

文章编号: 1672-8785(2012)07-0029-05

基于实测图像实时绘制技术的 红外烟幕图像仿真

陆 斌 吕俊伟

(海军航空工程学院控制工程系, 山东烟台 264001)

摘 要: 红外烟幕图像仿真是红外成像武器应用领域中的一项重要技术。在典型环境条件下开展了运动目标烟幕红外成像跟踪野外试验。根据某型发烟罐外场试验的实测红外图像和相关数据, 针对红外烟幕的自身特点和施放条件的影响, 提出了一种可对经典红外烟幕模型进行修正的方法。在视景仿真程序中, 利用背景、目标等仿真要素, 通过与实测数据对比分析生成了图像库, 并使用图像分层实时透明绘制方法实现了对红外烟幕干扰的动态视景仿真。其视景窗口大小为 360×240 , 帧频为 40 帧/s, 可以满足一般成像型红外制导过程的仿真实时性要求。

关键词: 红外图像; 烟幕; 野外试验; 分层透明绘制; 仿真

中图分类号: TN972 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.07.007

Simulation of Infrared Smoke Image Based on Real-time Drawing Technique for Measured Images

LU Bin, LV Jun-wei

(Control Engineering Department of Navy Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: Infrared smoke simulation is a key technique in the application field of infrared imaging guidance weapons. Under a typical environmental condition, the infrared imaging tracking of the smoke of a moving target is carried out. According to the infrared images and related data obtained in the field test of a given smoke pot, a method for modifying the classic infrared smoke model is proposed. In a scene simulation program, the elements such as background and target are utilized. By comparing them to the measured data, an image database is formed. The dynamic scene simulation of infrared smoke interference is implemented by using a real time layered transparent image drawing method. The simulation uses a scene window of 360×240 and a frame rate of 40 frames per second. It can meet the real time simulation requirement of the conventional imaging infrared guidance process.

Key words: infrared image; smoke; field test; layers transparence drawing; simulation

0 引言

烟幕是一种用于对抗红外成像探测与制导武器的常用无源干扰手段, 具有成本低和战术

使用简便等特点。烟幕会受多种因素的影响, 而且一旦释放便难以控制。因此, 烟幕武器的研制离不开理论指导和科学试验以及相应的测试和评估^[1]。当然, 利用大量外场试验来验证烟

收稿日期: 2012-03-04

基金项目: 国家“863”创新自然基金项目(2110AAJ211)

作者简介: 陆斌(1966-), 男, 辽宁辽阳人, 副教授, 主要研究方向为光电探测跟踪及动态图像处理。

E-mail: painel@sina.com

幕对红外成像制导武器的干扰效果需要花费人力与物力。同时,外场烟幕红外试验会受多种不可控因素的影响,因而会导致试验效率不高,而单纯的室内试验又缺乏足够的依据。目前比较科学的方法是综合野外、半实物和实验室的试验方法,而利用仿真技术则是缩短系统研发鉴定周期和成本的主要手段。

红外烟幕视景仿真可以为模拟红外成像跟踪过程提供帮助,尤其是针对性强、实时性好的视景仿真技术更为可靠。目前,烟幕仿真的基本方法包括实图绘制(或数字烟幕绘制)、三维模型仿真(粒子模型)和专用软件仿真(如 Vega、3Dmax 等)。其中,第一种针对性最好,而后两种方法更适合应用范围较宽的情况。根据课题任务需要及各种试验方法的特点,本文采用某型发烟罐的外场试验方法,采集其定量的红外光谱传感器的相关测量数据,修正典型的红外烟幕模型,并根据外场试验环境中的实际红外辐射特点,形成典型地貌条件与气象条件的背景红外图像库。然后通过图像实时绘制技术完成对此类发烟罐的各种使用情况的红外视景仿真。程序软件采用 C++Builder2007,视景点阵大小为 360×240 (不小于典型成像型武器的跟踪窗口),帧频为 40 帧/s,可以满足对一般红外

