

·测试、试验与仿真·

## 红外场景计算机生成方法研究

唐树威, 高 波

(光电信息控制与安全技术重点实验室, 天津 300308)

**摘 要:** 红外场景计算机生成目的就是运用红外物理的基本原理和计算机技术, 生成物理真实的场景红外图像, 用于各种红外系统的研制及性能测试。围绕典型场景的红外成像仿真, 对地形、天穹和云层等场景要素的红外成像热模型及红外图像的绘制开展了研究。主要工作包括描述了红外场景的组成, 详细介绍红外场景的构建, 并描述了其生成方法或步骤, 然后构建完整的红外场景, 并对影响红外场景效果的大气衰减进行了分析, 最后对仿真结果进行评估分析, 指出此构建方法的特点。

**关键词:** 红外场景; 红外成像; 计算机生成; 分层

中图分类号: TN211

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-03-0058-04

## Research on Infrared Scene Built by Computer

TANG Shu-wei, GAO Bo

(Science and Technology on Electro-Optical Information Security Control Laboratory, Tianjin 300308, China)

**Abstract:** The aim of infrared scene built by computer is generating infrared image using the basic principle of infrared physics and computer technology in order to research and test the characteristics of infrared systems. Based on the infrared imaging simulation of typical scenes, researches about the thermal models and infrared images of the key components such as terrain, sky and cloud are researched. The main works include the composition and the detailed architecture of the scene, the method and steps of the components building. And the whole infrared scene is built. The atmospheric attenuation affecting infrared scene effect is analyzed. Simulation results are evaluated and analyzed to point out the characteristics of this method.

**Key words:** infrared scene; infrared imaging; generated by computer; layers

随着红外成像技术的飞速发展和在医疗、交通、安检和军事等领域的广泛应用, 越来越多的红外成像设备投入使用, 在红外成像设备的研制过程中, 需要使用大量的红外场景对设备进行验证。由于条件的限制某些真实红外场景的采集很难完成, 而利用计算机生成红外场景是解决这一难题的有效途径<sup>[1]</sup>。与取得真实红外场景相比, 利用计算机生成不仅能节约大量的人力和财力, 而且还可以产生恶劣自然和地理条件下无法获得的红外图像, 因此具有很高价值。

常见的红外场景的计算机生成方法主要有两

种: 一种为基于 OpenGL 的模式, 另一种为基于 Vega 的模式。OpenGL 为一种开放的计算机图形函数库, 它具有图像逼真、红外图像准确度高和细节表现力强的特点, 但其也有编程繁琐、模型和驱动没有严格分离及运算量大等缺点, 不适合用于大规模实时红外场景的生成; 而 Vega 是专门为复杂场景实时生成及渲染设计的软件, 其具有红外模块, 可以真实的模拟输出任意波长的红外传感器观察虚拟场景的图像效果<sup>[2]</sup>, 而且使用简便, 但 Vega 是商业软件, 部分功能的使用存在着限制。

文中在参考其他外红外图像计算机生成的思

路和方法的基础上,提出了一种基于红外图层的场景计算机生成方法。该方法通过将场景图层化处理,分别对每个图层的红外图像使用物理公式计算,这种方法生成的红外场景具有较高的层次感,可应用于三维视景仿真系统场景生成<sup>[3]</sup>。

### 1 红外场景的组成

红外场景的计算机生成主要是用计算机模拟红外成像系统工作过程而生成红外图像。典型的场景主要由地形、天穹和云层组成,如图1所示<sup>[4-5]</sup>。

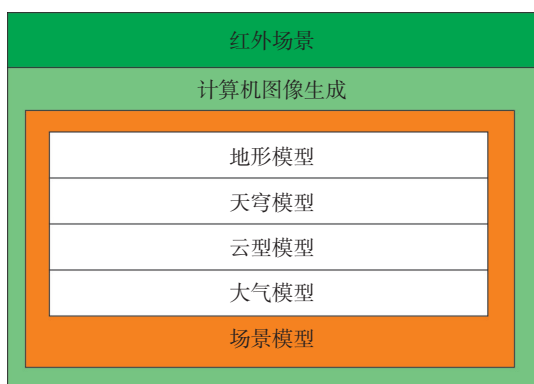


图1 红外场景的基本构成

在研究场景的红外辐射对红外成像设备的影响情况而言,大气对辐射的衰减也是必须考虑的内容。

#### 1.1 三维地形

地形模型是对地球表面的外形、组成以及特性的表示,包含地貌、自然特征和建筑物等。为了创建真实的地形模型,需要使用实际地形的数字高程模型,地面的正色可见光图像和地物的材质模型,如图2所示。

