

激光窃听行为的检测和预警系统应用

裴林聪¹, 赵伟¹, 康智强^{1*}, 张信¹, 石永明²

(1. 中国电子科技集团公司第三十三研究所, 山西 太原 030032;

2. 新疆生产建设兵团国家保密局, 新疆 乌鲁木齐 831399)

摘要: 物理空间信息安全的技术对抗发展迅速, 其中, 声音信息安全在激光窃听技术的威胁下存在较大隐患, 而国内对于激光窃听行为的检测和预警技术研究较少, 使得面对激光窃听威胁只能被动防护, 应对手段较少, 无法形成有效对抗。针对此类问题, 提出基于多算法融合的激光窃听主动检测与预警方法, 实现对激光窃听光斑的高精度检测与定位。实验验证表明, 系统对于激光窃听光斑检测识别率在90%以上, 平均预警时间小于27 s, 且具备便捷部署、动态追踪、声光告警及取证存储功能。该研究为激光窃听威胁提供了主动防御技术方案, 能够显著提升关键场景下信息安全的实时监测与应急响应能力。

关键词: 物理空间信息安全; 激光窃听; 红外图像视觉处理; 检测识别技术

中图分类号: TP212

文献标识码: A

DOI: 10.62756/csjs.1671-7449.2026012

引用格式: 裴林聪, 赵伟, 康智强, 等. 激光窃听行为的检测和预警系统应用[J]. 测试技术学报, 2026, 40(2): 142-150.

PEI Lincong, ZHAO Wei, KANG Zhiqiang, et al. Application of detection and early warning system of laser eavesdropping[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2026, 40(2): 142-150.

Application of Detection and Early Warning System of Laser Eavesdropping

PEI Lincong¹, ZHAO Wei¹, KANG Zhiqiang^{1*}, ZHANG Xin¹, SHI Yongming²

(1. The 33rd Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan 030032, China;

2. State Secrets Bureau of Xinjiang Production and Construction Corps, Urumqi 831399, China)

Abstract: The technological countermeasures in physical space information security have been developing rapidly. Among them, acoustic information faces significant risks under the threat of laser eavesdropping technology. However, domestic research on detection and early-warning technologies for laser eavesdropping remains limited, leaving only passive protection measures against such threats. The lack of effective countermeasures has hindered the formation of robust adversarial capabilities. To address this issue, an active detection and early-warning method for laser eavesdropping based on multi-algorithm fusion is proposed, enabling high-precision detection and localization of laser eavesdropping spots. Experimental results show that a detection and recognition rate of over 90% are achieved in this system for laser eavesdropping spots, with an average early-warning time of less than 27 s. Convenient deployment, dynamic tracking, audible-visual alarming, and forensic storage functions are also fulfilled. Significantly, an active

【收稿日期】2025-02-21

【基金项目】山西省重点研发计划资助项目(202102150101008)

【作者简介】裴林聪(1994—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事物理空间信息安全技术研究。E-mail: MRDWXVIP@163.com。

*【通信作者】康智强(1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事电磁防护安全技术研究。E-mail: 18734922035@163.com。

defense technical solution is provided for laser eavesdropping threats, enhancing the real-time monitoring and emergency response capabilities of information security in critical scenarios.

Key words: physical space information security; laser eavesdropping; infrared image visual processing; detection and recognition technology

0 引言

随着国际局势的复杂化和多元化,国家信息安全对抗成为隐形的主战场,我国关键场所的物理空间信息安全受到前所未有的挑战,各种窃密技术层出不穷,检测、预警和防护是关键难题。激光窃听技术是一种通过发射红外激光到声源目标物上窃取声音信息的技术,不同于其他窃密手段,其具备高度的隐蔽性,人体几乎不能通过感官来察觉此类窃听行为,窃听距离从几百米到上千米,极大威胁着国家信息安全和个人信息安全。而国内对于激光窃听行为的检测和预警技术研究较少,使得面对激光窃听威胁只能被动防护,应对手段较少,无法形成有效对抗。本文对激光窃听行为进行综合分析,并设计实现激光窃听行为的检测和预警系统以主动应对激光窃听威胁,形成有效对抗手段。

1 激光窃听行为的检测和防护现状

激光窃听技术依靠极高的隐蔽性、非接触且人眼不可察觉的特点使得信息安全威胁日益严峻,且随着科学技术水平不断提升,国内外激光窃听设备的窃听能力逐步提高,激光窃听事件层出不穷,逐渐成为不法分子进行窃听的主流手段之一。此类设备不同于其他窃听装置,由于其使用场景具备天然的隐蔽优势,更难以被检测和发现。但国内的应对措施以被动防护为主,难以主动检测、识别、预警激光窃听行为^[1-2]。

