



·前沿技术与交叉科学·

# 基于轮廓匹配的夜晚环境下猫眼目标识别方法\*

孙思宇<sup>1,2</sup>, 丁红昌<sup>1,2</sup>, 曹国华<sup>1,2</sup>

(1. 长春理工大学 机电工程学院, 长春 130022; 2. 长春理工大学 重庆研究院, 重庆 401135)

**摘 要:** 为了解决“猫眼”目标在夜晚环境下难识别的问题, 提出了一种基于归一化中心矩的轮廓匹配“猫眼”目标识别方法。首先利用中值滤波对图像进行去噪, 采用固定阈值分割完成了对图像的分割, 使得“猫眼”目标与部分背景分离, 使用 Roberts 边缘检测提取出了所有物体的边缘, 最后采取了基于归一化中心矩的轮廓匹配算法, 该算法不受平移和放缩的影响, 提取出了图像中的所有圆形目标, 并利用面积判别识别了真实目标, 对识别出的目标绘制最小外接圆, 利用圆心坐标对其定位。通过对不同光照强度下的“猫眼”图像进行实验与对比, 验证了该方法的可行性, 并通过目标识别评价指标验证了该方法的有效性。实验结果表明, 该方法的全局准确率可达 92.1%, 可以在夜晚环境不同光照强度下成功地“猫眼”目标进行识别。

**关键词:** 夜晚环境; “猫眼”效应; 目标识别; 轮廓匹配; 归一化中心矩

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A doi: 10.11884/HPLPB202335.220384

## Cat eye target recognition method based on contour matching in night environment

Sun Siyu<sup>1,2</sup>, Ding Hongchang<sup>1,2</sup>, Cao Guohua<sup>1,2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China;

2. Chongqing Research Institute, Changchun University of Science and Technology, Chongqing 401135, China)

**Abstract:** To solve the problem that “cat’s eye” target is difficult to recognize at night, a contour matching algorithm based on normalized central moment is proposed. Firstly, the median filter is used to denoise the image, and the fixed threshold segmentation is used to complete the image segmentation, so that the “cat’s eye” target is separated from part of the background. Roberts edge detection is used to extract the edges of all targets. Finally, the contour matching algorithm based on the normalized central moment is adopted, which is not affected by translation and contraction. All the circular targets in the image are extracted, and the real targets are identified by area discrimination. The minimum peripheral circle is drawn for the identified targets, and the coordinates of the center of the circle are used to locate them. The feasibility of this method is verified by experiments and comparisons of “cat’s eye” images under different illumination intensities, and the effectiveness of this method is verified by target recognition evaluation index. Experimental results show that the global accuracy of this method can reach 92.1%, and it can successfully identify the “cat’s eye” target under different illumination intensity at night.

**Key words:** night environment, “cat’s eye” effect, target recognition, contour matching, normalized central moment

现代战争中, 夜间作战的比重日益增加, 随着科技水平的不断发展, 携带先进光电装备的单兵威胁也越来越大。由于夜晚环境的光照强度低, 目标不易被察觉, 往往会对己方形成重创<sup>[1-2]</sup>。因此, 在夜晚环境下对敌方单兵目标的探测和识别就显得尤为重要。

目前, 探测单兵目标可以利用光电装备的“猫眼”效应原理<sup>[3]</sup>。国内在“猫眼”目标识别方面, 起步较晚, 目前仍处于理论研究阶段, 利用数字图像处理算法的“猫眼”目标识别也大多局限于在日间环境, 对于光照强度低的夜晚

\* 收稿日期: 2022-11-10; 修订日期: 2023-03-13  
基金项目: 173 计划项目(2022-JCJQ-JJ-0257)  
联系方式: 孙思宇, sunsy72@163.com。  
通信作者: 丁红昌, dinghc@cust.edu.cn。

