

# 基于特征点分布特性的激光干扰效果评估算法

钱方<sup>1,2</sup> 孙涛<sup>1</sup> 郭劲<sup>1</sup> 王挺峰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所激光与物质相互作用国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

<sup>2</sup> 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要** 激光主动成像系统通常用于区域监视和目标识别,但其上的光电成像探测器容易受到激光干扰,进而导致目标识别误差甚至目标丢失。因此,从目标识别特征的失效程度出发,研究激光干扰效果评估具有重要意义。提出了一种特征点相似度(FPSIM)评估算法,利用加速分割测试特征(FAST)算法提取原始图像和干扰图像的特征点,然后通过特征点匹配得到目标区域,在目标区域位置计算它们的特征点保持度和稳定度,提取原始图像特征点的位置,并在两幅图像中对应相同位置处比较它们的局部亮度和对比度失真度,再将特征点保持度、稳定度和亮度、对比度失真度相乘得到归一化的FPSIM。利用激光主动成像系统对设定目标进行照明成像实验,采集了不同干扰功率、不同背景强度和光斑位置的干扰图像。使用提出的FPSIM算法对获得的激光干扰图像进行评估,结果证明FPSIM能够客观反映图像在目标识别过程中特征点的变化情况,通过与归一化均方误差(NMSE)及结构相似度(SSIM)方法对比,FPSIM算法对不同程度的激光干扰图像都给出了合理的评估结果,其评价结果更符合主观视觉感受,并且能够指导激光主动成像识别系统的防护与应用。

**关键词** 图像处理; 图像质量评价; 激光干扰; 特征点相似度; 目标识别

**中图分类号** TN977 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201441.0509001

## Assessment Algorithm of Laser-Dazzling Effects Based on the Feature-Point Distributing Characteristic

Qian Fang<sup>1,2</sup> Sun Tao<sup>1</sup> Guo Jin<sup>1</sup> Wang Tingfeng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun, Jilin 130033, China)

<sup>2</sup> University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract** Laser active imaging systems are usually used in region surveillance and target identification. However, the photoelectric imaging detector in the imaging systems is easy to be disturbed and this leads to errors of the recognition and even the missing of the target. Assessment of laser-dazzling effects in view of the invalidation of the target feature must be better understood. A new feature-point similarity (FPSIM) assessment algorithm is proposed. The feature accelerated segmentation testing (FAST) algorithm is used to extract feature points of the original image and disturbed image. The target area is obtained via feature-point matching, and the feature-point maintenance as well as stabilization is computed in the target area. The location of the feature points in the original image is obtained, and the local luminance and contrast distortion are compared in the same place of the two images. The normalized FPSIM is obtained via product of the feature-point maintenance, stabilization, luminance distortion and contrast distortion. The luminance imaging experiment is performed for the target by utilizing the laser active imaging system. In the experiment, the disturbed images of different disturbing powers, different intense backgrounds and different spot positions are obtained. The proposed FPSIM algorithm is used to evaluate the newly obtained laser-dazzling images, and the results show that the FPSIM reflects the varieties of the feature points in target recognition objectively. Compared with normalized mean square error (NMSE) and structural similarity (SSIM), the FPSIM gives a more reasonable evaluation result for different laser-dazzling images. The evaluation results are more suitable for the subjective visual feeling, and FPSIM

收稿日期: 2013-09-02; 收到修改稿日期: 2013-12-04

基金项目: 国家重点实验室自主基础研究(SKLLIM1203-01)

作者简介: 钱方(1987—),女,博士研究生,主要从事图像处理方面的研究。E-mail: qfmail@sina.cn

导师简介: 郭劲(1964—),男,研究员,博士生导师,主要从事激光与物质相互作用等方面的研究。

E-mail: guojin\_1964@126.com

can also give the guidance of the laser active imaging system defense and application.

**Key words** image processing; image quality assessment; laser-dazzling; feature-point similarity; target recognition

**OCIS codes** 100.2960; 110.3000; 140.3295; 140.3330

## 1 引 言

激光主动成像系统成像清晰,对比度高,不易受环境光影响,并且具有分辨率高、抗干扰能力强等优点,目前已广泛应用于区域监视、自动目标识别等领域。在目标识别跟踪过程中,准确提取图像中的特征点是实现准确识别目标和实时跟踪的先决条件。实际中当成像系统中目标所在区域受到激光干扰等外界因素影响时,主动成像系统获取的图像对比度下降,目标被部分遮挡,一些特征点的位置出现偏差,甚至无法提取,将导致目标匹配位置出现偏差,甚至丢失目标。因此,从干扰前后图像特征点变化角度建立图像质量评估模型,评价激光干扰效果,对于指导激光干扰设备的研制和光电探测装备的激光防护,都具有重要的研究意义和实用价值。