目前,激光窃听防护检测多采用被动式防护阻断膜、遮挡窗帘或在窗户上加装振动器等,此类方法存在三大核心缺陷:部署灵活性差,且阻隔膜透光率低($\leq 50\%$)^[3]、激光膜吸热能力强,高热天气会造成室内温度大幅升高、热积累严重等问题^[4];检测能力缺失,无法识别已穿透防护的残余激光或新型低功耗窃听设备^[5];环境适应性弱,需要提前安装贴膜处理,不具备便携可移动性,且存在使用寿命限制,需要定期更换修复,在其失效后极易误导使用人员继续使用。与普通窗户相比,这种防护可能成为暴露重要场所的标志,

引发更加精准的窃密行为。目前,有相关科研人员对被动防护膜增加显影功能,但仍存在一定的局限性,其对功耗较低的激光窃听光斑显影效果差^[6],且实际显影激光波段覆盖区间小,容易导致一些特定激光窃听行为漏报^[7],产生严重窃听风险等问题。另外,在被动防护方面,声学干扰法利用特定频率噪音干扰振动信号^[8],严重影响室内交流,对高灵敏度窃听设备干扰效果不佳。

随着科技水平的不断提升,激光窃听威胁持续增加,从重点保密场所到商业会议室再到领导人出行车辆和个人住宅均存在不同程度的风险^[9-10]。面对多种复杂场景,常规检测防护方式明显不能满足需求,迫切需要能够便于携带、快速部署及主动预警的检测设备。

针对当前研究技术瓶颈,本文提出主动式激光窃听检测预警系统,采用多算法融合窃听光斑检测识别算法,能够实现高精度光斑检测,制备出集精准识别、追踪定位、主动告警、提示记录等功能的全自动化激光窃听检测设备。

2 激光窃听行为的检测和预警系统研究与应用

2.1 激光窃听光斑特征检测识别技术

为应对日益严峻的窃听光斑识别与定位问题,本文在系统梳理和深入分析现有技术方案的基础上^[11-12],提出了一种基于多种识别算法的综合判定方法。该方法通过集成多种先进的光斑识别与定位算法,实现了多算法协同处理和数据融合判定,其技术路线如图 1 所示,图中详细展示了多算法协同处理的实现流程和关键环节。其中,整体光学探测成像部分由高灵敏红外相机采集,通过一系列硬件形成可疑光斑图像组传输到算法模型进行处理;在算法模型中,有 4 种算法模块进行同步处理,分别为局部极值分水岭斑点识别、光斑动态定位追踪识别、光斑特征提取识别和光斑匹配算法识别;随后,4 种识别结果进行低置信度过滤、结果聚类 and 加权融合计算形成高精度识别结果。

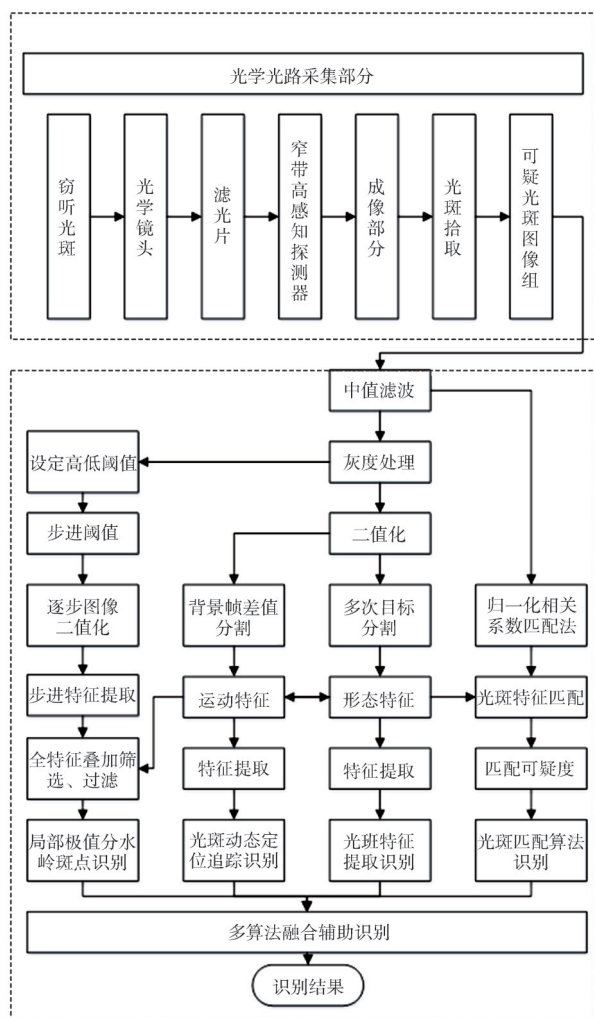


图1 技术路线图

Fig. 1 Technology roadmap

激光窃听通常采用近红外波段激光,这类光波超过人眼可见光范围,因此,激光窃听光斑具有极强隐蔽性。不可见的红外激光光斑波长常用范围为900~1 700 nm,常见的激光窃听波长有980、1 310、1 550 nm等。一般利用半导体激光器或光纤激光器通过聚焦镜头产生窃听激光,其直径一般在10 mm以下。如图2所示,窃听光斑是激光束经目标表面反射后形成的能量分布区域,其产生机理是光的反射与多普勒效应,激光照射目标后,反射光携带目标振动引起的相位变化。