环境研究不多。同兰娟<sup>[4]</sup>等在传统判别圆形度的参数基础上,提出了一种偏心距参数判别圆形度,有效地识别出了真实目标,但由于其众多的判别参数,导致耗时较长,识别速度慢;杨岳青<sup>[5]</sup>等基于局部特征,利用主被动图像的灰度值差异识别目标,提高了算法的速度,但该算法只针对近距离的识别,对较远距离的目标识别准确度差;李丽<sup>[6]</sup>等基于纹理特征,构造隶属度向量,采用模糊综合判别区分出了“猫眼”目标与车灯目标,但由于其算法特点,对于夜晚环境下的“猫眼”目标识别效果不佳。近年来,王洪玺<sup>[7]</sup>等采用最小外接矩形拟合轮廓点集,进而得到长宽比、倾斜角等数据进行目标识别。同时,陈文龙<sup>[8]</sup>等利用了传统图像处理算法与深度学习结合的方式在复杂环境下识别“猫眼”目标;白兴斌<sup>[9]</sup>等用图像配准后进行差分的方法进行“猫眼”目标探测;王喆堃<sup>[10]</sup>等基于 OFSD 配准算法,在动态环境下对“猫眼”目标进行识别。

为了提高夜晚环境下“猫眼”目标的识别准确性和速度,本文提出了一种基于归一化中心矩的轮廓匹配“猫眼”目标识别方法,首先对采集到的图像进行预处理,然后采用基于归一化中心矩的轮廓匹配提取出圆形目标,并利用像素面积进行筛选,对真实目标绘制最小外接圆,提取出圆心对其定位。最后利用夜晚环境下不同光照强度的“猫眼”目标图像,通过实验验证了该方法的可行性;并通过目标识别评价指标验证了该方法的有效性。

## 1 原理及算法流程

### 1.1 “猫眼”效应原理

在夜晚环境下,猫的眼睛与其他身体部位相比会异常明亮。现代战争中的光电武器装备,如狙击枪瞄准镜、单兵望远镜等,同猫的眼睛一样具有“猫眼”效应。当外界光源的光信号进入光电武器装备后,其内部的光电装置会将光信号沿着原路返回,而其他部位由于是漫反射,返回光信号的强度要远低于瞄准镜、望远镜等“猫眼”设备,所以在我方接受端会捕捉到一个明显的“亮斑”<sup>[11]</sup>。

“猫眼”效应的物理模型可以近似等效为一个聚焦透镜和一个焦平面反射元件的组合,如图1所示。

当一束外界光信号  $AB$  平行于光轴  $OO'$  经过聚焦透镜,聚焦到焦平面反射元件  $HH'$  上的焦点  $F$  时,由于“猫眼”效应,反射光线经过透镜后会沿着  $BA$  原路返回;同理,从其他方向入射的光线  $MN$  也会沿着  $NM$  原路返回,使得“猫眼”设备的回波信号比其他漫反射元件更强。

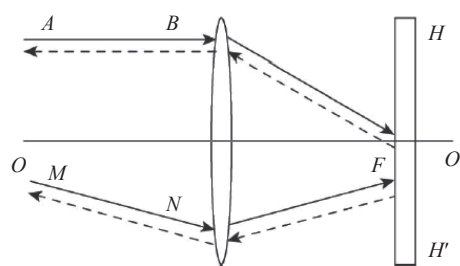


Fig. 1 Principle of the “cat's eye” effect

图1 “猫眼”效应原理

### 1.2 算法流程

本文首先使用图像滤波算法去除噪声,然后采用阈值分割算法分割出目标,并用形态学处理优化分割效果,再用边缘检测算子找出其边缘,良好的图像预处理可以为后续的识别打下基础,简化识别过程,提高识别的准确率。在目标识别算法中,采用了基于归一化中心矩的轮廓匹配算法,归一化中心矩是基于形状的高阶矩,具有平移不变性和缩放不变性,在识别过程中不易受其他因素的干扰,而后使用面积特征筛选匹配到的轮廓目标,找出真实目标,最后将其定位。算法流程如图2所示。

