

基于 BP 神经网络提高伪装目标识别概率的研究

王浩全

中北大学电子测试技术国家重点实验室, 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051

摘 要 采用静态迈克尔逊干涉仪对待测目标进行光谱识别, 在空间干涉长度不变的条件下, 应用 BP 神经网络算法对混合光谱分离过程进行优化, 从而达到提高伪装目标识别概率的目的。由于干涉仪及线阵 CCD 记录视场内所有位置上的光谱信息, 构成混合光谱数据集, 以已知材料的标准吸收光谱作为隐含层的规则依据, 将 BP 神经网络应用于混合光谱的分离。实验采用不同距离、不同背景组合的混合光谱作为初始数据, 以 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 钢板做成四种待测目标, 由静态迈克尔逊干涉仪得到混合光谱, BP 神经网络算法与传统光谱吸收算法对无伪装目标的识别率都在 90% 以上, 对具有伪装效果的待测目标识别概率分别为 75.5% 和 31.7%, 所以采用 BP 神经网络可有效地提高伪装目标的识别概率。

关键词 光谱探测; 目标识别; 静态迈克尔逊干涉仪; BP 神经网络; 伪装目标

中图分类号: O433.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)12-3316-04

引 言

目标识别是指通过已有知识对待测目标进行判断、分析, 从而识别目标的过程^[1]。在生产、生活中, 人脸识别、视频监控也都是在目标识别的基础上发展起来的独立科学。目标识别在军事上的应用最为广泛, 从早期的雷达、声纳定位, 发展到现在的激光测距^[2]、激光制导^[3]等都是目标识别的支脉。随着激光的产生, 以激光辅助的目标识别技术的探测能力越来越强, 相比雷达定位技术具有可探测目标种类的优势; 相比视频监控又具有探测距离远、方向精度高等特点。故以迈克尔逊干涉仪^[4]、静态傅里叶干涉仪^[5]、M-Z 干涉仪^[6]、F-P 干涉仪^[7]、Sagnac 干涉仪^[8]等多种多样的干涉形式的目标识别系统层出不穷, 有些已投入使用。这些以光谱分析为基础的目标识别方法存在共同的问题就是遥测过程中需要待测目标表面的光谱特性尽量一致, 才能有较高的目标识别率。

实际战争中的坦克、装甲车的外形、颜色也在不断地更新变化, 从单一的军绿色到不规则的迷彩色, 而目前最新的坦克采用的迷彩色也与传统的不同, 以方格型取代不规则型, 进一步降低了在视频目标识别过程中被发现的概率。除此之外, 通过镀膜技术使表面可强烈吸收探测激光的方法也是伪装的一种手段, 但由于价格昂贵多用于重要的飞行装置上, 这里我们主要讨论如何提高由迷彩伪装造成的识别概率

降低的问题。为了在原有探测原理及光谱分辨率的基础上, 提高光谱型目标识别系统对伪装目标的识别概率, 必须采用合适的算法取代或优化传统的光谱吸收算法。

用于光谱吸收的算法有很多, 例如主成分分析^[9]、偏最小二乘回归^[10]、人工神经网络、支持向量机^[11]等。每种方法都各有特点, 根据应用场合的不同还常常混合使用。可分性强的光谱数据通常用前两种方法, 效率高、速度快, 而混合性高、维数多、非线性变化大的通常采用后两种方法。对于未知伪装迷彩分布的非线性求解过程采用后两种方法为佳, 同时结合光谱不变的性质(即伪装目标改变空间位置时光谱特性并不改变, 只改变其对应探测位置上的光谱), 符合通过误差的逆向传播修正学习过程的 BP 神经网络^[12]。所以本文采用动量法 BP 神经网络算法优化传统光谱吸收算法, 从而提高对伪装目标的识别概率。

1 基本原理

光谱型目标识别系统是通过采集待测视场内的红外辐射, 然后从背景光谱中分离出待测目标的光谱, 并由光谱数据库中的知识判断识别目标的种类。由于军事应用的特殊性, 稳定、隐蔽是系统的关键要素之一, 所以静态干涉系统的应用更为广泛。当探测视场内无目标时, 系统收集的是背景光谱, 在传统的光谱吸收算法中这组数据作为原始信号保存下来(每 30 s 更新一次, 以减小环境变化造成的误差)。

收稿日期: 2010-03-06, 修订日期: 2010-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(60372073)资助

作者简介: 王浩全, 1971 年生, 中北大学信息与通信工程学院副教授, e-mail: wanghaoquan12@163.com, wanghaoquan@live.nuc.edu.cn

