

文章编号 1004-924X(2014)07-1896-08

结合光斑与目标特征的激光干扰效果评估

钱方^{1,2}, 孙涛¹, 石宁宁³, 郭劲^{1*}, 王挺峰¹

(1. 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;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 北京航天自动控制研究所, 北京 100039)

摘要:在分析激光干扰图像整体特征、目标局部特征和干扰光斑分布特性的基础上, 提出了一种加权特征相似度(WFSIM)评估算法来评估激光干扰效果。该方法首先利用亮度、对比度和边缘清晰度等图像整体特性与局部特征点保持度这一目标识别特征来得到图像特征评估模型。然后, 根据光斑的大小、强度和位置等特性计算饱和像素率、信噪比和光斑视觉区域重要性等加权因子, 利用这些因子对评估模型进行加权, 最后得到归一化的评估指标。利用激光主动成像识别系统对设定目标进行了照明成像识别实验, 同时使用不同干扰功率的激光对识别系统进行干扰, 并采集不同背景强度和光斑位置的干扰图像。基于本文提出的 WFSIM 算法对获得的激光干扰图像进行了评估。结果表明, 与传统的均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)及结构相似度(SSIM)等评估方法相比, 提出的 WFSIM 算法对不同背景强度、光斑位置和杂波干扰下的图像都给出了合理的评估结果, 其评价结果更符合人类的主观视觉感受。

关键词:激光主动成像; 激光干扰; 图像质量评价; 特征相似度

中图分类号: TN977; TP391 文献标识码: A doi:10.3788/OPE.20142207.1896

Assessment of laser-dazzling effects based on laser spot and target features

QIAN Fang^{1,2}, SUN Tao¹, SHI Ning-ning³, GUO Jin^{1*}, WANG Ting-feng¹

(1. State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Beijing Aerospace Automatic Control Institute, Beijing 100039, China)

* Corresponding author, E-mail: qfmail@sina.cn

Abstract: The global features of laser-dazzling images, the local features of targets and the distribution characteristics of laser spots are analyzed. A new algorithm composed of Weighted Feature Similarity (WFSIM) is proposed for the assessment of laser-dazzling effects. The method firstly uses the global features including luminance, contrast, edge definition and local feature-point maintainability to obtain the assessment model. Then, it computes the weighting factors, such as the saturated pixel number, signal to noise ratio and spot visual impotence based on the size, intensity and position of the laser spot. Based on the above results, a modified assessment algorithm can be constructed and a normalized

收稿日期: 2013-07-26; 修订日期: 2013-09-24.

基金项目: 国家重点实验室自主基础研究(SKLLIM1203-01)

evaluation can be implemented. An experiment platform of laser active imaging and recognition system is built for laser-dazzling images under different laser intensities, different background intensities and different spot positions. The proposed WFSIM algorithm is used to evaluate obtained laser-dazzling images. In terms of experiment results, the WFSIM algorithm shows good feasibility and rationality as comparing with Mean Square Error(MSE), Peak Signal to Noise Ratio(PSNR) and Structural Similarity(SSIM) image quality assessment methods. The evaluation results is consistent with the subjective human visual perception.

Key words: laser active imaging;laser-dazzling;image quality assessment;feature-similarity

1 引言

激光主动成像系统克服了传统被动成像系统易受环境光影响的缺点,具有分辨率高、抗干扰能力强、不受光照条件限制等优点,目前已广泛应用于区域监视、自动目标识别等领域。然而这类系统的光电探测器容易受激光干扰,从而产生饱和甚至损伤。随着激光干扰的增强,图像整体特征会发生变化,局部区域受光斑影响会出现特征减少或目标消失的现象,从而导致人眼或自动识别系统对目标的检测和判别失效。因此,考虑光斑分布信息,从图像特征改变和目标特征提取算法失效的角度建立评估模型来评价激光干扰效果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均方误差(Mean Squared Error, MSE)、峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)等,它们都是基于原始图像和降质图像像素之间的绝对差异而定义的,计算形式非常简单,评价结果与主观感觉相差较大^[1-2]。近年来,Zhou Wang等提出了一种基于图像结构相似度的评价方法(Structural Similarity, SSIM)^[3]。此后又出现许多改进的SSIM算法,包括多尺度结构相似度(Multi-Scale Extension of Structural Similarity, MS-SSIM)^[4],基于图像边缘特征的结构相似度(Edge-based Structural Similarity, ESSIM)^[5]和根据图像平滑区域、纹理和边缘三分量加权的结构相似度(Three-component Weighted Structural Similarity, Three-SSIM)^[6]。这类算法从整体结构失真角度来评价图像,虽然考虑了人类视觉特性,但忽略了单像素点灰度值的变化以及干扰光

