

红外辐射对比度概念的探讨

田昌会, 蔡明, 王斌科, 范琦, 杨百愚, 王伟宇, 屈绍波

(空军工程大学理学院, 陕西西安, 710051)

摘要 为了更方便理解红外辐射对比度的含义, 针对目前红外辐射对比度计算使用的物理量和公式比较混乱的情况, 从红外探测的实现方法出发, 分析指出对比度衡量的标准物理量应该为在探测器处的红外辐射照度。当目标与背景不在同一位置且与探测器相距较远时, 用辐射亮度、辐射出射度计算对比度分析探测效果是不恰当的。相对对比度应该使用目标与背景在探测器处的红外辐射照度差值的绝对值除以目标与背景的红外辐射照度平均值作计算。

关键词 红外辐射; 对比度; 辐射照度

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.04.019

中图分类号 TN976 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)04-0081-03

Discussion of Infrared Radiation Contrast

TIAN Chang-hui, CAI Ming, WANG Bin-ke, FAN Qi, YANG Bai-yu, WANG Wei-yu, QU Shao-bo
(Science College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: In view of the present disordered situation of using physics quantity and formula for infrared contrast calculation, the paper presents that the criterion of physics quantity used to evaluate the contrast should be infrared irradiance at the detector surface by analyzing the purpose and the actualized measures of infrared detection. When the object and background are in different positions, and both of them are far away from the detector, it is improper to calculate contrast by radiance or radiant emission. In order to make the contrast of infrared target and background represent effectively the infrared feature differences of the target-background, the infrared radiation relative contrast is defined by the ratio of the absolute value of the target and background difference in infrared irradiance at the detector surface to their mean value.

Key words: infrared radiation; contrast; irradiance

红外制导武器通过对目标与背景的红外辐射对比度进行分析, 将目标与背景区分开来, 从而实现目标的发现、识别和跟踪^[1-3]。因此, 对比度是红外探测与红外信息处理中的一个非常重要的参量^[4]。然而, 目前红外辐射对比度计算比较混乱, 表现为: ① 计算所用物理量不同, 目前资料报道应用较多的有辐射温度^[5]、辐射亮度^[6]、辐射出射度^[7]和在探测器处的辐射照度^[8]; ② 相对对比度表示形式多样,

其计算结果并不完全相同。这会导致读者无法直接从资料所给对比度值来准确评价探测器性能和目标的可探测性, 为此, 本文探讨红外辐射对比度的合理定义, 以便统一红外辐射对比度的含义。

1 红外辐射对比度所用物理量分析

红外探测是将接收到的不可见的红外辐射能转

收稿日期: 2013-01-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11274389); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2010JM8012)

作者简介: 田昌会(1963—), 男, 陕西合阳人, 教授, 博士, 主要从事目标红外辐射特性与探测技术研究。

E-mail: Tchtlyb001@163.com

换成便于测量和观察的电能、热能等形式的能量,进一步确定红外信号强度等信息。由此可见,红外目标的探测取决于探测器处目标的红外信号强度。因此,衡量的标准应该为探测器入口处的红外辐射照度。关于使用辐射温度、辐射亮度、辐射出射度表示与红外辐射照度表示有何异同,本文应用红外辐射与探测理论^[9]进一步分析,给出使用条件。

辐射出射度指源单位表面积向半球空间发射的辐射功率,表示为:

$$M = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta A} \right) = \frac{\partial P}{\partial A} \quad (1)$$

式中 P 和 ΔP 分别为源表面 A 和小面元 ΔA 向半球空间发射的辐射功率。

辐射亮度指扩展源在某方向上单位投影面积和单位立体角内发射的辐射功率,表示为:

$$L = \lim_{\substack{\Delta A \rightarrow 0 \\ \Delta \Omega \rightarrow 0}} \left(\frac{\Delta^2 P}{\Delta A \Delta \Omega} \right) = \frac{\partial^2 P}{\partial A \partial \Omega} = \frac{\partial^2 P}{\partial A \partial \Omega \cos \theta} \quad (2)$$

式中: θ 为小面元 ΔA 辐射方向与法线的夹角; $\Delta \Omega$ 为在 ΔA 向 θ 方向所取小立体角元。

辐射照度指入射到单位接收面积上的辐射功率,表示为:

$$E = \lim_{\Delta A' \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P'}{\Delta A'} \right) = \frac{\partial P'}{\partial A'} \quad (3)$$

