

doi: 10.3788/gzxb20144302.0210001

基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法

李丽¹, 王兴宾¹, 张卫国²

(1 北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

(2 北京信息技术研究所, 北京 100013)

摘要:为解决目前方法在动态复杂环境下不能有效区分车灯和瞄准镜及“猫眼”效应目标识别率低的难题,提出了一种基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法.首先采用列均值相减、指数高通滤波和中心滤波对差分图像进行滤波去除车灯;然后依据“猫眼”效应目标的形状特性进行判别;最后根据“猫眼”效应目标的纹理特征,构造隶属度向量,按照最大隶属度原则,采用模糊综合评判对“猫眼”效应目标进行识别.试验结果表明,与基于形状和频率双重判据的“猫眼”效应目标识别方法相比,该方法有更高的识别率和较低的虚警率.

关键词:激光成像;目标识别;纹理特征;“猫眼”效应;图像增强;图像配准;图像处理;指数高通滤波

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2014)02-0210001-11

A Recognition Method of “Cat-eye” Effect Target Based on Texture Character

LI Li¹, WANG Xing-bin¹, ZHANG Wei-guo²

(1 School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

(2 Beijing Institute of Information Technology, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to overcome the low recognition rate of “cat-eye” effect target and ineffective distinction of car lights and telescopic sights, a recognition method of “cat-eye” effect target based on texture character was proposed. Firstly, car lights were removed by filtering the difference images with the column-mean subtraction, EHPF and median filter. Secondly, the discrimination was carried out in terms of the features of the shape of the “cat-eye” effect target. Finally, according to the texture features of the “cat-eye” effect target, membership vectors were constructed, and the fuzzy comprehensive evaluation was used to recognize the “cat-eye” effect target under the maximum membership degree principle. Experimental results indicate that the proposed method reduces false alarm rate and improves recognition rate compared with the shape-frequency dual criterions (SFDC) method.

Key words: Laser imaging; Target recognition; Texture character; “Cat-eye” effect; Image enhancement; Image matching; Image processing; Exponential High-Pass Filter(EHPL)

OCIS Codes: 100.0100; 100.2000; 100.3008; 100.4999

0 引言

当一束光进入光电设备的光学窗口,经透镜的会聚和反射元件的反射后,其回波强度比一般漫反射目标的回波强度高 2~4 个数量级,这种现象称为“猫眼”效应^[1].基于“猫眼”效应的激光探测系统能够对狙击步枪瞄准镜、夜视镜、测距仪、望远镜等光学部件进行探测,具有早期预警的优势,得到了广泛应用.

目前,国外主要通过激光主动照明成像与图像处理实现目标的探测和提取,文献[2]通过主被动图像差分运算识别“猫眼”效应目标,但没有提出明确的图像处理和目标提取方法.国内主要是对“猫眼”效应回波信号进行检波实现探测^[3].文献[4]提出了一种基于压缩感知的“猫眼”效应目标识别算法,但硬件难以实现,目标识别率低和虚警率高,且在动态复杂环境下不能够对车灯、走动的行人等伪目标进行有效的区分.文献

基金项目:航空科学基金项目(No. 20070151002)资助

第一作者:李丽(1970-),女,副教授,博士后,主要研究方向为激光成像、图像处理、目标识别等. Email: lilibuaa2011@163.com

通讯作者:王兴宾(1986-),男,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理及目标识别. Email: wxbbuaa2011@163.com

收稿日期:2013-05-23;录用日期:2013-08-27

<http://www.photon.ac.cn>

[5]提出了基于“猫眼”效应激光成像的目标探测,利用目标的灰度和形状特征,综合运用阈值分割、区域标记、特征提取等方法,实现对“猫眼”效应目标的识别.当背景环境中存在车灯时,由于车灯对激光的反射是类似“猫眼”效应,也具有较高的反射率,该方法不能去除车灯等伪目标,也不能对车灯和“猫眼”效应目标进行有效的区分,识别率低,虚警率高.文献[6]提出了一种基于形状和频率双重判据的“猫眼”效应目标识别方法(Shape-Frequency Dual Criteria, SFDC),该方法适用于复杂的背景环境,但需要采集大量图像,数据处理量大,硬件难以实现,识别率低.当车灯对激光的反射频率和“猫眼”效应目标的反射频率一致时,不能对二者进行有效区分.在动态复杂背景和远距离探测时,“猫眼”效应目标小,且形状信息模糊,“猫眼”效应目标淹没在杂波起伏背景中,这样就给“猫眼”目标的检测和识别带来了很大的难度.

为解决传统方法在动态复杂环境下不能有效区分车灯和瞄准镜以及“猫眼”效应目标识别率低的难题,本文提出了一种基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法,该方法能够在动态复杂环境中去除车灯,识别“猫眼”效应目标.采用列均值相减、指数高通滤波(Exponential High-Pass Filter, EHPF)和中值滤波对差分图像进行滤波能够去除车灯的影响;采用改进的直方图阈值法能较好的提取“猫眼”效应目标;依据“猫

眼”效应目标的形状特性对目标进行初步判别;再根据“猫眼”效应目标的纹理特征,构造隶属度向量,按照最大隶属度原则,采用模糊综合评判对“猫眼”效应目标进行识别,提高了“猫眼”效应目标的识别率,降低了虚警率.

1 基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法

基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法流程如图1.其中主动图像为激光照明时获取的图像,被动图像为无激光照明时获取的图像.在采集到连续的主被动序列图像后,首先利用 Top-hat 变换对4幅连续主被动图像进行图像增强,再对相邻主被动图像利用相位相关方法进行图像配准;然后,对配准图像进行差分运算,得到三个差分图像,对三个差分图像分别进行列均值相减滤波和指数高通滤波,再采用 3×3 像素的中值滤波器进行滤波;采用改进的直方图阈值法对三个差分图像进行二值化,然后对三个二值图像用 3×3 像素的结构元素进行形态学膨胀运算,使得第一个差分二值图像运算结果和第二个差分二值图像运算结果相与,第一次相与结果再和第三个差分二值图像运算结果相与,对相与之后的二值图像进行连通域标记,提取各个分割区域的特征量,以面积、长宽比、紧凑度、圆弧度为判别准则对所有分割区域进行判别,对判别后的

