

基于上三邻域连续点计数的激光光斑实时检测

徐文宇¹ 白廷柱¹ 刘 洋¹ 梁 镇²

(¹ 北京理工大学光电成像技术与系统教育部重点实验室, 北京 100081)
² 中国人民解放军第 68128 部队, 兰州 730046)

摘要 研究了实时高精度激光光斑检测方法。利用高帧频、高灵敏度 CCD 采集 14 位激光光斑视频; 分析了激光光斑的特征, 在使用阈值分割出光斑区域后, 通过上三邻域连续点计数算法检测了激光光斑区域; 分析了激光光斑中余光斑存在的原因, 利用平均阈值法滤除了余光斑, 在剩余的主光斑中计算获得了更为精确的光斑中心(含质心与形心), 制定了以参考帧为基准的视频帧序列的操作序列法光斑检测流程, 解决了传统相邻帧相减法无法检测逆光斑帧及光斑中心位置不同的连续相邻光斑帧的问题。实验结果表明, 算法可实践用于在线实时与离线实时的高精度激光光斑检测。

关键词 光学设计; 光斑检测; 光斑中心; 激光光斑; 上三邻域连续点计数

中图分类号 TP391.4 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201333.1212002

Real-Time Laser Facula Detection Based on Top-Three-Neighborhood-Region Continuous-Pixels Numbering

Xu Wenyu¹ Bai Tingzhu¹ Liu Yang¹ Liang Zhen²

(¹ Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education of China, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)
² Troop 68128 of PLA, Lanzhou, Gansu 730046, China)

Abstract The real-time and high precision detection algorithm of the laser facula is proposed. This work has digitized 14 bit laser facula video with the high frequency and high sensitive CCD; analyzed the feature of the laser facula is analyzed, the laser facula region by top-three-neighborhood-region continuous-pixels numbering algorithm is detected after segmenting the facula region by the threshold; the reason of surplus facula in the whole laser facula region is analyzed. The surplus facula region with the average threshold algorithm is subtracted, the more accurate facula centroid (including the center of mass and the center of figure) is gotten, and made the flow of the facula detection from the video frame, named operation-serial algorithm, which solve the problem of that traditional neighbored-frame-subtraction algorithm can not detect the inverse facula frame and the continuous facula frame when the centroids of the facula are different. The experimental result shows that the proposed algorithm can be used to the online and offline detection of real-time and high precision laser facula practically.

Key words optical design; facula detection; facula centroid; laser facula; top-three-neighborhood-region continuous-pixels numbering

OCIS codes 120.1880; 150.1135; 110.2970; 100.2960

1 引 言

激光指示器在激光精确制导^[1]、成像型激光告警系统^[2]、精密仪器准直校检^[3]等光学测量中被广泛应

用。利用高帧频 CCD 来采集激光光斑, 并实时精确测量光斑中心, 将数值结果反馈给激光指示器, 对提高激光指示器的指示精度具有重要工程实践意义。

收稿日期: 2013-05-31; 收到修改稿日期: 2013-08-04

作者简介: 徐文宇(1984—), 男, 博士研究生, 主要从事图像处理、机器视觉等方面的研究。

E-mail: xuwenyu2008@gmail.com

导师简介: 白廷柱(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事微光/夜视光电子技术、图像处理、红外仿真、紫外仿真等方面的研究。E-mail: tzhbai@bit.edu.cn(中国光学学会会员号: 1000073)

前述学者^[4-5]的研究工作表明,受大气湍流的影响,激光光斑会出现闪烁、漂移、光斑分裂、后向散射等现象。但在目前的激光光斑检测研究^[1,6-11]中,前述学者未考虑这些现象,检测得到光斑中心可能会偏离实际光斑中心。

针对激光光斑的准确有效实时检测问题,本文从分析脉冲式激光光源与 CCD 同步采集出发,利用高帧频、高灵敏度 CCD 采集了激光光斑,分析了激光光斑的特征,在分割出光斑区域后,通过上三邻域连续点计数算法进行了激光光斑的检测,使用了平均阈值法滤除余光斑,获得了精确的光斑中心(含质