常用的图像质量评价指标有归一化均方误差(NMSE),它是基于原始图像和降质图像像素之间绝对差异而定义的,计算形式非常简单,评价结果与主观感觉相差较大<sup>[1-3]</sup>。近年来,Wang等<sup>[4]</sup>提出了一种基于图像结构相似度的评价方法(SSIM)。此后又出现许多改进的SSIM算法,包括多尺度结构相似度(MS-SSIM)<sup>[5]</sup>,基于图像边缘特征的结构相似度(ESSIM)<sup>[6]</sup>,根据图像平滑区域、纹理和边缘三分量加权的结构相似度(three-SSIM)<sup>[7]</sup>,这类算法都是从图像整体特征的改变程度来评价图像质量。激光干扰图像不同于一般的噪声失真图像,其激光光斑分布在图像的某一区域,造成局部严重失真,而在远离光斑的区域,图像质量一般不受影响,这导致在评价激光干扰图像时,NMSE和SSIM等基于灰度值改变和整体失真程度的图像质量评价算法评价结果不准确。

本文在分析特征点数目、位置变化以及分布特性的基础上,提出了一种特征点相似度(FPSIM)图像质量评估算法,侧重考虑了激光干扰图像中光斑本身及周围区域的图像特征以及光斑遮盖对特征提取方法的影响。算法使用加速分割测试特征(FAST)方法提取原始图像和干扰图像的特征点,分别比较两幅图像目标区域内特征点的一致性和稳定性,并在原始图像目标区域内的每个特征点位置处构建大小为 $3 \times 3$ 的图像矩阵,在干扰图像相同位置构建相同大小矩阵,并比较两幅图像中相同位置对应图像矩阵的亮度和对比度失真程度,并通过以

上4个评价指标得到归一化的评估值,再通过实验对评估模型的性能进行了比较。

## 2 基于特征点提取的FPSIM算法

在本文所使用的激光主动照明系统中,目标识别是通过对特征点的提取与匹配实现的。特征点一般为灰度变化剧烈的点或图像边缘曲线上具有曲率极大值的点,而图像受到激光干扰后的亮度、对比度以及边缘特征都发生了变化,干扰光斑也遮盖了图像中的信息,使得许多细节无法分辨,这将导致局部特征点提取失败或引入其他与目标无关的误匹配特征点。图像特征匹配是目标识别的关键,图像的准确匹配又是以特征点提取为基础的。图像的特征点是具有一定特征的局部区域的位置标识,该位置可能是某个特征区域的中心、重心或特征区域的任一相对位置。识别和跟踪过程就是先从原始图像上的一个特征点开始,再在干扰图像中搜索出一批候选对应点,运用不同算法选出最佳匹配的候选点作为该特征点的匹配点,通过对匹配点的操作确定目标位置。因此,本文通过分析图像受到激光干扰后特征点的变化情况,提出了一种特征点相似度评估算法,通过对激光干扰后图像质量的下降情况的定量分析,可用于衡量激光主动照明目标跟踪及识别算法的失效程度,指导系统研制与改进。

### 2.1 特征点比较函数分析

激光主动成像系统需要利用目标局部特征进行目标检测与匹配识别,简单来说,特征点提取的过程就是寻找各方向上灰度变化较大的像素点。当图像受到激光干扰后,原始图像中的平滑区域的像素点灰度值可能出现突变,突变的像素点会被定义为特征点。由于光斑区域会掩盖图像中的细节信息,导致原始图像中存在特征点的位置在干扰后无法提取到特征点。此外,图像的旋转、尺度缩放和几何变形也会影响特征点的提取,以上畸变都会使原始和干扰图像相同位置处出现灰度差异,最终导致提取到的特征点数目或位置不相同。因此,可以利用干扰前后图像中特征点的变化建立评估模型。

运用FAST方法计算图像特征点,选择图像中某一像素点为圆心,在以 $3.4$ 个像素长度为半径的圆上的 $16$ 个像素点中,若至少有 $9$ 个连续的像素点灰

度值全比中心像素点大或者小,则当前像素点定义为一个 FAST 特征点。用此方法遍历整幅图像,可以得到若干特征点<sup>[8-14]</sup>。通过特征点匹配划分出图像中的目标和背景区域,由于这类成像识别系统通常以仅包含目标的图像作为基础模板,因此只在目标区域中计算特征点的变化情况。综合以上分析,为了比较干扰前后特征点数目和位置的变化情况,可以通过计算干扰后仍能够准确匹配的特征点数目得到,因此定义了特征点保持度  $m(x, y)$ 。

