

文章编号: 1001-3806(2013)03-0394-06

基于面阵 CCD 的激光告警系统的图像采集与处理

苏 平 牛燕雄* 李大乾 牛海莎 李易难 张 超

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院 北京 100083)

摘要: 光栅衍射型激光告警系统是一种基于光栅衍射效应、可实时探测来袭激光参量信息的光电对抗设备。为了获取入射激光的波长和入射角度,以光栅衍射效应为基本原理,采用面阵 CCD 进行图像采集、数字信号处理器进行图像处理,并依据信号特点开发了目标识别算法。通过理论分析和实验验证,设计出了一套基于面阵 CCD 的光栅衍射型激光告警系统的图像采集与处理系统,实现了对激光目标的探测。结果表明,该系统可有效地识别来袭激光并准确标记,具有良好的稳定性、实时性。

关键词: 图像处理; 激光告警; 光栅衍射; 数字信号处理器

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

doi: 10.7510/jjgs.issn.1001-3806.2013.03.028

Image acquisition and processing of a laser warning system based on planar array CCD

SU Ping, NIU Yan-xiong, LI Da-qian, NIU Hai-sha, LI Yi-nan, ZHANG Chao

(School of Instrumentation Science and Opto-electronics Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: A grating diffraction laser warning system is a type of electro-optic countermeasure equipment based on grating diffraction, it can detect the parameter information of the incident laser in real-time. To get the wavelength and the azimuth of the incident laser, with the grating diffraction principle, the image signal was acquired by a area planar array CCD, the image processing was done by digital signal processor, and the image processing algorithms were exploited. The theory was analyzed and experimental results were verified, the image acquisition and processing of the grating diffraction laser warning system based on area planar array CCD was designed, the detection of the incident laser was realized. The experimental results show that the system can detect and mark the incident laser effectively, the system is stable and real-time.

Key words: image processing; laser warning; grating diffraction; digital signal processor

引 言

自从 1960 年激光问世以来,激光技术在国民经济及军事领域得到广泛应用。特别是在军事领域中,激光制导、激光测距以及激光武器等大量装备于部队^[1],它们在现代化战场上的精确制导、精确打击能力,发挥了重要的军事效能,给重要的军事目标及武器平台构成了日趋严重的威胁。激光告警系统是用来截获、测量、识别敌方来袭激光信号并实现告警的侦察设备^[2-3]。在现代化战场上,可对敌方激光源进行实时告警,并准确识别来袭激光波长和入射方位

角,世界各军事强国都十分重视激光告警系统的研究及应用,因此开展激光告警技术具有重要意义。

ZHANG 和 FU^[4-5]等人曾基于线阵 CCD 研制过光栅衍射型激光告警系统,但其探测范围是 1 维的,视场小。而利用面阵 CCD,可获得 2 维图像,直观易于观察,并可探测来袭激光的 2 维方位信息,结合目前迅速发展的嵌入式系统及数字图像处理技术,保证整个系统的实时性,从而使激光告警系统具有更加实用的价值。

本文中基于激光光栅衍射效应原理,利用面阵 CCD 和以美国模拟仪器公司的 ADSP-BF561 为核心处理器设计图像采集处理系统,根据光栅衍射斑的特点开发了识别算法,实现了基于数字信号处理器(digital signal processor, DSP)的光栅衍射型激光告警系统对激光目标的有效探测和识别。

作者简介: 苏 平(1986-),男,硕士研究生,主要从事激光告警、数字信号处理器嵌入式系统、光电图像处理的研究工作。

* 通讯联系人。E-mail: niuyx@buaa.edu.cn

收稿日期: 2012-07-27; 收到修改稿日期: 2012-09-03

1 工作原理

激光告警系统的基本工作原理是光栅衍射效应。光栅衍射原理图如图 1 所示: 激光以入射角 α 射入, 经正弦光栅衍射后, 形成 0 级和 ± 1 级衍射光斑, 经过柱面镜会聚于 CCD 上。由于不同波长的激光衍射后其 0 级和 1 级衍射斑位置不同, 而不同入射方向其 0 级位置也不同^[6-7], 通过面阵 CCD 探测器将获取的衍射信息转换成视频图像信号, 然后利用 DSP 图像处理系统进行图像处理, 即可以得到入射激光的 0 级、1 级衍射斑位置, 从而确定来袭激光的波长和入射方位角。