心与形心),分析并制定了视频帧光斑检测流程,分析了光斑检测实时性,从而研究了实时高精度激光光斑检测系统。

2 光斑检测

实验采用高帧频、高灵敏度 CCD 采集 14 位脉冲式激光视频,如图 1 所示。

光斑检测基本流程图如图 2 所示,其中 CurF 为当前帧,RefF 指参考帧。利用帧相减获取差值图像,使用阈值分割得到二值化图像,判别最大亮斑区域是否满足预设的光斑条件,并计算光斑中心。

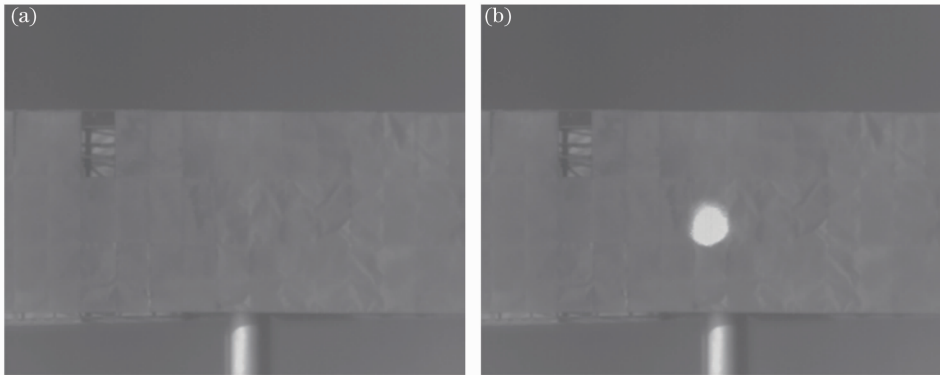


图 1 激光光斑图像。(a)参考帧;(b)光斑帧

Fig. 1 Laser facula image. (a) Reference frame; (b) facula frame

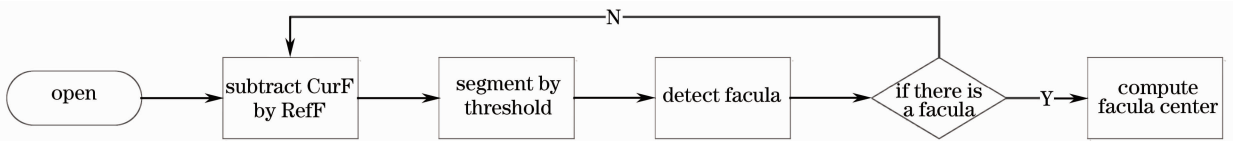


图 2 光斑检测基本流程

Fig. 2 Basic flow of facula detection

2.1 光斑分割

采用传统的减背景法^[12]分割激光光斑。采用较低的灰度阈值来提取分割区域,设最小灰度阈值为 T_{min} ,分割得到的二值化图像如图 3 所示。

2.2 基于上三邻域连续点计数算法的光斑面积计算

有学者采用圆形检测方法^[9]、轮廓提取及计算边界周长^[6,11,13]等传统基于形状的方法来计算光斑中心。区域面积计算方法有像素种子区域生长法^[14],该算法简单可靠,但需要反复递归搜索,计算效率较低。

采用上三邻域连续点计数算法计算光斑区域的面积大小,即以点为基本单位,计算每行各连续点的长度,统计有上三邻域相邻关系的连续点长度总和。算法的示意图如图 4 所示,算法的流程为:

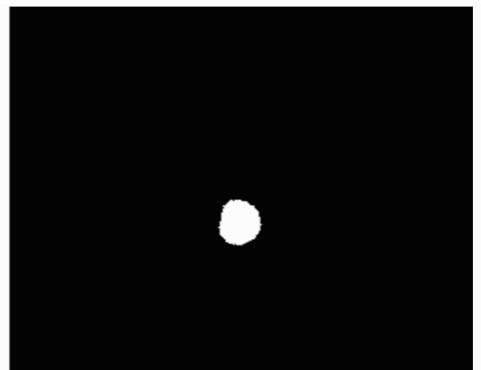


图 3 二值化图像

Fig. 3 Binary image

1) 搜索第一行的连续点,记录各连续点的编号及长度,并逐一递加编号;

2) 从第二行开始逐行搜索各行的连续点,记录

各连续点的编号及长度,并搜索与当前连续点内所有像素上三邻域相邻的连续点,记录相邻关系;

