文章编号:1007-1180(2011)12-0005-05

半导体激光器主动红外夜视监控系统设计

单肖楠
(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 激光主动夜视成像是主动成像,它是将激光技术、成像传感器技术、微弱目标的成像处理技术结合在一起而发展起来的新技术。以近红外半导体激光作为照明光源,对低照度情况下远距离目标进行探测成像。详细阐述了激光主动夜视监控的原理、主动夜视监控系统的组成,并对比分析监控不同目标的实验结果。

关键词: 半导体激光器; 主动红外; 夜视; 监控系统;
中图分类号: TN248.4 文献标识码: A
DOI: 10.3788/OMEI20112812.0005

Semiconductor Laser Active Infrared Night Vision Monitoring System

SHAN Xiao-nan
(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*)

Abstract: Active night vision imaging is an active laser imaging, it is a new technology of the laser technology, imaging sensor technology, weak target imaging processing technology combined with the development of new technologies. NIR diode laser as a light source, on the low-light situation, the long-range target was detected and imaged. The principle of active laser night vision surveillance and active night vision surveillance system components were described in detail, while the experimental results of monitoring different targets were compared.

Keywords: laser diode; active infrared; night vision; monitoring system

1 引 言

激光夜视技术属于主动红外夜视技术的一种,它是将激光整形匀化扩束后照射目标,采用高通光量的夜视镜头接收目标反射光成像,再用低照度CCD摄像机采集图像并输出。其主要优点是照射距

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

离远、使用寿命长、目标上光强分布均匀。与目前的红外 LED 夜视、微光夜视和热成像技术相比，激光夜视是一种能够真正实现远距离高清晰夜间成像的低成本夜视技术。

2 夜视监控系统组成

红外半导体激光夜视监控系统[1-2]，由大功率半导体激光器 LD、光斑匀化器、光学扩束准直镜头、摄像机及其长焦距镜头、传输系统及监视器等组成。

2.1 激光照明器的选择

目前市场广泛使用的红外光源有 LED 红外灯、微阵列 LED 红外灯、卤素滤光型红外灯等。但这几种红外灯在照射距离、功耗、效率等方面都存在一定局限性，而且不适用于几百米以上的远距离夜视监控。半导体激光照明器由于采用金属封装和专用电源，可以通过先进的半导体温控技术，达到完美的温度控制，使得产品始终在设定的合理温度下工作，寿命能够得到很好的保证。而 LED 产品由于采用灌胶封装以及 LED 灯需要组装大量 LED 管，所以发热量大，而且这种发热直接影响到产品寿命（如图 1），使得 LED 产品在使用一段时间后出现严重的光衰现象，直接影响产品使用效果，甚至产品报废。因此，系统采用近红外大功率半导体激光光源照明[3]，我们选用自主生产的大功率半导体激光二极管 LD，其波长为 808 nm，功率根据所需距离有 1~10 W 等。本次实验采用 3.5 W 的半导体激光二极管 LD。

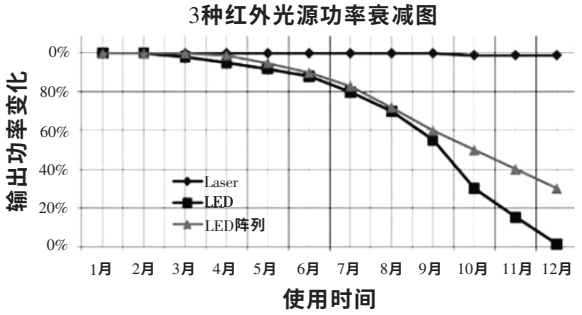

图 1 3 种红外光源功率衰减图

2.2 光束匀化

半导体激光器发出的光束通常为水平方向 10°和垂直方向 40°左右，通过整形耦合进入光纤进行光斑匀化，半导体激光器用于夜视照明，可使用多模光纤对其椭圆高斯光束进行整圆、光斑均匀化，处理后的激光光束符合夜视照明要求。从整圆的效果讲，使用单根光纤和光纤束基本上没有区别；从光斑均匀的效果讲，宜选用大芯径大数值孔径的光纤，选用光纤束可使光纤输出的辐射光场斑纹粒度更细，光斑更均匀，激光照明效果更好。但是，需结合系统设计要求考虑。远距离夜视监控装置设计中，充分利用发光体的光能增加视距是很重要的。夜视的视距与光源镜头的出射角 a 的正弦成反比，当 a 较小时其正弦近似等于 a，视距与出射角 a 成反比。若出射角缩小一半，视距则增加一倍。在利用镜头对光纤出射的激光进行准直的照明光源中，选用芯径小的光纤有利于压缩光源镜头的激光出射角，增大视距。所以，光纤直径的选择应在光斑均匀和利用 LD 光能、增大视距之间进行权衡[4]。通过实验，我们选用 NA=0.22、芯径为 200 μm 的光纤。