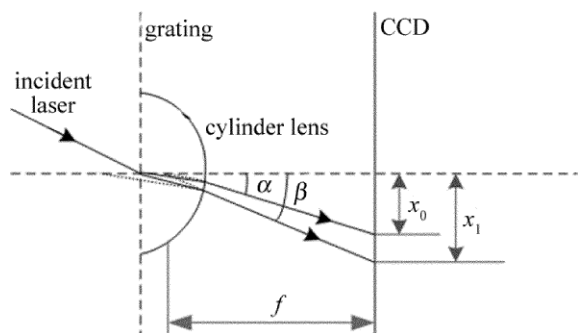


Fig. 1 Principle of grating diffraction

激光衍射 0 级衍射光斑位置为 x_0 , 1 级衍射光斑位置为 x_1 , 分别满足如下关系式:

$$x_0 = f \tan \alpha \tag{1}$$

$$x_1 = f \tan \beta \tag{2}$$

式中 f 为柱面镜焦距, x_0, x_1 为从 CCD 上读出的 0 级和 1 级衍射光斑位置, 根据 0 级衍射光斑的位置 x_0 即可以反推出激光光源的入射方位角, 如下式所示:

$$\alpha = \arctan \frac{x_0}{f} \tag{3}$$

而根据衍射理论^[8], 入射激光波长 λ 满足:

$$d(\sin \beta - \sin \alpha) = \lambda \tag{4}$$

式中 d 为光栅常数, 由 (1) 式和 (2) 式可求出入射角 α 和衍射角 β , 然后代入 (4) 式, 则可求出入射激光波长 λ , 如下式所示:

$$\lambda = d \left[\sin \left(\arctan \frac{x_1}{f} \right) - \sin \left(\arctan \frac{x_0}{f} \right) \right] \tag{5}$$

2 系统设计

2.1 系统总体结构

激光告警系统主要由激光探测接收系统、面阵 CCD 光电探测器和 DSP 图像处理系统、显示告警装置等部分组成。其总体结构框图如图 2 所示。

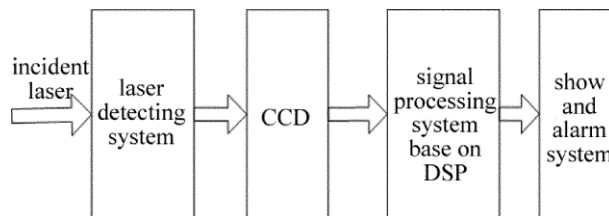


Fig. 2 Structure of the system

激光探测接收系统主要包括光栅、平凸柱面镜。其中, 光栅部分采用正弦光栅, 之所以选用正弦光栅: 一方面激光通过正弦光栅衍射后只有 0 级和 1 级衍射, 这样可简化后续光电信号的提取和处理过程; 另一方面可以使衍射后光能量集中, 提高灵敏度。平凸柱面镜紧贴光栅, 是为了将激光衍射光斑汇聚于面阵 CCD 上。

图像处理系统选择 ADI 的 DSP BF561^[9] 为核心处理器, 该 DSP 是 Blackfin 系列中的高性能产品, 其核心由 2 枚独立的 600MHz 的 Blackfin 处理器组成。BF561 集成了一套通用的数字图像处理外围设备, 为数字图像处理和多媒体应用创建了 1 个完整的系统级片上解决方案。

显示装置主要由两部分组成: 一是液晶显示屏 (liquid crystal display, LCD), 可以显示处理后的图像和要获得激光参量的信息; 二是监视器, 可以远距离同步观测探测结果, 方便监控。告警装置是一外接的音箱, 当系统探测到有激光来袭时, DSP 驱动音箱发出声音进行告警。