3) 从第 1 个连续点开始检测,搜索与本连续点相邻的连续点,且沿相邻连续点继续搜索,累加有相邻关系的连续点长度;

4) 当某区域的连续点长度总和即区域面积大小达到预设的光斑面积比例阈值 $T_{\text{facula-ratio}}$ 时,即认为找到了激光光斑。

| | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | | | | | | | | |
| | 1_1 | 1_2 | 1_3 | | 2_1 | | 3_1 | 3_2 | |
| | | | 4_1 | 4_2 | 4_3 | | 5_1 | 5_2 | |
| | | 6_1 | 6_2 | 6_3 | 6_4 | 6_5 | 6_6 | | |
| | | | 7_1 | 7_2 | | 8_1 | 8_2 | | |
| | | | | 9_1 | 9_2 | 9_3 | | | |
| | | | | | | | | | |

图 4 上三邻域连续点计数算法示意图。(图中白色区域为连续区域块,中心数字为连续点编号,下标为长度)

Fig. 4 Top-three-neighborhood-region continuous-pixels numbering algorithm sketch. (White region is continuous region in which central number is the number and the subscript is the length)

上三邻域连续点计数算法的总共搜索次数少于遍历搜索图像两次的次数,较像素种子区域生长法的搜索次数要明显少很多,可以更加高效检测出激光光斑并克服成像光斑变形、分裂的缺陷。光斑面积检测结果如图 5 所示。取 $T_{\text{facula-ratio}}$ 为 0.0038(0.38%),光斑面积阈值为 314,则图 5 中光斑区域所在的帧[其中图 5(a)为图 1(b)的光斑区域图]均被检测为

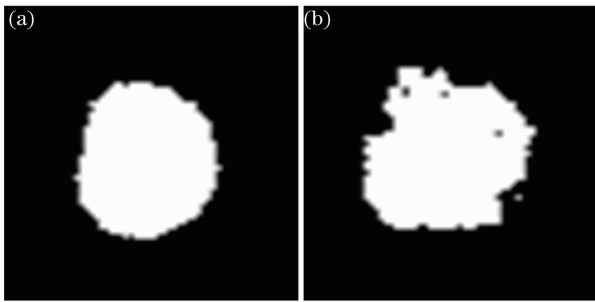


图 5 上三邻域连续点计数算法。(a)光斑面积为 714;
(b)光斑面积为 850

Fig. 5 Top-three-neighborhood-region continuous-pixels numbering algorithm. (a) Size of the facula region is 714; (b) size of the facula region is 850

光斑帧。

2.3 基于操作序列法的光斑检测流程

光斑实时检测分为在线实时检测与离线实时检测。在线实时检测为边采集光斑视频边实时检测;离线实时检测为对早前录制过的光斑视频进行回放或跳播的实时检测。

通过视频图像序列检测光斑需要解决以下几个问题:

1) 切换参考帧:初始化前一帧为当前帧的参考帧,累加当前帧与参考帧的像素差值大于 T_{min} 的像素数目,如果该数目大于参考帧灰度比较阈值 $T_{\text{ref-ratio}}$,即认为需要切换参考帧;

2) 检测逆光斑帧:跳播至连续光斑帧视频段时,应能检测出前序帧为逆光斑帧;

3) 标记处理过的帧序列:避免离线实时的重复检测光斑。

当连续光斑帧的光斑中心偏离较大及跳播至连续光斑帧视频段时,传统的相邻帧相减法将无法检测出当前光斑帧及前序的逆光斑帧。基于操作序列法的光斑检测方法以一段连续视频帧为操作序列单位来检测,可以有效解决相邻帧相减遇到的问题,检测流程图分别如图 6 及图 7 所示,图中 OSFL 指操作序列帧长度,RefF 指参考帧,CurF 为当前帧,FacF 为光斑帧,iFacF 为逆光斑帧。

当跳转至未被处理过的当前帧,且其前一帧亦未被处理过,不能完全确定以跳转前的参考帧作为当前帧的参考帧。因为当前帧也可能为光斑帧或者跳转前可能会发生场景变化等现象需要切换参考帧,此时则需要启动新的操作序列。如果不需要切换参考帧,先检测当前帧是否为逆光斑帧,如果不是逆光斑帧则检测其是否为光斑帧。如果检测到光斑帧,将操作序列中前序帧作为参考帧;如果检测到逆光斑帧,则将当前逆光斑帧作为新的参考帧,将操作序列中前序帧作为参考帧。

