

红外成像系统中 MRTD 测试方法的研究*

范心田, 卢振武, 孙 强

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

摘 要:阐述了评价红外成像系统性能的最主要参量 MRTD 的实验室测试方法, 分析了国际上提出的用来改进和替代经典 MRTD 的方法及所应用的性能模型, 比较了 MRTD-ID、MTDP、TOD 三种替代方法的优缺点, 指出 TOD 方法在未来红外成像系统评价中将起到很重要的作用。

关键词:红外成像; 最小可分辨温差; 测量方法; 三角方向辨别模型

中图分类号:TN215 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)05-0445-04

Measurement method for MRTD of infrared imaging system*

FAN Xin-tian, LU Zhen-wu, SUN Qiang

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: Laboratorial measurement method of MRTD is discussed, which is important parameter of characterizing infrared imaging systems. The method for the improvement and alternative of MRTD put forward in international and the performance model are analyzed. The advantage and disadvantage among the MRTD-ID, MTDP and TOD are compared. In addition it is pointed out that TOD method will play an important role in assessing infrared imaging system in the future.

Key words: Infrared imaging; MRTD; Measurement method; TOD

0 引 言

红外成像技术已在军事和民用领域得到了较为广泛的应用, 更灵敏、精密的红外成像系统对系统性能测试提出了更高的要求, 测试技术必须适应红外技术的发展, 因此红外成像系统的性能评价与测试变得越来越重要。目前世界上一些国家提出了几种用来评价红外光电系统性能的模式, 并建立了一套与之相

适应的成像系统评估和测试的实验室测量系统。红外成像系统的静态性能描述系统对静态目标的成像性能, 即对分布不随时间变化(或缓慢变化)的景物进行了探测、识别和辨认。主要参数包括: 最小可辨温差(MRTD)、噪声等效温差(NETD)和调制传递函数(MTF)^[1]。MTF的优点是成功地体现了红外成像系统的空间频率特性, NETD被广泛应用于描述系统灵敏度或低频响应, 而MRTD由于其既反映了系统的热灵敏度特性, 又反映了系统的空间分辨力, 因

收稿日期: 2003-10-16; 修订日期: 2003-11-13

* 基金项目: 应用光学国家重点实验室开放基金资助项目(DA04Q03); 吉林省科技发展计划引导项目(20040540)

作者简介: 范心田(1977-), 女, 吉林长春人, 硕士生, 主要从事光学系统设计及检测方面的研究。

此成为综合评价红外成像系统性能的最主要参数。

1 经典 MRTD 测试方法

在确定的空间频率下,观察者刚好能分辨出 4 条靶图案(宽高比 7:1)时,目标与背景之间的温差称为该空间频率的 MRTD 测量,有主观和客观两种方法^[2]。主观测量法,即用人眼(一般是指训练有素的人)直接观察被测系统的靶标像,然后给出整个 MRTD 曲线^[3]。其受观察者状态、判读技术等因素影响很大,误差有时高达 50%。微机、数字化和图像处理技术的发展使客观测量法成为可能,该方法包括视频 MTF 方法、4 条靶法和光度摄影法。客观测试法的原理复杂,技术难度大,所用的检测仪器多、成本高,但它的最大优点是完全用仪器自动测试,测量速度快。所以它是目前红外成像系统静态参量测量的首选方法,但由于 MRTD 本身是由人的主观判断来定义的物理量,即使利用公式时也需要一、两个主观测量数据进行修正。Braddick R C 和 Harold Orlando^[4,5]等人提出了一种基于人工神经网络的 MRTD 客观测量方法,即利用计算机对红外热成像系统产生的 4 条靶图像进行特征提取,然后利用神经网络对特征向量进行识别和判断。经过主观测试结果训练后的神经网络就具有了类似人的判断能力,并且准确性高。因此,客观 MRTD 测试法中,建立人眼的视觉模型和人工神经网络模型是提高测试精度和速度的关键。

2 MRTD 的改进及新方法的提出

1975 年,美国首次提出一套完整的性能模型用来评价红外成像系统,后来又发展了主要用于第二代热成像系统的 FLIR92(用来计算 MRTD)性能模型。目前,经典 MRTD 不能充分预测新一代焦平面热成像系统的目标获取性能,因此国际上提出了 3 种替代的性能模型。