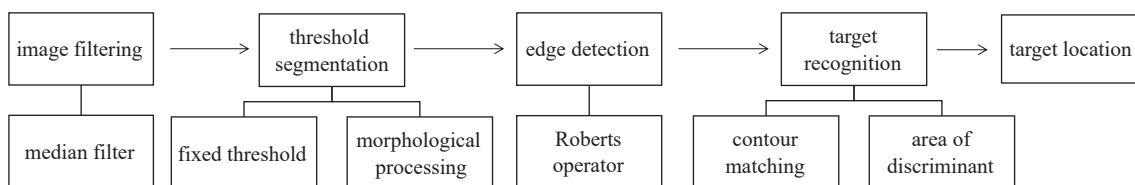


Fig. 2 Algorithm flowchart

图2 算法流程

## 2 算法原理

### 2.1 图像滤波

通过视觉上的对比与观察,本文所采集的图像属于脉冲噪声。常用的去除这种噪声的有效手段是使用中值滤波器。中值滤波器是一种非线性滤波器,对脉冲噪声的处理效果尤为明显。中值滤波在去噪的同时可以更大程度地保留图像边缘信息,同时算法简单,易于实现<sup>[12]</sup>。中值滤波是选取模板窗口中所有值的中值,去代替模板窗口的中心值,由于需要有中值的存在,所以需要选取大小为奇数的模板窗口。

图像滤波后要对滤波的结果图像进行评价,常用的评价指标有均方误差 MSE(Mean-Square Error)和峰值信噪比 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)<sup>[13]</sup>。

均方误差 MSE(Mean-Square Error)的表达式为

$$E_{MS} = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (1)$$

式中:  $I(i, j)$ 表示纯净信号,即未处理图像的灰度值;  $K(i, j)$ 表示滤波后信号,即经过滤波处理后的图像灰度值;  $m$ 表示图像的宽度;  $n$ 表示图像的高度。

峰值信噪比 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)的表达式为

$$R_{PSN} = 20 \times \lg \left( \frac{255}{\sqrt{E_{MS}}} \right) \quad (2)$$

## 2.2 阈值分割

根据“猫眼”目标的回波特性,夜晚环境下“猫眼”目标亮度较高且均匀,因此选用固定阈值分割,此算法简单,实时性强。本文所采用的固定阈值分割算法是图像二值化,图像二值化是将所有小于给定阈值的灰度值置黑,将所有大于给定阈值的灰度值置白<sup>[14]</sup>。

为了客观地得出阈值分割的分割精度,需要对阈值分割算法进行评判,常用的评判指标有 Dice 相似系数、体积重叠误差 VOE(Volumetric Overlap Error)和相对体积差 RVD(Relative Volume Difference)。

Dice 相似系数的表达式为

$$C_{Dice} = \frac{2(f_{seg} \cap f_{gt})}{(f_{gt} + f_{seg})} \quad (3)$$

体积重叠误差 VOE(Volumetric Overlap Error)的表达式为

$$E_{VO} = \frac{2(f_{seg} - f_{gt})}{(f_{gt} + f_{seg})} \quad (4)$$

相对体积差 RVD(Relative Volume Difference)的表达式为

$$D_{RV} = \left( \frac{f_{seg}}{f_{gt}} - 1 \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中:  $f_{gt}$ 为标准分割函数;  $f_{seg}$ 为算法分割函数。Dice 相似系数的完美分割值为 1; 体积重叠误差 VOE 的完美分割值为 0; 相对体积差 RVD 的完美分割值为 0。

阈值分割后会有许多微小黑色像素或微小白色像素干扰,所以采用形态学处理加以去除。经过阈值分割和形态学处理,图像呈现二值化,大大提高了对比度;并且去除了微小像素的干扰,为之后的目标识别奠定了良好的基础。

## 2.3 边缘检测

经过阈值分割后,由于高阈值区域为非封闭区域,为了进一步查找轮廓,采用边缘检测算法找出边缘,使得高阈值区域封闭,为下一步的查找轮廓提供便利<sup>[15]</sup>。本文采用 Roberts 边缘检测算子,Roberts 算子是利用任一垂直方向的差分来计算梯度大小的,采用对角线方向的差值检测边缘,其特点为对水平和竖直方向的检测率高,定位精准,检测速度快。Roberts 算子的模板为

$$R_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

利用 Roberts 算子模板即可计算出梯度大小与方向,进而得到边缘。

## 2.4 目标识别

### 2.4.1 轮廓匹配

本文采用基于归一化中心矩的轮廓匹配算法查找疑似目标,该算法对于大形状有较好的匹配准确性和速度,

可以识别目标在不同环境下的不变性,不受待匹配目标的平移和缩放的限制<sup>[16]</sup>。使用此算法可提取出图像中所有近似圆形的形状目标。

### 1) 轮廓提取

图像的特征包括灰度值特征、颜色特征和形状特征等,轮廓属于图像形状特征的一种<sup>[17]</sup>。轮廓的提取一般分为外轮廓与内轮廓的提取,由于“猫眼”目标的背景较为复杂,只提取外轮廓有可能导致目标轮廓没有被提取成功,所以在轮廓提取阶段选择提取图像中的所有轮廓。

