

基于四象限探测器的激光监听系统

刘艳阳,母一宁,李野,李鑫伟

(长春理工大学理学院,吉林 长春 130022)

摘要:为了减弱外界环境对激光监听技术的影响,该文首先分析对激光监听系统产生影响的主要因素。从系统接收端入手,采用四象限(4QD)光电探测器对声波震动产生的偏折角度出发推导大气环境下光轴检测系统中固有分辨精度与细分精度间的关系;然后通过分析4QD检测系统在大气环境下受到外界约束条件,阐明了激光监听系统中采用4QD探测器作为系统的接收端具有更好的优越性。最后通过一个设计实例与监听试验验证了上述观点。

关键词:四象限探测器;激光监听;大气环境

中图分类号:TN929.1 **文献标识码:**A

Laser Eavesdropping System Based on Four Quadrant Detector

LIU Yanyang, MU Yining, LI Ye, LI Xinwei

(School of Science, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to weaken the impact of external environment on the laser monitor technology, this paper analyzed the main factors which would impact the laser monitoring system. Starting from the receiver system, 4QD photo detector was adopted, the relations between natural resolution and division precision was deduced from deflection angle produced by acoustic wave vibration; then by analyzing external constraints of 4QD detection system under atmospheric conditions the super advantages of the four quadrant detection system subjected to outside constraints in atmospheric environments was described. The above opinions were finally proven by designed example and test.

Key words: four quadrant detector; laser eavesdropping; atmospheric environment

0 引言

随着时代的发展^[1-2],激光监听这种非接触式、不留痕迹的监听技术越来越受到重视。但由于外部环境的不确定性和多变性,使被监听的范围受限。水平激光通信链路是利用激光在大气中的传输特性来进行通信,通信过程中,激光信号受大气的影 响,产生能量衰减、信道调制等变化^[3-4]。

激光监听技术大多应用在军事、缉毒、刑侦及国家安全领域,复杂的监听环境对激光监听技术提出了更高的要求^[5-7]。如何减小外界环境对激光监听技术的影响则成为主要研究内容^[8]。

本文通过对激光监听技术的原理及特点的分析,讨论水平激光通信链路在实际应用中受环境影响并给出相应的应对办法,同时给出此激光监听技术的若干项关键性技术指标,最后总结用四象限(4QD)光电传感器作为监听系统中的探测器的必要

性^[9]。

1 激光监听技术的原理及特点

1.1 激光监听的原理

激光监听技术的工作原理是声音通过引起空气的震动向外传播,这种震动随着范围的增大而逐渐衰减,当遇到遮挡物时,震动被遮挡物屏蔽,但会引起遮挡物的震动。如果在一个密闭的空间中,这种震动的幅度会较大,特别是对于遮挡物是较薄的器物时,这种震动会被放大。如果我们把一束激光直接投射到敏感地带的某一薄壁器物上,这一引起器物震动的声波会对投射的激光进行调制,我们通过把激光的反射波接收并借条的方法,就可把这种震动还原成声音信号,即激光监听技术。

1.2 激光监听技术的特点

1) 非接触性。可对几十米甚至上百米之外的

收稿日期:2013-11-07

作者简介:刘艳阳(1990-)女,吉林人,硕士,主要从事成像技术与微光夜视技术的研究。E-mail:407989728@qq.com。李野(1964-)男,吉林人,教授,博士,主要从事成像技术与微光夜视技术的研究。

监听对象进行有效监听。

2) 隐秘性。不用可见光作为辐射源。

3) 不留痕迹。激光设备移走后,监听地点不会留下痕迹。

4) 抗干扰性强。不受磁场环境的干扰。

1.3 激光监听系统受外界的影响

大气水平激光通信链路中,大气变化是影响激光监听的主要因素之一^[10]。大气由气体(氧气、氮气、二氧化碳等)、液体(雨、雾等)、固体(冰、尘土等)等多种物质组成。大气中的成分、各物质的含量是随时随地无规则变化形成大气湍流,湍流的每一点上的压强、速度及温度等物理特性均随机涨落。大气湍流对激光传播的影响与发射的激光直径和湍流漩涡尺度之比直接相关。当激光直径远小于湍流尺寸时,会产生光束的漂移现象;当激光直径约等于湍流尺寸时,大气湍流使激光束发生随机偏折,使震动产生的反射角产生波动状态;当激光直径远大于湍流尺寸时,会使光束产生随机闪烁的状态。而光束的漂移、偏折及闪烁都会使接收端在接收信号的同时接收到一定的噪声。对于距离在几公里以内的噪声功率可近似服从对数正态分布,其概率分布函数为

