

基于红外热像波段拓展的多光谱成像研究

韩顺利 张 鹏

(中国电子科技集团公司第四十一研究所电子测试技术重点实验室, 山东 青岛 266555)

摘要 红外目标多光谱图像为目标红外辐射特性的研究提供了有效的手段,在目标材质识别、伪装目标辨识和复杂背景抑制等目标探测技术领域有着极为重要的应用。以黑体辐射理论为基础,提出了一种基于波段拓展的红外多光谱成像的方法。首先,利用中波红外热像仪($3\sim 5\ \mu\text{m}$)采集红外图像,通过目标表面的真实红外辐射反推出热图像中不同像素点的温度值,然后利用普朗克公式可以获得不同像素点在预拓展波段处的辐射出射度数值,最后根据这些数值进行红外多光谱成像。

关键词 成像系统;多光谱成像;波段拓展;红外辐射;红外热像仪

中图分类号 TN219 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.s109004

Research on Multispectral Imaging Based on Spectral Band Extension of Infrared Thermal Image

Han Shunli Zhang Peng

(Science and Technology on Electronic Test and Measurement Laboratory,

The 41st Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao, Shandong 266555, China)

Abstract Multispectral imaging of the infrared target provides effective method for the study of infrared radiation characteristic. It has significant applications in many fields of detection technologies such as material identification, false-target discrimination, complex backgrounds suppression. Based on the blackbody radiation theory, a new spectral imaging method, which extends the spectral band of measured infrared image, is proposed. Firstly, the infrared thermal image is collected by the mid-wave infrared thermal imager ($3\sim 5\ \mu\text{m}$). The temperature value of different pixel of the thermal image is obtained by calculating the radiation. Then the corresponding radiation of the different pixels in the desired spectral band is acquired from the temperature through Planck formula. And finally the radiation data are quantified and represented as multispectral infrared images.

Key words imaging systems; multispectral imaging; spectral band extension; infrared radiation; infrared thermal imager

OCIS codes 110.3080; 110.4234; 300.6340

1 引 言

红外成像系统在战略战术预警、目标探测、监视、跟踪、观瞄、侦察和武器制导等军用技术和空间高技术方面发挥着重要作用。红外热成像技术的迅速发展对红外热成像技术性能的评估提出了挑战,不管是图像处理算法性能的评价,还是红外武器系统在研制与生产中的产品测试、性能检测、效能评估和维护保障等方面,都需要大量的目标红外多光谱图像,因此对目标红外辐射特性的多光谱成像研究

就变得非常迫切^[1]。

多光谱成像技术不同于传统的单一宽波段成像技术,它将成像技术和光谱测量技术结合在一起,获取的信息中包含随波长分布的光谱辐射信息,因此其图像处理结果比传统的单一波段图像的结果更理想^[2]。针对上述需求,江照意等^[3]在图像分割和红外材质库的基础上,提出了一种由可见光图像生成红外纹理图像的方法。上述工作主要是从红外物理学和传热学的角度出发,强调目标和背景的红外仿

收稿日期: 2011-11-29; 收到修改稿日期: 2012-02-22

基金项目: 电子测试技术重点实验室基金(9140C120301110C12,51317020101)资助课题。

作者简介: 韩顺利(1982—),男,博士,工程师,主要从事光电测量仪器的研制开发方面的研究。E-mail: eiqd@ei41.com

真热模型,温度分布的计算往往较为复杂,绘制结果的红外真实感不够强。此外,需借助于 Vega 等国外视景仿真软件绘制红外场景^[3]。

针对以上的困难和问题,本文提出了一种基于红外热像波段拓展的多光谱成像方法。该方法以红外热像仪拍摄的 3~5 μm 中波红外热像为基础,利用黑体辐射理论结合普朗克公式,在保留原红外热像细节信息的基础上,进行了红外热像的波段拓展,拓展图像的波段范围覆盖了近红外、中红外和远红外,并给出了拓展后原始图像的多光谱拓展图像。

2 红外热像波段拓展

2.1 辐射出射度与温度的曲线拟合

由普朗克黑体辐射定律^[4]可知:黑体辐射出射度与波长、绝对温度之间满足如下关系式:

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1}, \quad (1)$$

式中 $c_1 = 3.741832 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^4$ 为第一辐射常数, $c_2 = 1.438786 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ 为第二辐射常数, T 为目标的温度。

利用(1)式可以计算黑体在波段 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 内的辐射出射度 M :

$$M(\lambda, T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5} \left[\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]^{-1} d\lambda, \quad (2)$$

(2)式采用的辛普森法、梯形法或者复合梯度法,利用 Matlab 软件可以数值积分求解辐射出射度^[5]。由于实验中采用中波红外热像仪(3~5 μm)采集红外图像,因此在 3~5 μm 内将辐射出射度与温度进行拟合,以便于利用辐射出射度反推出目标图像每个像素对应的温度值。

采用最小方差拟合法在 3~5 μm 波段内利用 Matlab 拟合出辐射出射度 R 和温度 T 的关系为

$$R = 6.4258 \times 10^{-12} T^4 - 4.5734 \times 10^{-9} T^3 + 9.7503 \times 10^{-7} T^2 - 2.7127 \times 10^{-5} T - 0.0076. \quad (3)$$

图 1 中虚线是用普朗克公式计算的黑体辐射出射度与温度的关系曲线,实线是拟合公式给出的辐射出射度与温度的关系曲线,从图 1 可以看出两者的重合度很高,拟合效果很好。

2.2 红外热像灰度与辐射出射度的转换

本实验是利用中波红外热像仪(3~5 μm)采集红外热图像,从而进行波段拓展。因此需要将采集到的红外热图像进行数据处理,找出红外热像与辐射出射度的关系^[6,7]。根据普朗克黑体辐射(2)式

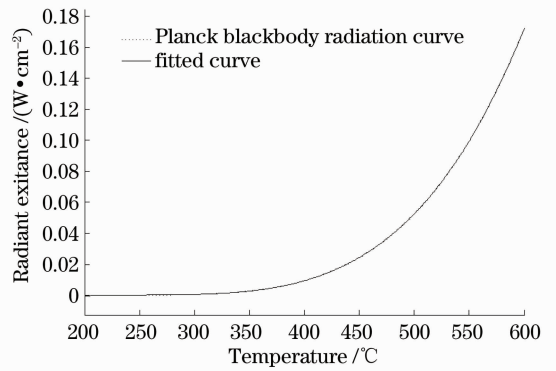


图 1 普朗克黑体辐射曲线及拟合曲线

Fig. 1 Planck blackbody radiation curve and fitted curve

可知,辐射出射度在波段确定的情况下,仅仅取决于辐射温度,因此需要建立红外热像的灰度与辐射温度的关系,从而得到采集热像中目标和背景的温度数据,然后对图像的温度数据进行黑体辐射曲线拟合,最终将热图像转化成波段拓展的多光谱图像。

设中波红外热像仪(3~5 μm)采集到的红外热图像为 I ,则红外热像灰度与辐射出射度的转换步骤如下:首先,估计热像仪拍摄红外热像中的最高温度 T_{\max} 和最低温度 T_{\min} ,然后利用(2)式计算 T_{\min} 和 T_{\max} 对应的辐射出射度 M_{\min} 和 M_{\max} ;其次,读入红外热像中每个像素点的灰度值 $I(i, j)$,由于读入数据是具有 256 个灰度等级的图像,因此可以根据灰度估算出每一个像素点的辐射出射度^[7]:

$$M(i, j) = I(i, j)(M_{\max} - M_{\min})/255 + M_{\min}. \quad (4)$$

2.3 红外热像像素点温度值推算

为了实现由红外热像直接推算出每个像素点的温度,进行了红外热像灰度与辐射出射度的转换。由于无法由普朗克公式从辐射值直接计算温度值,因此进行了辐射出射度与温度的拟合。在 2.1 节和 2.2 节的基础上,利用艾肯特加速不动点迭代法由已知辐射出射度就可以反推出目标图像每像素对应的温度值。

