

文章编号:1001-5078(2008)02-0169-04

· 光电对抗 ·

用 CMOS 探测脉冲激光中的虚警抑制技术研究

周中亮, 周冰, 何永强, 赵诚
(军械工程学院光学与电子工程系, 河北石家庄 050003)

摘要:如何在保证激光探测距离的基础上保持低的探测虚警,一直是激光探测系统的核心问题。以 CMOS 成像型激光探测系统为技术背景,分析了引起虚警的主要因素是场景噪声和强光干扰等,对此提出从三个方面来抑制系统虚警:光谱滤波技术;提高图像采集帧频,减少积分时间;帧相减技术。实验表明,在采用相同的探测阈值时,它们使虚警概率得到大大的降低,达到了较好的虚警抑制效果。

关键词:激光探测;虚警抑制;CMOS 探测;频谱滤波;帧相减

中图分类号:TN247 **文献标识码:**A

Research on the Technology of False Alarm Rejection in Pulse Laser Detection by CMOS

ZHOU Zhong-liang, ZHOU Bing, HE Yong-qiang, ZHAO Cheng

(Department of Optics & Electrical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: It is the core problem in laser detection system keeping low false alarm probability while ensure the detection distance. Based on CMOS imaging laser detection system, the main factors arousing false alarm were analyzed, which is scene noises and strong light disturbances. For these, three approaches of false alarm rejection technology were presented, which were spectrum filtering, increasing image frame frequency to decrease integral time and frame subtraction technology. The test result showed that the false alarm probability was greatly decreased with the same detection threshold, which obtained preferable false alarm rejection effect.

Key words: laser detection; false alarm rejection; CMOS detection; spectrum filtering; frame subtraction

1 引言

随着激光测距、激光制导武器等激光设备及其武器系统的广泛应用^[1],给战场各作战平台及重要战略目标、经济目标带来了严重的激光威胁。激光探测告警设备的装备应用,可以提高这些平台或目标的激光威胁感知能力,提示采取相应的激光对抗手段,降低或抑制这些激光设备及其武器系统的作战能力。成像型光谱识别激光探测系统^[2-4]与其他类型的探测系统相比,它具有视场大、探测灵敏度高、定向精度高、能探测到脉冲激光、直观性强等优点,并且探测器制作工艺成熟,图像处理算法多样,适应性强,因而具有很好的发展前景。

成像型光谱识别激光探测系统主要由广角远心

鱼眼透镜和 CCD/CMOS 摄像器件等构成。CMOS 具有低噪音、高灵敏度、高读出时钟、低功耗等特点,很好地克服了 CCD 测量范围小、采样速度慢的缺点^[5]。实际系统中,告警距离与虚警概率是相互制约的,告警距离的延伸可能造成虚警率的上升。二者间求得一个最好的折中效果,一直是探测系统研制的核心问题^[6]。

本文以 CMOS 成像型激光探测系统为技术背景,分析了引起探测系统虚警的主要因素是场景噪声和强光干扰等。对此主要从三个方面来抑制系统

作者简介:周中亮(1983-),男,硕士研究生,研究方向为光电对抗和图像处理。E-mail:liang19830815@126.com

收稿日期:2007-08-16

虚警:光谱滤波技术;提高图像采集帧频,减少积分时间;帧相减技术。并结合试验说明了方案的可行性、有效性。

2 脉冲激光探测及其虚警

2.1 激光信号特征分析^[2,7]

2.1.1 激光信号的频谱特征

限于目前的激光技术发展水平,战场激光设备多工作在为数不多的几个频点或频段,如 $1.06\mu\text{m}$, $1.54\mu\text{m}$, $10.6\mu\text{m}$ 等。由于 $1.06\mu\text{m}$ 固体激光技术的相对成熟,因此,广泛装备的激光测距机和激光制导武器多工作在此频段。