成像型装备的跟踪与制导过程的实时性仿真要求。

1 烟幕条件下红外视景仿真的各个要素模型与红外图像库

烟幕干扰情况下的红外成像型制导武器的视景仿真至少包括目标、背景和烟幕三个基本要素。在动态图像中,这三个要素的特点比较明显,即各要素本身相对独立。根据这个特点,在视景仿真中对各要素进行独立的模型与图像库建设,并将其作为实时绘制合成的基础元素。下面均以红外长波图像为例介绍相关内容。

1.1 红外烟幕模型

根据烟幕对红外辐射衰减的基本理论以及文献[1]中介绍的扩散模型,可以得到烟幕红外辐射透过率的计算方法。一般的烟幕对红外辐射的消光影响作用可以表示为^[2-4]

$$I = I_0 e^{-\alpha_0 c l} \quad (1)$$

式中, I 为受到烟幕影响后的辐射强度 (W/sr); I_0 为受到烟幕影响前的辐射强度 (W/sr); α_0 为烟幕遮蔽物的消光系数 (m^2/g); c 为形成的烟幕浓度 (g/m^3); l 为烟幕的传输距离 (m)^[3-4]。

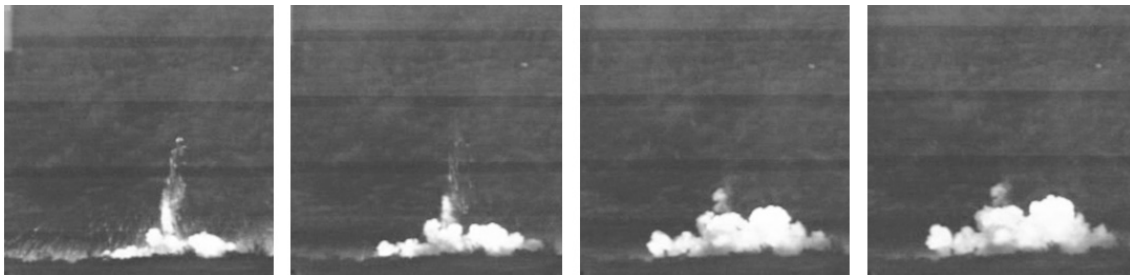


图 1 外场试验中烟幕扩散过程的红外图像

典型烟幕一般被认为是一种粒子系统^[2]。它受环境各方面因素的影响比较明显,其一般模型的建立需要采用典型的外部条件。当满足某些典型环境与气象条件时(如试验环境中存在方向稳定且风速不小于 1 m/s 的风力,或者试验环境中地表平面比较水平),可以根据“梯度传送理论”及“统计理论”确定并推导出地面烟

幕的浓度分布模式^[5]:

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (2)$$

式中, $C(x, y, z, H)$ 为试验场地中烟幕在某空间点 (x, y, z) 上的浓度 (g/m^3); Q 为试验环境中的

烟幕产生速度 (g/s); u 为烟幕在整个试验过程中的平均速度 (m/s); H 为烟幕形成的达到相应浓度区域的高度 (m); $\sigma_y A: M\sigma_z$ 为烟幕两个扩散方向上的大气扩散方差, 其值分别为

$$\begin{cases} \sigma_y = \gamma_1 x^{\alpha_1} \\ \sigma_z = \gamma_2 x^{\alpha_2} \end{cases} \quad (3)$$

