

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0642-03

运动目标激光跟踪瞄准中的闭环研究

鞠有伦 于 欣 常泽洲 王月珠 陈德应

(可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

提要 利用非线性光学相位共轭技术, 补偿大气给激光波前带来的畸变, 对运动目标进行跟踪瞄准, 在激光系统与目标之间建立闭环联系。实验上利用受激布里渊散射相位共轭技术, 在室内 18 m 处模拟了对运动目标进行跟踪瞄准的原理性实验, 实验结果表明共轭跟瞄光能量能较好地集中于一个很小的区域内, 而不象信号光那样发散为一片。

关键词 光学相位共轭, 受激布里渊散射, 闭环

中图分类号 O437; TN953 **文献标识码** A

Investigating of Closed Loop in Laser Tracing and Aiming at Moving Target

JU You-lun YU Xin CHANG Zhe-zhou WANG Yue-zhu CHEN De-ying

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology-Institute of Opto-Electronics,
Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract It is reported that the wavefront aberration produced by atmosphere distortion can be compensated with nonlinear optics phase conjugate technology. And a closed-loop connection between laser system and moving target can be established. The experiment in principle is completed, which laser trace and aim at moving target in the distance of 18 m with Stimulated Brillouin Scattering phase conjugate technology. The result indicate that the conjugating beam can be focused onto a small district not a large emanative ares like the singal beam.

Key words optics phase conjugate, stimulated brillouin scattering, closed loop

1 引 言

因激光具有高方向性、高亮度、高能量以及高相干性等优良特性, 在通讯、雷达、测距、制导、激光核聚变、尤其是激光武器等现代高技术领域显示出巨大的应用潜力^[1]。在利用激光来实现对运动目标的跟踪瞄准过程中, 必然会受到目标运动特性的限制以及各种大气条件(湍流、热晕等因素)的影响, 导致激光能量损耗, 光束漂移, 激光波前发生畸变等, 使得激光能量不能会聚于目标上, 而是发散为一片, 无法起到打击军事目标或有效跟踪锁定作用。本文利用受激布里渊散射非线性光学相位共轭技术, 补偿大气给激光波前带来的畸变, 对运动目标进行跟踪瞄准, 在激光系统与目标之间建立起闭环联系^[2]。在原理上, 以静止目标闭环理论为基础, 充分考虑到了信标光和大气效应对跟瞄的影响, 建立了运动目标的闭环模型。SBS 产生的相位共轭光的特点就是沿信标光的原路返回到目标上。对于运动目标, 如果相位共轭光仍然返回到原信标处, 相位共轭光照

射到目标上的位置将相对于目标发生移动。如果相位共轭光长时间地照射目标, 相位共轭光将在目标上划出一道, 而不是集中地照射在一点上, 时间再长, 相位共轭光就会脱离目标。为了解决这一问题, 必须使相位共轭光相对于信标光有一个预倾角^[3], 以使相位共轭光跟上目标上的一点。相位共轭光与信标光的夹角必须小于大气的等晕角, 以使相位共轭光在大气中的传输过程中可以补偿波前畸变^[4]。

实验上利用受激布里渊散射相位共轭技术, 用 CCD 相机记录了信号光斑与共轭跟瞄光斑, 分析了这些光斑的光场分布。实验结果表明共轭跟瞄光的能量能较好地集中于一个很小的区域内, 证明了本文对运动目标进行跟踪瞄准所使用方法的有效性。

2 实验装置

实验光路如图 1 所示, Nd:YAG 棒, 偏振片, 染料片, 全反镜 R_1 , 部分反射镜 R_2 组成一个调 Q 的 Nd:YAG 激光器。激光器的重复频率为 1 Hz, 单脉

冲输出能量最大为 200 mJ, 脉冲宽度为 8 ns~10 ns。它发射出来的激光再次经由一个偏振片检偏, 以确保系统出射激光的偏振状态。经过检偏的线偏振光经过一个四分之一波片后, 向目标发射出去。由目标反射回的信标光第二次经过四分之一波片, 到达偏振片时信标光的偏振状态使它不能回到 Nd:YAG 激光腔里, 而是被偏振片全反射到共轭支路中。信标光在共轭支路中首先由 Nd:YAG 激光器放大, 再经过四分之一波片, 由凸透镜聚焦到 SBS 池中。SBS 池中的散射介质为四氯化碳, 介质为分析纯, 纯度为 99.5%, 当注入到 SBS 池内的信标光功率密度达到或超过 SBS 阈值时产生相位共轭光。产生的相位共轭光在共轭支路中沿原光路又一次通过四分之一波片, 并经 Nd:YAG 激光器再次放大后返回偏振片处。由于此时共轭光已经恢复到了与探测光相同的偏振状态, 因此它将完全通过偏振片, 而后经全反镜 R_3 返回到目标处。全反镜 R_3 是一可调器件, 我们就是通过控制它的姿态来调节共轭光的出射方位角, 达到对运动目标跟踪瞄准的目的。相位共轭光在目标上形成新的信标, 并再次返回系统产生新的相位共轭光。不断重复这一过程, 就完成了对运动目标的闭环跟踪瞄准。实验中采用 ED500 能量计(灵敏度为 1.94 V/J)和自制的 CCD 图像分析设备, 采集信号光及共轭光光场分布。