2.1.2 激光信号的时域特征

目前,激光辐射多以低重频脉冲激光形式出现,甚至一个激光脉冲即可完成相应的作战任务(如激光测距等),低重频特征使得原有的许多信号检测技术无法应用,给激光告警设备实现高灵敏度激光探测带来一定的困难。基于目前的激光技术,激光信号的脉宽多在 10^{-8}s 量级。

2.1.3 激光信号的空域分布特征

对激光告警设备而言,激光入射方向常常是无法预知的,因此激光告警设备多采用大空域监视体制,才能满足战场激光大空域接收的作战需求。

基于探测对象的特征,CMOS 成像型激光探测系统具有如下特点:凝视式大空域接收和固定波长探测。

2.2 虚警因素分析^[8]

虚警概率:在多帧图像(对应一定的检测时间)进行检测,检测到目标而目标实际不存在的次数与检测次数的比值。

激光探测中的虚警可由以下几种情况引起:

(1) 由稳定的太阳反射和自身的辐射所引起的景象杂波;

(2) 太阳闪烁;

(3) 恶劣环境中闪电、火光等强光干扰。

总结起来,就是场景的噪声和强辐射源的干扰。

在激光探测系统中,探测距离与虚警概率是一对矛盾。激光探测系统的探测距离和虚警概率与系统参数及检测所设的阈值有关^[9]。阈值越小,探测距离越远,而虚警概率增加;反之则探测距离变近,而虚警概率变小。如何不降低作用距离的同时,抑制和降低虚警,一直是激光探测中的重点和难点问题。

3 虚警抑制技术介绍

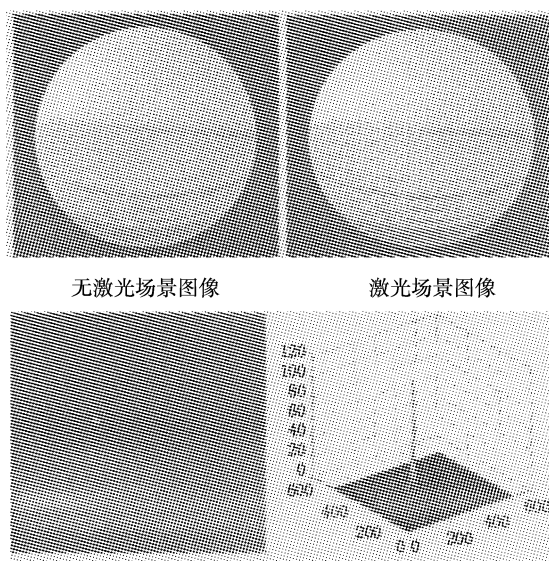
3.1 频谱滤波

由于激光告警设备属警戒设备,其功能使命决

定了激光告警设备必须工作在复杂光背景条件下。对于光谱型激光探测系统,为了减少背景辐射的影响,一般均采用光谱滤波技术提高激光信号的信噪比。在现有的光谱滤波技术中,干涉滤光片使用最为广泛,其性价比较高。

3.2 帧相减

成像型激光探测系统通常采用相邻两帧相减技术来滤除背景噪声和干扰,并有很好的效果。帧相减前后的效果如图1所示,可以看出帧相减后背景噪声和干扰得到了很好的抑制。



帧相减后的残差图像及其三维分布图

图1 帧相减效果示意图

Fig.1 effect schematic of frame subtraction

相邻两帧相减技术对于稳定的强光干扰有良好的去除效果,但是,对于复杂环境中变化的强光干扰,如闪电、火光等强光干扰或位置移动的强辐射源干扰,却无能为力。

根据激光脉冲的时域特征,其脉宽多在 10^{-8}s 量级,并根据大量实验证明,激光信号只出现在一帧图像中。而对于常见的强光干扰,其持续时间一般明显要长得多,如在典型的作战情况下,一枚速度为 2Ma 的导弹,在 $3\sim 4\text{km}$ 以外的飞机上发射,反应在探测器上的移动速度约是 39 pixel/s 。

