

基于 SE-Workbench-IR 的红外图像仿真

李冰¹, 苏娟¹, 郝媛媛²

(1.火箭军工程大学, 陕西 西安 710025; 2.96625 部队, 河北 宣化 075100)

摘要: 可见光图像仿真生成红外基准图, 对提高红外成像制导武器命中精度具有重要意义。针对实地获取红外基准图成本高、难度大的问题, 借助 SE-Workbench-IR 平台, 实现了由可见光图像到红外基准图的仿真。首先通过 Photoshop 软件对图像进行分层, 并在 SE-CLASSIFICATION 模块对各图层的地物分别赋予对应的材质, 实现纹理分类; 之后, 在红外可视化面板设定生成红外图像的环境参数, 运行软件获得红外仿真图像。仿真之后, 用红外仿真基准图进行模板匹配, 并通过匹配误差、均方根误差和交叉熵来评价仿真效果。实验结果证明: 指定背景环境下的红外成像仿真的效果很好。

关键词: 红外成像仿真; SE-Workbench-IR; 模板匹配; 均方根误差

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2016)08-0683-05

Infrared Image Simulation Based on SE-Workbench-IR

LI Bing¹, SU Juan¹, HAO Yuanyuan²

(1. Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China;

2. 96625 Troops, PLA, Xuanhua, 075100, China)

Abstract: Simulating infrared template from visible image is significant to improve the accuracy of infrared imaging guidance. SE-Workbench-IR is utilized to simulate infrared template due to the high cost and difficulty for acquiring infrared template in the field. Firstly, the image layers are made using Photoshop, the materials selection is done using SE-CLASSIFICATION and textures are classified. Secondly, environmental parameters needed by the infrared simulated image are initialized using IR visualization panel, and the simulation infrared images are got by running the software. After that, template matching is applied which is based on the infrared template, and matching error, RMSE and cross-entropy are used to evaluate the simulation effects. Experimental results show that the effect of the infrared images simulation in the assigned environment is good.

Key words: infrared imaging simulation, SE-Workbench-IR, template matching, RMSE

0 引言

红外成像制导具有灵敏度高、隐蔽性好、抗干扰能力强等优良特性, 因此采用红外成像制导可以提高武器的生存能力和精确打击能力。但是受当前国情和保障能力的限制, 红外成像制导中基准图多为可见光图像, 实时图为红外图像。由于红外与可见光图像成像机理不同, 两者存在较大的特征差异, 进而加大了图像匹配难度。如果改用红外基准图进行匹配, 则在降低匹配难度的同时还能提高匹配准确度和精度。但仅依靠场外实地获取红外基准图,

不仅耗费大量的人力物力财力, 还很难获得复杂环境、恶劣气候下目标的红外图像。因此, 通过红外成像仿真技术来获得红外基准图具有重要意义。

当前, 部分学者、机构在目标与场景的红外特性建模与仿真方面已取得优异成绩: 基于场景几何和红外纹理图像混合的红外动态场景的实时绘制、基于各种新方法的红外辐射大气传输模型、大规模红外场景纹理的生成方法、典型地物不同时段和不同季节的红外特性仿真等^[1-5]。提前建立大气、物理模型以及材料数据库等红外仿真图像生成所需的条件, 可以缩短红外仿真图像生成的时间、扩大红外

收稿日期: 2015-12-19; 修订日期: 2016-02-28.

作者简介: 李冰 (1993-), 女 (汉族), 河北沧州人, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感图像处理。E-mail: libingbenyi@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金 (61302195)。

仿真图像生成范围。红外仿真软件将这些提前建立的仿真生成条件聚集到一个仿真平台，使得红外仿真工作变得简单、易于操作，且可视性更强。国外近年来开发了多种目标与场景的红外辐射特性仿真软件，其中 SE-Workbench-IR 软件已经在英、法、德等欧洲国家以及部分亚洲国家的军事科研领域得到广泛应用^[6]。

本文对 SE-Workbench-IR 软件进行了简要介绍；同时为了验证 SE-Workbench-IR 软件的红外仿真效果，先利用 Photoshop 软件对可见光图像进行分层生成.psd 文件，并用 SE-Workbench-IR 平台中的 SE-CLASSIFICATION 模块实现图像中地物的纹理分类与红外图像仿真；之后采用模板匹配算法对红外仿真基准图与红外实时图进行匹配，并通过计算匹配误差、均方根误差以及交叉熵对红外仿真效果进行评价。

