

文章编号 1004-924X(2011)12-3056-08

基于区域模糊阈值的前视红外目标识别

高 晶^{1*}, 孙继银¹, 刘 婧², 吴 昆¹

(1. 第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025; 2. 96411 部队, 陕西 宝鸡 721006)

摘要:针对用前视红外(FLIR)目标法识别复杂地面时,存在无直接可用基准图、背景干扰严重、目标与背景灰度差异小等问题,提出了一种基于区域模糊阈值的目标识别方法。首先,在建立多尺度空间的基础上,设计多阈值算法,生成显著图;其次,引入基于图像模糊率的区域模糊阈值方法,改进 Itti 模型,构建候选目标筛选模型;最后,对检测结果运用积分归一化积相关(Nprod)算法进行精匹配,确定识别目标。实验结果表明,与 Hausdorff 距离算法相比,该识别算法匹配率提高了近 20%,花费时间缩短了 3/4;与积分 Nprod 算法相比,提出的算法匹配率提高了近 40%,时间缩短了 1/2。结果显示,对于复杂背景的前视红外目标,该方法具有匹配率高、速度快、精度高等优点。

关键词:多阈值算法;区域模糊阈值;目标识别;Itti 模型;Nprod 算法

中图分类号:TP391;TN219 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111912.3056

FLIR target recognition based on local fuzzy threshold

GAO Jing^{1*}, SUN Ji-yin¹, LIU Jing², WU Kun¹

(1. Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China; 2. 96411 Army, Baoji 721006, China)

* Corresponding author, E-mail: myfairycrystal@163.com

Abstract: A target recognition method based on local fuzzy thresholds is presented to solve the problems of serious background interference, the absence of reference map for complex terrain objects and the low contrast between the target and the background. Firstly, a multi-threshold algorithm is designed and a saliency map is produced based on the establishment of multi-scale space. Then, the Itti model is improved and a candidate target filtering model is constructed by using the local fuzzy threshold method based on an image fuzzy rate. Finally, the detected results are precisely matched using Integral Nprod to determine the right one. The experimental results indicate that the match rate of the algorithm has increased nearly by 20% and 40% and the time consumption by 75% and 50% as compared with those of Hausdorff distance algorithm and Integral Nprod algorithm, respectively. In conclusions, the new algorithm has the advantages of high match rate, high speed and high accuracy for FLIR targets in complicated backgrounds.

Key words: multi threshold algorithm; local fuzzy threshold; target recognition; Itti model; Nprod algorithm

收稿日期:2011-05-04;修订日期:2011-07-18.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61003148)

1 引 言

前视红外(FLIR)装置具有灵敏度高、测量距离远、搜索效率高和无镜面回波等优点。将自动目标识别(Automatic Target Recognition, ATR)技术应用于前视红外装置,可有效提高目标识别精度。复杂环境下,待识别的目标尺寸较小且数量较多^[1],目标本身的灰度与背景差异较小,尤其在红外拍摄装置距目标背景较远时,将不利于匹配识别^[2]。

目前基于生物体的计算机视觉模型是图像处理领域的一个研究热点^[3]。最经典的视觉注意模型是由美国加州大学 Itti 依据图像特征整合理论提出的 Itti 模型^[4],该模型把图像中像素在颜色、亮度、方向等方面与背景的对比定义为该点的显著值(Saliency)。显著值的产生是由于视觉本身具有能够引起观察者注意的特殊属性,一般采用显著值的大小来描述对比强度。该模型首先提取图像的多种初级视觉特征,并通过 Center-Surround 算子^[5]计算各种特征在不同尺度下的视觉反差,得到各自特征的显著图,最后把不同特征对应的显著图进行融合,从而找出反应视觉显著信息的注意焦点(Focus of Attention, FOA)^[6],得到感兴趣区域(Region of Interesting, ROI)^[7]。