### 2) 矩的概念

提取到轮廓以后,需要用到矩去进行后续的形象匹配,矩是通过轮廓上所有点进行积分运算,从而得到的一个粗略的特征。矩的几种常用类型如下。

#### (1) 标准矩

图像概率密度分布函数 $f(x,y)$ 的二维连续随机函数的 $p+q$ 阶原点矩 $m_{pq}$ 为

$$m_{pq} = \iint_{-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x,y) dx dy \quad (8)$$

各阶矩的物理意义:

0阶矩( $m_{00}$ )表示目标区域的质量;

1阶矩( $m_{01}, m_{10}$ )表示目标区域质心;

2阶矩( $m_{02}, m_{11}, m_{20}$ )表示旋转半径;

3阶矩( $m_{03}, m_{12}, m_{21}, m_{30}$ )描述目标的方位和斜度,反映目标的扭曲程度。

#### (2) 中心矩

中心矩是根据 $x,y$ 与重心的相对位置求取的矩,可构造平移不变性,其表达式为

$$\mu_{pq} = \iint_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x,y) dx dy \quad (9)$$

式中:  $(\bar{x}, \bar{y})$ 为质心坐标,表达式为

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad (10)$$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (11)$$

#### (3) 归一化中心矩

为抵消尺度变化对中心矩的影响,用0阶中心矩 $\mu_{00}$ 对其余各阶中心矩进行归一化处理,具有平移和缩放不变性。归一化中心矩的表达式为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^r} \quad (12)$$

$$r = \frac{p+q}{2+1} \quad (13)$$

将 $\eta_{pq}$ 定义为 $\eta_1 = \eta_{11}, \eta_2 = \eta_{02}, \eta_3 = \eta_{20}, \eta_4 = \eta_{12}, \eta_5 = \eta_{21}, \eta_6 = \eta_{03}, \eta_7 = \eta_{30}$ 。

### 3) 相似性度量

相似性度量用来计算模板图像的轮廓与目标图像的轮廓相似性,常用的相似性度量有欧氏距离、曼哈顿距离、马氏距离和切比雪夫距离。本文采用曼哈顿距离,曼哈顿距离是特定点在标准坐标空间的轴向投影的轴距和<sup>[18]</sup>,其表达式为

$$I(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^7 |\lambda_k^\alpha - \lambda_k^\beta| \quad (14)$$

式中:  $I(\alpha, \beta)$ 表示轮廓的匹配度,匹配度越低,表示轮廓越相似。 $\lambda_k^\alpha$ 和 $\lambda_k^\beta$ 的定义分别为

$$\lambda_k^\alpha = \text{sign}(\eta_k^\alpha) \cdot \log(\eta_k^\alpha) \quad (15)$$

$$\lambda_k^\beta = \text{sign}(\eta_k^\beta) \cdot \log(\eta_k^\beta) \quad (16)$$

式中： $\eta_k^\alpha$ 和 $\eta_k^\beta$ 分别是目标图像 $\alpha$ 和模板图像 $\beta$ 的7个归一化中心矩。

#### 4) 模板轮廓与目标轮廓匹配

本文选用的模板图像如图3所示。

模板图像经过提取轮廓和计算归一化中心矩后，与目标图像的归一化中心矩进行相似性度量，若匹配度 $l$ 小于给定的阈值 $l_0$ ，则认为匹配成功，将匹配到的目标提取出来并进行后续处理。

#### 2.4.2 面积判别

计算机图像是由像素组成的，轮廓中包含的像素可视为一个集合，将每个像素8等分，轮廓占用的区域为某几块等分区域，将轮廓区域内所有的等分像素相加，即可得出轮廓区域在图像中的像素面积。对经轮廓匹配筛选的疑似目标进行轮廓查找，并计算其像素面积。

