

基于物联网监控视频增强的高校实验室安防目标跟踪方法

仲文君¹

ZHONG Wenjun

摘要

实验室环境中, 复杂光照、目标快速移动或低帧率视频都可能导致图像模糊, 增加跟踪难度。当目标快速移动或方向多变时, 其运动不连续及视频帧率限制使得逐次逼近法仅能通过离散的采样点或帧间数据进行目标定位, 相邻帧间目标位置变化显著, 导致轨迹中出现离散空白, 难以形成连续的轨迹, 影响跟踪精度。为此, 文章提出了一种基于物联网监控视频增强的高校实验室安防目标跟踪方法。该方法通过滤波器将视频帧划分为不同尺度的图像块, 提取多尺度特征目标, 增强特征提取的鲁棒性。利用单尺度 Retinex 算法对图像像素点进行校正, 确定模糊跟踪目标, 消除光照不均对图像质量的影响。并通过期望输出匹配目标进行对照, 实现单尺度像素匹配。结合斜率监测和自适应图像分割与搜索, 采用逐次跟踪逼近的方法逐步逼近并定位运动目标。采用插值计算方法, 结合二次跟踪逼近结果和动态变动角度描述, 设计插值安防目标跟踪矩阵, 填补轨迹中的离散空白, 生成连续、平滑的目标轨迹, 实现对实验室范围内目标的精准定位和跟踪。实验结果表明: 该方法得出的均方根误差被控制在 3 mm 以下, 表明其对跟踪精度具有重要作用。

关键词

物联网; 监控视频; 实验室安防; 目标整合; 跟踪方法; 图像处理

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.07.021

0 引言

高校实验室作为教学和科研的重要场所, 不仅承载着繁重的教学任务, 还涉及众多昂贵的实验设备和敏感的研究数据。实验室安防手段目前多以人工巡逻、视频局部监控的方式为主, 对此, 有学者研究出一系列成果。

田咏麟等人^[1]针对机器人智能制造中的非线性目标跟踪控制问题, 提出了数学建模与 Pade 逼近方法, 但低帧率或快速移动情况下存在轨迹离散空白和跟踪精度下降的问题。周晓等人^[2]提出了自适应 IMM-UKF 机动目标跟踪算法, 通过模型概率后验信息和模型似然函数修正转移概率矩阵, 减小了状态估计误差, 但在目标快速移动或方向多变时仍可能出现误差增大。陈健等人^[3]考虑了遮挡情况下的视频图像运动目标激光跟踪定位方法, 结合 Kalman 滤波与激光逐次逼近模式, 实现精准定位和跟踪, 但目标快速移动时激光发射方向调整可能滞后。穆晓芳等人^[4]提出了跨域环境下特定多目标跟踪算法, 通过最大化利用低分检测对象和优化

改进 YOLOv5 检测器, 提升了跟踪精度, 但在复杂光照或目标快速移动情况下仍可能出现轨迹匹配不准确和跟踪实时性不足的问题。

基于上述方法的优势与弊端, 本研究结合物联网监控视频增强技术, 设计了一种高校实验室安防目标跟踪方法。

1 设计实验室安防物联网监控视频增强目标跟踪方法

1.1 多尺度与 Retinex 算法结合的目标特征提取与匹配

在实际安防场景中, 目标(例如人或车辆)可能因距离摄像头的远近、焦距调整或自身转动等因素产生尺度变化, 这增加了跟踪算法准确识别目标的难度^[5]。为了应对这一挑战, 本研究采用多尺度分析技术, 在不同尺度上捕捉目标特征, 增强算法对不同大小目标的适应能力, 确保在目标尺度变化时跟踪的稳定性。同时, 利用单尺度 Retinex 算法优化图像的亮度和对比度, 显著降低光照变化对目标跟踪的影响, 从而在复杂光照条件下保持目标的清晰度和可见性。

基于物联网获取的实验室安防监控视频, 设定当前的帧数值为 n , 通过滤波器按照帧数划分为多个不同尺度大小的图像块, 并从中提取图像中的特征目标^[6]。具体过程如图 1 所示。