2.2 DSP 图像处理系统硬件设计

信号处理系统硬件结构原理框图如图 3 所示。

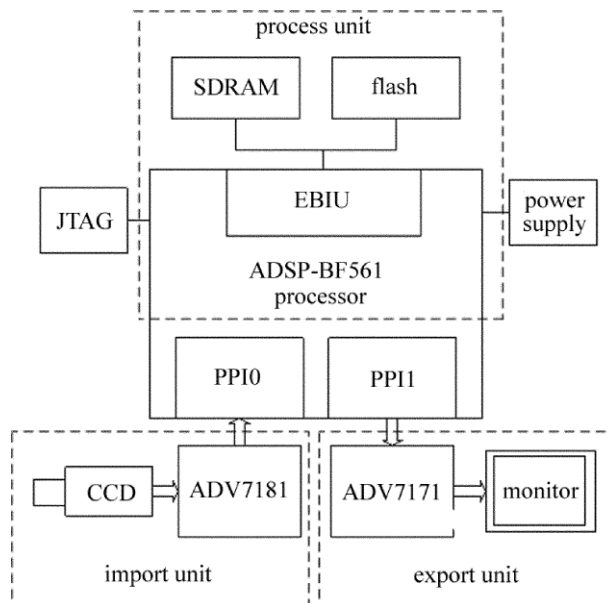


Fig. 3 Hardware structure of the system

入射激光经过探测接收系统后,输出的衍射光斑首先经 CCD 采集,而后经视频解码器 ADV7181B 转换成数字信号,经并行外设接口(parallel peripheral interface,PPI)PPI0,由直接内存存取(direct memory access,DMA)传输到 SDRAM 存储,产生中断,进行衍射光斑图像的处理程序,处理后经 PPI1,再由视频编码器 ADV7171 转换成模拟信号送至监视器显示。

系统按功能可分为视频图像输入单元、处理单元和输出单元^[10]。

2.2.1 输入单元 输入单元由面阵 CCD 和视频解码芯片组成。CCD 摄取视频,输出标准制式视频信号(PAL 制式)模拟信号,信号经视频解码器处理转换为数字信号。视频解码芯片采用的是美国模拟器件公司(ADI)推出的集成 9 位 ADC 的增强型视频解码器 ADV7181B,它能够自动将一种兼容国际标准 PAL 的模拟视频基带信号转换成另一种兼容 16 位/8 位 ITU-R BT601/ITU-R BT656 的 YUV 型 4:2:2 数字视频数据。

PAL 制式模拟视频信号经 ADV7181B 将模拟图像转变为数字图像后,输出数字并行信号。输出的数字图像分辨率为 864×625 ,以 ITU-R BT656 YUV 4:2:2 格式的 8 位码流送至芯片 ADSP-BF561 的 PPI0 接口进行图像采集。

2.2.2 处理单元 处理单元主要由 ADSP-BF561 芯片控制完成,是系统的核心单元,由输入单元得到的图像数据通过 PPI0 经过 DMA 传输到 SDRAM 中存储,采集完 1 帧图像后产生中断,随后 DSP 开始处理采集的图像数据,详细的图像处理算法见软件设计部分。

2.2.3 输出单元 输出单元由视频编码芯片和监视器组成。视频输出单元的功能是将处理后的图像显示到显示设备上。视频编码芯片采用的是美国 ADI 公司的视频编码芯片 ADV7171,相当于 1 个 D/A,可以将 8 位 ITU-R BT656 YUV 4:2:2 信号编码成模拟的 CVBS 信号和 S-video 信号,支持 PAL 标准的逐行和隔行扫描操作。BF561 的 PPI1 接口将分辨率为 864×625 的数字图像(包含行、场消隐信号)以 ITU-R BT656 YUV 4:2:2 格式的 8 位码流送到 ADV7171 的输入端口,经数模转换,输出 1 路 PAL 制模拟视频信号。系统的显示终端为 USER 专业液晶监视器,其输入信号为 PAL 标准的模拟视频信号,显示处理后的图像。