2.3 光学扩束准直镜的选择

半导体激光红外光源要实现全方位、远距离、大范围的夜视监控，还需要使用光学扩束准直镜配合来完成[5]。在远近距离比较大的应用场合，固定角度的照明就不太合适。因为远距离时需要将目标放大，摄像机镜头变到长焦，视场小，要求照明角度也比较小，才能有足够的照度；而近距离时需要大视场，摄像机镜头变到短焦，要求照明角度也足够大，才能充满整个视场。如果照明角度固定，很容易造成摄像机镜头长焦时，照明角度过大，超过视场，目标照度不够；而摄像机镜头短焦时，照明角度太小，不能充满视场[6-8]。

半导体激光器发出的光束通过整形耦合进入光纤进行光斑匀化，照射光束的角度与光纤端面距透镜的距离 L 相关，L 为光纤出光 SMA905 端口和透镜之间的距离。通过调节距离 L，从而控制照射光束的出射角度。

照射光束的角度由整形后光纤出光光源 S 的发

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

散角θ、透镜的焦距f、透镜和光源S之间的间隔L大小决定。由于激光光源线度很小，理论上，可以看成为点光源，根据几何光学的物像公式，出射角度为：

$$\theta'=2\mathrm{tg}^{-1}\left[\left(1-\frac{L}{f}\right)\mathrm{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)\right] \tag{1}$$

根据上述公式，当透镜靠近光源S时，L减小，照射光束θ'增大，当L减小到0时，出射光束角度$\theta'=0$，达到最大。当L增大到和透镜焦距f相同时，即光源S位于前焦点F上时，光束的发散角达到最小，为平行光射出。但是，实际上，虽然激光光源很小，它还是有一定的线度的，因此，实际中不能用上式公式计算。此时的发散角由光源的大小和透镜焦距决定，如下式：

$$\theta'=2\mathrm{tg}^{-1}\frac{d}{2f} \tag{2}$$

d为激光光源线度，f为透镜焦距。由上式可以看出，f越大，能达到的最小角度越小，准直效果越好。此次实验我们采用了浙江雷畴科技有限公司CL5-UV透镜（透镜焦距f=10 mm），带有螺纹内管，用于连接标准SMA905接头。同时，内管相对于透镜可以滑动，实现焦距调整，最后用螺丝固定。

3 理论计算与实验对比

3.1 主动红外夜视距离的计算

夜视监控系统的作用距离是衡量整个系统性能的重要指标。在进行实际试验之前，需要对系统可能达到的极限作用距离有一个准确的估计。一般情况下，激光夜视监控的作用距离与激光发射功率、照明角度、大气环境[8]、目标反射率、成像系统特性等都有直接关系，以下我们从理论上阐述激光夜视作用距离所需半导体激光发射功率的估算方法[9]：

$$P=\frac{\pi R^2\theta^2}{\varepsilon\rho\tau\cdot\exp(-2\mu R)}\left(\frac{f}{D}\right)^2\cdot E_d \tag{3}$$

其中，E_d为成像CCD的照度灵敏度阈值，P即为照明距离为R、照射角为θ时，在全黑（零照度）条件下所需要的激光照明发射功率值。（3）式中ε为照明系统透过率，ρ为目标漫反射系数，μ为大气衰减系数，τ为成像系统透过率，D为成像系统通光孔径，f为成像系统焦距。

不同的天气情况大气对激光的衰减程度也不同，对于常用的波长为808 nm半导体激光来说，无雨雪雾时大气的衰减系数在0.02~1.0之间，在晴朗的夜空下，一般取μ=0.4 $\mathrm{km^{-1}}$=0.000 4 $\mathrm{m^{-1}}$。通常情况下，对于波长为808 nm的半导体激光来说，自然环境下目标的反射率在0.3左右，所以取ρ=0.3。发射和接收光学系统的透过率跟所使用的玻璃元件数、有没有镀增透膜相关，通常情况下，可在0.85左右。取ε=0.85，τ=0.85。200 m远距离、7 m范围时的发散角为2°=34.88 mrad=0.034 88 rad。低照度CCD，我们取E_d= 0.000 2 lx为参考进行估算。

成像系统F数（f/D）的选择[10]受到光学设计的限制，跟系统焦距密切相关。此次试验中我们使用了SAMSUNG的SCC-C4243P——39倍光学放大，16倍数字放大一体化摄像机（镜头焦距3.4~132.6）。1/4 in CCD，其F数为3.64，所以f/D=3.64。将各参数值代入公式，这样我们最终求得要照明200 m远距离、7 m范围所需要的照明光功率P=2.2 W。假设光束整形镜头的光谱透过率为0.85，光纤激光器耦合效率η为0.8，要实现200 m照明所需要的照明光功率，为留有一定余地，我们选用光功率为3.5 W的激光器作为照明源。

