

文章编号 1674-2915(2010)02-0177-05

基于 Vega 的红外图像仿真

刘春雨^{1,2}, 郭立红¹, 高峰³, 王永伟³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 空军驻长春地区军事代表室, 吉林 长春 130012)

摘要:介绍了红外成像仿真的基本理论,讨论了利用 Vega 传感器模块将输入的可见目标图像生成红外图像的技术。该技术使用 Creator 软件进行三维几何建模和纹理映射,使用 TMM 软件进行红外材质建模;然后,用 Mat 软件进行大气衰减的计算;最后,用 SensorWorks 软件进行传感器特性建模,通过光电转换生成红外图像。以阿帕奇 AH6 直升机为例进行了红外图像仿真,结果表明,利用 Vega 传感器模块进行传感器建模,建模效果较好,成本低,易于工程实现。

关键词:红外图像;红外仿真;大气衰减;热辐射

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**A

Infrared imaging simulation based on Vega

LIU Chun-yu^{1,2}, GUO Li-hong¹, GAO Feng³, WANG Yong-Wei³(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,**Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*3. *Air Force Resident Office at Changchun Region, Changchun 130021, China)*

Abstract: The basic principles of infrared imaging simulation was introduced, and a method for generating infrared images from visible images based on Vega was discussed. By the proposed method, the Creator was used to establish a 3D geometric model and to realize a texture mapping, then the Texture Material Mapper (TMM) was applied to modelling for infrared materials. Furthermore, by using the Mat software, the atmospheric attenuation was calculated. A characteristic model of sensor was established by SensorWorks and infrared images were generated with photoelectric conversions. Finally, Apache AH6 helicopter was used in infrared simulation in this paper. The results show that the module established by Vega sensor has advantages in effective modeling, low costs, and the method is suitable for engineering practice.

Key words: infrared image; infrared simulation; atmospheric attenuation; heat radiation

1 引言

红外成像仿真的理论研究及实现在各个领域都有着强烈的需求和应用前景。在军事领域,先进红外成像制导和红外对抗设施的研制,军用红外成像探测设备的更新换代,军事目标的侦察、监视、预警与跟踪,对隐身飞行器的探测,对威胁进行红外告警以及红外通信、军用夜视仪等都需要红外技术的支持。在民用领域,国土资源的遥感和遥测,森林火灾的预防,农作物生长状况的红外监测,工业节能,设备热故障诊断和野外作业人员的救生等也都广泛应用红外技术。鉴于其广泛的应用前景,目前红外成像技术已成为国内外有关研究机构的重要研究课题。

红外成像仿真是根据目标的红外辐射特性,采用合适的数学模型,用计算机计算出红外目标的红外辐射分布;然后,按照目标与视点间的大气条件,利用大气传输模型计算目标红外辐射分布经过大气到达视点过程中的衰减;最后,模拟红外探测器特性,计算探测器成像面元对应像素的辐射度,再通过量化等手段,将辐射数据转换为亮度来显示的一种技术。红外成像仿真的具体实施主要包括以下几个步骤^[1]:(1)由场景(目标、背景)的物理模型计算目标的红外辐射分布;(2)根据目标与视点间的大气条件,计算目标红外辐射分布经过大气到达视点过程中的衰减,即大气衰减;(3)模拟红外探测器的特性,做光/电转换仿真,生成红外图像。

本文讨论了利用 Vega 传感器模块将输入的可见目标图像生成红外图像的技术,结果表明,利用 Vega 传感器模块进行传感器建模,具有效果好、成本低、易实现的优点。

2 目标辐射特性建模

物体表面每个面元的辐射值,即感知的辐射值为^[2]:

$$L_{\text{observ}} = L_{\text{solar/lunar}} + L_{\text{sky}} + L_{\text{therm}} + L_{\text{SVpath}}, \quad (1)$$

