

1-4-2019

Infrared Scene Generation Technology Based on Hardware-in-the-loop Simulation of MOS Resistance Arrays

Shanjun Tang

1. Shanghai Electro-mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China; ;

Minmin Song

2. Shanghai Institute of Spaceflight Control Technology, Shanghai 201109, China;

Biyun Wang

2. Shanghai Institute of Spaceflight Control Technology, Shanghai 201109, China;

Zhang Yu

1. Shanghai Electro-mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Infrared Scene Generation Technology Based on Hardware-in-the-loop Simulation of MOS Resistance Arrays

Abstract

Abstract: To simulate the dynamic infrared scene of infrared guided missile in the hardware-in-the-loop simulation, the researches on the modeling of the target, background and flare and the simulation using MOS resistance arrays are carried out. The infrared countermeasure scene which is applicable to the hardware-in-the-loop simulation is generated by the modeling software, and the infrared radiation model and motion model of the typical target, background and flare are established. The models are verified and corrected by the investigated data of the current main fighters and their infrared flares. *The dynamic infrared scene is simulated according to the infrared scene drive software of the MOS resistance arrays in the process of the hardware-in-the-loop simulation.* The models are proved to be realistic and credible through engineering application, which improve the level of the validation of the missile interference rejection capacity.

Keywords

MOS resistance arrays, hardware-in-the-loop simulation, infrared scene, infrared radiation model

Recommended Citation

Tang Shanjun, Song Minmin, Wang Biyun, Zhang Yu. Infrared Scene Generation Technology Based on Hardware-in-the-loop Simulation of MOS Resistance Arrays[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(4): 1319-1327.

基于 MOS 电阻阵半实物仿真的红外场景生成技术

唐善军¹, 宋敏敏², 王碧云², 张宇¹

(1.上海机电工程研究所, 上海 201109; 2.上海航天控制技术研究所, 上海 201109)

摘要: 为了实现红外制导导弹半实物仿真中红外动态场景的仿真模拟, 对目标、背景和干扰建模并利用 MOS 电阻阵进行模拟仿真展开了研究。基于红外场景建模软件生成满足半实物仿真所需的红外对抗场景, 建立了典型目标、背景和干扰弹的红外辐射模型与运动模型, 根据当前主要战机和红外干扰弹的调研及外场试验数据对模型进行验证和修正。在半实物仿真过程中, 通过 MOS 电阻阵动态红外场景渲染及驱动软件完成所建的红外动态场景的仿真模拟。经工程应用证明, 所建红外对抗场景逼真度较高, 提高了导弹抗红外干扰能力的验证水平。

关键词: MOS 电阻阵; 半实物仿真; 红外场景; 红外辐射模型

中图分类号: TN 215 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 04-1319-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201804014

Infrared Scene Generation Technology Based on Hardware-in-the-loop Simulation of MOS Resistance Arrays

Tang Shanjun¹, Song Minmin², Wang Biyun², Zhang Yu¹

(1. Shanghai Electro-mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China;

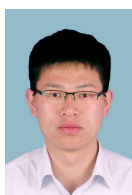
2. Shanghai Institute of Spaceflight Control Technology, Shanghai 201109, China)

Abstract: To simulate the dynamic infrared scene of infrared guided missile in the hardware-in-the-loop simulation, the researches on the modeling of the target, background and flare and the simulation using MOS resistance arrays are carried out. The infrared countermeasure scene which is applicable to the hardware-in-the-loop simulation is generated by the modeling software, and the infrared radiation model and motion model of the typical target, background and flare are established. The models are verified and corrected by the investigated data of the current main fighters and their infrared flares. *The dynamic infrared scene is simulated according to the infrared scene drive software of the MOS resistance arrays in the process of the hardware-in-the-loop simulation.* The models are proved to be realistic and credible through engineering application, which improve the level of the validation of the missile interference rejection capacity.

Keywords: MOS resistance arrays; hardware-in-the-loop simulation; infrared scene; infrared radiation model

引言

红外制导导弹半实物仿真能有效验证导弹制



收稿日期: 2016-05-13 修回日期: 2017-02-15;
基金项目: 国家安全重大基础研究(613271010204);
作者简介: 唐善军(1985-), 男, 浙江舟山, 硕士, 工程师, 研究方向为制导系统设计、半实物仿真; 宋敏敏(通讯作者 1985-), 男, 江苏启东, 硕士, 工程师, 研究方向为红外探测、半实物仿真。

导控制系统算法的正确性和有效性, 降低武器系统的研制成本, 缩短研制周期, 提高效费比。目标特性的真实模拟在半实物仿真中起到关键性的作用, 目标特性与实际情况的符合程度越高, 仿真验证结果的可信度就越高。MOS 电阻阵是一种最接近真实物理环境辐射特性的模拟器, 其温度范围宽、动态特性好、对比度和温差性能指标高, 模拟目标、