©1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

当目标出现时,对应空间位置上的光谱信息会发生改变,将新得到的光谱减去无目标时的背景光谱,即可获取待测目标的特征波长等信息,从而完成目标识别。由探测原理分析可知,待测目标越大、光谱一致性越高越容易被识别,坦克、装甲车等的尺寸是不会变的,但是迷彩色会大大降低光谱的一致性,从而减小了目标识别概率。

如图 1 所示,系统以静态迈克尔逊干涉仪为基础,由红外望远镜采集准直探测视场内的红外辐射,再通过面阵 CCD 收集并传给处理器,最后分析光谱数据从而实现判断目标有无及种类的目的。其中,背景辐射(S_0)通过红外望远系统收集并准直后,射入静态迈克尔逊干涉具中,与传统迈克尔逊干涉仪不同的是,不采用动镜扫描产生光程差,而采用倾斜角 θ 产生空间光程差(形成双光束干涉),干涉图由面阵 CCD 采集并传输至 CPU。同时,相机与干涉仪同步运行,采集对应光谱二维坐标信息传输至 CPU,作为定位目标的依据。

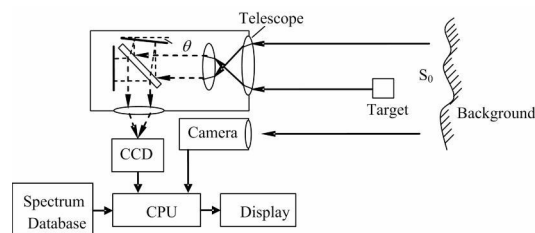


Fig 1 Principle of static Michelson interferometer system

2 BP 神经网络算法设计

BP 神经网络是由信号的正向传播和误差的逆向传播两部分组成的。首先信息通过输入层进入隐含层,经数据处理后由输出层输出,完成正向传播。如果输出结果没有达到预期要求,则将误差逆向传播回隐含层,此时输出误差会按照某种形式返回隐含层,从而获得各神经网络节点的参考误差,并作为修改各单元权值的根据。正向传播和误差的逆向传播形成的循环就是学习网络(即训练过程),当达到预期要求时,循环停止即训练完毕。

BP 神经网络具有大规模并行处理、自学习、自适应、较强的鲁棒性及容错性等特点,其主要应用于分类、模式识别、函数逼近等方面,当信号相对噪声较弱时,选用 BP 神经网络建模分析,可在短时间内得到较好的结果。有迷彩色的伪装目标降低了光谱的一致性(原有目标光谱幅值减小,而背景谱不变),实际上就是降低了信噪比,所以伪装造成的识别概率下降适合采用 BP 神经网络训练修正。采用 BP 神经网络算法是为了解决光谱吸收算法由于迷彩色降低光谱一致性而造成目标识别率下降的问题,即在设备尺寸、工作原理不变的基础上提高伪装目标识别概率。

2.1 波长选择

整个视场的光谱数据是庞大的,其中很多信息是没用或重复的。在传统光谱吸收方法中,通过光谱差分可以去除绝大部分的冗余信息,但在 BP 神经网络中对原始光谱不做差分。如果保留这些多余的信息在训练集中会大大降低运算速度,同时影响预测的准确度,所以在 BP 神经网络学习训练

前需要先选择合适波长位置及个数。波长点的确定以波长间的相关系数及标准偏差为准则,即

$$\begin{cases} \text{Corr}(\lambda_1, \lambda_2) = \text{Cov}(\lambda_1, \lambda_2) / (\sigma_{\lambda_1} \times \sigma_{\lambda_2}) \\ \text{Std}(\lambda) = \sqrt{\text{Var}(\lambda)} = \sqrt{E(\lambda) - E(\lambda)^2} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\text{Corr}(\lambda_1, \lambda_2)$ 是波长 λ_1 和 λ_2 的相关系数, $\text{Cov}(\lambda_1, \lambda_2)$ 是 λ_1 和 λ_2 的协方差矩阵。 σ_{λ_1} 和 σ_{λ_2} 分别表示方差, $E(\lambda_1)$ 和 $E(\lambda_2)$ 表示波长 λ_1 和 λ_2 的平均值。 $\text{Std}(\lambda)$ 表示 λ 对所有波长产生信号的相对权数。当 $\text{Corr}(\lambda_1, \lambda_2)$ 超过一定的阈值时,可认为 λ_1 和 λ_2 包含的信息重复,则选择贡献率大的代替相对较小的。同理,当 $\text{Std}(\lambda)$ 小于一定的阈值则认为该波长贡献率过低,可忽略。结合目标及常见背景辐射的特征吸收波长位置,实验过程选择相关系数大于 0.98,标准偏差小于 0.08 作为阈值,计算得训练和测定选择波长点 15 个即可覆盖 95% 以上的光谱信息。