式中, L_{observ} 表示物体表面每个面元所受到的所有辐射之和, $L_{\text{solar/lunar}}$ 物体表面对入射的太阳或月亮

辐射的镜面反射和漫反射, L_{sky} 表示物体对天空辐射的反射, L_{therm} 表示物体自身的热辐射, L_{SVpath} 表示物体与传感器之间的路径辐射和大气对物体辐射的散射。各个辐射的计算公式如下:

$$L_{\text{solar/lunar}} = L_{\text{direct}} \cos \theta_i \rho (1 - f_s) \tau_r +$$

$$L_{\text{direct}} f_{\text{sl}}(\theta_r, \phi_r) \rho f_s N_s \tau_r, \quad (2)$$

$$L_{\text{sky}} = L_{\text{amb}} \rho \tau_r, \quad (3)$$

$$L_{\text{therm}} = L_{\text{bb}} (1 - \rho) \tau_r, \quad (4)$$

$$L_{\text{SVpath}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda} \Phi(\lambda) L_{R_2}(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

在式(2)中 L_{direct} 表示太阳或月亮入射到物体表面的辐射量, θ_i 表示入射到物体表面的辐射角, ρ 表示物体表面的漫反射系数, f_s 表示物体表面到传感器之间的大气传输系数, τ_r 为物体对辐射的反射角, N_s 表示镜面反射的归一化系数。式(3)中 L_{amb} 表示天空背景入射到物体表面的辐射量,式(4)中 L_{bb} 表示物体表面某个面元等效的黑体辐射量。式(5)中, $\Phi(\lambda)$ 表示传感器的光谱响应, L_{R_2} 表示 R_2 路径上的辐射。

3 大气传输模型

在场景和探测器之间,还存在着大气对红外辐射的作用,因此,到达探测器的辐射是场景的红外辐射与大气衰减共同作用的结果。大气对红外辐射的衰减主要与以下因素有关:大气气体分子的吸收;大气中分子、气溶胶和微粒的散射;因气象条件(云、雾、雨、雪)的衰减。

大气光谱透过率 τ_a 可表示为:

$$\tau_a(\lambda) = \tau_n(\lambda) \cdot \tau_p(\lambda) \cdot \tau_t(\lambda), \quad (6)$$

式中, $\tau_n(\lambda)$ 、 $\tau_p(\lambda)$ 、 $\tau_t(\lambda)$ 分别为被吸收、散射、和因气象衰减制约的大气光谱透过率。

计算大气衰减的方法很多,主要有经验公式法和大气模型法,目前精度较高的是美国的 LOWTRAN 模型。在 Vega^[3]中,使用 MOSART Atmospheric Tool (MAT)^[4]设定大气传输模型,计算大气透射率、大气背景辐射、太阳或月亮的直接辐射等。

4 红外探测器模型

按照红外热成像系统的成像原理,红外辐射

首先通过光学系统,光学系统将所接收到的红外辐射收集起来,经滤波后汇聚到光学系统焦平面上,随后探测器逐点处理景物的红外辐射并转换成相应电信号,经放大器处理后最终转化为灰度值显示出来。

4.1 成像系统的传递函数链^[5]

传递函数用来定量描述输出图像与输入图像间的关系,客观评价光学系统的成像质量。它描述了系统对空间频率信号响应的特征函数,表征系统空间分辨能力的大小。假设光学系统为衍射限制系统,则红外热成像系统的总体响应为各个成像环节光学传递函数的乘积,从而红外热成像系统的传递函数表达如下:

$$H_s(f) = H_o(f)H_e(f)H_d(f), \quad (7)$$

式中, $H_o(f)$ 为光学系统的传递函数; $H_e(f)$ 为电子线路的传递函数; $H_d(f)$ 为探测器的传递函数。

4.2 成像系统的噪声模型

由于红外探测过程受到噪声影响,特别是探测器产生的噪声。因此要得到红外仿真图像,必须考虑探测器的噪声。一般红外探测器的噪声可表示如下:

$$V_s = (V_j^2 + V_n^2 + V_f^2 + V_o^2)^{1/2}, \quad (8)$$

其中, V_j 为热噪声,由器件的分子热运动引起载流子不规则运动引起; V_n 为散粒噪声,是由半导体器件中少量载流子扩散不均匀引起的; V_f 为 $1/f$ 噪声,其功率谱随频率呈反比变化; V_o 为产生-复合噪声,是由于晶格热振动引起载流子产生、复合的起伏造成的。

4.3 探测系统综合模型

假设探测器噪声服从均值为 μ ,方差为 σ^2 的高斯分布,则探测器的综合响应模型可表示为:

$$F(x,y) = (S(x,y) + n(x,y)) \cdot H_s, \quad (9)$$

式中, $S(x,y)$ 为探测器输入信号; $n(x,y)$ 为探测器噪声; $F(x,y)$ 为探测器最终输出,即信号与噪声之和与探测器传递函数 H_s 的卷积。