斑所处位置不同对图像质量的影响,从而导致评价结果和主观感觉不一致。

本文在分析了激光干扰图像特征、目标局部特征识别算法和干扰光斑分布特性的基础上,提出了一种加权特征相似度(Weighted Feature Similarity, WFSIM)激光干扰图像评估算法。该算法首先分析了亮度、对比度和边缘清晰度等图像的整体特性以及局部特征点保持度这一目标识别特征,得到了基本图像特征评估模型,然后根据光斑的大小、强度和位置等特性计算饱和像素率、信噪比和光斑视觉区域重要性加权因子,利用这些因子对基础评估模型进行加权,得到归一化的评估指标。最后,通过实验对评估模型的性能进行了比较分析。

2 激光干扰对图像质量的影响分析

激光对图像的干扰主要是基于一种掩盖效应,即激光光斑遮盖了图像中的主要信息,从而降低了光斑周围的细节分辨率。当激光干扰成像元件时,将产生以下现象:第一,随着激光能量的增强,会出现饱和像点,并逐渐增多,从而在像面上产生光学效应,形成饱和区域;第二,成像元件出现电荷转移等电学现象,没有被激光直接照射的区域也会出现饱和像点;第三,激光照射下的光学元件表面会发生严重的散射和反射,同样也会影响成像元件成像效果^[7-8]。

图1的4幅图显示了不同功率的激光对图像进行干扰时的效果。由图1可见,随着激光干扰功率的增强,光斑逐渐增大,甚至产生光饱和串扰现象,图像质量逐渐下降。

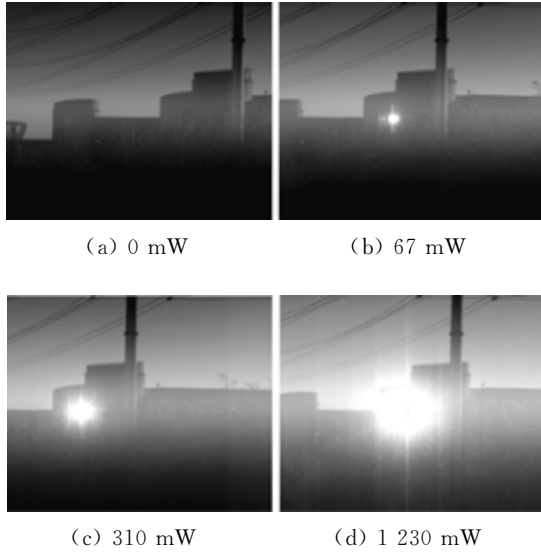


图 1 激光干扰图像(实验 1)

Fig. 1 Laser-dazzling images(Experiment 1)

3 光斑性质加权的 WFSIM 算法

图像受到激光干扰后,亮度、对比度以及边缘清晰度都发生了变化,干扰光斑还遮盖了图像中的信息,使得许多细节信息无法分辨。本文所使用的激光主动照明系统的目标识别是通过对局部特征点的提取与匹配实现的,而激光光斑的干扰将导致局部特征点无法提取或引入其他与目标无关的误匹配特征点。本文通过分析激光干扰图像的特点以及特征点的变化情况,提出了一种基于光斑性质加权的图像特征相似度算法(WFSIM)。WFSIM 算法的具体计算过程如下:首先分别计算原始图像和干扰图像的亮度、对比度、边缘清晰度比较函数和局部特征点保持度比较函数,将 4 个比较函数相乘得到特征相似指数,然后运用光斑的大小、强度和位置信息对相似指数进行加权,最后得到归一化的评价结果。