窃听光斑的检测与识别过程以光路采集器为核心,通过精密光学组件对环境中的光学信号进行高效采集,并经光学光路处理生成可疑光斑图像组,该图像组随后被传输至图像处理单元。由于激光窃听距离较远,通常在100~500 m之间,投射于目标物表面的激光功率较低,受目标物的

材质影响,其成像特征较为微弱,不同介质成像的特征不尽相同。且考虑到成像可能存在于多种介质之间,使其更加难以分辨。本文针对远距离下窃听光斑探测图,对其在缓慢移动中投射到不同物体介质上形成的特征图进行研究,结果如图3所示。

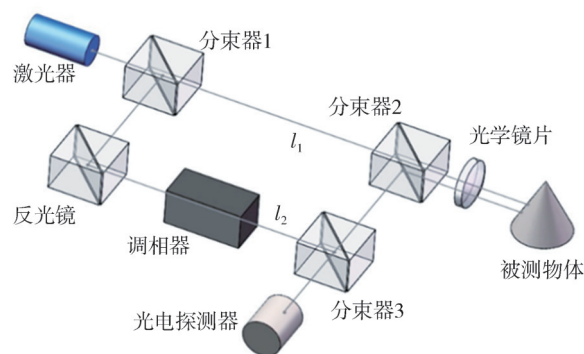
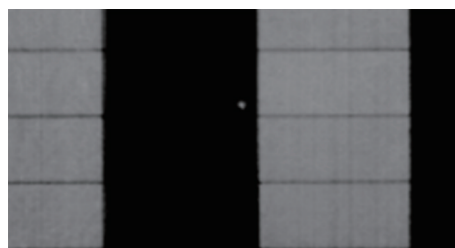


图2 窃听光斑光学系统内部结构图

Fig. 2 Internal structure diagram of eavesdropping facula optical system



(a) 投射于高反射材质成像



(b) 投射于低反射材质成像



(c) 投射于两种材质之间成像

图3 窃听光斑投射于不同反射材质成像

Fig. 3 Eavesdropping spot projected on different reflective materials

光斑特征随着窃听器调制的聚焦程度形成多种特征,图4为窃听光斑于天花板成像图片。

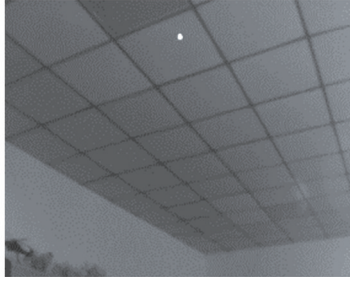


图 4 窃听光斑于天花板成像

Fig. 4 Imaging characteristic of eavesdropping light spot on ceiling

天花板成像环境中,没有强烈的阳光干扰,且投射目标较为平整,其光斑特征较为明显,随着窃听距离的减小,其光斑特征在逐步收拢。光斑特征参数包括:形状尺寸参数,光斑形状尺寸与窃听距离紧密相关,随着窃听距离的缩减,窃听光斑受传播路径干扰减少,光斑形状尺寸更加规则,理想状态下窃听光斑接近标准圆形;强度分布参数,光斑强度近似于高斯分布,中心区域光强占比较大,随着距离减少,中心光强与边缘光强的对比度进一步增大,明暗过渡区域变得更清晰,共性特征更加明显,如图 5 所示。

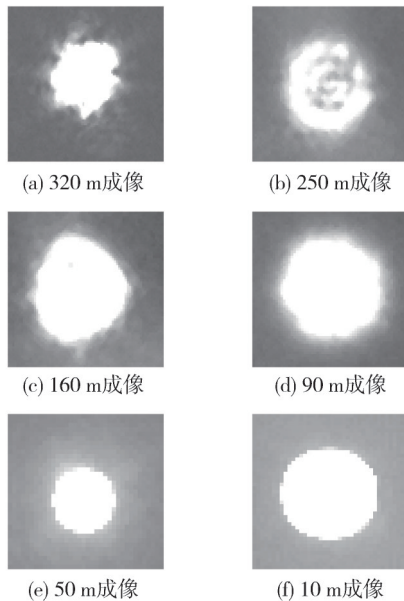


图 5 不同窃听距离下光斑的特征图像

Fig. 5 Characteristic images of spot at different eavesdropping distances

本文提出的融合多种算法的窃听光斑识别方法,利用多种算法对光斑特征进行深度分析与识别。为提升光斑识别的精度与稳定性,系统对可疑光斑图像组中的每一帧图像实施中值滤波处理。中值滤波技术作为一种非线性滤波方法,通过对图像中的像素值排序并取中值,能够有效消除异常点和噪声干扰,同时保持图像的边缘细