式中 $\Delta P'$ 为辐射源投射到被照表面小面元 $\Delta A'$ 上的辐射功率。

按照上述物理量定义,对于朗伯体来说,探测器处辐射照度、源的辐射温度、辐射亮度、辐射出射度间满足如下关系式:

$$M = \epsilon \sigma T^4 \quad (4) \quad L = \frac{M}{\pi} \quad (5)$$

$$E = \frac{L A \cos \alpha \cos \theta}{l^2} \tau_m \exp(-\mu l) \quad (6)$$

式中: ϵ 为物体发射率; σ 为斯特藩—玻耳兹曼常数; T 为物体辐射表面温度; A 为源表面积; μ 为介质的衰减系数; τ_m 为 H_2O 、 CO_2 等大气分子选择吸收引起的透过率; l 为观测处距辐射源之间的距离; α 为探测器表面法线方向与探测器和辐射源连线方向间的夹角; θ 为辐射源表面法线方向与探测器和辐射源连线方向间的夹角。

红外辐射对比度有绝对对比度和相对对比度 2 种表示形式。从上述公式分析可知,红外辐射绝对对比度(目标与背景相应物理量的差值)分别用 T 、 L 、 M 和 E 物理量计算所得结果显然不同,使用相对对比度(绝对对比度除以目标或背景相应物理量的大小)分析使用不同物理量的计算结果的异同不易直接看出,下面作进一步分析。

从式(4)可见, M 与 T 的 4 次方成正比,且与物

体发射率有关,以 T 表示的相对对比度计算结果不可能与 L 、 M 和 E 表示的相同,温差主要应用于对辐射源的标定,不可用于反映探测对比度。从式(5)可见, L 和 M 间只差一个系数,用这两个物理量计算的相对对比度总是相同的。从式(6)可见,近距离探测时或目标与背景在同一位置时,由于传输路径上目标与背景信号的衰减可以忽略或相同,用 L 、 M 计算的相对对比度与用 E 计算所得结果是相同的;当目标与背景不在同一位置,且与探测器较远时,目标与背景在传输过程中的衰减是不同的,此时 2 种计算所得相对对比度不同,因此,本文认为用 L 、 M 计算相对对比度用于分析探测效果是不恰当的。

2 红外辐射对比度表达式讨论

红外辐射绝对对比度的表达式为 $|E_o - E_b|$, 式中 E_o 、 E_b 分别为目标和背景的辐射照度。相对对比度表达式目前报道的有多种形式,这种表示与物理量关系不大。下面用 E 分别以符号 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 给出现有研究报道^[10-12]中所见到的 5 种红外辐射相对对比度表达形式,并分析其优缺点,提出合理的表示式。

$$C_1 = \frac{|E_o - E_b|}{E_o} \quad (7) \quad C_2 = \frac{|E_o - E_b|}{E_b} \quad (8)$$

$$C_3 = \frac{|E_o - E_b|}{\max\{E_o, E_b\}} \quad (9)$$

$$C_4 = \frac{|E_o - E_b|}{\min\{E_o, E_b\}} \quad (10)$$

$$C_5 = \frac{|E_o - E_b|}{E_o + E_b} \quad (11)$$

式(7~8)中 2 种表达式从误差理论引入,在误差计算中由于 2 个计算量的差值较小。用这 2 个公式的计算结果差异很小,通常用哪个都可以,但在对比度的计算中由于 2 个计算量的差值会很大,为了统一就出现了式(9~10)中 2 种新形式,但也会出现很大的差异,为了减少计算出现大的波动,又出现了式(11)的表达式,但该表达式又与误差理论不一致,因为它的计算结果比参照相对误差的相对对比度公式计算结果小了大约一半。根据这些分析,本文认为相对对比度的理想计算公式应为: $C = \frac{|E_o - E_b|}{(E_o + E_b)/2}$, 这样既可以让人们从熟悉的误差理论去理解,也可减少计算结果出现较大波动,更重要的是大家使用统一的计算公式根据计算数值就可以直接作分析判定,而不必在获得数值后还要关注对比度的计算结果是通过什么公式得来。这种表述在光信息处理中已有应用^[13],对本文观点可辅助证明。

3 结语

在红外探测中,对比度是判定探测器能否将目标从背景中分辨出来的主要依据,衡量的标准应该为探测器入瞳处的红外辐射照度,当目标与背景不在同一位置且与探测器较远时,目标与背景的红外辐射在传输过程中的衰减是不同的,用 L 、 M 计算的相对对比度与用 E 计算的相对对比度大小是有差异的,应用前两者分析探测效果不恰当。对于相对对比度的计算,本文提出了一个新的计算公式 $|E_o - E_b| / [(E_o + E_b) / 2]$,使用该公式既可让人们从熟悉的误差理论去理解,也可减少计算结果出现较大波动。