<http://www.china-simulation.com>

• 1319 •

背景和干扰的红外辐射特性和运动特性具有得天独厚的优势。目前美国陆军航空导弹司令部高级仿真中心和航空导弹研发工程中心等都建有以 MOS 电阻阵列为核心部件来生成模拟目标与环境高动态红外场景的红外半实物仿真系统,同时随着微电子和微纳加工技术的进步,具备高帧频、高温分辨率,能模拟中长波更高等效温度的电阻阵器件将更多地被应用到红外半实物仿真系统中^[1-2]。

随着计算机图形学和计算机硬件的飞速发展,目前研究人员对红外场景生成技术的研究更加关注红外场景图像的逼真度和实时性,2001年,Poglio 等提出了红外高清晰度地面场景仿真图像生成的概念和框架^[3];2006年,Jeffers 等将 GPU 加速技术应用于红外场景的生成^[4],西安电子科技大学摒弃了传统红外仿真图像生成不够精确的缺点,根据实际测量到的红外辐射提出了新的红外仿真场景生成方法^[5];但是将红外场景生成技术与半实物仿真系统进行联合研究的相关内容比较少。因此本文基于 MOS 电阻阵半实物仿真系统,对目标、背景和干扰的仿真模拟技术进行了研究,首先对 MOS 电阻阵半实物仿真系统组成以及工作原理进行介绍,然后主要对基于 MOS 电阻阵的红外场景生成技术进行研究和分析,包括典型目标和干扰的辐射模型,红外干扰的运动模型以及相应动态红外背景的生成,最后进行仿真结果演示。

1 MOS 电阻阵半实物仿真系统介绍

MOS 电阻阵半实物仿真系统是一种典型的分布式实时半实物仿真系统,整个系统以 VMIC 网络为通讯介质,由综合控制计算机、产品接口计算机、实时仿真机、五轴转台和 MOS 电阻阵动态红外场景模拟器五个部分组成。仿真系统通过电阻阵控制软件设定目标的初始姿态、位置、速度、机动方式及干扰投放参数,同时设置导弹的初始状态,将搭建好的仿真模型编译下载至实时仿真机,控制实时仿真机开始进行闭环弹道下导弹和目标的实时动力学/运动学解算,控制五轴转台和 MOS 电阻

阵动态红外场景模拟器工作,同时接收红外导引头输出的指令作为制导信息进行跟踪制导,完成自动驾驶仪的模拟,从而完成整个制导控制回路的闭环仿真^[6]。

MOS 电阻阵半实物仿真系统的核心部分是电阻阵动态红外场景模拟器,由动态红外场景生成计算机、MOS 电阻阵、驱动控制系统和环境控制系统组成,如图 1 所示。以 MOS 电阻阵为核心,采用计算机生成接近真实的外场作战环境,模拟典型目标、干扰和背景的红外辐射特性,为红外制导武器半实物仿真提供与真实作战环境相似的红外目标、干扰与背景,实现外场作战环境的仿真再现,试验室内完成红外制导导弹的测试、仿真和评估,从而综合考核武器系统的性能。

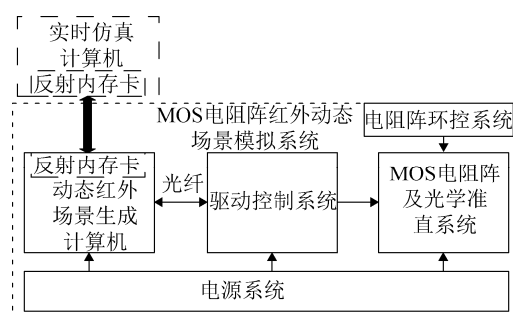


图 1 MOS 电阻阵动态红外场景模拟系统
Fig. 1 MOS resistance array dynamic infrared scene modeling system

2 红外动态场景建立

基于 MOS 电阻阵半实物仿真技术的重点是红外动态场景的生成,主要包括对目标红外辐射和几何形状,红外诱饵干扰红外辐射、几何形状和运动特性,大气、环境的红外辐射以及红外辐射传输过程中的大气衰减等的模拟^[7]。典型的红外动态场景模拟流程如图 2 所示,首先建立目标、红外诱饵干扰和大气、环境的红外辐射模型以及红外诱饵干扰的运动模型,形成目标模拟、红外诱饵干扰模拟和大气、环境模拟三大模块,红外辐射经过大气衰减修正后,将红外辐射强度进行灰度的转换和修正得到目标、红外诱饵干扰和大气、环境的三维灰度模型,通过投影变换并根据目标在仿真过程中某一时

