

复杂背景下空中小目标动态红外成像仿真技术研究



王家豪,付雨昕,李怡,任斯煜,杨珺

西北工业大学, 陕西 西安 710072

摘要:空中小目标红外图像广泛应用于目标检测与识别和军事训练等领域,但这些数据获取成本极高,部分条件下的数据难以获得,因此,研究复杂背景下空中小目标红外图像仿真技术具有重要的研究意义。本文提出了复杂背景下空中微弱小目标动态红外成像仿真方法,并开发了相应的仿真软件。利用简化的三维目标模型模拟空中小目标,考虑大气传输效应,对目标自辐射和反射辐射进行建模。使用任意天空图像对背景初始化,通过相机透视模型调整可视区,并添加相机抖动模拟真实机载成像中的情况。利用泊松融合将仿真目标与仿真背景融合,并通过设置目标和相机的动力学模型,实现了任意数量飞行目标、飞行轨迹的动态仿真。为高效仿真不同背景、多种飞行条件下的空中小目标红外图像提供了一种思路。

关键词:红外成像; 计算机仿真; 小目标; 天空背景

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2024.04.015

远距离空中目标的准确检测和跟踪是飞机导航、导弹制导和空中侦察等应用的关键。基于红外图像的目标探测是较为常用的技术手段。但是对红外目标探测系统进行机载测试通常比较耗时且十分昂贵,某些极端飞行场景下,如存在潜在碰撞时,甚至不可能进行测试。空中目标红外成像仿真技术可以有效地解决此类问题,它的仿真效率高、成本低,且可以模拟各种不同的场景,如不同的天气条件、多样的飞行程序等。仿真数据还可以用于目标检测跟踪算法的研究。

现有红外成像仿真的研究,大多是针对某一物理现象或者某些外形特定目标开展。钟露^[1]通过手动设置比例尺和灰度分布生成红外小目标,将小目标与静态背景融合,获得复杂背景下小目标的红外仿真图像。其过程没有考虑影响小目标成像的因素,仅采用了静态背景。王霄^[2]研究了空中目标红外成像的过程,但研究着重于对目标的模拟,没有将其与背景融合,在实际中应用受限。王晓蕊等^[3]使用真实数据反演目标的红外特征,与任意红外背景融合,可以得到不同背景的红外目标仿真序列。但只考虑了自发辐射的影响,且将目标的自发红外辐射视为静态参数,仅改变大

气传输透过率来实现目标灰度的变化,无法还原真实场景下的反射情况。于鲲等^[4]对飞行器的蒙皮和尾焰分别使用光线追踪的方式进行辐射特性的优化建模,提升了方差收敛速度。Gong Wei等^[5]通过3DMax仿真建模得到地面目标的三维模型,分析目标的红外特性,通过红外计算模型输出红外仿真序列。Zhang Shuyuan等^[6]通过研究不同高速气流场作用下红外图像退化的影响,建立了基于飞行速度、飞行高度和飞行姿态的连续变化高斯叠加模型,构建了一个动态红外外场景仿真模型。王晓燕^[7]考虑实际作战环境中太阳对蒙皮辐射的影响,对不同作战环境逐个进行了理论建模。谢江荣等^[8]利用深度卷积生成对抗网络得到模型,能够有效模仿红外辐射特征。姚成皓等^[9]通过仿真环境中虚拟红外图像的生成方式与成像的基本模型,实现了运动目标识别追踪以及可应用于实时场景下的运动目标轨迹重构。

针对远距离空中目标的红外成像仿真问题,本文提出了一种复杂天空背景下空中微弱小目标的动态红外成像仿真方法。利用简化的三维目标模型来模拟空中小目标,考虑大气传输效应,主要对目标自辐射和反射辐射进行建模。

收稿日期: 2023-09-13; 退修日期: 2024-01-19; 录用日期: 2024-02-28

基金项目: 航空科学基金(2018ZC53041)

引用格式: Wang Jiahao, Fu Yuxin, Li Yi, et al. Research on dynamic infrared imaging simulation of small aerial target under complex background[J]. Aeronautical Science & Technology, 2024, 35(04): 112-118. 王家豪, 付雨昕, 李怡, 等. 复杂背景下空中小目标动态红外成像仿真技术研究[J]. 航空科学技术, 2024, 35(04): 112-118.