5 仿真过程和结果

红外成像仿真系统设计首先要进行场景建模,这是红外仿真的基础,包括红外模型,大气模型,红外材质模型和背景辐射模型等;然后利用VEGE平台渲染和驱动模型,使所有的模型在场

景中能够实时渲染驱动;最后进行用户的功能设计,完成红外图像的生成。仿真系统流程图如图1所示。

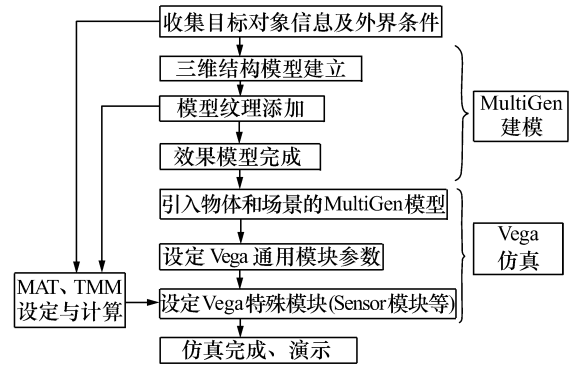


图1 仿真系统流程图

Fig. 1 Flowchart of infrared simulation

5.1 三维目标建模^[6]

模型是原型的模板,是对原型的模仿和描述。在仿真建模中,对模型主要有下面两个要求:(1)精确性,指模型要能精确地反映出原型的基本特征;(2)简要性,在描述原型的基本特征时,要对原型做某种简化,突出其主要部分,略去次要部分,集中反映原型本质特征,或者反映人们最感兴趣的部分。

建模时,应先考虑模型的简要性,然后再逐步细化,构造出一个精确模型。首先,建立概略模型,反映原型的整体特征。原型越复杂,越需要从整体上把握,概略模型越重要。概略模型一般把复杂的原型分成几个简单的主要部分,使人们从总体上了解整个原型的结构,每个部分可以看作是一个子模型。第二步是对子模型建模,同样可以对子系统进一步分解,分析子模型由哪几个部件组成。第三步是综合模型,子模型确立以后,可以根据系统概略模型的结构把子模型综合为原型的总体精确模型。

在几何模型建立后,通过给几何模型的表面上加上各种材质,设定光照条件等来提高模型的逼真度和质感,同时在几何模型的表面映射上各种纹理图案,使模型变得更加生动和真实。

三维几何建模的过程

1)使用 Creator 对 AH6 进行层次建模,建模框图如图2所示。

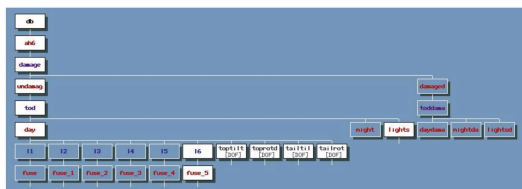


图2 AH6模型数据库层级视图

Fig. 2 Level view of AH6 model database

2) 选取目标的纹理图片,如图3所示,对几何模型进行纹理图案映射,得到目标的三维模型,如图4所示。

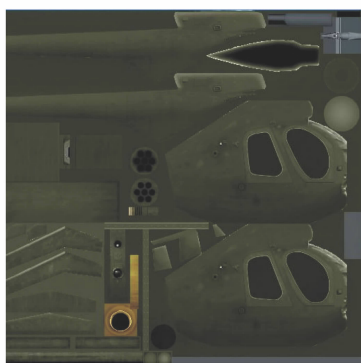


图3 目标纹理图

Fig. 3 Texture map of target



图4 目标三维模型

Fig. 4 Three-dimensional model of target

5.2 红外材质建模

目标和背景的几何模型建成后,要为模型映射相对应的纹理材质。TMM(Texture Mapper)是Vega中用来将Creator三维模型可见光纹理转换至材质的辐射纹理的工具,它提供了一种方法用来完成从Vega提供的对象的纹理到材质的映射。