为了利用激光脉冲与场景噪声在时域的差别,我们引入了三帧图像综合识别的算法,在相邻两帧图像作差基础上,结合第三帧图像进行激光有无的判读。具体做法为:在采集卡内存中开辟一个大小为3帧图像内存队列,采集卡采集的图像按照先进先出(FIFO)的规则进入内存队列,首先前两帧图像作差,若残差图像的最值超过设定的判断阈值,则第二帧图像中可能有激光光斑信号,记录下最值位置;

然后将第二帧图像与第三帧图像作差,若残差图像的最值超过设定的判断阈值,并且最值位置与前两帧作差时记录的最值位置相同,则判断其中含有激光光斑信号,并且坐标即为所记录的最值位置,否则认为是干扰信号。这样就排除了闪光、暗背景变亮、亮背景变暗等情况的干扰引起的虚警。

3.3 高帧频采集与处理

在提高系统信噪比方面,最有效的方法就是尽可能地提高系统的处理帧频,这样可以在减少对场景积分时间的同时不影响对激光脉冲的能量积累时间。为此,系统采用 MC1310 CMOS 高速摄像机和 Matrox Helios XCL 高速图像采集卡组成图像采集系统。MC1310 帧频可达 500f/s 以上,配合采用 CameraLink 接口通过 3M 26-pin MDR (Mini D Ribbon) 连接器与 Matrox 采集卡相连,采集、传输速率可达到了 600MB/s 以上。并且 Matrox Helios XCL 采集卡上有 128MB 内存,配有 MIL(Matrox Image Library)二次开发平台。MIL 提供了强大的图像采集处理功能模块,能够方便地调用,如图像获取、作差及最值点信息查询等。Matrox Helios XCL 图像采集卡通过 PCI 接口可将信息传送给计算机作下一步的处理。

4 试验及分析

系统采用了鱼镜头和 CMOS 阵列探测器,作到大视场凝视监视。鱼镜头接受的光学信号首先经窄带激光滤光片进入探测器并被转化为模拟电信号,经 A/D 转换成 8bit 数字信号,探测器通过 Full CameraLink 接口传送给图像采集卡,采集卡采用 PCI 总线接口与计算机连接,并由计算机软件控制进行帧相减等处理与激光识别。图 2 所示为其原理框图。

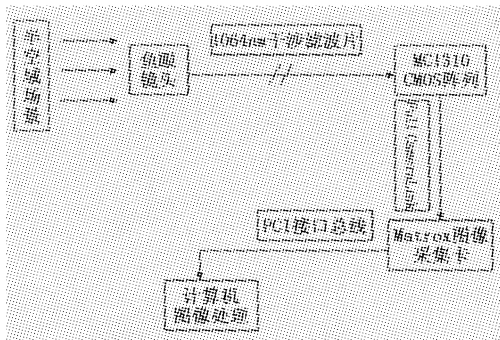


图 2 激光探测系统原理框图

Fig.2 principle schematic of laser detection system

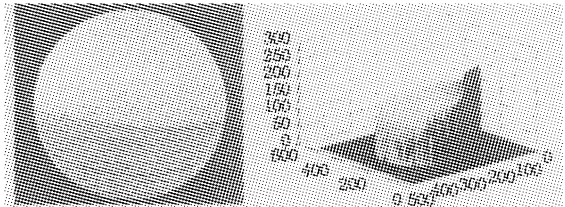
试验是在天气晴朗的阳光下进行的。试验中,将阈值设为 6LSB(探测器动态范围为 1600LSB)。

先在系统中增加 1.06μm 干涉滤光片,其参数

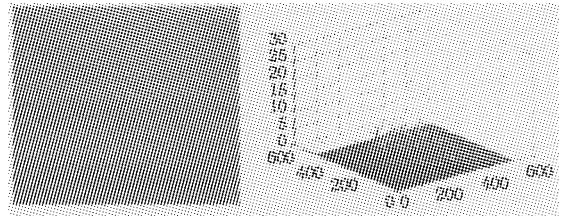
如下:

- 中心波长(CWL):2nm;
- 半带宽(FWHM):(10 ± 2)nm;
- 峰值透过率(MPT):70%。

图 3 所示为采用干涉滤光片进行光谱滤波的效果。



滤波前图像及其三维图



滤波后图像及其三维图

图 3 光谱滤波前后采集图像对比

Fig.3 contrast between the images before spectrum filtering and after

然后,改变系统处理帧频,分别对图形处理数量一定和时间一定的情况下进行虚警统计。

表 1 为采集 10000 帧图像进行通过相邻两帧相减识别激光有无的虚警统计。可以看出,对于相同数量的图像,高帧频有明显的优势,特别是帧频在 100f/s 以上时。

表 1 10000 帧图像系统虚警统计

Tab.1 statistics of system false alarm in 10000 frame images

帧频/(f · s ⁻¹)	25	50	100	300	695
虚警/次	80	39	9	1	0

表 2 为采集时间 1h 在不同帧频下虚警次数统计,可以看出,改进后虚警得到了明显的抑制。

表 2 1h 系统虚警统计

Tab.2 statistics of t system false alarm in 1 hour

帧频/(f · s ⁻¹)	25	50	100	300	695
改进前虚警/次	713	740	503	145	7
改进后虚警/次	5	3	1	0	0

5 结论

CMOS 成像型激光探测系统因其结构特点具有很多优异探测性能,特别是对脉冲激光更是有相干型激光探测系统无法比拟的技术优势,但在虚警抑

制方面显得不足,本文以 CMOS 成像型激光探测系统为技术背景,分析了引起虚警的主要因素,并从三个方面来抑制系统虚警:光谱滤波技术;提高图像采集帧频,减少积分时间;帧相减技术。实验表明,系统在探测阈值不变的基础上,虚警率得到了有效的抑制。

参考文献:

- [1] 杨韞华,曾钦勇,万勇,等. 激光告警系统中的光纤时间延迟测向技术研究[J]. 激光与红外,2005,5(4): 269-271.
- [2] 张记龙,王志斌,李晓,等. 光谱识别与相干识别激光告警接收机评述[J]. 测试技术学报,2006,20(2): 95-101.
- [3] 陈拥军,吴新宇,龚惠兴. 宽频带激光告警技术的研究

[J]. 红外与激光工程,2003,32(4):364-350.

- [4] 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.
- [5] 孟贤男,曾理江. 用大像元 CMOS 线阵光电探测器和插值法测量激光光斑中心位置[J]. 中国激光,2002,29(1):69-72.
- [6] 王永仲. 现代军用光学技术[M]. 北京:科学出版社,2003:383-395.
- [7] 毛登森,张记龙. 微弱激光辐射探测技术在激光告警设备中的应用[J]. 测试技术学报,2004,18(4):373-376.
- [8] 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.
- [9] 郭冠军,李树楷. 利用硅雪崩二极管检测激光脉冲信号[J]. 中国激光,2002,29(6):541-544.

(上接第153页)

归属于环内 Si-O 的伸缩振动,拉曼位移 1005cm^{-1} 归属于 Be-O 的伸缩振动,拉曼位移 678cm^{-1} 归属于 Si-O-Si 的弯曲振动,拉曼位移 520cm^{-1} 归属于 O-Be-O 的弯曲振动,拉曼位移 403cm^{-1} 和 313cm^{-1} 归属于 Al-O 的弯曲振动,拉曼位移 250cm^{-1} 归属于金属离子键性质的 M-O 伸缩振动及其与 Si-O-Si 弯曲振动的耦合振动。

