

基于背景杂波估计的飞机目标探测波段选择方法



吴鑫¹, 陈熠韬^{1,*}, 杨琛²

1. 西安电子科技大学 物理与光电工程学院, 陕西 西安 710071

2. 西安理工大学 自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048

摘 要:针对空中目标的探测与隐身对抗问题,提出了一种新的基于背景杂波估计的目标探测波段选择方法,基于光线追迹的计算机图形渲染技术,建立地球表面背景-大气-飞机目标耦合辐射模型,采用POE杂波尺度,基于信杂比(SCR)模型确定探测波段的选择宽度。将所选择的探测波段应用于飞机顶视探测,仿真结果显示基于背景杂波估计的目标探测波段选择方法能有效增加探测波段宽度,从而提高探测性能。

关键词:飞机顶视; 波段选择; 杂波; 光线追迹; 红外辐射

中图分类号: TN215

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2019.03.010

对飞机目标进行探测是空中光电对抗与防空预警的重要组成部分,也是国内外持续关注的热点。天基红外预警系统是支持美军执行空中目标预警、防御、情报获取和战场态势生成的重要手段。红外探测系统主要利用目标与背景间存在的辐射温差形成的图像序列来实现目标检测、识别与跟踪。在防空及地面侦察领域,高覆盖面积、无侦察死区是天基红外预警系统的优点^[1],但同时,它也存在对以复杂地球表面为背景的弱小目标检测与识别困难等问题。为此,针对飞机顶视红外探测,选择合适的探测波段以增强对飞机目标的检测概率与探测距离具有较高的研究价值。

近年来,国际上对目标探测的波段选择方法有较为深入的研究。国外主要集中在对多光谱、高光谱数据的遥感图像进行判读与融合。国内张伟针对天基预警系统的探测波段选择进行了系统研究^[2]。刘德连提出了基于信噪比的波段选择方法^[3]。刘尊洋等研究了预警卫星STG波段的探测能力^[4]。上述研究大多是针对特殊的应用背景,所选择的波段与飞机顶视探测情境存在差距。另外,合理的探测波段要对复杂背景中与目标相似物体具有一定的抗干扰能

力。由此,本文提出一种针对飞机顶视探测的波段选择方法,基于光线追迹的计算机图形学技术,结合飞机目标顶视、地球表面背景、大气辐射传输建立耦合辐射模型。引入背景杂波尺度度量手段,分别针对辐射亮度对比度、几何外形分布以及光谱特征,建立效能评估模型,通过分析波段内信杂比变化曲线,确定合理的选择波段及波段宽度。同时,基于杂波定义,该方法能有效增强目标探测的抗干扰能力。

1 光线追迹方法

1.1 飞机顶视概述

飞机顶视指自飞机顶部向下观察飞机目标处的视点,如图1所示,常用于天基红外防空预警系统对飞机目标实现检测、识别、跟踪。也用于空空导弹、多架飞机相互间的识别探测。

飞机顶视探测需要面对的问题在于成像过程中,飞机目标可能淹没在复杂地表背景中从而降低探测概率。同时,基于第一性原理的根据空间相对位置关系对飞机目标、地球表面背景、大气传输、传感器效应辐射耦合计算方法较

收稿日期: 2019-01-02; 退修日期: 2019-01-28; 录用日期: 2019-02-15

基金项目: 航空科学基金(20160112003); 陕西省教育厅自然科学专项(17JK0536); 中科院光谱成像技术重点实验室基金(LSIT201713D)

*通信作者. Tel.: 15991684325 E-mail: 15991684325@163.com

引用格式: Wu Xin, Chen Yitao, Yang Chen. Band selection for aircraft target detection based on background clutter estimation [J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(03): 56-62. 吴鑫, 陈熠韬, 杨琛. 基于背景杂波估计的飞机目标探测波段选择方法[J]. 航空科学技术, 2019, 30(03): 56-62.