使用任意天空图像对背景初始化,通过相机透视模型调整能见度,并添加相机抖动模拟真实机载成像中的情况。利用泊松融合技术将仿真目标与仿真背景融合,并通过假设目标和观测器的动力学模型,实现了任意数量飞行目标、飞行轨迹的动态仿真。试验表明,本文方法可以高效仿真各种背景、多种飞行条件下的空中小目标序列图像。

1 空中小目标红外成像仿真

本文设计的空中小目标红外成像仿真方法流程如图1所示。系统主要包含空中微弱小目标红外特性建模、复杂动态背景建模、红外传感器建模、目标/背景融合4个模块。

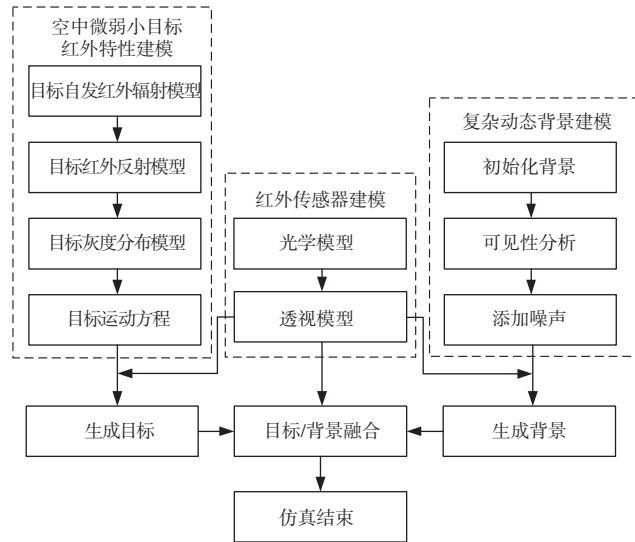


图1 仿真设计流程

Fig.1 Simulation design flow chart

1.1 空中微弱小目标红外特性建模

1.1.1 目标自发红外辐射模型

当飞行器高速飞行时,蒙皮表面与空气产生高速摩擦,导致表面温度急剧升高。这种由于气动加热所产生的红外辐射是飞行器红外辐射的重要组成部分。驻点温度法可以直观地表示飞行高度、飞行速度与温度的关系。对于长时间飞行的巡航飞机等飞行器,可使用驻点温度代替其表面温度。

驻点温度计算可以表示为

$$T_s = T_\infty (1 + \gamma \frac{k-1}{2} V^2) \quad (1)$$

式中, T_s 为蒙皮表面温度; T_∞ 是大气温度; V 为飞行速度; $\gamma = 0.87$, $k = 1.3$ 。

高空大气温度 T_∞ , 以海平面平均温度 T_0 为基准, 随

海拔 H 变化如下

$$T_\infty = \begin{cases} T_0 - 6.5H, & 0 < H \leq 11 \\ T_0 - 71.5, & 11 < H \leq 20 \\ T_0 - 71.5 + H - 20, & 20 < H \leq 32 \end{cases} \quad (2)$$

从驻点温度公式可以看出,蒙皮的表面温度除了受飞行速度的影响,还与飞行器的飞行高度有关。根据普朗克公式可以计算波段内空中目标表面的红外辐射强度

$$L_{\text{self}} = \frac{\varepsilon}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T_s}} - 1} d\lambda \quad (3)$$

式中, ε 为蒙皮的表面发射率,与蒙皮的材质和温度有关; T_s 为蒙皮表面的温度值; k 为玻耳兹曼常数; λ 为波长; h 为普朗克常数; c 为光速。

1.1.2 目标红外反射模型

通常来说,光线照射到物体上会发生漫反射、镜面反射、折射和透射等现象。考虑到空中目标表面的金属材质属性,在计算反射时一般只需要考虑镜面反射和漫反射,可以用Cook-Torrance光照模型来表示,其数学表达式为

$$f_r = k_d \frac{1}{\pi} + k_s \frac{F \cdot D \cdot G}{\pi (n \cdot v) (n \cdot l)} \quad (4)$$

式中, k_d 和 k_s 分别为物体表面漫反射、镜面反射系数,且 $k_d + k_s = 1$; n 是曲面的法矢量; v 为观察方向; l 为入射方向矢量。