节,确保处理后的图像既具备较高的清晰度,又具有良好的数据完整性。中值滤波为

$$y_i = \text{Med}\{f_{i-v}, \dots, f_i, \dots, f_{i+v}\}, i \in N,$$

$$v = (m+1)/2, \quad (1)$$

式中: $f_1, f_2, \dots, f_n$ 为长度为 n 的一维序列; m 为滤波窗口的窗口长度(m 为奇数)。在中值滤波的执行过程中,从输入序列中依次提取包含 m 个元素的子序列,并对该子序列进行排序处理。排序完成后,选取位于中心位置的元素作为当前窗口的滤波输出值,从而生成新的滤波序列。此方法通过在局部区域内对数据排序并提取中值,有效抑制了随机噪声干扰,同时最大程度地保留了信号的主要特征,特别是在处理包含尖锐异常点的序列时表现出优异的抗干扰能力。将中值滤波应用于可疑光斑图像组的处理过程中,不仅能够显著降低数据中的随机性干扰,还能增强图像的平滑性和稳定性,为后续的光斑特征提取和算法分析提供了高质量的输入数据。这种预处理方式进一步提高了系统的抗噪声能力,确保了后续处理步骤的准确性和整体系统的可靠性。

在完成中值滤波处理后,对图像组进一步进行灰度化处理,将彩色图像转换为灰度图像,以简化后续的图像处理任务。灰度化处理通过降低图像数据的维度,显著减少了计算复杂度,同时保留了图像的主要亮度信息,为后续的图像分割、特征提取、识别和分析等操作提供了更加高效且简洁的输入数据。

在本研究中,灰度化处理采用加权平均法,通过对图像中各颜色通道(红色、绿色、蓝色)的分量赋予不同权重并计算加权平均值,生成代表图像亮度的灰度值。具体而言,加权系数通常根据人眼对不同波长光的敏感度设定,例如红、绿、蓝通道分别赋予较为典型的权重值 0.299、0.587、0.114。这种加权方式能够在保持图像亮度信息的同时优化色彩对比,确保转换后的灰度图像在视觉上与原始图像具有较高的一致性,为后续的算法处理提供重要的前提条件。此外,通过灰度化处理,原始图像数据的复杂性得以大幅降低,使得后续计算更加高效,同时减少了存储与传输的资源占用,为整个图像处理流程的优化提供了支持。其计算公式为

$$\text{Gray}(i, j) =$$

$$0.299 * R(i, j) + 0.578 * G(i, j) + 0.114 * B(i, j), \quad (2)$$

式中: i, j 为图像中像素点的位置; R, G, B 为颜色分量红、绿、蓝。这种方法不仅保留了图像的视觉特征, 还确保了在不同光照条件下的处理一致性。

在局部极值分水岭算法的应用中, 图像灰度化处理完成后, 利用该算法对灰度图像进行二值化处理, 以实现图像区域的精准分割。该方法通过对灰度图像的梯度信息进行深入分析, 识别出局部极值点, 进而以这些极值点为基础构建分水岭模型。分水岭模型利用梯度信息的空间分布特征划分图像中的不同区域, 实现了复杂图像场景下的高效分割。

为进一步提高特征提取的精度与有效性, 本算法设置了步进阈值机制, 通过逐步提升每一帧图像的阈值水平, 逐层提取潜在的关键特征。步进阈值的设定不仅能够确保对细节特征的有效捕捉, 还能防止低阈值条件下因噪声引起的伪特征影响。提取出的特征数据经过叠加处理, 增强了显著特征区域的表达, 同时, 通过筛选和过滤操作有效消除了噪声和冗余信息, 从而提升了分割结果的可靠性与准确性。本算法的计算为

$$g(x, y) = \text{grad}(f(x, y)) = \{[f(x, y) - f(x-1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y-1)]^2\}^{0.5}, \quad (3)$$

式中: $f(x, y)$ 为原始图像; $\text{grad}\{\cdot\}$ 为梯度运算。局部极值分水岭算法处理完成后输出一组识别可疑率, 为后续的判定环节提供基础数据支持。通过多次迭代提升阈值, 增强了其对复杂场景中细微特征的敏感度, 提高了精确识别和定位可疑光斑的准确度。

光斑动态定位跟踪算法在对灰度图像组内的每一帧进行二值化预处理后, 进一步引入背景帧差值分割方法以高效提取图像中的运动区域。该方法通过对相邻帧或间隔若干帧的图像进行逐像素差值运算, 利用像素值变化的显著性来检测场景中的动态特征区域。具体而言, 背景帧差值分割运算能够敏锐捕捉到图像中因运动或亮度变化产生的差异, 使得运动目标的边界特征在差分图像中更加显著。

在背景帧差值分割计算完成后, 算法对差分结果进行阈值化处理, 将像素值变化显著的区域分离为运动区域, 同时将变化较小的背景区域抑制为低值或零值。阈值的设定既要确保对动态目标的高灵敏度捕捉, 又要避免过多的背景噪声干