2.4 计算主光斑中心

受大气散射、漫反射^[7]等因素的影响,光斑图像会包含主光斑及其周围的余光斑部分,余光斑的存在会影响光斑中心的精度。可以采用平均阈值法去除余光斑部分,保留主光斑部分。去除余光斑前后对比图如图 8 所示,图中白框标识原始光斑,黑框标识主光斑,相间区域为余光斑。显然,黑框标识的主光斑更符合实际光斑。

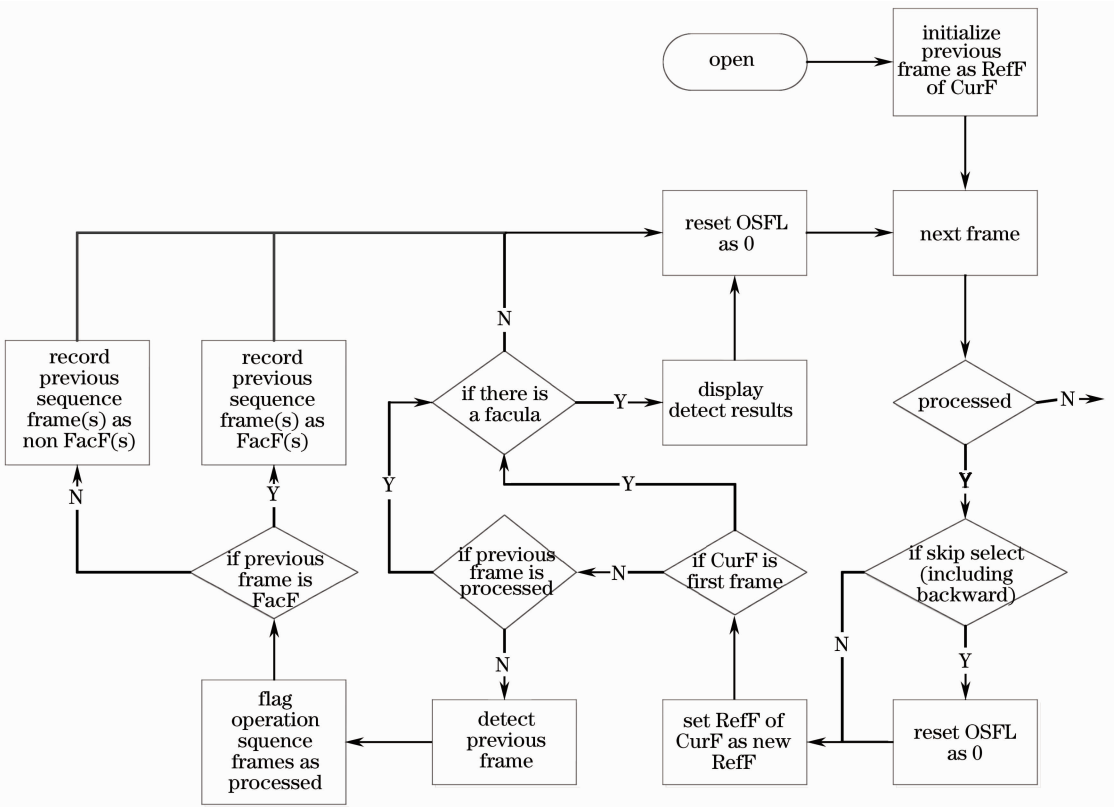


图 6 光斑检测流程图(处理过部分)

Fig. 6 Facula detection flow (processed part)