F 为菲涅耳反射系数,取决于表面的材料性质,其表达式为

$$F = f_0 + (1 - f_0) (1 - v \cdot h)^5 \quad (5)$$

式中, h 为入射方向和探测方向的半角矢量。

D 为物体表面微平面的法线分布函数。微平面的法线方向越接近平面法线方向,微平面越光滑。 D 确定了物体表面的高光反射强度和形状等特性,通常为高斯分布

$$D = \frac{1}{\pi m^2 \cos^4 \alpha} e^{-\left(\frac{\tan \alpha}{m}\right)^2} \quad (6)$$

式中, m 为物体表面材质的粗糙度系数; α 为表面法矢量 n 和半角矢量 h 的夹角, $\cos \alpha = h \cdot n$ 。

G 为几何衰减因子,由于微平面分布的杂乱性,使得光线在微平面之间传播时存在遮挡,使得光线无法传播出去,从而造成反射分量的衰减

$$G = \min \left(1, \frac{2(n \cdot h)(n \cdot v)}{h \cdot v}, \frac{2(n \cdot h)(n \cdot l)}{h \cdot l} \right) \quad (7)$$

根据自然光源在目标表面产生的辐照度和双向反射分布函数(BRDF)的数学定义,可以计算获得目标在特定方向上的反射辐射亮度

$$L_{re} = f_r \cdot E_l \cdot (n \cdot l) \quad (8)$$

式中, f_r 为物体表面的 BRDF 系数; E_l 为太阳光在某一波长

范围的辐照度。

空中目标表面的总红外辐射亮度,由自发红外辐射和红外反射两部分构成

$$L_{\text{sum}} = L_{\text{self}} + L_{\text{re}} \quad (9)$$

1.1.3 目标灰度分布模型

对空中远距离目标成像,通常目标在图像中所占像素很少,仅几个到几十个像素。此时可假设图像中目标的灰度分布为广义高斯分布,通过灰度映射得到高斯分布的最大值。

本文所采用的广义高斯函数形式如下

$$G(x, y) = \frac{\rho_{\beta_x} \rho_{\beta_y}}{4\rho_{\alpha_x} \rho_{\alpha_y} \Gamma(\frac{1}{\rho_{\beta_x}}) \Gamma(\frac{1}{\rho_{\beta_y}})} \cdot e^{-\left(\frac{|x-x_0|}{\rho_{\alpha_x}}\right)^{\rho_{\beta_x}} - \left(\frac{|y-y_0|}{\rho_{\alpha_y}}\right)^{\rho_{\beta_y}}} \quad (10)$$

式中, (x_0, y_0) 是二维广义高斯函数的中心; ρ_{α_x} 和 ρ_{β_x} 分别是 x 方向上的尺度控制参数和波形控制参数; ρ_{α_y} 和 ρ_{β_y} 分别为 y 方向上的尺度控制参数和波形控制参数。

真实场景中,目标的坐标轴方向不固定,还需在二维广义高斯函数的基础上引入目标角度旋转操作

$$\begin{cases} x' = x_0 + (x - x_0) \cos \rho - (y - y_0) \sin \rho \\ y' = y_0 + (y - y_0) \cos \rho - (x - x_0) \sin \rho \end{cases} \quad (11)$$

式中, (x', y') 是像素 (x, y) 是经旋转之后的新坐标; ρ 是旋转角度。

1.1.4 目标运动模型

本文主要的仿真对象是空中远距离的飞机目标。在这种情况下,一般可以将飞机近似为椭球体。在仿真过程中,利用摄像机视角模型将椭球体从三维世界坐标投影到三维摄像机坐标,再投影到二维图像坐标系。

给定仿真场景,可以相应地建立飞行器和观测器(红外摄像机)的运动学模型。可对单个或多个仿真目标,预设相应的运动轨迹,以灵活地生成各种飞行场景,适应不同的应用。对于无人机感知和规避的研究,可以设置两架具有潜在碰撞风险的无人机飞行轨迹,并生成相应的仿真图像序列。

