

文章编号: 1672-8785(2013)10-0031-06

一种基于视觉显著图的舰船红外图像目标检测方法

马新星¹ 沈同圣² 徐 健¹

(1. 海军航空工程学院控制工程系, 山东烟台 264001;

2. 中国国防科技信息中心, 北京 100142)

摘 要: 提出了一种基于视觉显著图的红外舰船目标定位方法, 即通过改进的 Itti 模型生成视觉显著图, 并基于视觉显著图分割出目标区域, 从而实现目标检测。先用小波变换替代 Itti 模型中的高斯滤波来生成图像多尺度金字塔, 然后用 center-surround 算子提取出多尺度的视觉差异特征, 并对生成的视觉特征图进行合成, 生成显著图。最后, 利用阈值分割方法分割出目标区域, 并对原始图像进行标记, 从而实现目标检测。实验结果表明, 与传统的 Otsu 阈值分割方法相比, 该方法能够准确检测出目标区域。

关键词: 目标检测; 视觉注意机制; 感兴趣区域; 显著图

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.10.007

Algorithm for Detecting Ship Target in Infrared Image Based on Saliency Map

MA Xin-xing¹, SHEN Tong-sheng², XU Jian¹

(1. Department of Control Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China; 2. China Defence Science and Technology Information Center, Beijing 100142, China)

Abstract: An infrared target location method based on a saliency map is proposed. That is, the target detection is implemented by using an improved Itti model to generate a saliency map and segmenting the target area in the saliency map. Firstly, the wavelet transformation other than the Gaussian filter in the Itti model is used to generate a multi-scale pyramid. Then, the center-surround operators are used to extract multi-scale saliency difference signatures and the generated saliency signature maps are combined into a saliency map. Finally, a threshold segmentation method is used to segment the target area. The original images are marked so as to implement target detection. The experimental result shows that compared with the traditional Otsu threshold segmentation method, this method can detect the target area more accurately.

Key words: target detection; visual attention mechanism; region of interest; saliency map

0 引言

对于一幅图像, 人们所关注的区域通常集

中在少数几个关键区域, 即感兴趣区域 (Regions of Interest, ROI)。相对于感兴趣区域, 人们不大关注其他区域的信息, 这些信息则会变成冗余

收稿日期: 2013-08-27

作者简介: 马新星 (1983-), 男, 江苏如皋人, 工程师, 主要研究方向为图像理解与目标识别。

E-mail: xinxing_2006@tom.com

信息。因此,通过提取感兴趣区域可以降低待处理图像的数据量,提高图像处理与分析的效率。

基于视觉注意机制的感兴趣区域提取方法是一类有效的 ROI 提取方法。眼动实验 (Eyemovement)^[1] 的结果表明,影响人类视觉注意的因素主要包括对比度、尺寸、形状、颜色、运动、位置以及观察者自身的素质 (职业、受教育情况和性别) 等。认知心理学家根据人类的这些认知共性,提出了许多用于模拟人类视觉注意机制的视觉注意数学模型。其中,Itti 模型是一类比较具有代表性的表示模型。该模型^[2] 把图像中的像素点在颜色、亮度和方向三方面与背景的特征对比定义为该点的显著值,然后将其作为低层视觉特征进行融合而生成显著图,并使用“胜者全赢”(Winner-Take-All, WTA) 神经网络按照显著度递减的顺序依次提取出图像中的显著区域^[3]。

在检测舰船目标的过程中,舰船目标通常处在感兴趣区域内。因此,本文采用基于 Itti 模型的感兴趣区域提取方法检测舰船目标区域。针对红外舰船图像为灰度图像,而且无法直接应用 Itti 模型的问题,我们提出了一种改进方法,即通过用小波变换替代高斯滤波来生成特征金字塔,并提取视觉特征合成显著图,然后再基于视觉显著图采用阈值分割方法检测目标。

1 Itti 模型简介

Itti 等人提出的基于显著度的注意计算模型,利用神经生理学中感受野和侧抑制等研究成果模拟人类视觉注意机制,并以像素与背景的特征对比作为影响人类视觉注意机制的重要因素^[4]。该模型首先提取亮度、颜色和方向三类视觉特征,运用高斯滤波生成特征金字塔,利用 center-surround 差减算子求取特征在不同尺度上的差值,然后对它进行归一化,合成各类特征的显著性特征图,并融合生成显著图,最后利用 WTA 网络提取出感兴趣区域^[2]。图 1 为 Itti 模型的结构图。

