

文章编号: 0253-2239(2010)05-1374-05

基于二维交叠掩膜编码的全方向激光方向探测应用研究

郎文杰

(中北大学信息与通信工程学院, 山西 太原 030051)

摘要 为了实现在大视场范围内任意激光方向的探测,同时保证结构稳定、响应快和成本低等优点,设计了基于二维交叠掩膜编码方法的激光方向探测方法。整个激光方向探测系统采用6个平窗型探测器,设计了使水平面上二维分开的掩膜方式,利用掩膜与探测的角度、距离关系可以计算二维交叠的探测区域,从而实现激光方向的探测。实验表明,由6个探测器组成的二维交叠探测区域可以将整个上半平面分为最小识别角度为 30° 的36个区域。经探测器倾斜照射实验可知,在入射激光最倾斜的条件下探测器响应电压为40 mV,大于噪声产生电压1倍以上,可以有效探测并识别激光方向,探测视场为 $18^\circ\sim 162^\circ$ 之间旋转的空域。

关键词 探测器;激光告警;二维交叠探测方法;掩膜编码;激光方向探测

中图分类号 T247 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103005.1374

Research on Two-Dimensional Overlapping Coding for Detection of Laser Direction

Lang Wenjie

(School of Information and Communication Engineering, The North University of China, Taiyuan, Shanxi 030051, China)

Abstract In order to realize on any direction of laser detection in a big field of view, and guarantee the stable structure, sensitive response, the low cost and so on, two-dimensional overlapping mask encoding method is proposed. The laser direction detection system uses six flat-window detectors, and it is constituted with two-dimensional separated mask in the horizontal plane. Using the mask and the detection angle, the field of view of the two-dimensional overlapping encoding can be calculated, and thus to realize the laser direction. According to the experiment, the laser direction can be calculated by the coding method with six detectors, and the accuracy of angle can reach 30° . The experiment of laser with incline incidence to the detectors shows that, under the most tilted angle of laser the response voltage of the detector is more than 40 mV, which is greater than the voltage arising from noise. Therefore, the field of view of the system is in the rotating area from 18° to 162° .

Key words detectors; laser warning; two-dimensional overlapping field of detection; mask coding; laser direction detection

1 引 言

激光^[1~6]在军事上应用非常广泛,侦察、测距和制导等都需要激光探测,其中激光告警机主要应用于激光侦察中,探测激光来袭方向是激光侦察的主要内容。激光告警主要分为激光定向和波长识别两个部分,由于军用激光器使用的波长比较固定,所以这里主要讨论激光定向装置,采用的方法种类也各不相同,大体分为多窗口型、光纤延迟型和掩膜编码

型。多窗口探测型^[7,8]视场大、精度高,但光学透镜价格高、维护困难且抗震性差;光纤延迟型^[5]原理简单、精度可选,但其探测电路响应要求较高、且光纤线圈工艺复杂;偏振光纤型^[9,10]工艺简单,但偏振对光功率的衰减降低了其探测距离;掩膜编码型^[11]结构简单、精度高,但传统的编码方式需要面阵 CCD,影响探测速度。除此之外,还有一些探测光谱型^[12,13]的是通过计算分析干涉条纹得到激光方向,

收稿日期: 2009-07-14; 收到修改稿日期: 2009-10-10

基金项目: 山西省青年科技研究基金(2007021019)资助课题。

作者简介: 郎文杰(1977—),男,硕士,讲师,主要从事信号与信息处理方面的研究。E-mail: langwenjie123@163.com

主要应用于光谱探测。

本文分析了现有各种激光方向探测方法的主要优缺点,提出了一种基于二维交叠掩膜编码的全方向激光方向探测方法,其基本原理源于掩膜编码,但采用特殊的编码方式,即将空间角分为两个方向上的平面角,再通过两组平面角对应的空间区域的叠加分析得到激光的准确入射方向。采用该方法可以用六个点源探测器取代面阵 CCD,降低了成本、提高了探测精度。根据实际激光告警烟雾弹系统设计,最小识别角度 30° 时即可提供烟雾弹喷射方向。

2 系统设计

根据激光告警烟雾弹系统的要求,识别激光入射方向的最小角度为 30° ,即可发射分布在坦克或装甲车上特定方向的烟雾弹,以实现躲避激光侦查的目的。从原理上看,掩膜编码方法稳定性最高、实

