

智能测量热成像系统 MRTD 的应用方法分析

孙军月, 马冬梅

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:针对已提出的基于神经网络智能测量热成像系统最小可分辨温差(MRTD)的方法, 简要阐述其实现方法、理论根据、神经网络算法模型以及测试结果分析。MRTD 智能测量是建立在大量主观训练数据的基础上, 影响主观 MRTD 测试的各因素也同样影响最终智能测量的准确性。综合考虑算法模型等因素, 分析了影响智能 MRTD 测试精度的各因素以及尽量减小其影响应采取的措施。同时, 讨论了智能 MRTD 测量的实际意义以及将其应用到实际测量中还需进一步研究与解决的问题。

关键词:最小可分辨温差; 智能 MRTD 测量; BP 神经网络; MRTD 测试精度; 红外成像系统参数测试与评估

中图分类号: TN215 文献标识码: A 文章编号: 1007-2276(2006)04-0401-04

Analysis of intelligent MRTD testing for thermal imaging system

SUN Jun-yue, MA Dong-mei

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Aiming at the method based on intelligent MRTD (Minimum Resolvable Temperature Difference) testing for thermal imaging system using ANN, the realized process, theory foundation, model of neural network and testing deviation were introduced briefly. The intelligent MRTD testing was based on the subjective training data, so the factors affecting the subjective nature of the observers also influenced the accuracy of intelligent testing. Considering the errors of the arithmetic and model, the main factors were discussed in detail in order to decrease the influence on the accuracy of intelligent testing. At the same time, the signification of intelligent MRTD testing and the problems of further research were also mentioned.

Key words: MRTD; Intelligent MRTD testing; Back-propagation neural network; Accuracy of MRTD testing; Testing and evaluation parameters of the infrared imaging system

0 引言

评价红外光电(热成像)系统成像质量与性能的

一个重要参数是 MRTD。它是由人的主观判断定义的物理量, 融合了系统的成像质量、显示器和人眼观察等因素, 能够较全面反映系统的探测能力^[1]。

收稿日期: 2005-10-12; 修订日期: 2005-11-12

作者简介: 孙军月(1980-), 山东文登人, 女, 硕士, 主要从事红外技术的应用、红外光电系统各项性能参数的评估, 包括视频信号与图像处理工作。Email: oldman1218@sohu.com

传统的 MRTD 测量方法是采用人眼直接观察识别输出图像的主观方法。该方法一定程度上受人的主观因素影响,测量结果不稳定、测试周期长。因此需要不断研究和改进新的评价方法,以求降低各种不利因素的影响,快捷、精确地提供客观判断结果。MRTD 的客观测量已取得很大进展,但仍需要用与显示器、人眼视觉响应、噪声等有关的参数对结果进行修正^[2,3]。

神经网络技术的应用使智能测量 MRTD 成为现实。神经网络技术部分模拟生物脑和神经系统的结构和功能,能够进行自我学习,经过主观测试结果训练后的神经网络具有类似人的判断能力。国内外有很多人提出了不同的神经网络模型与理论,文中结合已提出的智能测量理论模型,进行了大量试验,讨论其合理性,并分析了影响 MRTD 判断精度的各因素。

1 智能 MRTD 测量

MRTD 的主观测量方法和智能测量方法详见参考文献[4,5]。智能 MRTD 测量与主观测量相类似,但其应用了神经网络技术模拟人眼进行图像判断:四条形靶(简称四条靶)红外目标经被测热成像系统成像后,其输出图像信号被采集到计算机中进行处理与图像特征向量提取。由主观测试数据训练后的神经网络对图像特征向量进行判断,并输出 MRTD 测量结果。

1.1 应用神经网络智能测量 MRTD 的基本思想

将神经网络的输入定义为代表图像特征的向量,表示系统看到了图像。网络输出定义为表示人眼能否分辨图像的类别量。这实际上是对不同温差,不同空间频率的一系列图像进行分类,判断出哪些图像是人眼能分辨的。BP 神经网络具有这样的分类功能。利用输入输出样本集对其进行训练(有监督训练),也即对网络的权值和阈值进行学习和调整,以使网络实现给定的输入输出非线性映射关系。