2.1 夜视成像系统性能模型^[6]

夜视成像系统性能模型(NVTherm)是 FLIR92 模型的改进,美国陆军通讯电子指挥部夜视光电中心又不断对其进行修改,其主要改进为:压缩 MTF 和

建立新的人眼模型。Vollmerhausen^[7]于 1999 年提出了关于 MTF 压缩的理论模型,认为欠采样造成的目标获取性能的下降实际上增加了空域中系统的模糊效果,在频率域中主要反映在对 MTF 的压缩或挤压,于是可以通过给 MTF 加上一个压缩因子来反映由于伪响应给系统带来的性能下降的程度,该因子的大小取决于虚假信号、失真和混叠的程度。而且 VoUmerhausen 给出了压缩因子的表达式,不再把 MTF 局限在尼奎斯特频率以内。由于压缩考虑了采样因素对 MTF 的影响,压缩的程度与目标探测的等级有关。因此,修改 MTF 来描述采样效应可使具有更好性能的评价系统得到广泛的应用。引入的视觉模型考虑了场景的亮度、瞳孔尺寸和眼睛的颤动。从目标获取范围定义 MRTD 的两种新的形式——MRTD-ID 和 MRTD-REC(用来识别),与 FLIR92 相比,能够提供更好的 MRTD 值,更精确地预测目标。但对于欠采样系统,还没有实验室方法能精确测出 MRTD-ID 和 MRTD-REC,原因是真正的传感器采样不能完全由系统 MTF 约束所代替,只对某一类型目标和测试图案有效。美国夜视光电中心于 2001 年 3 月发布了 NVTherm 的 windows 窗口版本,2002 年 1 月对其进行了修改,最主要的改进为增添了大气扰动模糊效应、NIIRS 国家图像解释等级评估等。

2.2 热范围模型^[8]

由于经典的 MRTD 预测曲线限制在尼奎斯特频率以内,进而德国人 Wittenstein 于 1999 年提出评价欠采样红外成像系统的新方法——MTDP 方法^[9],并且将其应用于热范围模型(TRM3)(于 1997 年发布)中。它是基于 4 条靶图案建立起来的,但与 NVTherm 的区别很大。其测试的不同之处是:允许观察者优化采样阵列系统的 4 条靶图案的相位,要求观察者能分辨出靶(在采样系统中,MTDP 与 MRTD 是一致的,但在欠采样系统中,靶的数量不是 4 条,可能是 3 条或 2 条)。在测试调校过程中,将 MTDP 方法应用于空间频率高于尼奎斯特频率的欠采样成像系统中。TRM3 模型的第二版本已于 2000 年发布。

2.3 三角方向辨别模型^[10]

三角方向辨别模型(TOD)是由荷兰的 Piet Bijl 等人于 1998 年提出的,它利用不同尺寸、对比度的等

边三角形作为测试样条,通过对红外成像系统进行观察、多次测量得到类似 MRTD 曲线的阈值对比度与三角形尺寸之间的关系曲线,利用 TOD 准则来预测具有一定尺寸和对比度的目标获取性能,比 4 条靶更加接近目标特征。TOD 的测试样条如图 1 所示^[11]。

TOD 方法引入了正确判断概率、对比度、尺寸的心理函数及可用来代替观察者的视觉函数。通过改变三角形的尺寸,分别得到不同选定尺寸所对应的正确判断概率为 75% 的对比度值,再对这些点作二项式拟合,得到三角形尺寸与对比度之间的关系,即 TOD 曲线,如图 2 所示。