2.2 确定网络层数及隐含层神经元的个数

由于光谱数据量大、应用实时性要求高,所以相对简单又可以实现误差反馈的三层 BP 神经网络是比较理想的选择,网络由输入层(input layer)、一级隐含层(hidden layer)、输出层(output layer)共同组成。

网络的输入层指初始数据输入端,输出层是经计算分析校正后的分类结果,都比较好确定,而隐含层的个数是根据实际问题具体决定的。通常隐含层中神经元的个数少于输入层,而多于输出层。若输入层与输出层神经元个数为 x 与 y ,则隐含层神经元个数按公式

$$z = a + \sqrt{x + y} \quad (2)$$

其中, a 为常数(一般 $a \in [1, 10]$)。经过比较分析,隐含层神经元个数选择 10 为最佳。

2.3 动量法优化 BP 网络

为了避免局部极小值造成网络训练的提前收敛,采用动量法将上次的部分权值调整迭加到下一次误差计算得到的权值调整上,作为实际权值的调整,有

$$\Delta W(k) = -\eta \nabla E(k) + \alpha \Delta W(k-1) \quad (3)$$

其中, α 为动量系数($\alpha = mc$), $E(k)$ 为全局误差。根据系统对光谱求解的实际物理意义,动量法调整的是吸光度幅值(A_{λ}),在二维图像中从 i 和 j 两个方向分别累加计算,则可得引入动量因子后的权值公式为

$$\Delta A_{ij}(k+1) = (1 - mc)\delta_{ij} + mc \Delta A_{ij}(k) \quad (4)$$

式中 k 为网络的训练次数, mc 为动量因子; δ_{ij} 为隐含层误差; η 为学习速率($0.01 < \eta < 0.1$)。最后将权值式(4)代入训练系统,从而完成误差校正过程。

3 实验

采用 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的正方形钢板作为目标,分为无油漆涂层(A)、刷有军用绿色漆伪装(B)、刷有不规则迷彩色伪装(C)及刷有随即方格迷彩色伪装(D)的四种形式。以空旷地、灌木丛、建筑物群为背景,实验距离选择 0.5, 1, 1.5, 2 和 2.5 km,分别在早晨、中午、傍晚进行实验。

3.1 目标识别率

目标识别是通过干涉系统及处理器将待测目标的光谱分离并判断其种类,而正确分析出目标是否存在的次数与总探测次数的比就是目标识别率,也是在不改变光学系统结构的基础上,判断算法是否有效的主要依据。设正确判断次数为 n ,总探测次数为 N ,则目标识别率为

$$p = \frac{n}{N}$$
(5)

每种条件下分别实验 3 次,则 3(次数)×4(目标种类)×3(背景)×5(距离)×3(时间)可得到总探测次数为 540 次。

3.2 结果与分析

实验结果显示,相同条件下在空旷地采集的目标光谱辐射度最强、信噪比高,有利于目标的识别,而灌木丛为背景的探测效果最差;中午由于太阳辐射光通量最强,所以目标识别率比早晨、傍晚都高。这些结论主要取决于光学系统,而由光谱分析算法可以提高的性能见表 1 所示。

Table 1 The probability of target recognition of four types of target in different algorithms

Probability of target recognition		Distance/ km				
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Characteristic wavelength difference	A	0.998	0.992	0.952	0.968	0.912
	B	0.879	0.877	0.852	0.833	0.819
	C	0.659	0.601	0.555	0.531	0.514
	D	0.543	0.489	0.446	0.390	0.317
BP artificial neural network	A	0.988	0.976	0.954	0.935	0.907
	B	0.901	0.887	0.861	0.845	0.829
	C	0.856	0.841	0.805	0.789	0.774
	D	0.831	0.811	0.794	0.770	0.755

由表 1 中数据可知,对于完全无伪装的目标,无论是采用 BP 神经网络优化光谱数据都可以使探测距离 2.5 km 内的目标识别率大于 90%,同时只采用传统方法的误差还要略低于 BP 神经网络算法的,且实时性更好;在采用单一伪装色时,由于回波信号的减弱对目标识别造成了一定的影响,但两种方法基本上还是可以判断目标的;当采用了迷彩色伪装后,传统的检测方法由于光谱一致性的大幅降低而使目标识别率降至 31.7%,但采用 BP 神经网络算法对误差进行反馈处理则仍可保持 75.5%的目标识别率。在 C 和 D 情况下还可得到伪装形式的不同对目标识别率的影响也不同的结论。在实际的战场条件下,待测目标绝大部分是有伪装的,应用 BP 神经网络算法提高光谱型目标识别系统的目标识别概率具有实际意义。