3.1 特征相似度(FSIM)算法分析

SSIM 算法主要利用像素灰度均值和方差的变化来衡量亮度和对比度的改变,是一种基于整体统计特征的评价方法,适用于对图像压缩和传输过程的降质评价;不过在评价光斑遮盖目标信息的激光干扰图像时常常出现与主观不一致的情况。考虑到图像质量的改变根本在于像素点灰度值的改变,本文提出的 WFSIM 算法根据单像素点的灰度变化来分析计算亮度和对比度特征。此外,人类视觉系统和常用的识别算法通常利用基

于边缘信息组成的目标轮廓对目标进行识别,然而激光光斑会造成边缘信息的破坏与损失,故本文从梯度特征出发计算激光干扰前后的边缘清晰度,并将边缘损失建模到评估模型中。最后,激光主动成像系统需要利用目标局部特征点进行目标检测与匹配识别,因此激光干扰对特征点提取准确性的影响也是评估激光干扰效果的一个重要因素。

综合以上分析,本文定义的图像特征相似度评价包含 4 个部分:亮度比较函数、对比度比较函数、边缘清晰度比较函数和局部特征点保持度比较函数。

亮度比较函数 $l(x, y)$ 为:

$$l(x, y) = \frac{2L_x(i, j)L_y(i, j) + T_1}{L_x^2(i, j) + L_y^2(i, j) + T_1}, \quad (1)$$

式中: x, y 分别为干扰前后的图像信号; L_x, L_y 分别为原始图像和干扰图像的亮度值。如果认为 x 为无失真图像,则通过分析 y 相对于 x 的质量改变情况就可以判断出 y 的失真程度。公式(1)中,图像亮度(即人眼视觉系统感觉到的亮度) L 定义为:

$$L(i, j) = \lg p(i, j), \quad (2)$$

式中 $p(i, j)$ 为单像素的灰度值。

对比度比较函数 $c(x, y)$ 为:

$$c(x, y) = \frac{2C_x(i, j)C_y(i, j) + T_2}{C_x^2(i, j) + C_y^2(i, j) + T_2}, \quad (3)$$

式中 C_x, C_y 分别为原始图像和干扰图像的对比度。由于人眼视觉系统的响应主要依赖于背景亮度的局部变化,而不是绝对亮度值,所以这里定义对比度 C 用于评价单像素点的灰度值相对于平均灰度值的变化情况,公式(3)中 C 为:

$$C(i, j) = \frac{p(i, j)}{\mu[p(i, j)]}, \quad (4)$$

式中 $\mu[p(i, j)]$ 为平均灰度值。

$$\mu[p(i, j)] = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p(i, j), \quad (5)$$

式中 M 为图像总像素数。

边缘清晰度比较函数 $d(x, y)$ 为:

$$d(x, y) = \frac{2G_x(i, j)G_y(i, j) + T_3}{G_x^2(i, j) + G_y^2(i, j) + T_3}, \quad (6)$$

式中: G_x, G_y 分别为原始图像和干扰图像的梯度幅值; T_1, T_2, T_3 为很小的正数,用于防止分母为零或接近零造成的不稳定。使用 Sobel 算子对图像求偏导数,得到水平和垂直方向的梯度分量为

