

文章编号:1001-5078(2023)06-0919-08

· 光电对抗 ·

图像特征对烟幕干扰的效能评估对比研究

赵凤¹, 刘书信^{1,2}, 姜湖海¹, 代宇¹

(1. 西南技术物理研究所, 四川 成都 610041; 2. 重庆大学光电工程学院, 重庆 400044)

摘要: 烟幕干扰作为现代战场常见的无源干扰方式, 具有优良的光电对抗效果、较强的战术应用机动性和较高的效费比。针对基于图像的烟幕干扰定量评估研究不足, 本文从跟踪的角度出发, 对烟幕干扰下目标的红外成像使用灰度特征、基于LBP的纹理特征、类哈尔矩形特征、方向梯度直方图特征以及深度特征5种方法进行特征提取, 通过将特征提取结果与主观评分进行相似性计算, 得出不同图像特征对烟幕干扰下目标的表征能力。通过对8组外场试验所得数据的分析验证, 得出结论, 对烟幕干扰下目标表征能力较为优秀的三种特征分别是方向梯度直方图特征、类哈尔矩形特征以及深度特征。

关键词: 图像特征; 烟幕; 方向梯度直方图; 深度特征

中图分类号: TN976 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2023.06.017

Comparative study on effectiveness of image features in assessing smokescreen interference

ZHAO Feng¹, LIU Shu-xin^{1,2}, JIANG Hu-hai¹, DAI Yu¹

(1. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China;

2. College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: As a common passive interference method in modern battlefield, smoke screen jamming has excellent photoelectric countermeasure effect, strong tactical application mobility and high cost-effectiveness ratio. In view of the lack of research on quantitative assessment of smoke screen interference based on images, five methods are used to extract features from infrared images of targets under smoke screen interference, including grayscale features, LBP-based texture features, Haar-like rectangular features, directional gradient histogram features and depth features from the perspective of tracking. By calculating the similarity between the feature extraction result and the subjective score, the ability of different image features to characterize the target under smoke screen interference is obtained. Through the analysis and verification of the data obtained from eight sets of field tests, it is concluded that the three features with better target representation ability under smoke screen interference are the directional gradient histogram feature, the Haar-like rectangle feature and the depth feature.

Keywords: image feature; smoke screen; directional gradient histogram; depth feature

1 引言

烟幕作为干扰制导武器的有效手段之一, 通过

散射、吸收^[1]、遮蔽^[2]反射辐射信号, 影响导引头对目标的清晰成像^[3], 降低导弹的命中率, 对己方系

作者简介: 赵凤(1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事基于图像的烟幕干扰效能评估研究。E-mail: fengzhao1998@126.com

通讯作者: 刘书信(1982-), 男, 研究员, 硕士生导师, 主要从事光电制导技术和试验与评价技术研究。

收稿日期: 2022-07-21; 修订日期: 2022-09-02

统形成保护,具有优良的光电对抗效果、较强的战术应用机动性和较高的效费比^[4]。随着制导技术的发展,红外制导方式已由红外点源寻的制导发展到红外成像制导^[5],在烟幕评估方面,基于图像的干扰效能评估技术得以迅猛发展^[6]。科学合理地评估烟幕对红外制导武器的干扰效果能够有效减少人力物力资源的浪费,缩短研发周期。

目前定量的烟幕干扰评估方法较少,主要是通过朗伯比定律计算烟幕红外光谱透过率以及计算红外探测系统信噪比与最小等效温差之间的关系^[1,4,6,8-11]来定量评估烟幕的干扰效能。近年来,在图像特征方向,刘松涛^[7]等人提出了基于分形拟合误差的烟幕干扰效能评估方法。

本文从红外成像系统对目标的跟踪角度出发,基于目标图像特征的变化^[8]来评估烟幕的干扰效果。

红外成像制导的基本流程如图 1 所示,红外探测器获取图像后,首先要经过预处理增强图像,随后从增强后的图像中提取所需的目标特征,再根据特征对目标进行识别跟踪。常用于目标跟踪的图像特征有灰度特征^[9]、颜色特征(color feature)^[10]、纹理特征(Texture feature)^[11]、类哈尔(Haar-like)矩形特征^[12]、方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradient, HOG)特征^[13]、深度特征(Deep feature)^[14]等。