扰。通过这种方法, 算法能够快速定位图像中的运动光斑特征, 并对其进行进一步的运动状态识别与分析。

该方法的应用显著提升了动态目标提取的效率和准确性。相较于传统静态图像处理方式, 背景帧差值分割方法不仅能实时捕捉光斑的运动轨迹, 还能为后续的动态定位、行为分析及状态预测提供可靠的数据支撑。此外, 在复杂环境中, 该算法通过结合差分增强和阈值化处理, 表现出较强的抗干扰能力, 使得光斑动态跟踪的精度和稳定性进一步提高。其数学表达式为

$$D(x, y) = \begin{cases} 1, & |f_{k+1}(x, y) - f_k(x, y)| > T, \\ 0, & \text{others.} \end{cases} \quad (4)$$

若相减两帧图像的帧数分别为第 k 帧和第 $(k+1)$ 帧, 其帧图像分别为 $f_k(x, y)$ 、 $f_{k+1}(x, y)$, 差分图像的二值化阈值为 T , 差分图像用 $D(x, y)$ 表示。对其帧间特征提取并对运动状态进行识别, 输出识别可疑率以为下一步作判定。

光斑特征提取识别算法在完成图像数据的二值化处理后, 首先对图像进行初步目标分割, 旨在有效识别并分离出潜在目标区域。针对多目标场景, 该算法逐一对分割出的目标区域进行形态特征的深入分析与判定。通过对目标形状、大小、边缘等多维度特征的综合评估, 算法能够精确筛选出符合特定条件的目标, 从而实现对目标特征的高效提取与甄别。

在特征提取过程中, 系统充分利用形态学分析方法对目标边缘的连通性、光斑的对称性以及面积等几何特性进行定量评估, 同时结合统计分析手段筛选异常或噪声目标。针对背景复杂或目标密集的场景, 该算法具备较强的适应性, 通过自适应阈值调整和特征优先级排序, 显著提高了对关键目标的识别精度。提取到的目标特征进一步经过判别和筛选操作, 以排除与侦听光斑无关的冗余信息, 确保仅保留可能存在窃听风险的高价值目标区域。

处理完成后, 算法基于目标特征的综合分析生成一组可疑率值, 用以量化每个目标区域的风险等级。这些可疑率值为后续的精确定位与行为分析提供了可靠依据, 同时也显著减少了系统的计算负担, 为实时性和高效性奠定了坚实基础。本方法在提高识别精度的同时, 进一步优化了光斑检测的筛选流程, 使其能够在复杂多变的环境

中保持高可靠性和强鲁棒性。

光斑匹配识别算法在对图像组进行中值滤波处理以消除噪声和异常点后,进一步采用归一化相关系数匹配算法对图像进行处理。该算法通过计算模板图像与待匹配图像在不同位置上的归一化相关系数,评估二者的相似度,以实现目标

特征的精准识别和定位。归一化相关系数的计算过程综合考虑了模板图像和待匹配图像的像素分布特征,并通过归一化处理消除了因亮度变化、对比度差异等因素引起的匹配误差,从而提高了算法在复杂光照条件下的鲁棒性。计算公式为

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} T(x', y') \cdot I(x + x', y + y')}{\sqrt{\sum_{x', y'} T^2(x', y') - \frac{1}{wh} \left(\sum_{x', y'} T(x', y') \right)^2}} - \frac{\frac{1}{wh} \sum_{x', y'} T(x', y') \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')}{\sqrt{\sum_{x', y'} T^2(x', y') - \frac{1}{wh} \left(\sum_{x', y'} T(x', y') \right)^2}} \times \frac{1}{\sqrt{\sum_{x', y'} I^2(x + x', y + y') - \frac{1}{wh} \left(\sum_{x', y'} I(x + x', y + y') \right)^2}}, \quad (5)$$

式中: x, y 为匹配图像位置; w, h 为模板图像的宽、高像素值; $I(x + x', y + y')$ 为匹配图像的平均灰度值; $T(x', y')$ 为待匹配图在 $x + x', y + y'$ 位置上的像素灰度值。本算法将三通道图像处理成单通道灰度图像,在灰度图像中像素值为 0~255,然后对其进行二值化,分为 0、255 黑白两种颜色,最后输出匹配可疑度。

2.2 识别算法的融合

为提升光斑识别精度与鲁棒性,本文提出一种多算法融合方法,将局部极值分水岭斑点识别、光斑动态定位追踪、特征提取及匹配识别 4 种算法结果进行协同处理。首先,通过置信度阈值过滤各算法低可靠性结果,减少噪声干扰;其次,基于位置距离与特征相似度对检测结果聚类,形成光斑簇;然后,采用加权融合策略对位置信息加权平均、特征参数取均值,并记录方差,结合算法参与数量与单算法置信度评估综合置信度;最后,通过位置方差与最终置信度阈值优化结果。该方法动态调整算法权重,整合区域分割、实时跟踪、特征区分及模式检测等优势,通过一致性评估与置信度分析筛选目标特征,显著降低误报漏报率,最终,以综合识别率量化光斑可信度,在复杂环境下实现抗噪声干扰的多目标可靠检测,提升系统适应性与稳定性。

