

大视场激光主动探测系统实验

时 光,张海洋,耿仲博,杨苏辉,赵长明

(北京理工大学 光电学院,北京 100081)

摘 要: 据实战条件下对狙击手远距离快速搜索的需求,基于“猫眼效应”理论改进了“猫眼”目标最大可探测距离模型,并运用 MATLAB 软件绘制了相关曲线。搭建了可以对“猫眼”目标进行大视场、远距离快速搜索的激光主动探测系统样机。实验结果表明,系统样机可以实现距离狙击手 1 200 m 范围内的激光主动探测,并针对普通和复杂背景图像提出了相应算法,提高了捕获图像的视觉效果,实现了基于“猫眼”目标特征的自动识别。该研究对提高和改进狙击手探测系统的作战效能具有十分重要的意义。

关键词: 激光主动探测; 猫眼效应; 目标识别

中图分类号: TN249 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2013)04-0890-05

Experiment of large field laser active detection system

Shi Guang, Zhang Haiyang, Geng Zhongbo, Yang Suhui, Zhao Changming

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to meet the need of the remote rapid search for enemy snipers on the battlefield, the maximum detection distance model based on the theory of cat eye effect was improved. The MATLAB software was used to generate the curves related to laser power, CCD sensitivity, and maximum detection distance. An active laser detection system which was capable to identify the cat eye target in large field of view and long distance quickly was built. The experiment result shows that the prototype system can realize identifying snipers with active laser detection in the distance of 1 200 m. A feature recognition algorithm for images captured under complex background was put forward, which greatly improved the visibility of the captured images in the experiment. Automatic feature recognition based on the cat eye target was realized. The research is very important to enhance and improve the effectiveness of the laser active detection system on the battlefield.

Key words: active laser detection; cat eye effect; target recognition

收稿日期:2012-08-07; 修订日期:2012-09-10

基金项目:国家自然科学基金(40905011)

作者简介:时光(1987-),男,硕士生,主要从事激光主动探测方面的研究。Email:sguang101@163.com

导师简介:杨苏辉(1968-),女,教授,博士生导师,博士,主要从事固体激光器及激光应用等方面的研究。Email:suhuiyang@bit.edu.cn

0 引言

狙击手以其精度高、射程远、威力大和善于隐蔽等特点著称,被誉为战场上的影子杀手。为了减小和消除狙击手带来的心理恐慌和实际威胁,基于猫眼效应^[1-3]的激光主动探测逐渐成为研究的热点,相比于声波探测和红外探测等被动探测技术有着先发制人的优势。目前,激光主动探测装备已经列装部队并投入实战,多数采用对激光照射区域进行 CCD 红外成像,并结合图像处理算法进行猫眼目标的自动判别的方法,法国研制的 SLD 系列和俄罗斯名为 PAPV 的便携式激光对抗系统在战场上已经给狙击手造成了极大的震慑^[4]。

狙击手通常伏击的距离在 300~1 200 m 范围内,而国内针对激光主动探测系统的外场实验或者使用激光照射器的束散角较小^[5],或者探测距离较近^[6],都无法模拟实战条件下对猫眼目标的大视场、远距离搜索,不能给装备的实际应用提供有力的参考。针对这种情况,搭建了具有大视场、远距离扫描特点的激光主动探测系统,并对猫眼目标最大探测距离模型进行了修正,运用 MATLAB 绘制了在不同能见度条件下最大探测距离的曲线,用以实验操作的具体指导,在各种背景条件下对搭建的激光主动探测系统进行了多次测试,对于普通背景的图片给出了增强图像视觉效果的方法,改善了目标与背景的对对比度;对于复杂背景的图片,针对“猫眼”目标的特征提出了一种“猫眼”目标自动识别算法,实现了基于 MATLAB 软件的猫眼目标自动识别。