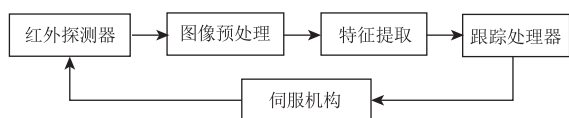


图 1 红外成像制导框图

Fig. 1 Infrared imaging guidance block diagram

本文不考虑图像的颜色特征,通过分析以上提及的常用于目标跟踪的 5 种特征提取方法,对比研究了不同的特征提取对烟幕干扰下的目标特征表征能力。

2 图像特征提取原理

2.1 灰度特征

灰度特征属于图像的内部特征,以像素点的灰度值为研究对象,一般从灰度均值和灰度标准差两方面进行研究。其中,灰度图像各像素点灰度均值(Mean)计算公式如下:

$$Mean = \frac{1}{M} \sum I(x, y) \quad (1)$$

式中, $I(x, y)$ 表示图像在 (x, y) 处的灰度值; M 为图像中像素的个数。

灰度标准差(Std)用以描述图像内灰度值相对灰度均值的偏离程度,计算公式如下:

$$Std = \sqrt{\frac{1}{M} \sum [g(x, y) - Mean]^2} \quad (2)$$

2.2 基于 LBP 的纹理特征

纹理是一种反映图像中同质现象的视觉特征^[15],它体现了物体表面的具有缓慢变化或周期性变化的表面结构组织排列属性。纹理不用于灰度、颜色等图像特征,它通过像素及周围空间邻域的灰度分布来表现。本文关于纹理特征选用了局部二值模式(Local Binary Pattern, LBP),它具有旋转不变性和灰度不变性的特点,计算简单且高效快捷。

将 LBP 算子定义在一个 3×3 窗格内,由一个中心像素与八个相邻像素组成。所有的邻居像素将分别与中心像素进行比较,如果邻居像素大于中心像素,则标记为 1,否则标记为 0,最后得到一串 8 位的二进制字符,将这些二进制字符按照从小到大的顺序排列,产生一个二进制数,此二进制数值对应的十进制数值即为窗格中心像素的 LBP 值。结合上述 LBP 计算操作,可以将图像转换为 LBP 映射图,计算公式如下所示:

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{m=0}^7 2^m s(i_m - i_c) \quad (3)$$

式中, (x_c, y_c) 是具有八个邻域的中心像素坐标; i_m 和 i_c 是中心像素及其邻域像素的像素值; $s()$ 是一个符号函数,其定义如下:

$$s(w) = \begin{cases} 1, & w \geq 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

原图和受干扰图分别经过以上步骤的计算,将得到的 LBP 值进行相关性计算,得到的相关性值越大,表示无明显烟幕干扰,反之则表示烟幕干扰严重。烟幕干扰下目标的纹理特征如图 2 所示,从左至右分别是烟幕干扰由轻及重,其对应的纹理特征也随着烟幕浓度的变化有所不同。

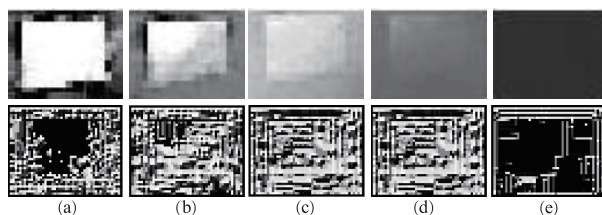


图 2 目标的 LBP 纹理特征






Fig. 2 LBP texture feature of the target

2.3 类哈尔矩形特征

类哈尔矩形特征是根据黑白矩形的像素计算来获得用于检测图像中目标类型的特征^[16],能较好地体现目标局部特征的灰度变化^[17]。类哈尔特征值

为特征提取模板中黑色矩形块内像素值之和减去白色矩形框中像素值之和^[18],具有结构简单,计算方便的优点^[19]。常见的五种类哈尔矩形特征模板如表1所示。

表1 类哈尔矩形特征类型
Tab.1 Haar-like rectangle feature type

序号	a	b	c	d	e
矩形特征模板					
宽高比	(1,2)	(2,1)	(1,3)	(3,1)	(2,2)

其中,a、b为两矩形特征,反映的是图像边缘特征,c、d为三矩形特征,反映的是图像中水平和垂直方向的线性特征,e为四矩形特征,反映的是对角方向特征^[20]。每个特征可表示为^[21]:

$$Haarlike_feature = \sum_{i=1, \dots, N} \omega_i RectSum(r_i) \quad (5)$$

其中,N是组成特征的矩形个数; ω_i 为矩形 r_i 的权值; $RectSum(r_i)$ 为矩形所围图像的灰度积分,即第i个矩阵内所有像素灰度值之和。

2.4 方向梯度直方图特征

方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradient, HOG)是计算机视觉和图像领域用于目标检测的特征

描述器^[22]。它的基本思想是:即使不知道局部目标的外表与形状对应的梯度和边缘的位置,目标还是可以被局部梯度或边缘方向的分布很好地描述^[11]。并且对于几何和光学变化都有很好的不变性。