特征点保持度比较函数  $m(x, y)$  为

$$m(x, y) = 1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{\omega(i) \times \left| N_R(i) - \sum_{j=1}^{N_R(i)} d_j(i) \right|}{N_R(i) \times \sum_{i=1}^4 \omega(i)}, \quad (1)$$

式中  $d_j$  的计算方法如下:

$$d_j = \begin{cases} 1 & \text{if } |D_x - D_y| \leq \alpha \\ 0 & \text{if } |D_x - D_y| > \alpha \end{cases}, \quad (2)$$

式中  $x, y$  为干扰前后的目标区域图像信号,把原始图像和干扰图像目标区域分为 4 个图像块,  $N_R(i)$  为原始图像第  $i$  个图像块提取的特征点的个数,  $d_j(i)$  为干扰后第  $i$  个图像块中仍能准确匹配的特征点,计算方法为:记录原始图像中特征点的位置,在干扰图像中相同位置处寻找距离该点位置最近的特征点,若两点间距离  $|D_x - D_y| \leq \alpha$  个像素长度时

(取  $\alpha = 2$ ),认为干扰图像中该位置处提取到了准确的特征点。 $\omega(i)$  为各图像块的加权因子,可以根据目标特征点分布情况灵活设置,通常特征点密集区域是目标结构和纹理变化明显的区域,应赋以较大的权值。因为该区域受激光干扰后,特征点数目与位置的变化对目标匹配识别准确率的影响更大。 $m(x, y)$  的值越大,说明原始图像和干扰图像中提取的特征点数目和位置越相近,目标识别受到激光干扰的影响程度越小。

为了分析干扰前后图像的几何变化对特征点分布的影响和图像清晰程度的变化,可以通过计算特征点周围梯度幅值的变化情况得到,因此定义了特征点稳定度  $s(x, y)$ 。

特征点稳定度比较函数  $s(x, y)$  为:

$$s(x, y) = \frac{1}{N_R} \sum_{i=1}^{N_R} g(i). \quad (3)$$

式中  $g(i)$  为第  $i$  个特征点对应矩阵的梯度相似度。在原始图像目标区域中提取特征点,并以该特征点为中心,分别取其上、下、左、右、左上、右上、左下和右下的 8 个像素点,即取特征点的 8 邻域,组成  $3 \times 3$  的矩阵,并在干扰图像的相同位置处用相同方法提取  $3 \times 3$  的矩阵,再计算两个矩阵的  $g$ 。原始图像目标区域中特征点个数为  $N_R$ ,则经计算后共得到  $N_R$  个  $g$  值。

$$\begin{cases} g(i) = \frac{\sum_{i=1}^{N_R} G_x(i)G_y(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_R} G_x^2(i) \sum_{i=1}^{N_R} G_y^2(i)}} \\ G(i) = \sqrt{G_i^2(45^\circ) + G_i^2(90^\circ) + G_i^2(135^\circ) + G_i^2(180^\circ) + G_i^2(225^\circ) + G_i^2(270^\circ) + G_i^2(315^\circ) + G_i^2(360^\circ)} \end{cases}. \quad (4)$$

在每个矩阵上计算 8 个方向 ( $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ, 360^\circ$ ) 的梯度值,累加后得到  $G(i)$ 。式中  $G_x(i), G_y(i)$  分别为原始和干扰图像目标区域中各  $3 \times 3$  矩阵的梯度幅值。特征点周围的像素灰度受光斑干扰后会发生数值上的变化,以提取值求和的方式反映局部区域的灰度信息量变化。 $s(x, y)$  的值越大,说明特征点的分布变化程度越小,特征点方向性变化越小,特征点稳定程度越高,对目标识别的干扰效果不明显。

## 2.2 图像特征比较函数分析

特征点提取主要是基于寻找灰度突变的边缘

点、角点或交叉点等,激光干扰改变了图像的亮度和对比度信息,使得与原始图像相比,干扰图像中提取的特征点位置出现偏差或者无法识别某些位置的特征点。所以在干扰图像中其亮度和对比度的改变程度会影响特征点的准确提取。为了分析干扰前后亮度失真和对比度失真对特征点提取的影响,可以通过计算特征点周围的图像特征变化情况得到,因此定义了亮度失真度  $l(x, y)$  和对比度失真度  $c(x, y)$ 。

