

文章编号: 1672-8785(2012)01-0033-05

基于 DMD 成像系统的红外小目标仿真

崔怀超 袁宏武 韩裕生 徐国明 吴令夏

(陆军军官学院, 安徽合肥 230031)

摘 要: 在分析红外成像仿真系统研究现状的基础上, 研究了典型红外小目标的模型和移动式滤波跟踪算法。依据飞行器内部构造及工艺材料, 并结合空气动力学、物理学以及热辐射的相关理论, 从蒙皮辐射、尾喷焰等方面建立了飞行器的红外辐射模型。针对数字微镜阵列 (Digital Mirror Device, DMD) 系统的特点, 对模型进行了简化, 提高了图像生成速度。最后利用基于数字微镜阵列的成像仿真系统平台对模型和算法进行了实验验证。实验结果表明, 该方法具有图像清晰、信噪比高、生成速度快、管道存储时间小以及跟踪稳定等特点。

关键词: 简化模型; 数字微镜阵列; 移动式滤波算法; 图像跟踪

中图分类号: TN21 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.01.005

Small Infrared Target Simulation Based on DMD Imaging System

CUI Huai-chao, YUAN Hong-wu, HAN Yu-sheng, Xu Guo-ming, Wu Ling-xia

(Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: On the basis of analyzing the research status of infrared imaging simulation systems, the typical small infrared target models and moving filtering algorithms are analyzed. According to the inner structure and materials of an air vehicle and the related theory of aerodynamics, physics and heat radiation, an infrared radiation model of the air vehicle is established in the aspects of scarf skin, pout and plume. By using the characteristics of the Digital Mirror Device (DMD) system, the model is simplified and the image generation rate is improved. Finally, the model and the algorithm are demonstrated on the DMD imaging simulation system platform. The result shows that this method has the features of clear image, high signal-to-noise ratio, high image generation rate, short storage time and stable tracking etc..

Key words: predigesting model; DMD; Moving filtering algorithm; image tracking

0 引言

基于数字微镜阵列 (Digital Mirror Device, DMD) 的红外成像仿真系统平台能够对典型的红外弱小目标模型及跟踪算法进行实验验证, 使飞机、导弹等目标及场景的红外图像真实再

现和对红外弱小目标进行实时检测与跟踪。红外弱小目标检测与跟踪技术是目前的研究热点, 它是红外成像系统中的核心技术之一。该技术利用图像处理算法对处于杂乱背景和强噪声环境中的目标进行自动检测。红外弱小目标检测具有信噪比低、背景复杂以及信息处理量大等

收稿日期: 2011-11-29

作者简介: 崔怀超 (1984-), 男, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事红外技术及图像处理研究。

E-mail: chcilm@163.com

难点。在对多目标进行检测与跟踪时，存在多任务并行处理和威胁等级排序等难题。人们通常先在单帧图像中确定一些目标，然后再利用序列图像来确认真实目标。这样可以大大降低噪声和其他干扰对检测算法的不利影响，从而提高检测概率和系统的整体性能。

1 红外成像仿真系统的研究现状

从研究方法上来说，计算机红外成像仿真大体上可以分为三种。一是利用国外软件 (如 Vega、Vega Prime) 进行红外图像的仿真生成。该方法具有实现简单和逼真度较高等优点，但其软件价格昂贵且可移植性较差。二是从物理模型出发，建立目标与背景的热辐射方程和辐

射传输方程，并通过对方程进行数值求解得到目标与背景的红外图像。该方法具有原理简单和物理含义明确等优点，但其实现复杂、计算时间长，需要解决快速计算与绘制的问题。三是利用其他波段图像或实测数据反演红外图像的方法。该方法避免复杂方程求解，运算速度快，但其反演结果受限于源图像和目标分割算法。对仿真技术的深入研究也促进了仿真系统器件的快速发展。从国内外的研究情况来看，仿真系统的器件主要有激光扫描阵列、薄膜转换器、光纤阵列、LCOS 红外空间光调制器、液晶光阀、数字微镜阵列和 MOS 电阻阵列等转换器。表 1 列出了美国部分红外景像仿真器的性能指标^[1]。