5.3 大气环境建模

在Vega中,利用MOSART Atmospheric Tool

(MAT)设定大气传输模型,计算大气透射率、大气背景辐射、太阳或月亮的直接辐射等。MAT工具是用来创建、编辑、生成大气传输特性的数据库。首先设定地理位置、大气状态、气象条件和光谱波段等参数,然后利用MOSART和TERTEM软件,根据所输入的参数,得到特定光谱范围内的大气传输特性以及相关物质的辐射特性,生成相应的数据库,以供给红外成像仿真过程中Sensor模块调用。由于大气传输特性的计算量巨大,因此这部分工作要在仿真前完成,以保证仿真的实时性。

5.4 传感器建模

红外图像仿真的关键一步是得到红外图像,利用SensorVision模块,加入目标模型,大气和红外材质模型,Vega软件会根据大气质量、光谱、环境辐射、转化因子、温度等参数,实时计算得到场景的红外图像。但是这种图像是理想状态下的图像,没有任何杂波和干扰,没有各种图像噪声。为了更具真实效果,还需模拟红外探测器的成像效果。SensorWorks模块可以对探测器进行仿真,加入光学透过率、孔径、聚焦误差、 F 数、探测器分辨力、探测器元数、系统灵敏阈、线路噪声等参数,实时仿真平台对探测器成像面元进行快速的计算,得到更加真实的红外图像。

5.5 仿真结果与分析

以阿帕奇AH6直升机为例,用Creator软件建立三维纹理模型(如图4)进行了红外图像仿真。在相同的气象条件下,直升机面元温度为273 K时,图5是在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波长下的红外图像,图6是在 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 波长下的红外图像,图7是在加入随机时间噪声后在 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 波长下的红外仿真图像。

图5 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 红外图像Fig. 5 Infrared image at $3 \sim 5 \mu\text{m}$



图6 8~12 μm 红外图像

Fig. 6 Infrared image at 8~12 μm

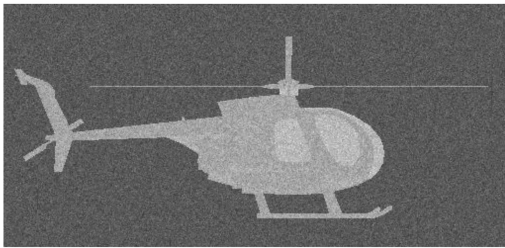


图7 带噪声的8~12 μm 红外图像

Fig. 7 Infrared image with band noise at 8~12 μm

从以上图像中可以看出,8~12 μm 图像的光亮度比3~5 μm 的强,这是因为飞机在 $T=273\text{ K}$ 时,其表面辐射的75%能量集中在10 μm 左右,即在8~12 μm 之间。图7是图6加入随机时间噪声后的图像,图像亮度变弱,可见传感器噪声对红外成像影响较大。

6 结 论

本文讨论了利用 Vega 传感器模块将输入的可见目标图像生成红外图像的技术。该技术使用 Creator 软件进行三维几何建模和纹理映射,使用 TMM 软件进行红外材质建模;然后,用 Mat 软件进行大气衰减的计算;最后,用 SensorWorks 软件进行传感器特性建模,根据目标的辐射特性进行目标的辐射计算。以阿帕奇 AH6 直升机为例进行了红外图像仿真,结果表明,利用 Vega 传感器模块进行传感器建模,建模效果较好,成本低,易于工程实现。

参考文献:

- [1] 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 ZH Y. Study on infrared image synthesis for typical target scenes[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007. (in Chinese)
- [2] 吴宗凡,柳美琳. 红外与微光技术[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
WU Z F, LIU M L. Infrared and Micro-nano Technologies[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998. (in Chinese)
- [3] 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.
WANG CH, LI L J, ZHOU J Q, et al. Real-time 3D Visual Simulation Technology by Vega[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2005. (in Chinese)
- [4] 笪邦友. 地面目标背景的红外成像仿真研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
DA B Y. Study of the IR image simulation for ground objects and background[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006. (in Chinese)
- [5] 肖甫,吴慧中,肖亮,等. 地面坦克目标红外热成像物理模型研究[J]. 系统仿真学报,2005,17(11):2577-2579.
XIAO F, WU H ZH, XIAO L, et al. Study on infrared thermal imaging physical model of ground tanks target[J]. J. System Simulation, 2005, 17(11): 2577-2579. (in Chinese)
- [6] 王乘,周均清,李利军. Creator 可视化仿真建模技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005.
WANG CH, ZHOU J Q, LI L J. Visual Simulation and Modeling Technology by Creator[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2005. (in Chinese)