文章编号:1001-5078(2015)01-0005-04 ·激光应用技术·

一种光栅型激光告警系统设计与实现

曹俊卿[1],赵冬娥[1,2],王志斌[1,2],张敏娟[1],张 瑞[1],韩 枫[1]
(1. 中北大学 山西省光电信息与仪器工程技术研究中心,山西 太原 030051;
2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室,山西 太原 030051)

摘 要: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自动告警的侦查设备,在现代化战场上,准确识别来袭激光的波长和入射方位角,可提升我军的生存率。为准确获取来袭激光的波长和方位角等信息,本论文基于光栅衍射原理,设计了基于DSP+FPGA的激光告警系统,采用特定的图像处理算法,实现了对来袭激光的准确识别。经试验验证:该系统能有效探测来袭激光波长范围为:800~1500 nm,精度≤10 nm,角度分辨率≤2°。

关键词:激光告警;光栅衍射;数字信号处理器;图像处理
中图分类号:TN247 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2015.01.001

Design and implementation of a grating laser warning system

CAO Jun-qing[1], ZHAO Dong-e[1,2], WANG Zhi-bin[1,2], ZHANG Min-juan[1], ZHANG Rui[1], HAN Feng[1]
(1. Engineering Technology Research Center of Shanxi Province for Optical Electronic Information and Instrument, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement of Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Laser warning system is a type of detection device which is used to capture, measure, identify incoming enemy laser signal. In the modern battlefield, accurate identification of incoming laser's wavelength and incident angle can improve the army's survival ability. To obtain the information of incoming laser's wavelength and angle, a laser warning system based on digital signal processor and field programmable gate array was designed with the grating diffraction theory, and the incoming laser can be accurately identified by using specific image processing algorithm. Several tests have verified that the system can detect the incoming laser effectively and calculate the wavelength and azimuth of laser accurately. The wavelength range of the detected laser is from 800 nm to 1500 nm, and the accuracy is less than 10 nm, and the angular resolution is less than 2°.

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

1 引 言

在现代战争中,激光精确制导武器和激光探测设备已经广泛使用,这些武器对我军的重要设施造成了严重的威胁。激光告警系统是被动探测、截获来袭激光,获取激光的波长、方位角、俯仰角等参数信息,并发出告警的光电设备[1-2]。因此研制高效能的激光告警设备对我军的现代化建设有重要的意义。

激光告警系统根据其工作原理主要可以分为光谱探测型、成像探测型、相干探测型、全息探测

基金项目:国际科技合作项目(No. 2013DFR10150);国际科技合作项目(No. 2012DFA10680);国家自然科学基金仪器专项基金(No. 61127015)项目。
作者简介:曹俊卿(1989-),男,硕士研究生,研究方向为激光告警,数字信号处理,图像处理等方面。E-mail:cjqlmy@126.com
收稿日期:2014-04-29;**修订日期**:2014-06-19

型等几种类型[3-5]。光谱探测型激光告警系统是所有类型中最简单和最常用的一种,采用与被测激光波长相匹配的光电探测器,缺点是不能探测多波段的激光。相干探测型激光告警系统是依据光干涉原理设计的,角度分辨率高,但光学系统比较复杂。全息探测型激光告警系统采用全系透镜代替干涉仪,其优点是体积小、重量轻,缺点是衍射效率低。成像型激光告警器是当前激光告警技术发展的主流,但是不能测量激光的波长[6]。而光栅衍射型激光告警系统是利用光栅的多缝衍射和干涉原理,能有效探测多波段的激光的特征信息,空间分辨率较高。因此,本文选采用栅衍射型激光告警系统。

2 光栅衍射型激光告警系统的工作原理

光栅衍射型激光告警系统的基本工作原理就是光栅衍射原理,如图 1 所示。

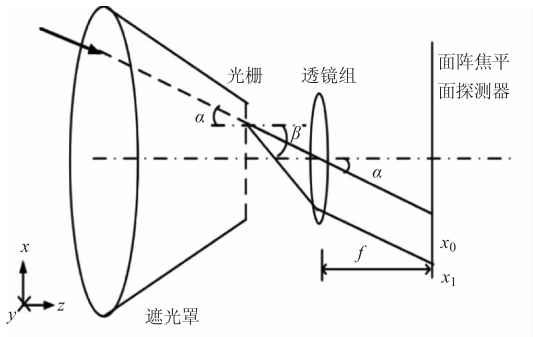

图 1 光栅衍射原理图

当激光以入射角 α,经过正弦光栅发生衍射,形成零级和一级衍射光斑,经过透镜在面阵焦平面探测器上成像。根据零级衍射光斑和一级衍射光斑的中心及其相对位置,就可以计算来袭激光的波长和方位角[7-10]。