为复杂,无法满足后续波段选择对场景数据输出效率的要求。为此,采用光线追迹技术将场景中的辐射的传输过程等效成理想化的窄波束传输过程,从而得到具有较高置信度的仿真图像。

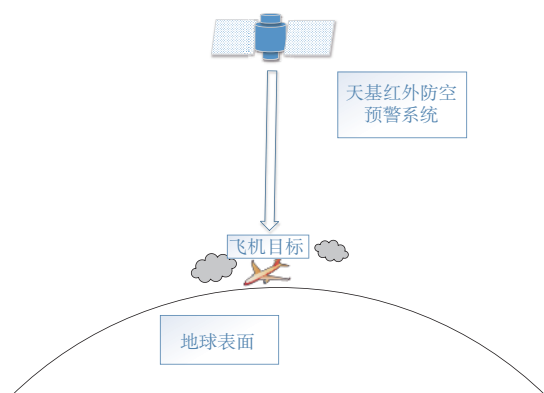


图1 天基红外系统下的飞机顶视探测

Fig.1 aircraft top-view detection under space-based infrared system

1.2 光线追迹方法

光线追迹是计算机图形学中的特殊渲染算法,对从传感器发出的光线进行追迹,而不是依据辐射源发出的光线,并通过数学模型描述光线所经过的过程。将光线追迹技术应用于生成场景仿真图像,能够更准确地将光线携带能量(辐射)与光线传播方向的变化反映出来^[5]。

当光线传播时,光线与介质相互作用,从而在改变传播方向同时损失或获得能量。利用光线追迹方法,首先计算每一条光线在传播过程中被目标和背景吸收、反射或散射后的传播距离、新方向以及到达的位置,然后根据到达位置处表面的光学材质属性产生出一条新的光线,接着使用相同的处理方法,最终计算得到一个完整的光线在介质中传播的路径^[6]。

光线追迹器应用于红外场景仿真的优势在于能够精确地描述场景内对象之间的辐射传输耦合关系。根据天基红外防空预警系统下视场景传感器仿真成像过程,设计了高效的光线追迹器。该追迹器由如图2的6个基本部分组成:虚拟相机、光线相交检测器、光线分布图、物体表面属性描述器、迭代跟踪器和光线传播效果器。

其中,虚拟视点为天基红外防空预警系统成像传感器模型,光线传播效果器为飞机红外辐射特性模型和大气辐射传输效应模型,物理表面属性描述器由飞机机身蒙皮表面双向反射率分布函数模型实现。

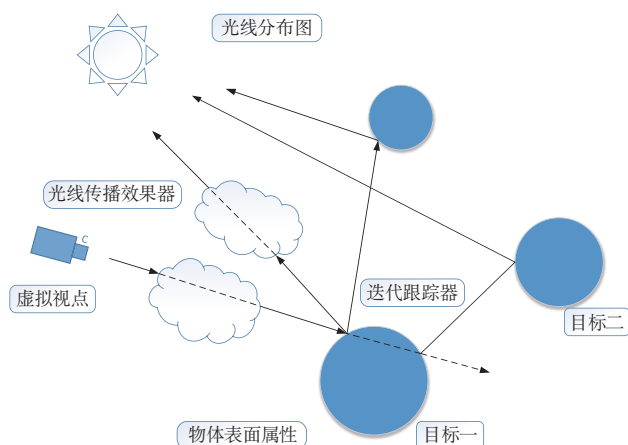


图2 光线追迹器

Fig.2 Ray tracker

2 辐射耦合分析

在目标探测过程中,除了飞机目标本身的辐射,背景、大气、传感器等均会对成像产生影响。为了准确地对飞机顶视成像进行仿真,需要耦合考虑飞机目标、地球表面背景、大气传输和传感器效应辐射。

2.1 目标辐射特性

飞机顶视红外探测主要关注的波段是中波红外(3~5 μm)和长波红外(8~12 μm)。在中波红外波段,红外辐射主要由羽流及尾喷口产生;在长波波段,羽流基本不产生辐射,机体蒙皮辐射成为主要辐射源。

使用Fluent流场计算软件对飞机表面温度场进行仿真计算^[7]。首先,使用计算流体力学(CFD)建立飞机的三维几何模型,并对机体外流场进行网格剖分。然后采用Spalart-Allmaras湍流模型以流体有限元迭代计算的方法得到机体表面的温度分布。其中,外流场的边界条件设置为压力远场边界条件与壁面边界条件。机身网格分布如图3所示。