亮度失真度比较函数  $l(x, y)$  为

$$l(x, y) = \frac{1}{N_R} \sum_{i=1}^{N_R} l_p(i). \quad (5)$$

同(3)式中方法,提取对应位置的 $3 \times 3$ 图像矩阵,式中 $l_p(i)$ 为第 $i$ 个特征点对应矩阵的亮度相似度。

$$\begin{cases} l_p(i) = \frac{2L_{i,x}(j,\theta)L_{i,y}(j,\theta)}{L_{i,x}^2(j,\theta) + L_{i,y}^2(j,\theta)}, \\ L_i(j,\theta) = \lg p_i(j,\theta) \end{cases} \quad (6)$$

式中 $L_{i,x}$ 、 $L_{i,y}$ 分别为原始图像和干扰图像目标区域各矩阵的亮度值, $p_i(j,\theta)$ 为第 $i$ 个矩阵的单像素点灰度值。

对比度失真度比较函数 $c(x,y)$ 为

$$c(x,y) = \frac{1}{N_R} \sum_{i=1}^{N_R} c_p(i), \quad (7)$$

式中 $c_p(i)$ 为第 $i$ 个特征点对应矩阵的对比度相似度。

$$\begin{cases} C_p(i) = \frac{2C_{i,x}(j,\theta)C_{i,y}(j,\theta)}{C_{i,x}^2(j,\theta) + C_{i,y}^2(j,\theta)}, \\ C_i(j,\theta) = \frac{p_i(j,\theta)}{\mu_i[p(j,\theta)]} \end{cases}, \quad (8)$$

式中 $C_{i,x}$ 、 $C_{i,y}$ 分别为原始图像和干扰图像目标区域各矩阵的对比度值, $\mu_i[p(j,\theta)]$ 为第 $i$ 个矩阵的平均灰度值。

(5)和(7)式中 $l(x,y)$ 和 $c(x,y)$ 的值越大,说明相对于原始图像,干扰图像的亮度 and 对比度变化较小,在这种情况下,特征点周围区域灰度变化量小,特征点的数量和位置也相对准确,干扰对目标识别的影响小。

### 2.3 特征点相似度算法

所以,结合(1)、(3)、(5)和(7)式中的四个比较函数,定义特征点相似度(FPSIM,  $F_p$ )图像评价算法计算公式为:

$$F_p(x,y) = [m(x,y)]^\alpha [s(x,y)]^\beta [l(x,y)]^\gamma [c(x,y)]^\delta. \quad (9)$$

参数 $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \delta > 0$ 主要用来调整4个部分的相对重要性,四个参数取值分别为 $0 \sim 1$ 。

FPSIM算子包含四个部分:特征点保持度比较函数 $m(x,y)$ 反映了干扰前后特征点数目和位置的变化情况;特征点稳定度比较函数 $s(x,y)$ 从特征点周围梯度的变化情况出发,反映了当图像发生几何变化后特征点提取的稳定性;亮度失真度比较函数 $l(x,y)$ 和对比度失真度比较函数 $c(x,y)$ 反映了特征点周围图像整体特征的变化情况,4个比较函数相乘最终得到归一化的比较结果。在实验中,认为4个比较函数的重要程度相当,因此取 $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 1$ ,通过FPSIM计算值可以分析出特征点位置和数量以及其周围图像特征信息的变化情况。在其他实验情况下可以为 $\alpha, \beta, \gamma$ 和 $\delta$ 取不同值,反映出对各种图像信息不同的关注程度,若取 $\alpha = 1, \beta = \gamma = \delta = 0.5$ ,则计算结果更关注特征点数目和位置的变化。

### 3 实验结果与分析

为了验证本文算法评价激光干扰图像质量的有效性,实验搭建了一套激光主动成像识别系统,可以监视固定区域,用于对危险目标(枪支等)进行识别与跟踪。系统组成为:使用波长为532 nm的激光二极管抽运固体激光器发射光束照射远处的目标,并使用Falcon HG 1M120CMOS相机作为接收装置采集图像,像元尺寸为 $7.4 \mu\text{m}$ ,帧频为30 frame/ps,图像大小为 $1024 \text{ pixel} \times 1024 \text{ pixel}$ 。软件编程环境为Pentium Dual-Core CPU、2.60 GHz主频、内存2 G、matlab2008a。激光主动成像系统如图1所示。实验中引入干扰激光,采集了不同激光干扰功率、不同背景强度和不同光斑位置三种图像。分别采用常见的客观评价方法和本文提出FPSIM方法对三种图像的质量进行评价,并将所有评价结果进行了比较。