$$f_1(D) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}\sigma_s l} \exp\left\{ \frac{[\ln(I/I_0) + 2\sigma_s^2]}{-8\sigma_s^2} \right\} \quad (1)$$

式中: I_0 为光强均值; σ_s 为闪烁指数(光信号的对数振幅标准偏差)。激光光束受大气湍流的影响程度通常用 Rytov 来衡量。对于波动小的平面波采用归一化光强起伏方差表示,即

$$\sigma_{Rytov}^2(x) = 1.23 C_n^2 k^{7/6} z^{11/6} \quad (2)$$

式中: C_n^2 为折射率结构常数; k 为波数($2\pi/\lambda$); z 为光波的传播距离。图 1 为大气湍流条件下接收的闪烁光斑。由图可知,大气湍流导致激光光束呈随机



图 1 接收到的闪斑现象

性的起伏,产生光束闪烁,而接收端接收的信号不平稳,产生的影响强弱也具有随机性。由此可见,大气湍流产生的光束偏折、噪声等差异也会直接叠加到接收端接收的信号上。所以尽量减弱大气湍流对激光信号的影响,加强激光信号的有效获取是提高激光监听效果的重要手段。

2 改善方法及接收端探测器

2.1 改善方法

大气湍流使激光监听的接收端接收信号的同时掺入较大的系统噪声,而噪声的强弱与激光发射范围的大小、强弱、大气中的密度、湿度、温度等都相关,所以在设计激光监听系统时^[11],应充分考虑大气环境对激光接收端信号的影响。目前,直接扩大接收端的接收直径是最直接且最有效的方法^[12]。在加强激光信号的获取强度的同时,还可抑制大气湍流的影响。图 2 为不同光学接收口径(D)对大气湍流的平滑抑制效果。

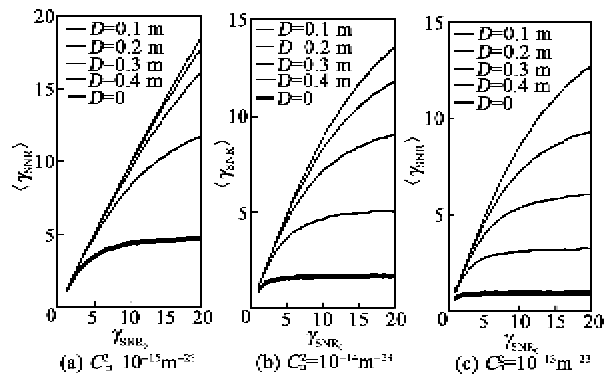


图 2 不同湍流强度下 $\langle \gamma_{SNR} \rangle$ 与 γ_{SNR_0} 的关系

2.2 接收端探测器

激光监听系统的接收端探测器选用 4QD 光电探测器,其原理是按照坐标象限的方式把 4 个性能相近的光电二极管均匀排列在平面上,从而把激光监听系统中成像所需的光斑按照 4 个象限的方式进行切分,如图 3 所示。

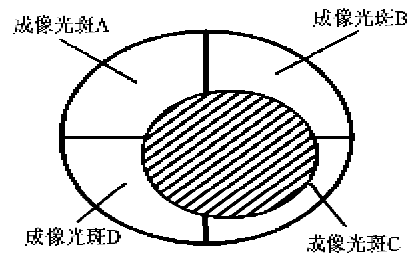


图 3 四象限探测器

4 个象限上是输出电流分别为 I_a, I_b, I_c, I_d , 4 个象限上的入射光功率分别为 E_a, E_b, E_c, E_d , 4 个象限中 4 个光敏面的感光面积分别为 S_a, S_b, S_c, S_d 。 S_x 为艾利斑面积, S_{abcd} 为 4QD 探测器总面积, dx 为 4QD 中间的隔离沟道宽度, 一旦艾利斑进入视场, 4 个象限分别产生正比于其表面光强的光电流, 同时, 不同象限间所产生的光电流正比于分布在其表面的光功率。所以其整体质心表达式为