2.3 窃听光斑预警应用与实现

本系统通过光斑识别算法实现对可疑光斑的

识别率评估,并建立了一套高效的激光侦听威胁预警机制。系统在开启后会自动进入覆盖式巡航扫描模式,全面监测室内环境,以探查是否存在潜在的激光侦听活动。这一机制不仅具备实时监测能力,还能在监测过程中快速响应,确保对潜在威胁的及时识别。一旦系统检测到可疑激光信号,将立即停止巡航扫描并自动追踪该可疑目标。此时,系统依据光斑识别算法对目标进行详细分析与可疑率判断,从而评估该目标是否可能为入侵性侦听行为。

在可疑目标的判定过程中,设备主体及其控制界面通过多种形式发出警报信息,以提示用户可能存在的安全威胁。告警方式包括设备物理警报和状态指示灯提示。状态指示灯在警报触发时,会显著增加亮度并以间歇闪烁的方式提醒用户关注潜在的安全威胁。这种视觉反馈机制能够迅速吸引用户的注意力,并促使其及时响应可能的威胁。此外,在确认可疑目标后,设备会发射一束红色提示激光,精准指向可疑光斑的位置。通过这一辅助观测手段,用户能够直观观察当前入侵侦听目标光斑的位置,从而进一步验证系统的检测结果。这一功能不仅提升了系统的可操作性,也为用户提供了必要的视觉参考,帮助其更好地应对潜在威胁。

此外,设备还具备语音报警功能,在识别到可疑目标后发出提示语音。这种声音警报能够有效增强预警效果,尤其在用户未能注意到视觉提示时。检测到入侵目标后,系统会通过有线显控终端界面发出警报,具体表现为界面边缘闪烁红

色警示光。同时,警情记录窗口将显示详细的提示信息,包括可疑目标的识别结果和可疑度判断值。通过这种方式,用户能够迅速获取并分析警报信息,以便做出相应反应。

这些告警机制的设计与实现,使得系统能够在复杂环境下有效识别和定位潜在的激光侦听威胁。通过多重预警手段,确保用户能够及时应对这些威胁,从而全面保障信息安全。本研究通过光斑识别及综合报警机制,为激光侦听威胁的防范提供了可靠的技术支持与保障,图6所示为系统外形图。

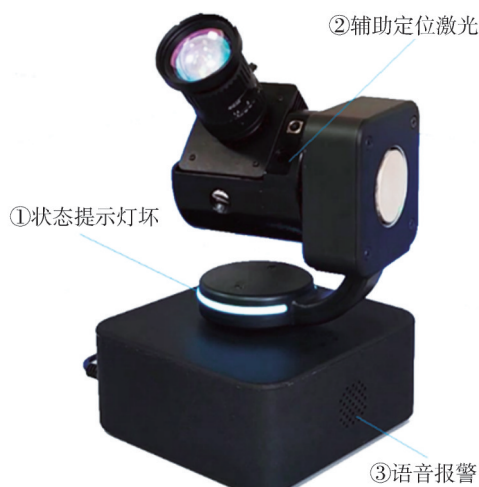


图6 系统外形图

Fig. 6 System outline

本系统在完成对可疑光斑的预警后,进一步具备对可疑窃听光斑的取证和保存功能。为此,系统设计并实现了针对可疑光斑的JPG图像存储和AVI录像存储功能。当系统确认存在可疑的窃听光斑时,自动触发拍照功能,捕捉到的图像将以JPG格式保存,并作为重要的取证材料。这一功能不仅确保了证据的及时获取,还为后续的分析审查提供了可视化的数据支持。本系统设计的显控终端如图7所示。



图7 显控界面图像

Fig. 7 Image of display and control interface

3 实验验证及分析

为验证本文设计系统的可靠性,实验采用红外不可见激光器模拟窃听光源,构建远距离激光侦听威胁场景。具体实施过程中,将实测激光侦听设备部署于距离被测实验室100、150、200、250 m外的场景内,以模拟远距离环境下的潜在侦听威胁。本系统测试环境为尺寸为8 m×6 m的方形会议室,设备布置于窗户中间位置,以确保对室内环境的全面覆盖与监测能力。部署场景示意图如图8所示。实验部署现场示意图如图9所示。