1 理论模型与仿真

战场条件下需要进行大范围搜索,以便在最短时间内确定狙击手隐蔽的位置,因此需要加大激光器的发散角;同时为了达到自身隐蔽的目的,激光波长选择在 808 nm 的近红外波段,而且此波段对于黑白 CCD 具有较高的相对灵敏度。

同时,考虑到白天进行探测时太阳光较强,猫眼目标和漫反射大背景的对对比度降低,实验中在黑白 CCD 前端加置了 808 nm 的窄带滤光片,以减弱其他波段的杂散光带来的干扰。

1.1 理论模型

根据实验目的和要求建立了如图 1 所示的实

验模型,并对参考文献[7]中“猫眼”目标探测距离方程进行了修正。

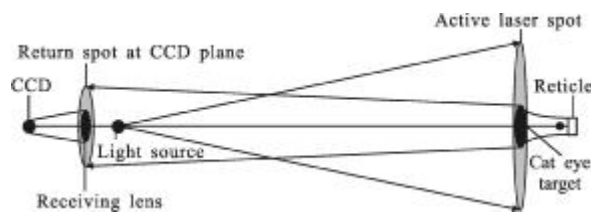


图 1 模型原理图

Fig.1 Schematic of model

CCD 接收猫眼目标回波功率:

$$P = P_t \cdot \tau^2 \cdot \tau_s^2 \cdot \rho_s \cdot \tau_r \cdot \tau_l \cdot A_s / S_s \cdot A_r / S_r \quad (1)$$

式中: P_t 为激光器发射功率; τ 为激光单程水平大气透过率; τ_s 为猫眼目标光学镜头的透射率; ρ_s 为猫眼目标分化板的反射率; τ_r 为接收系统镜头的透射率; τ_l 为窄带滤光片透射率; A_s 为猫眼目标界面处光斑面积; S_s 为猫眼目标有效面积; A_r 为 CCD 的面积; S_r 为 CCD 界面处反射光斑面积。

此处,采用 Koschmieder^[8]的激光大气传输模型计算 τ :

$$\tau(R) = e^{-\beta(\lambda)R} \quad (2)$$

其中, $\beta(\lambda) = \frac{3.912}{R_v} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^q \quad (3)$

$$q = \begin{cases} 0.585R_v^{1/3}, & R_v < 6 \text{ km} \\ 1.3, & R_v < 10 \text{ km} \\ 1.6, & R_v < 50 \text{ km} \end{cases} \quad (4)$$

通常取 $\lambda_0 = 0.55 \mu\text{m}$ 。

1.2 CCD 最小可探测功率的计算

E_m 为 CCD 的最高探测灵敏度, A_{CCD} 为 CCD 的像面尺寸, V_λ 为人眼视见常数,数值随使用波段的不同而变化,比例常数 $C = 683 \text{ lm/W}$,则由最高探测灵敏度所确定的引起 CCD 感光的最小光通量 P_{CCD} 为:

$$P_{\text{CCD}} = \frac{E_m \cdot A_{\text{CCD}}}{C \cdot V_\lambda} \quad (5)$$

以 $P = P_{\text{CCD}}$ 建立一个关于 R 的非线性方程,通过求解可得出理论上的最大探测距离 R 。

大气能见度是实验过程中的重要变量,随不同天气状况而改变,所以,通过理论模型绘制最大探测距离与大气能见度的关系曲线对实验具体操作具有重要的指导意义。

根据实验器材相关数值,设 $P_i=3.8$, $\tau=0.9$, $\tau_s=0.9$, $\rho_s=0.07$, $\tau_r=0.9$, $\tau_l=0.9$, A_s 为 $1.26 \times 10^3 \text{ mm}^2$, S_s 为 $3.44 \times 10^8 \text{ mm}^2$, A_r 为 $7.85 \times 10^3 \text{ mm}^2$, S_r 为 $3.19 \times 10^5 \text{ mm}^2$ 。