1.2 复杂动态背景建模

在红外成像仿真中,一些研究简单地采用静态背景。然而,在机载红外成像平台上,需充分考虑观测平台自身视角、振动对成像的影响。本文通过设置任意天空背景图像在世界坐标系中的位置和比例,然后利用摄像机视角模型对其可见度进行分析,得到初始背景图像。最后加入摄像机振动得到动态背景。

1.2.1 初始化背景

图2展示了背景图像在世界坐标系中的位置。将背景图像中的像素点 P 设置为定位图像的锚点, P 点确定了背景在世界坐标系中的位置。

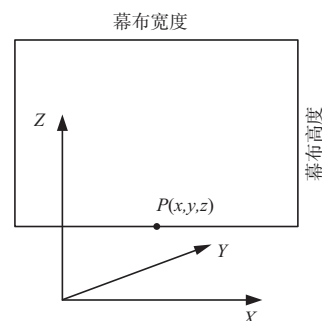


图2 世界坐标系中的背景图像

Fig.2 Background image in world coordinate system

1.2.2 可见性分析

使用简化的光线投射渲染算法对背景进行可见性分析,由相机位置处发出并且穿过每个相机屏幕像素点的光线,如果光线与幕布表面的某个像素相交,则将该交点的像素值赋值给对应的仿真图像像素点。

如图3所示,对于 $H \times W$ 的红外传感器,由相机位置出发,发射 $H \times W$ 条光线,均匀分布于成像平面。当光线与幕布相交时,取幕布像素值作为该屏幕点的像素值;不相交时,赋值为0。遍历相机屏幕上的所有点,得到从传感器观测到的背景成像。

1.3 红外传感器模型

1.3.1 光学模型

不同于可见光,红外图像的像素灰度值是由面元的红外辐射经过大气衰减作用和传感器作用后映射而来。探测器接收的目标红外辐射功率,即探测器表面的辐照度,包括经过大气衰减后的目标自发辐射和对环境的反射两个部分。

由于空中目标红外探测的距离不是很远,所以计算辐照度时将目标看作面目标来计算。相机单位像素面积对应的观察方向面元面积为

$$A_t = \frac{R^2 \cdot A_d}{f^2} \quad (12)$$

式中, R 为探测器与目标的距离; A_d 为探测器光敏元的有效面积; f 为光学系统的有效焦距。

目标相对探测器的球面度为

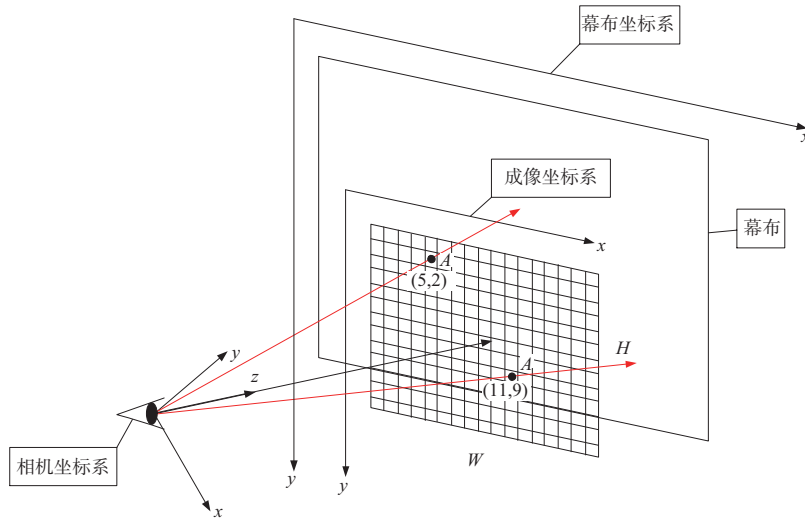


图3 光线投射算法

Fig.3 Raycast algorithm

$$S_r = \frac{\pi(D/2)^2}{R^2} \quad (13)$$

式中, D 为光学系统的口径。

输出的电压信号为

$$V_s = R_v \cdot L_{\text{sum}} \cdot A_t \cdot S_r \cdot \tau \cdot \eta \quad (14)$$