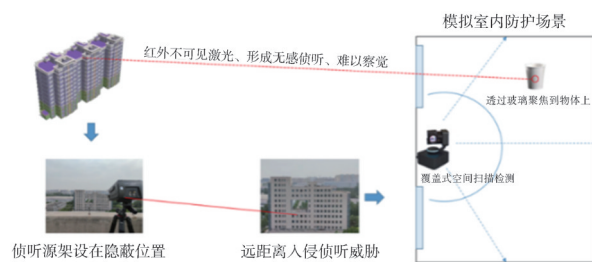


图8 部署示意图

Fig. 8 Deployment diagram



(a) 窃听设备部署示意图



(b) 检测环境

图9 窃听设备与检测环境

Fig. 9 Eavesdropping device and detection environment

3.1 数据预处理

在多种算法的预处理阶段,针对中值滤波、

二值化、形态特征分割后形成试验图像,整体激光投射在目标物上(常规纸袋)的功率仅为 10 mW (± 1 mW),试验结果如图 10 所示。

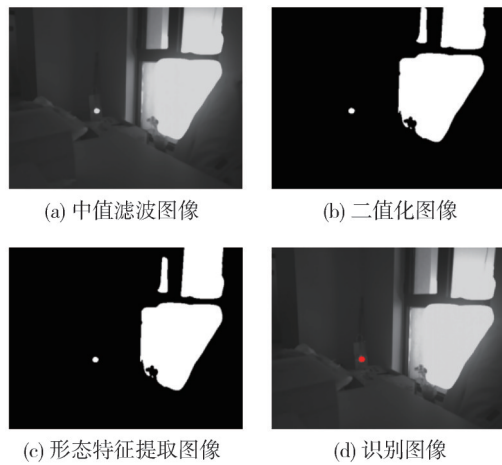


图 10 预处理与特征提取图

Fig. 10 Preprocessing and feature extraction

通过中值滤波、二值化图像和形态学特征提取等一系列预处理操作后,整体数据图像形成明显可识别目标以供后续算法的进一步识别操作。

3.2 算法实验

本系统二维云台覆盖式扫描室内可疑目标,对可疑光斑进行定位追踪并触发警报,选取室内环境中的 20 个点位作为窃听光斑的投射点位。不同位置下可疑光斑识别时间如表 1 所示。

表 1 不同模拟窃听距离下的检测性能

Tab. 1 Detection performance at different simulated eavesdropping distances

窃听距离/m	检测识别率(20个点位)/%	平均预警时间/s
100	96	22.3
150	92	24.2
200	92	26.7
250	90	21.9

上述结果表明,本文所研究的激光窃听行为检测和预警系统能够有效且准确地识别可疑的激光窃听光斑,整体识别率均为 90% 以上,并可对其进行及时的预警,预警时间均小于 27 s。

为验证本文算法的性能,选取 Otsu 阈值分割算法、Canny 边缘检测算法、ORB 特征匹配算法与本文算法对比实验进行性能验证。采集包含 500 张含有光斑图像的基准数据集,涵盖以下干扰条件:高斯噪声、椒盐噪声、运动模糊以及非均匀光照。采用综合识别率、误报率以及漏报率量化指标评估算法性能。可得到实验结果如表 2 所示。

表 2 多算法性能对比分析

Tab. 2 Comparative performance analysis of different algorithms

算法类型	误报率/%	识别率/%
本文方法	4.1	92.5
Otsu 阈值分割法	12.3	77.1
Canny 边缘检测	24.6	81.2
ORB 特征匹配	18.7	86.3

实验结果表明,传统算法中 Otsu 算法因依赖全局阈值,在非均匀光照下分割失效,识别过低;Canny 算法虽能提取连续边缘,但双阈值极值导致高误报率;本文方法通过动态权重分配,综合识别率达 92.5%,较传统方法误报率有明显降低,因此,多算法融合的窃听光斑识别算法为高精度检测和预警系统提供了可靠技术路径。最终识别结果以综合识别率的形式表示,量化光斑的可信度,为后续的定位和预警工作提供依据。融合处理提高了系统的识别精度和鲁棒性,确保了复杂环境下多目标检测的可靠性,使系统在应对噪声干扰和复杂场景时表现出较强适应性和稳定性。

如表 3 所示,统计本次实验中各个算法的识别率进行对比分析,局部极值分水岭识别算法整体性能较高,光斑匹配算法识别效果较差,多算法融合识别通过低置信度过滤,剔除置信度低于阈值的检测结果以减少噪声,进行结果聚类、加权融合、特征取均值并记录方差,置信度结合算法数量与单算法置信度综合评估形成了较高精度的识别效果。

表 3 各算法与融合算法性能对比分析

Tab. 3 Comparative performance analysis of various algorithms and fusion algorithms

算法类型	识别率/%
局部极值分水岭识别	87.4
光斑动态定位识别	83.1
光斑特征提取识别	81.2
光斑匹配算法识别	71.7
多算法融合识别	92.5

将多种识别算法进行融合处理来提升光斑识别的整体性能是本文的一个创新点。其次,本系统的硬件设计中加入了二维云台进行动态识别,是本文方法中发挥多算法融合的根本基础,通过云台对目标进行动态调整和对角度多幅度的观测,能够极大地提升在复杂场景下的识别率,显著降低了误报和漏报的概率,这种自身云台动态追踪过程中实现的动态观测能力是本文提出的第二个创新点。

