

文章编号: 0258-7025(2004)04-0461-04

预倾镜相位共轭系统在强激光对 运动目标跟瞄中的应用

张兴宝, 陈德应, 鞠有伦, 于 欣, 王月珠, 樊荣伟, 王景平, 常泽洲

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 由于受到各种大气湍流、热晕等因素的影响, 强激光在大气传输中会产生波前畸变, 利用光学相位共轭技术可以补偿激光大气传输造成的波前畸变, 提出了利用预倾镜方法实现对运动目标跟踪瞄准同时补偿波前畸变, 对此项技术进行了室内模拟实验。实验结果表明采用预倾镜方法的有效性。

关键词 物理光学; 激光大气传输; 光学相位共轭; 受激布里渊散射

中图分类号 TN 012 文献标识码 A

Application of Phase Conjugation System with Pretilting Lens to Trace and Aiming at Moving Target with Intense Laser

ZHANG Xing-bao, CHEN De-ying, JU You-lun, YU Xin,

WANG Yue-zhu, FAN Rong-wei, WANG Jing-ping, CHANG Ze-zhou

(Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract In the process of laser propagation in the atmosphere, the technique of optical phase conjugation can be used to compensate for the wavefront aberration produced by the atmospheric turbulence or bloom effects. Pretilting mirror method to realize the tracing and aiming at moving target and to compensate for the wavefront aberration was presented, also indoor simulating experiment is studied. The effectiveness of this method has been proved by experiment.

Key words physics optics; laser propagation; optics phase conjugate; stimulated Brillouin-scattering (SBS)

1 引 言

激光技术在通信、雷达、测距、制导、激光核聚变以及激光武器等领域具有很大的应用潜力。但在这些领域中不可避免地涉及到激光的传输问题, 特别是激光在大气中的传输。由于受到各种大气湍流、热晕等因素的影响, 激光能量损耗、传输方向扭曲和激光波前产生畸变导致传递信号失真, 从而严重限制了激光在工程中的应用, 尤其是在打击军事目标或有效跟踪锁定中, 强激光不能会聚于一点, 使激光能量密度不能达到打击目标的目的。利用受激布里渊散射(SBS)非线性光学相位共轭技术, 可以补偿激光波前畸变, 实现对运动目标跟踪瞄准。它的原

理是, 如果探测激光是向目标所在的区域发射一束发散的激光, 那么只要目标在激光所覆盖的区域内, 就会有目标的反射光返回系统, 系统产生的相位共轭光就会自动传输到目标上, 对于移动目标, 相位共轭光也会随目标反射光移动而移动, 从而达到自动跟踪的目的。

本文是在静止目标的基础上, 讨论对运动目标跟踪瞄准的理论方法。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, 它照射到目标上的位置将相对于目标发生移动。如果长时间地照射目标, 相位共轭光将在目标上划出一道痕迹,

收稿日期: 2002-08-29; 收到修改稿日期: 2002-12-23

作者简介: 张兴宝(1973—), 女, 哈尔滨工业大学物理电子学博士研究生, 主要从事非线性光学及其应用方面的研究。E-mail: zxbj@163.com

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,提出了预倾镜的方法。

2 调节预倾镜法实现对运动目标跟踪瞄准

利用预倾镜实现激光对运动目标跟踪瞄准的原理见图 1。为了不使相位共轭光脱离运动目标,必须使其相对于信标光有一个预倾角^[1]以使相位共轭光跟上目标上的一点。图 1 中,通过利用几个部分反射镜将信标光和相位共轭光分开,并使两者的夹角可调。而且相位共轭光与信标光的夹角必须小于大气的等晕角,使其在大气传输过程中可以补偿波前畸变。

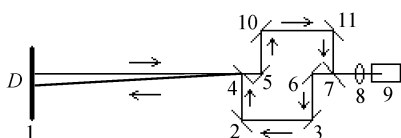


图 1 利用 SBS 补偿激光大气传输中跟踪运动目标的光路图

1: 目标; 2, 3, 5, 6, 10, 11: 全反射镜; 4, 7: 部分反射镜;
8: 透镜; 9: SBS 池; D: CCD

Fig. 1 Experiment to tack moving target in laser propagation with SBS

1: target; 2, 3, 5, 6, 10, 11: holohpope; 4, 7: partital reflecting mirror; 8: lens; 9: SBS sell; D: CCD

