

# 激光来袭方向探测与告警系统的设计

李世伟<sup>1</sup> 张记龙<sup>1</sup> 王志斌<sup>2</sup> 田二明<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中北大学信息与通信工程学院, 山西 太原 030051)

<sup>2</sup>中北大学理学院, 山西 太原 030051

**摘要** 为了探测敌方激光的来袭方向,开发了一种激光脉冲方向告警系统。该系统由光学模块、信号处理模块和显示模块组成,其探测范围为水平方向 $0^\circ\sim 360^\circ$ ,垂直方向 $0^\circ\sim 90^\circ$ ,角度分辨率 $30^\circ$ ,识别出波长为 $0.85, 1.06$ 和 $1.54\ \mu\text{m}$ ,脉宽不小于 $10\ \text{ns}$ 的激光脉冲,探测功率密度下限为 $1\ \text{mW}/\text{cm}^2$ ,其探测概率达到 $98\%$ 以上,并可实时报警。与同类装置比较,该系统角度分辨率进一步提高,探测功率下限满足了实际探测距离为 $5\sim 10\ \text{km}$ 的探测需求。

**关键词** 信号处理;激光告警;方向探测;方向编码;光纤

中图分类号 TN247;TJ95

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP48.060403

## Detecting and Warning System Design of Laser Attacking Direction

Li Shiwei<sup>1</sup> Zhang Jilong<sup>1</sup> Wang Zhibin<sup>2</sup> Tian Erming<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>School of Information and Communication Engineering, North University of China,  
Taiyuan, Shanxi 030051, China

<sup>2</sup>School of Science, North University of China, Taiyuan, Shanxi 030051, China

**Abstract** For detecting laser attacking direction from enemy, we develop a warning system which can detect the direction of coming laser pulse. This system is composed of optical module, signal processing module, and display module. Its detection range is  $0^\circ$  to  $360^\circ$  on the horizontal direction and  $0^\circ$  to  $90^\circ$  on the vertical direction, and angle identification is  $30^\circ$ . Laser pulse wave length of  $0.85, 1.06$  and  $1.54\ \mu\text{m}$ , pulse width no less than  $10\ \text{ns}$ , can be distinguished. The floor of detection power is  $1\ \text{mW}/\text{cm}^2$ , the detection probability is more than  $98\%$  percent, and it realizes real-time warning. Compared with former devices, its angle identification is developed, and the floor of detection power is  $5\sim 10\ \text{km}$  and meets the need of detected distance.

**Key words** signal processing; laser warning; direction detection; direction code; optical fiber

**OCIS codes** 040.0040; 040.5160; 230.0230; 230.0250

## 1 引言

随着激光测距、目标制导和目标识别器以及可调谐脉冲激光器等军用激光技术的快速发展,现有激光告警技术已经不能适应现代战争的需求,加速发展激光侦察告警技术已成为激光对抗的首要任务。通常,告警装置需要探测来袭激光的入射方向、波长及其编码等信息,其中探测入射激光方向尤为重要。因此,国内外已经开发了一些激光入射方向探测系统,但这些系统存在着成本和性能相互制约的矛盾,因此研究低成本、高性能的脉冲激光方向探测系统具有重要的现实意义<sup>[1,2]</sup>。激光告警系统按照探测原理,可分为光谱探测型、相干探测型、探测成像型和全息探测型<sup>[5,6]</sup>,其中光谱探测型激光告警装置以其结构简单、成本较低的特

收稿日期: 2010-10-25; 收到修改稿日期: 2011-02-16; 网络出版日期: 2011-05-05

基金项目: 国家自然科学基金(60572019)、博士学科点科研基金(20070110004)、山西省留学人员科技活动择优资助项目、山西省高等学校拔尖创新人才资助项目和山西省青年科技研究基金(2010021015-2)资助课题。

作者简介: 李世伟(1980—),男,博士研究生,讲师,主要从事光电信息技术方面的研究。E-mail: lishiwei@nuc.edu.cn

导师简介: 张记龙(1964—),男,博士,教授,主要从事光电信息处理、大气遥测等方面的研究。

E-mail: zhangjl@nuc.edu.cn

点被广泛应用。国外对激光探测装置的研制始于 20 世纪 60 年代,光谱探测型告警装置中具有代表性的是美国 AIL 系统公司研制的“高精度激光告警接收机(HALWR)”。国内在这方面的工作起步较晚,目前报道过的有卢万欣等研制的光谱识别型激光告警机<sup>[7,8]</sup>。本文研究了一种在较宽光谱范围内能够响应纳秒级激光的告警装置,能够在在大视场范围内有效探测的前提下具有较低的虚警率和较高的空间角度分辨率。