刻的位置、飞行状态以及弹上视线系下目标姿态角模拟出该时刻目标、红外诱饵干扰和大气、环境的二维灰度分布模型, 利用目标位置、姿态及其变化参数, 作为红外图像动态变化的依据, 完成相应动态红外场景的模拟, 通过图像灰度到电压信号的转换驱动 MOS 电阻阵产生半实物所需要的红外动态场景图像。

2.1 目标和干扰弹三维几何模型的建立

根据选定的目标飞机和红外诱饵干扰弹的结构几何特征, 首先利用 3Dmax 三维建模软件建立目标和干扰弹的三维几何模型, 目标和干扰弹的形

体特征按比例建模, 建模尺寸与实际目标和干扰弹尺寸相同, 然后利用 Multigen Creator 仿真建模工具进行三维模型表面的纹理映射^[8]。如图 3 所示为建立的某型飞机及其投放干扰弹的三维几何模型, 建模以目标飞机形心为坐标原点, 沿形心向机头方向为 X 轴正方向, 沿形心向机背方向为 Y 轴正方向, 按右手定则确定 Z 轴。该坐标系决定的欧拉角 θ 、 φ 、 γ 分别对应飞机姿态角中的俯仰角、偏航角和滚动角。对于不同机型, 干扰弹的投放位置会有所区别, 有的在尾部, 有的在腹部, 建模时需将干扰弹建立在相应的投放位置处。

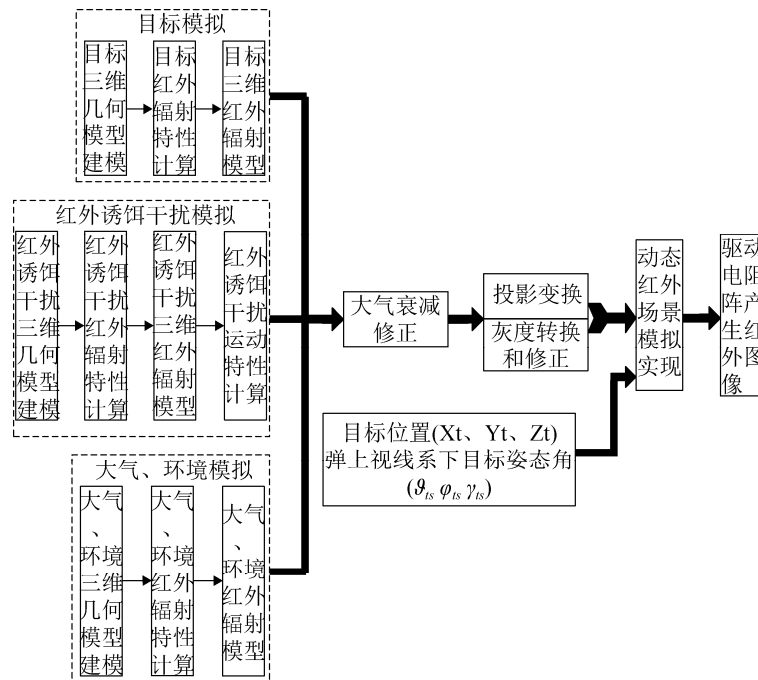


图 2 红外动态场景模拟流程图

Fig. 2 Dynamic infrared scene modeling

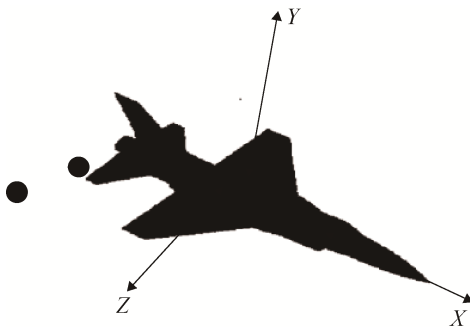


图 3 飞机形体模型

Fig. 3 Model of the aircraft

2.2 构建目标和干扰弹的红外辐射模型

目标飞机和干扰弹红外辐射模型的建立是一项复杂的工作, 需要确定物体表面的温度分布和辐射场, 通过温度场来计算各点的红外辐射, 理论计算的红外辐射模型需要通过大量的实际外场试验数据进行校核, 才能获得较高的逼真度。

2.2.1 构建目标红外辐射模型

目标飞机的红外辐射主要来自三个部件:发动机尾喷口的红外辐射、飞机排气尾流的红外辐射、飞机蒙皮的红外辐射,在计算飞机红外辐射特性时,应作为面目标进行处理。尾喷口是飞机上最强的辐射源之一,尾喷口的温度同飞机的飞行状态有很大关系,当飞机额定飞行时,尾喷口的温度小于加力状态下的温度,尾喷口的温度还与发动机的型号相关,采用涡扇发动机的尾喷口温度小于涡喷发动机的尾喷口温度。尾焰也属于飞机的强辐射源,其辐射光谱和强度主要取决于尾焰的成分、压力和温度。飞机蒙皮因为气动加热产生红外辐射,蒙皮的温度与飞行马赫数的平方成正比。