1.1 视觉特征提取

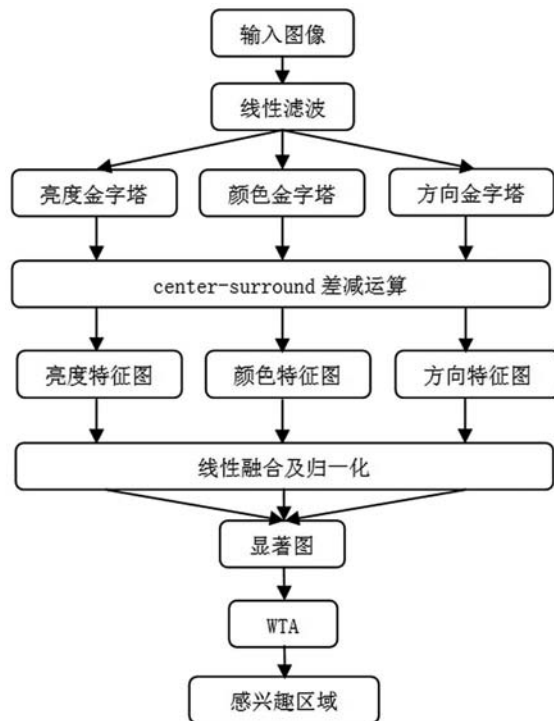


图 1 Itti 模型的结构图

Itti 模型首先分别提取颜色、方向和亮度三类视觉特征。

1.1.1 亮度特征

将亮度特征定义为 $I = (r + g + b)/3$, 其中 r 、 g 、 b 分别表示彩色图像的红、绿、蓝 3 色分量。

1.1.2 颜色特征

分别提取红、绿、蓝、黄 4 个颜色通道的特征分量, 分别用 R 、 G 、 B 、 Y 表示。定义: $R = r - |g + b|/2$, $G = g - |r + b|/2$, $B = b - |r + g|/2$, $Y = (r + g)/2 - |r - g|/2$ 。

1.1.3 方向特征

Gabor 滤波器与生物视觉皮层方向选择神经元的感受野脉冲响应相类似, 应用 Gabor 滤波器分别提取 $\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$ 4 个方向的方向特征。

1.2 生成特征金字塔

分别对亮度特征分量 I , 颜色特征分量 R 、 G 、 B 、 Y 和方向特征分量 $O(\theta)$ 进行高斯滤波, 生成亮度特征金字塔 $I(\sigma)$, 颜色特征金字塔 $R(\sigma)$ 、 $G(\sigma)$ 、 $B(\sigma)$ 、 $Y(\sigma)$ 和方向金字塔

$O(\sigma, \theta)$ 。其中, σ 表示尺度, $\sigma \in \{0, 1, \dots, 8\}$ 。

1.3 生成显著图

首先, 运用 center-surround 差减算子在“中心”细尺度 c 和“周边”粗尺度 s 所对应的特征金字塔分量图之间求取差值, 得到特征图, $c \in \{2, 3, 4\}$, $s = c + \delta$, $\delta \in \{2, 3\}$ 。然后对特征图进行归一化, 并通过线性组合得到最终的显著图。最后, 通过 WTA 神经网络提取出感兴趣区域。

2 基于改进的 Itti 模型的舰船目标检测

2.1 小波特征金字塔

Itti 模型针对彩色图像, 分别提取亮度、颜色和方向三个基本的视觉特征。在红外舰船图像目标检测应用中, 所处理的红外图像为灰度图像, 没有颜色特征可以利用, 而且红外舰船图像的信噪比低, 方向特征不明显。依据 Itti 模型提取方向特征是不可行的, 因而 Itti 模型无法直接应用于红外舰船图像。

对图像进行小波变换。小波系数绝对值的大小反映了图像区域的灰度变化情况。在大尺度下, 小波系数的绝对值大, 表明对应的图像区域内存在较大的灰度变化, 因而小波系数绝对值大的点可作为感兴趣点。小波变换的这一特征可作为一类视觉特征用于检测感兴趣区域^[3]。

