

文章编号: 1672-8785(2011)10-0021-06

基于 Creator 和 Vega 的动态红外 图像仿真研究

刘 凡 肖树臣 杨尚君 陈秀健

(空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘 要: 为了提高红外成像仿真技术和加快红外制导武器的研发进程, 分析了目标场景辐射特性模型、大气传输模型以及红外探测器模型, 并以 F16 飞机为例详细介绍了基于 Creator 和 Vega 的动态红外图像仿真过程。基于 MFC 和 Vega API 编程开发了一种用于切换不同仿真条件和调整参数的友好交互界面, 实现了对红外图像的动态控制, 给仿真带来了极大的便利和很好的效果。

关键词: 红外图像; Vega; SensorVision; Creator; MFC

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.10.004

Research on Dynamic Infrared Image Simulation Based on Creator and Vega

LIU Fan, XIAO Shu-chen, YANG Shang-jun, CHEN Xiu-jian

(Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: To improve the technology of infrared imaging simulation and accelerate the development of infrared guided weapons, the target scene radiation model, atmospheric transmission model and infrared detector model are analyzed respectively. Taking the F16 aircraft as an example, a dynamic infrared image simulation process based on Creator and Vega is described in detail. On the basis of MFC and Vega API, a friendly interface which can switch between different simulation conditions and adjust parameters is developed. The interface is successfully used to achieve the dynamical control of infrared images and provides great convenience and good effectiveness for simulation.

Key words: infrared image; Vega; SensorVision; Creator; MFC

0 引言

随着红外成像技术的快速发展, 在新型红外成像系统的研制过程中, 人们越来越需要用大量的不同状态的红外图像进行测试、训练和评估。然而, 通过靶场试验得到的图像具有很大的局限性, 不可避免地会影响系统的实战性能

评估。红外成像仿真技术则为解决这类问题提供了一种极为经济、有效的途径。将大量的红外成像仿真试验与有限次数的实靶测试相结合, 是高效率、高可信度地设计红外评估系统的最佳途径。因此, 红外成像仿真技术在国内外得到了迅速发展, 并在军事领域获得了广泛应用^[1]。

本文以 Creator 和 Vega 仿真软件为基础, 基

收稿日期: 2011-08-11

作者简介: 刘凡 (1986-), 男, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要研究方向为制导武器的作战使用与仿真。

E-mail: liufansv@126.com

于 MFC 和 Vega API 接口实现了动态红外图像的生成。实验结果表明, 利用 Vega 传感器模块生成的红外图像具有易实现、成本低和效果好等优点。

1 目标场景辐射特性模型

在一般情况下, 目标场景的辐射功率等于该位置自身发射的辐射与其反射的入射辐射功率之和。在实际场景中, 目标会接收来自外部光源的照射并会向观测方向反射, 即飞行器机体表面向各个角度的反射、在空中受到太阳的直接照射、云层和大地反射太阳辐射后的间接照射以及大气背景辐射的照射。目标表面蒙皮对辐射的反射遵循光的反射定律, 但是由于表面材料的微观结构以及入射角的影响和入射方向的限制, 其计算过程比较复杂。在蒙皮反射的实际仿真中, 反射往往被认为是由镜面反射分量和漫反射分量组成的。

到达红外探测器的红外辐射主要包括太阳的直接辐射、物体的直接辐射、物体的反射和大气的辐射等。目标场景红外辐射强度的计算公式为^[2]

$$\begin{aligned} L_{\text{apparent}} = & L_{\text{ambient}} * REF * T_{\text{path}} \\ & + L_{\text{direct}} * \cos(ang) * REF * (1 - frac) * T_{\text{path}} \\ & + L_{\text{direct}} * fang * REF * norm * frac * T_{\text{path}} \\ & + L_{\text{thermal}} * (1 - REF) * T_{\text{path}} + L_{\text{path}} * (1 - T_{\text{path}}) \quad (1) \end{aligned}$$

式中, L_{apparent} 为观察者所处位置上的辐射能量; L_{ambient} 为环境的辐射能量; L_{direct} 为太阳(月亮)的辐射能量; L_{thermal} 为黑体表面的辐射能量; L_{path} 为传输路径上的大气辐射能量; T_{path} 为辐射传输路径上的大气透过率; REF 为材料表面的反射率; ang 为物体表面法线与物体到太阳/月亮连线之间的夹角; $frac$ 为这个方向上的太阳/月亮的光谱反射率; $norm$ 为光谱归一化因子; $fang$ 为光谱角度相关因子。

