

激光窃听技术的改进与实现

张超凡

(国防科技大学光电科学与工程学院,湖南长沙410073)

摘要:提出了运用“猫眼”效应原理对激光窃听技术进行改进的方案,分析了功率对比度与离焦量的关系。窃听过程中,音频振动信号对功率对比度进行调制,探测功率对比度并进行解调可实现激光窃听。经验证型实验分析,该方法具有可行性。

关键词:“猫眼”效应;激光窃听;功率对比度;声波振动;离焦量

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A

The Improvement and Realization of Laser Eavesdropping

ZHANG Chao-fan

(School of Photoelectric Science & Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Using “cat’s eye” effect theory to improve the laser eavesdropping device was proposed and the relationship between power contrast degree and defocus distance were analyzed. During tapping, sound frequency vibration signal would regulate power contrast degree, detect and regulate the degree to realize laser tapping, though the kind of demonstrate experiment proved its practicability.

Key words: “cat’s eye effect”; laser eavesdropping; power contrast degree; sound frequency vibration; defocus distance

1 引言

激光窃听技术经过多年的发展,随着光源技术的改进,其原理在实验研究上已日趋成熟,渐渐转入了实际的应用,市面上也开始出现激光窃听器产品。国外在20世纪末开展了一系列相关研究^[1-2],使该技术发展成熟,但是窃听距离有限,近几年未发现有进一步改进研究的报道。国内罗海俊等^[3]介绍了激光窃听的基本原理,并提出了激光窃听的实现方案,实验取得较好地效果。

激光窃听基本原理是将一束激光打在窃听目标周围容易受声压作用产生振动的物体上,然后在其光束反射的方向上接收振动信号,并对信号进行解调达到声音还原。这种窃听方式作用距离较长,不易受干扰,最重要的一个特点是无需在窃听目标周围安装任何设备。

然而在使用过程中发现以下问题:首先,发射机与接收机分开,容易暴露窃听行为,还会对窃听位置的选择上造成很大的不方便;其次,对发射机与接收

机瞄准目标的要求比较高,直接将激光耦合进接收机难度较大,而且对准后只要目标发生微小扰动,接收方就会受到影响,必须重新瞄准;再次,使用的是不可见光源,给瞄准也增加了难度。

利用“猫眼”效应^[4]进行窃听,我们可在窃听目标地找可发生“猫眼”效应的物体,或者装一个小型的“猫眼”,进行半有源窃听。“猫眼”效应的关键之处就在于目标回波强度远远大于其他类型目标的漫反射强度,通过“猫眼”效应可以得到高质量的回射光。本文利用“猫眼”效应对激光窃听技术进行改进,并通过实验验证改进技术的可行性。

2 “猫眼”效应窃听原理

2.1 “猫眼”效应的作用

“猫眼”效应在窃听中的作用有两个,第一个是对窃听目标进行快速发现和准确定位,如图1所示,

作者简介:张超凡(1986-),男,本科在读,在光电技术创新基地从事光电探测技术研究。E-mail: hjroland@163.com
收稿日期:2007-08-20

由于系统具有圆对称性,A 光线经光学系统后将聚焦于焦平面上一点,然后被焦平面反射后沿 A' 返回。同理,B 光线最后将沿 B' 返回。这种能使反射光按入射方向返回的光路被称为“猫眼”反射光路,从发射光处可以探测到强反射光。利用此原理,可以向目标发射激光束,当探测到光学返回率比普通目标高时,就可以断定此时激光正好对准目标。

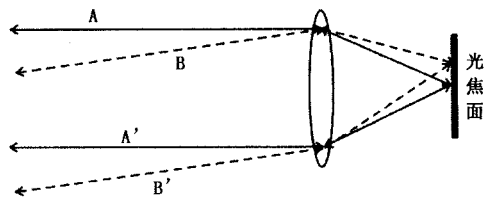


图1 “猫眼”效应光路示意图

第二个作用是利用其较高强度的回光信号实现窃听。目前,制约激光窃听技术发展的原因在于反射光即信号光波太弱,淹没于背景噪声之中,不利于信号的提取与检测。而利用“猫眼”效应则可以获得较强的信号光,理论分析表明“猫眼”目标反射光的强度是普通物体漫反射的 100 ~ 10000 倍^[5]。这样,信号的提取、解调、音频输出等工作就会简单很多。