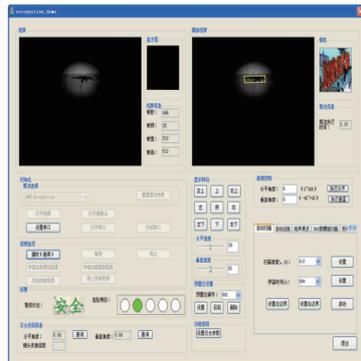


图1 激光主动成像识别系统

Fig. 1 Laser active imaging and recognition system

### 3.1 不同干扰功率和不同背景强度的激光干扰图像质量评价

运用传统的客观图像质量评价方法 NMSE、SSIM 及特征点相似度 FPSIM 算法,对不同激光干扰功率<sup>[15-19]</sup>和不同背景强度的干扰图像进行评价,如图 2 所示。图 2(a)是目标模板,大小为 128 pixel×

128 pixel, $\omega$  为  $2 \times 2$  大小的矩阵,形式如图 2(b),4 个区域分别对应(1)式中  $\omega(i)$ , (c)~(h)是激光干扰图,大小为 256 pixel×256 pixel,图中的枪为设定的目标。 $\omega$  的大小和数值可以根据实际情况调整,一般取沿目标方向的权值较大。

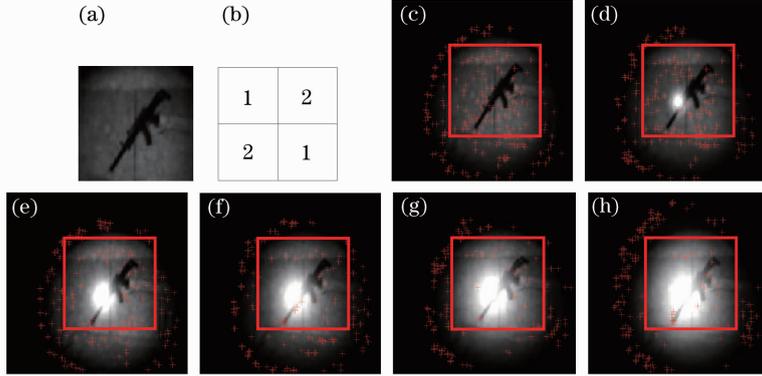


图 2 激光干扰图像。(a) 目标模板;(b) 加权矩阵;(c) 0 mW;(d) 200 mW;(e) 320 mW;  
(f) 420 mW;(g) 530 mW;(h) 620 mW

Fig. 2 Laser dazzling images. (a) Target image; (b) weighted matrix; (c) 0 mW; (d) 200 mW; (e) 320 mW;  
(f) 420 mW; (g) 530 mW; (h) 620 mW

图 2 中由于激光功率不同,对图像的干扰程度也不同。图(c)~(h)的激光干扰功率逐渐增强,图(e)的背景强度比其他图有所升高。FAST 算法认为候选点周围连续 9 个像素的灰度值全部大于或全部小于该点灰度值时,则候选点是特征点。随着激光干扰功率的增大,光斑大小逐渐增大,光斑掩盖的目标信息逐渐增多,光斑周围的像素点灰度值逐渐

增加,将导致 FAST 算法提取的特征点与原始图像特征点位置出现偏差,甚至提取不到特征点。从图(c)~(h)中可以看出,与原始图像(c)相比,干扰图像中光斑周围的特征点逐渐减少,光斑遮挡的枪前部位置已经提取不到特征点。经过计算,三种不同算法得到的评价结果如表 1 所示。

表 1 不同激光干扰功率图像评价结果

Table 1 Laser dazzling images quality assessment

Methods	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
NMSE	0.2271	0.6811	0.3224	0.6880	0.9876
SSIM	0.9492	0.8551	0.9068	0.8824	0.8759
FPSIM	0.6143	0.5885	0.4966	0.2478	0.1580

从特征点提取角度分析,图中光斑遮盖了目标枪的部分信息,导致光斑附近的特征点无法提取,特征点提取的准确性下降。从主观角度分析,随着激光干扰功率增大,图像按(c)~(h)顺序质量逐渐下降,NMSE 评价结果应逐渐增大,SSIM 评价结果应逐渐减小。从表 1 结果可以看出,除图像(e)外 MSEN、SSIM 都能给出合理的结果,但是由于图(e)的背景强度比原始图像有所升高,使得评价量 NMSE 以及 SSIM 无法给出合理的评价结果。而本文所提出的评价方法 FPSIM 能够克服背景强度不一致对评价结果的影响,图(e)的评价值比图(f)、(g)、(h)的评价值大,因此本文算法认为图(e)质量