## 2 告警系统组成及各模块设计

告警系统由三部分构成,即光学模块、信号处理模块和显示模块。光学模块由透镜组合及光纤组成,主要负责对激光信号的接收以及视场的空间划分;信号处理模块将从光学模块获取的激光信号转化为电信号,经放大处理后送入单片机进行处理;显示模块则用来显示来袭方向的信息。

### 2.1 光学模块设计

为了达到水平  $0^\circ \sim 360^\circ$ ,垂直  $0^\circ \sim 90^\circ$ ,分辨角为  $30^\circ$  的指标要求,选用两层组合体结构作为外壳。16 个探头分两层安装,每层 8 个探头同处于平行于底面的一个平面上,安装位置在图 1(b)所示的直线 1~4 上。为了防止漏检,所有探头的视场划分采用两两重叠的方式,每路探头视场为  $60^\circ$ ,其中单探头的独立视场为  $30^\circ$ ,共 16 个,重叠视场为  $15^\circ$ ,共 16 个,每层 8 个探头即可覆盖水平  $360^\circ$  范围;垂直方向,每路探头的独立视场为  $30^\circ$ ,重叠视场也为  $30^\circ$ ,如图 1(c)所示,因此每个垂直平面有 4 路探头即可满足垂直方向探测区域  $180^\circ$  的要求。

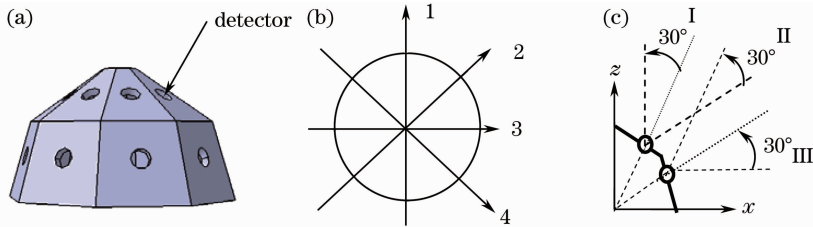


图 1 探头安装及视场划分。(a)接收装置外壳示意图,(b)水平视场分区示意图,(c)垂直视场分区图

Fig. 1 Detector fixing and field partition. (a) hull of receiver, (b) partition of horizontal field,

(c) partition of vertical field

探头由一个透镜组和一根光纤组成,由于石英光纤的数值孔径视场通常只有  $10^\circ \sim 20^\circ$ ,不能达到  $60^\circ$  的视场范围,因此,需要在光纤首端配以透镜组以满足视场要求。所选光纤芯径为  $400 \mu\text{m}$ ,数值孔径为 0.22<sup>[5]</sup>。透镜组选取一个凹透镜和一个凸透镜的组合。取波长为  $1.06 \mu\text{m}$  的激光作为基准波长计算焦点,将光纤首端点安放在其焦点处。光路示意图如图 2 所示。其中,凹透镜具有滤光作用,只允许波长大于  $0.78 \mu\text{m}$  以上的红外光通过,可以有效滤除太阳光、火炮闪光等可见光的干扰。为了降低由透镜带来的光强损失,提高系统灵敏度,在两块透镜激光入射方向的外表面覆以增透膜,并将光纤尾端直接耦合进入光电探测器窗口内部,以最大化探测器接收光强。