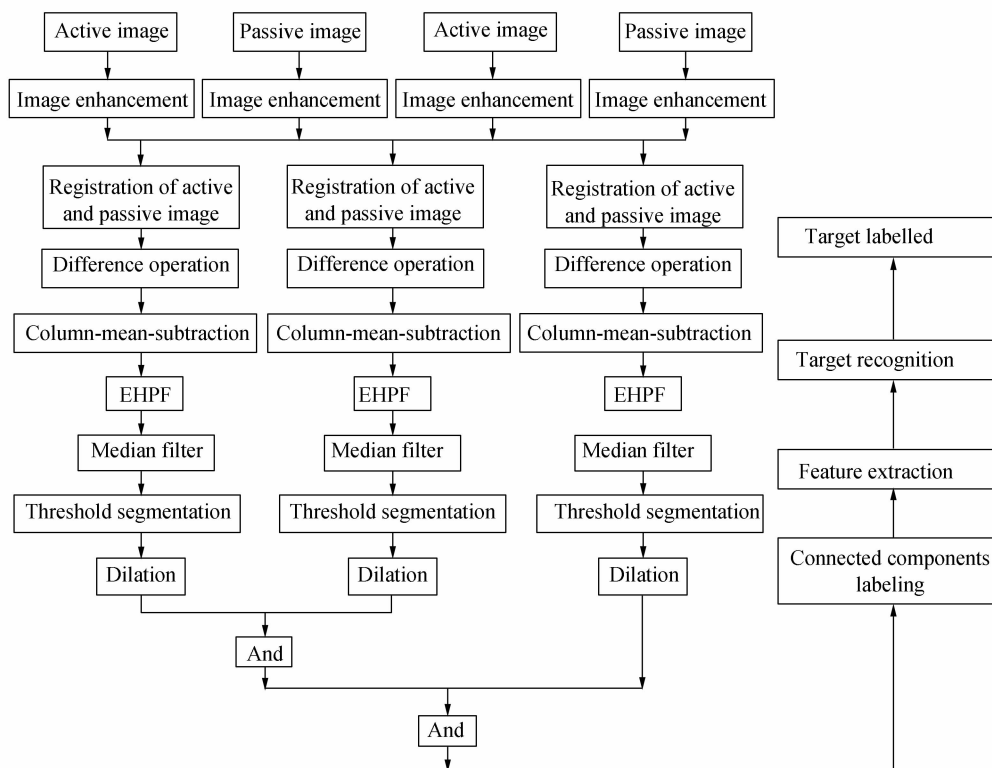


图1 基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法流程

Fig. 1 The flowchart of the recognition method of “cat-eye” effect target based on texture character

各个分割区域以质心为中心求取在原始差分图像(为经图像配准后的差分图像)中一定窗口内的平均灰度值、边界灰度强度、方差以及平均梯度,构造特征评价向量和隶属度向量,根据最大隶属度原则,采用模糊综合评判^[20, 22]对“猫眼”效应目标进行识别.其中基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法包括图像的预处理和判别准则.

1.1 基于 Top-hat 变换的形态学滤波

由于在强光复杂环境下,“猫眼”效应目标小,目标和背景对比度低,通过图像的预处理能够对原始图像进行去除噪音、抑制背景和增强点目标.本文采用 Top-hat 变换的方法对原始图像进行图像增强.

Top-hat 变换^[7]中开闭运算可以定义为 Whitehat 和 Blackhat 的变换对.

Whitehat 变换为对图像开运算与原图像之差,其定义为

$$\text{Whitehat}(f) = f - f \circ b \quad (1)$$

式中, f 为原图像, b 为结构体, $f \circ b$ 表示对图像做开运算.

Blackhat 变换为原图像闭运算与原图像之差,其定义为

$$\text{Blackhat}(f) = f \cdot b - f \quad (2)$$

式中, f 为原图像, b 为结构体, $f \cdot b$ 表示对图像做闭运算.

结构体尺寸与最小目标尺寸关系为

$$\max(S_{\text{object}}) \leq \frac{1}{2} \max(S_{\text{struct}}) \quad (3)$$

式中 $\max(S_{\text{object}})$ 表示小目标图像的二维尺寸最大值; $\max(S_{\text{struct}})$ 表示用于形态学滤波的结构体二维尺寸的最大值^[8].通常情况下,图像中“猫眼”效应目标小于 100 个像素,一般选取 3×3 像素的结构体进行形态学滤波.

1.2 基于相位相关方法的图像配准

由于主被动图像之间存在偏差,使得差分图像中噪音较大.为解决主被动图像直接差分运算中对应相减的像素点不代表实际场景中同一物点问题,在图像差分运算前加入对主被动图像的相位相关图像配准.

1.2.1 相位相关法估计平移参量

相位相关算法最早由 Kuglin 和 Hines 提出^[9].设 $f_2(x, y)$ 为图像 $f_1(x, y)$ 在 x 和 y 方向分别平移 x_0 和 y_0 后的图像,即

$$f_2(x, y) = f_1(x - x_0, y - y_0) \quad (4)$$

令 $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$ 分别为 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 的傅里叶变换,由式(4)得

$$F_2(u, v) = F_1(u, v) e^{-j2\pi(x_0 u + y_0 v)} \quad (5)$$

图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 的互功率谱^[10]为

$$\frac{F_1^*(u, v) F_2(u, v)}{|F_1^*(u, v) F_2(u, v)|} = e^{-j(x_0 u + y_0 v)} \quad (6)$$

式中: $F_1^*(u, v)$ 为 $F_1(u, v)$ 的复共轭.互功率谱的傅里叶逆变换为一个二维脉冲函数 $\delta(x - x_0, y - y_0)$, 通过 δ 函数的位置来确定平移参量 x_0 和 y_0 .

1.2.2 相位相关法估计缩放因子和旋转角度

若主被动图像之间不仅有简单的平移关系,还存在旋转和缩放变换,就需要改进相位相关算法.假设 $f_2(x, y)$ 是由 $f_1(x, y)$ 以 σ 为参量进行缩放,然后逆时针旋转 θ_0 ,再平移 (x_0, y_0) 得到的图像,即

$$f_2(x, y) = f_1[\sigma(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) - x_0, \sigma(-x \sin \theta_0 + y \cos \theta_0) - y_0] \quad (7)$$

$f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 对应的傅里叶变换 $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$ 的幅值谱满足

$$|F_2(u, v)| = \sigma^2 |F_1[\sigma^{-1}(u \cos \theta_0 + v \sin \theta_0), \sigma^{-1}(-u \sin \theta_0 + v \cos \theta_0)]| \quad (8)$$

式中: $|\cdot|$ 表示幅值谱.即幅值谱只和旋转角度 θ_0 和缩放因子 σ 有关,而与平移量 (x_0, y_0) 无关.用 Fourier-Mellin 变换^[11]可以计算出旋转角度 θ_0 和缩放因子 σ .利用旋转角度 θ_0 和缩放因子 σ 对图像 f_1 进行旋转和缩放变换补偿,然后用式(5)、式(6)计算平移量 (x_0, y_0) ,最后完成图像的配准.

1.3 列均值相减

激光照明时获取的目标图像,由于目标对激光反射强度与其周围邻域自然背景的激光反射强度不相关,且一般都高于其邻域背景的激光反射强度,在远距离成像时目标较小,可将其看成具有恒定灰度值的孤立亮斑;而背景在空间上往往呈大面积的连续分布状态,在激光反射的强度上也呈渐变过渡状态,所以图像中的灰度具有较大的空间相关性.但是由于自然光的存在,以及背景中各种物体对激光的反射和吸收不同,主被动图像相减后的差分图像会出现叠影,使得目标与背景的对比度低,目标边缘模糊.

图像中相邻列之间灰度有很强的相关性,采用列均值相减可以抑制背景噪音,即

$$f'_{ij} = f_{ij} - \bar{f}_{j-1} \quad (9)$$

式中 f_{ij} 为原始图像灰度值; \bar{f}_{j-1} 为上一列的灰度均值; f'_{ij} 为列均值相减后的灰度值.

1.4 EHPF

EHPF 的传递函数为

$$H(u, v) = e^{-[D_0/D(u, v)]^n} \quad (10)$$

式中, D_0 为频率平面上从原点起的截止距离,即截止频率, $D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$ 是频率平面点 (u, v) 到频率平面原点 $(0, 0)$ 的距离;变量 n 控制着从原点起的距离函数 $H(u, v)$ 的增长率.