式中, γ_1 、 γ_2 、 α_1 、 α_2 分别为试验环境的大气稳定度以及试验地形对气流扩散影响的相关参数。

1.2 发烟罐烟幕红外模型及其修正

红外成像探测、跟踪和制导时产生的图像为灰度图像。对于成像传感器而言, 烟幕的红外消光与遮蔽作用反映在信号上就是灰度数值的变化^[6], 即红外成像面阵各相关像素点的灰度值明暗及相互关系的变化^[7]。透过烟幕进行成像的面阵与烟幕红外透过率的矩阵关系为 (假设成像面阵大小为 $m \times n$)

$$[D_{m,n}^s(x,y)] = [D_{m,n}(x,y)] \times [\sigma(m,n)] \quad (4)$$

式中, $[D_{m,n}^s(x,y)]$ 为存在烟幕时成像传感器得到的各像素点灰度值矩阵; $[D_{m,n}(x,y)]$ 为没有烟幕时成像传感器得到的各像素点灰度值矩阵; $[\sigma(m,n)]$ 为在成像传感器的传输路径上各像素点的烟幕透过率矩阵。

根据透过率计算可以得到红外成像面阵的相应辐照度^[8] (反映在成像像素上即为灰度值)。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 2 目标与背景的仿真图像。其中, (a) 为目标, (b) 为背景, (c) 为加入目标后的背景, (d) 为实测场景的红外长波图像

背景的建立一般以典型的战场环境为依据, 并结合外场试验的图像进行相应的调整和修正。由于受条件的限制, 实际拍摄的自然地形的纹理图像的大小往往是有限的, 因此我们必

然后需要对其进行相应的量化处理, 以便将其作为烟幕红外图像的依据。利用均匀量化的方法可知, 辐照度与灰度之间呈线性关系。找出烟幕辐照度的最大值和最小值 (分别用 E_{smax} 和 E_{smin} 表示)。计算每级灰度所对应的辐射间隔:

$$r = \frac{E_{smax} - E_{smin}}{G_{range}} \quad (5)$$

计算各辐照度所对应的灰度值:

$$G(x,y) = int\left(\frac{E - E_{smin}}{r}\right) \quad (6)$$

并以此形成烟幕图像各像素的灰度关系。

1.3 目标及背景红外模型

利用 Multigen Creator 软件建立目标和背景红外辐射模型, 并通过对外场试验中得到的目标红外图像进行特征归纳, 得到相应的灰度分布特点以及灰度值修正量化阈值。

目标的建立包括建立目标自身辐射的三维模型、各种环境的红外辐射模型以及红外探测器像元的辐照度模型等基本过程。其中, 在向目标三维几何模型进行纹理映射时, 映射的是表征红外辐射的灰度图像 (其灰度值不代表辐射值, 但有一个映射关系)。事先将这些灰度值转化为辐射值并将其作为一张浮点纹理映射到目标的三维几何模型上。

须设法构造大面积的地形纹理。通过图像拼接可以把同一场景相互有部分重叠的一系列图片合成一幅大的宽视角图像, 而拼接工作就是搜寻相邻两幅图像中的相同内容, 从而确定它们

的相对位置。这里采用的方法是在对基于区域匹配的方法进行改进的基础上将平移拍摄的若干幅地形纹理图像拼接成一幅大面积的地形纹理图像。即首先对相邻的两幅图像进行直方图均衡化,增强图像的对比度;然后在原图中与待拼接图像重叠的区域内按照自定义模版尺寸逐个像素地计算局部标准差,并将其最大值所对应的区域作为匹配模版;接着对此模版与待拼接图像进行区域匹配,找出相关度最大值所对应的区域并将其作为匹配区域;最后利用匹配区域对原图与待拼接图像进行缝合。

2 基于图像分层透明绘制技术的烟幕红外场景实时仿真

目前红外烟幕仿真的基本方法包括三维粒子模型方法、软件生成方法以及实测图像绘制方法三种。

三维粒子模型方法把红外烟幕作为一种粒子系统,建立其产生、扩散以及密度变化等方面的模型,然后形成数字烟幕或图像烟幕^[9](作为灰度值在屏幕上的一种反映)。

软件生成方法使用专用三维仿真软件(如Vega、Eonreality、3Dmax和Bryce等)中的烟幕模型来产生三维烟幕^[10],并通过调整程序参数控制烟幕特征。