#### 2.5 目标定位

经轮廓匹配和面积判别后，对检测出的“猫眼”目标绘制最小外接圆，并输出其圆心坐标，定位出目标位置。

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 实验设备及条件

本文实验相机与镜头所用的是海康机器人170万像素网口面阵低照度相机MV-CA017-10GM和SIGMA镜头MACRO 105 mm F2.8 EX DG OS HSM，调试和实验环境为VS2017，程序使用OpenCV联合C++语言编写。

本实验采用低照度相机，通过调整曝光时间和增益参数可以在光照强度低的夜晚环境下清晰地拍摄出“猫眼”目标图像。场景中，背景中光滑的物体以及高反射率的物体均会形成干扰。拍摄的原图像如图4所示，图像(a)和图像(b)在傍晚环境下拍摄，图像(c)和图像(d)在深夜环境下拍摄。

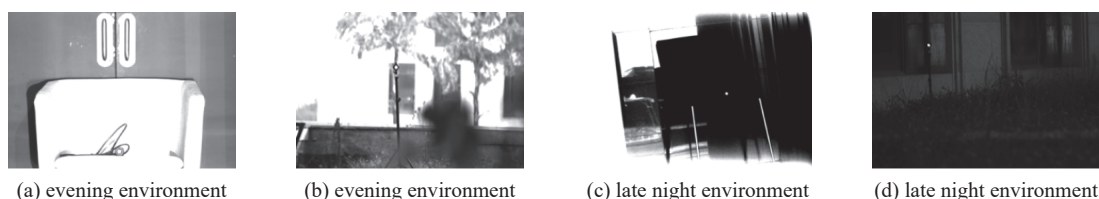


Fig. 4 Original images

图4 原图像

#### 3.2 可行性实验验证

##### 3.2.1 图像滤波实验

在图像滤波算法中，对50张“猫眼”目标图像分别使用均值滤波、高斯滤波和中值滤波进行实验和结果评价，结果取平均值。实验结果表明， $3 \times 3$ 的中值滤波的均方误差MSE最小，同时峰值信噪比PSNR最大，所以该滤波效果最好。以图4(a)为例，中值滤波效果如图5(a)所示。

##### 3.2.2 阈值分割实验

在阈值分割算法中，对50张“猫眼”目标图像分别使用固定阈值分割、OTSU阈值分割和迭代式阈值分割进行

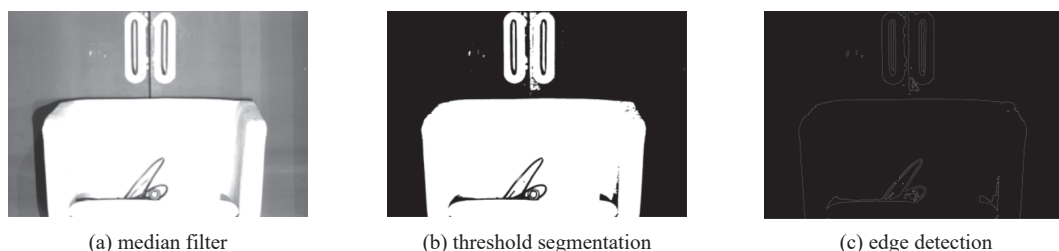


Fig. 5 Experimental effect of pretreatment

图5 预处理实验效果

实验和精度分析,经实验得出,“猫眼”目标处灰度值均大于 200,因此固定阈值分割中选取阈值为 200。实验结果表明,虽然 OTSU 阈值分割的分割精度数据更好,但从实际实验效果来看,“猫眼”目标亮度高且均匀,固定阈值分割能在提高“猫眼”目标对比度的同时更好地去除掉背景干扰,而 OTSU 阈值分割会在深夜环境下自适应低阈值,将无用的信息也分割出来,后续会导致识别出错误目标。因此在阈值分割算法中,采用固定阈值分割,阈值为 200。阈值分割效果如图 5(b)所示。