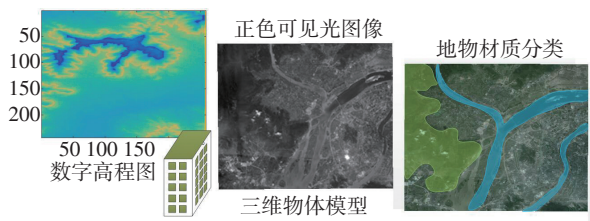


图2 三维地形的组成

数字高程模型可以表现地面连续的起伏状态,地面的正色可见光图像体现地形纹理特征,而地物的材质模型用于体现地形在不同时间和天气条件下的红外特征。在涉及到低空场景时,还需加入建筑及树木等三维物体模型<sup>[6-7]</sup>。

#### 1.2 天穹和云

由于红外成像系统其观测距离不仅与目标的辐射强度有关,而且与所处的天空背景环境密切相关。对于同一目标而言,在不同的天空背景下,其观测距离可能不同。为了更好地研究天空背景环境对红外探测器观测距离的影响,需要不同条件的天穹红外图像。利用天穹红外辐射模型生成半球红外图像,扣在地形的上方,这样就形成了整个场景的背景,而云和目标都是作为天穹的前景出现,如图3所示<sup>[6]</sup>。

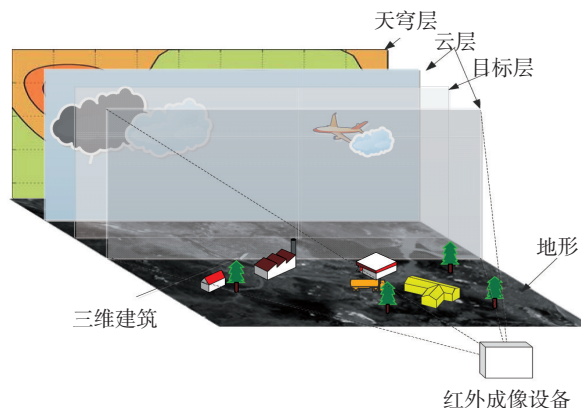


图3 场景中目标与天穹、地形和云层次关系

### 2 红外场景的生成过程

#### 2.1 三维地形层的生成

三维地形是红外场景的一项重要组成部分。地形生成过程如图4所示。首先对地形进行规划,确定所需地形的位置;其次准备所选区域的数字高程图,高程数据通常直接来自大地测量,具有可信度高,真实感强的特点;准备正色可见光图像作为地形的纹理数据,地形纹理可以利用卫星照片制作,将卫星照片通过配准覆盖到与其匹配的地形轮廓上,就可以获得真实感很强的地形纹理;接着对

地物进行三维建模,布置到合适的位置;由于地形上不同物体的发射率不同,需要对地形上地物的材质进行分类指定,这样才能生成出物理真实的红外地形;最后确定了投影方式后,就生成三维地形<sup>[7-8]</sup>。