由于在图像匹配之前,需要进行大量反复的建模来确定图像的 ROI,从而增加了运算复杂性、降低了匹配速度,使得目标提取难度增大,影响目标识别效果。为提高图像匹配效果,常用方法是将图像分为目标区域和背景区域,其中目标区域的检测是目标识别的关键,文献[8-9]分别采用基于统计的检测方法、基于灰度直方图的检测方法(阈值法)和基于边缘的检测方法进行目标区域检测。但统计法易受背景噪声以及背景条件(如图像对比度等)的影响,难以保证检测效果;阈值法对于图像中不存在明显灰度差异或各物体灰度值范围有较大重叠时,难以得到准确结果。当图像灰度层次较丰富,区域类别较多时,上述方法的检测效果将受到极大影响。

在图像精确匹配方面,文献[10]给出的基于 Hausdorff 距离的匹配方法和文献[11]给出的 Nprod 匹配算法都属于国内外经典的匹配算法, Hausdorff 距离算法对噪声的影响具有较强的鲁

棒性, Nprod 匹配算法不受图像比例因子的影响且抗白噪声干扰能力强,虽然 2 种算法的匹配思想不同,但在实时图中都采用穷举法搜索每个位置,排列每个像素计算结果,得出最佳匹配结果,计算量比较大。

为此,本文在 Itti 模型的基础上,引入红外图像多阈值检测算法,提出一种基于区域模糊阈值的目标识别方法,以缩小显著区域检测范围,提高目标识别的概率与速度。首先,在建立多尺度空间的基础上提出多阈值算法生成显著图;其次,引入基于图像模糊率或模糊熵的区域模糊阈值方法,改进 Itti 模型,进而得到候选目标筛选模型;最后通过阈值检测、筛选候选目标、积分 Nprod 算法找出最终匹配结果。实验证明,该方法有效解决了尺寸较小、背景复杂的 FLIR 目标匹配识别难的问题,对于复杂地面目标前视红外图像的匹配识别具有一定的应用价值。

2 显著图生成

Itti 模型是一种类生物方法,利用生物视觉注意机制计算图像中最显著部分,并将其表示为一幅灰度图,即显著图^[12],然后根据显著图中的注意焦点,得到感兴趣区域。

显著图的生成有利于目标与背景的分割,但由于待识别目标较小且背景复杂,本文为更好地检测目标,在多尺度空间建立的基础上,设计了多

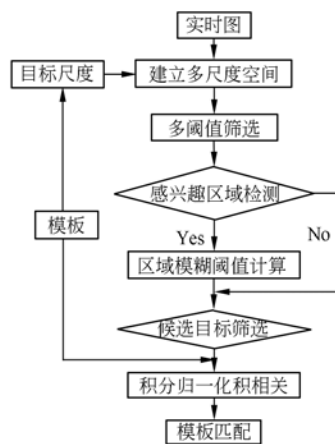


图 1 基于区域模糊阈值的目标识别方法流程图

Fig. 1 Flow chart of target recognition algorithm based on local fuzzy threshold

阈值算法,提出了一种改进的显著图生成方法,以提高检测准确度,精确识别复杂背景下地面目标。提出的基于区域模糊阈值的识别方法流程图如图 1 所示。

2.1 多尺度空间建立

采用 Lindeberg 的尺度空间理论^[13],根据目标基准图,获得目标区域的特征尺度^[14],并对原始图像进行尺度变换,获得图像多尺度^[15]下的尺度空间表示序列。

尺度空间的核心思想是将初始图像 $I(x, y)$ 与高斯函数做卷积,通过高斯参数变化,获得不同尺度下的图像。高斯卷积核是实现尺度变换的唯一线性核,一副二维图像的尺度空间定义为:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y), \quad (1)$$

其中 $G(x, y, \sigma)$ 是尺度可变高斯函数:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}, \quad (2)$$

(x, y) 是空间坐标, σ 是尺度坐标。

本文根据基准图的特征尺度 δ , 在实时图中建立尺度参数为 $\delta-3$ 至 $\delta+2$ 的 6 级高斯多尺度空间,如图 2 所示:

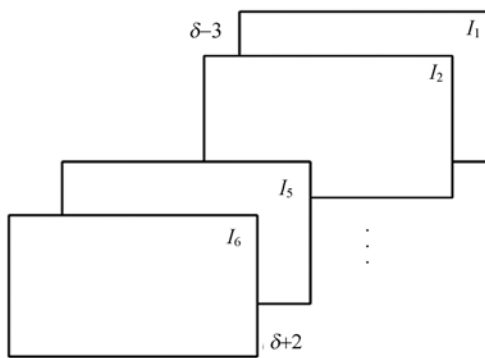


图 2 高斯尺度空间

Fig. 2 Gaussian scale space

根据高斯尺度空间原理,运用 Center-Surround 算子计算各种特征在不同尺度下的视觉反差,建立高斯差分空间。针对 6 级高斯尺度空间,定义尺度 $c \in \{1, 2, 3\}$, 尺度 $s = c + \sigma$, 其中 $\sigma \in \{2, 3\}$ 。利用双插值方法,将高斯差分空间定义为:

$$DOG(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_c^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_c^2} \cdot \frac{1}{2\sigma_c^2} - \frac{1}{2\pi\sigma_s^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma_s^2} \cdot \frac{1}{2\sigma_s^2}, \quad (3)$$

即差分图像定义为:

$$D_i(x, y) = I_{c,s}(x, y) = |I_c(x, y) - I_s(x, y)|. \quad (4)$$

2.2 显著图生成

在 Itti 模型的基础上提取图像多种初级视觉特征,对每幅差分图像进行归一化处理,使图像中每个点的像素值集中在 $[0, 1]$ 范围内。按照归一化计算原理,高斯差分图像定义为 D_i' :

$$D_i'(x, y) = \frac{D_i(x, y) - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}, \quad (5)$$

其中, d_{\max} 和 d_{\min} 是差分图像 D_i 中最大和最小像素值。

对于分布较大且目标位置不确定的图像,物体和背景的对比度在图像各处不一致,若全图仅采用一个阈值进行检测,将会忽略目标或者为待检测目标增加干扰因素,最终无法准确确定 ROI。为此,本文将高斯差分空间中每一幅差分图像平均分成 n 个区域,记为 P_j (这里取 $n=4, j=1, \dots, 4$), 区域大小为 $X \times Y$, 如图 3 所示。



图 3 四等分差分图像

Fig. 3 Quartered difference image

每个区域的阈值采用该区域标准差 σ_j 进行归一化计算。

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{N} \sum_{p \in P_j} (p - \frac{1}{N} \sum_{p \in P_j} p)^2, \quad (6)$$

$$\sigma_{i,j} = \sigma_j / \max(I_i(x, y)), \quad (7)$$

式中, p 为差分图像区域中的像素点, N 为每一区域像素点的个数。

根据局部区域阈值,采用每层差分图像中不同区域阈值对相应区域进行检测筛选,精确估计像素的反差值,并定义检测准则为:

$$\begin{cases} D'_{i, p \in P_j}(x, y) = 1 & p \geq \omega \times \sigma_{i,j} \\ D'_{i, p \in P_j}(x, y) = 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (8)$$

其中 ω 为相应系数, $i=1, \dots, 6; j=1, \dots, 4$ 。

每层差分空间的区域采用相应的阈值检测并进行视觉反差计算,反差越大,则代表该区域越容易吸引视觉注意力,即对差分空间选取多个阈值进行处理。显著图结果由多幅筛选后的差分图像融合得出:

$$D(x, y) = \underset{i=1}{\overset{6}{\text{XOR}}}(D'_i(x, y)) . \quad (9)$$

图 4(a)为 FLIR 实时图;(b)为尺度空间中的差分图像(第 5 层 $D_5(x, y)$);(c)为差分图像经多阈值处理后的效果图($D_5'(x, y)$);(d)为最终显著图。由图 4 可知,在经过多阈值筛选后生成的显著图中,响应强的点较集中,即 FOA 十分明显,以便于更好地进行背景与目标的分离。