考虑飞机蒙皮的一个局部小区域,其自身辐射可由蒙皮自身的发射率联系普朗克公式确定。即在温度 T 下 λ_1 — $\lambda_2\mu\text{m}$ 波段对应的辐射值 W 为:

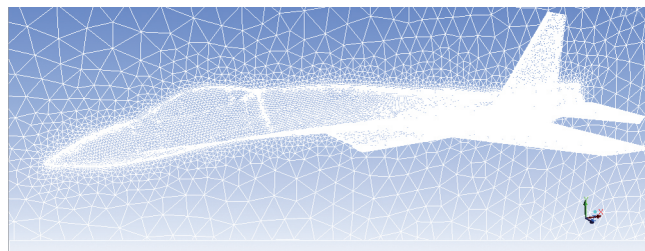


图3 机身网格分布

Fig.3 Grid distribution of aircraft

$$W = \varepsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} d\lambda \quad (1)$$

式中: W 为波长为 λ_1 — λ_2 μm 波段内目标的辐射出射度; T 为目标的等效温度; c_1, c_2 为普朗克常数, $c_1 = 3.7418 \times 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^4$, $c_2 = 1.4388 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$; λ_1, λ_2 为波段积分的上下限; ε 为蒙皮表面的发射率。

与蒙皮温度分布计算一样, 采用 Fluent 流场分析软件对羽流流场的气体组分浓度、压强和温度分布进行仿真计算, 得到分布云图, 利用 C-G 谱线近似法, 并考虑谱线的碰撞展宽和多普勒展宽效应, 计算视线方向尾焰的辐射亮度^[8], 计算过程为: (1) 将计算的羽流流场以一定压强差值分割子层; (2) 计算每层光谱透过率; (3) 利用光线追迹方法参考辐射传输方程计算总辐射亮度; (4) 对层数和波长间隔求和计算波段内的辐射亮度。

吸收系数计算采用逐线计算法, 辅以谱带模型法。尾焰红外光谱辐射模型的计算流程如图 4 所示。

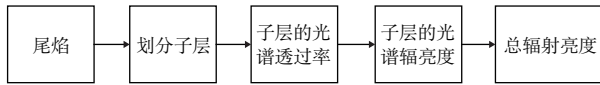


图 4 尾焰光谱辐射模型计算流程图

Fig.4 Computation flow chart of plume spectral radiation model

尾焰的辐射计算公式有:

$$L_m(\omega) = -L_{bb}(\omega, T_m) [\tau_m(\omega) - \tau_{m-1}(\omega)] \quad (2)$$

$$\tau(\omega) = \exp \left\{ - \int_a^s K(\omega, S'') \rho(S'') dS'' \right\}$$

式中: $L_{bb}(\omega, T_m)$ 为以波数表示的普朗克公式, $\tau_m(\omega)$ 为各个子层的透过率, $K(\omega, S'')$ 为气体组分的吸收系数, $\rho(S'')$ 为摩尔数密度。

2.2 大气辐射特性

大气对辐射传输会造成影响, 大气粒子的吸收和散射会造成辐射能量的衰减, 其衰减程度可以用大气透过率 $\tau(\lambda) = I(\lambda)/I_0(\lambda)$ 表示, 根据比尔-布格-朗伯定律, 辐射在大气中传输时, 辐射强度按指数下降:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp[-K(\lambda)S] \quad (3)$$

即:

$$\tau(\lambda) = \exp[-K(\lambda)S] \quad (4)$$

式中: $I_0(\lambda)$ 为原始辐射的辐射强度, $K(\lambda)$ 为消光系数, S 为辐射传输路径长度。

大气辐射传输过程中太阳辐射、地表辐射散射、大气自身辐射都会造成辐射能量的增加, 该过程可以用大气程辐射

射 L_{path} 来表示^[9]:

$$L_{path}(\lambda) = \omega(\lambda) \times F_0 \times \exp\left(-\frac{K(\lambda)S}{\mu}\right) \times \frac{P(\mu, \phi; \mu_1, \phi_1)}{4\pi} + \omega(\lambda) \times \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 I(\lambda, z; \mu_2, \phi_2) \times \frac{P(\mu, \phi; \mu_2, \phi_2)}{4\pi} d\mu_2 d\phi_2 + (1 - \omega(\lambda)) \times B[T(z)] \quad (5)$$