1.5 改进的直方图阈值法

对差分图像进行列均值相减、指数高通滤波和中值滤波处理后,我们要对处理后的差分图像进行二值化.在阈值分割方法中,otsu^[12]和分水岭分割方法是两

个经典的算法,前者存在偏向于将图像等分成大小相似的两个部分的缺点,后者在分析前者缺陷的基础上提出了直接利用类方差和进行阈值分割,但两者都未考虑实际图像的特性,对目标和背景具有相似统计分布的图像分割的效果不甚理想.虽然二者都是自适应阈值分割方法,但是当差分图像中的“猫眼”效应目标较小,其灰度值强度与背景和噪音的灰度强度相当或低于背景和噪音的灰度强度时,不能保证阈值分割后能得到真实的目标,为此提出了一种改进的直方图阈值法.

对于一幅给定的具有 L 个灰度级的图像,其灰度级为 $[0, \dots, L-1]$. 图像中灰度级为 i 的像素的个数为 n_i , 图像的像素总数可以表示为 $N = n_0 + n_1 + \dots + n_{L-1}$, 假定通过阈值 t 将此图像的像素分成 C_a 和 C_b 两类, 其中表示所有灰度级在 $[0, \dots, t]$ 范围内像素的集合, 表示所有灰度级在 $[t+1, t+2, \dots, L-1]$ 范围内像素的集合, 集合中的像素总数为 $N_2 = n_{t+1} + \dots + n_{L-1}$, 和对应图像的背景和目标. 当 N_2 取某一定值时对应的 t , 即为所找的阈值分割点^[25].

当“猫眼”效应目标灰度值较低时,它在差分图像中的灰度值大约为 70 左右. 在差分图像中,当背景图像的灰度值等于或大于目标的灰度值时,既要保证阈值分割后能得到真实的目标,也要尽可能地消除噪音的影响, N_2 的取值就显得异常重要. 为了使阈值分割具有自适应性,即能适应各种分布的背景灰度值,设计了 N_2 取值的分段函数.

设灰度级大于 70 以上出现的次数总和为 $N_{70} = n_{70} + \dots + n_{L-1}$, 其中 N_2 的分段函数为

$$N_2 = \begin{cases} 600, & 0 \leq N_{70} \leq 1000 \\ 800, & 1000 \leq N_{70} \leq 2200 \\ 1000, & 2200 \leq N_{70} \end{cases}$$

式中 N_2 的取值是通过大量试验获取.

1.6 “猫眼”效应目标的判别准则

1.6.1 “猫眼”效应目标的形状特征判别准则

通过分析“猫眼”效应目标的特点和实际激光成像的条件,选择如下特征:1)目标有一定的面积;2)目标有一定的长宽比^[23];3)目标有一定的紧凑度;4)目标有一定的圆形度^[13]. 其中:连通域的面积 A , $A \in (3, 200)$;长宽比 Ratio 定义为连通域最小外接矩形的长 H 与宽 W 的比值,即 $\text{Ratio} = H/W$, 其中 $\text{Ratio} \in (0.7, 1.3)$;紧凑度 R 定义为连通域面积 A 与最小外接矩形面积之比,即 $R = A/(H \times W)$, $R \in (0.5, 1)$;圆形度 C 计算公式为 $C = L^2/4\pi A$, 式中 L 表示连通域的周长, $C \in (0.3, 1)$.

对二值图像进行连通域标记,求出各个分割区域

的面积、长宽比、紧凑度、圆形度以及每个分割区域的质心坐标值.

1.6.2 基于纹理特征的“猫眼”效应目标判别准则

基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法是把计算某一局部区域内灰度值的统计特征作为图像纹理的测度. 平均灰度值、边界灰度强度、方差和平均梯度作为表征图像的纹理特征,其中平均梯度是指某一局部区域在 x 和 y 方向梯度的平均值. 前两个特征适合目标和背景对比度高的目标检测,后两个特征适合检测目标内部强度的变化^[14-15],其中局部区域一般选择正方形窗口^[16-17]. 正方形窗口的大小取决于被探测到的“猫眼”效应目标的大小,一般在实际应用中,远近距离探测到的“猫眼”效应目标一般小于 100 个像素,本文选取以分割区域的质心为中心,在原始差分图像中构建 7×7 像素的正方形窗口,提取分割区域的纹理特征.

首先,以面积、长宽比、紧凑度、圆形度为判别准则对所有分割区域进行判别;然后,对判别后的分割区域以质心为中心在原始差分图像中构建 7×7 像素的窗口,求出相应的纹理特征. 根据“猫眼”效应目标的纹理特性,在原始差分图像中,“猫眼”效应目标的平均灰度值、边界灰度强度、方差是最大的,平均梯度是最小的,但是由于噪音和动态背景差分产生的叠影没有被完全去掉,从而使得“猫眼”效应目标的平均灰度值、边界灰度强度不一定是最大,大量试验数据统计表明,“猫眼”效应目标的方差一般是最大的,平均梯度一般是最小的.

为了使各个特征量能反映目标的真实程度,对各个分割区域的平均灰度值、方差、边界灰度强度以及平均梯度,分别构造相应的特征评价向量,并对各个分割区域的平均灰度值、方差、边界灰度强度进行从大到小排序,对平均梯度进行从小到大排序^[18],其中各个特征值的排序代表与真实目标的关联程度强弱. 若分割区域的数量为 n ,平均灰度值、边界灰度强度排序第一的分割区域其隶属度赋值为 n ,排序第二的分割区域其隶属度赋值为 $n-1$,依次类推. 但方差、平均梯度排序第一的分割区域其隶属度赋值为 $n+2$,排序第二的分割区域其隶属度赋值为 $n+1$,依次类推. 然后对各个分割区域构造相应的隶属度向量. 最后,按照最大隶属度原则^[19],采用模糊综合评判^[20, 22]实现对“猫眼”效应目标的识别.

模糊综合评判强调的是整体效果,不会因为个别条件(平均灰度值和边界灰度强度)较差而产生误判^[20, 24],其中模糊综合评判“猫眼”效应目标识别流程如图 2.

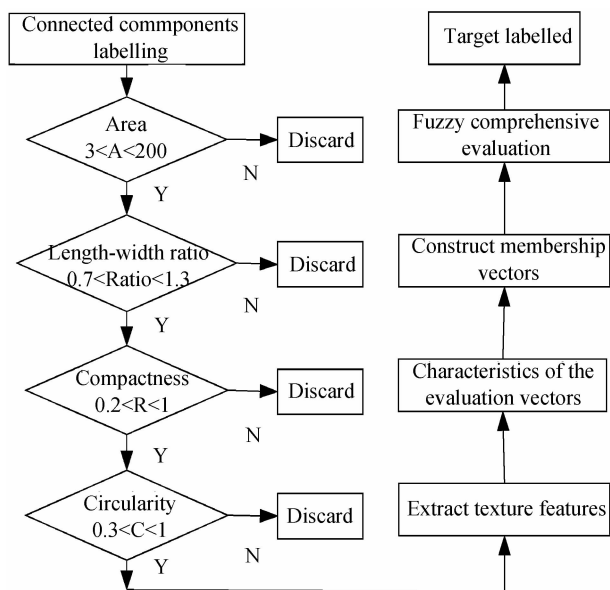


图2 模糊综合评判“猫眼”效应目标识别流程
Fig. 2 The flowchart of the “cat-eye” effect target recognition of the fuzzy comprehensive evaluation

2 试验与仿真

为验证基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法在动态复杂环境下对“猫眼”效应目标识别的可行性和有效性,做了3组典型试验.试验1、试验2和试验3验证基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法在近距离(150 m,194 m)和远距离(856 m)的可行性和有效性,其中试验1、试验2同时验证该方法能够去除车灯.