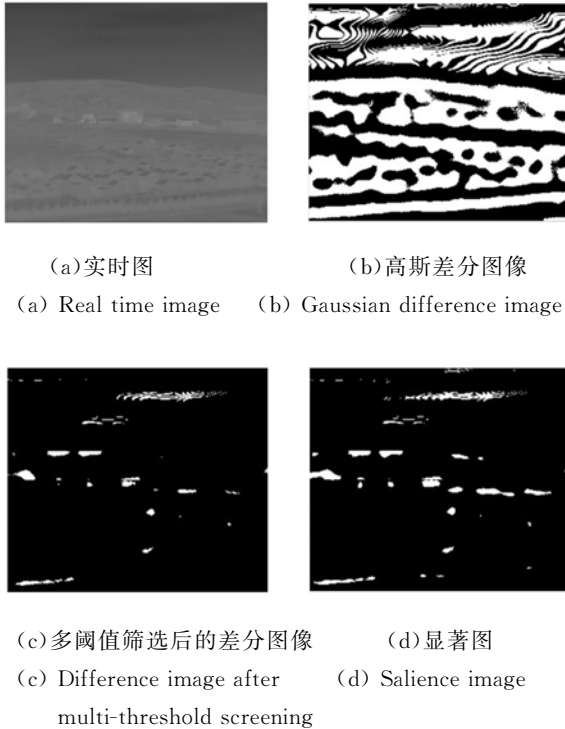


图 4 显著图生成过程

Fig. 4 Process of building salience image

3 基于区域模糊阈值的目標识别算法

ROI 是图像中最能引起用户兴趣、最能表现图像内容的区域,为了更好地提取 ROI,精确候选目标位置,本文在得到显著图的基础上提出区域模糊阈值算法,改进 Itti 模型,建立候选目标筛选模型,以提高图像处理和效率及准确度。

3.1 区域模糊阈值计算

针对显著图中的每个 FOA,需提取 ROI,分

离目标与背景。如果将一幅图像看作一个模糊阵列,则可通过计算图像的模糊率或模糊熵来确定阈值。在整个检测过程中,为有效区分图像中的目标与背景,需对 FOA 进行更新,根据基准图的经验知识,去除过大和过小目标,确定 ROI。用显著图中每一点像素的加权计算结果按一定比例进行目标与背景的筛选,Itti 模型定义为:

$$f(x, y) = \omega \times q + (1 - \omega) p , \quad (10)$$

其中 q 为目标颜色模型, p 为匹配位置处候选目标的颜色模型, ω 为相应权重。由于本文研究对象是红外灰度图像,且 ROI 检测结果为二值图像,因此运用 ROI 对应实时图中的像素值变换与距离函数来构建新的筛选模型。

首先对 ROI 所对应实时图中相应位置的像素值 $R(x, y)$ 进行归一化计算,将其值约束在 $[0, 1]$ 范围内,其定义如下:

$$S(x, y) = \frac{R(x, y) - g_{\min}}{g_{\max} - g_{\min}} , \quad (11)$$

式中: g_{\max} 和 g_{\min} 为 ROI 对应实时图区域中的最大灰度值和最小灰度值。

定义 $R(x, y)$ 点到 ROI 对应实时图区域质心的欧式距离为 $d(x, y)$,运用显著图中每一点像素值到区域质心点的相似度测量来分离目标与背景、检测候选目标,则当前点 (x, y) 到质心点的距离函数:

$$A(x, y) = \begin{cases} 2/(1 + d(x, y)^{1/2}) & \text{otherwise} \\ 1 & d(x, y) = 0 \end{cases} , \quad (12)$$