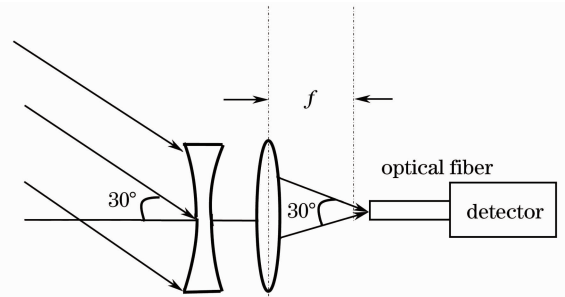


图 2 光学模块设计

Fig. 2 Optical system design

### 2.2 信号处理模块

模拟电路将来自光纤的光信号转换成可以被信号电路处理的电信号,每路光学探头对应一路光电转换电路。模拟电路部分由光电转换电路、滤波电路、放大电路组成。在光电转换电路中,为了对脉宽 10 ns 的 3 种激光脉冲迅速响应,选用了光敏面较大、响应波长范围为  $900 \sim 1700 \mu\text{m}$  的 InGaAs 型光电二极管(型号: GD3551Y)进行光电转换,其响应时间为 1.5 ns。光电转换电路由光电探测器、限流电阻、上拉电阻组成。限流电阻处在电源和探测器之间,防止当电流过大时,烧毁光电探测器。如果对探测器输出的电流直接进行滤波,其信号强度会大幅下降,因此通过上拉电阻将由光电探测器输出的电流转换为电压信号,以降低信号

衰减幅度。滤波电路使用一阶高通滤波电路,由于入射脉冲激光脉宽为 10 ns,其对应的电信号中心频率为 33 MHz,可进一步有效滤除由光学窗口漏射进入的干扰光信号红外部分的干扰。放大电路使用 AD8072 运算放大器构成两级运算放大电路,第一级为同相放大,第二级为反向放大,两级运放电路之间通过电容连接,其主要作用是隔离一级放大信号的直流偏移,二级放大器输出直接接入比较器 MAX9201。放大电路放大倍数为 20,主要是由于该告警装置探测对象为直接入射的激光信号,其光强较大,不小于  $1 \text{ mW/cm}^2$ ,经光电转换后可以得到的电压信号高达 0.2 V,足以满足探测需求。噪声信号经过光学滤波和电学滤波的双重抑制后,转化得到的电信号不足 0.01 V,与激光信号对比相差较大,可通过设置比较器的阈值电压彻底滤除。

数字电路部分主要由光耦、单稳态触发器、单片机组成。光耦将模拟电路和数字电路进行隔离,防止数字电路对模拟电路的影响;单稳态触发器用来对信号进行延时,使信号可保持  $20 \mu\text{s}$  以上,以满足单片机处理的时间要求;单片机内部的编辑查询程序,实现对方向信息的编码,其方法是,使用 24 个 I/O 引脚,其地址分别对应于 8 个水平独立视场和 16 个垂直独立视场区,而后每个独立视场对应一个编码;当有一个以上的引脚接收到信号时,则对应这些分区中心位置所在的重叠区,由于每层最多有相邻的 2 路,两层最多有 4 路,可以同时激光信号进行响应,因此,将所有可能的情况一一编码,当有激光来袭时,单片机可以根据引脚信息对来袭方向进行判断,并将相应编码通过串口发送至显示模块。

### 2.3 显示模块

显示模块主要由 19 个 LED(负责方位显示)和单片机构成,单片机将信号处理模块中单片机通过串行通信方式输送来的编码进行判断,而后将对应的 LED 点亮实现告警。16 个 LED 在一个圆上均分排列,其中 1 号独立水平分区对应 16 号 LED,1、2 号水平独立分区所夹的重叠分区对应 2 号 LED,顺时针依此类推;另外 3 个 LED 排成一列,分别对应垂直视场分区的 I, II, III 区域。显示板示意图如图 3 所示。

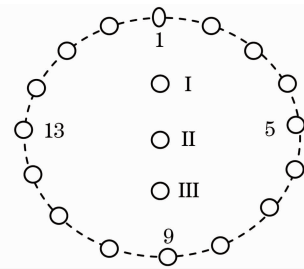


图 3 显示板 LED 排列

Fig. 3 LED arrangement of display

## 3 实验结果及分析

如图 1(b)所示,以直线 1 正方向为起始线,使光源中心线与告警装置底面平行,以  $5^\circ$  为步长围绕告警装置顺时针水平旋转光源,每旋转  $5^\circ$ ,在垂直方向也以  $5^\circ$  为步长将光源旋转至告警装置顶端,而后返回,重复以上步骤多次,观察显示板 LED 的响应情况。