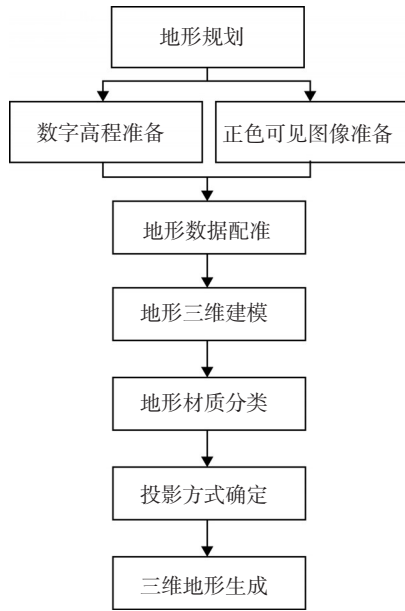


图4 三维地形生成的流程

地形的红外辐射中,最主要的影响因素包括:太阳辐射、环境辐射和地物本身的辐射等。为了进行红外成像,需要计算地形中每一个像素的辐射能量,可采用以下计算公式

$$\begin{aligned}
 L_0 = & L_{\text{ambient}}(\lambda) \cdot \rho_{\lambda} \cdot \tau_p(\lambda) + \\
 & L_{\text{direct}}(\lambda) \cdot \cos(\theta) \cdot (1 - f_{\text{rac}}) \rho_{\lambda} \cdot \tau_p(\lambda) + \\
 & L_{\text{direct}}(\lambda) \cdot \rho_{\lambda} \cdot f_{\text{rac}} \cdot f_{\text{ang}} \cdot \text{norm} \cdot \tau_p(\lambda) + \\
 & L_{\text{thermal}} \cdot (1 - \rho_{\lambda}) \cdot \tau_p(\lambda) + L_{\text{path}}(\lambda)
 \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $L_0$  是光谱辐射;  $L_{\text{direct}}(\lambda)$  是目标表面反射太阳的光谱辐射;  $L_{\text{ambient}}$  是目标表面的环境辐射;  $L_{\text{thermal}}$  是与目标表面等温的黑体光谱辐射量;  $L_{\text{path}}(\lambda)$  是目标与探测器之间的大气光谱辐射;  $\theta$  是太阳或月亮与目标成像面法线间的夹角;  $\rho_{\lambda}$  是目标表面的漫反射系数;  $\tau_p(\lambda)$  是目标表面与探测器间的大气透射比;  $f_{\text{rac}}$  是目标表面的镜面反射比;  $f_{\text{ang}}$  是目标表面镜面反射的角度依赖关系;  $\text{norm}$  是镜面反射归一化系数。

计算出的辐射亮度后转化成在计算机中使用的灰度等级,然后进行不同波段和时间的集成测试,如图5所示。

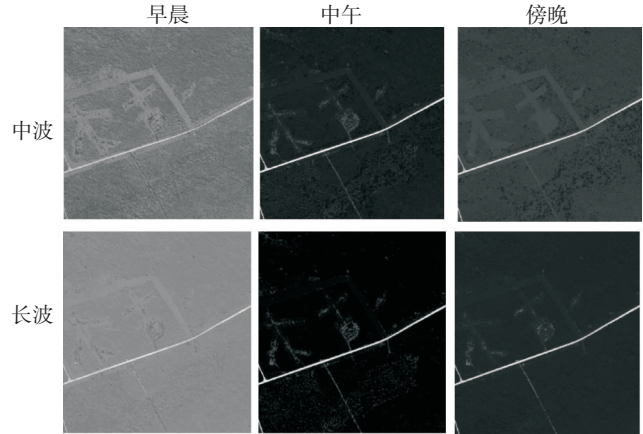


图5 不同波段时段的红外地形计算结果

## 2.2 天穹层红外图像生成

在红外场景建模中,天穹主要作为背景使用,就像舞台中的背景幕。影响天空背景辐射的因素有太阳天顶角、观察高度、温度、地面材质、高度、云、雨、风速、太阳方位角、地域,日期和时间等。

天穹红外辐射图像生成步骤为(图6所示)。

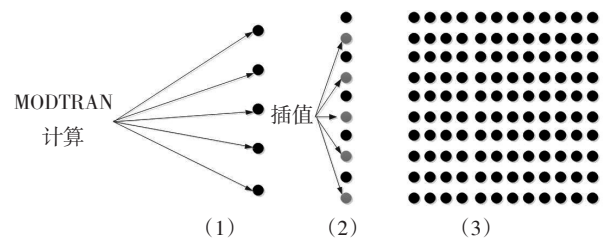


图6 天穹红外辐射图像生成步骤

(1)在视场中选择若干典型点;(2)利用MODTRAN计算每个典型点对应角度入射到观测点上的大气背景辐射亮度值;(3)对每个角度计算的大气背景辐射亮度进行积分;(4)利用插值的方法得到垂直方向每一个像素对应的大气辐射亮度值;(5)更改方位角,重复(1)~(4),最终形成红外图像。通过计算生成的天穹红外辐射图像如图7所示。

