

使用 Vega 传感器模块进行红外图像仿真

康长青^{1,2}, 郭立红¹, 陈灵娟^{1,2}, 王心醉^{1,2}

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 针对红外图像获取耗时长, 费用高的特点, 提出利用 Vega 传感器模块建立红外成像仿真的方法。该方法首先使用 Creator 软件建立带纹理的三维模型, 然后使用 TMM 和 MOSART 工具分别对红外纹理和大气环境进行建模, 最后使用 Vega 传感器模块进行红外图像仿真。实验结果显示建模效果较好, 成本低, 易于工程实践。

关键词: 红外成像仿真; 红外纹理; 三维建模

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2009) 02 - 0242 - 03

Simulation of Infrared Image Using Vega Sensors

KANG Changqing^{1,2}, GUO Lihong¹, CHEN Lingjuan^{1,2}, WANG Xinzui^{1,2}

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;
2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: Acquisition of real infrared image takes a long time and costs high. A method of simulation of infrared image using Vega Sensors is proposed. The 3D Model of air target with a visible texture was built with the software Creator. Then IR texture was mapped to get by the tool TMM and atmosphere conditions were modeled in MOSART. Finally IR image was simulated using Vega Sensors based on the above results. The experiment proves that IR images of simulation are suitable for engineering application and cost less

Key words: simulation of infrared image; IR texture; 3D modeling

针对红外图像获取耗时长, 费用高, 受成像条件影响严重, 红外成像仿真研究在靶场目标探测, 对抗装备效能评估受到了研究人员的重视和关注。目前红外成像仿真主要有两类研究方法^[1-3], 一类是基于物理模型的研究方法, 即综合考虑目标背景的材质、大气影响、太阳辐射等因素, 计算出目标表面的等温分布图, 通过辐射计算和辐射映射来实现。一类是图像输入的研究方法, 即利用实际的真实图像进行分类, 利用已经建立的红外基元数据库来确定图像中目标的温度, 进而输出红外场景图像。前一种方法计算量较大, 不符合物体的某些实际结构特点, 对表面形状复杂的目标无法精确表示, 红外成像效果尚不够理想。而后一种方法已经有了成熟的仿真软件, 研发成本低, 开发周期短, 成像效果较好, 便于工程应用。因此本文采用后一种方法利

用 Vega 软件对空中目标进行红外成像仿真。

1 红外成像仿真系统设计

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。其建立流程图如图 1 所示。

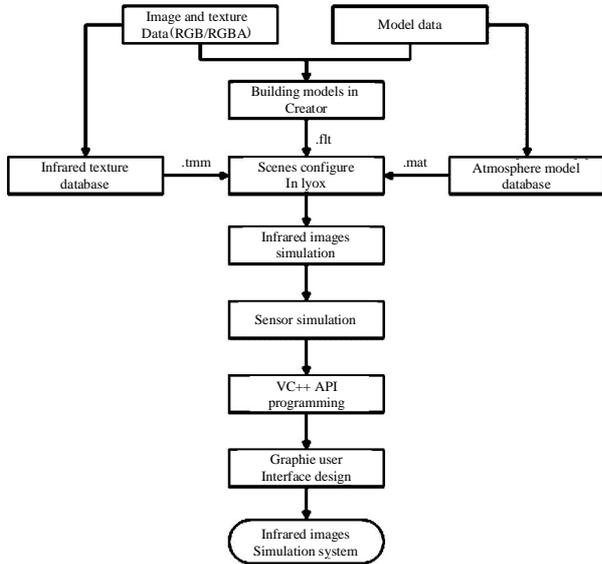


图 1 红外仿真系统的建立流程

Fig.1 Building flow of infrared simulation system

2 利用 Vega 传感器模块进行红外图像仿真

2.1 目标的辐射特性建模

物体表面每个面元的辐射值是下述所有辐射的综合,即感知的辐射值为

$$L_{observer} = L_{solar/lunar} + L_{skyshine} + L_{thermal} + L_{SVpath} \quad (1)$$

在式(1) $L_{observer}$ 表示物体表面每个面元所受到的所有辐射之和, $L_{solar/lunar}$ 物体表面对入射的太阳或月亮辐射的镜面反射和漫反射, $L_{skyshine}$ 表示物体对天空辐射的反射, $L_{thermal}$ 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:

$$L_{solar/lunar} = L_{direct} \cos \theta_r \rho (1 - f_s) \tau_r + L_{direct} f_{sl}(\theta_r, \phi) \rho f_s N_s \tau_r \quad (2)$$

$$L_{skyshine} = L_{ambient} \rho \tau_r \quad (3)$$

$$L_{thermal} = L_{bb} (1 - \rho) \tau_r \quad (4)$$

$$L_{SVpath} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi(\lambda) L_R(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

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_r 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 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 $L_{ambient}$ 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, $L_R(\lambda)$ 表示 R_2 路径上的辐射。