算法首先采用伽马校正法^[23]对目标图像进行颜色空间归一化处理,以调节图像对比度,降低图像局部阴影与光照变化所造成的影响,抑制噪音干扰。随后计算目标图像中每个像素的梯度分布(方向分布与强度分布),获取图像轮廓信息。假设像素点(x,y)的像素值为 $I(x,y)$,则该像素点的梯度幅值 $g(x,y)$ 和梯度方向 $\theta(x,y)$ 为:

$$\begin{cases} g(x,y) = \sqrt{(I(x+1,y) - I(x-1,y))^2 + (I(x,y+1) - I(x,y-1))^2} \\ \theta(x,y) = \arctan[(I(x,y+1) - I(x,y-1))/(I(x+1,y) - I(x-1,y))] \end{cases} \quad (6)$$

将图像分成若干个 16×16 的单元细胞cells,统计每个单元细胞内的方向梯度直方图信息,随后将 2×2 个cell合成一个块block,最后得到整幅图像的HOG特征。通常情况下,采用9

个维度(即 $360^\circ/9 = 40^\circ$ 为一个维度)的特征向量作为直方图的x轴,角度范围对应的梯度累加值作为直方图y轴。图像的HOG特征提取如图3所示。

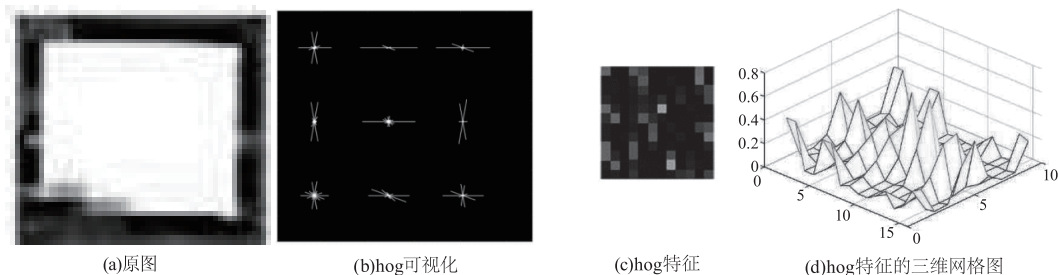


图3 HOG特征提取

Fig.3 HOG feature extraction

2.5 深度特征

卷积神经网络(Convolutional Neural Networks,

CNN)是主要用于计算机视觉任务的深度神经网络,其提取的图像深度特征,不仅能够学习到平移、

旋转和形变等不变性特征^[24],而且包含更多含有高度抽象的语义信息,保留更多稳健的图像特征,能够更有效的避免各种背景因素的影响,具有更好的分类性能^[25]。

图 4 描绘了一个 CNN 的总体框图。首先使用滤波器对输入的二维图像进行卷积,得到特征向量。随后进入池化层以减少特征的大小,降低过拟合的可能性,同时增大感受野,增加特征的平移不变性。最后通过全连接层将特征变换到另一个特征空间中,作为分类器输出最终的结果。训练 CNN 时,从输出中计算误差,然后利用误差反馈对训练参数进行微调,以达到最佳训练结果。

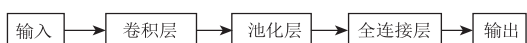


图 4 CNN 总体框架图

Fig. 4 Overall framework of CNN

在卷积神经网络中,卷积层是网络的核心结构。设卷积核为 k ,输入图像为 x ,则卷积运算得到的输出图像 y 为:

$$y[i,j] = \sum_m \sum_n k[m,n] \cdot x[i-m,j-n] \quad (7)$$

其中, $[m,n]$ 和 $[i,j]$ 分别是 k 和 x 的大小。此外,卷积会导致输入图像尺寸缩小,还需要设置补零填充

(Padding) 和步长(Stride) 两个参数,以控制输出图像大小,充分利用图像信息。设置输入图像的大小为 (n_{in}, n_{in}) ,卷积核的大小为 (k_{in}, k_{in}) ,边界填充为 p 和步长为 s ,那么输出图像 y 的大小为 (n_{out}, n_{out}) :

$$n_{out} = \left\lfloor \frac{n_{in} + 2p - k_{in}}{s} + 1 \right\rfloor \quad (8)$$