2 大气传输模型

到达红外探测器的辐射并不是目标场景的直接作用, 而是目标场景的红外辐射和大气衰减共同作用的结果, 因为在目标场景和传感器之间还存在大气对目标场景辐射的衰减作用。该辐射衰减影响主要与以下 3 种现象有关: 一是大气气体分子的吸收; 二是大气中分子、气溶胶、微粒的散射; 三是由云、雾、雨、雪等气象条件引起的衰减。

大气的光谱透射率 $\tau(\lambda, x)$ 可表示为

$$\tau(\lambda, x) = \frac{p_{\lambda}(x)}{p_{\lambda 0}} = \tau_{\alpha}(\lambda, x) \tau_{\gamma}(\lambda, x) \tau_{\eta}(\lambda, x) \quad (2)$$

式中, λ 为波长; x 为目标场景到红外探测器的距离; $p_{\lambda}(x)$ 为距离为 x 时的辐射功率; $p_{\lambda 0}$ 为 $x = 0$ 时的辐射功率; $\tau_{\alpha}(\lambda, x)$ 为大气吸收所产生的透射率; $\tau_{\gamma}(\lambda, x)$ 为大气散射所产生的透射率; $\tau_{\eta}(\lambda, x)$ 为由气象衰减制约的大气光谱透射率。

大气衰减计算方法主要包括经验公式法和大气模型法。常用于大气传输计算的计算机软件有 FASCODE、LOWTRAN 和 Vega 提供的 MOSART(MAT) 等。其中, MAT 的计算结果是一个 .mat 文件, 它可以被直接导入 Vega 中用于仿真, 而且其计算精度满足要求, 所以本文选用 MAT 工具进行红外大气传输仿真。

3 红外探测器模型

根据红外成像系统的成像原理可知, 红外辐射经过大气衰减后到达传感器, 接着被其光学系统聚焦后进入红外探测器。红外探测器是红外成像系统的核心部件, 它用于将辐射通量转换成电信号。探测器输出的电信号经过视频信号放大器的放大处理, 最终被转化为显示器上的灰度图像。

3.1 热成像系统的传递函数链

传递函数用于定量描述输出图像与输入图像之间的关系, 并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, 表征了系统空间分辨能力的大小。本文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的光学传递函数的乘积。因此, 红外热成像系统的传递函数为

$$H_s(f) = H_o(f)H_e(f)H_d(f)H_m(f) \quad (3)$$

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, $H_m(f)$ 为显示器的传递函数。

3.2 热成像系统的系统噪声

红外热成像系统在成像过程中会受到噪声影响, 其中最主要的是探测器所产生的噪声。因此, 为了仿真红外图像, 必须把热成像系统的噪声考虑进来。一般红外热成像系统的整体噪声可表示为^[3]

$$V_{\Sigma} = \sqrt{V_J^2 + V_{1/f}^2 + V_{G-R}^2 + V_a^2} \quad (4)$$

式中, V_J 为热噪声, $V_{1/f}$ 为 $1/f$ 噪声, V_{G-R} 为产生-复合噪声, V_a 为散粒噪声。

3.3 热成像系统综合响应模型

假定红外热成像系统的噪声服从均值为 μ 、方差为 σ^2 的高斯分布, 则最终的红外热成像系统综合响应模型为^[4]

$$F(x, y) = [S(x, y) + n(x, y)] \cdot H_s \quad (5)$$

式中, $F(x, y)$ 为仿真红外图像的像素信息, $S(x, y)$ 为红外热成像系统的入射信号, $n(x, y)$ 为服从均值为 μ 、方差为 σ^2 的高斯分布的系统噪声信号。

4 仿真过程与结果

红外图像仿真首先要建立目标红外辐射模型、大气模型、红外材质模型和背景辐射模型等, 然后利用 Vega 平台对模型进行实时驱动和渲染, 并将场景中的所有模型都渲染成红外图像。