图 2 为 MATLAB 仿真最大探测距离曲线。

分别绘制了在不同大气能见度条件下最大探测距离随激光发射功率、CCD 灵敏度的变化曲线,比较(a)、(b)曲线可知,随着大气能见度的增加,最大可探测距离逐渐变远。

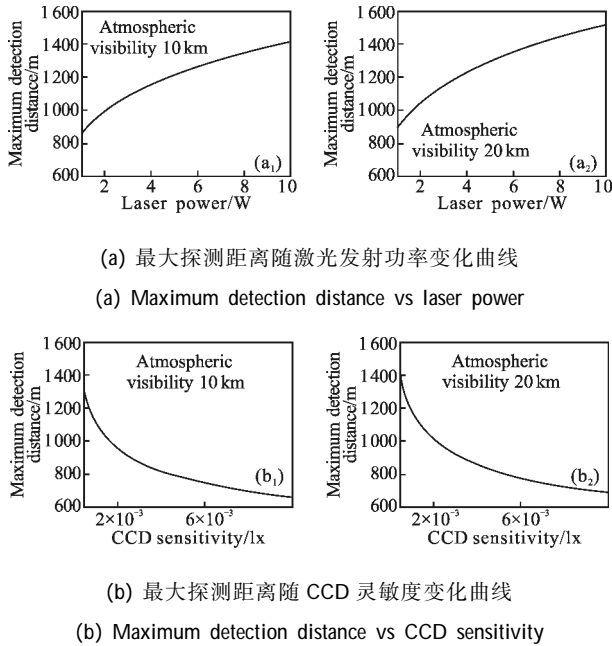


图 2 最大探测距离曲线

Fig.2 Curves of maximum detection distance

由图 2(a)可知,在 CCD 探测功率一定的条件下,最大探测距离随发射功率的增大而增加,因为功率较大的发射激光可以经过更长距离的大气衰减和在更大的发散角下而使回波功率不小于探测所用 CCD 的灵敏度。激光器发射功率在 3 W 时,系统最大探测距离为 1 100 m 左右。

如图 2(b)所示,随着 CCD 灵敏度的降低,最大探测距离迅速减小,可见,CCD 灵敏度在很大程度上制约了最大探测距离。

2 激光主动探测系统设计

根据“猫眼效应”理论模型以及实战条件下对各部分功能的具体要求,设计了激光主动探测系统,该系统的结构如图 3 所示,主要由半导体激光器、黑白 CCD、光学镜头、图像采集卡等部分组成。

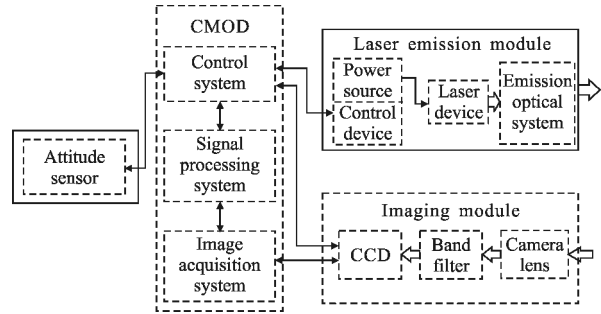


图 3 激光主动探测系统原理图

Fig.3 Schematic of laser active detection system

综合上述考虑和大视场、远距离的激光主动探测的实验目的,选定了相关实验器材:(1) 激光器。采用某型号半导体激光器,发射功率 3.5W,波长为 808 nm,激光出瞳光斑 8 mm,束散角为 $2.4^\circ \times 1.2^\circ$,激光光斑为矩形;(2) 光学镜头。镜头口径为 50 mm,视场角为 2.9° ;(3) 图像采集卡。MINE VCAP2800 型高分辨率图像采集卡;(4) 瞄准镜。tasco 某型 4 倍军用瞄准镜,口径为 40 mm,分划板距透镜距离 25 cm。