从图1(d)可以看出,托帕石的拉曼光谱中具有两个强拉曼位移 924cm^{-1} 和 271cm^{-1} ,另外还有弱到中等强度的拉曼位移 324cm^{-1} , 396cm^{-1} , 454cm^{-1} , 550cm^{-1} , 844cm^{-1} , 976cm^{-1} , 1157cm^{-1} 。托帕石的化学成分为 $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F},\text{OH})_2$,其中 F:OH=3:1-1:1。托帕石的晶体结构中存在着由成对的 $[\text{AlO}_4\text{F}_2]$ 八面体连接成的弯曲链,链沿 c 轴延伸,链与链之间是由 $[\text{SiO}_4]$ 四面体连接。拉曼位移 1157cm^{-1} , 976cm^{-1} 和 924cm^{-1} 应归属于 Si-O 的对称伸缩振动,拉曼位移 844cm^{-1} 应归属于由于 OH 取代 F 而产生的 Si-O 的对称伸缩振动和非对称伸缩振动的耦合振动^[3],拉曼位移 550cm^{-1} 和 454cm^{-1} 应归属于 Si-O 的弯曲振动,拉曼位移 396cm^{-1} 和 324cm^{-1} 应归属于 Al-O 的弯曲振动,拉曼位移 271cm^{-1} 应归属于 Al-O 伸缩振动和 Si-O-Si 弯曲振动的耦合振动。

从图1(e)可以看出,蓝晶石的拉曼光谱图中具有 1133cm^{-1} , 993cm^{-1} , 681cm^{-1} , 433cm^{-1} , 296cm^{-1} 五个拉曼位移。蓝晶石的化学成分为 Al_2SiO_5 ,为岛状结构硅酸盐矿物,晶体结构是 O 作近似立方最紧密堆积,Al 充填 2/5 的八面体空隙,Si 充填 1/10 的四面体空隙,每一个氧与一个硅两个铝或者与四个

铝相联结。 $[\text{AlO}_6]$ 八面体以共棱的方式联结,链间以共角顶并以与三个八面体共棱方式联结,其层间以 $[\text{SiO}_4]$ 四面体与 $[\text{AlO}_6]$ 八面体相联结^[4]。拉曼位移 1133cm^{-1} 应归属于 Si-O-Si 的伸缩振动,拉曼位移 993cm^{-1} 应归属于 Si-O 的非对称性伸缩振动,拉曼位移 681cm^{-1} 和 433cm^{-1} 应归属于 Si-O 的弯曲振动,拉曼位移 296cm^{-1} 应归属于 Al-O 的对称弯曲振动。

4 结论

通过对蓝宝石、堇青石、蓝色托帕石、海蓝宝石和蓝晶石的拉曼光谱进行测试与研究,得到蓝宝石具有由 Al-O 振动引起的特征拉曼位移 413cm^{-1} 和 640cm^{-1} ;堇青石具有由 Si-O 振动引起的特征拉曼位移 550cm^{-1} , 662cm^{-1} , 964cm^{-1} 和 1176cm^{-1} ;海蓝宝石具有由 Si-O 振动引起的特征拉曼位移 678cm^{-1} , 1064cm^{-1} , 1232cm^{-1} ;蓝色托帕石具有由 Si-O 振动引起的特征拉曼位移 844cm^{-1} 和 924cm^{-1} ;蓝晶石具有由 Si-O 引起的特征拉曼位移 933cm^{-1} 和 1133cm^{-1} 。根据拉曼位移的位置和强度,可无损、快速、有效地区分蓝宝石、堇青石、海蓝宝石、蓝色托帕石和蓝晶石。

参考文献:

- [1] 郭守国,王以群. 宝玉石学[M]. 上海:学林出版社,2005.
- [2] 业冬,刘学良. 云南元江红宝石的宝石学特征研究[J]. 宝石和宝石学杂志,2006,8(3):21-24.
- [3] M Beny, B Piriou. Vibrational spectra of single-crystal topaz[J]. Phys. Chem. Minerals,1987,15:148-154.
- [4] 王濮,潘兆楷,翁玲宝,等. 系统矿物学[M]. 北京:地质出版社,1984.