$G(h)$ 和 $G(v)$, 公式(6)中梯度幅值 G 定义为^[9-11]:

$$G(i, j) = \sqrt{G_{x(i, j)}^2(h) + G_{y(i, j)}^2(v)}. \quad (7)$$

G 不为零时, 说明对应点处存在灰度变化, 该点为图像边缘, G 值越大, 该点处的边缘信息越清晰。可以用梯度幅值来表征图像的边缘清晰度。

局部特征点保持度比较函数 $r(x, y)$ 为:

$$r(x, y) = \frac{|F_x \cap F_y|}{|F_x \cup F_y|}, \quad (8)$$

式中: F_x 、 F_y 分别为从原始图像和干扰图像中提取的特征点集合; 分母为两幅图像特征点的并集元素的个数; 分子为干扰前后仍可以准确匹配的特征点集合的元素个数。本文采用 FAST 方法计算图像特征点。计算时选择图像中某一像素点为圆心, 在以 3.4 pixel 为半径的圆上选取 16 个像素点, 若至少有 9 个连续的像素点的灰度值比中心像素点的大或者小, 则将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。 $r(x, y)$ 的值越大说明原始图像和干扰图像中提取的相似特征点越多, 则两幅图像的相似程度越高, 干扰图像的局部特征损失越少。因为特征点提取是一个动态目标识别过程, 所以可以运用局部特征点保持度作为激光干扰对照明成像系统目标识别失效性的评估算子。

结合公式(1)、(3)、(6)和(8)中的 4 个比较函数, 定义特征相似度 (Feature-Similarity, FSIM) 图像评价算法为:

$$\text{FSIM}(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta \cdot [d(x, y)]^\gamma [r(x, y)]^\delta, \quad (9)$$

式中: $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 主要用来调整 4 个部分的相对重要性, $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \delta > 0$, 一般取 $\alpha = \beta = \gamma = \delta = 1$ 。

3.2 加权因子讨论

对于由噪声产生的降质图像, 噪声分布在整个图像区域, 但对于激光干扰图像来说, 激光光斑通常位于图像的某一固定区域, 并且该区域的像素灰度值基本相同^[12-14]。激光干扰后, 图像亮度和对比度都会改变, 虽然干扰仅发生在图像局部区域, 但是不仅光斑所在位置的信息会受到遮盖, 其附近区域的目标边缘和局部特征点等信息的提取也会受到影响, 而远离光斑区域的成像信息受到的干扰较小。因此光斑性质才是影响图像质量的关键因素。故本文选择激光光斑大小、强度和

位置特征作为加权值对评价结果进行加权。定义饱和像素率表示光斑大小的改变对图像质量的影响。

饱和像素率加权函数 N 定义为:

$$N = \frac{N_s}{M}, \quad (10)$$

式中: N_s 为饱和像素点数目; M 为图像所有像素点个数。激光干扰会使一部分像素达到饱和, 完全饱和时像素灰度值为 255。实际中, 若干扰图像中的像素灰度值大于 245, 则认为该像素达到饱和。

本文采用信噪比表示光斑强度的改变对图像质量的影响。

信噪比加权函数 $\text{SNR}(x, y)$ 定义为:

$$\text{SNR}(x, y) = \frac{\text{SNR}_y}{\text{SNR}_x}. \quad (11)$$

$$\text{SNR} = 10 \lg \left[\frac{\mu[p(i, j)]}{\sigma[p(i, j)]} \right],$$

$$\sigma[p(i, j)] = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M [p(i, j) - \mu[p(i, j)]]^2}, \quad (12)$$

式中: SNR_x 为原始图像信噪比; SNR_y 为干扰图像信噪比; $\mu[p(i, j)]$ 为平均灰度值, 计算方法如公式(5); $\sigma[p(i, j)]$ 为灰度标准差。

此外, 干扰效果不仅取决于光斑的大小和光斑的强度, 还会受光斑位置的影响。当光斑位于图像中的目标区域(原始图像中人眼最感兴趣的区域, 通过人为设定)附近时, 所掩盖的重要信息较多, 这时干扰效果程度强; 当光斑远离目标区域, 即使光斑覆盖的面积比较大, 但因为该区域所包含的重要信息不多, 干扰效果也不会很明显。本文引入光斑视觉区域重要性函数用以评价光斑处于不同位置时的干扰效果。光斑视觉区域重要性函数定义为:

$$D = \sqrt{(x_0 - x_t)^2 + (y_0 - y_t)^2} / d_{\max}, \quad (13)$$

式中: x_0, y_0 为激光光斑的中心位置; x_t, y_t 为目标的目标中心位置; d_{\max} 为单像素到目标中心的最大距离。为了求得设定目标和光斑的准确位置信息, 对原始图像和激光干扰图像采用自适应阈值法选取阈值, 并进行二值化处理。由于原始图像的背景比较纯净, 目标提取通常比较简单。经过二值变化后得到的二值图像中灰度为 1 的区域即为目标区域, 再运用最小二乘法计算出目标区域

