

基于光谱辐射特性及图像增强的紫外场景仿真研究

韩顺利 胡为良 罗文健 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 基于紫外辐射大气传输特性的紫外探测技术是一种新型成像检测技术, 拓展了军事上可用的电磁频谱范围, 得到了迅速发展。以光谱辐射特性及图像增强为基础, 提出了一种紫外场景仿真方法。创建了目标和背景的红外场景仿真, 推算目标模型中每个像素点对应的辐射温度; 根据普朗克公式计算目标场景在紫外谱段的辐射出射度和图像灰度, 对获得的紫外图像进行图像增强处理, 最终获得实用的紫外场景仿真图像。结果表明仿真效果良好。

关键词 探测器; 紫外辐射; 场景仿真; 图像增强; 波段拓展

中图分类号 TN23 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201340.s115002

Research on Ultraviolet Scene Simulation Based on Spectrum Radiation Characteristics and Image Enhancement

Han Shunli Hu Weiliang Luo Wenjian Zhang Peng

(Key Laboratory Science and Technology on Electronic Test & Measurement, The 41st Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Qingdao, Shandong 266555, China)

Abstract Ultraviolet detecting technology, based on the atmospheric transmission characteristics of ultraviolet radiation, is a new imaging technique. It broadens and develops the available electromagnetic spectrum in military field. Based on spectrum radiation characteristics and image enhancement, a new ultraviolet scene simulation method is proposed. The infrared scene simulation of target and background is created. The radiation temperature of each pixel in the target model is calculated. The corresponding radiation exitance and image grayscale in ultraviolet spectrum are acquired by using Plank formula. By introducing image enhancement, practical ultraviolet scene simulation images are obtained. The experimental results show that the simulation effect is good.

Key words detectors; ultraviolet radiation; scene simulation; image enhancement; spectral band extension

OCIS codes 300.6540; 100.2980; 280.4788; 070.4790

1 引 言

紫外探测技术是继红外探测和激光探测之后发展起来的重要光电探测技术, 他以紫外光辐射的大气传输与衰减特性和高性能紫外光学传感器为基础, 拓展了可利用的电磁频谱范围。由于紫外辐射在大气中传播时具有强烈的散射性和隐蔽性, 使得紫外探测在军事上应用广泛, 如紫外告警、预警、通信及成像辅助导航、侦察和制导等领域^[1-3]。

与红外和可见光探测相比, 紫外探测技术具有工作环境简单、无需制冷和背景干净等优势。在紫

外武器装备的生产和研制过程中, 紫外探测系统进行仿真测试与性能评估都需要大量的紫外场景。外场实验是紫外军事装备性能测试的最直接、最接近实战的方案, 但是对测试设备、条件和环境都有很高要求, 并且需要巨大的经费支持, 有时具有一定的破坏力^[4-5]。目前紫外场景仿真主要是基于紫外辐射的强度仿真, 仿真的场景比较单一, 已不能满足测试的需求, 因此有必要开展基于辐射能量特性和光谱特性的紫外场景仿真, 同时在此基础上进行紫外仿真图像增强技术研究, 进一步突出目标和背景的紫

收稿日期: 2013-08-05; **收到修改稿日期**: 2013-09-02

基金项目: 重点实验室基金(9140C120301110C1203)

作者简介: 韩顺利(1982—), 男, 博士, 工程师, 主要从事红外技术及光电测量仪器等方面的研究。

E-mail: eiqd@ei41.com

外辐射特性,为紫外探测装备提供不同气候、各种复杂背景和接近实战条件下高信噪比的紫外辐射信号环境,满足紫外装备的仿真测试和战术技术的性能验证的要求。

本文提出了一种基于光谱辐射特性及图像增强的紫外场景仿真方法。该方法创建了目标和背景的红外场景仿真;并根据辐射能量特性和光谱特性,推算仿真的目标模型中每个像素对应的辐射温度,利用黑体辐射理论结合普朗克公式,计算目标场景在紫外谱段的辐射出射度及紫外图像灰度,从而反演出目标场景的紫外仿真图像;再对反演的紫外图像进行图像增强处理,增加图像的清晰度及对比度,从而最终获得实用的紫外场景仿真图像。