现简单,但其面阵探测器及相关算法影响探测速度,所以取代面阵探测器,采用更简单的编码方式是本文的主旨。

2.1 结构设计

通过将来袭激光方向在两个垂直水平分量上分解,分别检测每个分量的角度范围,最终得到来袭激光的二维方向。探测原理如图 1 所示。具体方案是通过该装置的方向探测窗口中两个半圆柱掩膜体分别确定来袭激光在两个垂直方向的角度范围,得到两条相互垂直的角度变化带,不同方向激光入射对应的编码带不同,从而根据实际得到的码值解码得到方向信息。对于太阳光、火炮闪光、人造光源等,都属于缓变光源,相比告警激光的带宽宽很多,在经过窄带滤光片后对探测电流的贡献就很弱了,同时,在电路中采用滤波设计也可以有效地降低噪声。

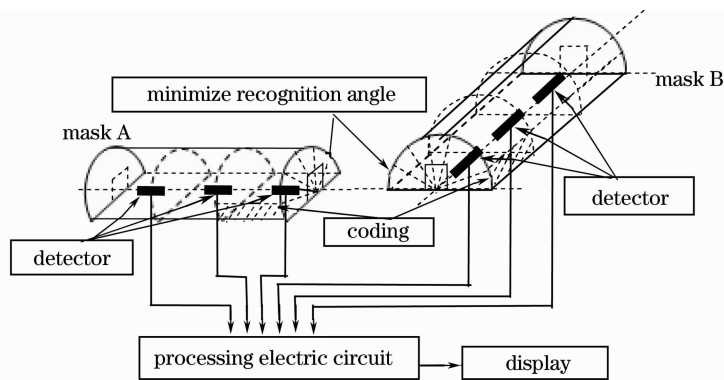


图 1 二维交叠掩膜编码原理示意图

Fig. 1 Two-dimensional overlapping-mask coding system

2.2 二维交叠方法

探测器 1,2,3 和 4,5,6 分别在 x 轴和 y 轴上,二维分离探测,探测器 1,2,3 只探测垂直 x 轴平面内的俯仰角,探测精度 $30^\circ (180^\circ/6=30^\circ)$;探测器 4,5,6 只探测垂直 y 轴平面内的俯仰角,探测精度 $30^\circ (180^\circ/6=30^\circ)$ 。只探测某一维向上的俯仰角即以事先设定好的探测轴的方向分量为基准,其垂直方向分量采用事先计算尺寸的方法限定了入射角度范围,即只要能入射到用于探测 x 轴的某一个探测器,则对应在 y 轴的角度分量是已知的。

如图 2 所示,以任意入射角 (α, β) 的激光为例,可分为垂直于 y 轴的 I_x ,和垂直于 x 轴的 I_y 。 I_y 分量由探测器 1,2,3 识别其角度,可以确定激光在垂直 x 轴平面上的角度为 α ,即得到属于阴影带 1 范围内入射的激光; I_x 分量由探测器 4,5,6 识别其角度,可以确定激光在垂直 y 轴平面上的角度为 β ,即

得到属于阴影带 2 范围内入射的激光。 x 轴向上探测器得到的角度区域(阴影带 1)与 y 轴向上探测器得到的角度区域(阴影带 2)重叠的位置即为实际激光入射方向,即图中平行四边形区域(overlapping area),相当于两个阴影带三角形相交产生的区域。由于重合区域就是 x, y 轴方向上分别提供的激光入射空间范围的叠加,所以其可以唯一的与激光入射方向一一对应,即二维交叠掩膜探测的理论依据和视场细分功能的基本原理。

3 编码方式

3.1 编码与空间方向对应关系

图 3 所示为设计中的半圆柱掩膜体的三视图和立体图,及其在半圆面和切面上的编码关系。掩膜体半圆面和切面上分别掩膜编码,当激光从某一角度入射时, x 轴上的半圆柱掩膜体 A 将垂直于 x