的中心,它一般就是图像的中心。

激光光斑位置的计算过程如下:

(1)对激光干扰图像的二值图像进行区域分割,选取二值图中的任一点为中心,如果该中心点上、下、左或右某位置点的像素值与其不同,则认为此区域不连通,反之,则认为连通。遍历整个图像,据此得到若干个连通区域。

(2)在图像采集的过程中发现,图像经二值化后,如果灰度值为 1 的区域的面积大于总面积的 3%时,人眼就可以明显地识别出该区域。因此,若某连通区域中的像素个数大于图像总像素个数的 3%时,则认为该区域可能存在激光光斑,否则,舍弃该区域。

(3)由于光斑形状一般近似为圆形,所以在保留的区域中,选择长宽比接近 1 的区域作为激光光斑区。当激光功率足够强时,激光光斑区所包含的像素个数通常最多。

最后运用最小二乘法计算光斑中心。

综上所述,本文选择饱和像素率、信噪比的下降程度和光斑视觉区域重要性函数作为加权值来评价干扰效果。

3.3 基于光斑性质加权算法

根据以上分析,基于光斑性质加权的图像特征相似度算法定义为:

$$WFSIM(x, y) = (1 - N) \times SNR(x, y) \times D \times [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [d(x, y)]^\gamma [r(x, y)]^\delta. \quad (14)$$

加权因子中包含 3 个部分:饱和像素率 N 、信噪比 $SNR(x, y)$ 和光斑视觉区域重要性函数 D 。其中, N 越大,图像失真程度越高, $WFSIM$ 值越小,即 N 与 $WFSIM$ 值成反比,所以取 $1 - N$ 为加权因子之一。 $SNR(x, y)$ 越小,图像失真程度越高, $WFSIM$ 值越小,即 $SNR(x, y)$ 与 $WFSIM$ 值成正比。 D 越小,说明光斑位置距离目标区域中心越近,对图像重要信息的遮盖和干扰程度越强, $WFSIM$ 值越小,即 D 与 $WFSIM$ 值成正比。将加权值与 $FSIM$ 结果相乘,得到归一化的图像质量评价价值。

4 实验结果与分析

为了验证本评价系统对于激光干扰图像质量评价的有效性,实验搭建了一套激光干扰图像系统:使用波长为 532 nm 的激光二极管泵浦固体激

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/s,图像大小为 1024×1024 。软件编程环境为 Pentium Dual-Core CPU、2.60 GHz 主频、内存为 2G、Matlab2008a。激光主动成像系统如图 2 所示。实验中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 3 种图像,分别采用常见的客观评价方法和本文提出的 WFSIM 评价方法对 3 种图像的质量进行评价,并将所有评价结果进行了比较。

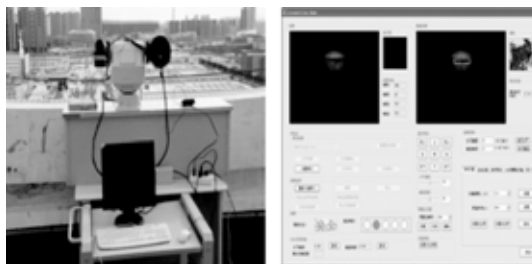


图 2 激光主动成像识别系统

Fig. 2 Laser active imaging and recognition system

4.1 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 MSE、PSNR、SSIM 及基于光斑性质加权的 WFSIM 算法,对不同激光干扰功率和不同背景强度的干扰图像进行评价,激光干扰图像如图 3 所示。