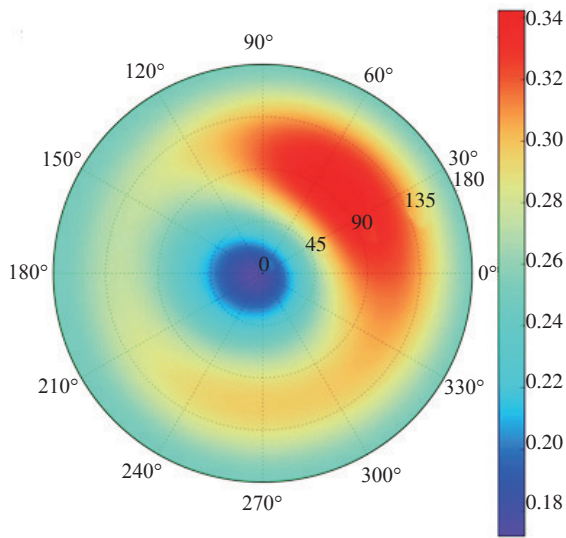


图7 天穹的红外辐射伪彩色图像

### 2.3 云层的红外图像生成

天空背景除了由地球大气散射和辐射形成的天空背景之外,云也是红外场景中的重要组成部分。云的红外辐射包含着诸多因素的影响,主要有云自身的热辐射、大气的热辐射、太阳辐射以及云自身热辐射等。云红外辐射亮度计算如下

$$L_{cloud} = [L_{sun} + L_{sky} + L_{cloud}] \cdot \tau_{path} + L_{path} \quad (2)$$

$L_{sky}$  为天空辐射经过云的透射到达云的辐射;  
 $L_{cloud}$  为视线上云自身的辐射; $\tau_{path}$  为云到探测器的大气透过率; $L_{path}$  为云到探测器的大气路径辐射。  
 $L_{sun}$  为太阳辐射经过云的透射或者反射到达云底的辐射,当探测器和太阳在云的同侧时为反射辐射,当探测器和太阳在云的两侧时为透射的辐射。

另外,由于云外形的无规则性和随机性,在云层的红外图像生成过程中,其形状的生成也是一项重要的工作。有多种方法可以用于云层的生成,常用的方法是分形法,分形法具有构造的物体模型结构精细和算法控制简单等特点。

具体方法如下:

- (1) 建立一个二维网格,并对四个角点赋值;
- (2) 取四个角点连线构成正方形,在正方形的中点生成一个随机值,中点为两对角线的交点,中点值为四个角点平均值再加上一个随机量。
- (3) 取正方形中点和任意一条边的两个端点,取平均值再加上一个偏移量,得到四条边的中

点值。

(4) 重复步骤2和步骤3,直到达到希望形状,如图8所示。



图8 生成的云层红外图像

### 2.4 红外辐射的大气传输

红外辐射需通过大气才能观察到目标,这影响了红外成像的质量和性能。因为从目标来的辐射功率在到达红外传感器前,会被大气中某些气体有选择地吸收,大气中悬浮微粒能使光线散射。虽然吸收和散射机理不同,其作用结果均使辐射功率在传输过程中发生衰减,可用 Bouguer 定律描述。

$$\tau_a(\lambda, x) = \exp[-\sigma(\lambda)x] \quad (3)$$

式中, $\tau_a(\lambda, x)$  为大气光谱透过率; $\sigma(\lambda) = \alpha(\lambda) + \gamma(\lambda)$  为衰减系数,可分解为吸收系数  $\alpha(\lambda)$  和散射系数  $\gamma(\lambda)$ ,  $x$  为路程长度<sup>[10]</sup>。

由于辐射的大气衰减计算非常复杂,工程上一般使用专用软件(如 MODTRAN, FASTCODE, HITRAN 等)进行计算,如图9所示。

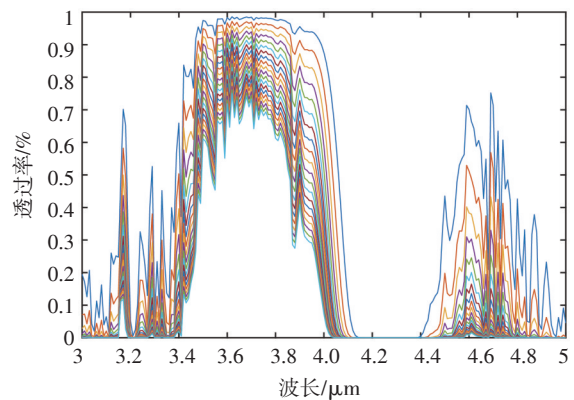


图9 3~5 μm的大气传输计算结果

(下转第69页)

方法[J]. 计量技术, 2004, 12: 3-5.