表 1 美国部分红外景像仿真器的性能指标

系统名称	多光谱影像 投影器	高能电阻红外 热发射器	多光谱红外 发射器	激光二极管 阵列投影器	微镜阵列 投影器
景像生成技术	电阻阵列	电阻阵列	电阻阵列	二极管阵列	微镜阵列
工作波段 / μm	2 ~ 14	2 ~ 14	2 ~ 14	3.6,4.6,4.7,9.0	可见光, 红外
分辨率	512 $\times$ 512	512 $\times$ 512	512 $\times$ 512	672 $\times$ 544	1024 $\times$ 768
最大表观温度 /K	740	650	650	500	800

在众多的红外景像仿真器中，数字微镜阵列和电阻阵列具有原理简单和工艺成熟等特点，得到了广泛应用。电阻阵列是基于自辐射的方式，它是通过给电阻阵加热来模拟目标红外辐射的；而数字微镜阵列是基于空间光调制方式，它是利用黑体实现微镜阵列的均匀照明，并根据注入信号的强度控制微镜翻转的时间，从而实现具有不同辐射强度的红外辐射的。从表 1 中我们不难看出，无论在分辨率与表观温度的高低方面，还是在工作波段的长短方面，数字微镜阵列都具有明显优势，而且技术成熟、工作稳定。

为了实现红外成像仿真系统对典型目标与背景的红外图像仿真和对红外弱小目标的实时检测与跟踪，需要解决红外目标建模和跟踪算法方面的难题。本文为此研究典型的飞行类目标的模型，提出移动式管道滤波跟踪算法，并通过红外成像仿真系统对模型和算法进行实验验证。

2 基于 DMD 的红外成像仿真系统的组成及功能

基于 DMD 的红外成像仿真系统主要由红外场景生成器、红外场景仿真器、被试系统和红外图像显示等四部分组成，如图 1 所示。

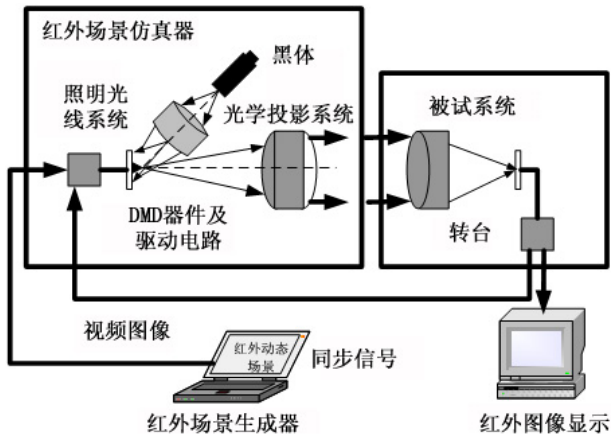


图 1 系统结构图

图 2 所示为系统功能图。该系统可以完成以下功能:

- (1) 对红外弱小目标跟踪算法进行测试;
- (2) 对典型目标与背景的红外图像进行仿真;

(3) 模拟目标红外探测与跟踪过程, 并通过设定目标与红外探测器的运动轨迹, 生成动态仿真目标运动的红外序列图像;