试验1数据包括图3~图11以及表格1.图3中(a)和(c)是原始图像被动图像;(b)和(d)是原始图像主动图像,“猫眼”效应目标大小为 5×5 像素.在主动图像中可以看到车灯和“猫眼”效应目标同时存在,其中矩形框标记的目标为“猫眼”效应目标,椭圆框标记的目标为车灯,目标为置于三脚架上的望远镜;图4中(a)~(d)是采用 3×3 像素的结构体对图3中(a)~(d)原始图像进行Top-hat变换的图像,并且标注了相应图像的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR),从处理后的图像和PSNR的数值可知,利用Top-hat变换进行图像增强达到了增强点目标、去除噪声和抑制背景的目的;图5中(a)是图4(a)和(b)差分

运算的图像;(b)是图4(b)和(c)差分运算的图像;(c)是图4(c)和(d)差分运算的图像;(d)~(f)为图5(a)~(c)对应图像的三维灰度图;图6中(a)~(c)为相邻主被动图像互功率谱的傅里叶反变换曲线;图7中(a)是图4(a)和(b)经相位相关配准后的差分图像;(b)是图4(b)和(c)经相位相关配准后的差分图像;(c)是图4(c)和(d)经相位相关配准后的差分图像;(d)~(f)为图7(a)~(c)对应图像的三维灰度图,此时在差分图像

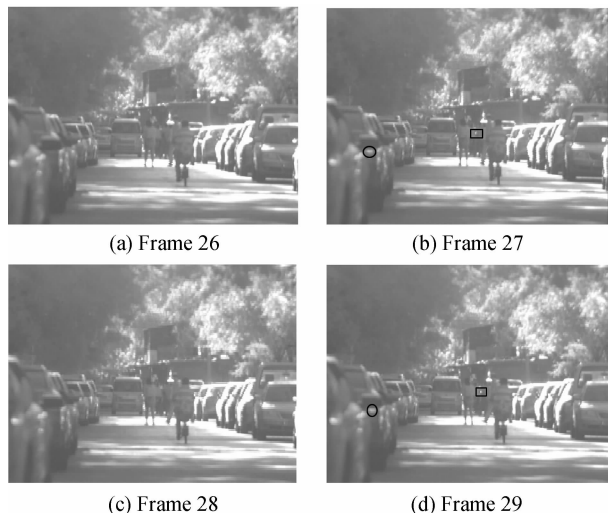


图3 原始图像的被动和主动图像
Fig. 3 The original passive and active images

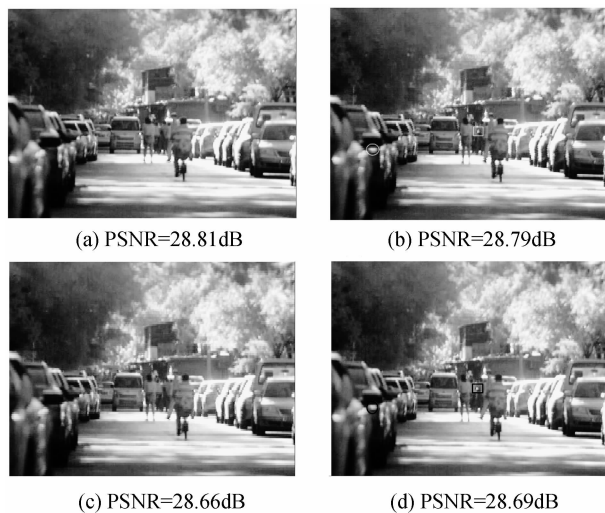


图4 图3经过Top-hat变换的图像
Fig. 4 Images of Fig. 3 after the Top-hat transformation



(a) The subtraction of Fig.4(a) and Fig.4(b)



(b) The subtraction of Fig.4(b) and Fig.4(c)



(c) The subtraction of Fig.4(c)

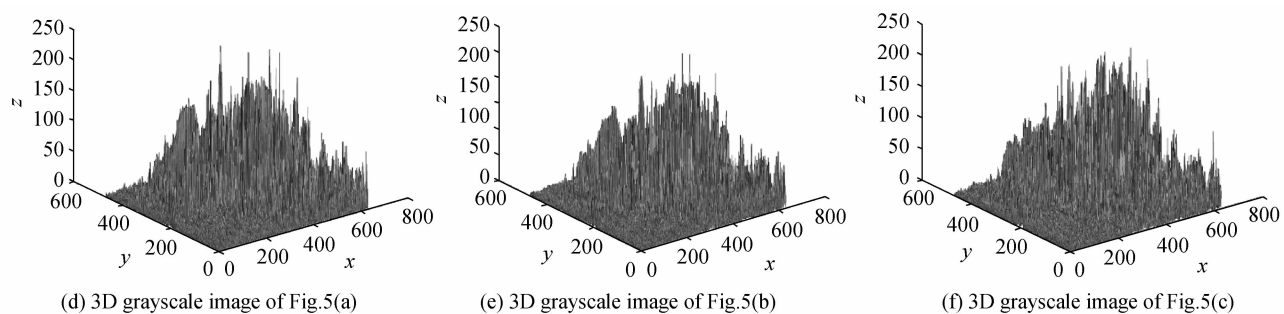


图5 差分运算和三维灰度图
Fig.5 The subtraction and 3D grayscale images of Fig. 5(a)~(c)

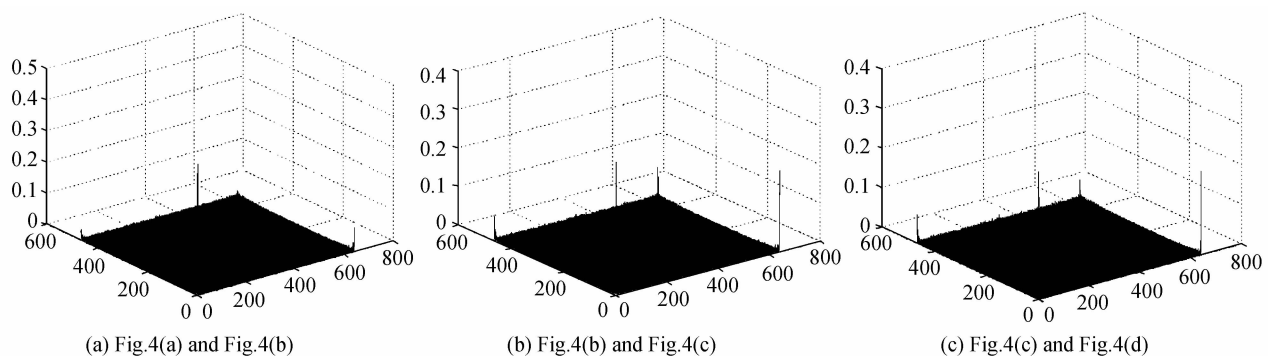


图6 相邻主被动图像互功率谱的傅里叶反变换曲线
Fig.6 The inverse Fourier transform curve of the cross power spectrum