实测图像绘制方法采用从实际场景中测得的相关仿真要素的实际图像库以及各要素成像时的相互灰度对比关系对指定条件下的视景情况进行还原。

前两种方法适用于仿真条件相对宽松且对烟幕的控制要求比较模糊的情况。而对于具体的烟幕类型的干扰仿真,尤其是在通过具体试验具备了其基本图形图像特征甚至是图像库的条件下,这两种方法具有独特的优势和针对性,可以以真实测量的烟幕透过率为基准来模拟完成指定类型烟幕在各种条件下的干扰视景仿真。

作为实时图像仿真的一种实用方法,实测图像实时绘制技术有其明显的特点。该方法在各模块化程序完成后可以灵活实现各种指定条件下的视景仿真过程,对具体目标、环境以及烟幕的针对性和准确性非常强;但是它对相应的图像素材要求高,对程序实现也有较高要求,而且对硬件尤其是计算机内存和显示内存具有一定的要求。

根据课题的要求,图像仿真必须具有很强的针对性,同时外场试验应能够提供较为丰富的红外图像素材,因此可以通过计算机程序的预先加载处理的方法来完成相关的仿真要素图形库。同时,目前的计算机硬件水平对一定尺寸的仿真窗口已经完全可以达到实时绘制图像的要求。在外场试验中,利用红外成像传感器可以得到不同烟幕施放条件时对目标的比较透过率的相对影响,而利用红外波段的激光器和功率计则可以得到不同烟幕条件下指定红外波段的绝对透过率数值,为视景仿真中的烟幕红外干扰规律提供准确依据。

建模与修正后的各仿真要素可以满足红外图形库的要求,并在仿真程序开始时被预加载

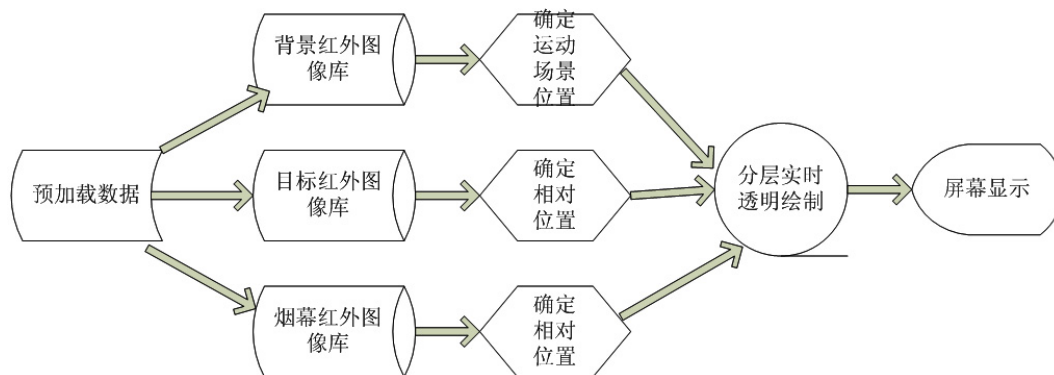


图3 烟幕红外外场景实时仿真程序的流程图

导入内存, 然后受仿真程序的控制, 在屏幕上进行分层实时透明绘制。

烟幕红外视景仿真程序采用 C++Builder2007 编程软件。该软件具有代码兼容性好和开发周

期短等特点, 其前身是 Borland C++ 的典型代表产品^[11]。在代码编写中, 利用一种关键技术即图像掩色技术可以实现不同图层的透明绘制。这一点可以通过以下代码实现:

```

Bitmaptarget->Canvas->CopyMode=cmSrcCopy; // 确定绘制透明模式
Bitmaptarget->Canvas->CopyRect(des1, Bitmap->Canvas, des); // 确定绘制区域
Bitmaptarget->Canvas->StretchDraw(MyRect, bp1); // 在指定区域内绘制背景图像
Bitmaptarget->Canvas->StretchDraw(MyOther, bp2); // 在指定区域内绘制目标图像
Bitmaptarget->Canvas->StretchDraw(MyOther1, bp2); // 在指定区域内绘制烟幕图像
Form1->Canvas->Draw(300, 0, Bitmap1); // 在屏幕指定区域内绘制以上各图层的叠加图像