2 原理及装置

2.1 目标和背景红外场景仿真

通过仿真建模技术实现高分辨率、复杂环境的目标和背景红外场景仿真。通过可视化三维建模软件 Multigen Creator 用多个三角形面元建立物体的外观轮廓;对每个面元添加纹理和材质,进行渲染着色,增强模型的真实感和逼真度;再利用 Vega 的特殊模块 Sensor Vision 读取纹理材质映射文件 *.tmm 和大气文件 *.mat^[6],考虑路径辐射、太阳/月亮辐射、背景辐射、大气路径衰减、大气路径传输等因素,根据辐射能量特性和光谱特性,利用辐射度计算公式计算场景中的红外辐射强度,并将辐射强度量化为灰度值,从而得到目标和背景的红外仿真图像。

当然也可以利用短波、中波、长波红外热像仪,直接拍摄获得目标和背景的红外场景图像。

2.2 目标场景像素点辐射温度推算

在目标和背景红外场景仿真的基础上,利用红外热像的灰度与辐射出射度的关系 $M(i, j) = I(i, j)(M_{\max} - M_{\min})/255 + M_{\min}$,其中 M_{\min} 和 M_{\max} 分别为红外图像中最高温度 T_{\max} 和最低温度 T_{\min} 对应

朗克黑体辐射公式

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

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,利用艾肯特加速不动点 (Atken stable point) 迭代法推算出目标场景图像中每个像素对应的辐射温度值^[7]。

2.3 基于光谱辐射特性及图像增强的紫外场景仿真

根据推算的辐射温度,利用普朗克公式在日盲紫外波段(240~280 nm)分别计算每个像素点对应的辐射值 $M_{\text{bk}}(i, j)$,然后利用辐射出射度与灰度的关系 $G(i, j) = (M(i, j) - M_{\text{bk}\lambda\text{min}})/(M_{\text{bk}\lambda\text{max}} - M_{\text{bk}\lambda\text{min}})$,其中 $M_{\text{bk}\lambda\text{min}}$ 和 $M_{\text{bk}\lambda\text{max}}$ 分别为辐射值的最小值和最大值,进行辐射值的灰度量化,获得初始紫外仿真图像^[8]。

由维恩位移定律 $\lambda_m T = b$ 可知,黑体光谱辐射出射度峰值对应的峰值波长 λ_m 与黑体的绝对温度成反比。因此对常温下,甚至几百摄氏度的温度下紫外辐射相对红外辐射来说辐射值也低几十个量级,因此有必要对紫外仿真图像进行图像增强处理,增加图像的清晰度和对比度。

设初始紫外仿真图像的灰度值为 I ,灰度最小值和最大值分别为 I_{\min} 和 I_{\max} ,对初始紫外仿真图像进行灰度归一化处理,仿真图像的灰度值变为

$$I' = (I - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}).$$

通过灰度归一化及非线性增强的方法对仿真图像进行图像增强^[9-10],增强效果明显,从而最终获得实用的紫外场景仿真图像。

3 实验结果及分析

利用上述基于光谱辐射特性及图像增强算法的研究,分别对 Vega 仿真图像及实拍图像进行了日盲紫外场景仿真,如图 1 和图 2 所示。

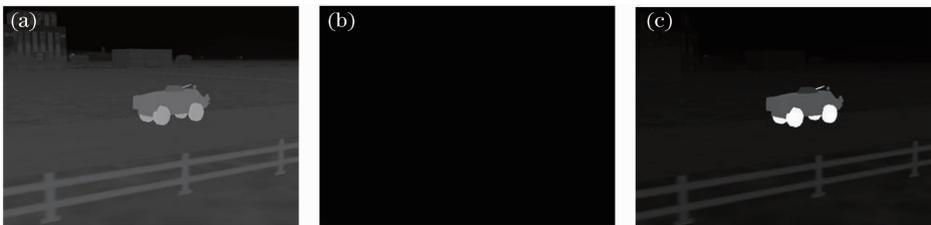


图 1 Vega 仿真图像及紫外仿真。(a) 3~5 μm ; (b) 初始紫外仿真; (c) 增强紫外仿真

Fig. 1 Vega-based simulation image and ultraviolet simulation images. (a) 3~5 μm ; (b) original ultraviolet simulation; (c) enhanced ultraviolet simulation