进行目标飞机红外辐射特性建模时,主要考虑飞机各部位的温度。本文将飞机各部位的温度主要分为蒙皮(包含头锥、机体、机翼、尾翼和垂尾)的温度、发动机的温度以及尾焰的温度。各部位温度分布图如图4所示,机体部位名称末端的字母表示温度代号。

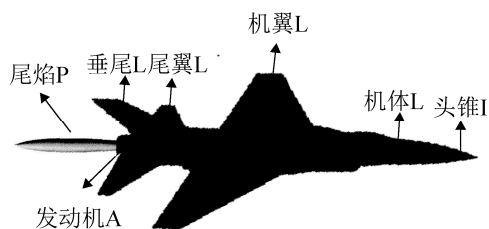


图4 飞机各部位温度分布图

Fig. 4 Temperature distribution of the aircraft

在确定机体各部位温度时,为了满足实时高效的仿真需求,采用经验确定法,根据飞机的材料、结构、性质以及实际测量中的经验,给飞机的各部位直接赋以温度值^[9]。表1给出了海拔高度10 km某飞机机体的温度分布,其它典型机型机体的温度分布类似,但是由于发动机、飞机外形及隐身设计的不同,温度分布会有差异。温度确定以后,本文把飞机各部位当成是具有一定发射率的灰体,通过普朗克公式计算相应波段的红外辐射亮度,计算出的辐射亮度并不是最终结果,因为最终反映在计算

机上的是目标各部位的灰度等级,因此需要将辐射亮度转化为灰度等级,这其实就是量化的过程。由于生成的图像反映的是场景中各点的相对灰度值,这些值可以根据实际情况进行同等程度的调整。

表1 海拔高度10 km 机体温度分布表

Tab. 1 Temperature distribution of aircraft at an altitude of 10km /°C

温度代码	A	I	L	P
温度	700	90	65	500

2.2.2 构建干扰弹红外辐射模型

红外干扰弹是一种由氧化剂、燃烧剂和粘合剂按照一定比例制成的强辐射干扰设备,其辐射波长一般为1.8~5.2 μm ,是一种欺骗式有源红外干扰设备,主要通过燃烧剂燃烧产生的红外辐射来模拟飞机等重要军事目标产生的红外辐射,干扰来袭导弹,达到保护目标的目的。红外干扰弹的典型技术参数如下:

工作波段:1~3 μm 、3~5 μm ,少数覆盖8~14 μm ,甚至更宽;

辐射强度:静态 ≥ 15 kW/Sr,动态 ≥ 215 kW/Sr;

压制比: $K \geq 3$;

等效温度:1 900~3 000 K;

燃烧持续时间:3~60 s;

辐射能量上升时间: ≤ 0.5 s;

分离速度:15~30 m/s。

机载红外诱饵干扰的燃烧持续时间多为4.5 s左右,而舰载诱饵弹的燃烧持续时间大多在40~60 s之间。

根据红外干扰弹的燃烧温度以及燃烧过程计算干扰的红外辐射特性,并构建干扰弹的三维红外辐射模型。经过调研及大量干扰弹的数据统计,红外干扰弹辐射强度随时间变化的曲线可近似为图5所示,横坐标 $t_0 \sim t_1$ 为干扰弹投出到开始起燃时间,横坐标 $t_1 \sim t_2$ 为干扰弹起燃至燃烧到能量最大的时间,横坐标 $t_3 \sim t_4$ 为干扰弹燃烧稳定的时间,横坐标 $t_4 \sim t_5$ 为干扰弹熄灭的时间。

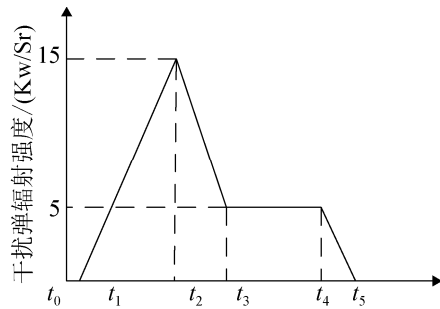


图5 红外干扰弹辐射强度随时间变化的曲线

Fig. 5 Change curve of the infrared radiation intensity of flares

2.3 红外干扰弹运动分离模型的建立

建立红外诱饵干扰运动分离模型需要获知干扰弹的质量、阻力系数、投射角度和投射速度等信息,由干扰弹投放时刻目标的位置信息确定干扰弹在惯性坐标系下的初始位置,目标的速度信息和干扰弹投放速度确定干扰弹在惯性坐标系下的初始速度,考虑干扰弹在运动过程中所受空气阻力 F 和重力 G 的影响,可得干扰弹的运动学模型为

$$\begin{aligned} V_x &= V_{x0} + \int a_x dt \\ V_y &= V_{y0} + \int (a_y + g) dt \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_z &= V_{z0} + \int a_z dt \\ a_x &= -C_x V_x^2 \\ a_y &= -C_y V_y^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a_z &= -C_z V_z^2 \\ V_{x0} &= V_c + V_p \cos \alpha \cos \beta \\ V_{y0} &= V_p \sin \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_{z0} &= V_p \cos \alpha \sin \beta \\ Xg &= Xg_0 + \int V_x dt \\ Yg &= Yg_0 + \int V_y dt \\ Zg &= Zg_0 + \int V_z dt \end{aligned} \quad (4)$$