- [6] 严居斌, 刘晓川, 张斌. 基于DSP的小波算法的实现[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2002, 34(2): 92-95.
- [7] 潘朝洪, 张昱, 金心宇, 等. 加窗傅里叶和小波变换在电能质量分析中的综合应用[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2007, 6(4): 403-408.

- [8] 张月, 王睿. 光电探测器脉冲相关噪声增强效应研究[J]. 光电技术应用, 2018, 33(1): 24-29.
- [9] 万安军, 李佳洛, 赵勋杰. 锡膏检测(SPI)中摄像机走位算法设计[J]. 光电技术应用, 2018, 33(2): 32-34.
- [10] 潘丽姣, 金伟健. 应用MapReduce的多维小波变换模型[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2016, 35(1): 98-100.

(上接第61页)

## 2.5 生成效果

以飞机穿云为例, 仿真生成3~5  $\mu\text{m}$  红外场景序列图像, 图10(1)中飞机被云层遮挡, 观测不到的机身, 但随着飞机的飞行, 机身逐渐清晰。

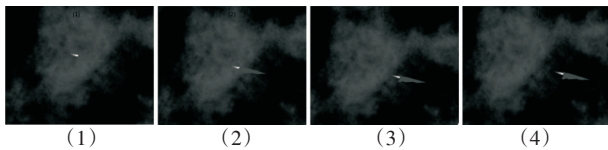


图10 3~5  $\mu\text{m}$  飞机穿云生成图像结果

从图像中可以看出, 生成结果有较高的真实性。

使用图层化的计算机红外场景生成方法, 将组成场景的要素分层计算, 可以使计算清晰明确, 进而简化整个红外场景的计算复杂度。同时这种生成方法生成红外场景层次分明, 具有较高的真实度。

## 3 结束语

红外场景仿真是视景仿真技术领域中的重要研究内容之一, 利用计算机仿真生成三维红外场景, 可以对三维场景中的各个组成部分进行位置或状态的调整, 具有很大的灵活性和广泛的应用前景。

文中研究成果可以应用于红外成像半实物仿真系统的建设。将生成的红外场景图像传送给电

阻阵列或可变形反射镜阵列(DMD)的控制器中, 控制器将接收到的红外图像转换成电信号, 驱动电阻阵列或DMD发出红外热图像, 产生的红外热图像经光学系统的匹配后提供给各种真实的红外成像系统使用, 用于图像处理算法验证与改进及现有设备的性能测试及提高等。

## 参考文献

- [1] R D小哈德逊(美). 红外系统原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1975: 10-100.
- [2] 王乘, 李利军, 周均清, 等. Vega实时三维视景仿真技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [3] 姚连兴, 仇维礼, 王福恒. 目标和环境的光学特性[M]. 北京: 中国宇航出版社, 1995.
- [4] 周茂树, 何启予, 金国祥, 等. 飞航导弹红外导引头[M]. 北京: 中国宇航出版社, 1995.
- [5] 李世祥. 光电对抗技术[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000.
- [6] 吴家铸, 党岗, 刘华峰, 等. 视景仿真技术及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [7] 东瑞, 董国才, 沈猛. 红外成像导引头半实物仿真系统研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(8): 2027-2029.
- [8] 花文波, 杨东升. 天空背景红外图像仿真[J]. 科学与技术, 2012, 12(3): 568-572.
- [9] 彭伟, 李攀. 基于GPU的动态天空场景仿真[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(5): 1938-1942.
- [10] 李建勋, 童中翔, 王超哲, 等. 飞机目标红外特性计算与图像仿真[J]. 兵工学报, 2012, 33(11): 1310-1318.