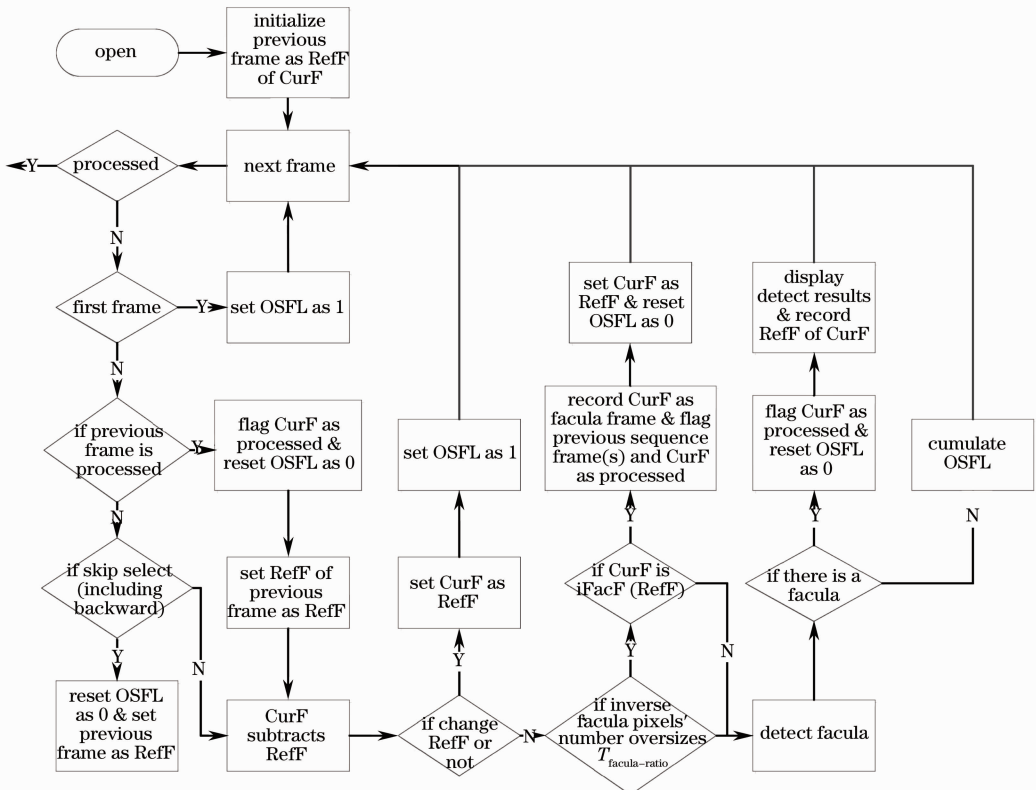


图 7 光斑检测流程图(未处理过部分)

Fig. 7 Facula detection flow (unprocessed part)

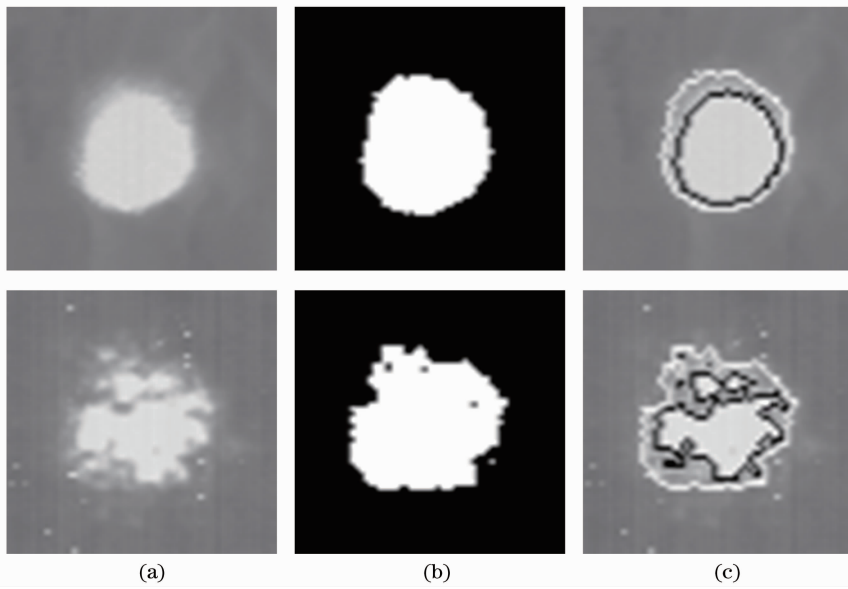


图 8 主余光斑标识对比图。(a)原图光斑区域;(b)光斑区域二值化;(c)主余光斑标记图

Fig. 8 Marked comparison image of main facula and surplus facula. (a) Original facula region; (b) binary facula region; (c) main & surplus facula marked image