式中, V_{x0} 、 V_{y0} 、 V_{z0} 为干扰弹的初始速度, V_c 为投放时刻目标速度, V_p 为干扰弹的透射速度, a_x 、 a_y 、 a_z 为干扰弹运动过程中受到空气阻力产生的加速度, Xg 、 Yg 、 Zg 为干扰弹在惯性坐标系下的位置, α 、 β 为干扰弹投射角度, C_x 、 C_y 、 C_z 为空气阻力系数。

2.4 构建大气环境红外辐射和衰减模型

仿真过程中考虑大气衰减影响,使用大气传输计算软件 MODTRAN, MODTRAN 软件可以计算从(0~50 000 cm^{-1})的大气透过率、大气背景辐射、单次散射阳光和月光辐射、太阳直射辐照度等。程序考虑了连续吸收、分子、气溶胶、云、雨的散射和吸收,地球曲率及折射对路径及总吸收物质含量计算的影响^[10]。

利用 MODTRAN 软件离线生成典型高度和距离下的大气透过率,以链表形式存储到 MOS 电阻阵控制计算机中,仿真时通过实时查表的方法调取相应的数据,进行大气衰减的修正。

大气环境辐射模型的建立根据 Creator 软件建立天空、地物、海面等环境模型,利用纹理材料映射工具(TMM)生成描述模型表面材料辐射信息的文件,然后由 MAT 模块离线计算大气背景辐射、太阳或月亮的直接辐射和反射等,形成大气环境辐射模型数据库,仿真时根据需要直接进行调用。

2.5 动态红外场景的生成

在半实物仿真过程中,仿真模型解算计算机实时产生导弹和目标的绝对运动参数,包括导弹的 3 个位置、3 个姿态和目标的 3 个位置、3 个姿态。上述的运动参数都是相对于惯性坐标系,要实现目标在导引头视场中位置的仿真,必须根据目标的姿态角和导弹的姿态角,以及目标和导弹在惯性坐标系下的位置坐标,将目标的姿态角 θ 、 φ 、 γ 转换到弹上视线坐标系中,这才是目标飞机在导引头视场中的姿态。具体过程如下:首先由目标和导弹的绝对位置计算出弹目连线(即视线)在地面坐标系($O_d x_d y_d z_d$)中的方位角 α 和高低角 β ; α 是视线在地面坐标系 $x_d z_d$ 平面上的投影与地面坐标系 x_d 轴所成的角,逆时针转动为负, β 是视线与地面坐标系 $x_d z_d$ 平面的夹角,向上为正。然后绕 y_d 轴和 z_d 依次旋转 α 、 β 角度,这时地面坐标系的 x_d 轴方向与视线的方向平行,再绕 x_d 轴旋转导弹的滚动角 γ ,就得到了弹上视线坐标系,最后将目标机体相对于地

面坐标系的姿态角 ϑ 、 φ 、 γ 转换到相对于弹上视线坐标系的姿态角^[11] ϑ_{ls} 、 φ_{ls} 、 γ_{ls} 。

完成目标飞机在导引头视场中的姿态计算后, 利用 OpenGL 软件具备的建模、变换、光线处理等功能函数进行目标、红外诱饵干扰和背景三维模型空间变换的实时交互, 建立三维模型、空间变换和二维图像的转换程序, 实现三维图像到二维图像的投影变换。

3 红外动态场景仿真的实现及仿真结果

红外动态场景半实物仿真系统由综合控制计算机、接口计算机、实时仿真机、五轴转台、信号调理机箱、实时反射内存网交换机、以太网交换机和 MOS 电阻阵动态红外场景模拟器八个部分组成, 其中核心部件 MOS 电阻阵的阵列像元数为 256×256 元, 帧频达到 200 Hz, 光学辐射波长为 $2 \sim 8 \mu\text{m}$, 温度分辨率达到 1 K, 最大中波红外表现温度可达到 $300 \text{ }^\circ\text{C}$, 最低温度达到 $27 \text{ }^\circ\text{C}$, 最大温度非均匀性小于 12%, 辐射上升时间为 3.5 ms, 辐射下降时间为 1.6 ms。