2.2 离焦量分析

通常情况下由于探测过程中激光束不可能完全聚焦于光敏面上,有一定的离焦量。因此经光敏面反射后形成一定束角的反射光。另外,还有部分光因孔径的限制而被遮挡。根据文献[6],设“猫眼”的光学系统的孔径为 D , 焦距为 f 。利用几何光学可以导出有效孔径 D' :

$$D' = \frac{fD}{f+2d}$$

式中, d 为离焦量。

分析上式可以说明,当 D 很小,即 $D \ll f$ 时, D 与 D' 的值相差不大,这样被光阑遮挡的光线可以忽略不计。反之,离焦会产生一定的回波发散角。由几何光学公式可以推导出:

$$\theta_s = 2 \tan^{-1} \frac{dD}{(f+2d)f}$$

对于一般的光学系统,有 $f \gg d, f \gg dD$, 则 θ_s 可以进一步简化为:

$$\theta_s = \frac{2dD}{f^2}$$

所以,“猫眼”光学系统的焦距越长或离焦量越小,回波发射角越小;光学孔径越大,回波发射角也就

越大。

2.3 回波功率 P_{r0} 与离焦量 d 分析

激光主动探测系统可探测到的光功率与发射的光峰值功率、束散角、目标尺寸、大气等因素有关。设激光的发射角为 θ_0 , 探测目标的距离为 R , 则从探测器发射到目标的光斑面积为:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{1}{4} \pi R^2 (\theta_0)^2$$

假设光在大气中传输是遵循几何光学原理,大气是均匀且各向同性的,激光光束的能量分布近似均匀,设单程大气透过率 τ , 激光脉冲峰值功率 P , 则在距离 R 处激光光斑的单位面积功率为:

$$P_s = \frac{P_0}{S} \tau \tau$$

设接收系统孔径面积 A_r , 目标光学系统的有效接收面积为 A_s , 光学系统“猫眼”效应的反射系数 ρ_s , 根据文献[7],“猫眼”目标回波功率为:

$$P_{r0} = P_0 \frac{16\tau_r \tau_s^2 A_r A_s \rho_s}{\pi^2 (\theta_0)^2 (\theta_s)^2 R^4} \quad (1)$$

漫反射回波功率为:

$$P_r = P_0 \frac{2\tau_r \tau_s^2 A_r A_s \cos(\phi) \rho_s}{\pi (\theta_0)^2 R^2} \quad (2)$$

“猫眼”目标回波功率与离焦量的关系为:

$$P_{r0} = P_0 \frac{16\tau_r \tau_s^2 A_r A_s \rho_s}{\pi^2 (\theta_0)^2 (2dD/f^2)^2 R^4} \quad (3)$$

2.4 窃听原理

当声波作用于“猫眼”目标时,引起光学系统振动,使其偏离原来位置,不同的位置对应不同的入射角度,不同的入射角度对应不同的离焦量(如图2所示),不同的离焦量引起反射光的发散角不同,最终引起探测回波信号功率的不同。

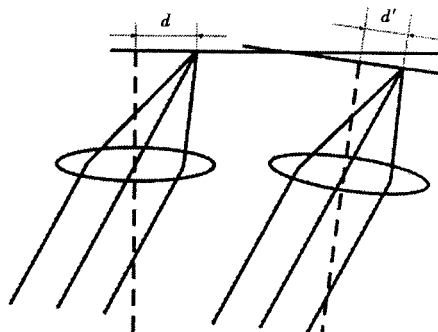


图2 入射角与离焦量的对应关系示意图

经检测,激光器与目标距离为 10m, 激光发射功率数量级为 10mW 时, 回波信号光功率仅为 0.1μW。可见,当激光器的发射功率不稳定时,对回波信号影响不能忽略,给回波信号解调增加了除噪

的难度。定义回波功率与发射功率的比值为功率对比度 M 为:

$$M = \frac{P_{r0}}{P_0} = \frac{16A_s A_r \rho_s \tau_s \tau_r^2}{\pi^2 (\theta_0)^2 (2dD/f^2)^2 R^4} \quad (4)$$

通过测量功率对比度与离焦量的关系,可以减小发射功率不稳定所造成的影响。对必要的参数进行量化,系统各参数取值^[8-10]如下:发射激光的发射角 2mrad,激光系统发射/接收望远镜直径为 50cm,光学系统透过率为 0.7,探测器最小可探测功率为 1nW,目标有效反射面积为 5m²,目标表面漫反射率为 0.04,“猫眼”效应反射系数为 0.5,目标光学镜头反射激光发散角为 10mrad,目标光学镜头直径为 15cm,合作目标有效面积为 20cm²,合作目标反射率为 0.8,合作目标反射激光发散角为 0.05mrad,大气透过率为 0.5。经计算,功率对比度与离焦量的关系曲线如图 3 所示。