### 3.2.3 边缘检测实验

边缘检测算法中,使用 6 种边缘检测算子进行实验,经过实验得出,由于边缘检测的对象为阈值分割后的二值图像,所以 6 种算子的检测效果区别不大,因此对它们的运行时间做进一步的比较,对 50 张阈值分割后的图像进行边缘检测,计算它们的运行时间,结果取平均值。实验结果表明,Roberts 算子能在保证边缘检测效果的基础上,耗时更短。因此,在边缘检测中,选用 Roberts 算子。边缘检测结果如图 5(c)所示。

### 3.2.4 目标识别实验

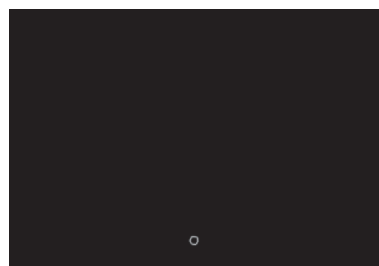
进行图像预处理后,就要对“猫眼”目标进行识别。首先进行轮廓匹配,经反复实验测试,选取匹配度阈值  $I_0 = 0.03$ ,可准确匹配到近似圆形的疑似目标。图 5(c)中总共匹配了 24 个目标,其中 12 个目标的匹配度小于  $I_0$ 。轮廓匹配后要要进行面积判别,多次实验对比,像素面积范围取值为大于 200,小于 700,可准确检测出真实目标。轮廓匹配和面积判别的数据如表 1 所示,效果如图 6(a)和图 6(b)所示。

表 1 轮廓匹配和面积判别结果  
Table 1 Contour matching and area discrimination results

target number	matched-degree	pixel area	target number	matched-degree	pixel area
target 0	0.010	698	target 11	0.013	18
target 2	0.016	20	target 12	0.016	20
target 4	0.002	14	target 13	0.007	26
target 6	0.002	14	target 16	0.020	14
target 8	0.010	39	target 19	0.013	18
target 9	0.002	14	target 21	0.013	18



(a) contour matching



(b) area of discriminant

Fig. 6 Target recognition algorithm effect

图 6 目标识别效果

通过本文提出的基于归一化中心矩的轮廓匹配算法与常用的圆形目标识别算法和传统轮廓匹配算法进行准确性和速度上的对比,实验选取 80 张“猫眼”目标图像,对比结果如表 2 所示。

由表 2 可知,由于 Hough 圆变换、圆度判别和模板匹配都有不同方面的缺陷,导致识别准确率不佳,而本文算

表 2 目标识别算法对比

Table 2 Comparison of target recognition algorithms

algorithm	number of detected correctness	number of detected errors	accuracy rate/%	time/ms
Hough circle transformation	47	33	58.75	1156
roundness discrimination	67	13	83.75	1613
template matching	53	27	66.25	294
based on Hu moment contour matching	74	6	92.5	310
algorithm of this paper	74	6	92.5	227

法与基于 Hu 矩的轮廓匹配准确率可达 92.5%；同时本文算法与基于 Hu 矩的轮廓匹配相比，平均时间提高了 83 ms，因此本文算法在准确性和速度上均具有一定的优势。

### 3.2.5 目标定位实验

经过目标识别后，真实目标已经被提取出来。对其绘制最小外接圆并提取其圆心坐标，即可对“猫眼”目标进行定位。最终效果如图 7 所示，定位坐标结果如表 3 所示。

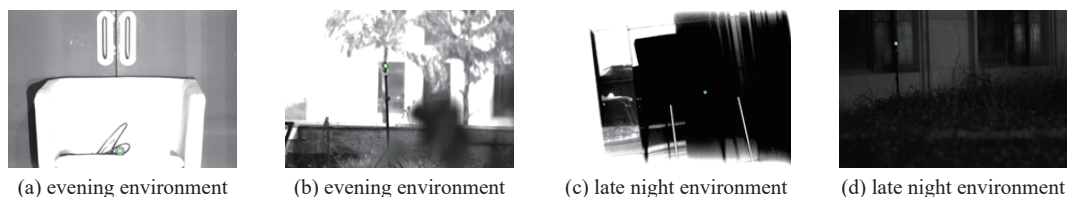


Fig. 7 Target location result

图 7 目标定位结果

### 3.3 有效性实验验证

在识别方法完成后，为了验证该方法的效果，要对其进行评价。评估指标是评价目标识别方法好坏的重要依据，主要的评价指标有准确率 (Accuracy)、误检率 (False Positives Rate) 和漏检率 (False Negatives Rate)<sup>[19]</sup>。