(4) 对红外成像探测与跟踪系统的性能进行测试和评估。

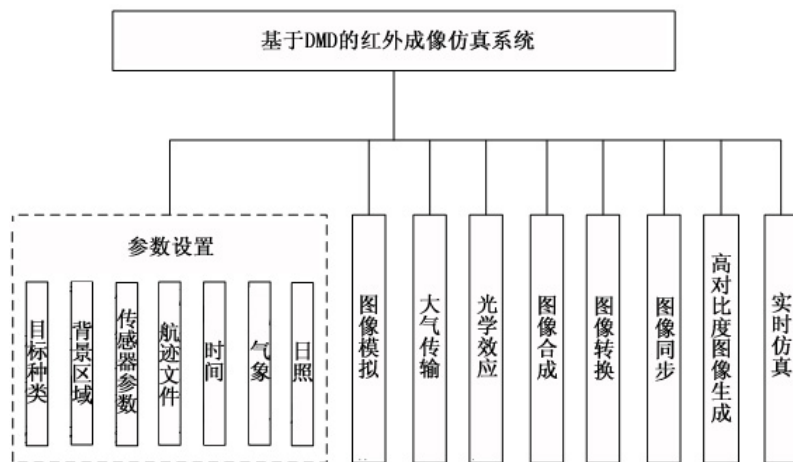


图 2 系统功能框图

3 飞行器类目标的红外特性建模

针对研究需求建立战场环境, 首先需要建立具有红外辐射特性的目标、天空背景、地物背景以及战场地形模型, 并根据目标和视点的运动轨迹参数考虑大气辐射与衰减, 建立对应的红外辐射场景。建模过程可以分为两步: 第一, 考虑各种影响因素完成目标与背景的精确红外辐射建模, 以保证结果准确; 第二, 在第一步的基础上, 对红外辐射模型进行简化, 以满足对场景生成速度的要求。

飞行器的辐射源主要考虑机身或弹体蒙皮、进气道(飞机)、发动机尾喷管和尾喷焰四部分。这些辐射源对飞机整个红外辐射的贡献取决于以下四个因素: 推进系统及其运行状态、外形和温度、蒙皮表面材料的光学特性、飞行条件和大气环境等。

(1) 蒙皮红外辐射。采用常用的飞机蒙皮恢复温度工程计算方法, 即

$$T_r = T_0 \left(1 + \frac{k-1}{2} \gamma M^2 \right) \quad (1)$$

式中, T_0 为目标所处环境的大气温度, k 为空气的比热比, M 为目标飞行的马赫数, γ 为恢复温度系数。与目标的几何外形有关的量通常在 $0.8 \sim 0.94$ 之间取值。这里, 我们取典型值 0.86 。

蒙皮的红外辐射由自身辐射和散射环境辐射两部分组成。其自身的红外辐射与蒙皮表面的发射率和表面的温度分布有关。根据普朗克定律, 表面的光谱辐射亮度可表示为

$$N(\lambda) = \varepsilon(\lambda) N_0(\lambda, T) \quad (2)$$

式中, $\varepsilon(\lambda)$ 为表面的光谱发射率, $N_0(\lambda, T)$ 为表面温度为 T 的黑体的光谱辐射亮度。

(2) 尾喷焰的红外辐射。喷焰红外辐射求解方法可以分为工程计算模型、谱带计算模型和逐线积分方法三种。对于尾喷红外热辐射的计算, 目前国际上普遍采用标准红外辐射模型(The Standard Infrared Radiation Model, SIRRM)。下面介绍只有气体分子辐射计算的谱带模型, 并采用单线组谱带模型方法对尾喷焰气体的辐射进行计算。根据该模型方法, 在 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波长范围

内的辐射亮度为

$$N(\lambda) = - \int_0^L N_0(\lambda, T) \frac{d\tau(\lambda, T)}{dl} dl \quad (3)$$

式中, τ 为气体的光谱透过率, L 为视线穿过的气体路径。

4 红外仿真系统的跟踪算法研究

利用序列图像对红外目标进行检测与跟踪。该检测算法极大地提高了信噪比, 降低了虚警概率, 提高了检测概率, 提升了红外成像仿真系统的整体性能。在利用序列图像检测目标时, 最直接、最简单的方法就是帧积分和管道滤波。管道滤波是一种较为经典的时空滤波器。图 3 所示为管道滤波的示意图。在此基础上, 又提出一些红外弱小目标检测算法, 并对管道滤波算法进行了改进。对于如何解决设计速度慢、存储空间大和鲁棒性弱的问题, 前期提出了一种移动式管道滤波^[2]。移动式管道滤波是对管道滤波的改进, 其改进之处在于: 移动式管道滤波