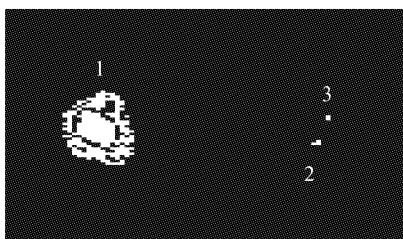


图 2 跟踪目标实验中的信标光斑和相位共轭光斑

Fig. 2 Beacon light spot and phase conjugated light spot in experiment to tack moving target

实验中由目标 1 反射回的信标光通过部分反射镜 4 后,经全反射镜 5, 10, 11 及部分反射镜 7 反射后,入射到 SBS 池中,由 SBS 产生的相位共轭光经部分反射镜 7 透射,再经全反射镜 6, 3, 2 反射,最后由部分反射镜 4 引入信标光的光路。通过部分反射镜 4 可以控制相位共轭光与信标光的夹角,实验中必须调节各反射镜的位置,以使到达部分反射镜 4

处的相位共轭光的相位正好与入射的信标光相位共轭,这只需使信标光和相位共轭光在相位共轭系统中所走的光程一样长即可。通过目标后面的 CCD 可记录下信标光和相位共轭光的光斑,如图 2 所示。图 2 中光斑 1 为信标光斑,光斑 2 为一部分相位共轭光经部分反射镜 7 反射后再经反射镜 11, 10, 5 反射最后沿信标光的原光路返回目标而产生的光斑,光斑 3 为经预倾镜后的跟踪目标的相位共轭光斑,假设目标上光斑 2, 3 间的距离就是运动目标的运动距离,相位共轭光斑 3 就正好跟踪上目标,在实际应用中可以在反射镜 2 和 3 间加入激光放大器,以加强跟踪目标的相位共轭光的强度。

3 利用 SBS 实现对运动目标跟踪瞄准的实验

为了证实利用受激布里渊散射效应实现激光对运动目标跟踪瞄准的效果,采用主动信标光的光路进行跟瞄实验,用 ED500 能量计和 CCD 相机采集信号,图 3 为其光路图。

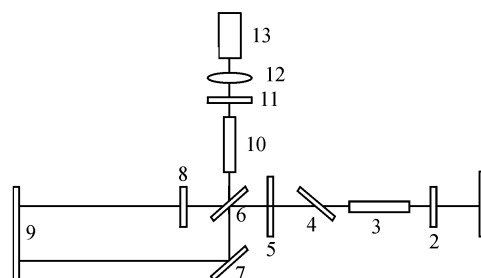


图 3 对运动目标跟踪瞄准的实验原理图

1, 9: 反射镜; 2: 染料片; 3, 10: Nd: YAG; 4, 6: 偏振片; 5: Nd: YAG 输出镜; 7: 45° 反射镜; 8, 11: 四分之一波片; 12: 凸透镜; 13: SBS 池

Fig. 3 Experimental about trace and aim at moving object

1, 9: reflector; 2: dye; 3, 10: Nd: YAG; 4, 6: polarizer; 5: Nd: YAG outputting mirror; 7: 45° reflector; 8, 11: $\lambda/4$ waveplate; 12: convex; 13: SBS sell

图 3 中, Nd: YAG 棒、偏振片、染料片、全反射镜、输出镜组成一个调 Q 的 Nd: YAG 激光器, 激光振荡器输出的激光为线偏振光, 再经一个偏振片检偏, 以确保系统输出激光的偏振状态。检偏后线偏振光经过一个四分之一波片后, 向目标发射。由目标 9 反射回的信标光第二次经过四分之一波片, 到达偏振片 6 时信标光的偏振状态使它不能回到激光腔里, 而是被偏振片 6 全反射到共轭系统中。信标光在到达共轭系统前首先经 Nd: YAG 激光器 10 放

大,再经过四分之一波片 11,由凸透镜 12 聚焦到 SBS 池中。SBS 池中的散射介质为四氯化碳,当注入到 SBS 池内的信标光功率密度达到或超过 SBS 阈值时,就会有相位共轭光产生,它再一次通过四分之一波片 11,并经 Nd:YAG 激光器 10 再次放大后返回偏振片 6 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 6,而后经全反镜 7 返回到目标处。全反镜 7 是一可调器件,通过控制它的姿态来调节共轭光的出射方位角,来达到对运动目标跟踪瞄准的目的。

图 4 为无扰动时信标光与共轭光的比较光斑及其光强的分布。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。在此实验中,目标上的信标光斑近似为高斯分布,它是以瞄准点为中心,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。