光栅衍射方程:

$$d(\sin\beta - \sin\alpha) = \lambda \tag{1}$$

根据光栅衍射原理[11-12]:被测激光方位角 α 角、γ 角和波长 λ 的结果为:

$$a = \arctan\left(\frac{x_0}{f}\right) \tag{2}$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{y}{f}\right) \tag{3}$$

$$\lambda = d\left\{\sin\left[\arctan\left(\frac{x_0}{f}\right)\right] + \sin\left[\arctan\left(\frac{x_1}{f}\right)\right]\right\} \tag{4}$$

式中,x_0 为零级衍射光斑的中心;x_1 为一级衍射光斑的中心。因此,根据上述公式,即可计算出激光的波长和方位角。

3 激光告警系统的设计

由于激光告警应用的特殊情况,需要能够实时对来袭激光进行告警,因此对激光告警系统的实时数据采集和图像处理提出了比较高的要求。本文设计的激光告警系统主要采用 FPGA + DSP 的结构,利用 FPGA 实现面阵探测器的驱动控制、数据的采集,利用 DSP 较强的数据处理能力实现图像数据的处理,二者通过 EMIF 接口方式通信,并行工作,实现对激光图像的高速采集与处理。

本文设计的硬件电路如图 2 所示。

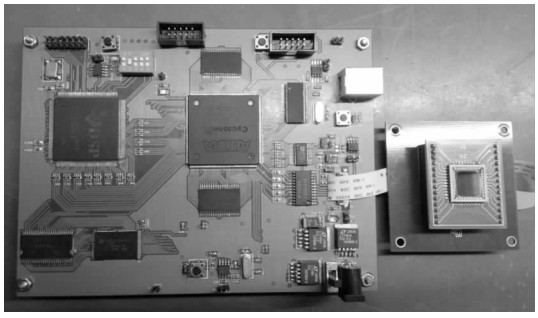

图 2 硬件电路

系统采用的探测器为 InGaAs 320 × 256 面阵焦平面阵列探测器,该探测器的有效探测范围是 0.8 ~ 1.7 μm,灵敏度为 1 mW/cm^2,阵列配置为 320 × 256,像元大小为 30 μm × 30 μm,最大帧频为每秒 60 帧。光栅采用正弦光栅,主要是因为激光通过正弦光栅形成零级和一级衍射光斑,其中零级衍射光斑相对一级光斑的光强较强,便于对图像信号进行处理。

DSP 采用 TI 公司的 TMS320C6713 芯片,该 DSP 是一款具有高速浮点运算能力的 TI 6000 系列的芯片,最高运算速度达到 1350 MIPS,内部具有 256 k-Byte 的空间。系统运行时,探测器信号经 ADC 转换后先送到 FPGA,通过 FPGA 内部开辟两个 FIFO 来缓存数据,对两个 FIFO 中的数据进行乒乓操作,分别进行存储数据和往 DSP 中传输数据,在 DSP 内部分配两块地址,分别存储两个 FIFO 的数据,DSP 在处理一幅图像数据的时候,FPGA 往另一块地址上传输数据,两者交替进行,实现对信号的实时处理。其中 AD 采用的是 ADI 公司的 AD9220,是一个 12 位的高速模拟数字转换器,最高的采样频率为 10 MSPS,满足实时性的要求。

4 激光告警图像处理算法研究

激光告警的图像处理部分主要包括图像的预处理、激光波长及方位角的识别两个部分。

4.1 图像预处理部分

目前红外监视告警系统中弱小目标的成像主要

体有以下几个方面的特点:①目标尺寸太小。②信号弱,信杂比和对比度低。③背景复杂,干扰大。针对这些特点,采用直方图均衡化方法提高图像对比度。直方图均衡的作用是改变图像中的灰度概率分布,使其均匀化。均衡化过程中,必须要保证两个条件:①像素无论怎么映射,要保证原来的大小关系不变;②如果是八位图像,那么像素映射函数的值域应在 0 和 255 之间。综合以上两个条件,选择累积分布函数,因为累积分布函数是单调增函数,并且值域是 0 ~ 1。其映射方法是:

$$S_k = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n} \tag{5}$$

其中,$k = 0,1,\cdots L-1$,n 是图像中像素的总和;n_k 是当前灰度级的像素个数,L 是图像中可能的灰度级总数。

4.2　激光波长及方位角的识别部分

激光波长及方位角的识别流程如图 3 所示。

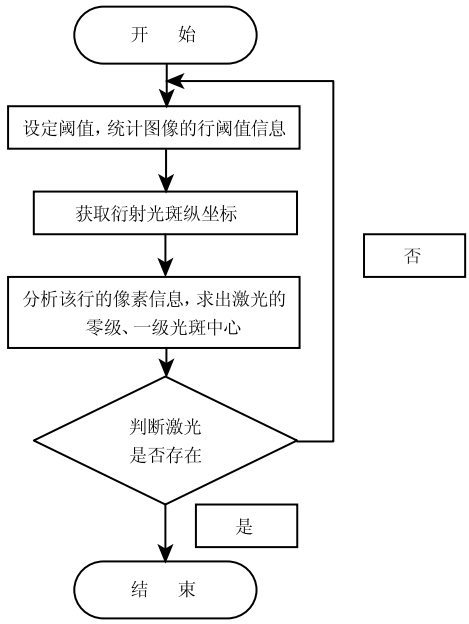

图 3　图像处理流程

激光波长及方位角的识别算法的思路主要分下面两个部分。

(1) 光斑中心纵坐标的确定:设定适当的阈值,统计图像的行像素信息,获取衍射光斑中心点的纵坐标 y。

(2) 光斑中心横坐标的确定,对光斑中心所在的行进行扫描,获取该行的像素点的信息。在光斑强度未饱和时,由于采用的是正弦光栅,光强最大值即为零级衍射斑的中心。然后设定阈值,从零级中心向两边统计,分别得到左右两边两个峰值点,即为两个一级衍射斑的中心。在光强饱和的时候,设定阈值,对光斑中心所在的行进行二值化,获取三个光斑的区域,保存到不同的数组中,各个光斑左右边界的中心即为光斑的横坐标。

在获取各个光斑的横纵坐标之后,还需要根据正弦光栅激光衍射的一些特征来判定是否存在来袭激光,以降低虚警率。主要有:①由于采用的是正弦光栅,激光的衍射光斑中零级衍射点的光斑强度最大,并且根据光栅的衍射效率,零级与一级衍射光斑的像素峰值之比在特定的范围内;②零级中心点分别到正负一级衍射斑的中心点的距离基本相等。根据这两个条件来判断是否具有激光入射。若条件判定不存在,继续对获取的图像进行处理。若条件判定存在,代入公式(2)、(3)、(4)即可计算出入射激光的方位角 α,衍射角 γ 和波长 λ,将结果显示在液晶屏上,并驱动蜂鸣器进行声音报警。

5　实验结果分析

根据上述设计搭建的实验平台如图 4 所示。

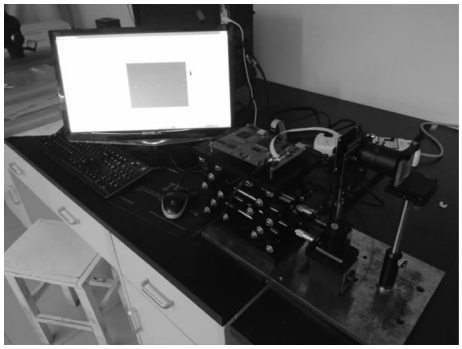

图 4　实验平台

采用 1310 nm 的激光器入射,采集到的激光衍射图如图 5 所示。

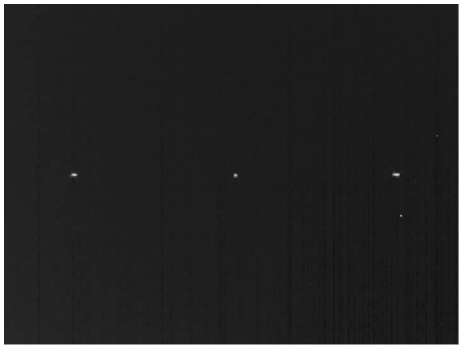

图 5　设备采集到的图像

调整激光器,从不同的角度入射,利用 DSP 计算得到的实验数据如表 1 所示。

实验结果表明,该算法能够实现对来袭激光的预警,并得出激光的波长及方位角,激光波长的计算误差小于 10 nm,方位角小于 2°。

表 1 1310 nm 激光实验数据

入射角度/(°)	实测角度/(°)	实测波长/nm
20	19.5	1306
16	15.4	1312
10	9.8	1307
6	6.7	1302
0	0.8	1315
-5	-4.7	1306
-10	-10.9	1317
-15	-16.3	1312
-20	-19.6	1311