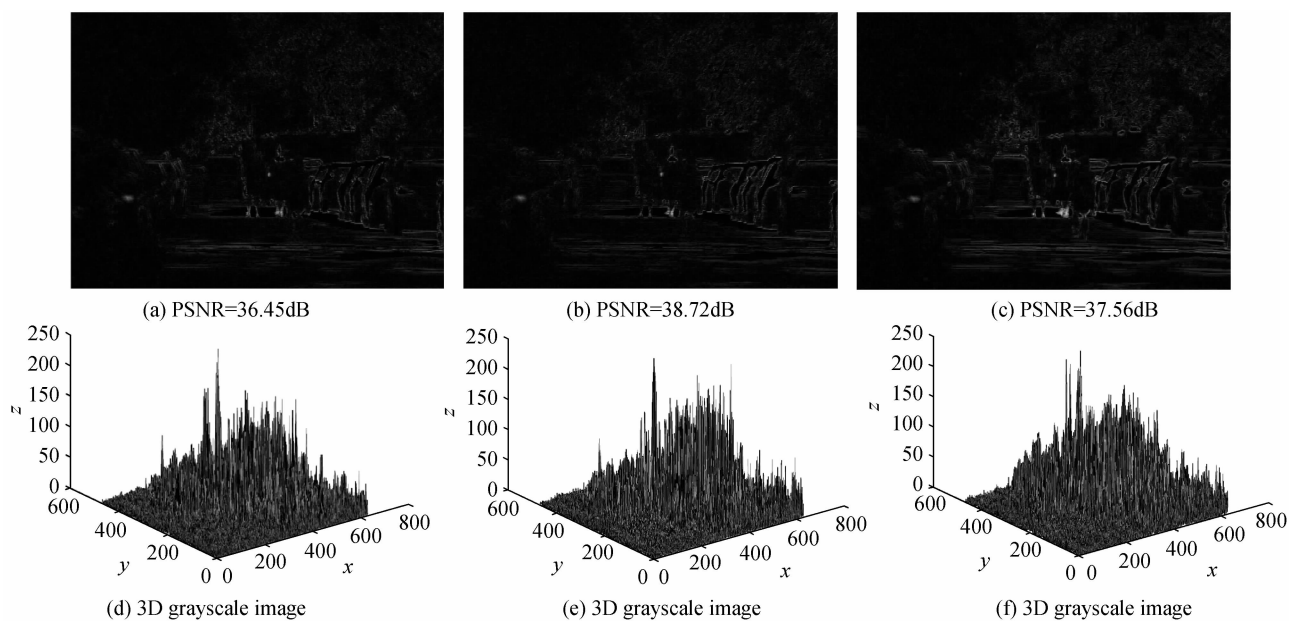


图7 经相位相关配准后的差分图像及对应图像的三维灰度图

Fig.7 The difference image after the phase correlation matching and the corresponding 3D grayscale images

中仍然能够看得到车灯的存在;通过图 5(d)~(f)差分图像的三维灰度图和图 7(d)~(f)差分图像的三维灰度图进行对比以及 PSNR 数值,可知经过相位相关配准后的差分图像中干扰区域明显减少。

图 8 中(a)~(c)对应图 7 的(a)~(c)经过列均值相减、指数高通滤波和中值滤波之后的差分图像,(d)~(f)为对应图像的三维灰度图,此时可以看到图像中的车灯已经被去除。指数高通滤波器截止频率 D_0 越高

滤除车灯的效果就越好,但是当截止频率 D_0 过高时,会造成过度截止从而使得“猫眼”效应目标变得更小甚至消失,使得难以提取和识别“猫眼”效应目标。在截止频率 D_0 不变的情况下,阶数 n 越高效果越好,越能去除车灯的影响,但是当 $n \geq 6$ 时,效果增加不明显。为达到既能去除车灯又能较好的保留“猫眼”效应目标的目的,通过大量试验得出指数高通滤波器的截止频率 D_0 为 35,阶数 n 为 4 时效果最好。从图 8(d)~(f)差分图

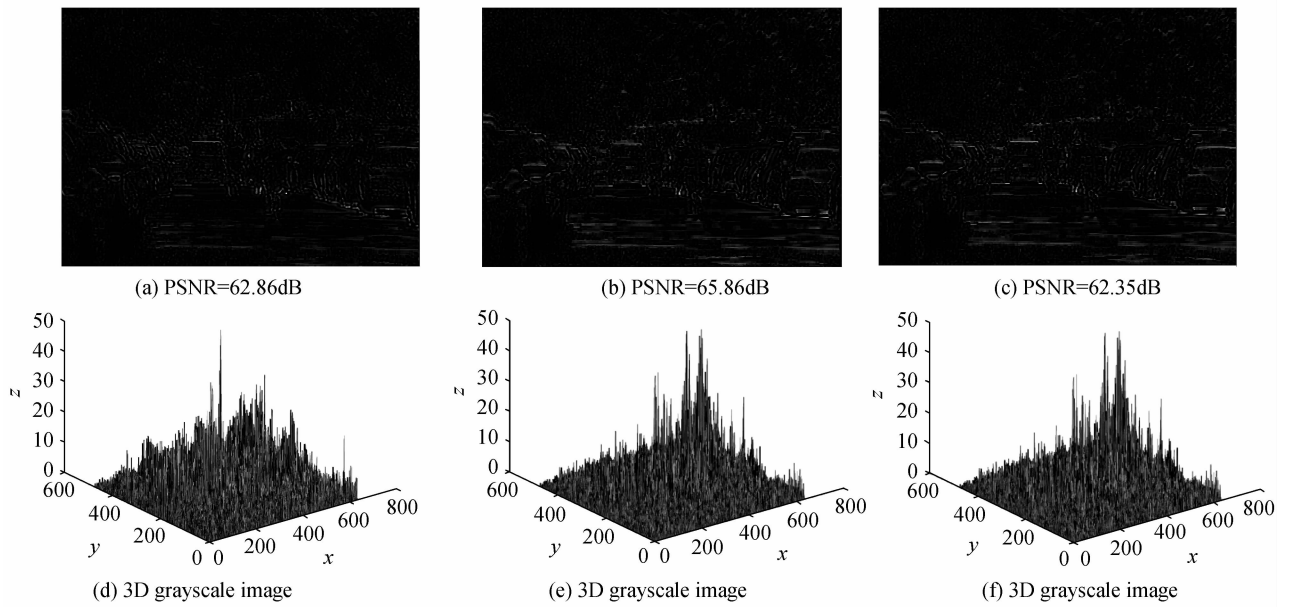


图8 经过列均值相减、指数高通滤波和中值滤波之后的差分图像和对应图像的三维灰度图

Fig. 8 The difference images after the column mean subtraction, EHPF and median filter and the 3D grayscale images

像的三维灰度图可以看出经过列均值相减滤波和中值滤波后,图像中的背景噪音得到了较好的抑制,“猫眼”效应目标得到了增强。

图9中(a)~(c)是图8中(a)~(c)采用改进的直方图阈值法二值分割的图像,其中采用otsu和分水岭分割方法进行二值分割时,会出现过度分割导致图9(c)中的目标消失,从而使得多帧差分二值图像相乘后,图像中的目标也消失,导致无法检测出目标,但改进的直方图阈值法能够很好的分割出背景和“猫眼”效