1 基于 SE-Workbench-IR 平台的红外仿真应用

1.1 SE-Workbench-IR 软件简介

SE-Workbench-IR 是 OKTAL-SE 公司开发的 SE-Workbench 软件中用于红外场景数据生成、分析和仿真的工具包。它主要包括 SE-AGETIM（三维地形建模模块）、SE-PHYSICAL-MODELER（物理模型建模模块）、SE-ATMOSPHERE（大气模型建模模块）、SE-THERMAL（热量模型建模模块）、SE-SCENARIO（图形用户界面配置工具模块）、SE-TOOLKIT（应用设计、集成的库和应用程序接口模块）、SE-FAST-IR（红外快速图像生成模块）、SE-RAY-IR（红外射线追踪模块）、SE-CLASSIFICATION（材质的纹理分类模块）、和 SE-IR-SENSOR（红外传感器模块）等^[7-10]。

利用 SE-Workbench-IR 平台建立一个物理材料/纹理分类需要两个过程：第一，物质鉴定，即通过现有软件（如：Photoshop、OpenGL 等）将原始图像中的物质分到不同的图层，生成.psd 文件；第二，

纹理分类，即通过 SE-CLASSIFICATION 模块对.psd 文件中各图层的物质分别赋予对应的物理材质，实现纹理分类。基本流程如图 1^[10]所示。

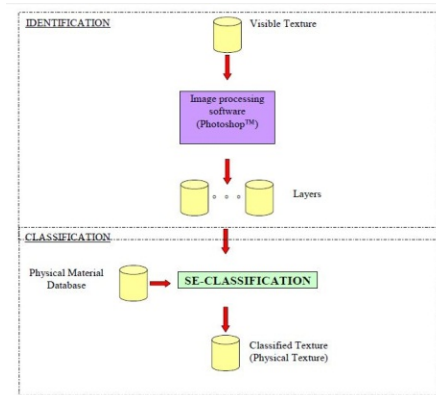


图1 物理材料/纹理分类的建立流程

Fig.1 Establishment of the physical texture/classified texture

1.2 基于 Photoshop 软件的图像分层

本文利用 Photoshop 软件将可见光图像中的不同地物分到不同的图层，最后生成.psd 格式的图层文件。具体操作步骤如下：运行 Photoshop 软件，选用选区工具选取可见光图像中分布面积最大的材质，将选区保存至新建的图层并为图层命名类型名；然后依次选取图像中剩余材质，保存至新建的图层并命名，直到将图像全部分割或达到需要的分割精度。需要注意的是：图层间无重叠区域且所有图层的叠加刚好构成原来的可见光图像；并且，图层要以英文形式命名。

因为 SE-CLASSIFICATION 模块对可见光图像进行纹理分类时，每个图层最多能分出 4 类纹理，并且同一图层中若存在不同材质具有相近颜色时，系统会自动将这些不同地物划分到同一纹理下，进而影响红外仿真结果。因此，在使用 Photoshop 软件对可见光图像进行分层时，要将不同材质相近颜色的地物分到不同的图层，并且每个图层中包含的材质的数量和颜色的数量均不能超过 4 种。