3 光斑实时检测算法验证

利用高帧频、高灵敏度 CCD 采集激光光斑视频,帧速为 83 frame/s,视频分辨率为 320×256 。取 T_{\min} 为 5120, $T_{\text{ref-ratio}}$ 为 0.40(40%), $T_{\text{facula-ratio}}$ 为

0.0038(0.38%)。共检测出 119 个光斑帧,光斑质心曲线图如图 9 所示。光斑质心(WC)与形心(SC)的数据结果对比如表 1 所示,在线实时检测与离线实时检测两者结果一致。

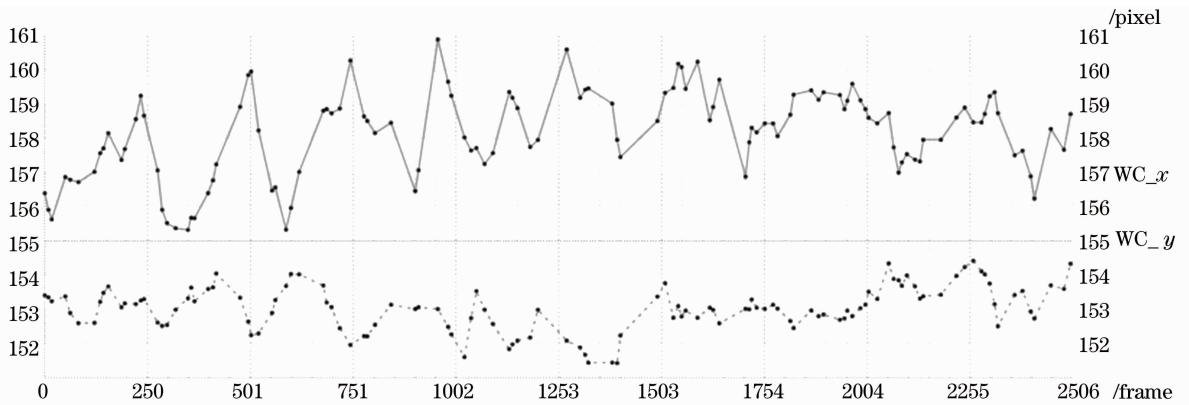


图 9 光斑质心曲线图

Fig. 9 Curve of facula's weight center

表 1 光斑质心与形心的数据对比结果

Table 1 Comparison results between the mass center and figure center of the facula

| Type | SC <i>x</i> -coor | SC <i>y</i> -coor | WC <i>x</i> -coor | WC <i>y</i> -coor |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Maximum | 160.90 | 160.88 | 154.43 | 154.40 |
| Minimum | 155.33 | 155.32 | 151.43 | 151.41 |
| Mean | 158.134 | 158.125 | 153.037 | 153.013 |
| RMS | 1.5541 | 1.5484 | 0.4176 | 0.4193 |

将软件安装在配置为 CPU i3-2330M 2.2 GHz、RAM 2 G、硬盘 7200 r/min、Windows 7 Home 的计算机中,单帧采集时间为 1 ms,单帧检测平均运行时间为 3.7 ms,最长运行时间为 5.2 ms,可以满足 100 frame/s 的激光光斑实时检测。

4 结 论

针对脉冲式激光光源发出的脉冲激光光束,利用高帧频、高灵敏度 CCD 采集了激光光斑视频,在分析激光光斑特征的基础上,提出了一种实时激光光斑检测算法。在分割出光斑区域后,该算法通过上三邻域连续点计数算法检测光斑,并利用平均阈值法去除了余光斑,获得了光斑中心(含质心与形心),并分析制定了视频帧光斑检测流程。实验结果表明,基于上三邻域连续点计数算法及基于操作序列的光斑检测流程,可用于高精度、实时激光光斑检测,检测得到的光斑中心结果可用于实时调整激光指示器等仪器。