4.1 用 Creator 建立模型

在利用 Creator 创建模型时, 根据 F16 飞机的特点确定了图 1 所示的建模流程图。

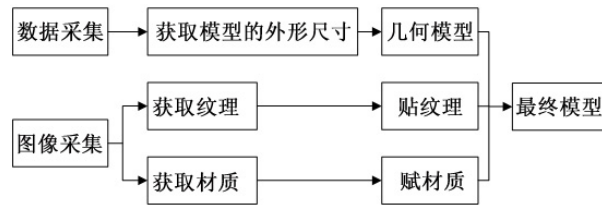


图 1 Creator 建模流程图

在实时系统中, 模型是整个系统的基础。因此, 建造出的模型应当符合系统要求, 不仅要逼真, 而且其繁简程度也要适中, 不可过分强调细节, 否则将会影响仿真系统的运行速度。建模过程中需要遵循以下几点原则:

- (1) 确立模型的最终目的 (即要达到的精细程度), 进而确定需要用到的技术。
- (2) 优化目标实时模型系统。为了使模型能够实时显示, 可以采取限制软硬平台调整多边形数量、材质、光源和纹理等参数的措施。
- (3) 提高模型系统中关键部位的精度。对于模型的复杂度不能一概而论。通过提高关键部位的精度, 可以更好地表现出模型的真实感。
- (4) 当基本的模型框架创建完成后, 可通过添加纹理和材质来增加模型的真实感。

F16 飞机模型的建立过程可分为两大步:

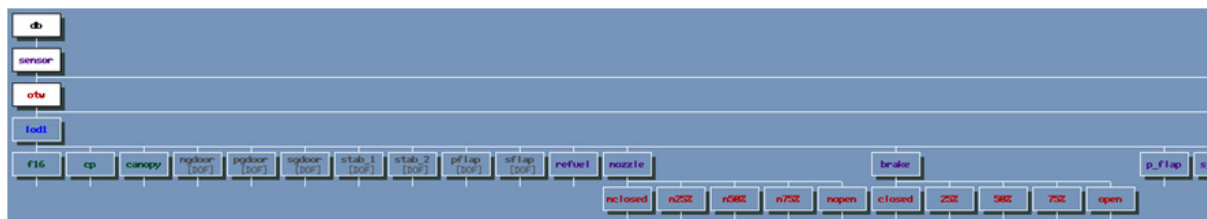


图 2 F16 模型数据库的层级视图

(1) 用 Creator 对 F16 飞机进行层次建模 (建模框图见图 2); (2) 选取目标的纹理图片 (见图 3), 并对几何模型进行纹理图案映射, 得到目标的三维模型 (见图 4)。



图 3 目标纹理图



图 4 F16 飞机的三维模型

4.2 用 Vega 驱动和渲染模型

图 5 所示为红外视景仿真的流程图。首先在 Vega 提供的 Lynx 图形用户界面中定义窗口、通道、场景、各个物体、环境以及环境效果等, 并对它们进行初始化。然后用 SensorVision 读取 .tmm

和 .mat 文件, 利用辐射度计算公式计算场景中的红外辐射强度, 并将辐射强度量转换为灰度值, 从而得到场景的红外视图。最后用 SensorWorks 接收 SensorVision 生成的图形, 并通过添加热噪声等特殊传感器效果实现更加逼真的传感器模拟。

4.2.1 红外材质建模

通过前面所述方法建立的三维模型贴的是图片纹理, 而图片纹理只包含现实物体的颜色信息。对于红外视景仿真来说, 还需要知道物体表面的材料特性。利用纹理材料映射器 (Texture Material Mapper, TMM) 可以生成用于描述模型表面材料辐射信息的 .tmm 文件。纹理材料映射器可以为两至三种材料混合设置虚拟纹理。而这些已分级的材料纹理可被 SensorVision 用来决定虚拟数据库的材料属性。

4.2.2 大气传输模型的建立

用 MOSART Atmospheric Tool (MAT) 对大气传输模型进行计算, 可算出其大气透射率、大气背景辐射以及太阳或月亮的直接辐射等。由于计算量很大, 需要预先进行计算并生成 .mat 文件。直接使用这些预先计算的参数可加速仿真速度, 从而实现实时仿真。MAT 会根据用户定义参数生成大气数据库。在运行时, SensorVision 会利用这个数据库来决定全天的大气质量和材料温度。用户也可以不考虑该温度而用 Object Property Editor 工具设置独立的目标和部件温度。