网络的结构设计直接影响到整体模型的性能,如图 5 所示,本文采用 VGG-16 (Visual Geometry Group Network) 网络结构,共包含 1 个输入层、5 个卷积层、5 个池化层、3 个全连接层和 1 个输出层。输入层(Input Layer)输入图像为大小为 55 pixel \times 50 pixel \times 3 的红外图像,经过归一化后像素区间缩小到 $[0,1]$ 。卷积层(Convolution Layers)中,卷积核规格为 3×3 ,步长为 1,补零填充为 1,选取 Relu 作为激活函数,特征图谱 (Feature Map) 是像素信息经过 Relu 非线性变换的结果。池化层(Pool Layers)采用 MaxPooling,池化核规格为 2×2 ,步长设计为 2。全连接层(Full Connection Layers)使用 Relu 作为激活函数,选取 dropout 方式降低过拟合发生可能性,丢弃率为 50%。输出层(Output Layers)使用 Softmax 函数,一共包含 3 个输出类别,分别对应烟幕干扰严重、一般和无干扰。

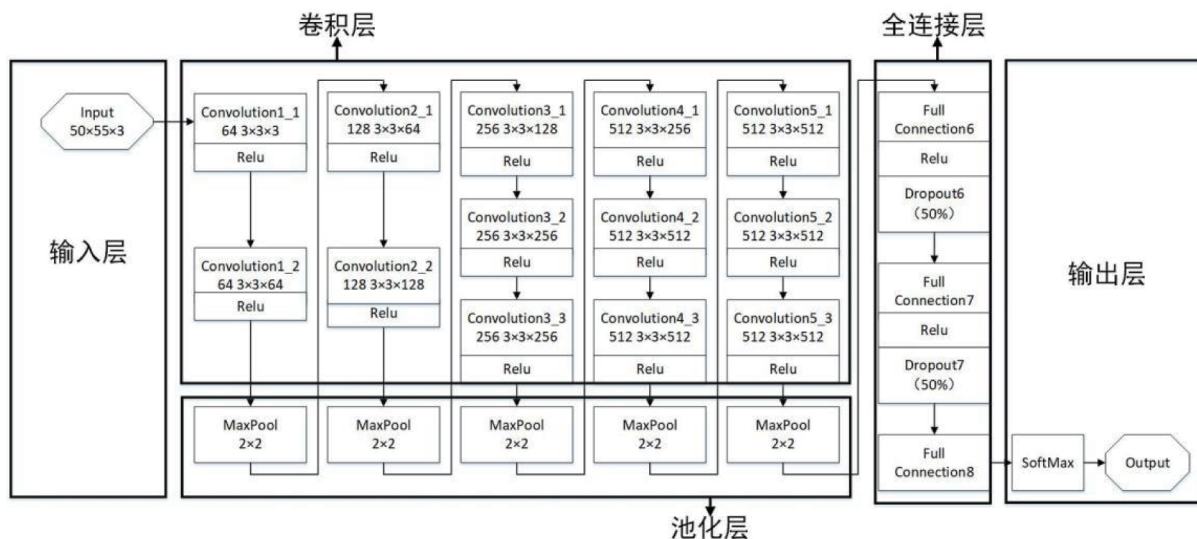


图 5 VGG-16 卷积神经网络结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of VGG-16 convolutional neural network structure

图 6 为图像在 VGG-16 网络中部分来自不同卷积层的深度特征,从图 6(a) ~ 图 6(f) 分别为原图至卷积神经网络最后一层的特征映射。为了方便显示特征映射,选取了每层中特征最为显著的一个映射

予以展示。浅层网络提取的图像特征,包含图像的边界和纹理等空间信息,较好地刻画目标的外观。随着层次的加深,深度特征包含的语义信息更多。为了更好地发挥深度特征的优势,本文选取层次较

深的特征来作相关性对比,以补充传统特征对语义信息表征的缺失。将原图和受干扰图像的深层深度特征进行相关性对比,得到的相关性值越大,表示无明显烟幕干扰,反之则表示烟幕干扰严重。

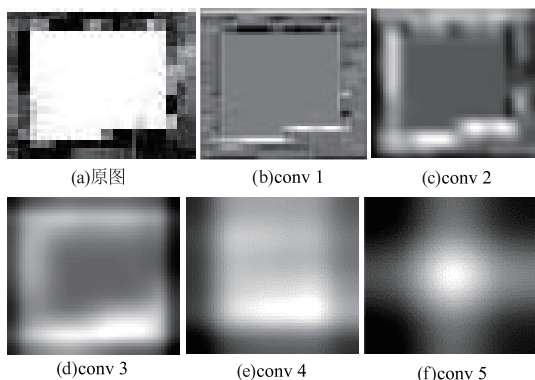


图6 图像在 VGG-16 网络中不同卷积层的特征映射

Fig. 6 Feature mapping of image in different convolutional layers in VGG-16 network

3 试验

为获得自然环境下烟幕对红外制导系统的干扰效果,本文设计了外场地面模拟试验以获取有效数据。本试验主要参试设备包括制冷红外导引头、导引头操控台、目标模拟器以及发烟装置。试验中,烟幕尽量位于红外导引头与模拟目标的光路中心地带,其布设场地如图 7 所示。