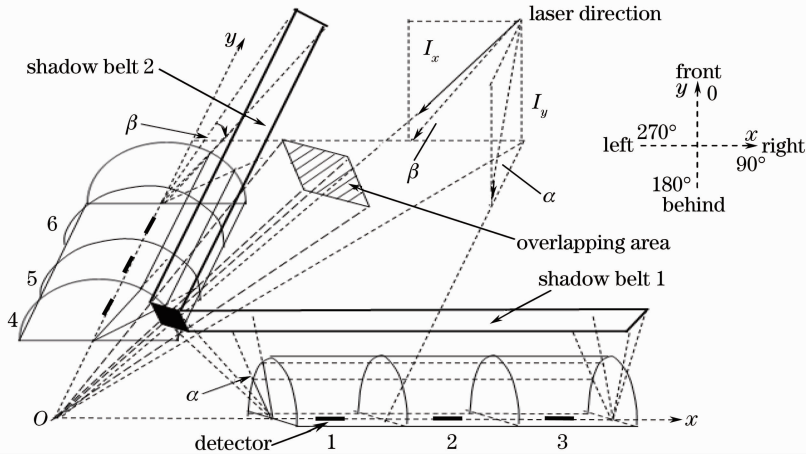


图 2 任意角入射激光方向探测原理图

Fig. 2 Detection of laser direction at any incident angle

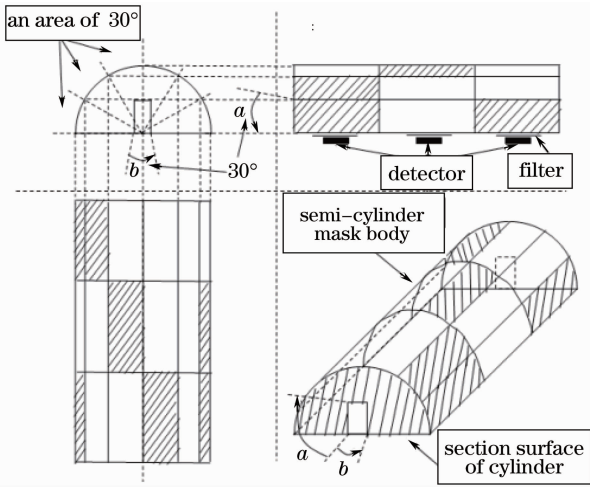


图 3 半圆柱掩膜体结构及编码条分布示意图

Fig. 3 Three views of the semi-cylinder mask body and code strip distributed

轴的平面上的角度划分为 6 个区(每个区对应 30°), 由探测器判断激光是从哪个区入射的, 这样半圆柱掩膜体 A 提供了一条带状角度区域的信息(如图 2 中的阴影带 1); 同理, y 轴上半圆柱掩膜体 B 将垂直于 y

轴的平面上的角度划分为 6 个区(每个区对应 30°), 由探测器判断激光是从哪个区入射的, 提供了另一条垂直于半圆柱掩膜体 B 的带状角度区域的信带状区域(如图 2 中的阴影带 2)。两个角度区域相交得到一个分辨率为 30°的柱状空间, 即激光入射方向。

3.2 编码表

侦查激光到达方向识别装置前要经过长距离的传输, 所以到达方向识别装置的激光可以认为是平行光, 并且光斑很大, 可以全部覆盖探测系统, 及同时入射到掩膜体 A 和掩膜体 B 上。本设计的测向原理如附图 1 所示, 平行光由半圆柱掩膜体入射后, 在 30°内的光会汇聚到圆柱轴心一条带状区域, 正是光电二极管放置的位置。在垂直于该轴线的平面上每隔 30°做一个编码区, 当激光从不同方向入射时照射到不同的空间编码区, 由二极管的输出解码可得到激光方向信息。编码值与角度对应的具体关系如表 1, 表 2 所示。其中“H”表示高电平, “L”表示低电平。“1 0 0”分别在半圆柱掩膜体上复用编码一次, 由于其复用位置分别表示不同的轴向, 所以不会产生混淆。

表 1 x 轴向的编码表与对应关系(半圆柱掩膜体 1)

Table 1 Coding table and corresponding relation in x axial (semi-cylinder mask body 1)

Coding value	Detector output voltage			Laser direction	
	Detector 1	Detector 2	Detector 3	Angle dividing in x axis / (°)	Angle dividing in y axis / (°)
	L	H	L	0 ~ 30	-45 ~ 45
	L	H	H	30 ~ 60	-45 ~ 45
Semi-cylinder surface	101	L	H	60 ~ 90	-45 ~ 45
	110	H	L	90 ~ 120	-45 ~ 45
	111	H	H	120 ~ 150	-45 ~ 45
	100	H	L	150 ~ 180	-45 ~ 45
Section surface	100	H	L	-15 ~ 15	0 ~ 30
	001	L	H	-15 ~ 15	0 ~ 30