$$\sigma_x = \frac{(I_a + I_d) - (I_b + I_c)}{I_a + I_d + I_b + I_c} \quad (3)$$

$$\sigma_y = \frac{(I_a + I_b) - (I_c + I_d)}{I_a + I_b + I_c + I_d} \quad (4)$$

在整个检测系统中, 像面上的光电探测器件与整个系统的固有分辨率有关, 其中最小的光电成像单元直接决定检测系统的固有分辨能力。由此可见, 最小光电成像的直径 d_A (在激光监听系统中一般是 4QD 光敏面的半径) 与这个光学系统的焦距 f 直接可确定整个光轴检测系统的固有精度, 即

$$\Delta = d_A / 2f \quad (5)$$

可见到达角最终的偏移量为

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_x \times \Delta)^2 + (\sigma_y \times \Delta)^2} \quad (6)$$

2.3 采用 4QD 探测器的必要性

由光学原理可知, 光学系统中的焦距对信号偏折角有一定的放大作用, 只有当偏折角的均方误差与探测器尺寸大小相近时, 反馈回的声音信号才能最接近真实。假设声音信号产生的震荡在像面上发生的偏移为 θ , 由于偏移的距离会导致电流的变化, 假定变化的电流为 I_θ , 且探测器尺寸与光斑尺寸相吻合, 则光电探测器 (PIN) 模型探测到的电流变化为 I_θ , 而 4QD 探测到的电流变化为 $2I_\theta$, 由此可见 4QD 探测器是通过差分的方式将声音信号产生的震荡全部提取出来, 所以在相同的震荡伏量时, 4QD 具有更高的利用率。4QD 的接收端检测示意图如图 4 所示。



图 4 4QD 接收端检测示意图

3 四象限的激光监听系统

本设计采用高斯透射的方式作为光学系统, 为了减弱大气湍流对激光信号的影响, 将光学口径设定为 $\varnothing 30 \text{ mm}$, 4QD 探测器光敏面为配合光学口径则定为 $\varnothing 2 \text{ mm}$, 为了让光学系统的角分辨率和光敏面尺寸相匹配, 将其焦距设定为 90 mm 。整个系统的实物如图 5 所示。最后通过 A/D 转换后将输出的信息导入计算机, 通过软件处理后, 其输出采集到的语音波形如图 6 所示。



图 5 4QD 检测装置

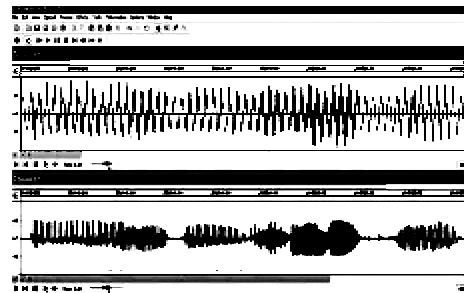


图 6 语音采集结果

由图 6 可知, 比较两种探测模型的语音测试结果, 4QD 探测器比 PIN 探测的效果明显提升。

4 结束语

本文对激光监听技术在实际应用中大气环境对整个系统的影响进行了分析, 并提出了一些相应的解决减弱方法, 指出 4QD 检测具有能量优点。最后采用 4QD 探测器作为激光监听系统的接收部分, 并用试验证明了上述观点及理论的正确性。

参考文献:

[1] MIMS, FORREST M. Beware of laser eavesdropping [J]. American Journal of Physics, 1987, 55(10): 871-872.
 [2] SOLOMON J, PRIGO R. Eavesdropping with a laser [J]. American Journal of Physics, 1987, 55(4): 381.
 [3] 母一宁, 刘泉, 于林韬. 哈特曼技术在序列光斑检测中