的管道在每帧图像上的管心都是上一帧图像中该管道检到的目标所对应的空间位置; 若某一帧未检测到目标, 则延用前一帧的位置。这样, 当检测时间较长时, 就可以避免目标移出管道的情况。同时, 采用移动式管道滤波无需考虑目标在检测时间段内的最大位移, 而只需考虑目标在两帧之间的最大位移量就可以了。另外, 在同样的检测条件下, 设置较小的管径还可以节省大量的检测时间, 这对提高检测算法的整体性能具有积极作用。该方法具有去除量小、计算简单和易于实现等特点, 是对图像目标的一种简洁、紧凑的抽象表达方法。

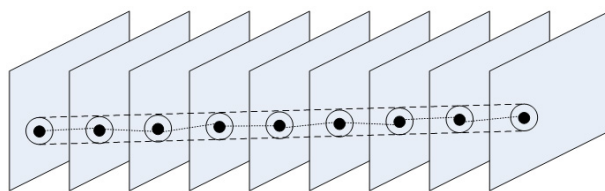
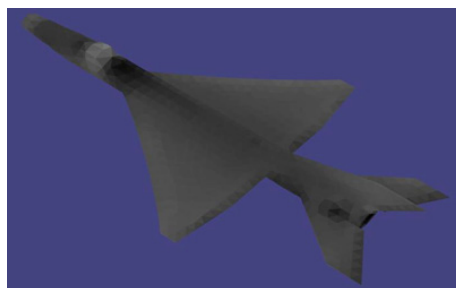
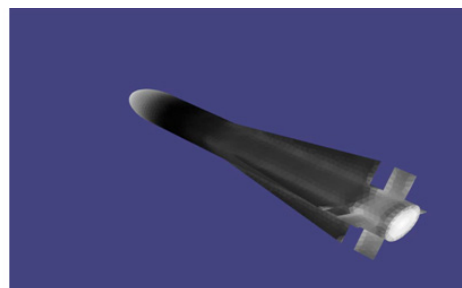


图 3 管道滤波的示意图



(a) 某型飞机的红外仿真图像



(b) 某型导弹的红外仿真图像

图 4 飞行器目标的红外仿真图像

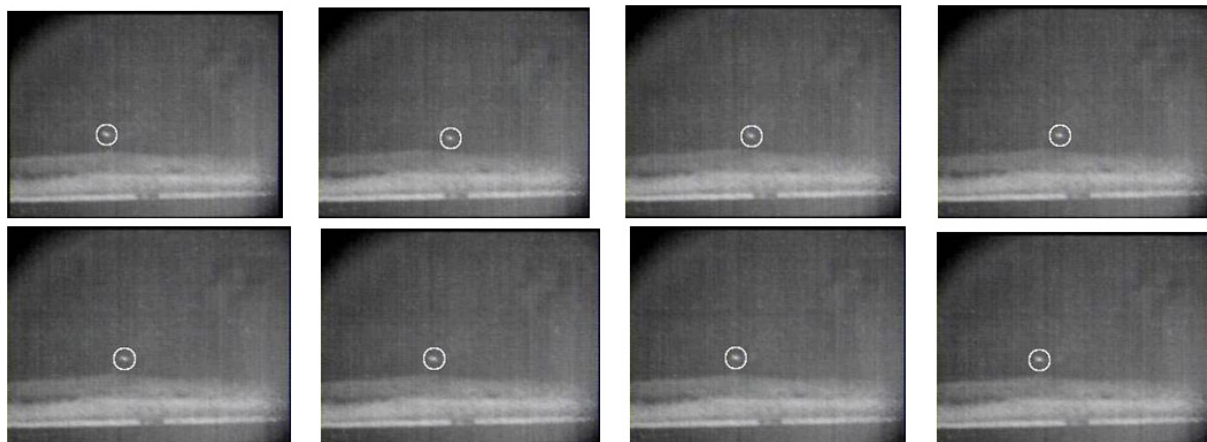


图 5 红外图像跟踪结果

5 仿真实验

利用红外成像仿真系统分别对某型飞机和某型导弹进行红外仿真。图 4 所示为它们的红外图像, 其尺寸是 320×240 。该方法的平均运行时间为 0.46 s , 具有运行稳定可靠, 图像清晰、逼真以及图像生成速度快等特点。