由此本文提出一种改进的候选目标筛选模型:

$$f(x, y) = \omega \times S(x, y) + (1 - \omega) \times A(x, y) . \quad (13)$$

3.2 候选目标检测

当图像某 ROI 在其他区域中出现频率越少时,则表明该 ROI 的兴趣度就越高;反之,兴趣度就越低。采用上述模型计算后,实时图 ROI 中每个像素点的值都由加权计算得出,设定阈值 λ 进行加权值判定, λ 为实验所得最大阈值,定义如下:

$$R(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq \lambda \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} . \quad (14)$$

实时图像中所有 ROI 包括的像素点按此算法进行判别,分离候选目标与背景,检测候选目

标。在目标为建筑物的实验中,所得 λ 为 0.5,显著图经局部模糊阈值检测后的结果如图 5 所示。

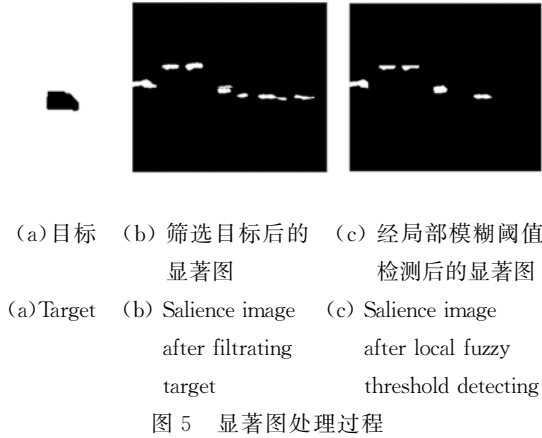


图 5 显著图处理过程

由图 5 可知,本文提出的基于局部模糊阈值的算法缩小了搜索范围,精确了候选目标的位置。

3.3 Nprod 算法匹配

对于检测到的 N 个候选目标,利用 Nprod 算法进行匹配,使用相似性度量定义如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} Y}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Y^2}}, \quad (15)$$

式中: X 表示大小为 $M \times N$ 的实时图, Y 表示大小为 $m \times n$ 的基准图,其中 $M > m, N > n$ 。 X_{ij} 为实时子图,即在实时图 (i, j) 位置截取与基准图大小相等的子图。

为简化 Nprod 算法^[16],降低计算复杂度,引入积分图思想改进原 Nprod 算法。将 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} Y$ 近似表示为 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \cdot \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{i=1}^{j-1} Y$ 。根据许瓦兹不等式可得: $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} Y_{ij} \leq |x| |y|$, $\forall i, j, i \in (1, 2, \dots, m), j \in (1, 2, \dots, n), x_{ij} \geq 0$ 。

因此,用 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} \cdot \sum_{i=1}^{j-1} \sum_{i=1}^{j-1} Y_{ij}$ 代替 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} Y$ 不改变 Nprod 算法的变化趋势。

通过比较实时图和基准图在各个位置的相关系数,可以得到最大相关系数即为最佳匹配位置,且速度有大幅度提高。

4 试验及其结果分析

为验证本文算法的有效性,在 CPU3.0 G、内存 1.0 G 的计算机上采用 Matlab 环境进行仿真分析,以目标背景干扰大、目标与背景灰度差异小的复杂地面目标为试验对象。为更加明确的表明算法中目标基准图与红外实时图中相应大小区域的相似性,制作基准图的大小均选为各自目标大小^[17],计算两图的相似性,最相似的实时子图即为最终匹配位置,即目标位置将在实时图中框出。

为明确本文所提检测算法的精确度以及检测的速度,将采用本文算法与经典的基于积分思想的 Nprod 匹配算法以及 Hausdorff 距离匹配算法进行实验分析。图 6 给出了本文算法的实验结果,其中图 6(a)为目标基准图;图 6(b)为本文算法匹配结果图;图 6(c)为基于积分思想的 Nprod 算法匹配结果图;图 6(d)为基于 Hausdorff 距离匹配算法的实验结果。