式中: $\omega(\lambda)$ 为大气散射系数与消光系数之比, F_0 为大气上界的太阳辐射度, $P(\mu, \phi; \mu_1, \phi_1)$ 为散射相函数, $B[T(z)]$ 为普朗克函数, (μ, ϕ) 为参考位置指向探测器的方向, (μ_1, ϕ_1) 为单次太阳辐射散射进入参考位置的方向, (μ_2, ϕ_2) 为地表辐射散射进入参考位置的方向。

利用大气辐射传输软件 Modtran 可以较为方便地计算大气传输辐射。

2.3 地表背景辐射

自然条件下, 地表辐射包括地表自身热辐射、地表对太阳短波辐射和大气长波辐射的吸收、地表与大气对流的显然交换、地表水分蒸发引起的潜热交换以及地表热通量^[10], 因此, 地表热平衡方程可表述为:

$$R_n = H + EL + G \quad (6)$$

式中: R_n 为地表净辐射通量, H 为显热能量项, EL 为蒸发潜热项, G 为地表热通量。

对于戈壁、沙漠等裸露型地表, 其单位面积所吸收太阳辐射功率 E_s 、大气辐射功率 E_e 和地表自身热辐射 R_e , 可以由地表反照率 α 、地表发射率 ε 以及参考高度处的太阳辐射能得到:

$$E_s = (1 - \alpha) E_e \quad (7)$$

$$E_e = \varepsilon \sigma T_a^4 (a + b\sqrt{e_a}) \quad (8)$$

$$R_e = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (9)$$

式中: σ 为玻尔兹曼常数; T_a 为大气气温; e_a 为大气水汽压; a, b 为经验常数; E_e 为到达地表的太阳辐射。

显热能量项 H 与蒸发潜热项 EL 是地表与大气进行热交换的主要机理, 在不同地表环境中, 两者对地表热辐射影响程度不同。在裸露型地表中, 两者计算公式如下:

$$H = \frac{\rho c_p}{r_a} (T_a - T_g) \quad (10)$$

$$EL = \frac{\rho L}{\gamma r_a} (q_a - q_g) \quad (11)$$

式中: γ 为干湿表常数, ρ 和 c_p 分别为空气密度和空气比定压热容; L 为汽化潜热; T_a 和 T_g 分别为大气温度和地表温度; q_a 和 q_g 分别为大气比湿和地表比湿; r_a 为空气动力学

阻抗。

在植被型地表中,需要考虑植被层空气动力学阻力与植被层气孔阻力,工程上一般将蒸发潜热项 EL 乘以系数 0.7。

地表热通量 G 指地表内部的热交换,其计算公式为:

$$G = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \quad (12)$$

3 波段选择方法

3.1 背景杂波尺度

杂波是指图像中对目标探测形成干扰的类目标物。边缘概率(POE)尺度杂波主要通过图像中边缘点的数目来衡量背景杂波的强弱^[11]。其计算过程为:(1)进行图像边缘滤波,以增强图像边缘;(2)将图像分成 N 个小单元,单元大小为图像尺寸两倍;(3)将第 i 个单元中超过阈值 T 的像素点数记为 $POE_{i,T}$,阈值 T 为单元内像素平均值的 0.7 倍;(4)求所有单元内 $POE_{i,T}$ 的均方根:

$$POE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N POE_{i,T}^2} \quad (13)$$

杂波值越小,意味着图像中与目标区域相似的场景越少,因此,目标的检测概率越大;反之,杂波值越大,表示图像中与目标区域相似的场景越多,因此目标的检测概率越小。

3.2 波段选择方法

在计算得到飞机目标、地表背景、大气以及成像系统的基础数据后,采用探测概率与虚警率作为评判标准,选择峰值信杂比处的波长为波段中心,并向两边拓展波段宽度直至信杂比不满足探测概率要求。波段选择流程如图 5 所示。