3 实验方法

实验在大气能见度为 15 km 的条件下进行,经仿真模型计算,在这种能见度状况下,最远探测距离为 1 350 m。分别选择简单和复杂背景进行测试,为后续分析处理作准备。

将激光主动探测系统的组成部件固定在三维转台上,调整激光器和 CCD 光轴使其同轴,这样在旋转转台进行扫描的过程中,可以始终保证两个视场的中心重合。黑白 CCD 连接图像采集卡,将抓拍图像传送至计算机等待后续图像处理。

放置好固定有瞄准镜的三脚架后,需要调整瞄准镜的方向,使分划板的十字叉丝对准激光主动探测系统的光学发射窗口。如果没有瞄准,探测回波功率会骤减,导致无法发现目标。

系统放置完毕,开启激光,调整三维转台进行扫描以搜寻猫眼目标,当发现“亮点”后用软件平台获取图片。

4 实验结果

图 4 为将瞄准镜架设在距探测系统 1 200 m 的位置时关闭激光器拍摄的照片,无法发现瞄准镜隐

藏的位置。图 5 为激光主动探测装置进行扫描时捕获的图片,可以发现亮点位置。但是由于日间太阳背景光的干扰,图像对比度较差,通过其灰度直方图 6 可以看出,图像中像素灰度级集中在 170~255 区间,最高亮度也不明显。若想清晰观察到亮点的位置需要对图像亮度进行变换。



图 4 无激光照射图
Fig.4 Image without laser



图 5 激光照射图
Fig.5 Image with laser

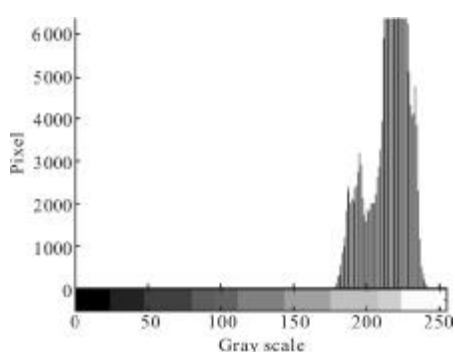


图 6 灰度分布图
Fig.6 Gray scale distribution

MATLAB 软件中有许多对灰度图像进行亮度变换的函数^[9],例如:histeq 函数进行直方图均衡化,其原理是通过把输入图像像素灰度直方图映射到一个特殊的分布曲线来增强图像的对比度。也可以使用 imadjust 函数将输入图像各像素点的灰度值映射到新的特定值来实现。文中采用后者对图像进行处理。

图 7 为处理后的图像,明暗对比度明显拉伸,从图 8 可以看出,“亮点”处的灰度已经变得十分明显。

但如果在复杂背景条件下,“亮点”的自动识别就显得尤为重要。



图 7 灰度变换图像
Fig.7 Gray transform image

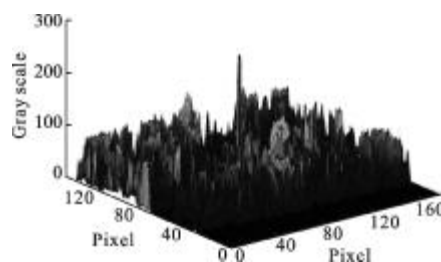


图 8 灰度三维分布图
Fig.8 Grays 3D distribution

图 9 是在距探测装置 500m 处,在存在汽车尾灯、自行车尾灯、交通指示牌,交通灯等干扰的复杂背景下捕获的照片。通过图 10 可以看出,存在很多灰度值较高的区域,单纯的亮度变换已经无法满足识别的要求。