应目标,且具有自适应性;图10(a)为图9(a)和(b)经过膨胀之后再相与的图像;(b)为图10(a)和图9(c)经过膨胀之后再相与的图像,通过多帧差分二值图像相乘的方法可以有效去除由于图像中的高频噪音、光照变化、背景微小变化和图像配准误差等因素产生的噪音点,并且在动态背景配准的基础上,也能够去除差分图像间不同的大部分动态背景,因此多帧差分二值图像相乘的方法具有很强的抗噪音和抗干扰的能力.图11(a)为图10中(b)经过形状判别后图像,其中去除了

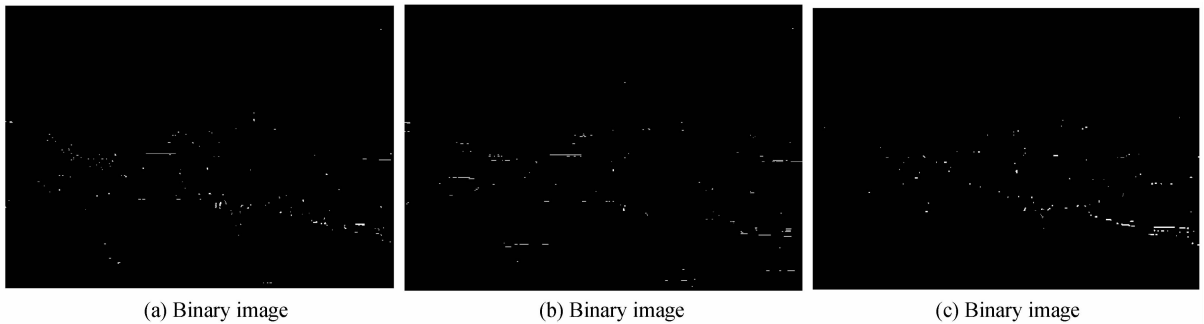


图9 改进的直方图阈值法二值分割的图像

Fig. 9 The binary images by the improved histogram threshold value method

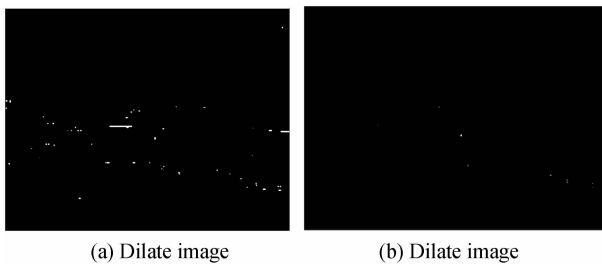


图10 经过膨胀之后再相与的图像

Fig. 10 The image after the dilation operation

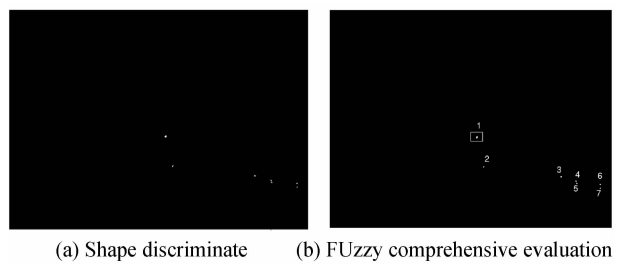


图11 经过形状判别后图像和经过模糊综合评判识别之后的图像

Fig. 11 The shape discrimination and fuzzy comprehensive evaluation recognition image

一个面积小于3的伪目标;图11(b)为图11(a)经过模糊综合评判后的图像,“猫眼”效应目标用矩形框标记,可知基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法能够在动态复杂环境下准确的识别“猫眼”效应目标.表1列出了图11(b)中分割区域特征量的数值及判断结果,

其中采用文献[5]方法处理在形状判别后还剩两个分割区域,且不能对分割区域3进行有效识别.由于采用文献[5-6]方法处理图像不能去除车灯的影响,此时还会有一个车灯的伪目标存在,并且二者都不能对车灯和“猫眼”效应目标进行有效区分.

表1 分割区域特征的数值及其判断结果

Table 1 The feature value of target regions and its judged results

Segmentation	1	2	3	4	5	6	7
Area centroid	(332,274)	(347,338)	(524,360)	(558,370)	(559,374)	(613,376)	(332,274)
Area	14	5	8	6	6	5	4
Length-width ratio	1.25	2	0.75	1	1	0.667	0.667
Compactness	0.7	0.625	0.667	0.667	0.667	0.833	0.667
Circularity	0.363 8	0	0.358 1	0.212 2	0.212 2	0.254 6	0.019 9
Shape discriminate	True	False	True	False	False	False	False
Mean-gray	84.51		38.08				
Edge-gray-intensity	229.87		175.79				
Variance	2260.7		1 850				
Mean-gradient	-11.22		-11.06				
Membership degree	10		4				
Fuzzy comprehensive-evaluation	True		False				

试验2数据包括图12~图15.图12中(a)和(c)为原始被动图像;(b)和(d)为原始主动图像,“猫眼”效应目标大小为6×6像素;图13中(a)是图12(a)和(b)经相位相关配准后的差分图像;(b)是图12(b)和(c)经相位相关配准后的差分图像;(c)是图5(c)和(d)经相位相关配准后的差分图像;(d)~(f)为图13(a)~(c)对应图像的三维灰度图.在差分图像中,能看到车灯和“猫眼”效应目标的存在,其中矩形框标记的目标为“猫眼”效应目标,椭圆框标记的目标为车灯;图14中(a)~(c)对应图13(a)~(c)经过列均值相减、指数高通滤波和中值滤波之后的差分图像;(d)~(f)为图14(a)~(c)对应图像的三维灰度图.通过图13和图14可知,列均值相减、指数高通滤波和中值滤波能够去除车灯的影响,并且是可行的、有效的.图15为经过模糊综合评判识别之后的图像,“猫眼”效应目标用矩形框标记.

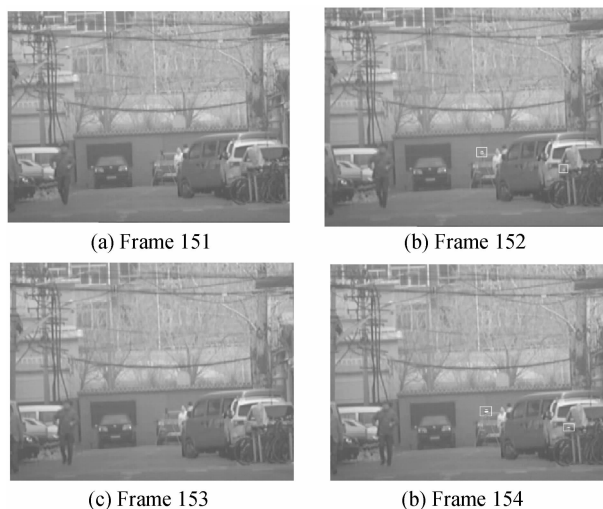
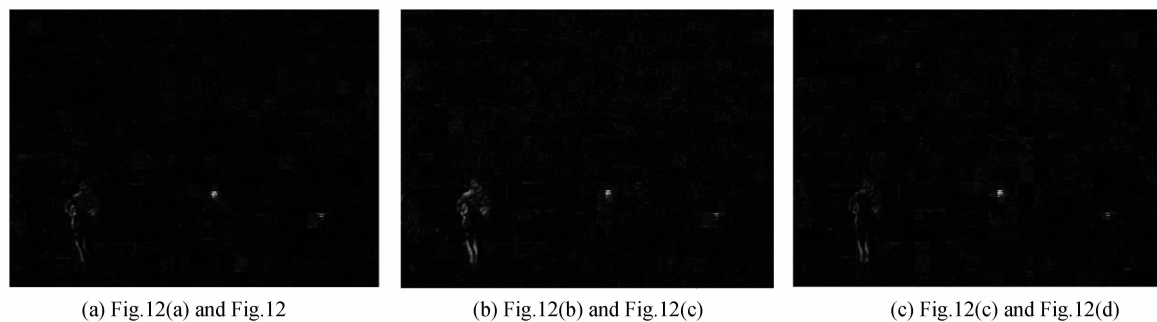