从表 1 数据可以看出,告警装置的视场角度分辨率达到  $30^\circ$  要求,显示模块显示信息正确。

表 1 角分辨率测试

Table 1 Resolution test of angle

Horizontal angle / ( $^\circ$ )	LED response		
	Vertical angle / ( $^\circ$ )		
	0~30	30~60	60~90
0~15	1, III	1, II	1, I
15~30	2, III	2, II	2, I
30~60	3, III	3, II	3, I
60~75	4, III	4, II	4, I
75~105	5, III	5, II	5, I
105~120	6, III	6, II	6, I
120~150	7, III	7, II	7, I
150~165	8, III	8, II	8, I
165~195	9, III	9, II	9, I

续表 1

Horizontal angle / (°)	LED response		
	Vertical angle / (°)		
	0~30	30~60	60~90
195~210	10, III	10, II	10, I
210~240	11, III	11, II	11, I
240~255	12, III	12, II	12, I
255~285	13, III	13, II	13, I
285~300	14, III	14, II	14, I
300~330	15, III	15, II	15, I
330~345	16, III	16, II	16, I
345~360	1, III	1, II	1, I

设计要求在标准大气条件下,探测功率密度不小于  $10 \text{ mW/cm}^2$ 。采用脉宽  $10 \text{ ns}$ 、功率  $1 \text{ MW}$ ,发散角  $2 \text{ mrad}$  的 WCJ-2(18023)型激光测距机发射激光。通过透镜将激光进行扩束后,使用光功率计进行测量,将告警装置放置于功率密度为  $10 \text{ mW/cm}^2$  处,按照角分辨率测试的相同方法进行测试,响应情况正确。逐渐加大告警装置与透镜的距离,并用光功率计测量,确定其功率密度下限为  $1 \text{ mW/cm}^2$ 。将告警装置上电后,放置于太阳光模拟灯(氙灯)下连续照射  $12 \text{ h}$ ,无虚警情况出现。

## 4 结 论

通过视场分割、光学滤波的方法,应用信号处理技术对脉冲激光告警装置进行了设计,使用 LED 显示方式并结合编码技术实现了来袭激光方位信息的实时告警。通过角分辨率测试、灵敏度测试及加噪声测试,验证了其性能指标,可满足应用要求。与同类装置相比,其探测功率下限满足实际探测距离为  $5\sim 10 \text{ km}$  的探测需求,空间角分辨率达到  $30^\circ$ ,具有较好的实用价值。

## 参 考 文 献

- 1 Lu Yang. Status quo, key technology and development of laser warning system[J]. *Modern Defence Technology*, 2009, **37**(3): 89~93  
路 阳. 激光告警系统的发展现状与问题[J]. 现代防御技术, 2009, **37**(3): 89~93
- 2 Barney Hammond, Mirela Popa. Overview of the joint services lightweight standoff chemical agents detector (JSLSCAD) [C]. *SPIE*, 2005, **5795**: 87~96
- 3 Zhang Jilong, Wang Ming, Tian Erming *et al.*. Analysis and experimental verification of sensitivity and SNR of laser warning receiver[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, **29**(1): 20~23  
张记龙, 王 明, 田二明 等. 激光告警接收机灵敏度和信噪比分析及实验验证[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, **29**(1): 20~23
- 4 Zhao Tao, Liu Ming, Wang Lu. Device and the development of the laser warning technology [J]. *Ship Electronic Engineering*, 2009, **29**(2): 27~29  
赵 涛, 刘 明, 王 璐. 国外激光告警技术的设备和发展[J]. 舰船电子工程, 2009, **29**(2): 27~29
- 5 M. A. Davis, A. D. Kersey. Application of a fiber Fourier transform spectrometer to the detection of wavelength-encoded signals from Bragg grating sensors[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(7): 1289~1295
- 6 R. Tuttle. Large aircraft infrared countermeasures system[J]. *Aerospace Daily & Defense Report*, 2004, **210**(7): 6~7
- 7 He Wuguang, Wu Jian, Wang Shifan. Design of laser detection and warning optical system [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(7): 48~51  
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
- 8 Wu Xinyu, Chen Yongjun, Zhang Huada *et al.*. Large field laser detection and warning technology[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, **31**(7): 5~7  
吴新宇, 陈拥军, 张华达 等. 大视场探测与激光告警技术[J]. 光电工程, 2004, **31**(7): 5~7