3.1 仿真实现

为了实现红外动态场景在 MOS 电阻阵中得到逼真的模拟, 需要对电阻阵的辐射能量进行标定和非均匀校正的处理, 电阻阵辐射能量标定的目的是为了得到目标飞机和干扰弹红外辐射亮度转换到图像灰度的映射关系, 使用光谱辐射计进行标定, 用于标定的光谱辐射计需要事先根据 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 标准黑体进行标校, 电阻阵图像的灰度值与光谱辐射亮度的映射关系遵从幂函数变化 $y = ax^b + c$; 另外, 由于电阻阵器件具有较强的热非均匀性, 仿真时需要对电阻阵进行非均匀校正的处理, 满足各像元均匀响应输出的要求, 本文对 MOS 电阻阵像元的输出特性进行精确测量和非线性分析, 通过建立 1:1 映射下的非线性修正模型对电阻阵的像元进行非均匀性校正^[12]。

红外动态场景仿真的具体流程如图 6 所示, 完成仿真设备的自检和初始化, 设置导弹的初始参数、仿真工作模式, 设置干扰弹配置文件, 其中包含干扰弹的压制比、起燃时间、投放速度、投放时间、投放数量、投放角度、干扰类型等, 设置完成后, 开始仿真并接收仿真机数据; 根据接收到的导弹和目标的速度、位置、姿态等信息生成红外动态场景, 红外动态场景是指将目标、背景和干扰的形体模型、辐射特性以及飞行数据(含坐标系转换)进行合并后生成的一组图像序列, 提供给电阻阵动态红外场景驱动软件进行调用, 按照一定的算法进行灰度、温度/电压转换, 经过非均匀校正的处理后驱动电阻阵模拟仿真实际红外场景, 实现目标、背景和干扰的实时动态模拟, 用于半实物仿真中导引头的探测。同时在仿真过程中将红外动态场景图像进行实时显示和保存, 可供事后回放和判读。

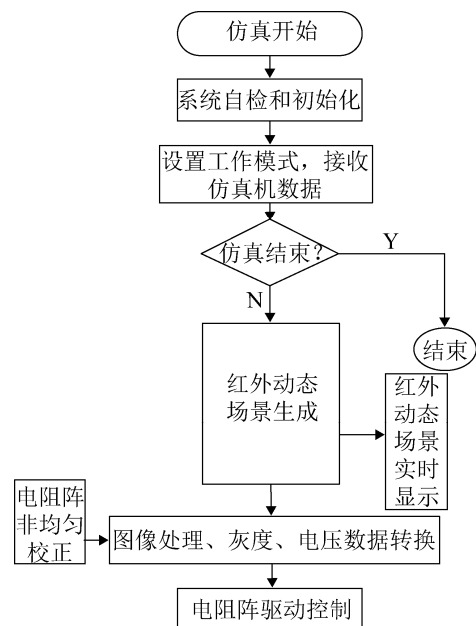


图 6 具体流程

Fig. 6 Particular flow chart

按照以上流程得到的电阻阵生成的红外图像如图 7 所示, 电阻阵生成的飞机目标图 7(a)所示, 飞机蒙皮、发动机和尾焰的温度存在不同的分布, 从而导致辐射能量的分布不同, 从图 7(a)可以看出, 飞机的尾喷管和尾焰的温度最高; 由于气动加

热的原因, 飞机的头锥部位要比机身部位的温度高, 但是它们的温度远低于飞机尾喷管和尾焰, 计算飞机不同部位的平均灰度值如表2所示。并且实现了连续投放诱饵弹和天空云背景的模拟, 如图7(b)所示。



(a) 电阻阵生成的飞机红外图像



(b) 电阻阵生成的诱饵红外图像

图7 电阻阵模拟的红外图像

Fig.7 Infrared images of MOS resistance array

表2 飞机不同部位的平均灰度值

Tab.2 Average gray of different parts of aircraft

飞机部位	发动机	尾焰	头锥	机体
平均灰度值	47 800	39 900	25 790	20 680

3.2 模型修正

为了使仿真模型能够比较逼真地模拟实际的红外场景, 基于实际采集的红外热图像校正仿真模型, 包括典型飞机目标以及投放干扰模型。

3.2.1 典型目标修正

战机主要由头锥、机体、发动机以及尾焰等部位组成, 根据跟飞试验采集得到的某型号飞机目标从远到近的图像数据, 分析战机各个部位的灰度变化, 对实时生成的红外仿真图像进行修正, 即根据不同采集距离下实际战机灰度分布修正仿真生成

的战机灰度分布, 具体通过修正仿真所生成战机各个部位的温度场来完成。某状态下实际飞机红外图像不同部位的平均灰度值如表3所示, 与表2比较发现电阻阵生成的目标红外辐射与飞机实际的红外辐射存在一定的误差, 通过修正飞机不同部位的温度分布参数减小红外辐射误差。修正后对比结果如图8所示。