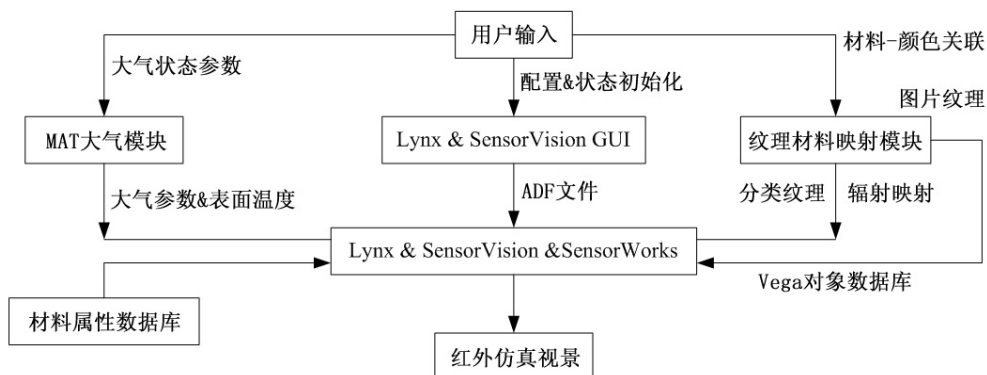


图 5 红外视景仿真的流程图

4.2.3 红外传感器效果模型

Vega 软件在加入目标模型、大气和红外材质模型的基础上, 根据大气质量、环境辐射、光谱、温度和转化因子等参数, 利用 SensorVision 模块实时得到目标的红外图像。但这种图像是理想状态下的图像, 没有任何杂波、干扰和图像噪声。为了得到更加真实的效果, 还需用 SensorWorks 模块对红外探测器进行仿真, 并加入光学透过率、孔径、F 数、聚焦误差、探测器元数、探测器分辨率、系统灵敏阈以及线路噪声等参数^[5], 进而得到更加真实的红外图像。

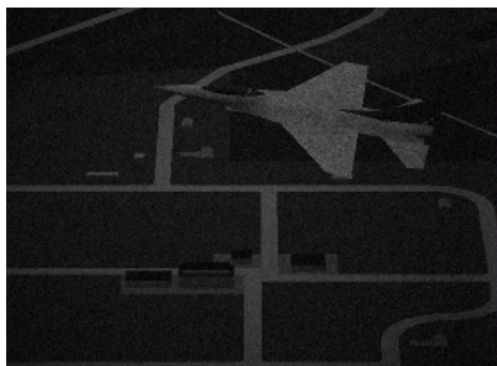
4.3 仿真结果

在相同的气象条件下, 设置 F16 飞机的表面温度为 300 K, 图 6 是波长为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 时的红外图像, 图 7(a) 是波长为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 时加入传感器噪声后的红外图像, 图 7(b) 是波长为 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 时加入传感器噪声后的红外图像。从图 7 中

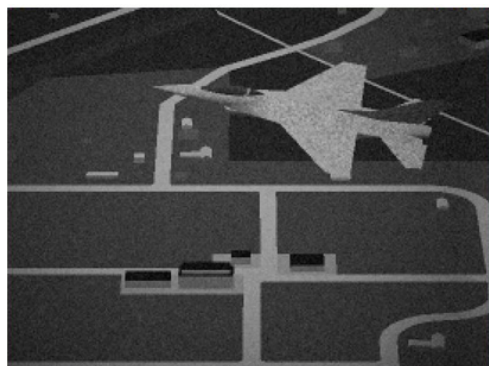
可以看出, 波长为 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 时红外图像的亮度比波长为 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 时的强, 因为当飞机的表面温度 $T=300 \text{ K}$ 时, 其最大辐射强度的波长在 $9.7 \mu\text{m}$ 左右, 处于 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 范围内。图 7(a) 是在图 6 的仿真基础上加入红外探测器效果的图像, 其亮度下降, 图像模糊。由此可见, 红外探测器对红外成像具有很大的影响。



图 6 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段的红外图像



(a) $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波段的红外图像



(b) $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 波段的红外图像

图 7 带传感器噪声的红外图像

5 MFC 框架下的 Vega 程序开发

为了克服 Lynx “动态预览”交互不足的缺点, 本文开发了友好的交互界面 (用于不同仿真条件的切换和不同观测位置及观测距离的调整), 给仿真带来了便利和很好的效果。

创建 MFC 框架下的 Vega 应用程序主要有两种方法: 通过修改由向导生成的主视图 CView 类进行创建; 利用 Vega 提供的 zsVegaView 类进行创建。利用第二种方法可以减少工作量, 但是由于 MFC 类库并不是一个支持多线程访问的类