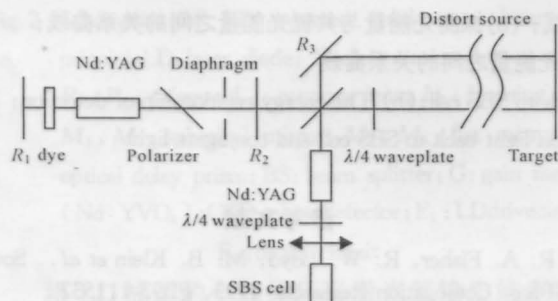


图 1 对运动目标跟踪瞄准的实验原理图

Fig. 1 The experimented trace and aim at moving object

3 实验结果与分析

3.1 目标距离系统 18 m 远处光场分布

图 2 是激光系统距离目标 18 m 处的实验结果。这显示无扰动时信标光与共轭光的比较光斑及其光强分布。从图中可以看出, 在目标与系统之间的光路中没有大气扰动时, 信标光斑上的光强分布是有规律的。在这个实验中, 目标上的信标光斑近似为一个中间最强的高斯分布, 它是瞄准点为中心, 向外逐渐减弱, 瞄准点处的光强最强。共轭光斑相对

要小很多, 它的光强分布也是中心处最强, 并向外逐渐减弱, 但变化趋势要快得多。

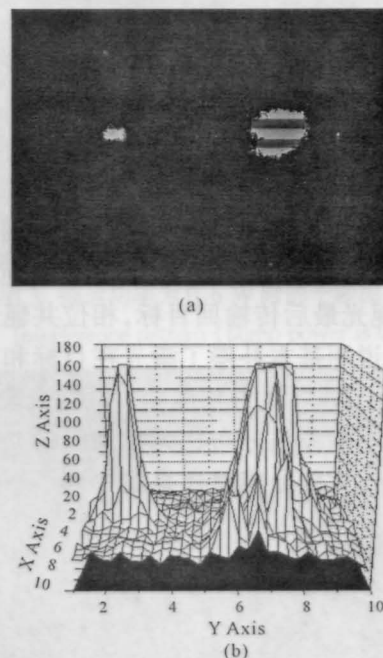


图 2 无扰动时的信标光(右)与共轭光(左)的比较光斑 (a)及其光强分布(b)

Fig. 2 Light spot (a) and distribution (b) of beacon light (right) and phase conjugated light (left), under no turbulence simulation

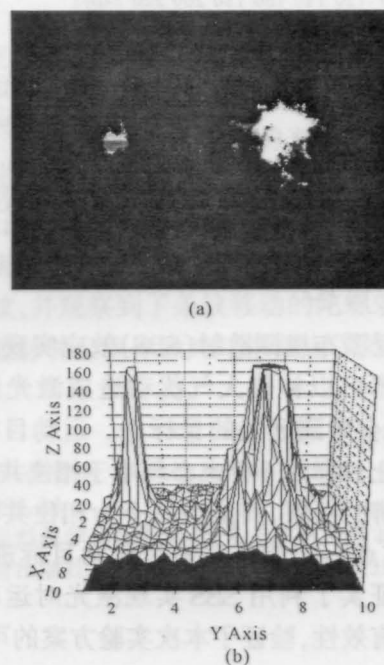


图 3 模拟大气强扰动时的信标光(右)与共轭光(左)的比较光斑(a)及其光强分布(b)

Fig. 3 Light spot (a) and distribution (b) of beacon light (right) and phase conjugated light (left), under strong turbulence simulation