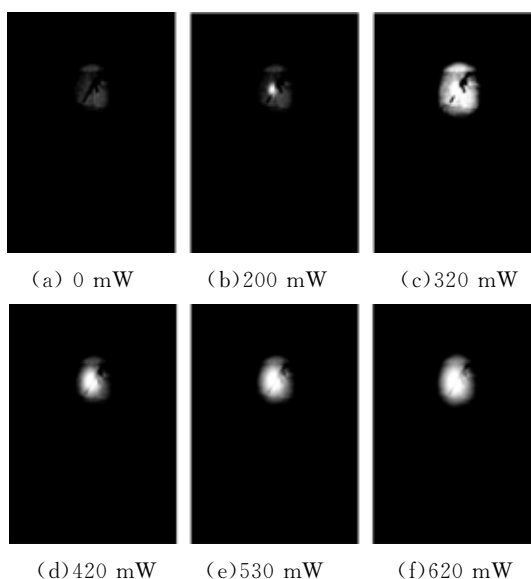


图 3 激光干扰图像(实验 2)

Fig. 3 Laser-dazzling images(experiment 2)

图 3 中,激光功率不同,对图像的干扰程度也不同。图 3(a)是原始图像,图中的枪为设定的目标,图 3(b)~3(f)的激光干扰功率逐渐增强,图 3(c)的背景强度比其他图有所升高。从主观评价出发,图 3(b)

~3(f)光斑大小逐渐增大,光斑周围的像素点灰度值也逐渐增大,光斑掩盖的目标信息逐渐增多,干扰效果逐渐增强,图像质量下降明显。经过计算,4 种不同算法得到的评价结果如表 1 所示。

表 1 对不同激光干扰功率和背景强度图像的评价结果

Tab. 1 Quality assessment results of laser-dazzling images with different powers and background intensities

method	b	c	d	e	f
MSE	214.468 8	839.813 0	347.814 5	478.764 5	580.245 3
PSNR	24.817 2	18.889 0	22.717 3	21.329 6	20.494 7
SSIM	0.982 2	0.924 5	0.981 3	0.968 3	0.965 2
WFSIM	0.969 4	0.914 1	0.892 1	0.863 4	0.754 0

随着激光干扰功率的增加,光斑强度逐渐增加,面积逐渐增大,干扰效果逐渐增强,图像质量逐渐下降,MSE 评价结果应逐渐增大,而 PSNR、SSIM 的评价结果应逐渐减小。根据上述分析,从主观角度出发,图 3(c)的质量要高于图 3(d),因此,图 3(c)的 MSE 值应该小于图 3(d)。而 PSNR、SSIM 值应该大于图 3(d),但是由于图 3(c)的背景强度比原始图像有所升高,使得 MSE、PSNR 以及 SSIM 无法给出合理的评价结果。而本文提出的评价方法 WFSIM 则能够克服背景强度不一致对评价结果的影响,对图 3(c)的评价比图 3(d)的评价大,认为图 3(c)的质量更好。并且随着激光干扰功率的增大,本文算法给出的评价逐渐下降,评价结果符合人类视觉系统的主观感知。

4.2 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 MSE、PSNR、SSIM 及基于光斑性质加权的 WFSIM 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。

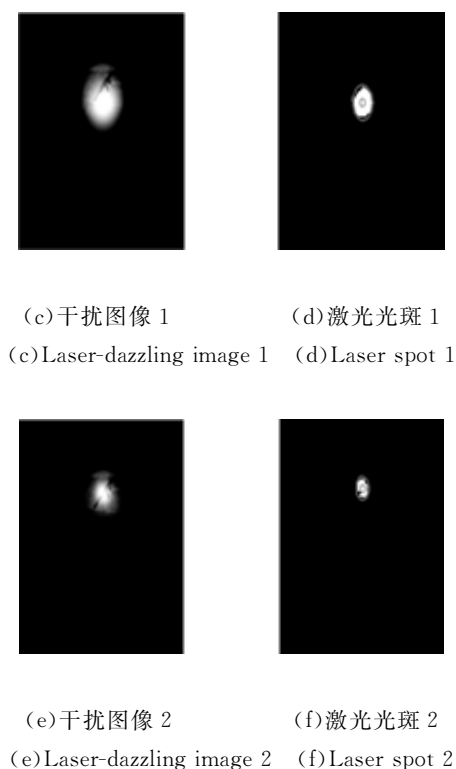
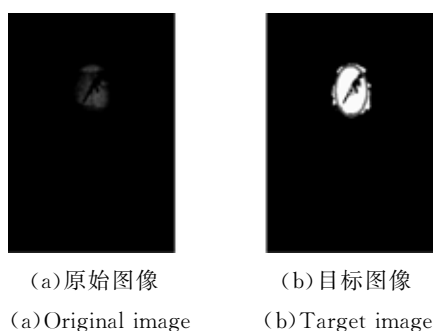