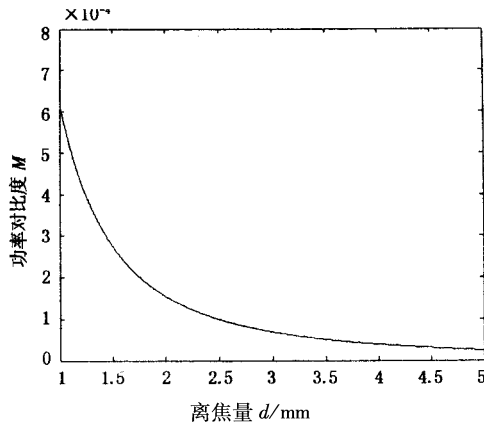


图3 功率对比度与离焦量的关系曲线

当入射角发生变化时,离焦量随着入射角变化而变化,由图可以看出, M 值随离焦量增加而减小。声波引起了“猫眼”光学系统的振动,不同频率、不同强度的声音引起的振动程度也不同,入射角总是变化的,因此 M 受到调制。反射光线经过聚焦以后由光电探测器接收,单片机读取探测器与功率计输出的模拟信号,运算并输出随着 M 值不同而随时间变化的电信号,再通过放大除噪以后便可解调得到窃听的语音信号。

3 实验验证

基于“猫眼”效应的激光窃听器改进装置主要由半导体激光器、光学系统、光电探测装置、解调电路等部分组成。其结构示意图如图 4 所示。

这是一个验证型实验,实验中使用的是功率为 10mW 的 He - Ne 激光器,使用这种激光器的原因是其功率较大,通过温度控制可以使功率很稳定。建议使用近红外半导体激光器,近红外光是不可见

光,不易被监听目标发现。而且大气传输特性好,对于近红外光的接收传感器,不需要专门的冷却设备就可以在最佳灵敏度上工作,不易受噪声影响。

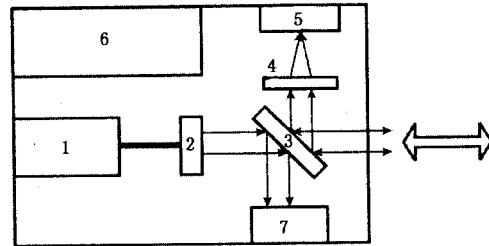


图4 激光窃听器结构及光路示意图

- 1 - 半导体激光器; 2 - 扩束镜; 3 - 半透半反镜; 4 - 镀膜聚焦透镜;
- 5 - 光电探测器; 6 - 信号解调电路; 7 - 光功率计

镀膜聚焦透镜除了普通的聚焦功能外,还可以进行窄带滤波,只允许波长为 650nm 的光部分通过,可以大大地减小背景光线的干扰。探测器安装在会聚镜的焦点处,能够将不同的绿光能量转化为不同的电信号进行解调。

光功率计用于测量出射激光的功率,由于半透半反镜的透射作用,收到的光功率为实际的一半。将光功率转化为电信号与探测器的电信号共同输入给 SPCE061A 单片机进行除法运算,便可以得到功率对比度 M 的值,并输出功率对比度 M 值信号。

如图 5 所示,经过运算后 M 值转化的电信号非常微弱,所以对前置放大器的灵敏度有一定的要求,在前置放大环节中应该保证对微弱信号的准确放大。音频放大器采用 LM386,它是一种低噪声低功耗音频集成功放,它的功率可达到 2.5W,电压增益为 50dB,经其输出的信号可直接驱动扬声器。

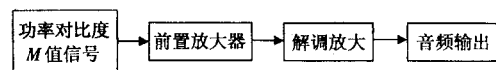


图5 音频解调流程图

4 实验结果

4.1 环境亮度对实验的影响

我们利用这套系统分别在黑暗和明亮的实验室内进行测试,室内空气质量好,无风,无沙尘。利用望远镜做为目标,望远镜放置一个鼓面上,并与窃听器的距离为 15m,当窃听器的绿激光打在望远镜上时,探测器收到回波信号,并通过单片机处理发出已确定目标的信号。在黑暗环境下,利用功率计测得回波信号的功率为 0.43μW,明亮条件下,探测到的回波功率为 0.28μW,这两种回波光探测器完全可以捕捉到,利用白屏接收回波光点,如图 6 和图 7 所示,不管明亮还是黑暗,在白屏上都会出现了一个亮