6 结 论

随着科技的发展,激光武器的应用也越来越多,对激光告警技术的探测精度也越来越高。本文设计了基于 DSP + FPGA 的光栅衍射型激光告警系统,采用面阵探测器,实现了对来袭激光的实时探测和预警,波长精度小于 10 nm,方位角精度小于 2°,满足了实时性小型化的要求。

参考文献:

[1] YANG Zaifu, QIAN Huanwen, GAO Guanghuang. Development of laser warning technology[J]. Laser Technology, 2004, 28(1): 98 - 102. (in Chinese)
杨在富,钱焕文,高光煌. 激光告警技术发展现状[J]. 激光技术,2004,28(1):98 - 102.

[2] WANG Xiyan, ZHANG Jie. Development and prospect of laser warning device in foreign military[J]. Aerospace Electronic Warfare, 2002(2): 38 - 41. (in Chinese)
王喜焱,张洁. 外军激光告警设备的发展及展望[J]. 航天电子对抗,2002(2):38 - 41.

[3] CHENG Yubao. Study on the key technologies of a novel large-range laser warning system[D]. Xi'an: Xidian University, 2005. (in Chinese)
程玉宝. 大范围新型激光告警系统关键技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2005.

[4] WU Yaping, ZHANG Tianxu, SANG Nong, et al. Imaging of active optical imaging system with a wide field of view [J]. Optics and Precision Engineering, 2000, 8(2): 106 - 109.

[5] Manasson V A, Sadovenik L S. Laser warning receiver based on coherence discrimination[J]. IEEE, 1996, (2): 869 - 873.

[6] SU Ping, NIU Yanxiong, LI Daqian, et al. Design and implementation of grating diffraction laser warning system based on DSP[J]. Infrared and Laser Engineering, 2013, 42(3): 643 - 647. (in Chinese)
苏平,牛燕雄,李大乾,等. 基于 DSP 的光栅衍射型激光告警系统设计与实现[J]. 红外与激光工程,2013,42(3):643 - 647.

[7] LAN Lan. The automatic test system of the grating diffraction light intensity based on the technology of image recognition with CCD[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004. (in Chinese)
蓝斓. 基于 CCD 图像识别技术的光栅衍射光强自动测试系统研究[D]. 武汉:华中科技大学,2004.

[8] SU Ping, NIU Yanxiong, LI Daqian. Image acquisition and processing of a laser warning system based on plannar array CCD[J]. Laser Technology, 2013, 37(3): 394 - 399. (in Chinese)
苏平,牛燕雄,李大乾. 基于面阵 CCD 的激光告警系统的图像采集与处理[J]. 激光技术,2013,37(3):394 - 399.

[9] ZHANG Jilong, TIAN Erming, WANG Zhibin. Laser warning receiver based on sinusoidal transmission grating[J]. Infrared and Laser Engineering, 2006, 35(3): 326 - 330. (in Chinese)
张记龙,田二明,王志斌. 基于正弦透射光栅的激光告警接收机研究[J]. 红外与激光工程,2006,35(3):326 - 330.

[10] FU Lin. Designof grating diffraction laser warning optical system[J]. Electro-Optic Technology Application, 2010, 31(5): 814 - 816. (in Chinese)
付林. 光栅衍射型激光告警光学系统设计[J]. 光电技术应用,2010,31(5):814 - 816.

[11] BAI Xiaoming, LI Gang, YANG Jun. A design of the imaging laser threat warning system[J]. Laser & Infrared, 2001, 31(4): 202 - 204. (in Chinese)
白晓明,李刚,杨军. 成像型激光预警系统的设计[J]. 激光与红外,2001,31(4):202 - 204.

[12] HE Wuguang, WU Jian, WANG Shifan. Design of laser detection and warning optical system[J]. Opto-Electronic Engineering, 2006, 33(7): 48 - 51. (in Chinese)
何武光,吴健,王仕璠. 激光探测告警光学系统设计[J]. 光电工程,2006,33(7):48 - 51.