表 2 y 轴向的编码表与对应关系(半圆柱掩膜体 2)Table 2 Coding table and corresponding relation in y axial (semi-cylinder mask body 2)

Coding value	Detector output voltage			Laser direction	
	Detector 4	Detector 5	Detector 6	Angle dividing in	Angle dividing in
				x axis /($^{\circ}$)	y axis /($^{\circ}$)
010	L	H	L	-45~45	0~30
011	L	H	H	-45~45	30~60
Semi-cylinder surface 101	H	L	H	-45~45	60~90
110	H	H	L	-45~45	90~120
111	H	H	H	-45~45	120~150
100	H	L	L	-45~45	150~180
Section surface 100	H	L	L	0~30	-15~15
001	L	L	H	0~30	-15~15

以图 2 坐标系为准,结合表 1,表 2 的两组分离的角度信息可以计算入射激光的实际空间位置,水平分为 12 个区分别为:前方($345^{\circ}\sim 15^{\circ}$)、右前 1 区($15^{\circ}\sim 45^{\circ}$)、右前 2 区($45^{\circ}\sim 75^{\circ}$)、右方($75^{\circ}\sim 105^{\circ}$)、右后 1 区($105^{\circ}\sim -135^{\circ}$)、右后 2 区($135^{\circ}\sim 165^{\circ}$)、后方($165^{\circ}\sim 195^{\circ}$)、左后 2 区($195^{\circ}\sim 225^{\circ}$)、左后 1 区($225^{\circ}\sim 255^{\circ}$)、左方($255^{\circ}\sim 285^{\circ}$)、左前 2 区($285^{\circ}\sim 315^{\circ}$)、左前 1 区($315^{\circ}\sim 345^{\circ}$);俯仰分为 3 个区:高($60^{\circ}\sim 90^{\circ}$)、中($30^{\circ}\sim 60^{\circ}$)、低($0^{\circ}\sim 30^{\circ}$)。例如,则当激光如图 2 所示入射时,探测器 x, y 相应为(011,111),判断激光方向为右前 1 区中位有来袭激光。

4 实 验

4.1 实验系统

采用 YSPD-738 型平窗式光电探测器(光敏面直径 $1000\ \mu\text{m}$,典型响应时间 $10\ \text{ns}$,可探测波长范围内最小响应度为 $0.8\ \text{A/W}$,典型值为 $0.85\ \text{A/W}$),窄带滤波片[中心波长 $1.06\ \mu\text{m}$ (可随需要更换),半峰全

宽 $5\ \text{nm}$],高速 AD 转换芯片,80C51F 单片机,液晶显示模块等组成整个实验系统。实验激光选择脉宽 $10\ \text{ns}$ 的激光器,经偏振透镜衰减使其到达探测器位置的能量为毫瓦级。

半圆柱掩膜体会由于全反射现象影响探测角度,但由于入射激光是平行光,所以掩膜体有聚光的效果,可以将 30° 范围的激光尽可能汇聚到探测器上,提高灵敏度。掩膜片采用透射率小于 5% 的黑色塑料膜直接粘贴在半圆柱掩膜体的半圆面和切面上,6 个探测器的输出信号经 AD 转换传给单片机,通过解码程序分析激光入射方向并显示。实验主要分析同一激光从不同角度入射时探测器响应电流的区别,从而分析得到系统的探测视场。表 3 给出了垂直于 x 平面的响应电压的变化需要说明的是探测器响应的是电流,这里的电压是经一级电流转电压的放大电路后的数据,角度范围 $0^{\circ}\sim 18^{\circ}$, $162^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 之间由于倾角太小造成探测器无响应或响应小于背景噪声产生电压的 1 倍(为保证虚警率),所以这个区域不作为有效探测区域。

表 3 随角度变化探测器响应电压

Table 3 Response voltage of detector varying with incident angle /mV

Incident angle	$18^{\circ}\sim 30^{\circ}$	$30^{\circ}\sim 60^{\circ}$	$60^{\circ}\sim 90^{\circ}$	$162^{\circ}\sim 150^{\circ}$	$150^{\circ}\sim 120^{\circ}$	$120^{\circ}\sim 90^{\circ}$
Detector 1	45~109	109~185	185~221	49~106	106~179	179~217
Detector 2	47~103	103~183	183~220	49~104	104~188	188~228
Detector 3	52~111	111~192	192~219	51~110	110~189	189~230
Detector 4	41~101	101~179	179~225	53~109	109~197	197~215
Detector 5	46~107	107~186	186~223	42~103	103~183	183~219
Detector 6	46~98	98~181	181~216	44~94	94~175	175~220