表3 飞机不同部位的实际平均灰度值

Tab.3 Real average gray of different parts of aircraft

飞机部位	发动机	尾焰	头锥	机体
平均灰度值	43 179	41 850	24 539	19 583



(a) 红外热像仪采集飞机图像



(b) 修正后仿真图像

图8 实际红外图像

Fig.8 Real infrared image

某状态下实际采集图像与修正后仿真生成图像对比如图8所示, 同时修正后飞机不同部位的平均灰度值计算如表4所示。

表4 经模型修正后飞机不同部位的平均灰度值

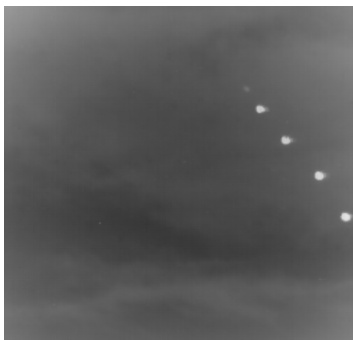
Tab.4 Average gray of different parts of aircraft after model modification

飞机部位	发动机	尾焰	头锥	机体
平均灰度值	43 076	40 958	24 613	19 269

3.2.2 干扰轨迹修正

红外诱饵与载体分离的快慢直接影响红外制导导弹抗干扰成功概率,因此逼真的红外诱饵运动轨迹模拟时红外半实物仿真的关键一环。

将图 9(a)中诱饵弹的灰度值进行计算,发现由于诱饵弹的红外辐射能量太强,灰度值都达到了饱和,同时从图 9(a)中诱饵弹的分离和图 7(b)中诱饵弹的分离发现在相同投放条件下,电阻阵模拟的诱饵弹分离明显比实际的分离慢,同时对诱饵弹在相同时间内的分离角度进行了计算分析,即红外诱饵投放后导弹与目标连线和红外诱饵于目标连线夹角,结果见图 10(a),也说明了分离慢的现象。经过分析仿真发现主要是由于诱饵弹运动模型中的投射速度和空气阻力系数的设置不准确导致的,因此对投射速度和空气阻力系数等相关模型参数进行了修正。修正后红外诱饵轨迹见图 9(b),同时修正后诱饵弹分离角度对比结果见图 10(b)。



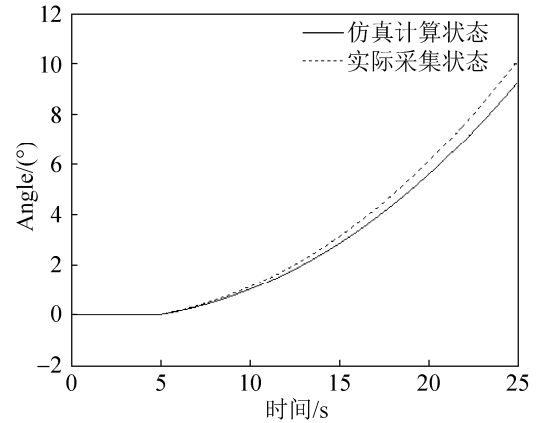
(a) 红外热像仪采集诱饵图像



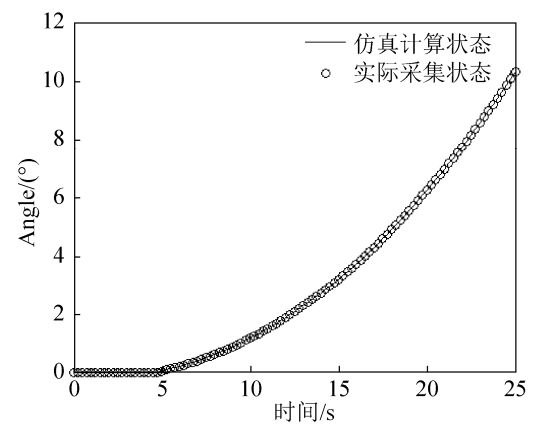
(b) 修正后诱饵投放图像

图 9 修正后诱饵弹运动轨迹对比

Fig. 9 Comparison of the trajectory of the decoy after modification



(a) 修正前诱饵弹分离角度对比



(b) 修正后诱饵弹分离角度对比

图 10 修正前后诱饵弹分离角度对比

Fig. 10 Separation angle contrast of decoy with modification of before and after

如图 9(b)所示,修正后红外诱饵也是饱和状态,同时红外诱饵分离角计算也说明修正后电阻阵模拟的诱饵弹的红外辐射能量和运动模型达到了实际的效果。

3.2.3 小结

将修正后的红外场景图像与实际红外场景图像对比后认为电阻阵模拟的干扰、目标和部分背景已经比较符合实际情况。将其应用于红外制导导弹的半实物仿真,准确地复现了导弹实际飞行过程中遇到的问题,同时对导弹的抗干扰能力进行了验证。但是由于受到目标飞机不同距离处红外辐射特性数据以及各种环境背景红外辐射特性数据的掌握尚不够全面,目前红外动态场景模拟技术还不能实现全面逼真地模拟各种真实环境和目标。