式中, R_v 为探测器的响应率; L_{sum} 为目标表面总的红外辐射亮度; τ 为观测路径中的波段大气透过率; η 为探测器的光学透过率。

经过光电转换后的响应电压在电子学模数转换电路中进行AD转换, 转换为相应灰度等级中的灰度值

$$V_s = \begin{cases} V_L, & V_s < V_L \\ V_H, & V_s > V_H \\ V_s, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

$$G = G_{\min} + \frac{(V_s - V_L)(G_{\max} - G_{\min})}{V_H - V_L} \quad (16)$$

式中, $G_{\min} \sim G_{\max}$ 为对应的灰度量化范围; 输出电压的上限为 V_H , 下限为 V_L 。

1.3.2 传感器噪声

传感器噪声是不可避免的。许多类型的传感器噪声都可以用泊松噪声表示, 如光电转换噪声、信号电路噪声和过渡噪声。热噪声和温度噪声通常可以表示为高斯噪声。因此, 在本文系统中, 人为地加入了泊松噪声和高斯噪声。

1.4 目标/背景融合

为了使得图像融合的边缘部分平稳过渡, 可利用两幅图像的梯度场信息, 计算出两幅图像重叠区域的梯度场, 通过梯度场匹配法进行融合, 可以很好地消除融合图像变暗或者模糊的情况, 使得融合后的图像过渡自然。典型的基

于梯度场的图像融合方法是泊松融合法, 在保留了原图像梯度信息的同时, 可以很好地融合原图像与目标图像。

泊松融合根据原图像的梯度信息以及目标图像的边界信息, 利用插值的方法重新构造合成区域内图像的像素。图4为泊松融合过程, 图中 u 是原图像中被合成的部分, V 是 u 的梯度场, S 为合并后的图像, Ω 是合并后目标图像中被覆盖的区域, $\partial\Omega$ 是其边界。设合并后图像在 Ω 内的像素值用 f 表示, 在外的像素值用 f^* 表示。

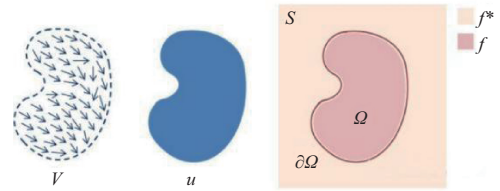


图4 泊松融合模型

Fig.4 Poisson fusion model

如果要保留融合图像的纹理信息, 且边缘没有明显的处理痕迹, 实现平滑过渡, 可以把优化问题表示为

$$\min_f \iint_{\Omega} \|\nabla f - V\|^2 = \min_f \iint_{\Omega} \|\nabla f - \nabla u\|^2, \text{ s. t. } f|_{\partial\Omega} = f^*|_{\partial\Omega} \quad (17)$$

为了使合并后的图像中 Ω 区域尽量接近 u , 利用 u 的梯度场 V 作为求解式的引导场, 合并后的图像在 Ω 内的像素值 f 的梯度与原梯度越接近, 就表示原始信息保持得越好, 可以利用欧拉-拉格朗日方程得到

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (18)$$

拉普拉斯算子的离散算式为

$$\nabla u(i, j) = u(i+1, j) + u(i-1, j) + u(i, j+1) + u(i, j-1) - 4u(i, j) \quad (19)$$

则原泊松方程变成如下形式

$$f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j) = \nabla u \quad (20)$$

于是得出

$$f(i, j) = \frac{1}{4} (f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - \nabla u) \quad (21)$$

通过求解泊松方程,可以得到 Ω 区域的最优像素值。

2 仿真试验与分析

利用Matlab GUI设计空中小目标红外成像仿真软件,实现了多种条件下的空中小目标快速成像仿真。

为验证所提方法,分别进行了红外小目标图像仿真、不同天空背景下红外单目标图像仿真和多目标红外图像仿真三组试验。

2.1 红外小目标图像仿真

利用广义高斯模型,可以得到具有不同灰度分布的红外小目标图像。图5(a)为目标沿视线方向飞行时的仿真图像,模型参数为 $\rho_{\alpha_x}=2, \rho_{\alpha_y}=2, \rho_{\beta_x}=2, \rho_{\beta_y}=2, \rho=0$ 。图5(b)为目标垂直视线方向飞行时的仿真图像,模型参数为 $\rho_{\alpha_x}=4, \rho_{\alpha_y}=2, \rho_{\beta_x}=4, \rho_{\beta_y}=2, \rho=0$ 。