4.2 结果分析

分析表 3 中数据可知,随着入射激光偏离正入射方向的角度越大,探测器响应电压会明显降低,当超过 18° 时响应电压低于背景热噪声的 1 倍,不利于有效提取信号,所以这里探测视场只算 $18^{\circ}\sim 162^{\circ}$ 之

间旋转的空域。由 $18^{\circ}\sim 30^{\circ}$, $162^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 两组激光倾斜角度最大的为例,响应电压均超过 $40\ \text{mV}$,超过背景噪声可能产生的响应电压的 1 倍以上,同时结合所探测激光属于脉冲激光,所以可以有效探测出是否有激光入射。滤光片对激光的衰减很弱,该

波长上的通过率在 98% 以上,不影响探测器对激光的响应。

5 结 论

在分析各种激光方向探测方法的基础上,按照激光告警烟雾弹系统最小探测精度 30° 的实际角度要求,设计了二维交叠掩膜编码方法,将激光入射方向分解到水平面垂直的两个方向上,再通过探测该垂直面上的角度确定激光入射方向。掩膜体通过几何关系确定了探测阴影带,阴影带的交叠部分即为激光入射方向。采用 YSPD-738 型平窗式光电探测器等设备搭建实验平台,实验数据显示随着入射激光偏离正入射方向的角度越大,探测器响应电压会明显降低。在 $18^\circ \sim 162^\circ$ 之间旋转的空域内探测器响应电压均超过 40 mV,可以实现有效探测,所以本设计的视场也是此区域,即顶角为 144° 的圆锥型空间。

参 考 文 献

- 1 B. Bjorkman. Laser-Warning Method and Apparatus[P]. US Patent, 5040899, 1999
- 2 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 铭, 王 璐. 国外激光告警技术的设备与发展[J]. *舰船电子工程*, 2009, **29**(2): 27~29
- 3 Liu Zhichao, Zhang Jilong, Yan He *et al.*. A method of projection measurement for laser direction [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1518~1522
刘智超, 张记龙, 阎 鹤 等. 一种投影式激光方向测量方法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1518~1522
- 4 J. R. Wootton, G. Waldman. Laser Warning System and Method[P]. US Patent, 0234349, 2003
- 5 Ning Tianfu. Overview of the laser warning reconnaissance technology[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, **37**(2): 327~330
宁天夫. 激光侦察告警技术的装备概况与发展[J]. *红外与激光工程*, 2008, **37**(2): 327~330
- 6 Zhang Xuguo, Jiang Yuesong. Adjustment of optical elements and error analysis for laser remote sensing polarization imaging system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1191~1196
张绪国, 江月松. 激光遥感偏振成像系统光学元件调整及误差分析[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1191~1196
- 7 D. Komisarek, K. Reichard. High performance non-scanning Fourier transform spectrometer[J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**(20): 2239~2243
- 8 Cheng Yubao, Li Qing, Liu Shangqian. Multi-window design for laser orientation measurement [J]. *J. Appl. Opt.*, 2005, **26**(6): 53~56
程玉宝, 李 庆, 刘上乾 等. 一种激光定向的多窗口设计[J]. *应用光学*, 2005, **26**(6): 53~56
- 9 J. C. Russell. Coherent Laser Warning System[P]. US Patent, 6151114, 2000-11-21
- 10 Yuan Yanyang, Gong Mali. Analysis and design of refractive index and dopant distributions for large mode area fibers[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(9): 1356~1359
袁艳阳, 巩马理. 大模面积光纤中折射率和掺杂分布的设计和分折[J]. *中国激光*, 2008, **35**(9): 1356~1359
- 11 Zhang Fangdi, Liu Xiaoyi, Zhang Min *et al.*. A novel design for single-polarization single-mode photonic crystal fiber at 1550 nm [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(5): 260~263
- 12 Wang Yunlong. Study on laser detection technology with "catlle eye" Michelson interference type [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005
王云龙. "牛眼"迈克耳逊干涉型激光检测技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005
- 13 G. Boer, P. Ruffieuk. Compact liquid-crystal-polymer Fourier-transform spectrometer[J]. *Appl. Opt.*, 2004, **43**(1): 75~80