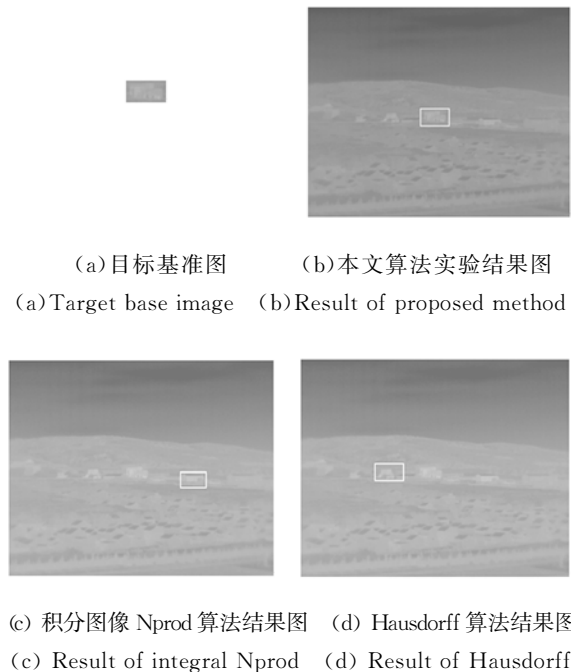


图 6 实验结果图

Fig. 6 Experimental results

如果匹配位置在实时图中的像素误差在 ± 10 像素之间,则认为匹配正确,否则错误。

由图 6 可知,图中建筑物尺寸较小且与背景的灰度差异较小,采用另外两种算法产生了误匹

配,而本文算法可精确确定候选目标的位置。因此实验结果表明本文算法的效果明显优于其余 2 种算法,验证了基于区域模糊阈值算法的优越性。

另外,定义匹配概率为:

$$G = \frac{N_{\text{correct}}}{N_{\text{correct}} + N_{\text{wrong}}}, \quad (16)$$

并分别针对火电厂、水塔、油库、雷达站另外 4 类复杂的红外实时图(大小为 320×240 的 FLIR 序列图各 100 幅)进行匹配试验,检验匹配概率。3 种方法的匹配实验结果如图 7 所示。

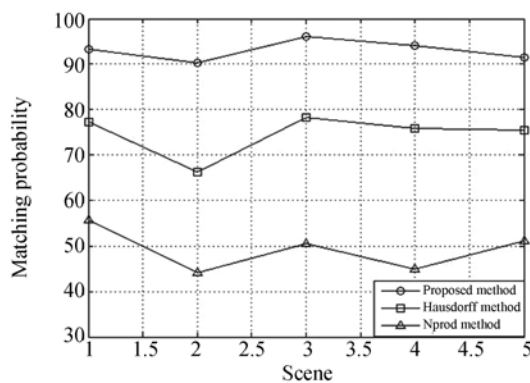


图 7 3 组匹配实验结果对比

Fig. 7 Comparison of three experimental results

由图 7 可以看出,针对目标与背景灰度差异小的 5 种不同场景,本文提出的基于区域模糊阈值算法与 Nprod 算法相比,匹配率平均提高了近 40%;与提取边缘的 Hausdorff 距离相比,该算法匹配率提高了近 20%。因此,匹配概率结果表明:本文运用区域模糊阈值算法在目标检测后缩小了下一步匹配的搜索范围,促进了图像匹配中对红外实时图目标的检测,使得匹配概率达到 80% 以上,相对于 Nprod 算法和 Hausdorff 距离算法得到了极大提高,提升了匹配精度。

为体现本文算法在匹配速度上的优势,定义图像匹配时间(以实时图的图像处理为始,到基准图在实时图中找到最相似位置为止)。3 种方法对 5 类场景进行匹配实验的平均匹配时间如表 1。

参考文献:

- [1] 卓志敏,杨雷,杨莘元,等. 一种复杂环境下的红外成像运动目标检测方法[J]. 宇航学报,2008,29(1): 339-343.