有监督训练能使 BP 神经网络输出接近给定的期望输出,并且具有很好的泛化能力,即当输入网络训练时未曾见过的非样本也能映射出正确的输出。这样就得到一个模拟人眼的系统,让它代替人眼进行观察。

1.2 BP 神经网络系统模型

使用图像采集卡将热像仪的输出信号采集到计

算机中进行处理。人眼在观察图像时有一定的积分效应,相当于进行了多帧图像平均,消除了一些随机噪声的影响。就目前的 MRTD 判断精度而言,连续 3~8 帧的图像平均都较为合理。文中的实验及数据都是在 8 帧图像平均的基础上完成的。

根据 MRTD 测试特点,选定三个特征值作为神经网络的输入:图像条靶的对比度(c),表示正温差或负温差图像的类别量(f),条靶宽度(w)。神经网络的输出为三个,分别表示人眼能分辨出条靶图像(100),阈值图像(010),人眼分辨不出条靶图像(001)^[5,6]。最终得到的神经网络模型如图 1 所示。

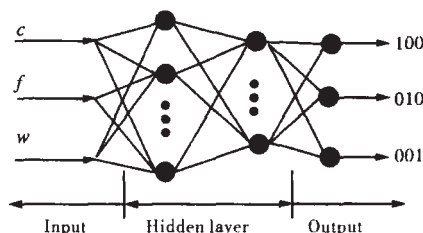


图 1 采用的 BP 神经网络模型

Fig.1 Adopted model of the BP neural network

2 智能 MRTD 测量仿真结果

针对中波 3~5 μm 的热成像系统,建立神经网络模型,采集主观训练样本,得出神经网络训练与测试结果^[5]。对训练后的神经网络仿真测试系统做了进一步的实验与分析。通过测试一个新的同类型热成像系统,得到智能 MRTD 测试结果,如图 2 所示。(a)为

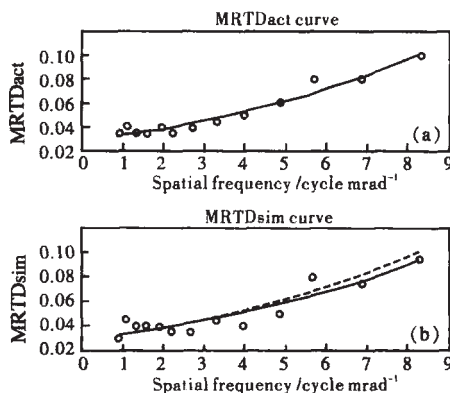


图 2 主观 MRTD 测试与神经网络仿真测试结果对比

Fig.2 Subjective MRTD test results v.s.intelligent test results

MRTD 主观测试结果及其拟合曲线;(b)为神经网络

的 MRTD 测试结果,虚线为(a)的主观测试曲线。从图中对比可以看出,人眼观察结果与神经网络仿真结果基本吻合。正如参考文献[5]中所得出的结论,在该实验仿真系统中,智能 MRTD 测量与人眼主观测量结果最大偏差在 0.03 K 范围内。

基于 MRTD 参数的主观特性,描述热成像系统特定空间频率范围内的 MRTD 测试曲线,对全面评估该系统的性能具有重要的意义。如图 2 所示,主观测试与智能测试单个频率处的偏差虽然达 0.03 K,但它们的拟合曲线基本吻合。因此,可以通过智能测量曲线获得热成像系统的 MRTD 特性。随着神经网络模型的进一步完善,实现智能判断热成像系统 MRTD 是完全可行的。其实际应用以及测量精度影响因素的分析还需进一步讨论与研究。