由于 SV 尺度与 POE 尺度均可衡量整幅图像的杂波强

弱,同时 POE 尺度在描述目标边缘特性上有更好的效果,本项目采用基于 POE 尺度的信杂比用于目标波段选择。

由目标辐射强度 $I_T(\lambda)$ 、背景辐射强度 $I_B(\lambda)$ 以及杂波值 $\sigma_c(\lambda)$ 可得到信杂比随着波长的变化情况:

$$SCR(\lambda) = [I_T(\lambda) - I_B(\lambda)] / \sigma_c(\lambda) \quad (14)$$

信杂比体现了仿真图像中目标辐射-背景辐射-大气辐射的耦合特性,在不同波长处,信杂比具有不同的值。信杂比的值越大,表示在该波长处目标相对背景杂波区别更加明显。因此,可以以信杂比为依据确立波段选择方法。

为了更好地量化探测波段,选择出适合天基红外防空预警系统的探测波段,我们需要以探测概率与虚警率作为评判标准,在信杂比基础上进行选择。

杂波值表征了背景图像中存在与真实目标相似物体的程度。探测概率指图像中存在真实目标并探测到目标的概率,虚警率指图像中不存在真实目标但探测到目标的概率,据此建立双假设检验模型^[12]:

$$\begin{cases} H_1: X_{ij} = S_{ij} + C_{ij} \\ H_0: X_{ij} = C_{ij} \end{cases} \quad (15)$$

式中: H_1 为真实目标存在的情况, H_0 为真实目标不存在的情况, X_{ij} 为图像像素值, S_{ij} 为目标在图像中像素值, C_{ij} 为背景杂波所占像素值。假设 C_{ij} 服从正态分布,我们就可以得到两种情况下 X_{ij} 的概率密度函数:

$$\begin{cases} p(X_{ij}|H_1) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(X_{ij} - S_{ij})^2}{2\sigma_c^2}\right) \\ p(X_{ij}|H_0) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{X_{ij}^2}{2\sigma_c^2}\right) \end{cases} \quad (16)$$

由于探测系统存在最低辐照度,在目标探测中存在阈值 T_0 ,则探测概率与虚警率分别为 $p(X_{ij}|H_1)$ 和 $p(X_{ij}|H_0)$ 对 $X_{ij} > T_0$ 部分的积分,用误差函数可以表示为:

$$\begin{cases} P_1 = \int_{T_0}^{\infty} p(X_{ij}|H_1) dX_{ij} = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}\left(\frac{S - T_0}{\sqrt{2} \sigma_c}\right)] \\ P_0 = \int_{T_0}^{\infty} p(X_{ij}|H_0) dX_{ij} = \frac{1}{2} [1 - \operatorname{erf}\left(\frac{T_0}{\sqrt{2} \sigma_c}\right)] \end{cases} \quad (17)$$

根据信杂比定义,式(17)可转变为:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}\left(\frac{SCR - TCR}{\sqrt{2}}\right)] \\ P_0 = \frac{1}{2} [1 - \operatorname{erf}\left(\frac{TCR}{\sqrt{2}}\right)] \end{cases} \quad (18)$$

根据式(18),可以得到符合探测概率和虚警率要求的信杂比值的范围,由于探测概率仅与信杂比值正相关,因此,可以选择信杂比波峰处的波长作为待选探测波段的中

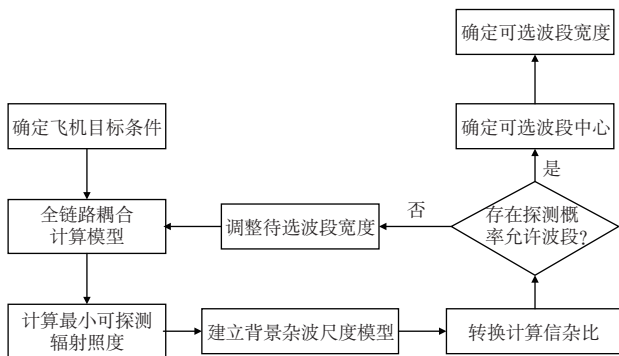


图5 波段选择流程图

Fig.5 Flow chart of band selection

心,即:

$$\lambda_c = \arg \max_{\lambda} [SCR(\lambda)] \quad (19)$$

在确定一个波段中心后,为了选择探测波段的宽度,需要从波段中心向两侧拓展波段宽度。设满足探测概率要求的信杂比值为 SCR_0 ,则当 $SCR(\lambda_c - \Delta\lambda_1) \leq SCR_0$, $SCR(\lambda_c + \Delta\lambda_2) \leq SCR_0$ 时停止拓展,得到可行的探测波段为 $(\lambda_c - \Delta\lambda_1, \lambda_c + \Delta\lambda_2)$

如果需要选择多个波段,则可以排除式(19)得到的波段后重新以式(7)寻找波段中心。

4 仿真结果

根据式(18)计算可得,当 $TCR > 3.1$ 时,探测器虚警率小于0.01%,在此基础上,当 $SCR > 5.5$ 时,探测概率大于99%。因此,综合考虑,当图像信杂比 $SCR > 5.5$ 时,可以认为此时满足探测系统探测指标要求。

图6为探测波段为 $3\mu\text{m}$ 时的飞机顶视仿真图像,在中红外波段,由于辐射温度与气体透过率的关系,飞机尾焰是飞机目标探测中的重点。随着波段不断变化,仿真得到的图像也会随之变化。



图6 探测波段为 $3\mu\text{m}$ 时的飞机顶视仿真图像(经过灰度拉伸)
Fig.6 Aircraft top-view simulation image in $3\mu\text{m}$ detection band (with grayscale stretched)

在 $3\sim 5\mu\text{m}$ 波段,目标辐射亮度与背景辐射亮度分布如图7、图8所示,仿真图像的POE杂波尺度如图9所示,在此基础上我们可以得到如图10所示的基于POE尺度的信杂比结果。

从图7~图9可以看出,目标和背景在某些波长处具有明显的光谱特征,这些光谱特征使仿真图像在这些波长处刚好产生了较高的信杂比。图10对比信杂比信噪比曲线,在图像杂波程度较低的情况下,曲线基本类似。