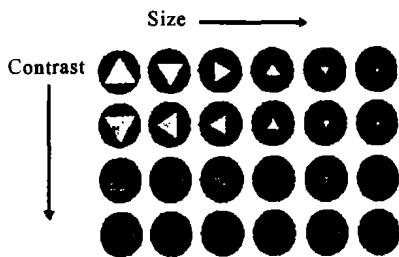


图 1 按尺寸和对比度排列的三角形测试样条

Fig. 1 TOD test pattern arranged by size and contrast

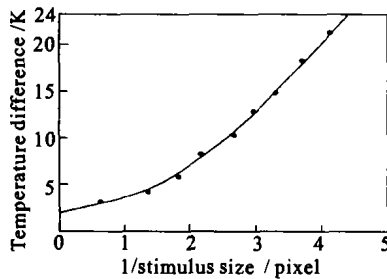


图 2 75% 正确判断概率对应的 TOD 曲线

Fig. 2 TOD curves corresponding to 75% correct score

此方法虽与其他方法不同,但也是一种比较可靠的实验室测试方法,并且对于获取实际目标性能更具代表性,比 MRTD 少了许多主观性。TOD 方法使用的测试样条不会受到尼奎斯特频率的限制,使用强制选择测试过程,这种过程不仅与目标获取过程非常相似,而且得到的结果也更加客观、可靠。Bijl 和 Valeton 还绘制了在光亮度 $L = 165 \text{ cd/m}^2$ 的背景下,用西门子 K235 CCD 相机对标准 4 周期样条、三角样条和真实目标船观察后得到的三条曲线,如图 3 所示。可以看出,TOD 曲线与实际的目标获取范围和对比度关系曲线非常一致。

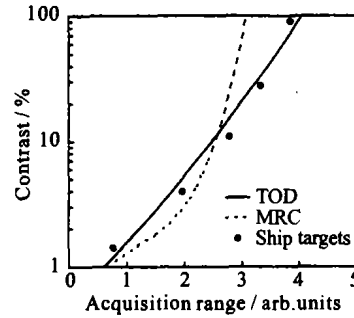


图 3 TOD 曲线、二维 MRC 曲线和实际目标船 50% 正确率获取范围

Fig. 3 TOD, 2-D MRC and 50% correct acquisition ranges for ship targets

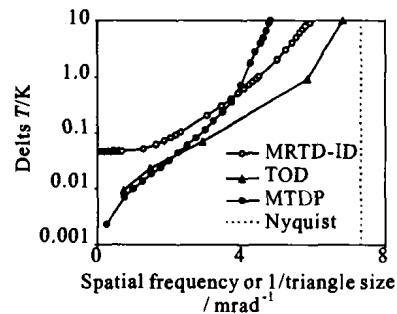


图 4 过采样成像器(MTF/2)中 MRTD-ID、TOD 和 MTDP 曲线图

Fig. 4 Curves of MRTD-ID, TOD and MTDP for the well-sampled sensor(MTF, 2)

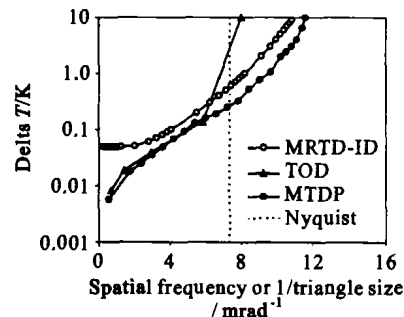


图 5 一般欠采样成像器中 MRTD-ID、TOD 和 MTDP 曲线图

Fig. 5 Curves of MRTD-ID, TOD and MTDP for the under-sampled sensor

2.4 比较

图 4、图 5 和图 6 分别给出了过采样成像器(MTF/2)、一般采样成像器和高度欠采样成像器(MTF×2)的 MRTD-ID、TOD 和 MTDP 的曲线图。从图中可以看出,在低对比度区域,所有成像器的 TOD 和 MTDP 非常一致,MRTD-ID 在低频区域和另外两条曲线偏离很大。在图 5 中,三种曲线差别很大,MTDP 比 MRTD-ID 陡很多,而在过采样成像器中,二者都应该等于 MRTD,这说明有一种模型不能

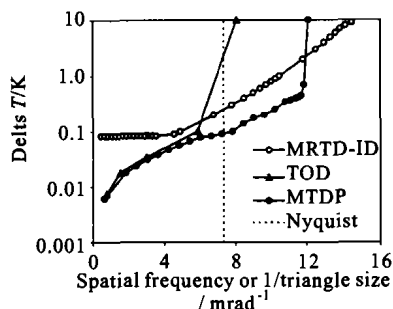


图 6 高度欠采样成像器(MTF $\times 2$)中 MRTD-ID
TOD 和 MTDP 曲线图

Fig. 6 Curves of MRTD-ID, TOD and MTDP for the
highly under-sampled sensor(MTF $\times 2$)