3 测量结果影响因素分析

影响神经网络测量精度的因素很多:首先,主观训练数据的准确性是影响神经网络测试精度的一个重要因素。同时,采集与处理图像数据时,特征向量确定及提取的算法误差等也影响最后测量精度。此外,对比度虽然是判断条靶图像是否可分辨的一个主要特征向量,但要模拟人眼复杂的分辨特性,还需进一步完善算法,增加合适的辅助特征向量^[7]。

3.1 主观训练数据

智能 MRTD 测量是建立在主观测试基础上的,它是主观训练数据的归纳与总结。因此,在主观训练数据的采集过程中,要由多名经过训练的专业图像判读员经多次测量取其平均值作为标准信息。这样使得训练神经网络的数据具有权威性且最大程度地降低各种主观因素的影响。随着训练数据的充实与完善,神经网络系统可不断扩展其应用范围,并提高性能。

3.2 图像不均匀及算法提取引起的对比度求取误差

由于各种原因,热成像系统成像质量有较大差异,如环境背景温度不均匀和低频噪声等因素将导致四条靶图像灰度不均匀,尤其占据画面较大比例的条靶图像更为明显,如图 3 所示。显然,在四个条靶的不同位置上求得的明暗条纹间对比度是不同的。

观察四条靶图像时,若人眼能看到四条靶及条靶间面积的大部分,便认为该图像可分辨。由于求得的

条靶对比度是一个平均值,而用单一的对比度值代表整个图像的可分辨水平,难免会存在一定的判断偏差。

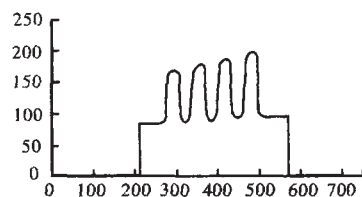


图 3 不均匀的四条靶图像波形图

Fig.3 Uniformity 4-bar image wave

3.3 偏置调节的影响

在主观 MRTD 测量时,允许调整被测系统的偏置(值),使得图像灰度值在整个动态范围的中间部分,这时人眼观察比较舒服。虽然在测量过程中被测系统的增益与偏置一般为固定值,但由于环境温度的变化或温度漂移等原因,需要微调偏置来提高观察效果。

针对同一温差图像,分析其不同偏置时的数据,如表 1 所示。可见,随着偏置的增加,对比度会降低。

表 1 相同温差设置、不同偏置情况下的条靶灰度值与对比度结果比较

Tab.1 Gray scale value and contrast for different level settings in the same temperature difference

Level	Gray scale value difference	Contrast	Background value
-4	3.15	0.040 0	38.26
-3	3.63	0.032 0	55.43
-2	3.43	0.022 9	73.71
-1	3.16	0.017 0	91.67
0	3.31	0.015 1	107.57
+1	3.77	0.014 6	127.15
+2	3.27	0.011 1	145.68
+3	3.39	0.010 2	164.75

因此,在临界图像附近观察,微调偏置有可能使图像看得更清楚。但偏置过高或过低人眼观察都不舒服,也不会使图像更清楚。尽管如此,如果以条靶图像对比度作为判断图像看清与否的主要标准,在主观 MRTD 测量时,由于偏置的微调或观察者间设置的不同就会出现一定的 MRTD 判断误差。因为,此时目标温差并没有改变,而少量的偏置调节有可能引起人眼

判断的偏差。

3.4 噪声成分对图像对比度阈值的影响

在没有噪声存在的情况下,人眼观察的对比度阈值曲线呈“J”形。人眼对空间频率在 3~10 cycle/(°) 内的周期目标反映最灵敏。而 MRTD 曲线应该遵从人眼的阈值对比度曲线。有噪声存在的情况下,人眼对某一空间频率目标的分辨能力取决于该空间频率周围的噪声成分^[1],如低频噪声成分会影响低频目标的探测能力,如图 4 所示。也就是说,若系统的噪声模型不同,则它们的对比度阈值曲线也会不同。