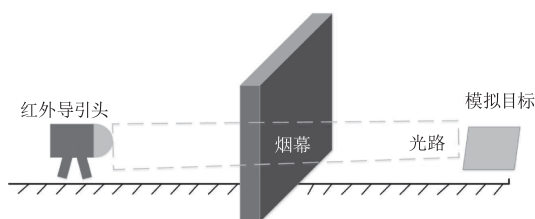


图7 地面模拟法试验布局图

Fig. 7 Layout of ground simulation test

特征对比研究流程图如图 8 所示,输入原图 R 和受烟幕干扰的图像 D ,分别对其提取特征,得到图像特征 FR 和 DR ,对两组图像特征作相关性计算得到数组 $A(FR,DR)$ 。数组 A 表示受干扰图像和原图特征之间的相似度, A 的数值越大说明目标受烟幕干扰越小,数值越小则说明目标受烟幕干扰越大。将数组 A 与主观评分 B 作相关性计算,得到特征评分与主观评分之间的相似度 $Corr(A,B)$, $Corr$ 值越大说明特征的表征能力越好,反之则越差。

然而在多组数据分析后发现,当烟幕未能对目标造成有效遮蔽时,数组 A 与主观评分 B 的相关性

很低。分析其中原因,主观评分过程中,针对无明显烟幕干扰的图像,评分比较平稳,几乎没有数据波动,而客观评分对图像特征更加敏感,数据具有小范围的波动。本文根据这个现象,对 $Corr(A,B)$ 值进行了数据优化操作。如图 8 所示,对数组 A 分别求取平均值和标准差,代表特征评分的平均值以及数值波动程度,若数组 A 的平均值大于 0.7 并且标准差小于 0.3,则说明该组图像均未受到有效干扰,可以对 $Corr(A,B)$ 作优化处理,放大结果数值,使其与预期结果相符。如果数组 A 不满足判断要求,则说明该组图像受到了有效干扰,无需对 $Corr(A,B)$ 作优化处理。

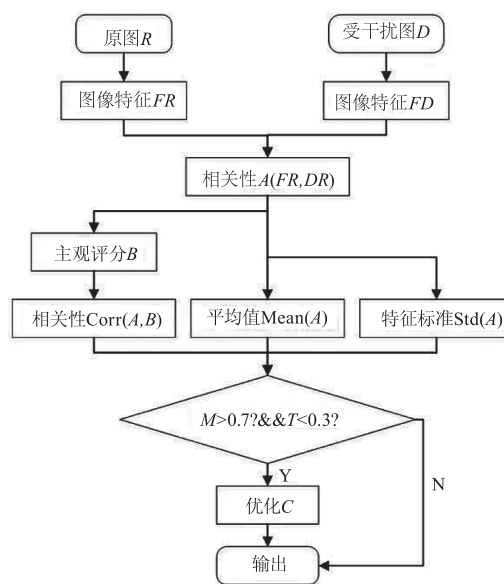


图8 特征对比流程图

Fig. 8 Feature comparison flow chart

4 数据分析

试验图像采用了 8 组,每组 100 幅红外烟幕对目标干扰的序列图像,序列中体现了从没有干扰、逐渐增加干扰到干扰逐渐消去的动态过程,图序中还包含了太阳光照、风向、风速等自然环境的影响,图 9 是其中的 4 幅代表性图像。