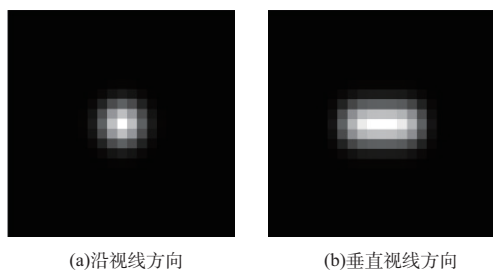


图5 不同灰度分布的红外小目标图像

Fig.5 Infrared small target images with different gray distribution

2.2 不同天空背景下红外单目标仿真

分别设定目标灰度分布模型参数、目标运动方程和红外探测器参数仿真晴朗天空背景与多云天空背景下红外单目标图像序列各20帧。目标的灰度分布模型参数同图5(b),目标的运动方程见表1,红外探测器模型参数见表2,仿真结果如图6、图7所示。在图6和图7中,(a)~(d)分别为序列中的第1、5、9、13帧图像。

表1 目标运动方程

Table 1 Equation of target motion

	$X(t)/m$	$Y(t)/m$	$Z(t)/m$
单目标	$340t+5t^2-80$	$340t+1732$	$10t+8000$

表2 红外探测器模型参数

Table 2 Infrared detector model parameters

焦距/mm	60
分辨率	256×256
帧率/Hz	50
位置坐标/m	$[0, 0, 8000]$
俯仰角/ $^\circ$	0
方位角/ $^\circ$	0
滚转角/ $^\circ$	0

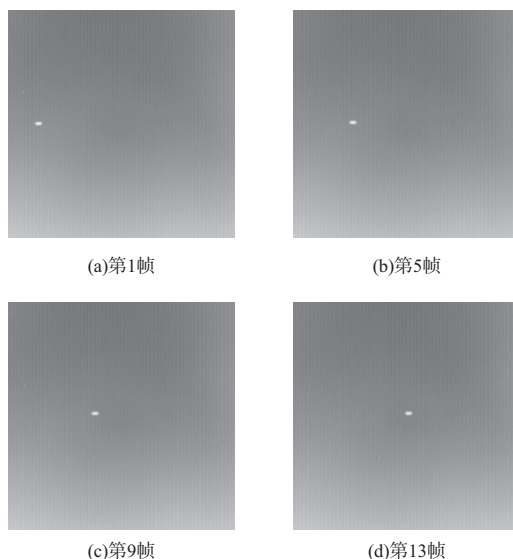


图6 晴朗天空背景的仿真结果

Fig.6 Simulation results of clear sky background

2.3 多目标红外图像仿真

为了便于观察仿真图像序列中多目标的成像效果与运动状态,将多目标的运动轨迹显示在同一帧图像中,生成了如图8所示的多云天空背景下三个目标运行轨迹交叉时的红外仿真图像。

目标模型参数与红外探测器模型参数同试验(2),三个目标的运动方程见表3。

3 结论

针对空中目标红外图像获取困难的问题,本文提出了一种空中微弱小目标红外成像仿真方法。研究了目标的红外辐射模型、红外传感器模型和动态背景模型,分别生成了



图7 多云天空背景的仿真结果

Fig.7 Simulation results of cloudy sky background



图8 多云天空背景下三个目标运行轨迹交叉

Fig.8 Three targets cross paths in a cloudy sky

表3 多目标运动方程

Table 3 Motion equation of multi targets

	$X(t)/m$	$Y(t)/m$	$Z(t)/m$
目标1	$340t+5t^2-80$	$340t+1732$	$30t+7990$
目标2	$340t-70$	$340t+2000$	8000
目标3	$340t-60$	$340t+2300$	$-30t+8010$

目标和背景,并将其进行融合,进而仿真出各种场景。本文进行了三组不同天气条件、不同目标数量的仿真试验,验证了所提方法的有效性。

理想情况下应将仿真图像与真实红外图像进行比较,以实现对仿真结果的量化评估。然而,对于本文所研究的空中小目标,受试验条件的限制,难以获取同等条件下的真实红外图像。现有的研究大多是通过人工观察对仿真结果进行定性评价,或者是简单地将模拟结果与受控环境下的真实数据进行比较^[2]。因此,红外成像仿真的评估方法是