正确预测 MRTD,通过对现有的扫描器的 MRTD 进行测试来比较 NVTherm 和 TRM3,就可以得到答案。图 6 示出在中、高对比度区域 MRTD-ID 和 MTDP 基本一致,但对于更高性能的预测,MTDP 比 NVTherm 更适合,TOD 曲线比二者要陡一些。对于高度欠采样成像器,MRTD-ID 和 MTDP 在中对比度区域很相似,在高对比度区域 TOD 与其他两种曲线差别很大。由此可见,对于不同对比度和传感器类型,三种模型结果有很大的区别,这意味着一种模型的选择对红外成像系统的设计和选择有很大的影响。

NVTherm 模型和 TRM3 模型的应用范围受到成像器类型的限制,而 TOD 模型的通用性很强,它的视觉模型也不会受到测试样条类型的限制。因此,在不改变基本特性的条件下,它可扩展到真实背景下的测试样条。虽然测试软件对速度还没有进行优化,计算起来非常费时,但 TOD 法在未来的红外成像系统性能评估中还是具有广泛的发展前景。

3 展望

随着红外探测器的飞速发展,红外成像系统不断更新换代,MRTD 作为评价红外成像系统的重要参数,关于它的客观性测试方法依然存在着许多不足,所以对 MRTD 进行改进使之更具客观性已成为目前研究的热点。

探测识别和辨认一个规定目标(汽车、卡车、坦克等)的能力和总的目标视场张角条带图案的条带和间隔之间有一定的相关性。TOD 方法基于改进三角方向辨别的测试条纹,更好地定义了观察者的任务和心

理测试过程,提高了正确判断概率,所以测试条纹的选择对提高测试的正确判断概率起了很大的作用,同时也会提高测试的客观性。

系统对实际目标获取能力的测试实现起来是很困难的,因此要在不改变基本特性的条件下,找出实际目标获取性能指标与实验室测量参量之间的关系,并对 MRTD 进行理论建模、计算机模拟和仿真,使结果更接近红外系统的真实性能。模拟可以采用图形式人机对话界面,使用十分方便。综上所述,使 MRTD 的性能模型在真实背景下的测试更具客观性和客观判断率,已经成为未来 MRTD 性能模型选择的标准和发展方向。

参考文献:

- [1] 张敬贤,李玉丹,金伟其. 微光与红外成像技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1995. 226-250.
- [2] 陈立学,杨斌. 热成像系统测试技术[J]. 红外与毫米波学报, 1996,15(6):455-460.
- [3] 董伟,郭颖,张伟. MRTD 客观测量中四杆靶图像的特征提取[J]. 激光与红外, 2002,32(2):104-106.
- [4] Burroughs E E, Moe G O. Automated MRTD using boundary contour system, custom feature extractors and fuzzy ARTMAP [A]. SPIE[C]. 1995,2470. 274-287.
- [5] Tana Maurer, Ronald G Driggers, Richard Vollmerhausen. 2002 NVTherm improvements[A]. SPIE[C]. 2002,4719. 15-23.
- [6] Wolfgang Wittenstein, Raanan Gal. TRM 3 progress report [A]. SPIE[C]. 2000,4130. 292-302.
- [7] Wolfgang Wittenstein. Minimum temperature difference perceived—a new approach to assess undersampled thermal imagers [J]. Opt Eng, 1999,38(5):773-781.
- [8] Piet Bijl, Valeton J M. Triangle orientation discrimination: the alternative to minimum resolvable temperature difference and minimum resolvable contrast[J]. Opt Eng. 1998,37(7):1976-1983.
- [9] Richard Vollmerhausen, Ronald G Driggers, Barbara L O' Kane. Influence of sampling on target recognition and identification[J]. Opt Eng, 1999,38(5):763-772.
- [10] 王晓蕊,张建奇,常洪花,等. 一种表征红外成像系统性能的新方法[J]. 红外技术, 2002,25(2):24-28.
- [11] Piet Bijl, Maarten A Hogervorst, Mathieu Valeton J. TOD, NVTherm and TRM3 model calculations: a comparison [A]. SPIE[C]. 2002,4719. 51-62.