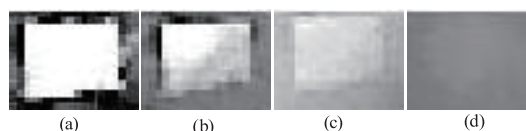


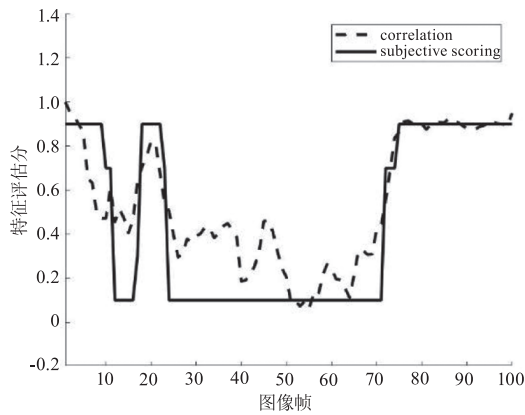
图9 烟幕干扰图像

Fig. 9 Images of smoke screen interference

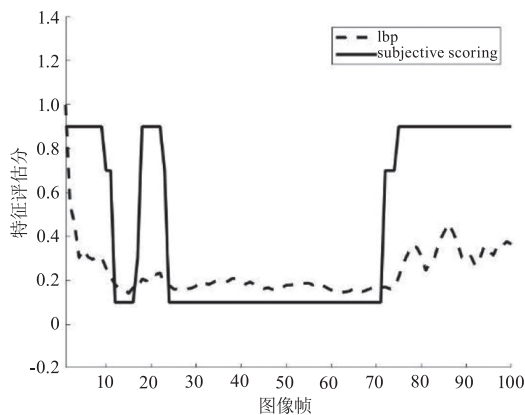
其中,图(a)是序列中第 2 帧图像,目标清晰,几乎无烟幕干扰;图(b)是序列中第 242 帧,烟幕逐渐增加,目标被部分遮蔽,干扰程度较轻;图(c)是

序列中第 266 帧,目标被一层轻薄的烟幕遮挡,但目标较为清晰,干扰程度较轻;图(d)是序列中第 314 帧,目标完全被烟幕遮蔽,干扰程度严重。这是主观且定性的初步分析,下面用 5 种不同的图像特征对所有的数据进行定量分析。

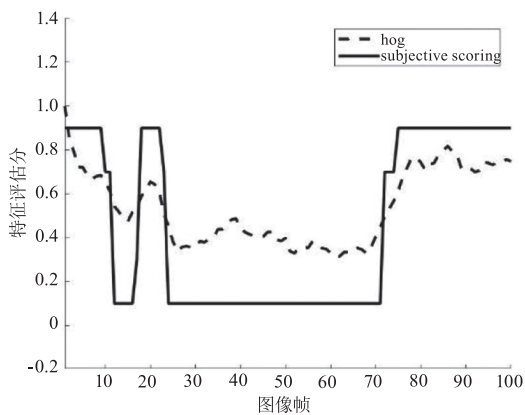
为了有明显的对比效果,本文将每种特征的评估结果与主观评分进行对比显示。如图 10 所示,(a)~(e)分别是 5 种不同特征对同一组数据的特征评分折线图,(f)为将所有的曲线合并到同一幅图中的显示图。



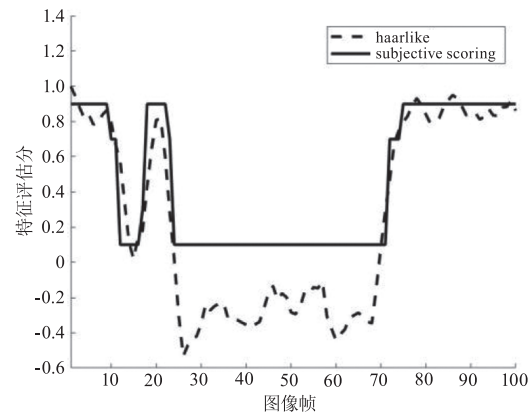
(a)对比度评估结果



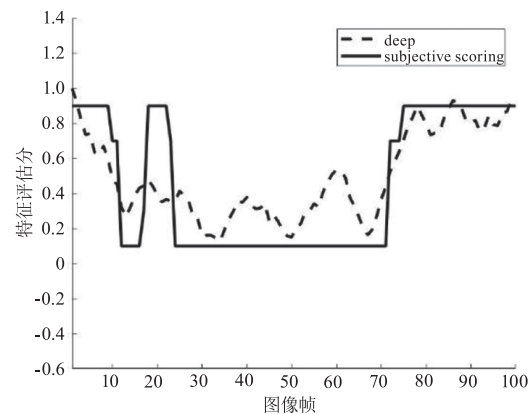
(b)lbp纹理特征评估结果



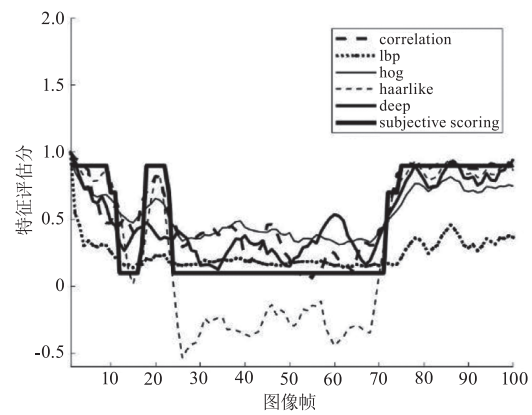
(c)方向梯度直方图特征评估结果



(d)haar-like矩形特征评估结果



(e)深度特征评估结果



(f)5种特征集合

图 10 5 种特征对同一组数据的评分结果图

Fig. 10 Scoring results of 5 features on the same set of data

从试验结果可以看出,纹理特征的评估效果最差,与实际效果完全不符。这是因为烟幕的干扰过程是动态的,且烟幕的形状以及厚度与风速风向有关,所以在烟幕干扰的过程中,目标区域的纹理特征一直在变化。相关性特征、方向梯度直方图特征、类哈尔矩形特征和深度特征基本反映了烟幕对目标的遮蔽效果,但各自仍然存在不足。①这几种特征对烟幕干扰最严重区域的评估波动