图12 原始被动图像和原始主动图像
Fig.12 The original passive images and original active images



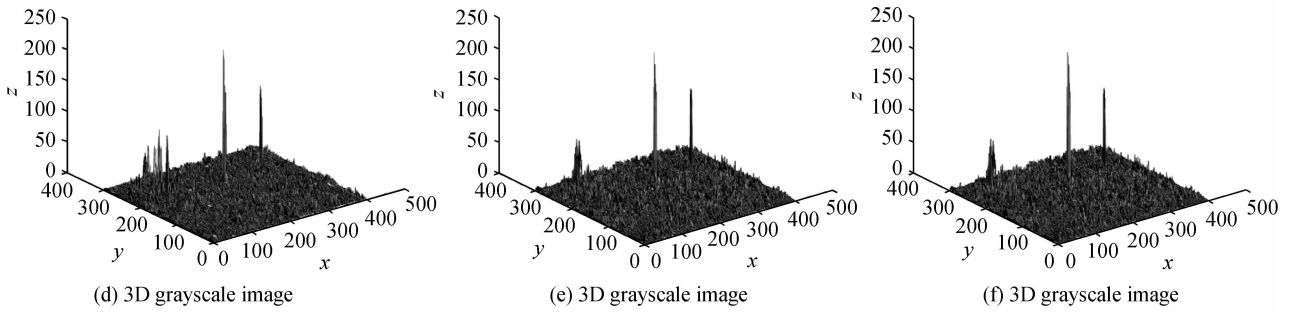


图 13 经相位相关配准后的差分图像和对应图像的三维灰度图

Fig. 13 The difference image after the phase correlation matching and the corresponding 3D grayscale images

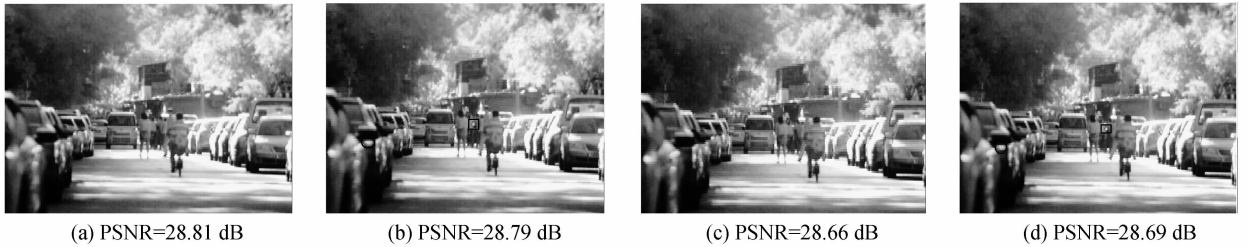


图 14 经过列均值相减、指数高通滤波和中值滤波之后的差分图像和对应图像的三维灰度图

Fig. 14 The difference images after the column mean subtraction, EHPF and median filter and the 3D grayscale images



图 15 经过模糊综合评判识别之后的图像

Fig. 15 After the fuzzy comprehensive evaluation recognition

通过试验 1 和试验 2 可知基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法在动态复杂环境下能够对“猫眼”效应目标进行准确的识别,并且能够去除车灯。

试验 3 数据包括图 16~图 17。图 16 中(a)和(c)为原始被动图像;(b)和(d)为原始主动图像,“猫眼”效应目标大小为像素;图 17 为经过模糊综合评判识别之后的图像,“猫眼”效应目标用矩形框标记。通过图 17 对“猫眼”效应目标进行了识别和标记,验证了基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法在远距离场景下也能够对“猫眼”效应目标进行有效的识别。

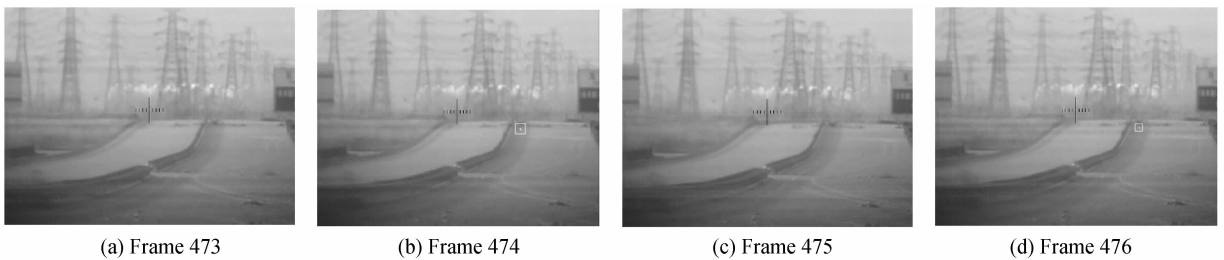


图 16 原始被动图像和原始主动图像

Fig. 16 The original passive and active images

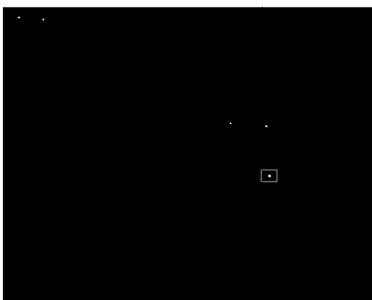


图 17 经过模糊综合评判识别之后的图像

Fig. 17 After the fuzzy comprehensive evaluation recognition

为了证明基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法的优越性,在识别率、虚警率和图像处理帧数上,与 SFDC 方法进行比较,其中识别率、虚警率是对每个场景各取 512 帧图像进行处理,并统计得到其各自的平均值。由表 2 可知,基于纹理特征的“猫眼”效应识别方法比 SFDC 方法有更高的识别率和较低的虚警率^[21],并且仅处理 4 帧图像就能实现对“猫眼”效应目标的识别,而 SFDC 方法却要处理 240 帧图像才可以对“猫眼”效应目标进行有效识别,使得 SFDC 方法的数据存储量和运算量大。

表 2 基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法与 SFDC 方法对比表

Table 2 The comparison of the recognition method of “cat-eye” effect target based on texture character and the method of SFDC

	Recognition rate/(%)		Falsealarmrate/(%)		Image processing frames/frame	
	Proposed method	SFDC	Proposed method	SFDC	Proposed method	SFDC
Experiment 1	95.1	36.2	1.4	3.7	4	240
Experiment 2	97.8	63.5	0.9	3.3	4	240
Experiment 3	98.2	86.1	1.6	6.1	4	240

3 结论

本文提出了一种基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法. 首先, 通过相位相关配准解决了主被动图像直接差分运算对应相减的像素点不代表实际场景中同一物点的问题; 利用列均值相减、指数高通滤波和中值滤波去除了车灯; 采用改进的直方图阈值法能较好的分割出背景和“猫眼”效应目标; 利用多帧差分二值图像相乘的方法去除了差分图像中大部分动态背景和随机噪声的影响; 然后, 依据“猫眼”效应目标的形状特性进行判别; 最后, 根据“猫眼”效应目标的纹理特征, 构造特征评价向量和隶属度向量, 按照最大隶属度原则, 通过模糊综合评判对“猫眼”效应目标进行识别. 试验验证了基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法在动态复杂环境下对“猫眼”效应目标识别的可行性和有效性, 并且与 SFDC 方法相比有更高的识别率和较低的虚警率, 具有运算量小、数据存储量小、图像处理帧数少、鲁棒性好的优点.