图2 实拍图像及紫外仿真。(a) 8~12 μm ; (b) 初始紫外仿真; (c) 增强紫外仿真

Fig. 2 Measured image and ultraviolet simulation images. (a) 8~12 μm ; (b) original ultraviolet simulation; (c) enhanced ultraviolet simulation

由图1和图2可知,基于光谱辐射特性波段拓展的初始紫外仿真图像目标信息完全看不见,这是由于紫外辐射值特别低。利用灰度归一化及非线性增强的方法对仿真图像进行图像增强后,目标图像纹理变得清晰,增强了目标的紫外辐射特性。而且,由于增强后空间造成的紫外背景辐射更小,因此在紫外仿真的过程中几乎看不到背景辐射,加大了目标的信噪比,更加突出了紫外探测较红外和可见光探测背景干净的优势。

4 结 论

以 Vega 仿真和实测图像为基础,提出了一种结合目标场景的辐射能量特性、光谱特性及图像增强的紫外场景仿真方法,获得了包括目标的几何形状、紫外辐射特性和运动特性等信息的高信噪比的实用紫外场景仿真图像,突出了紫外探测背景干净的优势,能够为紫外探测装备提供不同气候、各种复杂背景和接近实战条件下高信噪比的紫外辐射信号环境,能够满足紫外武器装备系统设计和研制的仿真测试和战术技术的性能验证的要求。

参 考 文 献

1 Li Bingjun. Ultraviolet Detecting Technology and Its Applications in the Missile Approaching Warning System [D]. Hunan: National University of Defense Technology, 2007. 1-29.
李炳军. 紫外探测技术在导弹来袭系统中的作用[D]. 湖南: 国防科技大学, 2007. 1-29.
2 Z Xu, B M Saller. Ultraviolet communications: potential and state-of-the-art [J]. IEEE Commun Mag, 2008, 46(5): 67-73.

3 Cao Hui. The Ultraviolet Image Alarm Technology [D]. Jilin: Changchun University of Science and Technology, 2010. 1-6.
曹 慧. 紫外成像告警技术的研究[D]. 吉林: 长春理工大学, 2010. 1-6.
4 Xu Qiang. Military Ultraviolet Detection Technology and Applications. [M]. Beijing: Beihang University Press, 2010. 4-10, 264-295.
许 强. 军用紫外探测技术及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010. 4-10, 264-295.
5 C W Litton, P J Schreiber, G A Smith, et al.. Design requirements for high-sensitivity UV solar blind imaging detectors based on AlGaIn/GaN photo detector arrays: a review [C]. SPIE, 2001, 4454: 218-232.
6 Wang Mingming, Hao Yingming, Zhu Feng, et al.. IR radiation calculation and real time simulation of air targets[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(8): 1979-1984.
王明明, 郝颖明, 朱 枫, 等. 空中目标红外辐射特性计算与实时仿真[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(8): 1979-1984.
7 Han Shunli, Zhang Peng. Research on multispectral imaging based on spectral band extension of infrared thermal image[J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(s1): s109004.
韩顺利, 张 鹏. 基于红外热像波段拓展的多光谱成像研究[J]. 中国激光, 2012, 39(s1): s109004.
8 Han Shunli, Zhang Peng. Research on spectral band extension and image fusion of infrared thermal image[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(s1): s111005.
韩顺利, 张 鹏. 红外热像波段拓展及图像融合算法研究[J]. 光学学报, 2012, 32(s1): s111005.
9 Wu Zhiguo, Wang Yanjie. An image enhancement algorithm based on histogram nonlinear transform [J]. Acta Photonica Sinica, 2010, 39(4): 755-758.
武治国, 王延杰. 一种基于直方图非线性变换的图像对比度增强方法[J]. 光子学报, 2010, 39(4): 755-758.
10 Huang Zhanpeng. Image enhancement based on subsection histogram equalization [J]. Computer Knowledge and Technology, 2008, 16: 1292-1293.
黄展鹏. 基于分段直方图均衡化技术的图像增强[J]. 电脑知识与技术, 2008, 16: 1292-1293.

栏目编辑:李志兰