较大,不够稳定;②方向梯度直方图特征对烟幕干扰过于敏感,导致烟幕干扰较轻和较重的部分差值不够大,即评估结果波动不够明显;③在序列号为20的图像处,深度特征并没有较好地评估出烟幕的干扰,反映平淡。从图中还可以看出,灰度特征、类哈尔矩形特征和方向梯度直方图特征对烟幕厚度变化的区域颇为敏感,能够较好的体现烟

幕的动态干扰效果。

将8组数据的特征评估结果与主观评分进行相关性操作得到5种特征对8组数据的表征能力得分,结果如表2所示。将每组数据中的前三标粗可以看出,方向梯度直方图特征、类哈尔矩形特征以及深度特征分数比较靠前,即这3种特征对烟幕干扰下目标特征的表征能力更优秀。

表2 5种特征对8组数据的表征能力结果数据

Tab.2 Ability of 5 features to represent 8 groups of data results

特征 \ 组别	1	2	3	4	5	6	7	8
Corr	0.733	0.775	0.927	0.808	0.837	0.588	0.896	0.923
Lbp	0.672	0.606	0.879	0.941	0.955	0.930	0.753	0.871
Hog	0.643	0.708	0.966	0.987	0.988	0.964	0.933	0.976
Haar-like	0.731	0.718	0.934	0.926	0.872	0.872	0.931	0.963
Deep	0.783	0.733	0.976	0.970	0.664	0.853	0.921	0.863

5 结论

本文从跟踪的角度出发,分别对图像的灰度特征、基于LBP的纹理特征、类哈尔矩形特征、方向梯度直方图特征以及深度特征5种特征提取方法进行分析对比,将特征提取结果与主观评分进行相关性计算得出不同特征对烟幕干扰下目标特征的表征能力值。本文还设计了外场试验模拟烟幕干扰,以获取真实的干扰数据进行特征对比分析,本文在8组由外场试验所得数据上进行了分析验证,得出结论,对烟幕干扰下目标表征能力较为优秀的三种特征为方向梯度直方图特征、类哈尔矩形特征以及深度特征。试验表明,单特征的表征能力各有优缺点,之后可以从特征融合的角度出发,扬长避短,得到更好的烟幕干扰定量评估结果。

参考文献:

[1] Xue Peng, Dong Wenfeng, Luo Wei. Research on the jamming effects of smoke screen on target identification capability of photoelectric guidance [J]. Laser & Infrared, 2018, 48(3): 374-378. (in Chinese)
薛鹏,董文锋,罗威. 烟幕对光电制导目标识别能力干扰效果研究[J]. 激光与红外, 2018, 48(3): 374-378.

[2] Liu Xin. Analysis and research on laser smoke jamming based on MATLAB [J]. Electro-Optic Technology Application, 2017, 32(1): 86-90. (in Chinese)
刘鑫. 基于MATLAB环境的激光烟幕干扰分析与研究[J]. 光电技术应用, 2017, 32(1): 86-90.

[3] Hua Chao, Liao Shouyi, Zhang Zuoyu, et al. Simulation research on jamming efficiency about the smoke screen against infrared seeker [J]. Laser & Infrared, 2019, 49(2): 217-221. (in Chinese)
花超,廖守亿,张作宇,等. 烟幕对红外导引头干扰效果仿真研究[J]. 激光与红外, 2019, 49(2): 217-221.

[4] Guo Aiqiang, Gao Xinbao, Li Tianpeng, et al. Five frame difference method for extracting characteristic parameters from measured infrared smoke screen images [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2021, 29(12): 1144-1151. (in Chinese)
郭爱强,高欣宝,李天鹏,等. 五帧差分法提取实测红外烟幕图像的特征参数[J]. 含能材料, 2021, 29(12): 1144-1151.

[5] Qiu Jijin, Mei Jianting. Interference of the smokescreen confronting infrared guided weapons [J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, (2): 212-215. (in Chinese)
邱继进,梅建庭. 烟幕对红外制导武器的干扰研究[J]. 红外与激光工程, 2006, (2): 212-215.

[6] Liu Songtao, Gao Donghua, Yang Shaoqing. Countermeasure effect evaluation of smoke screen on infrared imaging tracker [J]. Electronics Optics & Control, 2008, (11): 19-21, 40. (in Chinese)
刘松涛,高东华,杨绍清. 评估烟幕对红外成像跟踪系统的干扰效果[J]. 电光与控制, 2008, (11): 19-21, 40.