为了进一步检测跟踪效果, 在红外成像仿真系统上采用移动式滤波跟踪算法进行了充分的实验测试。对红外图像进行实时跟踪时所设定的跟踪时钟为 40 ms (25 帧/s)。图 5 所示为跟踪结果。该算法能够实时完成对目标的检测和跟踪, 其管道平均存储开销为 668 K , 稳定性较好。

6 结论

通过利用基于 DMD 的红外成像仿真系统平台对飞行类红外目标的简化模型和移动式滤波算法进行实验验证, 可以清晰地仿真出目标的

红外图像。该方法的图像生成速度快, 能够实时进行跟踪检测, 验证了模型和算法的可行性与有效性。但 DMD 器件对于长波红外仿真存在固有缺陷, 而且其生成的图像对比度不高, 因此仍需要我们作进一步研究。

参考文献

- [1] 常丽莎, 周起勃. DMD 动态红外景象仿真系统的电路设计与研究 [J]. 红外, 2007, 28(4): 28-31.
- [2] 韩裕生, 袁广林. 基于十字链表的管道滤波算法设计与实现 [J]. 红外与激光工程, 2006, 35(10): 202-206.
- [3] 李宏宁, 白廷柱. 光线跟踪方法实现红外视景成像仿真系统 [J]. 系统仿真学报, 2011, 23(7): 1387-1391.
- [4] 孙少军, 王学伟. 舰载红外成像探测跟踪系统仿真研究 [J]. 光电技术应用, 2004, 19(3): 3-6.
- [5] 林士峰. 典型目标场景红外成像建模与仿真 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [6] 王云萍, 赵长明. 基于 DMD 的动态红外景象仿真系统 [J]. 红外与激光工程, 2009, 38(6): 966-970.
- [7] 曹春芹, 孟卫华. 红外图像仿真系统的设计与实现 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(6): 401-404.

新闻动态 News

Sofradir 公司将为法国太阳神间谍卫星制造红外传感器

据 www.spacenews.com 网站报道, 法国 Sofradir 公司于 2011 年 10 月宣布, 该公司将依照一份价值数百万欧元的红外传感器研制合同, 为法国的下一代光学与红外侦察卫星系统提供红外传感器, 并将于 2011 至 2015 年期间交付数套工程样机和飞行模型机。

该公司基于碲镉汞半导体材料的探测器将被装在法国武器采购局的两颗正在制造中的空间光学监视卫星上。

这两颗监视卫星目前正在由法国铱卫星公司制造。法国 Thales Alenia 空间公司将为这两颗卫星提供主要的观测仪器, 并已就红外传感器

事宜与 Sofradir 公司签署了据说价值达数百万欧元的合同。

这两颗卫星将接续目前的太阳神 2 号卫星, 其中第一颗卫星计划于 2016 年发射。

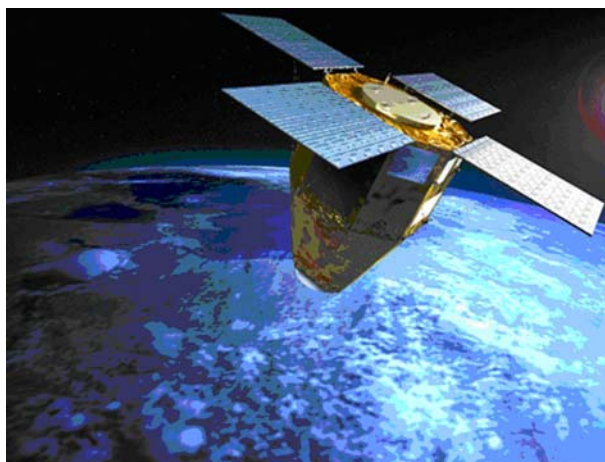


图 1 法国 Sofradir 公司将为法国下一代光学与红外侦察卫星系统提供红外传感器

□ 高国龙