2.2 红外材质建模

为了红外成像仿真的需要,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。由于物体的材质属性直接影响其红外辐射特性,这一步对红外成像仿真工作很重要。TMM (Texture Material 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生成从 Vega 提供的对象纹理到材质的映射。TMM 提供了 10 大类 172 种材质,并且可以创建新的材质数据,每种材质都有相应的光谱特性库和热特性库。TMM 通过设定 Creator 模型文件纹理和目标材质的映射,从而确定模型中物体的真实材质。TMM 软件计算得到的结果为后缀 .tmm 的文件, Sensor Vision 模块在仿真过程中将使用这个映射结果进行目标辐射纹理渲染。

2.3 大气环境建模

红外辐射通过大气而减弱的过程称为衰减,可用大气的透过率 τ 表示为:

$$\tau = \exp(-\sigma \times x)$$

式中 σ 为衰减系数, x 为红外辐射传输路径的长度。

红外辐射通过大气主要受大气中气体分子的吸收及大气中悬浮粒子(即常说的气溶胶)的散射作用,即吸收和散射是影响红外辐射大气透过率的主要因素。因此,

$$\sigma = \alpha_s(\lambda) + \mu_s(\lambda) \quad (6)$$

式中 α_s 为吸收系数,主要是大气中分子的吸收;而 μ_s 为散射系数,主要是气体分子、气溶胶的散射, α_s 和 μ_s 均与波长 λ 有关。

红外辐射在大气中传输时会受到大气分子的吸收而衰减。根据 Beer-Lambert 定律

$$P_\lambda(x) = P_\lambda(0) \exp[-\alpha_s(\lambda) \cdot x] \quad (7)$$

式(7)中, $P_\lambda(0)$ 和 $P_\lambda(x)$ 分别为在吸收前和经过距离吸收后的光谱辐射功率, $\alpha_s(\lambda)$ 为吸收系数。

散射会使原来传播方向上的辐射受到衰减。当一束单色辐射在不均匀媒质中传播 x 后,由于散射作用将使辐射衰减,其衰减是按指数规律进行的,即

$$P_\lambda(x) = P_\lambda(0) \exp[-\mu_s(\lambda) \cdot x] \quad (8)$$

式(8)中, $P_\lambda(0)$ 和 $P_\lambda(x)$ 分别为在散射前和经过 x 距



图2 战斗机模型

Fig.2 Model of Fighter

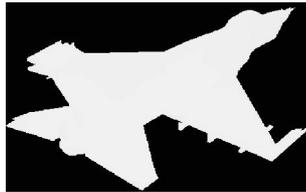


图3 8-12μm 红外图像

Fig.3 8-12μm IR Image



图4 3-5μm 红外图像

Fig.4 3-5μm IR Image



图5 带噪声的 8-12μm 红外图像

Fig.5 8-12μm Image with noise

离散后的光谱辐射功率, $\mu_s(\lambda)$ 为散射系数。

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。

2.4 红外图像仿真

红外图像仿真的关键一步是得到红外图像, 利用 Sensor Vision 模块, 加入目标模型, 大气和红外材质模型后, 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, 为了更具有真实效果, 还需要模拟红外探测器的成像效果。SensorWorks 模块可以进行探测器仿真, 加入光学透过率, 孔径, 聚焦误差, F 数, 探测器分辨率, 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。

3 仿真结果

以某型战斗机为例, 用 Creator 软件建立的三维纹理模型(图2), 进行红外图像仿真。在相同的气象条件下, 战斗机面元温度为 273K 时, 图3是战斗机在波长 8-12μm 下的红外图像, 图4是在波长下 3-5μm 的红外图像, 图5是在加入随机时间噪声后在波长下 3-5μm 红外仿真图像。

从以上图像中可以得出, 在 8-12μm 波段, 图

像的光亮度明显比 3-5μm 波段强, 这是因为飞机在 $T=273K$ 下, 其表面辐射的 75% 能量集中在 10 左右, 落在 8-12μm 间。图5是图3图像加入随机时间噪声后的图像, 图像亮度有了明显变弱, 可见传感器噪声对红外成像影响较大。

4 结论

红外图像仿真比较复杂庞大, 本文仅仅讨论了其中的场景建模, 红外材质建模, 大气环境建模等关键技术, 给出了利用 Vega 传感器模块的红外图像仿真方法, 得出仿真结果。如何对仿真结果进行评价, 如何使用实测的红外图像进行方法校正, 需要进一步研究。

参考文献

- [1] Cathcart J M. Target and Background Infrared Signature Modeling for Complex Synthetic Scenes [J]. SPIE , Infrared Systems and Components , 1988 , 890 : 95-103.
- [2] Nandhakumar N. United Modeling of Nonhomogeneous 3D Objects for Thermal and Visual Images Synthesis [J]. Pattern Recognition , 1994 , 27(10) : 1303-1316.
- [3] Robert I Koda , Uri Bernstein , Gatherine E Todd. Generic infrared system model with dynamic image generation SPIE , Imaging Infrared : Scene Simulation Modeling , and Real Image Tracking , SPIE , 1989 , 1110.
- [4] MultiGen-Paradigm , Inc. MultiGen Creator User's Guide [M]. Dallas: MultiGen-Paradigm Inc , 2001.
- [5] MultiGen-Paradigm Corp. Sensor Products Help [M]. Dallas : MultiGen-Paradigm Inc , 2000.