准确率 (Accuracy) 是所有预测正确的占总的比重，在本文中，表示用所有识别正确的图像除以总图像数。准确率一般被用来评估检测模型的全局准确程度，其表达式为

$$A_{cc} = \frac{T_p + T_n}{T_p + T_n + F_p + F_n} \quad (17)$$

误检率 (False Positives Rate) 表示在所有的非“猫眼”图像中，却错误地识别出了目标的图像所占比例，其表达式为

$$R_{FP} = \frac{F_p}{F_p + T_n} \quad (18)$$

漏检率 (False Negatives Rate) 表示在所有有“猫眼”目标的图像中，没有识别出或识别出了错误目标的图像所占比例，其表达式为

$$R_{FN} = \frac{F_n}{T_p + F_n} \quad (19)$$

式中： $T_p$  表示在有“猫眼”目标的图像中正确地识别出了真实的“猫眼”目标图像总数； $F_n$  表示在有“猫眼”目标的图像中没有识别出目标或识别出了虚假的目标图像总数； $F_p$  表示在没有“猫眼”目标的图像中却识别出了目标图像总数； $T_n$  表示在没有“猫眼”目标的图像中没有识别出目标图像总数。

本次结果评价选取了 140 张图像，其中傍晚和深夜有“猫眼”目标图像各 50 张，无“猫眼”目标图像各 20 张。使用本文的目标识别方法对 140 张图像进行识别，识别结果如表 4 所示。

表 4 评价结果

Table 4 Evaluation result

	detection number	false detection number	missing number	accuracy/%	false positives rate/%	false negatives rate/%
all images	129	4	7	92.1	10	7
evening environment	61	3	6	87.1	15	12
late night environment	68	1	1	97.1	5	2

由表 4 可知，本文方法在全局准确率上可以达到 92.1%，误检率为 10%，漏检率为 7%，可以在夜晚环境下完成对“猫眼”目标的识别。

## 4 结 论

针对夜晚环境下目标识别效果差的问题,本文提出了一套在夜晚环境下基于归一化中心矩的轮廓匹配“猫眼”目标识别方法,该方法经过去噪、分割、边缘检测和目标识别有效地对“猫眼”目标进行了识别。采用基于归一化中心矩的轮廓匹配算法准确筛选出了圆形目标并判别了面积,成功排除了高反射率等物体的干扰,并在对比实验中达到了良好的识别效果,实验结果验证了在夜间不同光照强度下,本文方法比传统算法更加准确且快速,对“猫眼”目标成功进行了识别和定位。下一步工作中,重点对图像预处理算法进行优化,以更好地提高识别速度。