1. 武威职业学院 甘肃武威 733000

[基金项目] 2025 年度教育科技创新项目“基于物联网与多网协同技术的高校实验室智能安防系统设计与研究”(2025B-499)

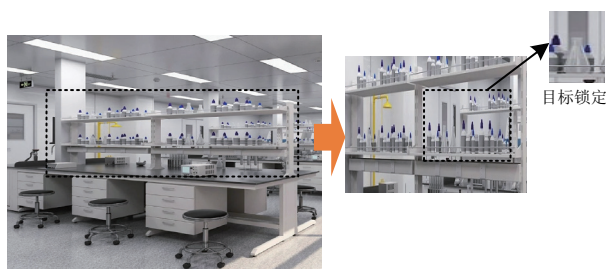


图1 视频图像块特征目标提取过程

按照图1过程提取出特征目标后,设定一个期望输出匹配目标,用公式表示为:

$$\varepsilon = \left\| d - \sum_{u=1}^n h u \cdot \partial \right\|^2 + \sum_{u=1}^n \|h^u\|^2 \quad (1)$$

式中: ε 代表期望输出匹配目标; d 代表图像维度; h 代表实时帧数; u 代表帧数; ∂ 代表特征维度范围。

以输出匹配目标为基准,确定视频中前 n 帧像素点的位置,用公式表示为:

$$A = f^{-1} \left\{ \frac{\sum_{y=1}^n \varepsilon \cdot \rho y}{B_l + \lambda} \right\} \quad (2)$$

式中: A 代表视频中前 n 帧像素点的位置; f 代表正则化系数; ρ 代表单尺度的前 n 帧距离; y 代表像素点; B_l 代表最大响应值; λ 代表视频复频域。此时,采用单尺度 Retinex 算法对图像中的每个像素点进行校正。

以视频提取中前 n 帧和后续帧的像素点为目标,确定实验室视频中的模糊跟踪目标。结合期望输出匹配目标和前后像素点的特征,展开单尺度像素匹配^[7]。用公式表示为:

$$Q = \frac{(\varepsilon - z)f}{\sum_{o=1}^n \aleph o - \|g^u\|^2} \quad (3)$$

式中: Q 代表像素匹配目标; z 代表实际特征目标; $\aleph$ 代表增强过滤区域; o 代表可匹配点; g^u 代表前帧匹配像素。

输出的匹配目标是视频中特征最明显且可进一步增强的对象。在当前设定的匹配范围内,这些目标为后续的安防跟踪提供了有力支持。

1.2 基于逐次跟踪逼近的实验室目标精准定位

基于特征点提取与像素点匹配能够初步定位目标,但目标在视频中的运动可能导致其位置和形状发生变化,初次跟踪结果可能存在模糊或偏差^[8]。为了更精确地获取目标位置信息,本研究采用了逐次跟踪逼近方法。该方法在自动识别过程中,利用视频中所匹配的像素点,通过连续调整逼近方向,实现逐步目标跟踪。

设置一个运动的目标点,其动态像素坐标为 (X_T, Y_T) , 激光点跟踪像素坐标为 (X_A, Y_A) , 先测定计算出目标点和激

光点之间的斜率,用公式表示为:

$$k = \frac{Y_T - Y_A}{X_T - X_A} \quad (4)$$

式中: k 代表斜率。

通过监测斜率的变化,判断视频中的目标是向激光靠近还是远离,结合具体条件进行第一次的逼近跟踪,得出一个初步但可能模糊的目标位置^[9]。以该位置作为二次逼近的引导,结合匹配目标和前帧像素点的位置信息,对监控视频进行定格处理。以自适应的方式对安防图像进行分割与搜索,如图2所示。

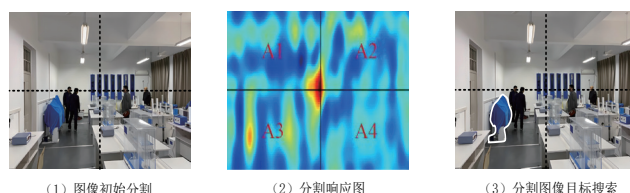


图2 实验室安防视频跟踪图像分割与逼近搜索

通过这一过程,以特征匹配点为目标,使用激光点作为映射,确定实验室跟踪目标的像素偏差逼近搜索区域,具体用公式表示为:

$$U = \sum_{e=1}^n \wp e - (\kappa + \kappa_e) \cdot \frac{1}{c} - \eta k \quad (5)$$