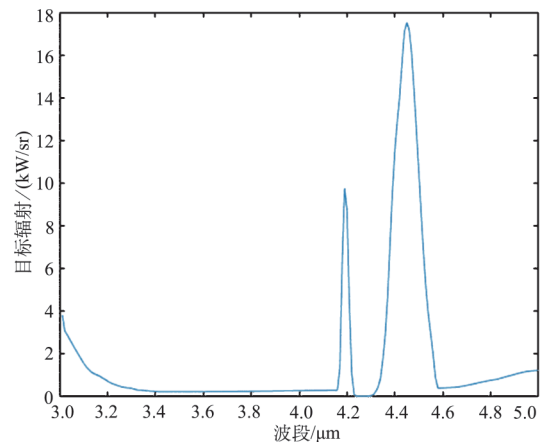


图7 目标辐射亮度
Fig.7 Target radiance

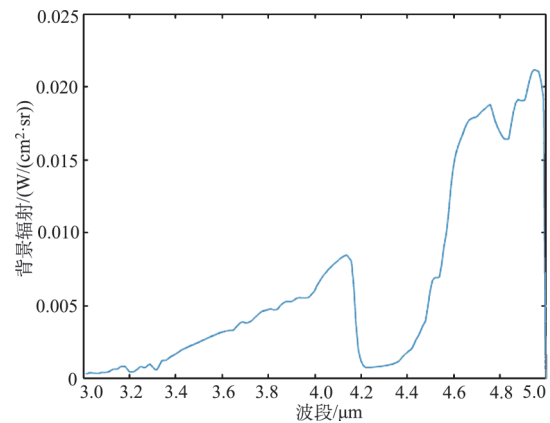


图8 背景辐射亮度
Fig.8 Background radiance

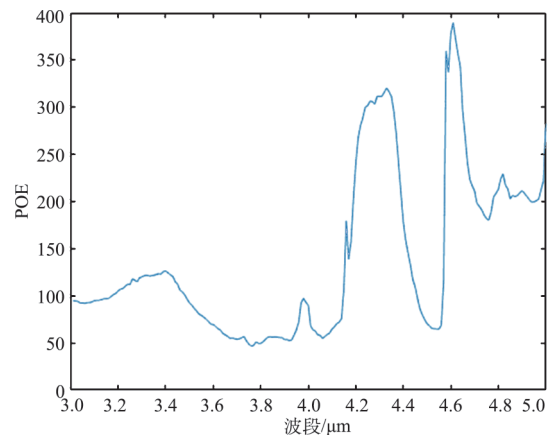


图9 图像POE尺度
Fig.9 POE clutter of the image

结合3.2节所述,在合适的探测阈值($SCR > 5.5$)保证了探测概率的情况下,可以得到在飞机顶视场景下 $3\sim 5\mu\text{m}$ 波

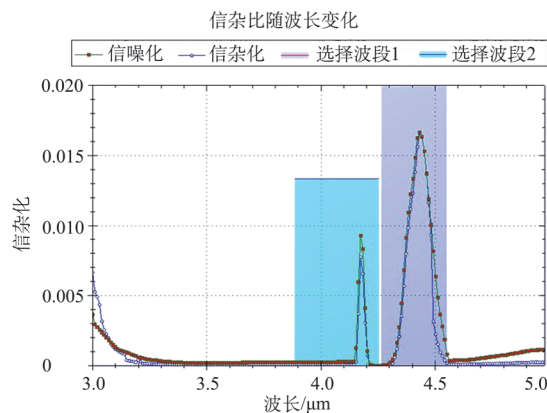


图10 基于POE尺度的信杂比

Fig.10 Signal to clutter based on POE

段探测图像的可选择探测波段。结果见表1。表1中波段2是在波段1宽度内相同积分下由次峰拓展得到,作为波段1的备选波段。

表1 可选择波段
Table 1 Selected band

	波段1	波段2
起始波长/ μm	4.27	3.89
终止波长/ μm	4.57	4.27

5 结论

本文提出了一种新的面向飞机顶视探测的波段选择方法。基于光线追迹的计算机图形学技术,考虑背景和传感器之间的空间相对关系,结合飞机顶视红外辐射、地球表面背景辐射、大气传输辐射,同时基于边缘滤波尺度化度量背景杂波,建立探测器下视场景的信杂比模型。由于信杂比的值会随波长变化,可以根据波峰确定要选择的波段的中心,之后通过分析中心两侧信杂比变化,在探测概率允许下,信杂比相对平缓时得到确定的宽度。用本文给出的飞机顶视探测波段选择方法对天基红外探测系统模型给出的仿真图像进行试验,可以得到合适的探测波段。仿真结果显示,将杂波度量应用于目标探测可以较好地增加目标的探测波段宽度,从而使基于波段选择的探测得以具有更佳的性能。

AST

参考文献

[1] 吴昊. 国外天基红外系统的发展动向与分析[J]. 舰船电子工程, 2013, 33(12):145-148.

Wu Hao. Development trend and analysis of the abroad space-based infrared system[J]. Ship Electronic Engineering, 2013,33 (12): 145-148. (in Chinese)

[2] 张伟, 曹移明, 丛明煜, 等. 采用杂波模型进行天基目标红外探测波段的选择[J]. 光学精密工程, 2010, 18(2):341-348. Zhang Wei, Cao Yiming, Cong Mingyu, et al. Band selection for space-based infrared target detection using background clutter model[J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18 (2):341-348. (in Chinese)

[3] 祁鸣, 刘德连, 张二磊. 面向飞机目标探测的波段选择方法[J]. 红外技术, 2011, 33(8):435-439. Qi Ming, Liu Delian, Zhang Erlei. Band selection for aircraft targets detection[J]. Infrared Technology, 2011, 33(8):435-439. (in Chinese)

[4] 刘尊洋, 叶庆, 李修和, 等. 红外预警卫星直视地表波段选择及探测能力[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(2):82-87. Liu Zunyang, Ye Qing, Li Xiuhe, et al. Choice and detectability of see-to-ground waveband of infrared warning satellite[J]. Infrared and Laser Engineering, 2018, 47(2):82-87. (in Chinese)