### 参考文献:

- [1] 殷科, 王良斯, 吴武明. 反狙击探测系统的发展现状及应对策略[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(1): 10-12. (Yin Ke, Wang Liangsi, Wu Wuming. Development status and countermeasures of anti-sniping detection system[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2010, 31(1): 10-12)
- [2] 石岚, 王宏. 国外反狙击手光电探测技术与装备[J]. 光电技术应用, 2010, 25(4): 16-20. (Shi Lan, Wang Hong. Foreign anti-sniper detection technology and equipment[J]. Electro-Optic Technology Application, 2010, 25(4): 16-20)
- [3] Zhang Zhao, Song Dalin, Xu Bingshi, et al. Method of cat-eye effect target recognition based on dual-spectral imaging and deep learning[C]//Proceedings of SPIE 12343, 2nd International Conference on Laser, Optics and Optoelectronic Technology. 2022: 123432Z.
- [4] 同兰娟, 蒋晓瑜, 宋小杉, 等. 基于“猫眼效应”激光成像的目标探测[J]. 激光与红外, 2009, 39(9): 982-985. (Tong Lanjuan, Jiang Xiaoyu, Song Xiaoshan, et al. Target detection based on laser imaging with “cat eye effect”[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(9): 982-985)
- [5] 杨岳青, 李丽. 基于局部特征的猫眼效应目标识别方法[J]. 激光与红外, 2015, 45(5): 580-583. (Yang Yueqing, Li Li. Method of cat-eye effect target recognition based on local features[J]. Laser & Infrared, 2015, 45(5): 580-583)
- [6] 李丽, 王兴宾, 张卫国. 基于纹理特征的“猫眼”效应目标识别方法[J]. 光子学报, 2014, 43(2): 137-147. (Li Li, Wang Xingbin, Zhang Weiguo. A recognition method of “cat-eye” effect target based on texture character[J]. Acta Photonica Sinica, 2014, 43(2): 137-147)
- [7] 王洪玺, 计泽贤, 张兰勇. 基于卡尔曼滤波的目标识别跟踪与射击系统设计[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43(11): 286-296. (Wang Hongxi, Ji Zexian, Zhang Lanyong. Design of target recognition tracking and attack system based on Kalman filter[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2022, 43(11): 286-296)
- [8] 陈文龙, 张来线, 孙华燕, 等. 复杂场景下的猫眼目标快速识别方法[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43(7): 45-51. (Chen Wenlong, Zhang Laixian, Sun Huayan, et al. Fast cat's eye target recognition method in complex environment[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2022, 43(7): 45-51)
- [9] 白兴斌, 张卓, 张振宇, 等. 一种基于智能瞄具的抗干扰“猫眼”目标探测方法[J]. 光电工程, 2021, 48: 210115. (Bai Xingbin, Zhang Zhuo, Zhang Zhenyu, et al. An anti-interfering “cat-eye” target detection method based on intelligent sight[J]. Opto-Electronic Engineering, 2021, 48: 210115)
- [10] 王喆堃, 朱精果, 姜成昊, 等. 动态环境下“猫眼”目标快速识别算法研究[J]. 计算机仿真, 2020, 37(8): 414-418. (Wang Zhekun, Zhu Jingguo, Jiang Chenghao, et al. “Cat's-eye” target quickly recognition algorithm research in dynamic environment[J]. Computer Simulation, 2020, 37(8): 414-418)
- [11] 胡波, 高磊. 猫眼目标探测中数字化时间增益控制技术[J]. 光电技术应用, 2020, 35(4): 22-25. (Hu Bo, Gao Lei. Research on digital time gain control technology of cat-eye target detection[J]. Electro-Optic Technology Application, 2020, 35(4): 22-25)
- [12] Kilik R. Histogram-based weighted median filtering used for noise reduction of digital elevation model data[J]. Acta Geodaetica et Geophysica, 2021, 56(4): 743-764.
- [13] Bath S K, Singh H, Singh G. Improve image-denoising by using weight based sparse matrix in term of MSE & PSNR[J]. International Journal of Engineering Research & Technology, 2017, 6(4): 1122-1125.
- [14] 万宝月. 基于OpenCV的图像分割算法研究及其在屈光度测量中的应用[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014. (Wan Baoyue. Image segmentation algorithm based on OpenCV and its application in diopter measurement[D]. Xi'an: Xidian University, 2014)
- [15] 何谦, 刘伯运. 红外图像边缘检测算法综述[J]. 红外技术, 2021, 43(3): 199-207. (He Qian, Liu Boyun. Review of infrared image edge detection algorithms[J]. Infrared Technology, 2021, 43(3): 199-207)
- [16] Zhang Hao, Sun Qiyuan, Liu Zhenzhong. Augmented reality display of neurosurgery craniotomy lesions based on feature contour matching[J]. Cognitive Computation and Systems, 2021, 3(3): 221-228.
- [17] 江波, 徐小力, 吴国新, 等. 轮廓Hu不变矩的工件图像匹配与识别[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020(9): 104-107,111. (Jiang Bo, Xu Xiaoli, Wu Guoxin, et al. Workpiece recognition and matching based on Hu invariant moment of workpiece contour[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2020(9): 104-107,111)
- [18] 杨林杰. 基于轮廓特征的目标匹配算法研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2016. (Yang Linjie. Research on object matching algorithm based on contour feature[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2016)
- [19] 梁龙营. 基于单相机的漆包线疵病检测系统研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2020. (Liang Longying. Research on the detection system of enameled wire defects based on single camera[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2020)