```

3 结论

在具体要求比较明确且具备一定的仿真对象的红外图形图像特征素材的情况下, 基于图像分层透明绘制的实时仿真方法具有比较明显的优点, 可以用于在外场试验条件下没有完成的一些条件下的试验情况。利用实际试验对象的红外图形图像素材作为模型建立的基础来仿真不同环境和条件下的试验过程, 自然可以取得较高的可信度。本文采用 C++Builder2007 软件, 使用基于分层实时透明绘制的图像处理技

术, 实现了烟幕红外视景仿真程序 (场景窗口大小为 360×240 , 帧频不小于 40 帧)。图 3 和图 4 所示分别为仿真程序的流程图和仿真图像。

同时, 这种方法的优点也成为造成局限性的一方面。当缺乏具体试验数据时, 其应用的准确性和针对性会受到很大的限制。另外, 对于大面积烟幕图像, 由于相应的图像处理环节和计算量大大增加, 对程序的编程和实时性控制都会有较高的要求。

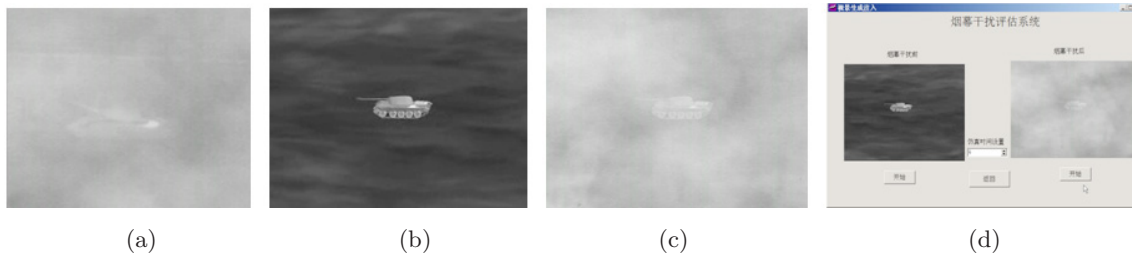


图 4 外场试验图像与仿真图像。其中, (a) 为外场试验图像, (b) 和 (c) 分别为施加烟幕前后的仿真图像, (d) 为仿真程序界面

参考文献

- [1] 焦清介, 霸书红. 烟火辐射学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [2] 姚禄玖, 高钧麟, 肖凯涛, 等. 烟幕理论与测试技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [3] 郝立波. 对红外成像制导弹干扰方法的研究 [C]. 长沙: 2003 年全国光电技术学术交流会暨第十六届全国红外科学技术交流会, 2003.
- [4] 刘培堂, 姜宁. 红外烟幕对抗红外成像制导弹方法初探 [J]. 光电技术应用, 2003, 23(5): 50-53.
- [5] 何友金, 谭伟, 吕原. 基于粒子系统和 Vega 的红外烟幕仿真 [J]. 海军航空工程学院学报, 2010, 21(3): 52-55.
- [6] 杜石明, 曾凯. 对红外烟幕消光机理及性能的研究 [J]. 光电与控制, 2011, 18(1): 90-93.
- [7] 程文, 李俊山. 红外辐射在烟幕中的蒙特卡洛模拟 [J]. 红外技术, 2010, 32(11): 672-675.
- [8] 李明. 红外烟幕遮蔽效果测量与评估方法研究 [J]. 激光与红外, 2010, 36(7): 599-602.
- [9] 张涛. 动态红外烟幕仿真方法研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [10] 陆斌. 基于 Vega 的海天背景战场环境视景仿真 [J]. 微计算机信息, 2011, 1(27): 244-247.
- [11] C++Builder2007 Programmer Guide [EB/OL]. <http://www.codegear.com>, 2008.