更好。随着激光的干扰功率增大本文算法给出的评价结果逐渐下降,评价结果符合人类视觉系统的主观感知。

图 3 为表 1 中评价曲线图,从图中可以看出,随着激光干扰功率的增加,图像质量下降,FPSIM 和 SSIM 曲线应逐渐下降,NMSE 曲线应逐渐升高。但图中 NMSE 曲线出现了拐点,拐点处对应图 2(e)的评价值,但是该图只是背景与原始图像不同,图像质量却高于后续图片。由于 NMSE 方法是基于像素间灰度差异来评价图像质量的,虽然图像中细节信息没有损失,但只要像素灰度值发生变化,该方法就会认为图像质量下降,导致评价结果不同于主观

感知。SSIM 相对于 NMSE 其跳变量减小,但是仍然出现拐点,该方法是基于图像的整体特征来评价图像质量的,对于光斑仅位于图像某一局部区域的激光干扰图像来说,它没有反映出局部细节的变化,不能真实反映图像质量。而本文提出的FPSIM从

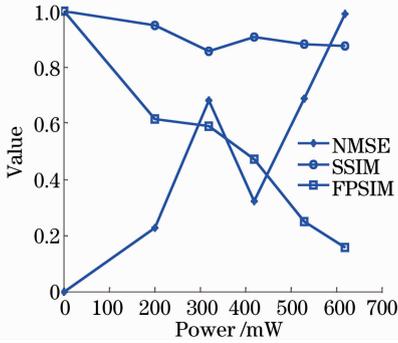


图 3 不同功率评价曲线

Fig. 3 Different value for different powers

特征点的变化角度评价图像质量,同时考虑了图像局部亮度和对比度的变化,评价曲线逐渐下降,符合主观评价。

### 3.2 不同位置的激光干扰图像质量评价

运用传统的客观图像质量评价方法 NMSE、SSIM 及特征点相似度 FPSIM 算法,对光斑位置不同的激光干扰图像进行评价,如图 4 所示。

图 4 中激光干扰功率不变,但由于激光光斑所处位置不同,对图像的干扰程度不同。图(c)是原始图像,枪为设定的目标。图(d)~(h)中光斑从目标枪斜上方入射,逐渐接近目标中心,之后逐渐远离目标。当光斑正好位于目标位置,光斑的遮盖导致枪中部特征点无法提取。当光斑远离目标,虽然光斑周围区域的像素点灰度值也发生了变化,但是枪中主要部分的特征点基本能够准确提取。经过计算,三种不同算法得到的评价结果如表 2 所示。

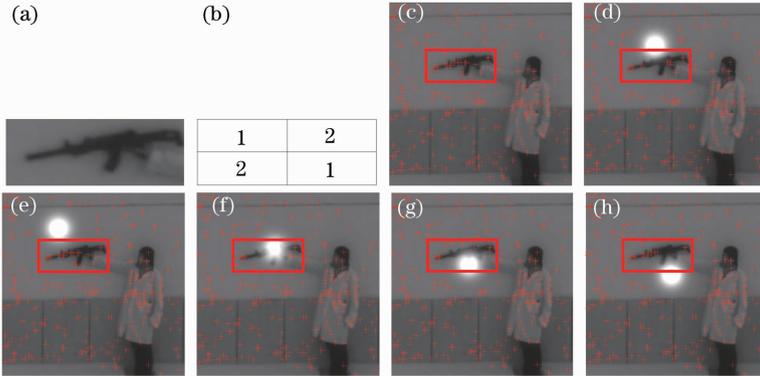


图 4 激光干扰图像。(a) 目标模板; (b) 加权矩阵; (c) 原始图像; (d) 22 mm; (e) 42 mm; (f) 5 mm; (g) 20 mm; (h) 36 mm

Fig. 4 Laser dazzling images. (a) Target image; (b) weighted matrix; (c) original image; (d) 22 mm; (e) 42 mm; (f) 5 mm; (g) 20 mm; (h) 36 mm

表 2 不同光斑位置激光干扰图像评价结果

Table 2 Laser dazzling images quality assessment

Methods	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
NMSE	0.6645	0.5940	0.8255	0.7926	0.7127
SSIM	0.9760	0.9771	0.9734	0.9788	0.9782
FPSIM	0.7254	0.9323	0.4679	0.5218	0.8824

从特征点提取的角度分析,图(f)中特征点损失最严重。从主观角度分析,图(f)的质量最差,图(e)-(h)-(d)-(g)-(f)质量逐渐下降。由于激光干扰功率不变,图中光斑面积大小不变,从表 2 结果可以看出 NMSE 和 SSIM 值与主观评价不一致,而且 SSIM 值基本没有明显变化。本文的算法 FPSIM 从特征点的变化角度分析图像质量变化情况,给出了符合主观感知的判断。