一个亟待解决的问题。另外,在仿真过程中,大气传输的透过率 τ 与天气条件有关。目前 τ 是根据背景图像人为设定的。未来可以尝试通过机器学习或深度学习算法从任何给定的天空图像中自动推断天气状况,自动适配参数。 **AST**

参考文献

- [1] 钟露. 复杂背景下红外弱小目标的正演模拟与仿真技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
Zhong Lu. Forward modeling and simulation technology of infrared dim small targets under the complex background[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016.(in Chinese)
- [2] 王霄. 空中目标红外辐射特性分析与成像仿真技术研究[D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2020.
Wang Xiao. Infrared radiation analysis and imaging simulation of aerial target[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technical Physics Chinese Academy of Sciences, 2020. (in Chinese)
- [3] 王晓蕊, 李珂, 李祉涵, 等. 基于实测红外成像数据的目标与背景融合仿真方法: 中国, CN109447932B[P]. 2020-12-08.
Wang Xiaorui, Li Ke, Li Zhihan, et al. Target and background fusion simulation method based on measured infrared imaging data: China, CN109447932B[P]. 2020-12-08.(in Chinese)
- [4] 于鲲, 段雨晗, 丛明煜, 等. 飞行器红外物理成像仿真优化计算方法[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(4): 52-65.
Yu Kun, Duan Yuhan, Cong Mingyu, et al. Optimization calculation method for infrared physical imaging simulation of aircraft[J]. Infrared and Laser Engineering, 2021, 50(4):52-65. (in Chinese)
- [5] Gong Wei, Zhang Tianxu, Liu Jianwei, et al. Infrared sequence simulation method for aerial moving platform target scene[C]. 2022 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Information Technology (AICIT), 2022: 1-4.
- [6] Zhang Shuyuan, Chen Xin, Zu Yingqing, et al. A Dynamic imaging simulation method of infrared aero-optical effect based on continuously varying gaussian superposition model [J]. Sensors, 2022, 22(4):1616.
- [7] 王晓燕. 空战作战环境与红外目标仿真研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
Wang Xiaoyan. Research on air combat environment and infrared target simulation [D] Nanjing: Nanjing University of

- Aeronautics and Astronautics, 2012.(in Chinese)
- [8] 谢江荣, 李范鸣, 卫红, 等. 基于生成对抗式神经网络的红外目标仿真方法[J]. 光学学报, 2019(3): 150-156.
- Xie Jiangrong, Li Fanming, Wei Hong, et al Infrared target simulation method based on generative adversarial neural networks [J] Journal of Optics, 2019 (3): 150-156.(in Chinese)
- [9] 姚成喆, 郭伟兰, 陈钱, 等. 红外运动目标轨迹重构动态仿真平台[J]. 红外与激光工程, 2022, 51(2): 9-15.
- Yao Chengzhe, Guo Weilan, Chen Qian, et al. Dynamic simulation platform for infrared moving target trajectory reconstruction [J]. Infrared and Laser Engineering, 2022, 51 (2): 9-15.(in Chinese)

Research on Dynamic Infrared Imaging Simulation of Small Aerial Target under Complex Background

Wang Jiahao, Fu Yuxin, Li Yi, Ren Siyu, Yang Jun

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

Abstract: Infrared images of small aerial targets are widely used in the fields of target detection and recognition and military training, but the cost of obtaining these data is extremely high, and the data under some conditions are difficult to obtain, so it is of great significance to study the infrared image simulation technology of small aerial targets in complex backgrounds. A simulation method and software are established for infrared imaging of aerial target under complex background. An aerial target is modelled as a simplified 3D structure. The infrared radiation model of the target is composed by spontaneous radiation model and reflection model. The sky background is initiated freely, with consideration of camera perspective model and platform vibration. Target and background are fused through a Poisson model. The dynamic simulation of the flight trajectory of any number of flight targets is realized by setting the dynamic model of the target and the camera, which provides a way to efficiently simulate the infrared images of small aerial targets under different backgrounds and various flight conditions.

Key Words: infrared imaging; computer simulation; small target; sky background

Received: 2023-09-13; **Revised:** 2024-01-19; **Accepted:** 2024-02-28

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China(2018ZC53041)