[7] Liu Songtao, Yang Shaoqing. The evaluation method of infrared smoke screen shielding on ship target based on fractal fitting error [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(1): 52-54, 66. (in Chinese)

- 刘松涛,杨绍清. 基于分形拟合误差的红外烟幕遮蔽效果评估方法[J]. 激光与红外, 2008, 38(1): 52 - 54, 66.
- [8] Liu Songtao, Wang Henan. Research on evaluation methods for electro-optic countermeasure effectiveness[J]. Electro-Optic Technology Application, 2012, 27(6): 1 - 7. (in Chinese)
刘松涛,王赫男. 光电对抗效果评估方法研究[J]. 光电技术应用, 2012, 27(6): 1 - 7.
- [9] Ross D A, Lim J, Lin R S, et al. Incremental learning for robust visual tracking[J]. International Journal of Computer Vision, 2008, 77(1/3): 125 - 141.
- [10] Comaniciu D, Ramesh V. Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift[C]//Computer Vision and Pattern Recognition, 2000.
- [11] Dalai N, Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]//Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.
- [12] Viola P, Jones MJ. Robust real-time face detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2): 137 - 154.
- [13] Henriques, Joao F., Caseiro, et al. High-speed tracking with kernelized correlation filters[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 37(3): 583 - 596.
- [14] Ma C, Huang J B, Yang X K, et al. Hierarchical convolutional features for visual tracking[C]//Proc of the IEEE International Conference on Computer Vision. Washington, USA; IEEE, 2015: 3074 - 3082.
- [15] Wang Lan. Research on encrypted image retrieval scheme using local binary pattern feature[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2021. (in Chinese)
王兰. 基于局部二值模式的加密图像检索方法研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2021.
- [16] Zhang Zhongyun. Research on vehicle detection method based on radar and vision sensor[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018. (in Chinese)
张中昀. 基于雷达与视觉传感器信息融合的车辆检测方法研究[D]. 镇江:江苏大学, 2018.
- [17] Zhong Rui, Wu Huaiyu, Wu Ruohong. Robust face tracking algorithm based on strong tracking Kalman filter[J]. Computer Engineering and Design, 2016, 37(2): 475 - 480. (in Chinese)
钟锐,吴怀宇,吴若鸿. 基于强跟踪 Kalman 滤波的鲁棒人脸跟踪算法[J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(2): 475 - 480.
- [18] Prasanna Dinesh, Prabhakar M. An efficient human tracking system using Haar-like and hog feature extraction[J]. Cluster Computing, 2018, 22(Suppl 2): 2993 - 3000.
- [19] Li Jinghui, Ye Xueyi, Xia Huyun, et al. Ada boost face detection algorithm based on the "Big T" Region[J]. Software Guide, 2017, 16(10): 22 - 26. (in Chinese)
李晶惠,叶学义,夏胡云,等. 基于“大 T”型区域的 AdaBoost 人脸检测算法[J]. 软件导刊, 2017, 16(10): 22 - 26.
- [20] Yang Yantong, Yang Wunian, Shi Lei, et al. Fuzzy matching of DEM image without spatial reference based on rectangle features[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 38(2): 264 - 274. (in Chinese)
杨彦通,杨武年,石磊,等. 基于矩形特征的无空间参考 DEM 图像模糊匹配[J]. 物探化探计算技术, 2016, 38(2): 264 - 274.
- [21] Li Guangrui, Cai Andong, Huang Mei. Traffic sign recognition based on Haar-like rectangle features[J]. Modern Computer, 2014(7): 62 - 65. (in Chinese)
李光瑞,蔡安东,黄梅. 基于 Haar-like 矩形特征的交通标志识别[J]. 现代计算机:普及版, 2014(7): 62 - 65.
- [22] Geng Xin, Zhou Zhihua, Smith-Miles Kate. Automatic age estimation based on facial aging patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2007, 29(12): 2234 - 2240.
- [23] Li Canlin, Liu Jinhua, Zhang Weizheng, et al. An adaptive method for color image correction with non-uniform illumination[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(10): 8. (in Chinese)
李灿林,刘金华,张卫正,等. 一种非均匀照明彩色图像自适应校正方法[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(10): 8.
- [24] Liu Xinyan. Research on object tracking method based on deep multi-task learning[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2021. (in Chinese)
刘信言. 基于深度多任务学习的目标跟踪方法研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2021.
- [25] YAO, A., LIN, X., WANG, G., et al. A compact association of particle filtering and kernel based object tracking[J]. The Journal of the Pattern Recognition Society, 2012, 45(7): 2584 - 2597.