小波变换在不同频带和方向上对原始图像进行分解, 生成水平、垂直和对角方向上的分量。各分量分别包含水平、垂直和对角方向上的方向信息。可以利用这些信息生成方向特征图。而且小波变换与人眼视觉系统在处理输入信号的方式上具有相似之处。小波分解后会形成一种多尺度的塔形数据结构。这种多分辨率特征与人眼视觉系统的特征相匹配, 更符合人眼的视觉特征^[5]。

基于上述原因, 本文用小波分解替代高斯滤波方法来生成图像的多尺度特征金字塔。

2.2 生成显著图

在小波分解生成的多尺度金字塔的基础上, 采用 Itti 模型的 center-surround 算子生成特征图并通过线性组合生成显著图^[6]。

(1) 运用 center-surround 算子生成特征差值图 $I(c, s)$ 、 $V(c, s)$ 、 $H(c, s)$ 和 $D(c, s)$ 。

(2) 运用归一化算子 $N(\cdot)$ 对特征差值图进行归一化和线性融合, 生成 4 幅显著性特征图^[7]:

$$\bar{I} = \oplus_{c=2}^4 \oplus_{s=c+3}^{c+4} N(I(c, s)) \quad (1)$$

$$\bar{V} = \oplus_{c=2}^4 \oplus_{s=c+3}^{c+4} N(V(c, s)) \quad (2)$$

$$\bar{H} = \oplus_{c=2}^4 \oplus_{s=c+3}^{c+4} N(H(c, s)) \quad (3)$$

$$\bar{D} = \oplus_{c=2}^4 \oplus_{s=c+3}^{c+4} N(D(c, s)) \quad (4)$$

(3) 对 4 幅显著性特征图进行归一化并求和, 生成最终的显著图:

$$S = \frac{1}{4}(N(\bar{I}) + N(\bar{V}) + N(\bar{H}) + N(\bar{D})) \quad (5)$$

2.3 舰船目标检测

在得到显著图之后, 对其进行阈值分割, 得到目标潜在区域。为了使算法的运用更加具有灵活性, 以适应不同类型及不同条件下采集的红外舰船图像, 本文采用动态阈值确定方法。图 2 为本文算法的流程图。阈值选取基于显著图直方图, 从显著度值的初始等级开始逐步累加显著图点数目。当累加数目达到总像素数目的 $Hratio$

时, 将对应的显著度值作为分割阈值 (threshold)^[8]。先设定一个 $Hratio$ 的初始值即初始阈值 (如 0.95), 然后根据目标分割结果修改其取值并再次进行分割, 直至准确检测出目标区域为止。

$$bm(x) = \begin{cases} 1, & sm(x) \geq threshold \\ 0, & sm(x) < threshold \end{cases} \quad (6)$$

式中, sm 表示显著图, bm 表示阈值分割后的二值图像^[9]。

最后, 利用分割后的二值图像目标区域对原始图像进行标记, 即可检测出目标区域^[10]。

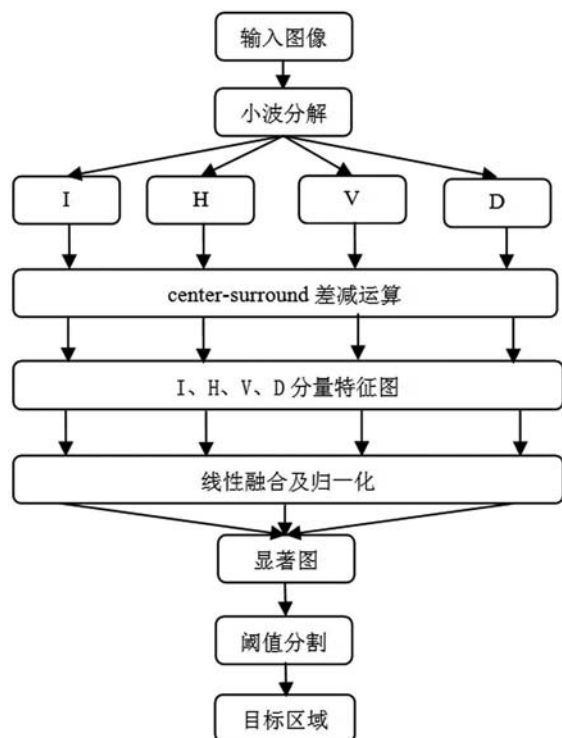


图2 本文算法的流程图

3 仿真实验

分别运用本文方法及传统的 Otsu 阈值分割方法对选用的 3 幅典型红外舰船实拍图像进行对比实验。图 3(a) 为远距离拍摄的小型舰船图像, 目标在成像画面中占据的面积较小, 红外特征不明显; 图 3(b) 为中等距离拍摄的舰船图