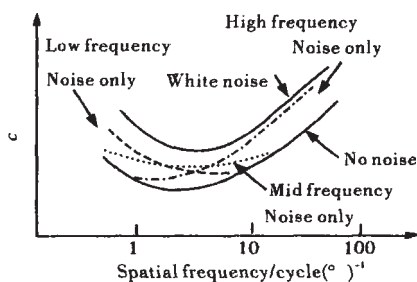


图 4 噪声对人眼对比度阈值的影响

Fig.4 Effect of spectral noise on the contrast threshold

上述智能 MRTD 测量的本质类似于用已知的对比度阈值曲线为标准去训练神经网络,并用训练后的网络去评价同类型的其他热成像系统性能。在今后的研究中应继续分析噪声对人眼 MRTD 测量的影响^[8],并把它包括在特征向量当中。这样经过训练的网络才能适应不同的热成像系统并做出正确判断。

4 结 论

总的来说,主观训练数据、偏置、图像不均匀这些因素可通过多次测量与控制环境温度等使其在满意范围之内。而目前的以对比度为主要特征向量的智能 MRTD 判断系统是用一个统一的、大家公认的标准对红外图像进行判断。对同类型的热成像系统进行评估,具有省时且成本低的优点,避免了个体差异、长时间工作疲劳等主观因素。今后,应进一步研究,提高测量精度并使其适应不同类型的热成像系统。

初步编制的测量软件系统能够合并图像采集、处理、神经网络判断于一体,并可继续扩展软件功能,实现镜头焦距以及其他静态参数的测量,如图 5 所示。这为建立红外光电系统静态性能参数的综合测试平

台奠定基础,具有重要的应用价值。

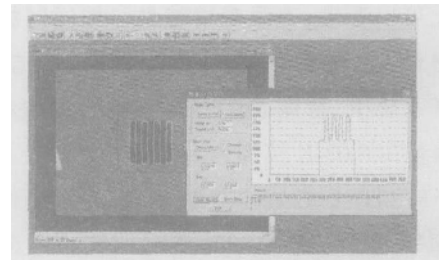


图 5 初步编制的软件系统界面

Fig.5 Primary software of the system

参考文献:

- [1] HOLST G C. *Testing and Evaluation of Infrared Imaging System* [M]. JCD Publishing Winter Park; SPIE Optical Engineering Press, 1998.
- [2] CHEN Li-xue, YANG Bin. Measurement techniques for thermal imaging system [J]. *J Infrared Millim Waves* (陈立学, 杨斌. 热成像系统测试技术. *红外与毫米波学报*), 1996, 15(6): 455-460.
- [3] FAN Xin-tian, LU Zhen-wu, SUN Qiang. Measurement method for MRTD of infrared imaging system [J]. *Infrared and Laser Engineering* (范心田, 卢振武, 孙强. 红外成像系统中 MRTD 测试方法的研究. *红外与激光工程*), 2004, 33(5): 445-448.
- [4] BURROUGHS S E, MOE G O, LESHER G W, et al. Automated MRTD using boundary contour system, custom feature extractors and fuzzy ARTMAP [C] // *Proceedings of SPIE, Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing VI*, 1995, 2470: 274-287.
- [5] SUN Jun-yue, MA Dong-mei. Intelligent MRTD testing for thermal imaging system using ANN [C] // *Proceedings of SPIE, ICO20: Remote Sensing and Infrared Devices and Systems*, 2005, 6031.
- [6] WANG Wen-cheng. *Artificial Neural Network and the Application in Vehicle System* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press (王文成. *神经网络及其在汽车工程中的应用*. 北京: 北京理工大学出版社), 1998.
- [7] SOUSK S F, O' SHEA P D, HODGKIN V A. Uncertainties in the minimum resolvable temperature difference measurement [C] // *Proceedings of SPIE, Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XV*, 2004, 5407: 1-7.
- [8] GU Wen-yun, PI De-fu, FANG Hong-bing. Analysis on noise of staring thermal imaging system [J]. *Infrared and Laser Engineering* (顾文韵, 皮德富, 房红兵. 凝视热成像系统的噪声分析. *红外与激光工程*), 1999, 28(5): 48-51.