图 9 复杂背景激光照射图
Fig.9 Complex background image with laser

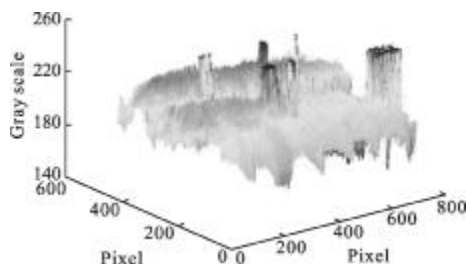


图 10 复杂背景灰度分布图
Fig.10 Gray distribution of complex background image

基于 MATLAB 的猫眼目标自动识别算法流程如图 11 所示。

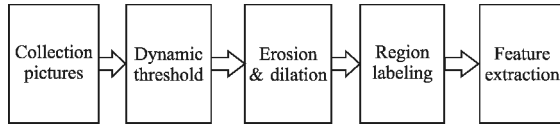


图 11 图像处理流程图

Fig.11 Flow chart of image processing

将图像转化为灰度图后,搜索回波图像中像素点的最高灰度值,取其数值的 90% 作为阈值对图像进行二值处理,经过腐蚀、膨胀等形态学操作使边缘变得清晰,如图 12 所示,针对猫眼效应目标回波亮斑大致为圆形的特点,通过对目标面积和周长(以像素点记)关系判别图像是否为近似圆形,排除方形和其他不规则图形亮斑的干扰。图 13 中 0.82 区域即为猫眼目标,与圆形相似度最接近,并标注了圆心的位置。



图 12 阈值处理图

Fig.12 Threshold processing



图 13 目标识别效果图

Fig.13 Target recognition

5 结论

文中有针对性地搭建了具有大视场、远距离扫描特点的激光主动探测系统,并以改进的“猫眼目标”最大探测距离模型为基础,分析了在能见度为 10 km 的条件下探测 1 200 m 的可行性,并在不同背

景下进行了外场实验。实验结果表明,文中搭建的系统能够很好地识别“猫眼目标”,通过灰度变换可以在简单背景下增强图片的视觉效果,对于在复杂背景下获取的图像,利用“猫眼目标”特征设计的图像处理算法有效地提取出“猫眼目标”的反射光斑,并标记出其质心位置。目前使用的 MATLAB 软件运算不能完成实时处理的要求,将算法移植到 DSP 高速视频处理芯片上是今后研究的主要方向。

参考文献:

- [1] Mieremet A L, Schleijsen Ric(H) M A, Pouchelle P N, et al. Modeling the detection of optical sights using retro-reflection [C]//Laser Radar Technology and Applications XIII. 2008: 69500E: 1-69500E: 10.
- [2] Lecocq C, Deshors G, Lado-bordowsky O, et al. Sight laser detection modeling[C]//Laser Radar Technology and Applications VIII, 2003: 280-286.
- [3] Zhao Yanzhong, Sun Huayan, Song Fenghua, et al. Research on the mechanism of reflection characteristics of laser irradiation on the Cat Eye optical lens [J]. Acta Physica Sinica, 2008, 57(4): 2284-2294. (in Chinese)
- [4] Zhao Yanzhong, Sun Huayan, Song Fenghua, et al. Research and prospect of Cat-Eye effect used for active laser detection technique [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2010(10): 38-47. (in Chinese)
- [5] Zhou Bin, Liu Bingqi, Zhang Yu, et al. Experimental study of detecting cat-eye target based on CCD[J]. Opto-electronic Engineering, 2011, 38(11): 35-39. (in Chinese)
- [6] Bi Borui, Xue Changjia, Gu Heng, et al. Anti-sniper detector based on linear array CCD [J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31(2): 203-206. (in Chinese)
- [7] Dong Xiaogang, Zhu Haijun, Yin Gang, et al. Detection distance analysis of pulsed laser based on cat's eye effect[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(1): 67-70. (in Chinese)
- [8] Yang Xiaojie, He Yongqiang, Zhou Bing, et al. A simple method for estimating the detection distance of laser detecting system[J]. Opto-electronic Engineering, 2009, 36(9): 71-75. (in Chinese)
- [9] Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. Digital Image Processing [M]. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.