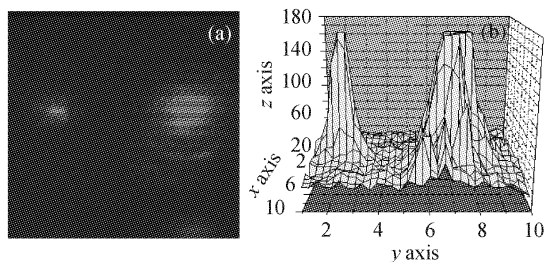


图 4 无扰动时的信标光与共轭光的比较光斑(a)及其光强分布(b)

Fig. 4 Light spot (a) and distribution (b) of beacon light and phase conjugated light, no turbulence simulation

在目标与系统之间加入较强的干扰后,测得的比较光斑和光强分布如图 5。

由图 5 可见,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和光强分布变成不规则的形状,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,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,说明即使在光路中存在较强扰动,系统产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缩小。可知由于阈值效应,相位共轭光最后集中到光斑中心光强最大处,而信标光斑周围一些不规则弱光分布,则被抑制掉^[2]。

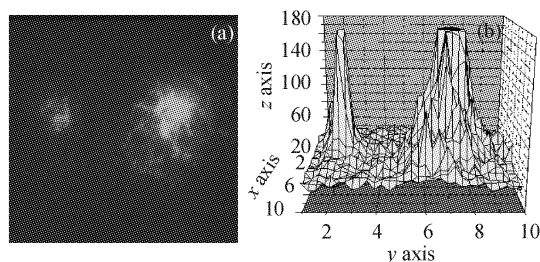


图 5 模拟大气强扰动时的信标光与共轭光的比较光斑(a)及其光强分布(b)

Fig. 5 Light spot (a) and distribution (b) of beacon light and phase conjugated light, strong turbulence simulation

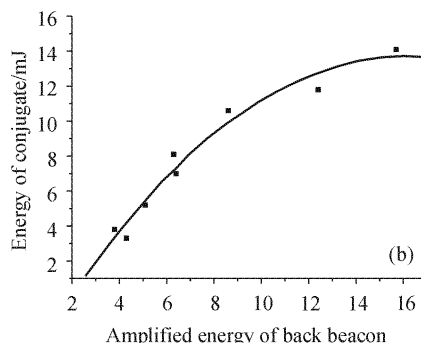
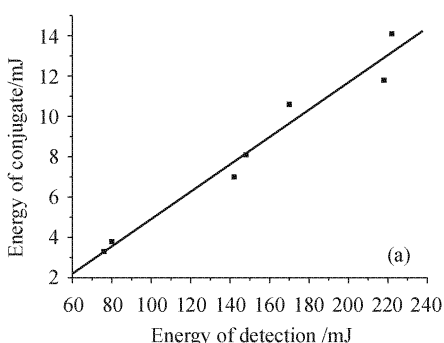


图 6 共轭光与探测光之间的能量关系(a)及共轭光能量与放大后的信标光能量的关系(b)

Fig. 6 Phase conjugated light energy via beacon light energy (a) and phase conjugated light via amplified beacon light (b)

图 6 为实验中测得的能量曲线。由图 6(a)可以看出共轭光能量随探测光能量呈线性增强。由图 6(b)可以看出系统出射的共轭光能量随返回系统

经过放大的信标光能量的增加而增加,并达到饱和。这反应 SBS 介质的后向反射特性^[3]。

4 结 论

采用受激布里渊散射光学相位共轭技术可以补偿激光大气传输波前畸变,通过设置预倾角的方法可以有效地对运动目标进行跟踪,实现强激光对目标的跟踪瞄准。结果表明这种方案的现实可行性。

参 考 文 献

- 1 Du Xiaojun, Wang Yuezhu, Ju Youlun *et al.*. A method of laser wavefront aberration compensation using optical phase conjugation and its stimulating experiment [J]. *Progress in Natural Science*, 1999, **9**(2):147~152
杜晓军,王月珠,鞠有伦等. 相位共轭补偿激光波前畸变及其模拟实验的方法[J]. *自然科学进展*, 1999, **9**(2):147~152
- 2 Ju Youlun, Du Xiaojun, Wang Yuezhu *et al.*. Laser wavefront aberration compensation using phase conjugation and its stimulating experiment [J]. *Progress in Natural Science*, 1999, **9**(5):443~447
鞠有伦,杜晓军,王月珠等. 相位共轭补偿激光波前畸变及其模拟实验[J]. *自然科学进展*, 1999, **9**(5):443~447
- 3 Robert W. Boyd. *Nonlinear Optics* [M]. Boston, San Diego, New York: Academic Press, Inc., 1992. 339~343