像, 目标在成像画面中占据一定面积, 红外特征依稀可见; 图 3(c) 为近距离拍摄的舰船图像, 舰船在成像画面中占据的面积较大, 红外特征明显。这三幅图像均为 $300 \times 200 \times 8\text{bits}$ 灰度图像。图 4 为用本文算法生成的显著图, 图 5 所示为基于显著图的阈值分割结果, 图 6 所示为最终检测出的目标区域。图 7 为用 Otsu 方法分割后得到的二值图像, 图 8 所示为用 Otsu 方法分割出的目标区域。从实验结果中可以看出, 本文算法能够较好地检测出目标区域。图 6(c) 中的部分目标区域被当作非显著区域而受到了抑制, 但整个目标区域的轮廓还是被成功地检测出来了。Otsu 方法是一种使类间方差最大的自动确定阈值的方法。其基本思想是, 把图像像素分为背景和背景两类, 然后通过搜索计算类间方差的最大值得到最优阈值, 使得目标与背景之间具有最好的分离性^[11]。传统的 Otsu 方法对与目标灰度相近的天空背景及部分海面背景不能很好地加以抑制, 而是将它们与目标一起分割出来, 如图 7(a)、图 7(b)、图 8(a) 和图 8(b) 所示; 而图 3(c) 中只有舰船目标与海面背景, 没有天空背景, 而且背景与目标之间的灰度差别比较明显, 所以分割效果很好, 如图 7(c) 和图 8(c) 所示。