参考文献

- [1] BI Bo-rui, XUE Chang-jia, GU Heng, *et al.* Anti-sniper detector based on linear array CCD[J]. *Journal of Applied Optics*, 2010, **31**(2): 204-206.
毕博瑞, 薛常佳, 谷衡等. 基于线阵 CCD 反狙击探测仪研制[J]. *应用光学*, 2010, **31**(2): 204-206.
- [2] LECOCQ C, DESHORS G, LADO-BORDOWSKY ETAL O. Sight laser detection modeling[C]. SPIE, 2003, **5086**: 280-286.
- [3] YANG Qing-hua, ZHOU Ren-kui, ZHAO Bao-chang. Lateral shift tolerance of moving cat's-eye retroreflector and inclination of secondary mirror[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(5): 1172-1175.
杨庆华, 周仁魁, 赵葆常. 猫眼动镜横移误差容限及次镜倾斜分析[J]. *光子学报*, 2009, **38**(5): 1172-1175.
- [4] DANG Er-sheng, LI Li. Laser detection cat-eye effect target recognition algorithm [J]. *Aeronautical Science & Technology*, 2011, **6**: 59-62.
党二升, 李丽. 激光探测“猫眼”效应目标识别算法[J]. *航空科学技术*. 2011, **6**: 59-62.
- [5] TONG Lan-juan, JIANG Xiao-yu, SONG Xiao-shan, *et al.* Target detection based on laser imaging with “cat eye effect” [J]. *Laser & Infrared*, 2009, **39**(9): 983-985.
同兰娟, 蒋晓瑜, 宋小杉. 基于“猫眼”效应激光成像的目标探测[J]. *激光与红外*, 2009, **39**(9): 983-985.
- [6] REN Xi-ming, LI Li. Recognizing “cat-eye” targets with dual criterions of shape and modulation frequency [J]. *Chinese Optics Letters*, 2011, **9**(1): 1-5.
- [7] YU Ling-ling, XIN Yun-hong. A small ir target detection and tracking algorithm based on morphological and genetic-particle filter[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, **42**(7): 849-856.
王玲玲, 辛云宏. 基于形态学与遗传粒子滤波器的红外小目标检测与跟踪算法[J]. *光子学报*, 2013, **42**(7): 849-856.
- [8] WEN Pei-zhi, SHI Ze-lin, YU Hai-bin. A detection method for IR point target on sea background based on morphology [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(6): 56-58.
温佩芝, 史泽林, 于海斌. 基于形态学海面背景红外点目标检测方法[J]. *光电工程*, 2003, **30**(6): 56-58.
- [9] KUGLINCDE, HINESDC. The phase correlation image alignment method [C]. IEEE International Conference on Cybernetics and Society. New York, 1975: 163-165.
- [10] GUO Ming, ZHOU Xiao-dong. A novel registration algorithm for images with small ship target [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(2): 196-199.
郭明, 周晓东. 舰船小目标图像配准算法[J]. *光子学报*, 2012, **41**(2): 196-199.
- [11] CHEN Q S, DEFRISE M, DECONINCK F. Symmetric phase-only matched filtering of fourier-mellin transforms for image registration and recognition[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, **16**(12): 1156-1168.
- [12] OTSU N. A threshold selection method from gray level histogram[J]. *IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics*, 1979, **9**(1): 62-66.
- [13] HAO Jian-ping, YANG Jin-zhong, Du Tian-qing, *et al.* A study on basic morphologic information and classification of maize cultivars based on seed image process [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, **41**(4): 994-1002.
- [14] KWON H, DER S Z, NASRABADI N M. Adaptive multi-sensor target detection using feature-based fusion [J]. *Opt Eng*, 2002, **41**(1): 69-80.
- [15] WANG Zhi-cheng, GAO Chen-qiang, TIAN Jin-wen, *et al.* Multifeature distance map based fusion detection of small infrared targets with low contrast in image sequences [C]. SPIE, 2005, **5985**(5985): 3J1-3J5.
- [16] 刘丽霞. 图像纹理特征研究和比较[D]. 北京: 北京邮电大学.
- [17] QIAO Li-yong, XU Li-xin, GAO Min. Survey of image complexity metrics for infrared target recognition [J]. *Infrared Technology*, 2013, **35**(2): 88-95.
乔立永, 徐立新, 高敏. 红外目标识别图像复杂度度量方法综述[J]. *红外技术*, 2013, **35**(2): 88-95.
- [18] FAN Hong-shen, NI Guo-qiang, FENG Yu-fang. A new algorithm for small and dim target detection of visible image under heavy clutters [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, **31**(6): 49-51.
范宏深, 倪国强, 冯煜芳. 复杂背景可见光图像中弱小目标探测的新算法. *光电工程*, 2004, **31**(6): 49-51.

- [19] ZHANG Bian-li, CHANG Sheng-jiang, LI Jiang-wei, *et al.* Intelligent control of video monitoring system based on the color histogram analysis[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, **55**(12): 6400-6404.
张便利,常胜江,李江卫,等. 基于彩色直方图分析的智能视频监控[J]. *物理学报*, 2006, **55**(12):6400-6404.
- [20] LIU Song-tao, SHEN Tong-sheng, ZHOU Xiao-dong, *et al.* Study of real time recognition technique for infrared imaging guiding system ship target [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2004, **23**(1): 44-46.
刘松涛,沈同圣,周晓东,等. 红外成像型制导系统舰船目标实时识别技术研究[J]. *红外与毫米波学报*, 2004, **23**(1):44-46.
- [21] WABG Xin, LV Guo-fang, XU Liz-hong. Infrared dim target detection based on visual attention[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2012, **55**: 513-521.
- [22] LIN Yu-chi, CUI Yan-ping, HUANG Yin-guo. Study on edge detection and target recognition in complex background [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2006, **14**(13): 510-514.
林玉池,崔彦平,黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. *光学精密工程*, 2006, **14**(13):510-514.
- [23] TANG Zi-li, MA Cai-wen. Application of the complex target-identify technique based on flight path and character in tracking of multi-targets[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(2): 376-379.
唐自力,马彩纹. 基于航迹和特征的目标识别技术在多目标跟踪中的应用[J]. *光子学报*, 2010, **39**(2):376-379.
- [24] LU Ya-ning, GUO Lei, LI Hui-hui. Remote sensing image fusion using edge information and features of SAR image based on curvelet transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(9): 1119-1123.
路雅宁,郭雷,李晖晖. 结合边缘信息与图像特征信息的曲波域遥感图像融合[J]. *光子学报*, 2012, **41**(9):1119-1123.
- [25] WU Zhi-guo, WANG Yan-jie. An image enhancement algorithm based on histogram nonlinear transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(4): 756-758.
武治国,王延杰. 一种基于直方图非线性变换的图像对比度增强方法[J]. *光子学报*, 2010, **39**(4):756-758.