具体过程如下:首先将红外热像灰度转换得到每个像素点的辐射出射度 $M(i, j)$,然后利用辐射出射度与温度的拟合(3)式,建立实测目标图像每个像素点的辐射出射度与温度的关系 $M(i, j) = R$;最后利用基于 Matlab 的艾肯特加速不动点迭代法求解方程 $f = M(i, j) - R$,便可得到与每个像素辐射出射度 $M(i, j)$ 对应的温度值 $T(i, j)$,这样就得到了采集热像中目标和背景的温度数据 T 。

2.4 基于波段拓展的多光谱成像

经过上述过程,获得了红外热像仪采集到的红

外热像中目标和背景每个像素点对应的温度值。根据这些温度值利用(1)式就可以得到目标和背景在预拓展波段的辐射值 $M_{\lambda}(i, j)$, 从而可以将拓展图像的波段范围覆盖近红外、中红外和远红外。

由于得到的是红外热像辐射出射度的值, 要显示出波段拓展后的多光谱图像需要进行辐射值的灰度量化工作^[8,9]。假设根据红外热像推算出的像素最低温度和最高温度分别为 T_{\min} 、 T_{\max} , 利用(1)式可以计算出在拓展波段处对应的红外辐射出射度的最小值 $M_{\lambda \min}$ 和最大值 $M_{\lambda \max}$ 。

为了确定量化的灰度, 利用

$$G(i, j) = (M(i, j) - M_{\lambda \min}) / (M_{\lambda \max} - M_{\lambda \min}) \quad (5)$$

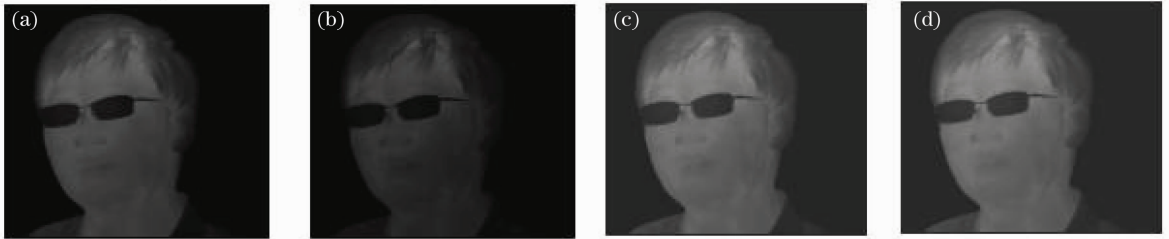


图2 扩展的多光谱红外图像。(a) 3~5 μm ; (b) 1 μm ; (c) 8 μm ; (d) 14 μm

Fig. 2 Extended multispectral infrared images. (a) 3~5 μm ; (b) 1 μm ; (c) 8 μm ; (d) 14 μm

从图2可以看出, 短波和中波红外光谱图像变化比较明显, 长波红外光谱图像变化相对较小。原因主要有几个方面: 首先, 目标和背景的辐射出射度是按照标准黑体的普朗克辐射公式进行计算的, 并没有考虑物体的实际发射率^[10,11], 会引入一定的误差, 使得图像对比度变化较小; 其次, 在长波红外波段, 目标的光谱辐射出射度之间的差值较小, 引起长波光谱图像的差异不大。但是总体来说, 拓展后的多光谱图像依然保持了原始图像的细节信息, 并在一定程度上增强了目标红外辐射的特征, 而且没有出现灰度跳变的现象, 整幅图像过渡平滑, 比较逼真、自然。

4 结 论

以黑体辐射理论为基础, 利用中波红外热像仪(3~5 μm)采集红外图像, 提出了一种基于实测红外热像波段拓展的红外多光谱成像的方法。通过建立红外热像灰度和辐射温度的拟合关系, 从而反演红外热像每个像素点的温度值, 然后进行波段拓展, 将中波红外热像拓展到近红外、中红外和远红外波段, 实现了对被测目标的红外多光谱检测, 拓展后的红外光谱图像逼真、自然, 灰度分布连续, 算法可靠