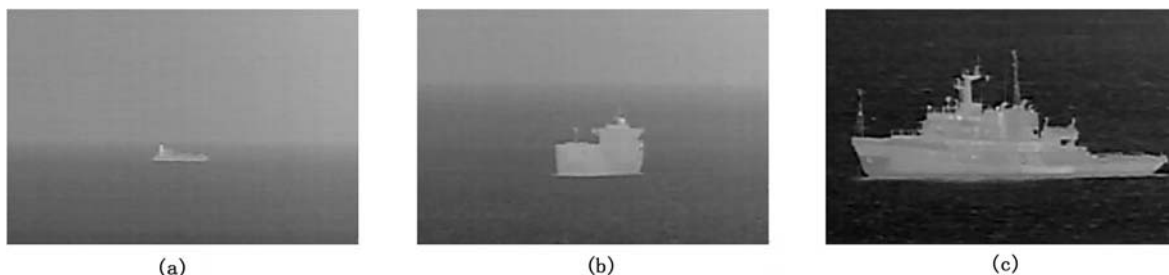


图3 舰船红外图像

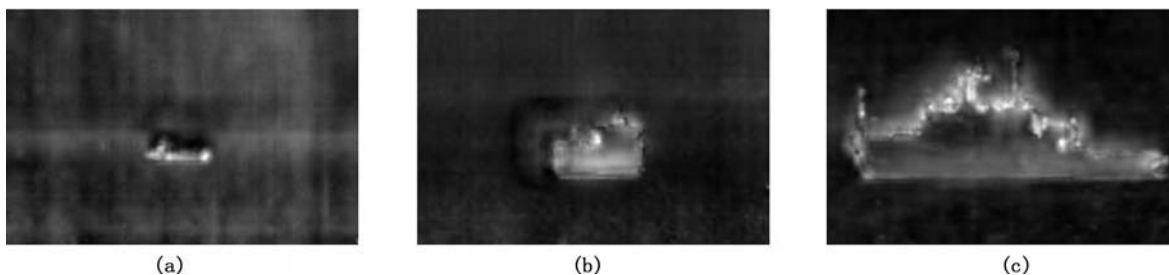


图4 用本文算法生成的显著图



图 5 用本文算法分割后生成的二值图

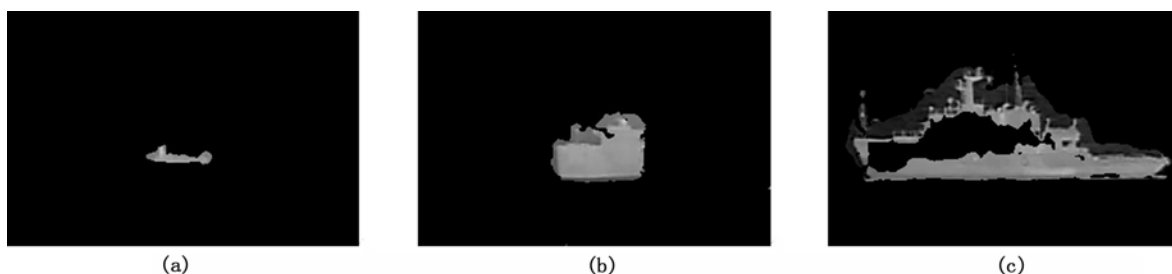


图 6 用本文算法分割出的目标区域



图 7 用 Otsu 方法分割后得到的二值图像

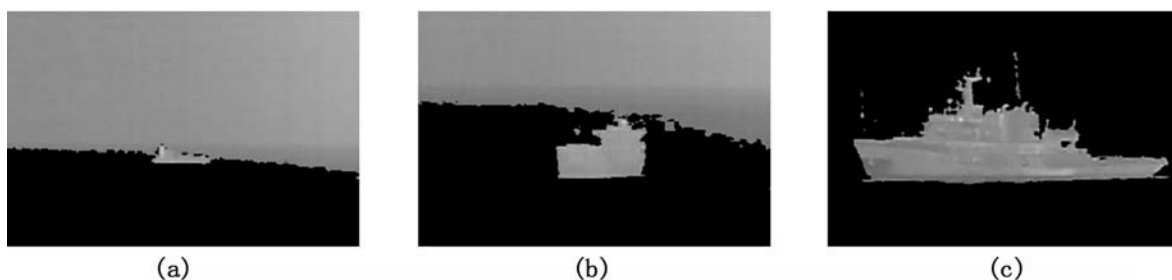


图 8 用 Otsu 方法分割出的目标区域

4 结束语

提出了一种基于视觉显著图的舰船红外图像目标检测方法。该方法运用改进的 Itti 模型生成显著图,并基于显著图运用阈值分割方法分割出目标区域,从而实现目标检测。首先,运用改进的 Itti 模型生成显著图。根据小波分解与人眼视觉系统特征相匹配的特性,针对红外舰船图像为灰度图像、信噪比低以及方向特征不明显等特点,用小波变换替代 Itti 模型的高斯滤波来

生成图像的多尺度金字塔。使用 center-surround 算子提取多尺度的视觉差异特征图,并对其进行归一化和线性组合,生成显著图。最后,基于显著图,运用阈值分割方法检测出显著性目标区域。实验结果表明,与 Otsu 方法相比,该方法对背景干扰因素的抑制效果更好,因而能准确检测出目标区域。

参考文献

- [1] Schall J D, Hanes D P, Taylor T L. Neural Control

- of Behavior: Countermanding Eye Movements [J]. *Psychological Research*, 2000, **63**(3-4): 299-307.
- [2] Itti L, Koch C, Niebur E. A Model of Saliency-based Visual Attention for Rapid Scene Analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, **20**(11): 1254-1259.
- [3] 王艳娟, 陈晓红, 黄晓欣. 图像感兴趣区域检测技术 [J]. *计算机与数字工程*, 2007, **35**(5): 138-141.
- [4] 王晓晓, 刘丹华. 基于改进区域生长的图像显著区域的提取方法 [J]. *现代计算机*, 2012, **3**: 27-31.
- [5] 薛海斌, 何东健. 基于小波和生物视觉机制的感兴趣区域提取方法 [J]. *杨凌职业技术学院学报*, 2011, **10**(1): 13-15.
- [6] 靳薇, 张建奇, 张翔. 基于视觉注意力模型的红外目标检测 [J]. *红外技术*, 2007, **29**(12): 720-723.
- [7] Itti L, Koch C. Feature Combination Strategies for Saliency-based Visual Attention Systems [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2001, **10**(1): 161-169.
- [8] 刘松涛. 面向目标识别的图像融合技术研究 [D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2006.
- [9] 程聪, 戴朝辉. 基于视觉注意的图像感兴趣区域分割算法 [J]. *郑州轻工业学院学报 (自然科学版)*, 2011, **26**(2): 111-115.
- [10] 张华伟, 郑娅峰, 张巧荣. 基于视觉注意机制的彩色图像分割 [J]. *计算机工程与应用*, 2011, **47**(10): 154-157.
- [11] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram [J]. *IEEE Transactions on System Man Cybernetics*, 1979, **9**(1): 62-66.

