

文章编号:1007-2780(2014)05-0805-07

采用图像特征的激光干扰跟踪效果评估

钱 方^{1,2}, 孙 涛¹, 郭 劲^{1*}, 王挺峰¹, 王 岩^{1,2}

(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)

摘要:对于广泛应用于图像识别和跟踪的激光主动成像系统,激光干扰是影响该类系统性能的一个重要因素。激光干扰使系统中的光电成像元件达到饱和或损坏,在观测中出现光斑,从而使跟踪算法无法准确分辨目标和光斑。因此,分析并评估激光对主动成像系统的干扰效果是避免干扰的前提,同样也是重要的环节。提出一种基于图像特征的边缘相似度(ESIM)评价算法,该算法通过模型确定图像的目标区域,并比较图像和干扰图像目标区域的亮度、对比度和边缘清晰度差异,得到统一化的评价指标,作为对激光干扰效果的评估标准。实验中分别采集了不同干扰功率和不同光斑位置的激光干扰图像,并用相关跟踪和跟踪方法对目标进行跟踪,用本文提出的 ESIM 算法从图像特征角度对干扰跟踪效果进行评估,结果表明 ESIM 能合理评估干扰图像的失真程度,并可以较好地反映激光对主动成像系统跟踪性能的影响。

关键词:激光干扰;对比度跟踪;相关跟踪;边缘相似度

中图分类号: TN977 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20142905.0805

Assessment of laser-dazzling effects on tracking through image feature measurements

QIAN Fang^{1,2}, SUN Tao¹, GUO Jin^{1*}, WANG Ting-feng², WANG Yan^{1,2}

(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)

Abstract: Laser active imaging systems are widespread observation tools used to fulfill recognition and video-tracking. Laser-dazzling on imaging systems aims to saturate or damage the full camera image. If there is a laser spot in the field of view, the tracking system cannot distinguish between the target and the laser spot. In order to evaluate the dazzling effects of the laser and avoid such a disturbance, the assessment of laser-dazzling effects must be better understood. This paper proposes a new algorithm composed of edge similarity (ESIM). Luminance comparison, contrast comparison and edge definition comparison are computed for the original and disturbed images. Based on the results of the above, we could construct a modified assessment. In terms of experiment results, ESIM is efficacious to reflect the quality of tracking image and it can evaluate the laser dazzling effect on tracking successfully.

Key words: laser-dazzling; contrast tracking; correlation tracking; edge similarity

收稿日期: 2014-01-09; **修订日期:** 2014-01-23.

基金项目: 国家重点实验室自主基础研究(SKLLIM1203-01)

* 通信联系人, E-mail: guojin_1964@126.com

8! U! ! V

÷ ø g ¢ P " E F J ó ô %• 4 • ž ã ä õ
ö Ñ M ç = A æ ç #÷ ø ù ú ¹ ° ° E H . ø Ù
P " ² ü þ Ñ B > P ÿ ! (

$$ESIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [d(x, y)]^\gamma, \quad (8)$$

其中:参数 $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$,主要用来调整3个部分的 $\square$ 对重要性,一 $\square$ 取 $\alpha = \beta = \gamma = 1$ 。ESIM由 $\square$ 度比较函数 $l(x, y)$ 、对比度比较函数 $c(x, y)$ 和边缘清晰度比较函数 $d(x, y)$ 组成,分别体现了当图像受到激光干扰后,图像整体上 $\square$ 度和对比度的改变以及边缘细节的失真程度。由于 $\square$ 取图像的质量在 $\square$ 大程度上决定了跟踪算法能 $\square$ 准确提取目标,因 $\square$,ESIM可用来评 $\square$ 干扰前后跟踪性能的变化情况及激光干扰效果,ESIM越大, $\square$ $\square$ 激光干扰对跟踪效果的影响越小; $\square$ 之,ESIM越大, $\square$ $\square$ 图像质量越差,激光干扰对跟踪性能的影响越大。图2为ESIM算法的流程图。