此外,该系统具备便于携带的小型一体化设计,极大地提升了实用性。研究中设计的显控终端不仅能够提供语言警报,还具备取证功能,为

潜在的安全威胁应对提供了可靠的技术支持。本系统通过实验验证展现出良好的检测精度、响应能力及实际应用价值,为激光侦听威胁的高效识别和预警提供了一种可行的技术解决方案。

4 结 论

本文所开发的激光侦听预警系统在光斑识别和定位技术的基础上,成功实现了对潜在激光窃听活动的实时监测和预警。通过融合多种识别算法,包括局部极值分水岭算法、光斑动态定位跟踪算法、光斑特征提取识别算法及光斑匹配识别算法,本系统显著提高了对可疑光斑的识别精度与定位准确度,尤其在复杂环境下展现出卓越的抗干扰能力,通过云台动态调整的方式使得识别率大幅提升。系统显控终端提供了直观的操作界面,使用户能够迅速获取预警信息并进行有效的控制和取证。当检测到可疑目标时,系统不仅能通过视觉和声音警报机制及时通知用户,还能自动进行图像和视频的记录,为后续的证据收集和分析提供可靠支持。双重存储机制的设计增强了系统的取证能力,为信息安全提供了进一步保障。

利益冲突声明/Conflict of Interests

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors declare no relevant conflict of interests.

参考文献

- [1] 苗春卫,刘中强,温舒桦,等.声音信息安全防护技术综述[J].保密科学技术,2023(8):64-71.
MIAO Chunwei, LIU Zhongqiang, WEN Shuhua, et al. Overview of sound information security protection technology[J]. Secrecy Science and Technology, 2023 (8): 64-71. (in Chinese)
- [2] 王鹏飞,林航,林世盛,等.面向激光显示应用的窄带绿色 β -SiAlON:Eu²⁺微晶玻璃薄膜[J].激光与光电子学进展,2022,59(15):67-73.
WANG Pengfei, LIN Hang, LIN Shisheng, et al. Narrow-band green-emissive β -SiAlON:Eu²⁺ Phosphor-in-glass film for laser display applications[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2022, 59(15): 67-73. (in Chinese)
- [3] 徐放.高性能VO₂基复合智能膜的可控制备与性能研究[D].上海:中国科学院大学(中国科学院上海硅酸盐研究所),2021.
- [4] MOHAMMAD N S, ARAB H, RONAGH S N. Analysis of new laser warning technologies to propose a new optical subsystem[J]. Iranian Journal of Electrica and Electronic Engineering, 2018, 14(3): 213-221.
- [5] TSEREVELAKIS G J, POULI P, ZACHARAKIS G. Listening to laser light interactions with objects of art: a novel photoacoustic approach for diagnosis and monitoring of laser cleaning interventions[J]. Heritage Science, 2020, 8(1): 98.
- [6] 王凯强,李哲,邢振冲,等.基于Qt和MATLAB混合编程的水下光斑目标跟踪软件设计[J].激光与光电子学进展,2024,61(9):423-430.
WANG Kaiqiang, LI Zhe, XING Zhenchong, et al. Design of underwater spot target tracking software based on Qt and MATLAB mixed programming[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2024, 61(9): 423-430. (in Chinese)
- [7] YANG F B, DONG A R, ZHANG L, et al. Infrared polarization image fusion based on combination of NSSST and improved PCA[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2016, 7(2): 176-184.
- [8] 吕泽.基于AOTF的反激光窃听告警技术研究[D].太原:中北大学,2018.
- [9] 窦凯云,樊永生.基于高分辨网络的空间目标位姿估计方法[J].测试技术学报,2023,37(4):356-361.
DOU Kaiyun, FAN Yongsheng. Post estimation algorithm of spatial based on high resolution network[J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2023, 37(4): 356-361. (in Chinese)
- [10] 吕泽,陈友华,薛鹏,等.一种反激光窃听预警系统的窃听源定位研究[J].应用光学,2018,39(3):429-435.
LÜ Ze, CHEN Youhua, XUE Peng, et al. Research on eavesdropping source localization of anti-laser eavesdropping early warning system[J]. Journal of Applied Optics, 2018, 39(3): 429-435. (in Chinese)
- [11] 谢忠旭,王志乾,沈铨武,等.基于光斑轮廓特征的目标快速识别算法研究[J].激光与红外,2024,54(2):289-294.
XIE Zhongxu, WANG Zhiqian, SHEN Chengwu, et al. Research on fast target recognition algorithm based on spot contour feature[J]. Laser & Infrared, 2024, 54(2): 289-294. (in Chinese)
- [12] 李欣阳,李智.低分辨率暗弱光斑图像的目标识别技术研究[J].现代计算机,2024,30(9):9-16.
LI Xinyang, LI Zhi. Research on target recognition technology for low resolution dim spot images[J]. Modern Computer, 2024, 30(9): 9-16. (in Chinese)