图 4 激光干扰图像(实验 3)

Fig. 4 Laser-dazzling images(experiment 3)

图 4 中由于激光光斑所处位置的不同,对图像的干扰程度也不同。图 4(a)是原始图像,图中的枪为人为设定的目标。图 4(b)是原始图像经二值化后得到的目标位置图,圆圈中的部分为提取的目标。图 4(c)中的光斑位于目标下方,虽然形成了一部分饱和区域,但是没有掩盖图像中的

目标,只是对背景造成了一定的干扰。图 4(d)是图 4(c)经二值化后得到的光斑位置图。图 4(e)中的光斑正好位于目标位置,掩盖了一部分目标信息。图 4(f)是图 4(e)经二值化后得到的光斑位置图。经过计算,4 种不同算法得到的评价结果如表 2 所示。

表 2 不同光斑位置激光干扰图像评价结果

Tab. 2 Quality assessment results of laser-dazzling images with different spot positions

method	4(c)	4(e)
MSE	1308.646 2	304.950 7
PSNR	16.962 6	23.288 5
SSIM	0.722 5	0.771 7
WFSIM	0.869 4	0.705 5

虽然图 4(c)的光斑面积大于图 4(e),但图 4(c)中的光斑没有掩盖目标,图 4(e)中的光斑掩盖了目标,所以从主观视觉角度来看,图 4(c)的质量好于图 4(e),图 4(c)的 MSE 值应该小于图 4(e),PSNR、SSIM 值大于图 4(e)。从表 2 结果可以看出,MSE、PSNR、SSIM 算法都没有给出正确的结果。而本文的算法 WFSIM 考虑了光斑的大小、位置等特性,因此,对于图 4(c)的评价值高于图 4(e),从而说明图 4(c)的质量好于图 4(e),所得结果符合主观感知的判断。

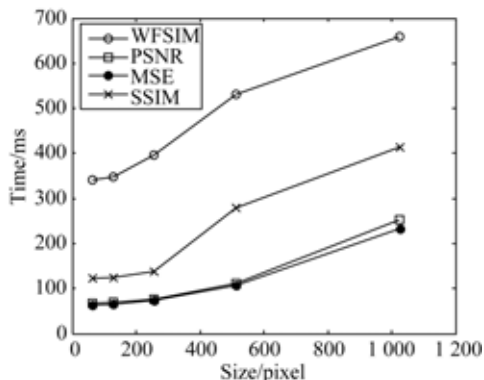


图 5 不同算法的平均运算时间

Fig. 5 Average running time of different methods

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 64×64 增加

到 1024×1024 。图 5 是不同算法对于不同尺寸图像的平均运算时间结果。由图 5 可以看出,MSE、PSNR、SSIM 3 种算法的耗时均小于本文提出的 WFSIM 算法。这是由于本文算法考虑了特征点提取和光斑性质等因子的计算,故计算复杂度高于其他 3 种算法。但是通过前文讨论可知,由于其他 3 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。总体上看,4 种算法的运算时间均随图像尺寸的增加而增加,4 条曲线均接近于线性。在实验测试中,随着数据量的增加,本文的 WFSIM 算法的曲线斜率基本保持不变,时间消耗呈现近似线性增长,这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。