图 5 为表 2 中评价曲线图,从图中可以看出,

随着光斑到目标枪中心距离的增大,光斑对图像中细节的遮挡减少,图像质量应逐渐升高,FPSIM 和 SSIM 曲线应逐渐升高,NMSE 曲线应逐渐降低。但是图中 NMSE 曲线出现拐点,说明评价出现误差,不能真实反映图像质量,这是由于 NMSE 只根据图像目标区域内光斑遮挡范围大小的改变来衡量图像质量,没有考虑光斑位置对目标的遮挡程度。SSIM 曲线值变化不明显,不能反映出光斑与目标相对位置发生变化时图像质量的变化情况。而

FPSIM 算法在目标区域统计特征点的变化情况, 确切地反映了光斑位置对图像质量的影响, 其评价曲线逐渐升高, 符合主观评价。

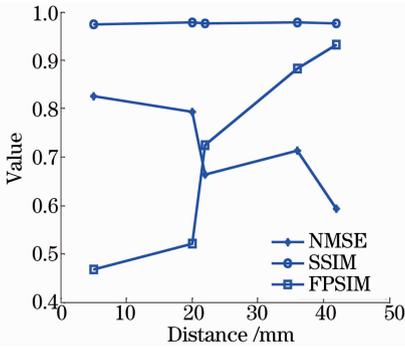


图 5 不同距离评价曲线

Fig. 5 Different values for different distances

为了评价算法的时间性能, 截取不同尺寸的主动照明图像进行实验, 图像大小从 64 pixel × 64 pixel 增加到 1024 pixel × 1024 pixel。图 6 是不同算法对于不同尺寸图像的平均运算时间。图中可以看出 NMSE、SSIM 两种算法的耗时均小于本文提出的 FPSIM 算法, 这是由于本文算法考虑了特征点的分布特性和特征点周围的亮度、对比度失真情况, 计算复杂度高于其他两种算法。但是通过前文讨论可知其他两种算法考虑的评价因素较少, 不符合激光干扰的图像特点, 并且与主观评价相差较大。总体看三种算法运算时间均随着图像尺寸的增加而增加, 三条曲线接近于线性。本文的 FPSIM 算法在实验测试中随着数据量的增加, 曲线斜率基本保持不变, 时间开销呈现近似线性增长, 说明算法具有较好的可扩展性, 能够满足对激光干扰图像效果评估的时间要求。

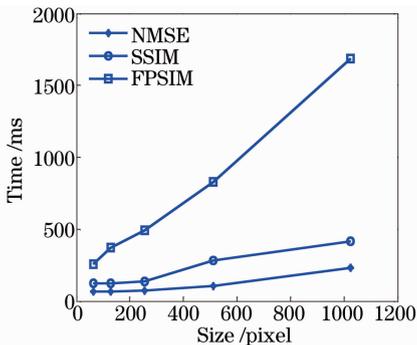


图 6 不同算法的平均运算时间

Fig. 6 Average running time of different methods

## 4 结 论

对于激光主动成像系统来说, 其目标识别和检

测的效果取决于特征点提取的准确性, 而特征点的提取又依赖于获取图像的质量。从干扰前后图像中特征点的变化角度出发评价图像质量, 并对激光干扰效果进行了评估。实验中共采集了不同激光干扰功率、不同背景强度和不同光斑位置的三种干扰图像。分别运用传统的客观图像质量评价方法 (NMSE)、基于结构相似度的 SSIM 算法和提出的特征点相似度 (FPSIM) 算法对采集图像进行评价。实验结果表明基于误差统计的评价量 (NMSE) 和基于整体结构失真的 SSIM 算法都不能克服背景强度不一致对评价结果的影响, 在背景变暗或变亮而图像目标信息损失很小的情况下, 都认为图像失真严重。NMSE 和 SSIM 算法也不能反映激光干扰位置不同对评价结果的影响, 以上两种算法都没有考虑光斑对设定目标的掩盖程度, 没有考虑图像重要信息的损失程度。激光干扰图像中光斑主要分布在图像的某一区域, 造成图像局部严重失真, 而对远离光斑的区域则影响很小, 这使得一些基于灰度值改变和整体失真程度的图像质量评价算法评价准确性不高。此外, 在实际应用中, 图像识别和跟踪主要是通过特征点信息来确定目标的所在区域。FPSIM 算法主要针对特征点的变化情况来评价图像质量, 同时考虑了特征点周围的局部亮度和对比度变化, 能够克服背景强度不同与光斑位置不同对评价结果的影响。通过与 NMSE 和 SSIM 算法的比较, 发现 FPSIM 算法的评价结果更符合人类的主观视觉感受, 能更合理的反映激光干扰的效果。该算法对于评估激光主动成像系统目标识别准确性具有重要作用。