在目标与系统之间加入较强的干扰之后(在系统中加入电热炉及吹风机等强干扰源),测得的比较光斑和光强分布见图3。

从图3可以看出,在光路中存在较强干扰的情况下,传输到目标处的探测光的波前发生了畸变,从而使目标上的信标光斑变成不规则的形状,光强分布变得杂乱无章而没有规律可循,光强虽然仍是越向外越弱,但却不再是均匀渐变的,其光强最强处也不一定是我们想要的瞄准点。由相位共轭系统产生的相位共轭光最后传输回目标,相位共轭光斑形状比较规则,说明基本补偿了激光在目标和相位共轭系统间传输过程中的波前畸变。共轭光斑也受到扰动的影响,它的光强分布比无扰动时的共轭光斑有一些分散,但大部分能量还是集中到了一个较小的

区域内,而且光强变化仍然很迅速。这说明即使在光路中存在较强扰动,系统发生的共轭光仍然能将能量有效地集中起来。相对于信标光斑,相位共轭光斑的面积有了很大的压缩比,而信标光斑周围的一些不规则的弱光分布,则被抑制掉了。

3.2 目标距离系统 18 m 处信标光和共轭光的能量关系

我们测得了信标光和共轭光的能量关系,如图4所示。由图4(a)可以看出,返回系统的信标光能量随探测光能量逐渐增加呈明显增加趋势。图4(b)显示共轭光能量随探测光能量的增加而增加。由图4(c)可以看出,共轭光能量随返回到SBS池的能量的增加而增加,并且呈现出饱和的趋势,这与受激布里渊散射的特性是一致的。

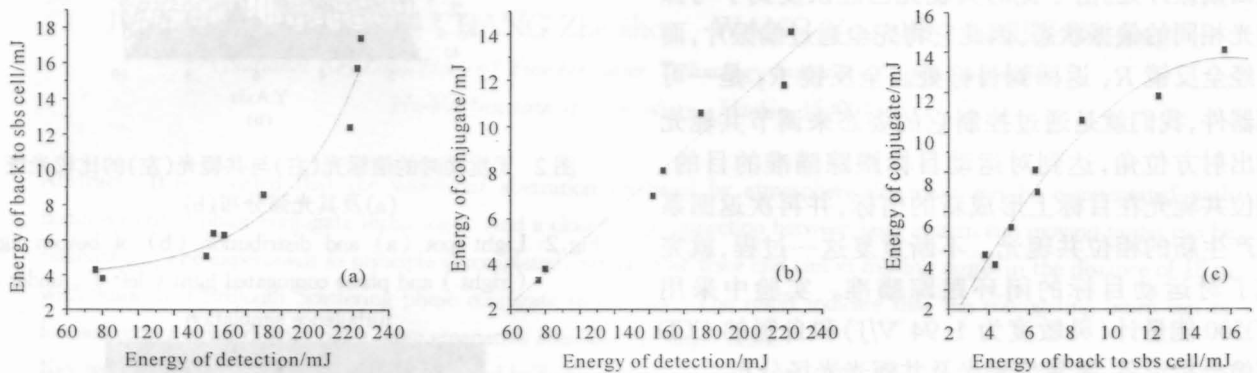


图4 (a) 探测光能量与返回SBS池信标光能量之间的关系曲线; (b) 探测光能量与共轭光能量之间的关系曲线; (c) 返回SBS池信标光能量与共轭光能量之间的关系曲线

Fig. 4 (a) The energy relationship of detection and beacon light back to SBS cell; (b) The energy relationship of detection and conjugate light; (c) The energy relationship of beacon light back to SBS cell and conjugate light

4 结 论

利用受激布里渊散射(SBS)效应实现的相位共轭技术可以补偿大气扰动造成激光波前的畸变,使激光会聚到远处的目标上。运动目标的反射面积同静止目标的一样也必须小于相位共轭系统孔径可以分辨的极限,而成为一个为相位共轭系统不可分辨的“点”,才能有效地对运动目标进行跟踪。实验结果证实了利用SBS实现激光对运动目标跟踪瞄准的有效性,验证了本次实验方案的可行性。

参考文献

- 1 R. A. Fisher, R. W. Boyd, M. B. Klein *et al.*. Soviet Phase Conjugation Research. 1993, PB93-111532
- 2 N. G. Basov, I. G. Zubarev, A. V. Kotov *et al.*. Small Signal Wavefront Reversal in Threshold Reflection from Brillouin Mirror. *Sov. J. Quant. Electron.*, 1979, 9
- 3 A Method of Laser Wavefront Aberration Compensation Using Optical Conjugation and Its Stimulating Experiment. *Progress in Natural Science*, 9(2)
- 4 陈 军. 光学相位共轭及其应用. 北京: 科学出版社, 1999