3.2 实验对比

图2 200 m远黑夜无激光照明时的图像

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图3 200 m远黑夜采用激光照明时的图像

图4 大照明角度的图像

图5 小照明角度的图像

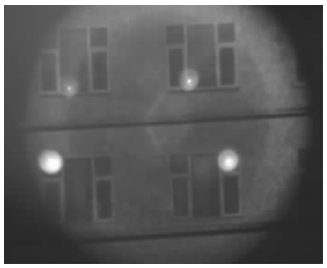

图6 激光照明时建筑物图像

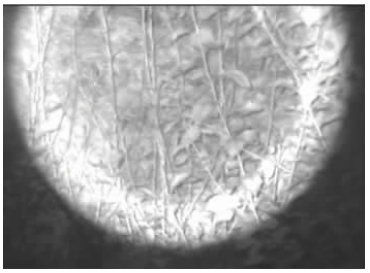

图7 激光照明时绿色植物图像

4 结 论

由上述讨论可以看出，激光发射功率与照明角度的平方成正比，与照明距离的平方成正比，与镜头 F 数 (焦距与口径之比) 的平方成正比，与 CCD 的最低照度成正比。这就说明，应根据作用距离需要，合理地优化配置照明角度、CCD 照明度和镜头 F 数，从而得到最具性价比的夜视仪。此外，作用距离与大气衰减、目标反射率关系密切。与大气衰减成指数关系，与反射率成反比。根据实验经验，大多数的建筑物、铁塔等对激光反射强烈，便于观察；而树木、山石、草地等反射率差，图像对比度差，影响作用距离。在天气状况一定时，较窄的激光光束发散角和较高的探测器灵敏度可以有效延长系统的最大作用距离。而增加视距最实际最有效的方法是改进光源，除了采用更高效的光源外，更高的光能利用率和合适的光束发散角是今后激光主动照明的研究方向。

参考文献

[1] 王智，杨简，金光. 激光主动照明成像技术[J]. 长春理工大学学报, 2004, 27(2)：31-34.
[2] 许正光, 赵一菲, 李驰原. 远距离近红外激光照明系统设计[J]. 刑侦技术, 2007(1): 35-37.
[3] 王锦昌，钱安平，刘 旭. 夜视照明光源[J]. 红外技术, 1998, 20(1)：27-30.
[4] 王锦昌. 主动夜视的激光照明技术[J]. 激光与红外, 1997, 27(3)：l62-165.
[5] 郁道银，谈恒英. 工程光学[M]. 2 版. 北京：机械工业出版社, 2005.
[6] 孔志宏. 主动红外监控系统原理及应用[J]. 山西科技, 2004(6)：97.
[7] 王琦, 王光宇, 程雪岷, 等. 变焦距镜头高斯光学设计的新方法[J]. 光学学报, 2002, 22(8)：983-988.
[8] 邓永丽，叶超，刘云，等. 大气传输对激光主动夜视技术的影响[J]. 激光与红外, 2010, 40(2): 124-128.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[9] 范耀良. 进一步增大主动红外夜视仪视距的途径[J]. 光学技术, 1996(1): 39-42.
[10] 陈新发, 廖颖, 杨柳彬. 新型汽车主动式红外夜视系统的研究与开发[J]. 红外技术, 2009, 30(2): 25-27.

作者简介：单肖楠 (1979–)，男，吉林蛟河人，博士后，副研究员，硕士生导师，2007年于中科院长春光机所获得博士学位，主要从事高功率半导体激光器封装、光束整形等方面的研究。E-mail: shanxiaon@sina.com

《发 光 学 报》
——EI核心期刊 (物理学类； 无线电电子学、 电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。 该刊是以发光学、 凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊， 曾于1992年， 1996年， 2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”， 并于2000年同时被评为“无线电电子学、 电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。 现已被《中国学术期刊 (光盘版)》、 《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。 英国《科学文摘》 (SA) 自1999年； 美国《化学文摘》 (CA) 和俄罗斯《文摘杂志》 (AJ) 自2000年； 美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年； 日本《科技文献速报》 (CBST, JICST) 自2003年已定期收录检索该刊论文； 2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊; 2010年被美国“EI”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中， 《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。本刊内容丰富、 信息量大，主要反映本学科专业领域的科研和技术成就， 及时报道国内外的学术动态，开展学术讨论和交流， 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》自2011年改为月刊， A4开本， 144页， 国内外公开发行。 国内定价： 40元，全年480元，全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用， 踊跃投稿。

地 址：长春市东南湖大路3888号
电 话：(0431) 86176862， 84613407
邮 编：130033
E-mail: fgxbt@126.com
http://www.fgxb.org
国内统一刊号：CN 22-1116/O4
国际标准刊号：ISSN 1000-7032
国内邮发代号：12-312
国外发行代号： 4863BM

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net