库, 用户派生的子类通过 OnInitialUpdate() 函数调用基类的 runVega() 来启动 Vega 线程, 并将派生类的指针作为参数传给新启动的子线程, 这就是通过 zsVegaView 类开发 MFC 应用程序所存在的问题。由于源代码中的类空间和线程运行时的线程空间可以相互交迭, 也就是说不同的线程空间可以访问相同的类的实例对象, 而 MFC 类库本身设计时并未考虑到多线程访问, 因此在线程间传递视类 CView 将是危险的, 实践也证明了这一点。在单文档、多视图的情况下, 在 Vega 线程中改变文档数据后通过调用 UpdateAllViews() 来

更新所有相应的视图会出现访问保护异常的错误。因此本文是通过改变 CView 类来实现 Vega 应用程序的。

本文的程序编写过程分以下三大步^[6]：(1) 首先创建一个单文档 MFC 应用程序，并对其作一定的修改；(2) 在打开消息处理函数中创建一个线程，用于运行 Vega；(3) 添加各种各样的菜单响应消息，用于动态改变 Vega 中各模块的参数。图 8 为本文基于 MFC 和 Vega API 开发的用于调整参数和仿真条件的交互界面。

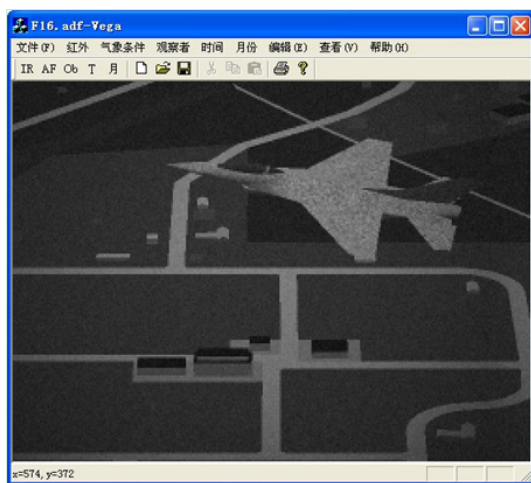


图 8 基于 MFC 和 Vega API 开发的交互界面

6 结论

本文在对目标辐射模型、大气传输模型和红外探测器模型进行分析的基础上，讨论了用 Creator 和 Vega 仿真红外图像的关键技术，并开发了一种用于改变参数与仿真条件的交互界面，给仿真带来了极大的便利和很好的效果。实验结果表明，利用 Vega 的 SensorVision 模块和 SensorWorks 模块生成所需的红外图像，具有易实现、成本低和效果好的优点。

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.
- [2] 杨述华, 廖守亿, 王仕成, 等. 应用 Vega 模块的红外成像系统仿真建模方法 [J]. 探测与控制学报, 2008, 30(2): 31-35.
- [3] Garnier C, Collorec R, Flifla J, et al. Infrared Sensor Modeling for Realistic Thermal Image Synthesis [J]. ICASSP, 1999, 6: 3513-3516.
- [4] 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.
- [5] Sensor Products Help [Z]. America: MultiGen-Paradigm, 2001.
- [6] 乔国军. 基于 Vega 的红外目标仿真研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2009.

(上接第 16 页)

内的“红外遥感”，从业务应用方面去描述完善城市公共安全的理论与实践事宜。“信息与物质共同体”是信息化和相关事件的高度浓缩的简捷表达的点源，其必定是基于现代信息化的遥感手段解决公共生产的一个物质资源与信息匹配的基础。另一特点是任何红外指令、目标的点源时间指向阶段的比对确定和关联范围的公共产品信息同体，这些点源 3Y 数据库最终将成为救灾、减灾和防灾的备生产力。谁先做好“两个同体”，意味着谁就有了高效的公共产品的物质与

信息同体的备生产力。因此，红外遥感也可以成为普遍空间信息调查的公共数据产品。

参考文献

- [1] 袁智德. 空间信息产业化现状与趋势 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 孙建中. 点源 [M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2009.
- [3] Information on <http://sinoprobe.cags.ac.cn>
- [4] 《点源精细 3 维模型》深部探测技术与实验研究” (No.SinoProbe-08-02-06)；国土资源部公益性行业科研专项 (No.201011075)