点,而且功率非常集中。

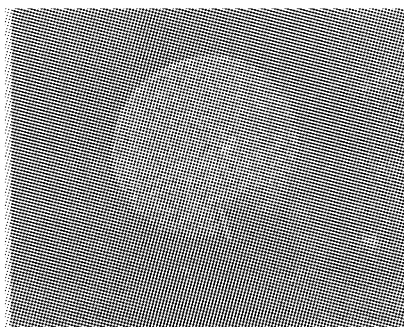


图6 黑暗环境下接收到的回波光

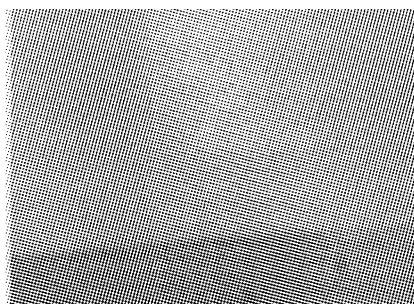


图7 明亮环境下接收到的回波光

4.2 瞄准角度对实验的影响

上面的实验是在窃听器正对望远镜的情况下得到的,实验发现,当调整望远镜,使其光焦面与入射光线保持一定的夹角,不同的夹角得到的回波光的功率不一样,夹角在 $[-6^{\circ}, 6^{\circ}]$ 区间内窃听器才可以正常工作,此时可以用肉眼看到回波光点,如图8所示,但是可以看到光点有点发散,不过只要将探测器对准中间的亮点,还是可以达到窃听效果。当增加角度时,窃听效果就消失。当夹角大于 13° 时,功率计无法探测到回波光的值,而且白屏上的亮点消失。

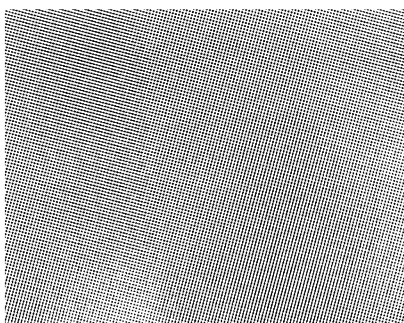


图8 瞄准角度为 6° 的回波光点

4.3 窃听器实验结果

通过上面的实验,发现只有当窃听器正对着探测目标的光学系统时,探测器接收到的回波光最强,

窃听效果就会最好。基于此,在明亮的环境下开始进行窃听实验,实验装置调整完毕后,当敲打望远镜旁边的另一面鼓时,望远镜所在的鼓面受到了振动,同时扬声器也发出了类似鼓点的声音。在望远镜旁边说话时,扬声器可以发出一点微弱的声音,效果很好,虽有小杂音,但仍可以比较清楚地听清对方的说话声音,窃听目的达到。

目前这套系统要达到更好地窃听效果,在技术上还有很多问题要解决,但是通过这个实验可以验证基于“猫眼”效应的激光窃听技术有一定的可行性。我们将在今后进一步研究解决发现的问题。

5 结束语

新改进的激光窃听器具有良好的应用前景,相比于传统的窃听设备有很多优点:第一,实现了发射机与接收机的组合,大大方便了窃听的选址。第二,该窃听器可以自动判断是否瞄准目标,很大程度上缩减了准备时间。第三,可以充分利用窃听目标附近的“猫眼”光学设备,实现半有源窃听。但是目前这项技术研究还不成熟,需要进一步的研究工作。

参考文献:

- [1] Mims, Forrest M. Beware of laser eavesdropping [J]. American Journal of Physics, 1987, 55(10): 871-872.
- [2] Joel Solomon, Robert Prigo. Eavesdropping with a laser [J]. American Journal of Physics, 1987, 55(4): 381.
- [3] 罗海俊,朱晓. 激光窃听技术的研究[J]. 激光与光电子学进展, 2003, 40(12): 53-56.
- [4] 林水兵,张国雄,李真. 猫眼逆反射器的设计与优化[J]. 光学学报, 2002, 22(10): 1245-1250.
- [5] 赵勋杰,高稚允,张英远,等. 基于“猫眼”效应的激光侦察技术及其在军事上的应用[J]. 光学技术, 2005, 29(1): 62-65.
- [6] 赵洪卫,王江,宋敏,等. 激光照射“猫眼”效应实验研究[J]. 激光技术, 2005, 29(1): 62-65.
- [7] 赵铭军,胡永钊,曾小东,等. 激光主动侦察作用距离评估[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2004, 31(1): 72-75.
- [8] 田国周,王江,钟鸣,等. “猫眼”效应及其应用[J]. 激光杂志, 2006, 27(4): 16-18.
- [9] 谷锁林,孙华燕,张永继,等. 空中目标的激光主动探测[J]. 激光与红外, 2005, 35(7): 476-478.
- [10] 乔亚. 激光主动侦察技术研究[J]. 光电技术应用, 2005, 20(3): 22-24.