[5] 吴鑫. 基于GPU的光电目标检测方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015. Wu Xin. Optoelectronic target detection methods based on GPUs[D]. Xi'an: Xidian University, 2015. (in Chinese)

[6] 郭晨光. 基于光线跟踪的高真实感红外三维场景仿真方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013. Guo Chenguang. Research on method of high realistic 3D infrared simulation based on ray tracing[D]. Xi'an: Xidian University, 2013. (in Chinese)

[7] 吴沿庆, 廖守亿, 张作宇. 基于Fluent的飞机红外辐射特性建模与仿真[J]. 红外技术, 2017, 39(6):548-552. Wu Yanqing, Liao Shouyi, Zhang Zuoyu. Modeling and simulation of airplane infrared signature using Fluent[J]. Infrared Technology, 2017, 39(6): 548- 552. (in Chinese)

[8] 曹毅刚. 尾焰红外辐射的数值仿真计算[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014. Cao Yigang. Numerical simulation of infrared radiation plume calculations[D]. Xi'an: Xidian University, 2014. (in Chinese)

[9] 张敏. 典型天气大气辐射传输特性模型设计与实现[D]. 大连: 大连海事大学, 2015. Zhang Min. Typical weather atmospheric radiation transfer characteristic model design and implementation[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.

- Zhang Min. Design and implementation of the model in atmospheric radiative transmission characteristics for typical weather[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015. (in Chinese)
- [10] 张建奇, 方小平, 张海兴, 等. 自然环境下地表红外辐射特性对比研究[J]. 红外与毫米波学报, 1994(6):418-424.
- Zhang Jianqi, Fang Xiaoping, Zhang Haixing, et al. Comparative studies of the thermal IR radiation characteristics of different background under natural environment[J]. Journal of Infrared Millimeter Waves, 1994(6):418-424. (in Chinese)
- [11] 李倩. 复杂背景杂波量化及光电成像系统性能预测研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- Li Qian. Research of background clutter quantification and the prediction and evaluation of electro-optic imaging systems[D]. Xi'an: Xidian University, 2013. (in Chinese)
- [12] 董玉翠. 特定背景下点目标探测最优波段选择方法的研究[D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2015.
- Dong Yucui. Research on method of the optimal band selection of spot target detection in specific background[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, 2015. (in Chinese)

作者简介

吴鑫(1986—)男, 博士, 讲师。主要研究方向: 光电场景仿真、微纳光学。

Tel: 18509290735

E-mail: xwu@xidian.edu.cn

陈熠韬(1994—)男, 硕士。主要研究方向: 光电成像系统建模与可视化。

Tel: 15991684325

E-mail: 15991684325@163.com

杨琛(1986—)女, 博士, 讲师。主要研究方向: 光场获取、数字信息处理。

Tel: 17791463875 E-mail: cyang@xaut.edu.cn

Band Selection for Aircraft Target Detection Based on Background Clutter Estimation

Wu Xin¹, Chen Yitao^{1,*}, Yang Chen²

1. School of Physics and Optoelectronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China

2. School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

Abstract: Aiming at the detection and stealth countermeasures of aircraft targets, the paper proposed a new band selection method for target detection based on background clutter estimation. The radiation model which coupled the characteristics of earth surface, atmosphere and aircraft targets is established by using ray tracing (a computer graphics rendering technique). Base on the POE clutter level, a signal to clutter (SCR) model is built to determine the width of selected band. Applied the selected band to the top-view detection of aircraft, the results indicate that our new band selection method can improve the width of the detection band and the system's performance.

Key Words: top-view aircraft; band selection; clutter; ray tracing; infrared radiation

Received: 2019-01-02; **Revised:** 2019-01-28; **Accepted:** 2019-02-15

Foundation item: Aeronautical Science Foundation of China (20160112003); Natural Science Foundation of Shanxi Provincial Department of Education (17JK0536); Key Laboratory Foundation of Spectral Imaging Technology of Chinese Academy of Sciences (LSIT001713D)

*Corresponding author. Tel.: 15991684325 E-mail: 15991684325@163.com