式中: U 代表像素偏差逼近搜索区域; $\wp$ 代表连续捕捉区域; e 代表跟踪点; κ 和 κ_e 分别代表初始接近距离和实际接近距离; c 代表像素索引; η 代表期望定位区域。

在像素偏差逼近搜索区域内,对视频中的运动目标进行连续捕捉,并展开二次跟踪逼近处理,具体处理结果用公式表示为:

$$G = \sqrt{\aleph^2} - \frac{U}{(1 - \sum_{m=1}^n \zeta m + \lambda)} \quad (6)$$

式中: G 代表二次跟踪逼近结果; $\aleph$ 代表实时跟踪区域; ζ 代表像素位置点修正; m 代表需要修正的数量。

基于二次跟踪逼近结果,利用瞄准定位机制,以渐次接近的方式提高激光点的运行效率,快速实现对实验室内运动目标的逐次逼近定位。上述过程能够有效解决初次跟踪中目标位置模糊或偏差的问题,显著提升后续目标跟踪的准确性和稳定性。

1.3 基于逼近点插值计算的目标轨迹优化与精准跟踪

逐次逼近方法产生的结果是实验室中的模糊跟踪数据,尤其在目标快速移动或方向频繁变化时,难以实时跟踪目标的动态变化。为克服这一局限,本研究引入插值计算方法。插值计算能够填补逐次跟踪逼近结果中的离散空白并减少误差,通过精确计算相邻视频帧间目标位置的平滑过渡,生成

更加连续和精确的目标运动轨迹。基于插值计算结果,可以确定实验室安防的最终跟踪目标。结合二次跟踪逼近所得数据,能够明确实验室当前的可控安防区域,并据此部署激光质心。此外,插值计算还能描述跟踪逼近目标的动态角度变化,用公式表示为:

$$\begin{cases} \Delta R = G e_1 \Delta x + q_1 \\ \Delta w = G e_2 \Delta y + q_2 \end{cases} \quad (7)$$

式中: ΔR 和 Δw 分别代表跟踪逼近目标变动角度描述; G 代表跟踪转变值; e_1 和 e_2 分别代表跟踪目标逼近坐标点位; Δx 和 Δy 分别代表横纵轴的起始角度; q_1 和 q_2 分别代表横纵轴的变化角度。

通过动态变动角度的描述,分析此时目标跟踪的移动趋势,同时设计实验室插值安防目标跟踪矩阵,用公式表示为:

$$\begin{bmatrix} \Delta R \\ \Delta w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 s & 0 & -q_2 e_1 \\ 0 & q_2 s & -q_1 e_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: s 代表插值点。

通过矩阵中跟踪角度的变化,能够生成连续的目标轨迹表示。在此基础上,再次执行逼近搜索,更新并匹配目标轨迹,实现对实验室范围内目标的更精准定位,并最终完成目标跟踪处理。

2 实验

预设 Pcm Dual 的辅助平台,设置内存 2.6 GB 的主机。标定好 YR45 装置参与实验室的实时跟踪。跟踪时控制移动像素数为 4。尺度变量为 0.12,学习参数为 0.03。选定文献中的机器人智能制造非线性目标跟踪控制方法、自适应 IMM-UKF 机动目标跟踪算法作为对照组。

2.1 实验环境仿真

本次选择 H 高校的实验室作为目标跟踪的测试背景,实验室中的设备、人物等均作为动态性的可选择跟踪目标,截取一周范围内的 6 段视频为辅助目标的跟踪比对条件,视频中每一帧图像的分辨率是 704 px × 386 px,帧率是 6.5 帧/s。在测试的环境中增设 Leica AT930 激光跟踪仪。预设多组实验场景,为后续跟踪对比提供基础,具体内容如下:

(1) LR 场景:存在设备监控与异常检测情况。通过物联网技术,为每台设备贴上 RFID 标签,实时收集设备信息并上传至监控系统。系统自动识别设备状态,当设备出现异常,通过监控视频锁定异常设备,辅助管理人员快速定位并处理问题。

(2) FM 场景:人员行为监控与预警。系统自动识别进入实验室的人员,记录其行为轨迹。通过智能分析技术,判断人员行为是否符合安全规范,辅助管理人员及时响应。

(3) QM 场景:紧急事件模拟与应急响应。模拟火灾场景中,烟雾探测器触发报警,系统立即切换至相关监控画面,并启动门禁系统的应急解锁装置。在模拟入侵场景中,红外探测器触发报警,系统锁定入侵者位置,并通过监控视频提供实时追踪画面。

融合上述场景,通过物联网进行视频的调度与传输,随机截取视频中的图像作为实验室目标跟踪的数据集,如图 3 所示。



图 3 实验室目标跟踪数据集

以图 3 截取的图像作为参考,并融合预设的场景完成实验环境的仿真与数据集的构建,为后续的测试奠定基础。

2.2 视频像素匹配结果

使用 Leica AT930 激光跟踪仪对实验室的场景进行捕捉,随机导入 FM 场景和 QM 场景为目标,输出真实的跟踪结果,如图 4 所示。

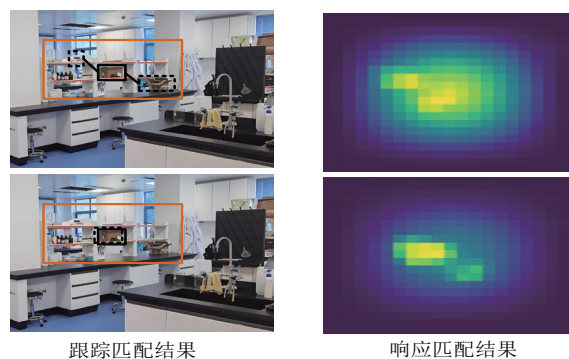


图 4 视频像素匹配结果

由图 4 可知,所提方法结合 FM 场景和 QM 场景中存在的可捕捉跟踪特征,输出了真实的匹配像素图像。结果表明,基于物联网视频增强的优势,在图像块中采用单尺度 Retinex 算法捕获模糊像素,并通过特征比对的方式实现了高精度的视频像素匹配,从而增强了匹配的鲁棒性。

2.3 逐次跟踪逼近概率结果

将输出的视频像素匹配结果作为目标,在明确激光点跟踪像素坐标之后,确定具体变化斜率,假定二次逼近模式,对选定的安防目标搜索测试,以 FM 场景为例,在匀速、匀加速和动态 3 种情况下,分析最终的逐次跟踪逼近概率结果,

如图 5 所示。

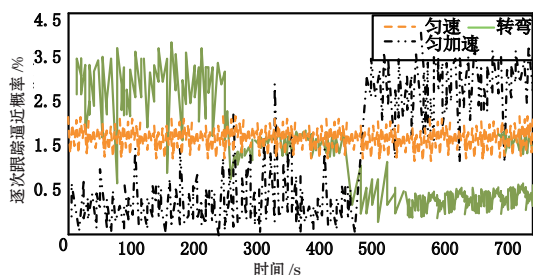


图 5 逐次跟踪逼近概率结果

图 5 结果分析可知，在匀速状态下，跟踪概率分布较为平均，稳定在 1.5~2.5 之间；而在匀加速状态下，跟踪逼近概率呈现出正向增长趋势，随速度提升逐步增加；在转弯状态下，跟踪逼近概率则根据转弯位置发生相应变化，体现了目标运动状态对跟踪结果的影响。结果显示，本文方法能够针对不同目标运动状态（匀速、匀加速、转弯）产生相应的跟踪逼近概率变化。这表明该方法具备灵活适应目标动态变化的能力，能够根据实际运动状态调整跟踪策略，从而提高跟踪的准确性和稳定性。