可以获得每个像素在拓展波长红外图像中的灰度值。

最后利用 Matlab 对每个像素点在拓展波长处的灰度值进行处理, 从而可以得到该波长处的光谱图像, 至此便完成了基于红外热像波段拓展的多光谱成像的整个流程。

3 实验结果及分析

利用上述基于红外热像波段拓展的方法, 将用红外热像仪拍摄的 3~5 μm 的红外热像拓展到近红外、中红外和远红外各个波段, 不同波长处的光谱图像如图2所示。

性高。同时这种波段拓展的方法, 扩大了实测数据的应用范围, 可以推广应用到短波红外、中波红外、长波红外之间的相互拓展, 而且进一步可以应用到基于波段拓展的红外图像融合中, 提高图像质量, 增强红外辐射特征, 从而为目标红外辐射特性的研究提供更加有效的测试手段。

参 考 文 献

- Xu Hong, Wang Xiangjun. Applications of multispectral/hyperspectral imaging technologies in military [J]. *Infrared & Laser Engineering*, 2007, 36(1): 13~17
许洪, 王向军. 多光谱、超光谱成像技术在军事上的应用[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(1): 13~17
- Jiao Zhiwei. Multi-Spectral Warning Technology and Application on Airdefence of Important Target [D]. Hunan: National University of Defense Technology, 2006. 1~23
焦志伟. 多光谱告警技术及其在重要目标防空中的应用研究[D]. 湖南: 国防科技大学, 2006. 1~23
- Jiang Zhaoyi. Study on Infrared Image Synthesis for Typical Target Scene [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2007. 12~19
江照意. 典型目标场景的红外成像仿真研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2007. 12~19
- Cai Lvzhong, Wang Chengyan, Zhou Yufang. Optics [M]. Jinan: Shandong University Press, 2002. 326~333
蔡履中, 王成彦, 周玉芳. 光学[M]. 济南: 山东大学出版社, 2002. 326~333
- Gao Fen, An Ying, Dong Wei. Calculation of the blackbody radiation quantity based on Matlab [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2005, 3(5): 30~32

- 高 芬, 安 莹, 董 威. 基于 Matlab 的黑体辐射量计算[J]. 光学与光电技术, 2005, **3**(5): 30~32
- 6 Carl Salvaggio, David P. Miller. Temporal variations in the apparent emissivity of various materials[C]. *SPIE*, 2004, **5425**: 293~303
- 7 Zhang Lei, Gao Ye, Yang Fengbao. Analysis of double wave bands IR image radiation characteristics and application of image fusion[J]. *Electro-Optic Technology Application*, 2006, **21**(5): 54~57
- 张 雷, 高 桦, 杨风暴. 双波段红外图像辐射特性分析及在图像融合中的应用[J]. 光电技术应用, 2006, **21**(5): 54~57
- 8 Donna Rankin, C. Salvaggio, T. Gallagher, J. R. Schott. Instrumentation and procedures for validation of synthetic infrared image generation (SIG) models[C]. *SPIE*, 1992, **1762**: 584~600
- 9 Li Jiangtao, Zhang Jianqi, Huang Xi *et al.*. A method of spectral band extension of measured infrared images [J]. *Infrared Technology*, 2009, **31**(10): 585~589
- 李江涛, 张建奇, 黄 曦等. 一种实测红外图像波段拓展方法研究[J]. 红外技术, 2009, **31**(10): 585~589
- 10 Hu Jianhong, Ning Fei, Shen Xiangheng *et al.*. Influence of surface emissivity of objects on measuring accuracy of infrared thermal imagers [J]. *Chinese J. Optics & Applied Optics*, 2010, **3**(2): 152~156
- 胡剑虹, 宁 飞, 沈湘衡等. 目标表面发射率对红外热像仪测温精度的影响[J]. 中国光学与应用光学, 2010, **3**(2): 152~156
- 11 Yao Xiuwen, Xiao Jing, Zeng Shuguang *et al.*. Analysis and suppression of self-generated thermal emission in infrared optical systems[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2009, **46**(12): 91~94
- 姚秀文, 肖 静, 曾曙光等. 红外光学系统自身杂散辐射分析及抑制[J]. 激光与光子学进展, 2009, **46**(12): 91~94

栏目编辑: 胡 冰