图2 ESIM算法流程图

Fig. 2 Flow chart of ESIM algorithm

4 实验结果与分析

为了验 $\square$ 本文算法评价跟踪性能的有效性,实验中采 $\square$ 了激光干扰功率不同和光 $\square$ 位置不同的图像。实验 $\square$ 建了一 $\square$ 激光主动成像识别跟踪系统:使用波 $\square$ 为532 nm的激光二极管 $\square$ $\square$ $\square$ 体激光器发射光 $\square$ 照射 $\square$ 处的目标,并使用Falcon HG 1M120CMOS $\square$ 机作为接收 $\square$ 置采 $\square$ 图

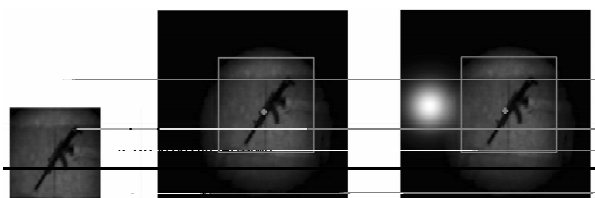


图3 激光主动成像识别系统

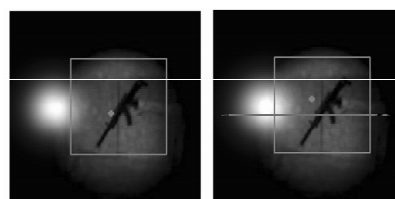
Fig. 3 Laser active imaging and recognition system

像,像元 $\square$ $\square$ 为 $7.4 \mu\text{m}$, $\square$ 频为 $30 \square/\text{s}$,图像大小为 1024×1024 。 $\square$ 件 $\square$ 程 $\square$ $\square$ 为Pentium Dual-Core CPU、2.60 GHz主频、 $\square$ 存2G、matlab2008a。激光主动成像系统如图3所示。

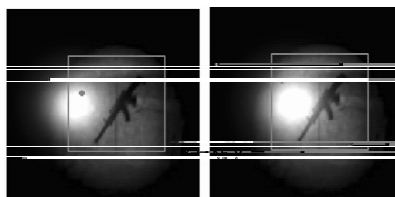
图4是不同激光功率、不同光 $\square$ 位置的激光干扰图像,由于干扰功率不同,对图像的干扰程度也不同。随着激光干扰功率的增强,光 $\square$ 变大并逐 $\square$ 进入波 $\square$, $\square$ 成 $\square$ $\square$ 位置的变化。图(a)是目标模 $\square$ 图,图(b)是 $\square$ $\square$ 图像,图中方 $\square$ 表示波 $\square$,"+"表示 $\square$ $\square$ 所在位置,文中取图(b)中的 $\square$ $\square$ 位置为基准 $\square$ $\square$ 位置。图(c)~(g)是激光干扰图像,激光干扰功率逐 $\square$ 增强。对于 $\square$ $\square$ 跟踪,可以计算出每幅图像中目标的 $\square$ $\square$ 位置。对于 $\square$ 关跟踪, $\square$ 采用图4中的干扰图像,计算出每幅图像的最佳 $\square$ $\square$ 点位置和 $\square$ 关 $\square$ 值。同时, $\square$ 用边缘 $\square$ $\square$ 度(ESIM)算法对目标区域图像的质量进行评 $\square$,结果如表1所示。



(a) 目标模 $\square$ (b) 0 mW (c) 200 mW
(a) Target image (b) 0 mW (c) 200 mW



(d) 320 mW (e) 420 mW
(d) 320 mW (e) 420 mW



(f) 530 mW (g) 620 mW
(f) 530 mW (g) 620 mW

图4 激光干扰图像

Fig. 4 Laser dazzling images

对原始图像和干扰图像均采用形心跟踪和相关跟踪算法对目标进行跟踪,对于形心跟踪主要分析干扰后的目标形心位置的变化情况,对于相关跟踪主要研究相关峰值及匹配点位置的变化情况。从表1结果可以看出,对激光干扰功率不同的图像,随着激光干扰功率的增加,干扰效果逐渐

明显,干扰图像的形心位置与基准位置的偏差逐渐增大,干扰图像中最佳匹配点位置出现偏差,相关峰值逐渐降低。在目标区域,ESIM算法的评价值逐渐减小,说明目标区域的图像质量逐渐下降,跟踪准确率下降,因此该算法能够反映激光干扰对跟踪性能的影响。