参 考 文 献

- Liao Zhaoshu, Chen Yue, Chen Haiqing, *et al.*. Research of automatic measuring instrument for infrared guidance head imaging facula [J]. *Huazhong University of Science & Technology (Nature Science Edition)*, 2005, 33(3): 69-71.
廖兆曙, 陈 越, 陈海清, 等. 全自动红外导引头成像光斑测试仪的研制[J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(3): 69-71.
- Ying Jiaju, Wang Yongzhong, He Yongqiang, *et al.*. Location error analysis of laser spot in imaging laser warning system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2010, 39(3): 431-436.
应家驹, 王永仲, 何永强, 等. 成像激光告警的光斑定位误差分析[J]. *红外与激光工程*, 2010, 39(3): 431-436.
- Huang Fengshan, Wang Chunmei. Control points' light spot image recognition in light-pen vision coordinate measurement [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(4): 587-591.
黄风山, 王春梅. 光笔式视觉坐标测量中控制点光斑图像的识别[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(4): 587-591.
- Lou Yan, Jiang Huilin, Chen Chunyi, *et al.*. Analysis of experimental data of the scintillation fluctuation and spot area in atmosphere laser communication [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(3): 515-519.
娄 岩, 姜会林, 陈纯毅, 等. 激光大气湍流传输光强起伏及光斑面积实验分析[J]. *红外与激光工程*, 2011, 40(3): 515-519.
- Huang Jipeng, Wang Yanjie, Sun Honghai, *et al.*. Precise position measuring system for laser spots [J]. *Optics and*

- Precision Engineering*, 2013, 21(4): 841-848.
黄继鹏, 王延杰, 孙宏海, 等. 激光光斑位置精确测量系统[J]. *光学精密工程*, 2013, 21(4): 841-848.
- Wang Yali, Duan Jin, Jing Wenbo, *et al.*. Laser spot detection and characteristic analysis in space optical communication [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(z1): 434-438.
王亚丽, 段 锦, 景文博, 等. 空间光通信中激光光斑检测与特性分析[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(z1): 434-438.
- Li Zhongmin, Zhang Haizhuang, Zhao Gang, *et al.*. Research of Gamma correction and energy revision algorithm in CCD photograph law survey laser distant field facula [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2011, 9(2): 19-21.
李钟敏, 张海庄, 赵 纲, 等. CCD 摄像法测量激光远场光斑中心图像校正和能量修正算法研究[J]. *光学与光电技术*, 2011, 9(2): 19-21.
- Hu Jing. *The Study of Spot Image Acquisition and Processing System* [D]. Jilin: Changchun University of Science and Technology, 2010.
胡 静. 光斑图像采集及处理系统的研究[D]. 吉林: 长春理工大学, 2010.
- Kong Bing, Wang Zhao, Tan Yushan. Algorithm of laser spot detection based on circle fitting [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, 31(3): 275-279.
孔 兵, 王 昭, 谭玉山. 基于圆拟合的激光光斑中心检测算法[J]. *红外与激光工程*, 2002, 31(3): 275-279.
- Zhang Feizhou, Li Youkuan. The characteristic of the cracked beam spot [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, 27(4): 567-573.
张飞舟, 李有宽. 破碎光斑特征统计分析[J]. *光学学报*, 2007, 27(4): 567-573.
- Lu Quan, Liu Shangqian, Wang Huifeng. Precise location of laser spot center based on residual pruning [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(12): 2311-2315.
卢 泉, 刘上乾, 王会峰. 基于残差修剪的激光光斑高精度定位方法[J]. *光学学报*, 2008, 28(12): 2311-2315.
- Song Jianzhong, Han Guangliang, Gu Haijun. Effective methods for raising the measured distance of the pulse laser spots removed target in outfield [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(3): 300-303.
宋建中, 韩广良, 顾海军. 提高外场脉冲激光光斑测量距离的有效方法[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(3): 300-303.
- Fang Guanming, Cao Yiping, Zhou Lipin. Analysis on the position sensitive detector positioning error caused by laser spot using new three-ray model [J]. *Chinese J Lasers*, 2009, 36(4): 954-958.
方关明, 曹益平, 周力萍. 采用三线位置敏感探测器定位模型分析光斑对定位精度的影响[J]. *中国激光*, 2009, 36(4): 954-958.
- Wang Zhongyu, Fu Jihua, Meng Hao, *et al.*. Small defect extracting based on region growing algorithm and grey relational analysis [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(12): 166-169.
王中宇, 付继华, 孟 浩, 等. 基于灰色关联分析和区域生长的微小缺陷提取[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(12): 166-169.

栏目编辑: 张 腾