题[J]. 中国工程科学, 2008, 10(6): 76-86.
Wang Zhenzhan, Jiang Jingshan, Liu Jingyi, *et al.* *Engineering Sciences*, 2008, 10(6): 76-86.
- [7] 蒋谱成, 李峰. 关于红外隐身材料的分析[J]. 电光与控制, 2004, 11(4): 70-72.
Jiang Pucheng, Li Feng. *Electronics Optics & Control*, 2004, 11 (4): 70-72.
- [8] 朱涛, 徐晓刚, 王孝通, 等. 红外隐身涂料涂敷效果评估模型研究[J]. 电光与控制, 2009, 16(5): 30-33.
Zhu Tao, Xu Xiaogang, Wang Xiaotong, *et al.* *Electronics Optics & Control*, 2009, 16(5): 30-33.
- [9] 朱大奇, 史慧. 神经网络原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Zhu Daqi, Shi Hui. *The principle and application of artificial neural network*[M]. Beijing: Sciences Press, 2006.

(责任编辑 朱宇)

《科技导报》“走向职场”栏目征稿

“走向职场”栏目由北京航空航天大学毕业生就业指导研究专家程基伟博士主持,期望通过业内专家撰文,或有关人士讲述自己求职、就业的经历和成功事例,帮助博士生和博士后学会如何应聘、如何创业和发展,给即将走上职场的读者朋友后迪和帮助。本栏目欢迎投稿,择优录用,每篇文章约 2 200 字。栏目责任编辑:朱宇;投稿信箱:zhuyu@cast.org.cn。