表 1 不同场景下的匹配时间

Tab. 1 Matching time of different scenes

方法	本文算法/s	Hausdorff/s	Nprod/s
场景 1	0.226	1.132	0.681
场景 2	0.283	1.367	0.713
场景 3	0.172	0.889	0.529
场景 4	0.389	1.067	0.864
场景 5	0.361	2.034	0.721
平均	0.286	1.298	0.702

由表 1 可知,本文识别算法花费时间与 Hausdorff 距离算法相比缩短 3/4,与改进的 Nprod 算法相比缩短 1/2,由于改进的 Nprod 算法与 Hausdorff 距离需要遍历整幅图像,因此执行速度较慢,而且后 2 种匹配算法受距离因素的影响,距目标越近,目标模板图越大,算法需要匹配的时间越长。而本文算法确定好目标特征尺度后,算法时间将不受目标远近的影响,并且检测方法缩小了匹配的搜索范围,适应能力强,运行稳定,识别精度高。

5 结 论

本文针对复杂地面目标背景干扰大、目标与背景灰度差异小,不利于目标识别的问题,在多尺度空间的基础上,提出了一种基于区域模糊阈值的红外图像目标识别算法。该算法首先用多阈值算法生成显著图,并引入区域模糊阈值方法改进 Itti 模型,采用先检测后匹配的处理策略完成目标识别。为了检验本文算法的有效性,针对 5 组不同的红外图像序列进行识别实验、分析。实验结果表明,与 Hausdorff 距离算法相比,本文识别算法匹配率提高了近 20%,算法花费时间缩短 3/4,与改进的 Nprod 算法相比,其匹配率提高了近 40%,时间缩短了 1/2。提出的方法有效解决了前视红外复杂地面固定目标无可用基准图、背景干扰严重、匹配识别难的技术问题,对于复杂地面目标前视红外图像的匹配识别具有一定应用价值。

ZHUO ZH M, YANG L, YANG X Y, *et al.*. A method of infrared image moving object detection in a complex environment [J]. *Journal of Astronautics*, 2008, 29(1):339-343. (in Chinese)

- [2] 朱娟娟,郭宝龙. 复杂场景中基于变块差分的运动目标检测[J]. 光学精密工程, 2011, 19(1):183-191. ZHU J J, GUO B L. Moving object detection based on variant block difference in complex scenes [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(1): 183-191. (in Chinese)
- [3] BULTHOFF H H, LEE S W, POGGIO T, *et al.*. *Biologically Motivated Computer Vision* [M]. New York: Springer Publishing Company, 2003: 150-159.
- [4] LTTI L, KOCH C. Computational modeling of visual attention [J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, 2(3):194-203.
- [5] SAID A, PEARLMAN W A. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, 6(3): 243-250.
- [6] TSOTSOS J K, CULHANE S M, WAI W Y K, *et al.*. Modeling visual via selective tuning[J]. *Artificial Intelligence*, 1995, 78(1/2):507-545.
- [7] 沈兰荪,卓力. 小波编码与网络视频传输[M]. 北京: 科学出版社, 2005:9-11. SHEN L S, ZHUO L. *Wavelet Coding and Network Video Transmission* [M]. Beijing: Science Press, 2005:9-11. (in Chinese)
- [8] SIRMACEK B, UNSALAN C. Urban-area and building detection using SIFT keypoints and graph theory[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, 47(4):1156-1167.
- [9] LAPTEV I. Improving object detection with boosted histograms[J]. *Image and Vision Computing*, 2009, 27(5):535-544.
- [10] HUTTENLOCHER D P, KLANDERMAN G A, RUCK L W J. Comparing images using the hausdorff distance [J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, 15(9):850-863.
- [11] LING H. *Techniques in image retrieval: Deformation insensitivity and automatic thumbnail cropping* [D]. United States Maryland: University of Maryland, College Park, 2006.
- [12] 曾智勇,张学军,崔江涛,等. 基于显著兴趣点颜色及空间分布的图像检索新方法[J]. 光子学报, 2006, 35(2):308-311. ZENG ZH Y, ZHANG X J. A new image retrieval method based on a significant interest point color and spatial distribution in matching [J]. *Journal Photon*, 2006, 35(2):308-311. (in Chinese)
- [13] LINDBERG T. Scale-space[M]. *Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, 2008.
- [14] 纪华,吴元昊,孙宏海,等. 结合全局信息的 SIFT 特征匹配算法[J]. 光学精密工程, 2009, 17(2): 339-444. JI H, WU Y H, SUN H H, *et al.*. SIFT feature matching algorithm with global information [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(2): 339-444. (in Chinese)
- [15] 王梅,屠大维,周许超. SIFT 特征匹配和差分相乘融合的运动目标检测[J]. 光学精密工程, 2011, 19(4):892-899. WANG M, TU D W, ZHOU X CH, *et al.*. Moving object detection by combining SIFT and differential multiplication [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(4):892-899. (in Chinese)
- [16] 朱永松,国澄明. 基于相关系数的相关匹配算法的研究[J]. 信号处理, 2003, 19(6):531-534. ZHU Y S, GUO CH M. Research of correlation matching algorithm based on correlation coefficient [J]. *Signal Process*, 2003, 19(6): 531-534. (in Chinese)
- [17] 郭文普,孙继银,李钊. 基于卫星图像的三维前视基准图制备方法[J]. 无线电工程, 2007, 37(12):9-11. GUO W P, SUN J Y, LI ZH. A preparation method of the former based on three-dimensional images of satellite [J]. *Radio Engineering*, 2007, 37(12):9-11. (in Chinese)