2.3 图像处理系统软件设计

2.3.1 系统初始化 系统图像采集的软件流程图如图 4 所示。

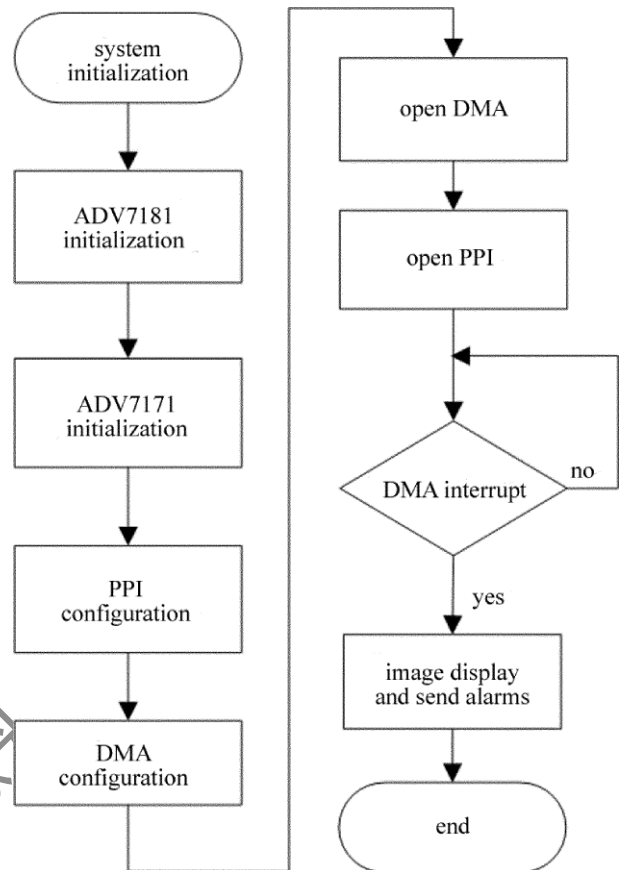


Fig.4 Flow chart of software

首先,对 BF561 的 PPI,EBIU 和系统的 SDRAM 进行初始化设置,以使 BF561 能够正常稳定的工作^[11],并初始化编/解码器 ADV7181B 和 ADV7171。然后开始设计 PPI,本系统使用 PPI0 通道作为视频输入通道。在 ITU-656 模式中需要设置 PPI0_CONFIG 和 PPI0_FRAME 两个寄存器。在设置完 PPI 后,需要设置与 PPI 对应的 DMA 通道,主要需要配置的寄存器 DMA1_0_CONFIG 和一些传送参量。

利用 ADSP-BF561 的 PF15(I²C_DATA)和 PF14(I²C_CLK)实现 I²C 时序。最后,再将 BF561 的寄存器 DMA_CONFIG 中的标志位 DMA_EN 和 PPI_CONTROL 中的标志位 PORT_EN 置 1,同时开启 DMA 和 PPI0 和 PPI1 口,开始采集图像,最后等待 DMA 接收完 1 帧图像数据的中断,当有中断时,开始执行图像处理程序。

2.3.2 图像处理 对激光光栅衍射光斑的图像处理是实现图像特征提取的过程,处理算法流程图如图 5 所示。

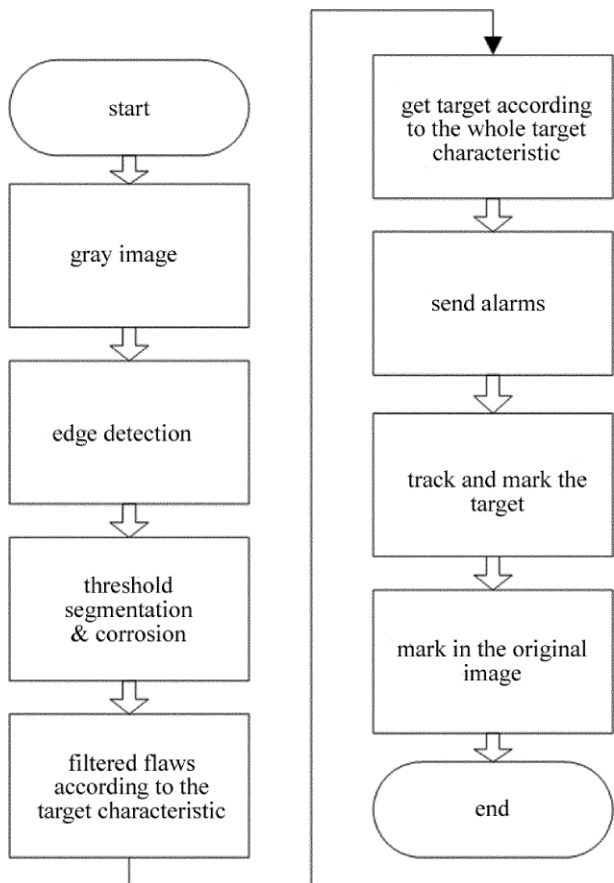


Fig. 5 Flow chart of image processing algorithm

具体采取以下步骤。

(1) 灰度化

由于系统只需提取目标位置信息,而对图像色彩没要求,为使目标和背景对比更加明显及简化后续图像处理,将彩色图像转化成黑白图像,系统采集图像转化为 YUV 格式,该格式的图像灰度化只需将 UV 分量都值为 255。灰度化后的图像如图 6 所示,3 个白色的亮斑是激光衍射斑,其中,中间最亮的是 0 级衍射斑,两侧分别为 ±1 级衍射斑。