## 参 考 文 献

- 1 Wang Yuqing, Zhu Ming. Maximum singular value method of quaternion matrix for evaluating color image quality[J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(2): 470-471.  
王宇庆, 朱 明. 评价彩色图像质量的四元数矩阵最大奇异值方法[J]. 光学 精密工程, 2013, 21(2): 470-471.
- 2 Chen Yong, Li Yuan, Lü Xiafu, et al.. Active assessment of color image quality based on visual perception[J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(6): 743-750.  
陈 勇, 李 愿, 吕霞付, 等. 视觉感知的彩色图像质量积极评价[J]. 光学 精密工程, 2013, 21(3): 743-750.
- 3 Yu Mei, Kong Zhenzhen, Zhu Jiangying. Stereoscopic image quality assessment based on visual threshold and channel fusion [J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(6): 1605-1612.  
郁 梅, 孔真真, 朱江英. 基于视觉阈值及通道融合的立体图像质量评价[J]. 光学 精密工程, 2013, 21(6): 1605-1612.
- 4 Wang Z. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 6-7.
- 5 Wang Z, Simoncelli E P, Bovik A C. Multi-scale structural similarity for image quality assessment[C]. IEEE International

- Conference Signals, Systems and Computers, USA, 2003. 1-4.
- 6 Chen G H, Yang C L, Po L M, *et al.*. Edge-based structural similarity for image quality assessment[C]. IEEE International Conference Acoustics, Speech and Signal Processing, 2006. 933-936.
- 7 Li C, Bovik A C. Three-component weighted structural similarity index[C]. SPIE, 2009, 7242: 1-8.
- 8 Schmid C, Mohr R, Bauckhage C. Evaluation of interest point detectors[J]. Journal of Computer Vision, 2000, 37(2): 151-172.
- 9 Rosten E. High Performance Rigid Body Tracking [D]. Cambridge: University of Cambridge, 2006.
- 10 Yuan L H, Fu L, Yang Y, *et al.*. Analysis of texture feature extracted by gray level co-occurrence matrix [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(4): 1018-1021.
- 11 Liu Guixi, Liu Dongmei, Liu Fengpeng, *et al.*. Robust image registration algorithm based on feature points matching[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(3): 454-455.  
刘贵喜, 刘冬梅, 刘凤鹏, 等. 一种稳健的特征点配准算法[J]. 光学学报, 2008, 28(3): 454-455.
- 12 Tang Yonghe, Lu Huanzhang. Fast local feature description algorithm based on grayvalue differential invariants[J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(2): 448-454.  
唐永鹤, 卢焕章. 基于灰度差分不变量的快速局部特征描述算法[J]. 光学精密工程, 2012, 20(2): 448-454.
- 13 Mi Zengzhen, Xie Zhijiang, Chen Tao, *et al.*. Key technology of image enhancement and edge extraction for heavy rail[J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(9): 1646-1649.  
米曾真, 谢志江, 陈涛, 等. 重轨图像增强与边缘提取的关键技术[J]. 光学精密工程, 2012, 20(9): 1646-1649.
- 14 Han Xizhen, Zhao Jian. Enhancement of image texture and contrast combined with partial differential equation[J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(6): 1383-1386.  
韩希珍, 赵建. 结合偏微分方程增强图像纹理及对比度[J]. 光学精密工程, 2012, 20(6): 1383-1386.
- 15 Xu X, Sun X Q, Shao L. Simulation of laser jamming and its influence on CCD imaging performance[C]. SPIE, 2010, 7850: 1-7.
- 16 Schleijsen M A, Dimmeler A, Eberle B, *et al.*. Laser dazzling of focal plane array cameras[C]. SPIE, 2007, 6738: 1-9.
- 17 Dureuc A, Bourdon P, Vasseur O. Laser-dazzling effects on TV-cameras: analysis of dazzling effects and experimental parameters weight assessment[C]. SPIE, 2005, 6738: 1-6.
- 18 Dureuc A, Vasseur O, Bourdon P. Assessment of laser-dazzling effects on TV-cameras by means of pattern recognition algorithms [C]. SPIE, 2007, 6738: 1-8.
- 19 Zhang Shaodi, Sun Honghai. High precision method of long-ranged laser spot position measurement[J]. Chinese J Laser, 2012, 39(7): 0708003.  
张少迪, 孙宏海. 远距离激光光斑位置高精度测量方法[J]. 中国激光, 2012, 39(7): 0708003.

栏目编辑:李志兰