5 结 论

对于激光主动成像系统来说,所获取图像的质量决定了其目标识别和检测的效果。本文从图像质量评价的角度出发,对激光干扰光电探测器的效果进行了评估。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 3 种干扰图像作为实验对象。分别运用传统的客观图像质量评价方法(MSE、PSNR)、基于结构相似度的 SSIM 算法和本文提出的光斑性质与目标特征结合的加权特征相似度(WFSIM)算法对采集图像进行评价。实验结果表明,MSE、PSNR 和 SSIM 算法都不能克服背景强度不一致对评价结果造成的影响,在背景变暗或变亮而图像目标信息损失很小的情况下,也会认为图像失真严重。另外,MSE、PSNR 和 SSIM 算法也不能反映不同激光干扰位置对评价结果的影响,以上 3 种算法都认为光斑覆盖面积较大的图像失真程度严重,而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。本文的 WFSIM 算法能够克服背景强度变化对评价结果的影响。当光斑干扰位置不同时,能够根据光斑对设定目标的掩盖程度给出合理的评价结果。通过与 MSE、PSNR 和 SSIM 算法的比较发现,WFSIM 算法的评价结果更符合人类的主观视觉感受,能更确切地反映激光干扰的效果。本文算法对于保护光电成像系统和评估激光主动成像系统目标识别能力具有重要作用。

参考文献:

- [1] 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.
WANG Y Q, ZHU M. Maximum singular value method of quaternion matrix for evaluating color image quality [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(2):470-471. (in Chinese)
- [2] 袁飞,黄联芬,姚彦. 基于视觉掩盖效应和奇异值分解的图像质量评测方法[J]. 光学精密工程,2008,16(4):706-713.
YUAN F, HUANG L F, YAO Y. Image quality evaluation based on visual masking effect and singular value decomposition [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4):706-713. (in Chinese)
- [3] WANG Z. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4):6-7.
- [4] WANG Z, SIMONCELLI E P, BOVIK A C. Multi-scale structural similarity for image quality assessment[C]. *Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, USA, 2003, 2:1-4.
- [5] CHEN G H, YANG C L, PO L M, *et al.*. Edge-based structural similarity for image quality assessment [C]. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2006:933-936.
- [6] LI C, BOVIK A C. Three-component weighted structural similarity index [C]. *SPIE Electronic Imaging International Society for Optics and Photonics*, 2009, 7242:1-8.
- [7] SHEN H B, SHEN X J, ZHOU B, *et al.*. Experimental of 532 nm pulsed laser irradiating CCD [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2009, 21(10):1449-1454.
- [8] XU X, SUN X Q, SHAO L. Simulation of laser jamming and its influence on CCD imaging performance [J]. *SPIE Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology*, 2010, 7850:1-7.
- [9] 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.
- [10] JAIN R, KASTURI R, SCHUNCK B G. *Machine Vision* [M]. New York: McGraw Hill, 1995.
- [11] JAHNE B, HAUBECKER H, GEIBLER P. *Handbook of Computer Vision and Applications* [M]. New York: Academic Press, 1999.
- [12] SCHLEIJPEN M A, DIMMELER A, EBERLE B, *et al.*. Laser dazzling of focal plane array cameras [J]. *SPIE Technologies for Optical Countermeasures*, 2007, 6738:1-9.
- [13] DUREUC A, BOURDON P, VASSEUR O. Laser-dazzling effects on TV-cameras: analysis of dazzling effects and experimental parameters weight assessment [J]. *SPIE Technologies for Optical Countermeasures*, 2005, 6738:1-6.
- [14] DUREUC A, VASSEUR O, BOURDON P. Assessment of laser-dazzling effects on TV-cameras by means of pattern recognition algorithms [J]. *SPIE Technologies for Optical Countermeasures*, 2007, 6738:1-8.

作者简介:



钱方(1987—),女,吉林长春人,博士研究生,主要从事图像处理技术的研究。E-mail:qfmail@sina.cn

导师简介:



郭劲(1964—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,2007年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事激光与物质相互作用技术研究。E-mail: guojin1964@126.com

(版权所有 未经许可 不得转载)