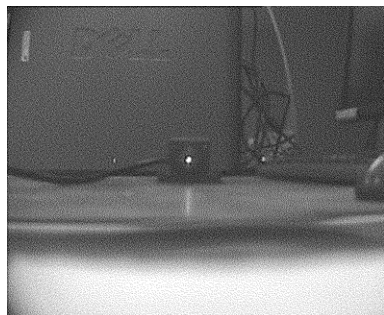


Fig. 6 Gray image

(2) 边缘检测

激光光栅衍射点与背景图像具有较大的灰度差,利用边缘检测便能勾勒出目标物体,使后续处理

简单,但同时背景中边缘度较好的物体的边缘信息也被保留。通过实验调试,选用 Prewitt 边缘检测算子^[12]来对图像进行边缘检测效果较好。处理后图像如图 7 所示。

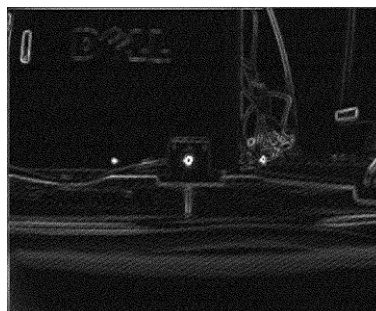


Fig. 7 Edge detection

(3) 图像腐蚀二值化

二值化的关键在于阈值的选择,利用迭代阈值分割,可根据实时的环境灰度变化计算最优的阈值,利用迭代阈值方法^[13],并利用图像形态学的腐蚀算法消除孤立点和毛刺,处理后图像如图 8 所示。



Fig. 8 Threshold segmentation and corrosion

(4) 基于衍射光斑自身特征滤除杂质

经过步骤(1)~步骤(3)的预处理后,在保留目标的同时不可避免地带入大量的背景杂质干扰,但是激光衍射斑本身具有一定的特征,一是规则的圆形,二是它的亮度比背景大。

基于以上两个特征总结了 4 个特征阈值:

(a) 面积特征滤除。根据目标面积大小设定 1 个阈值范围,将阈值范围之外的连通域滤掉,处理后图像如图 9 所示。

(b) 长度特征滤除。将长度大于一定阈值的连通域滤除,处理后图像如图 10 所示。

(c) 圆度特征滤除。根据圆度特征将小于一定圆度值的连通域滤除,处理后图像如图 11 所示。

(d) 连通域中心对应原图位置的灰度值滤除。假如背景中有比较暗的圆斑,利用以上特征也不会滤掉,在这种情况下,可利用连通域中心所在原图位置的灰度值滤除。基本步骤是首先提取计算每个连



Fig. 9 Filtered by area eigenvalue

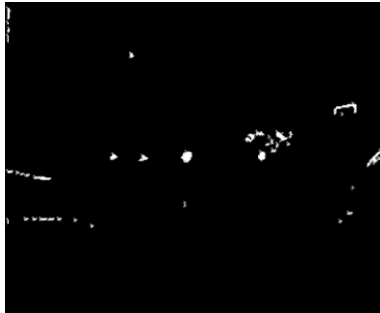


Fig. 10 Filtered by length eigenvalue



Fig. 11 Filtered by round eigenvalue

通域的中心,然后根据坐标返回原图,提取原图该中心的灰度值,如果灰度值小于一定阈值,则该点不是亮斑,滤除该连通域。处理后图像如图 12 所示。



Fig. 12 Filtered by original image gray eigenvalue

(5) 基于激光衍射点整体特性提取目标

经过步骤(4)滤除了一部分杂质,但还有一些与激光衍射斑特征类似的杂质干扰,最后利用 3 个激光衍射斑的整体特性进行提取,由于激光透过正弦光栅会形成的 ± 1 级衍射斑以 0 级为中心对称,因此总结两个特征阈值,一是 3 个衍射点的纵坐标之差;二是 0