图像的分层实例如图 2 所示。图中的可见光图像中主要包括：屋顶、墙壁和植被。虽然部分屋顶

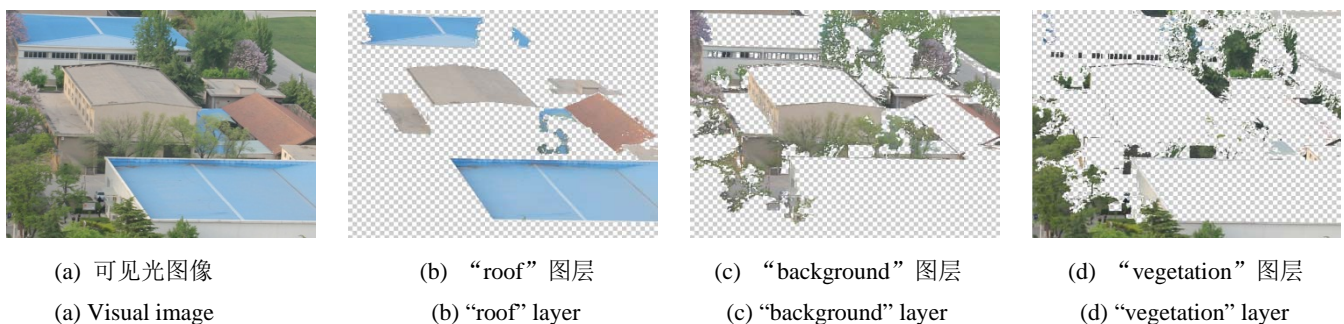


图2 图像的分层效果 Fig.2 Results of the image layers

和墙壁的实际材质相同，但因为两者的辐射特性不同，所以在材料数据库中对应的材质不同；又因为部分屋顶和墙壁在可见光图像中的颜色相近，故将屋顶和墙壁分到不同的图层。

1.3 基于 SE-CLASSIFICATION 的纹理分类及红外仿真

启动 SE-CLASSIFICATION 模块，导入材料数据库、三维物理模型文件和图层文件。对各图层中的每类地物赋予相应的材质（如混凝土、沥青、植被等），并在颜色选择区选择图层中地物所对应的颜色，即可完成纹理分类工作。具体操作步骤如下：

- ①启动 SE-CLASSIFICATION 模块，导入材料数据库；
- ②打开 MPC generation 对话框，导入三维物理模型文件和图层文件；
- ③进入 Classification 对话框，在“Layers”选区选择一个图层，之后在“Material”功能区依次赋予图层中各地物所对应的物理材质，并在“Colour”功能区选择地物在图层中显示的颜色（任一种地物的颜色选区与其材质选区处于同一行）；

④重复步骤③，直至所有图层中的地物都被赋予材质和对应颜色。

图 3 中(a)、(b)、(c)分别表示“roof”图层、“background”图层和“vegetation”图层中各地物的材质和颜色的赋予情况。

完成地物的纹理分类后，在 IR visualization（即红外可视化面板）对话框下选择期待的红外仿真图生成的背景环境参数，如大气窗口、温度、太阳高度角等。之后点击“Preview”按钮，即可生成红外仿真图，如图 4 所示。

2 红外仿真结果验证及评价

按照上文所述的方法，依次对可见光图像进行分层和纹理分类，最后设定环境参数，生成红外仿真图像。同时，用红外成像仪获取同一场景的红外实时图，用于对红外仿真效果进行比较和评价。限于篇幅，本文只给出了两组红外仿真实验的结果，如表 1 所示。通过目视观察和主观感觉可知：红外仿真图像与红外实时图的相似性较高，红外仿真效果较好。

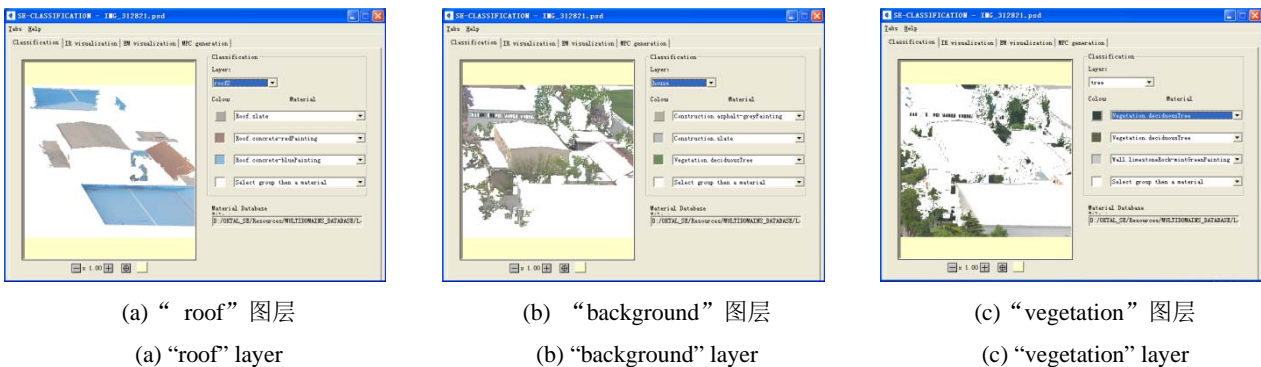


图 3 图层中各地物的材质和颜色赋予情况 Fig.3 The material and color given situation of the objects in the layer