(上接第 30 页)

4 结论

本文比较完整地建立了基于有限体积法的固液混合火箭发动机火箭尾焰红外辐射特性的求解模型。流场计算采用数值计算软件 FLUENT 进行。采用以分子光谱数据库 HITRAN 和高温燃气光谱数据库 HITEMP 为基础编写的逐线积分法程序计算了尾焰燃气的吸收系数, 根据米氏散射模型计算了固体粒子的辐射特性参数。最后通过基于有限体积法开发的程序计算出了固液混合火箭发动机尾焰的红外辐射特性。同时通过用红外热像仪进行试验, 对计算模型进行了验证。本文所建立的求解模型与红外热像仪的试验结果以及其他文献的结果一致, 表明该方法是可行而且可靠的。

参考文献

- [1] 谈和平, 夏新林. 红外辐射特性与传输的数值计算 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006: 139-156.
- [2] Liu J, Shang H M, Chen Y S, et al. Investigation of Rocket Plume Radiation by Discrete Ordinates Method [R]. 1996, AIAA-96-0348.
- [3] Freeman G N, Ludwig C B, Malkmus W, et al. Development and Validation of Standardized Infrared Radiation Model (SIRRM) [R]. 1979, AFRPL-79-55.
- [4] Burt J M, Boyd I D. A Monte Carlo Radiation Model for Simulating Rarefied Multiphase Plume Flows [R]. 2005, AIAA-2005-4691.
- [5] Ludwig C B, Malkmus W, and J. walker et al. The Standard Infrared Radiation Model [R]. 1981, AIAA 81-1051.
- [6] 詹光, 李椿萱. 发动机燃气喷流红外辐射场的数值模拟 [J]. *北京航空航天大学学报*, 2005, **31**(8): 829-833.
- [7] L.S. Rothman, I.E. Gordon, R.J. Barber, et al. HITEMP, the High-temperature Molecular Spectroscopic Database [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2009, **111**(15): 2139-2150.
- [8] L.S. Rothman, I.E. Gordon, A. Barber, et al. The HITRAN 2008 Molecular Spectroscopic Database [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2009, **110**(9/10): 533-572.
- [9] 朱定强, 薛莲, 蔡国飙, 等. 轨控发动机真空流场计算 [J]. *宇航学报*, 2006, **27**(5): 830-833, 875.
- [10] M.F. Modest. Radiative Heat Transfer [M]. 2nd ed New York: Academic Press, 2003: 288-352.
- [11] Dirscherkl R. Rocket Motor Plume Technology, Part 6: Plume Radiation [R]. 1993, AD-A268 719.
- [12] 刘林华, 谈和平, 余其铮. 气体污染物的红外辐射特性 [J]. *燃烧科学与技术*, 1999, **5**(3): 251-255.
- [13] 郝金波, 董士奎, 谈和平. 固体火箭发动机尾焰红外特性数值模拟 [J]. *红外与毫米波学报*, 2003, **22**(4): 246-250.
- [14] Kim M Y, Yu M J, Cho J H, et al. Influence of Particles on Radiative Base Heating from the Rocket Exhaust Plume [J]. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2008, **45**(3): 454-458.
- [15] Beak S W, Kim M Y. Analysis of Radiative Heating of a Rocket Plume Base with the Finite-volume Method [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1997, **40**(7): 1501-1508.
- [16] 张小英. 火箭发动机羽流红外特性的数值计算 [R]. 北京: 北京航空航天大学, 2004.
- [17] 姚连兴, 仇维礼, 王福恒. 目标与环境的光学特性 [M]. 北京: 宇航出版社, 1995: 155-158.