级分别与 ± 1 级衍射点之间的距离比。利用这两个阈值,对最终目标进行提取,如果符合条件,则可判定为捕获的信号为激光衍射点,并保存中心坐标,并用矩形框跟踪锁定。结果标记如图 13 所示。

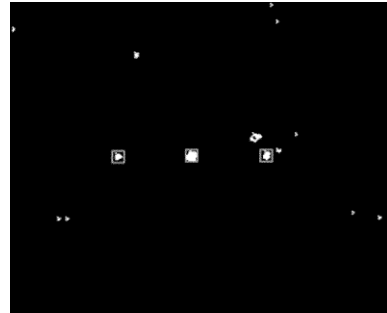


Fig. 13 Mark on processed image

(6) 返回原图标记,并发出报警,标记如图 14 所示。

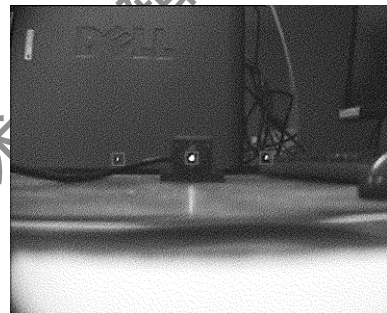


Fig. 14 Mark on original image

至此,对激光衍射图样进行了有效的处理,基本去除了背景,获得了较完整、清晰的目标图像,并能提取有效的激光衍射点的位置信息,为进一步激光告警系统中激光波长和方位角的计算提供了坚实的基础。

3 结束语

为了获取入射激光的波长和方位角等性能参量,提出了一种基于面阵 CCD 和 DSP 的新型光栅衍射凝视型激光告警系统的图像采集与处理系统,基于光栅衍射理论,利用面阵 CCD 接收信号,采用数字图像处理的算法确定信号的位置信息,并充分利用 DSP 在图像处理方面的优异性能。系统具有体积小、处理速度快、使用灵活方便等特点,较好地满足了小型化、便携式的要求,为对激光波长和方位角的探测奠定了坚实的基础。

参 考 文 献

- [1] LI Sh W, ZHANG J L, HAO J, et al. Elimination of the interference of bias light for laser warning systems [J]. Laser Technology 2012, 36(5): 642-644 (in Chinese).

- [2] YANG Z F , QIAN H W , GAO G H. Development of laser warning technology [J]. Laser Technology ,2004 ,28(1) : 98-102(in Chinese) .
- [3] ZHAO T , LIU M , WANG L. Device and the development of the laser warning technology [J]. Ship Electronic Engineering ,2009 , 29(2) : 27-29(in Chinese) .
- [4] ZHANG J L , TIAN E M. WANG Zh B. Laser warning receiver based on sinusoidal transmission grating [J]. Infrared and Laser Engineering 2006 ,35(3) : 326-330(in Chinese) .
- [5] FU L , HONG Zh G. Design of laser warning receiver based on DSP [C] // Proceeding of Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics & Electronics. Shanghai: IEEE Circuits and Systems Society 2009: 325-328.
- [6] ZHAO J J , SONG Ch R , CHEN H Y. Theoretical study of detect laser information by sinusoidal grating [J]. Laser & Infrared , 40(9) : 889-992(in Chinese) .
- [7] CRANE R , Jr. Laser detection by coherence discrimination [J]. Optical Engineering ,1989 ,8(2) : 212-217.
- [8] SHI Sh X , WANG X E , LIU J S. Physical optics and applied optics [M]. Xi'an: Xidian University Press 2008: 161-163(in Chinese) .
- [9] ANALOG DEVICES. ADSP-BF561 data sheet [EB/OL]. (2007-06-01) . http: // www. adi. com.
- [10] ZHANG C , LUO T F. Display terminal on portable system of BF561 [J]. Information Technology ,2011(7) : 88-90(in Chinese) .
- [11] CHEN F. Digital image processing based on blackfin DSP [M]. Beijing: Electronic Industry Press 2007: 77-89(in Chinese) .
- [12] YANG Sh Y. Image processing programine design in VC++ [M]. Beijing: Beijing Jiaotong University Press ,2003: 127-129 (in Chinese) .
- [13] LI W , LU G Sh , YANG Y. Digital image processing technique for acquiring laser parameters [J]. Electronics Optics & Control , 2007 ,14(1) : 61-64(in Chinese) .

版权所有 © 《激光技术》编辑部