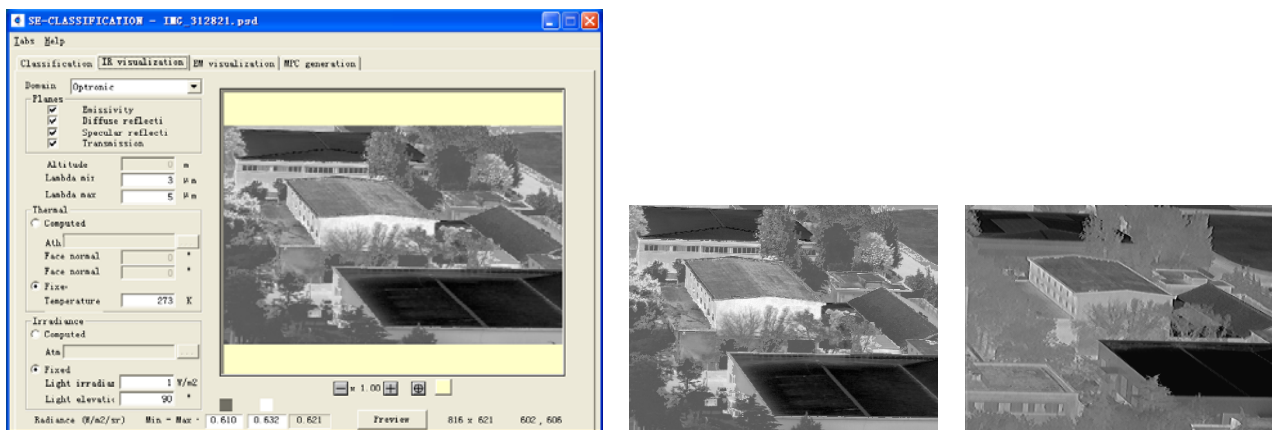


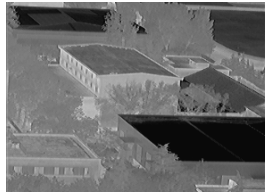





图 4 红外仿真结果 Fig.4 Results of the infrared simulation

表1 红外仿真结果 Table 1 Results of the infrared simulation

	可见光图像	红外仿真图像	红外实时图
实验一			
实验二			

通常情况下，红外仿真图像与红外实时图之间灰度特性的相似性越大，则说明红外仿真效果越好。为了客观地评价仿真效果，本文在进行红外仿真之后，用模板匹配算法对红外仿真基准图（红外仿真基准图是从红外仿真结果图中通过人机交互分割出来的）和红外实时图进行匹配，并通过计算匹配误差来评价仿真效果。同时，用均方根误差（RMSE）和交叉熵来评价仿真效果。

2.1 匹配误差

相关系数能够反映两幅图像的相关程度，所以通过计算红外仿真图像与红外实时图的相关系数，可以得出两者的灰度相似性程度。相关系数的值越大说明两者越相似，即红外仿真效果越好。利用基于相关系数的模板匹配算法对红外基准图与红外实时图进行匹配，则可以通过计算匹配误差来反映灰度相似性，进而反映红外仿真效果。匹配误差越小，说明红外仿真基准图与目标的红外实时图之间的灰度相似性越好，即红外仿真效果越好。

将人工标注的理想匹配位置作为 Ground truth、匹配所得的位置作为实际匹配位置，令计算所得的实际匹配位置与理想匹配位置之间的欧氏距离作为匹配误差。两组实验的匹配结果及匹配误差如表 2 所示，可以看出，匹配误差均小于 2 个像素值，说明红外仿真基准图与红外实时图具有较大的灰度相似性，即说明红外仿真效果比较好。

2.2 均方根误差和交叉熵

均方根误差适用于对两幅图像信息变化程度的测量，该值能反映两幅图之间的灰度值差异。通常，均方根误差值越大，表示两者灰度差异越大，即仿真效果越差；反之，仿真效果越好。交叉熵可以用来测量两个概率分布的信息差异，因此它直接反映了两幅图像的差异，通常交叉熵越小，表示图像间的信息差异越小，即红外仿真效果越好。因为文中最关注的是目标的红外仿真效果，因此只计算目标的红外仿真图与红外实时图之间的均方根误差和交

叉熵。均方根误差和交叉熵分别按照公式(1)、公式(2)计算：

$$RMSE = \left(\frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (R(x, y) - F(x, y))^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$CE_{(R,F)} = \sum_{l=0}^{L-1} P_R(l) \ln \frac{P_R(l)}{P_F(l)} \quad (2)$$

式中： R 和 F 分别表示目标的红外实时图和红外仿真图； $P_R(l)$ 和 $P_F(l)$ 分别表示 R 和 F 在像元亮度值为 l 时的概率。

实验计算结果如表 3 所示。

均方根误差需要考虑两幅图像对应点的灰度值，又由于可见光图像和红外实时图成像的方位角、尺度等差异，导致目标的红外仿真基准图与红外实时图中相同坐标处所对应的点不能完全配对，影响了均方根误差的计算。交叉熵考虑的是两张图像全局的信息分布情况，表 3 中的计算结果能较好地说明两幅图整体之间比较接近，即红外仿真效果比较好。因此总体分析可知：目标的红外仿真图与红外实时图之间相似性较好，红外仿真效果较好。