2.4 目标跟踪性能结果分析

为进一步验证实验室目标跟踪方法的性能效果，选取文献中的两种方法作为对照，展开对比实验。实验场景设定为低帧率（LR）环境，模拟设备监控与异常情况。根据设备标定的 RFID 标签，基于不同时间段测定跟踪均方根误差，实验结果如图 6 所示。

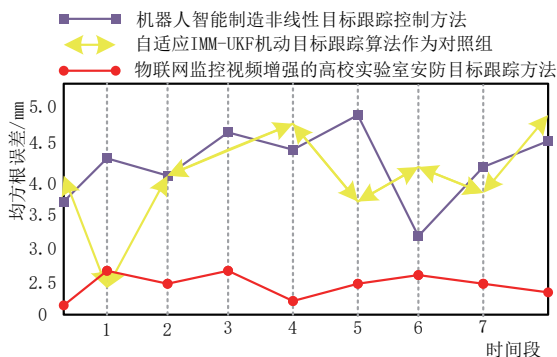


图 6 实验室目标跟踪均方根误差结果

通过图 6 结果可知，本文提出方法的均方根误差被控制在 3 mm 以下，而选定的两种对比方法的均方根误差则相对较高。这一结果表明，本文方法在视频增强技术的基础上，对像素点的捕捉和移动目标的跟踪定位更加快速、稳定，跟踪效果显著优于对比方法，对提升跟踪精度具有重要的实际意义和应用价值。

3 结语

本研究提出一种基于物联网监控视频增强的高校实验室

安防目标跟踪方法。该方法通过滤波器划分视频帧为多尺度图像块，强化特征提取的稳健性，并运用单尺度 Retinex 算法校正图像像素点，精确识别模糊跟踪目标，有效减轻光照不均的影响。在此基础上，利用提取的特征作为引导，实现像素点的精准匹配。同时，该方法同步进行视频图像的分割与搜索，依据匹配的像素点在分割区域中执行逐次跟踪逼近。通过插值法对逼近点进行转换和优化，持续搜索并跟踪目标，最终输出连续、平滑的目标轨迹。实验结果验证了该方法在目标跟踪中的高效性和可靠性，为高校实验室安防系统的创新与性能强化提供了坚实的基础。

参考文献：

- [1] 田咏麟,赵英杰,张啸,等.机器人智能制造中的非线性目标跟踪控制[J/OL].控制工程,1-8[2024-11-12].<https://doi.org/10.14107/j.cnki.kzgc.20240932>.
- [2] 周晓,牟新刚,柯文,等.自适应 IMM-UKF 机动目标跟踪算法[J].系统工程与电子技术,1-12[2025-01-13].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2422.TN.20250206.1318.002.html>.
- [3] 陈健,鲁长春.考虑遮挡的视频图像运动目标激光跟踪定位方法[J].现代电子技术,2025,48(3):76-80.
- [4] 穆晓芳,李毫,刘嘉骥,等.跨越环境下特定多目标跟踪算法的改进[J].太原理工大学学报,2025,56(1):165-173.
- [5] 郭虎升,刘正琪,刘艳杰,等.时空特征强化与感知的视觉目标跟踪方法[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2025,53(1):60-70.
- [6] 黄权印,蔡益朝,李浩,等.基于 GRU 预测的改进 UKF 普适目标跟踪算法[J/OL].现代防御技术,1-18[2024-07-01].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3019.tj.20241230.1040.002.html>.
- [7] 黄晨,童维勤,刘雨,等.基于注意力和多级线索关联的多目标跟踪网络[J].计算机应用与软件,2024,41(12):161-166.
- [8] 邓宇浩,李琳.基于未知探测概率的 RAG-GLMB 多目标跟踪算法[J].中国惯性技术学报,2024,32(12):1191-1196.
- [9] 李豪.一种基于孪生网络的目标轮廓跟踪方法[J].计算机工程与科学,2024,46(12):2215-2226.

【作者简介】

仲文君(1989—),男,甘肃武威人,本科,副教授,研究方向:电子信息工程。

(收稿日期:2025-02-28 修回日期:2025-07-02)