4 结 论

本文以静态迈克尔逊干涉仪为基础,采用 BP 神经网络算法优化混合光谱的分离过程,从而达到在不改变光学系统的条件下提高系统对伪装目标的识别概率。以四种形式的 1.5 m×1.5 m 钢板作为待测目标时,在不同距离、不同背景下实验, BP 神经网络算法和传统算法对无伪装目标的识别率均在 90%左右,而对具有伪装效果的目标识别概率分别为 75.5%和 31.7%。由此可知,采用 BP 神经网络算法可以有效提高目标识别系统对伪装目标的识别概率,在实际战斗中提高伪装目标的识别概率具有重要意义。

参 考 文 献

[1] XING Dong-xing, CHANG Qing-rui(邢东兴,常庆瑞). J. Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2009, 28(3): 207.

[2] ZHU Haifeng, HAN Jiantao, JIANG Weidong(朱海峰,韩建涛,姜卫东). Optoelectronic Technology(光电子技术), 2005, 25(1): 16.

[3] CHEN Xiaojing, WU Di, YU Jiajia(陈孝敬,吴迪,虞佳佳). Acta Optica Sinica(光学学报), 2008, 28(11): 2153.

[4] DENG Xiaoyan, QIAO Jiao, PAN Yonghua(邓小燕,乔娇,潘永华). Physics and Engineering(物理与工程). 2006, 16(2): 29.

[5] REN Xianpei, LIU Gang, ZHOU Zaijin(任先培,刘刚,周在进). Laser & Infrared(激光与红外), 2009, 39(9): 944.

[6] WANG Minyu, DONG Xiaopeng, ZHENG Yamin(王民裕,董小鹏,郑艳敏). Journal of Optoelectronics • Laser(光电子•激光), 2005, 16(3): 294.

[7] LIU Mulin, WU Zhengmao, XIA Guangqiong(刘木林,吴正茂,夏光琼). Optical Technology(光学技术), 2004, 30(3): 318.

[8] ZHAO Baochang, YANG Jianfeng, XUE Bin(赵葆常,杨建峰,薛彬). Acta Photonica Sinica(光子学报), 2009, 38(3): 474.

[9] WU Guifang, JIANG Yihong, WANG Yanyan, et al(吴桂芳,蒋益虹,王艳艳,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2009, 29(5): 1268.

[10] HAO Huimin, QIAO Congming, TANG Xiaojun(郝惠敏,乔聪明,汤晓君). J. Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2009, 28(2): 115.

[11] LIU Jiangyong, WANG Daming(刘江永,王大明). Journal of Shaanxi Normal University(Natural Science Edition)(陕西师范大学学报•自然科学版), 2009, 37(4): 43.

[12] YANG Fan, XIAO Bei, TANG Lu(杨帆,肖贝,唐路). Journal of Wuhan University of Technology(武汉理工大学学报). 2010, 32(2): 90.

Improvement of the Recognition Probability about Camouflage Target Based on BP Neural Network

WANG Haoran

Key Laboratory of Instrument Science & Dynamic Measurement of Ministry of Education, State Key Laboratory of Science and Technology on Electronic Test and Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China

Abstract Using static Michelson interferometer to get the spectrum information of measurement targets for spectrum identification, under the condition that the interference length is constant, the system can be optimized by BP neural network algorithm for the mixed spectral separation process. Thereby it can realize improving the recognition probability of camouflage target. Collecting the spectrum information in field of view (FOV) by the interferometer and linear array CCD detector, composing the set of mixed spectrum data, with known absorption spectrum of the material as a hidden layer of rules, it used BP neural network to separate the mixed spectrum data. Experiment with different distances, different combinations of mixed background spectrum as the initial data, using steel target (size: 1.5 m × 1.5 m) made of four kinds, the recognition probability of non camouflage target is about 90% by BP neural network algorithm or the traditional algorithm, while the recognition probability of camouflage target is 75.5% with BP, better than 31.7% with the traditional, so it can effectively improve the recognition probability of camouflage target.

Keywords Spectral detection; Target recognition; Static Michelson interferometer; BP neural network; Camouflaged target

(Received Mar. 6, 2010; accepted Jun. 8, 2010)