作者简介:



高 晶(1983—),女,陕西西安人,博士研究生,2006年、2009年于二炮工程学院分别获得学士、硕士学位,主要从事图像匹配等方面的研究工作。E-mail: myfairycrystal@163.com



刘 婧(1979—),女,陕西西安人,博士,工程师,2006年、2010年于二炮工程学院分别获得硕士、博士学位,主要从事图像特征提取、匹配与识别算法的研究。E-mail: erpaocrystal@yahoo.cn



孙继银(1952—),男,山东单县人,教授,博士生导师,1977于国防科技大学获得学士学位,主要从事指挥自动化、航天信息应用、图像处理、目标识别等方面的研究。E-mail: Sunjiyin @163.com



吴 昆(1982—),男,湖南永州人,硕士,讲师,2003年、2009年于二炮工程学院分别获得学士、硕士学位,主要从事测控、航天信息应用等方面的研究。E-mail: wk16@live.cn

●下期预告

条纹周期动态可调的新型干涉仪

朱勇建^{1,2},潘卫清³,李安虎⁴,尹韶辉¹

(1. 湖南大学 国家高效磨削工程技术研究中心,湖南 长沙 410082;

2. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室,湖南 长沙 410082;

3. 浙江科技学院 理学院,浙江 杭州 310023; 4. 同济大学 机械工程学院,上海 200092)

为方便测量不同结构、不同形状的光学透镜、光学晶体等元件,并快速实现目视观察与精确测量,提出一种新型结构的干涉仪。此干涉仪利用可相对旋转的双光楔对条纹周期进行动态调制,以满足实时检测的要求。以两块雅敏干涉平板为主体结构,在双光路中各自放入一对楔角完全相同的光楔对,建立条纹周期和条纹倾斜方向与光楔对相对旋转角度之间的关系,并采用光学晶体畴反转实时检测试验验证干涉仪的测量性能。试验结果表明,干涉仪的相位检测精度约为 $0.2 \text{ rad}(\lambda/30)$,条纹周期(一对黑白条纹)在 $0.105 \sim 5.993(\text{mm}/\text{对})$ 可调,光路中光楔对的相对转角调节为 $0 \sim 179^\circ$ 此干涉仪具有完全对称的光路结构,具有较高的稳定性和抗干扰能力,可针对不同类型光学元件的结构特点进行条纹周期的实时调制,并可达到较高的检测精度。