表1 激光干扰对比度跟踪效果评估

Tab.1 Contrast tracking quality assessment

Parameters	b	c	d	e	f	g
Centroid spot	(138,144)	(138,142)	(138,137)	(133,120)	(115,101)	(97,100)
Distance error	0	2	7	24.515 3	48.764 7	60.141 5
Matching spot	(210,192)	(210,192)	(210,192)	(210,191)	(169,136)	(150,123)
Distance error	0	0	0	1	69.404 6	91.438 5
Correlation peak	1	0.994 0	0.707 5	0.484 5	0.451 9	0.350 6
ESIM	1	0.980 2	0.881 9	0.754 5	0.444 0	0.114 2

图5为表1中干扰图像形心和匹配点位置与基准位置的差异曲线,从图中可以看出,随着光斑逐渐增大并进入波门,干扰图像形心和匹配点位置与基准位置之间的距离差异逐渐增大。这主要是由于光斑改变了目标周围区域的亮度和对比度,导致在提取目标的过程中所选阈值出现偏差,而且当光斑足够大时,光斑会遮挡目标信息,此时光斑与目标同时参与了形心等统计量的计算。

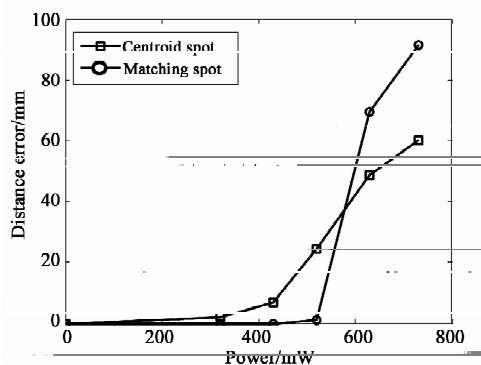


图5 不同功率距离差异曲线

Fig.5 Distance error for different power

图6为表1中相关峰值和ESIM评价曲线图,随着光斑逐渐增大并进入波门,干扰图像与目标模板的相关峰值逐渐下降,当它下降到一定程度,探测器将无法识别目标,造成目标丢失。在目标跟踪过程中,目标区域的图像质量同样影响识

别与跟踪准确性。从图6中可以看出,ESIM曲线逐渐下降,说明图像质量逐渐降低,干扰对图像的识别跟踪精度的影响逐渐增大。

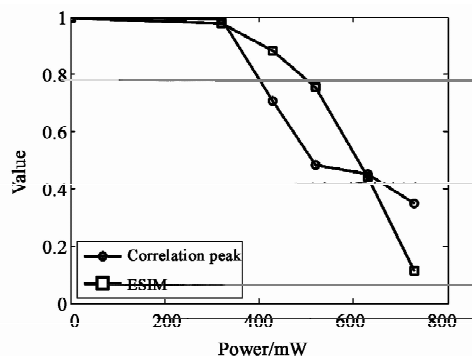


图6 不同功率评价曲线

Fig.6 Different values for different power

5 结 论

对于激光主动成像系统来说,获取目标图像的质量决定了其后续程序的跟踪效果。本文从图像特征角度出发,对激光干扰主动成像系统跟踪性能的效果进行了评估。实验中采集了不同激光干扰功率和不同光斑位置的干扰图像,分析了出现干扰前后,图像中目标形心位置、匹配点位置和相关峰值的变化情况,并通过ESIM算法对目标区域的图

像质量给出了归一化的评价。实验结果表明在相关跟踪模式下,激光干扰对其跟踪性能的影响主要表现为相关度峰值出现的位置偏离基准位置,相关度峰值随激光干扰功率增大而减小。在形心跟踪模式下,随着激光干扰功率的增强,激光光斑逐渐增大,在视场中覆盖的范围变大,导致目标形心

位置偏离基准位置。本文提出的基于边缘相似度的(ESIM)评价方法比较了原始图像和干扰图像目标区域的亮度、对比度和边缘清晰度信息变化情况,随着激光干扰功率的增强,ESIM 方法的评价值降低,说明该方法能够真实地反映激光干扰对激光主动成像系统跟踪性能的影响。

参 考 文 献:

- [1] 高卫. 对光电成像系统干扰效果的评估方法[J]. 光电工程, 2006, 32:461-463.
Gao W. Evaluation method for jamming effectiveness on electro-optical search and tracking systems [J]. *Opto-electronic Engineering*, 2006, 32:461-463. (in Chinese)
- [2] 王建路, 刘雅奇, 邓宝, 等. 对预警机跟踪系统的干扰效果分析[J]. 海军工程大学学报, 2012, 24(6):100-103.
Wang J L, Liu Y Q, Deng B, *et al.* Analysis of jamming effectiveness early warning aircraft tracking system [J]. *Journal of Naval University of Engineering*, 2012, 24(6):100-103. (in Chinese)
- [3] 王世勇, 付有余, 郭劲, 等. 脉冲激光对 CCD 图像跟踪系统干扰效果评估[J]. 激光与红外, 2002, 32(1):20-22.
Wang S Y, Fu Y Y, Guo J, *et al.* Effect evaluation of array CCD detector tracking system irradiated by pulse laser [J]. *Laser & Infrared*, 2002, 32(1):20-22. (in Chinese)
- [4] 徐银, 邵立, 孙晓泉. 激光干扰对 CCD 跟踪性能影响的图像尺度分析[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(5):1180-1185.
Xu Y, Shao L, Sun X Q. Image metric analysis of laser jamming effect on CCD tracking performance [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(5):1180-1185. (in Chinese)
- [5] 吴云龙, 孙晓泉, 徐银. 基于压缩感知的激光干扰图像尺度分析[J]. 发光学报, 2013, 34(8):1096-1101.
Wu Y L, Sun X Q, Xu Y. Image metric analysis of laser jamming effect based on compressed sensing theory [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2013, 34(8):1096-1101. (in Chinese)
- [6] Durécu A, Vasseur O, Bourdon P. Assessment of laser-dazzling effects on TV-cameras by means of pattern recognition algorithms [C]//*Proceedings of SPIE: Technologies for Optical Countermeasure*, Washington: SPIE, 2007, 6738:1-9.
- [7] Durécu A, Vasseur O, Bourdon P. Quantitative assessment of laser-dazzling effects on a CCD-camera through pattern-recognition-algorithms performance measurements [C]. *Proceedings of SPIE: International Society for Optics and Photonics*, Washington: SPIE, 2009, 7483:1-10.
- [8] Hueber N, Vincent D, Morin A, *et al.* Analysis and quantification of laser-dazzling effects on IR focal plane arrays [C]//*Proceedings of SPIE: Infrared Technology and Applications*, Washington: SPIE, 2010, 7660:1-11.
- [9] Schlijpen M A, Dimmeler A, Eberle B, *et al.* Laser dazzling of focal plane array cameras [C]//*Proceedings of SPIE: International Society for Optics and Photonics*, Washington: SPIE, 2007, 6738.
- [10] 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.
- [11] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, *et al.* Image quality assessment: From error visibility to structural similarity [J]. *IEEE Transaction on Image Processing*, 2004, 13(4):600-612.
- [12] Guan Haochen, Chun Lingyang, Lai Manpo, *et al.* Edge-based structural similarity for image quality assessment [C]//*Acoustic, Speech and Signal Processing*, New York: IEEE Press, 2006:933-936.
- [13] 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):447-454.
Tang Y H, Lu H Z. Fast local feature description algorithm based on grayvalue differential invariants [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20 (2):447-454. (in Chinese)
- [14] 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.
Mi Z Z, Xie Z J, Chen T, *et al.* Key technology of image enhancement and edge extraction for heavy rail [J]. *Opt.*

Precision Eng, 2012, 20 (9):1646-1649. (in Chinese)

- [15] 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.

Han X Z, Zhao J. Enhancement of image texture and contrast combined with partial differential equation [J]. *Opt. Precision Eng*, 2012, 20 (6):1383-1386. (in Chinese)

- [16] 钱方, 郭劲, 孙涛 等. 基于小波加权的激光干扰效果评估[J]. 液晶与显示, 2013, 28 (5):781-787.

Qian F, Guo J, Sun T, *et al*. Assessment of laser-dazzling effects based on weighted wavelet transforms [J]. *Chinese Journal of Li*