3 结束语

由于红外基准图的实地获取成本很高，而且很难根据实际要求获取实时图成像背景环境下的红外基准图。为了降低红外基准图的获取成本，降低红外成像制导中图像匹配难度、提高匹配准确度，本文利用 Photoshop 软件和 SE-Workbench-IR 软件中的 SE-CLASSIFICATION 模块，实现了红外基准图的仿真；并通过计算匹配误差、均方根误差、交叉熵来评价仿真效果。实验结果证明，利用 Photoshop 软件和 SE-CLASSIFICATION 模块实现的红外场景仿真效果较好，并且能够从中截取出红外基准图实现低匹配误差、高准确度的红外匹配。本文方法也可以实现空中目标动态图像的仿真，对其进行红外仿真的原理与对地面图像进行红外仿真的原理相

同,且需要注意的事项相同。

因为该软件自带的材料数据库中材质类别有限,而且部分材质并未细分,导致分类过程中某些物质不能被赋予更精确的材质,进而影响了仿真效果;再者,红外仿真生成界面中需要设定的参数要

少于现实环境中影响红外成像的实际因素数,参数的数量及其设定详细与否也影响着仿真效果。因此,为了提高红外场景的仿真效果,红外仿真软件需要在扩大材料数据库以及增加红外仿真所需设定的参数两个方面加以改进。

表2 匹配结果及匹配误差 Table 2 Results of the matching and matching error

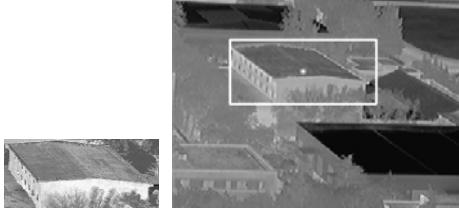





	匹配结果	理想匹配位置	实际匹配位置	匹配误差
实验一		(132,75)	(131,76)	1.4142
实验二		(43,81)	(42,81)	1.0000

表3 目标的红外仿真图与红外实时图之间的均方根误差及交叉熵

Table 3 RMSE and cross-entropy between the infrared simulation image and the real-time infrared image

	目标的红外仿真图	目标的红外实时图	均方根误差	交叉熵
实验一			48.7201	0.7980
实验二			59.8858	0.6036

参考文献:

[1] 王章野. 地面目标的红外仿真及多光谱成像真实感融合研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2002.
WANG Zhangye. Study of the realistic infrared image synthesis for ground objects and the realistic fusion of multi-spectral images[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2002.

[2] 江照意. 典型目标场景的红外成像仿真研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
JIANG Zhaoyi. Study on infrared image synthesis for typical target scenes[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.

[3] 王玥, 卢秋实, 叶青青. 地面背景的红外特性模型[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(6): 989-992.
WANG Yue, LU Qiushi, YE Qingqing. Infrared characteristic model of ground background[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(6): 989-992.

[4] 孙丹丹. 基于遥感影像的红外纹理生成及仿真应用研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
SUN Dandan. Research on the generation and simulation application of infrared texture based on remote sensing image[D]. Xi'an: XIDIAN University, 2011.

[5] 季圆圆. 典型地物红外特性仿真关键技术研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
JI Yuanyuan. Study on key techniques of simulation for infrared characteristics of typical ground objects[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2014.

[6] 范晋祥, 岳艳军. 目标与场景的红外特性建模与仿真软件的发展[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(增刊): 389-396.
FAN Jinxiang, YUE Yanjun. Development of software for modeling and simulation of target and scene's infrared signature[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(Supplement): 389-396.

[7] JEAN L, THIERRY C, NICOLAS D, et al. Simulation of active and passive infrared images using the SE-WORKBENCH[C]// *Proc of SPIE on Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XVIII*, 2007, 6543: 6543-1-6543-15.

[8] 张云, 马崇宵, 薛艳茹, 等. 基于 SE-Workbench-IR 的红外视景仿真研究[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(4): 211-213.
ZHANG Yun, MA Chongxiao, XUE Yanru, et al. Research of scene simulation based on SE-Workbench-IR[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2010, 30(4): 211-213.

[9] OKTAL-SE. Methodological guide[Z]. 2011.

[10] OKTAL-SE. SE-CLASSIFICATION[Z]. 2011.