参考文献(References):

- [1] 史德琴,李俊山,耿志,等. 多模序列图像目标跟踪的特征融合粒子滤波实现 [J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2011, 12(5): 61-66.
SHI Deqin, LI Junshan, GENG Zhi, et al. Object tracking based on particle filter with feature fusion in Multi-mode Image Sequences [J]. Journal of air force engineering university; natural science edition, 2011, 12(5): 61-66. (in Chinese)
- [2] 吴剑锋,何广军,赵玉芹. 飞机尾向的红外辐射特性计算[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2006, 7(6): 26-28.
WU Jianfeng, HE Guangjun, ZHAO Yuqin. The calculation for strength of infrared radiation in the opposite direction of the airplane [J]. Journal of air force engineering university; natural science edition, 2006, 7(6): 26-28. (in Chinese)
- [3] Sonawane Hemant R, Mahulikar Shripad P. Tactical air warfare: generic model for aircraft susceptibility to infrared guided missiles [J]. Aerospace science and technology, 2011, 15: 249-260.
- [4] Mahulikar Shripad P, Sonawane Hemant R, ArvindRao G. Infrared signature studies of aerospace vehicles [J]. Progress in aerospace sciences, 2007, 43: 218-245.
- [5] Avdelidis N P, Almond D P. Transient thermography as a through skin imaging technique for aircraft assembly: modeling and experimental results [J]. Infrared physics & technology, 2004, 45: 103-114.
- [6] 叶庆,孙晓泉,邵立. 红外预警卫星最佳探测波段分析[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(3): 389-393.
YE Qing, SUN Xiaoquan, SHAO Li. Analysis of optimum detective wavebands for infrared early-warn-
ing satellite[J]. Infrared and laser engineering, 2010, 39(3): 389-393. (in Chinese)
- [7] 钟武,张玉发,余大斌,等. 目标温度对红外迷彩涂料伪装效能的影响[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(10): 1841-1845.
ZHONG Wu, ZHANG Yufa, YU Dabin, et al. Effect of target temperature on the camouflage efficiency of infrared pattern painting [J]. Infrared and laser engineering, 2011, 40(10): 1841-1845. (in Chinese)
- [8] 蔺素珍,杨风暴,周萧,等. 双色中波红外点目标成像特性差异分析[J]. 红外技术, 2011, 33(10): 580-584.
LIN Suzhen, YANG Fengbao, ZHOU Xiao, et al. Point target imaging characteristic differences of dual-color mid-wave infrared [J]. Infrared technology, 2011, 33(10): 580-584. (in Chinese)
- [9] 张建奇,方小平. 红外物理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2004.
ZHANG Jianqi, FANG Xiaoping. Infrared physics [M]. Xi'an: Xi'an electronic technology university press, 2004. (in Chinese)
- [10] 谢民勇,沈卫东,宋斯洪,等. 基于目标与背景红外辐射对比度的红外隐身效能研究[J]. 红外技术, 2011, 33(2): 113-116.
XIE Minyong, SHEN Weidong, SONG Sihong, et al. Effectiveness evaluation of infrared stealth based on the contrast of target and background infrared radiation [J]. Infrared technology, 2011, 33(2): 113-116. (in Chinese)
- [11] 李桂祥,巢时宇,宋海涛,等. 一种改进的红外目标背景对比度计算方法[J]. 空军雷达学院学报, 2012, 26(3): 178-184.
LI Guixiang, CHAO Shiyu, SONG Haitao, et al. Improved computational method for infrared target-background contrast [J]. Journal of air force radar academy, 2012, 26(3): 178-184. (in Chinese)
- [12] 刘必臻,时家明,赵大鹏,等. 目标与背景的对比度分析及其应用[J]. 航天电子对抗, 2008, 24(3): 48-51.
LIU Biliu, SHI Jiaming, ZHAO Dapeng, et al. Analysis and application of the contrast of object and background [J]. Aerospace electronic warfare, 2008, 24(3): 48-51. (in Chinese)
- [13] 关皓文. 低对比度目标探测技术[D]. 长春:长春理工大学, 2011.
GUAN Haowen. Low contrast target detection technology [D]. Changchun: Changchun university of science and technology, 2011. (in Chinese)

(编辑:徐敏)