4 结论

综上所述, 本文介绍了一种基于 MOS 电阻阵半实物仿真的红外动态场景生成技术, 它是实现 MOS 电阻阵半实物仿真系统功能的关键因素。MOS 电阻阵红外动态场景生成技术给出了目标的红外辐射特性模型和三维形体建模方法以及干扰弹的红外辐射特性模型、运动模型和三维形体建模方法, 并通过电阻阵动态红外场景驱动软件进行了模拟实现, 该技术从半实物仿真目标模拟的逼真性和实时性的实际工程应用需求出发, 既能够逼真模拟实际红外场景, 又满足了半实物仿真毫秒级数据更新的实时性要求, 同时在模型设计之初就考虑了实际目标红外辐射特性数据修正的方便性需求。该方法已经通过红外制导导弹半实物仿真的验证, 结果证明有效可靠, 对验证红外制导导弹抗干扰性能, 减少研制周期起到了关键作用。

MOS 电阻阵半实物仿真是红外制导半实物仿真的一个重要发展方向, 虽然电阻阵硬件分辨率受限于国内研制水平, 在仿真复杂背景与典型目标能量变化细节存在缺陷, 但是其工程应用的实用性将促使其在未来大步向前发展。

参考文献:

- [1] Zhang Kai, Ma Bin, Huang Yong, et al. Testing and Analysing of 256×256 MOS Resistor Array for IR Scene Projector[C]. ICACT, 2013, 143-147.
- [2] Chun-Ling Yang, Chun-Na Yu. Research on Resistor array Non-uniformity Correction with Neural Network [C]. ICIEA, 2012: 297-302.
- [3] 李浩. 红外场景仿真及像质评估技术研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
Li Hao. The research on infrared scene simulation and image quality evaluation[D]. Bei jing: Beijing Institute of Technology, 2016.
- [4] 程琼. 可见光图像转红外图像仿真[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
Chen qiong. The simulation of visible image transform infrared image[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008.
- [5] 张健, 张建奇, 邵晓鹏. 基于测量数据的红外场景生成方法及实现[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(10): 2399-2402.

- Zhang Jian, Zhang Jianqi, Shao Xiaopeng. Method of Synthetic Infrared scene generation based on measure data and its implementation[J]. Journal of system simulation, 2005, 17(10): 2399-2402.
- [6] 黄勇, 吴根水, 李睿. 注入式红外成像仿真系统设计[J]. 测控技术, 2012, 31(2): 123-126.
Huang Yong, Wu Genshui, Li Rui. Design of an injected infrared imaging simulation system[J]. Measurement and control technology, 2012, 31(2): 123-126.
 - [7] 董敏周, 吴志红, 闫杰. 目标、背景和干扰的视景仿真与红外热图像模拟[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(3): 567- 569.
Dong Minzhou, Wu Zhihong, Yan Jie. Visual simulation infrared images generation of the target、background and interference flare[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2005, 25(3): 567- 569.
 - [8] 高辉, 赵松庆, 吴根水, 等. 基于电阻阵列的红外场景生成技术[J]. 航空学报, 2015, 36(9): 2815-2817.
Gao Hui, Zhao Qingsong, Wu Genshui, et al. Infrared radiaion scene generation technology based on resistor array[J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2015, 36(9): 2815-2817.
 - [9] 赵西帅, 吴根水, 赵松庆, 等. 红外成像制导半实物仿真目标图像生成技术[J]. 测控技术, 2013, 32(7): 153-156.
Zhao Xishuai, Wu Genshui, Zhao Songqing, et al. Target image generation technology in the infrared imaging guidance Hardware-in-the-Loop simulation[J]. Measurement and control technology, 2013, 32(7): 153-156.
 - [10] 张亮, 赵峰, 王雪松. 视线方向上飞机红外特性及大气衰减模型研究[J]. 红外技术, 2011, 33(6): 367- 371.
Zhang Liang, Zhao feng, Wang Xue-song. Calculation model for aeroplane IR signature and atmospheric attenuation along the line of sight[J]. Infrared Technology, 2011, 33(6): 367- 371.
 - [11] 董敏周. 用于红外成像系统抗干扰性能评估的红外图像仿真[D]. 西安: 西北工业大学, 2004.
Dong Minzhou. Infrared image simulation for evaluating the anti-jamming performance of infrared imaging system [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2004.
 - [12] 张凯, 马斌, 黄勇, 等. 256 分辨率电阻阵性能测试及非线性校正方法[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(11): 2921-2926.
Zhang Kai, Ma Bin, Huang Yong, et al. Method of 256-resolution resistor array performance testing and non-linearity correction[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(11): 2921-2926.