- 的应用[J]. 光学精密工程 2011, 19(9): 2197-2204.
MU Yining, Liu Quan, Yu Lintao, et al. Application of Hartmann technique in sequence spot detection[J]. Optics and Precision Engineering, 2011, 19(9): 2197-2204.
- [4] 母一宁, 温冠宇, 王贺. 基于序列信息圆心拟合的大气激光光斑检测技术[J]. 空军工程大学学报, 2011, 12(1): 59-62.
MU Yining, WEN Guanyu, WANG He, et al. Study of technique of spot detection based on sequence information fit circle center[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2011, 12(1): 57-62.
- [5] 张超凡. 激光窃听技术的改进与实现[J]. 激光与红外, 2008, 38(2): 145-148.
ZHANG Chaofan. The improvement and realization of laser eavesdropping [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(2): 145-148.
- [6] 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.
- [7] 赵勋杰, 高雅允, 张英远. 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, 2008, 30(6): 143-147.
- [8] 徐州, 胡晓东, 罗长洲, 等. 强度调制直接探测型远距离激光声探测系统研究[J]. 光子学报, 2002, 31(12): 1497-1500.
XU Zhou, HU Xiaodong, LUO Changzhou, et al. The electronic multiplication and interpolation of incremental optical encoder with reference mark[J]. China Acta Photonica Sinica, 2002, 31(12): 1497-1500.
- [9] 陈杜, 徐秀芳, 刘银年. 四象限红外探测器信号处理系统[J]. 科学技术与工程, 2006: 5-0611; 1671-1815.
- [10] 张恭正, 陈圣波, 王明常, 等. 基于 SCIATRAN 模型的 Limb 大气辐射传输模拟[J]. 科学技术与工程, 2010, 6-1506-05; 1671-1815.
- [11] 康宏向. 强度调制直接探测型远距离激光声探测系统研究[J]. 大气与环境光学学报, 2003, 16(5): 54-57.
KANG Hongxiang. Study of intensity modulation-direct detection laser system for detection of sound vibration[J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2003, 16(5): 54-57.
- [12] 陈纯毅, 杨华民, 姜会林, 等. 大气光通信中大孔径接收性能分析与孔径尺寸选择[J]. 中国激光, 2009, 36(11): 2957-2961.

2015 年《压电与声光》征订通知

《压电与声光》杂志是由中国电子科技集团公司第 26 研究所主办、国内外公开发行的学术性与技术性综合科技期刊。国内统一刊号: CN 50-1091/TN; 国际标准刊号: ISSN 1004-2474; 国际刊名代码(CODEN): YASHE7。双月刊, 大 16 开, 160 页, 双月出版。每册单价 15.00 元(人民币), 全年 90.00 元。

《压电与声光》是全国中文核心期刊(GCJC); 中国科学引文数据库(CSCD)收录期刊; Elsevier Scopus 数据库收录期刊; 美国《化学文摘》(CA)收录期刊; 日本《科学技术文献速报》(JICST)收录期刊; 波兰《哥白尼索引》(IC)收录期刊; 中国科技论文统计源期刊; 中国期刊方阵“双效期刊”; 《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》全文收录期刊等。

主要报道内容: 压电单晶材料、压电多晶材料、压电薄膜材料; 微声电子传感器、微声电子传感器系统、微声电子传感器网络; 声子/光子晶体技术、微声超材料技术、微声系统集成技术、纳米声学技术、隐声技术、隐热技术等; 压电/MEMS/半球/光纤/新型)陀螺、加表器件与仪表、组件、系统等以及相关的材料、工艺、测试技术; 微波频率源、微波无源器件及组件、模块与系统。

读者对象: 上述专业范围内从事科学研究、产品设计、生产制造的科技人员、管理人员、技术工人和相关专业的大专院校师生以及电子技术领域的工程技术人员。

订阅方式: 可进入本刊网站下载订单, 也可通过以下方式订阅。

汇款方式:

1) 邮局汇款地址: 重庆南岸区南坪 2513 信箱《压电与声光》编辑部(400060)

2) 银行汇款(订阅单位请将信汇单复印件和收书详细地址寄给编辑)

开户单位: 中国电子科技集团公司第二十六研究所

开户银行: 工商银行重庆南坪支行

帐号: 3100027109008801342 银行行号: 102653000232

编辑部电话: (023)62919570 传真: (023)62805284

电子信箱: ydsg@sipat.com 编辑部网址: www.peaotec.com