

融合 CamShift 和改进 FairMOT 下的 Robei EDA 安防视频树叶遮挡异常检测系统设计

马海林

(青海警官职业学院 公安系, 西宁 810000)

摘要: 安防视频场景多处于自然光不饱和条件下, 光照强度、色温会随时间或天气产生动态波动, 这种波动会直接干扰 RGB 色彩概率分布统计, 导致亮度信息与色彩信息高度耦合, 难以识别安防视频中的异常状况; 为此, 设计一种融合连续自适应均值漂移算法色彩跟踪算法与改进多目标跟踪算法框架的异常检测系统; 基于 Robei EDA 平台构建硬件架构, 采用 FPGA、DSP 与 TVP5150 编码器协同的三通道并行处理方案, FPGA 负责视频采集与预处理, DSP 执行目标检测与跟踪, TVP5150 实现交互显示; 以树叶遮挡区域的色彩信息为特征, 将安防视频图像从 RGB 色彩空间变换到 HSV 色彩空间, 将树叶遮挡区域与背景分离, 降低亮度信息与色彩信息的耦合性, 利用 CamShift 对树叶遮挡区域进行自适应色彩跟踪; 结合改进 FairMOT 的多特征融合相似度矩阵与重识别损失优化, 采用重识别技术, 通过重识别损失函数自适应识别叶子是否为同一叶子遮挡的新个体, 判断检测目标是否为异常树叶遮挡目标, 实现 Robei EDA 安防视频树叶遮挡异常检测; 实验表明, 该方法分区结果中共有 5 个非树叶网格, 15 个树叶网格, 与实验指标一致; 当 FPR 为 10% 时, TPR 达 94%, 显著优于现有方法, 并且可以满足如今安防监控系统中树叶遮挡检测问题的主要需求, 具有可行性和应用价值。

关键词: 树叶遮挡检测; CamShift; 改进 FairMOT; 多特征融合; Robei EDA

Design of Robei EDA Security Video Leaf Occlusion Anomaly Detection System Integrating CamShift and Improved FairMOT

MA Hailin

(Department of Public Security, Qinghai Police Vocational College, Xining 810000, China)

Abstract: There are often insufficient natural lighting conditions in security video scenes, where the intensity and color temperature of illumination will dynamically fluctuate with time or weather. This fluctuation will directly interfere with the probability distribution statistics of RGB colors, resulting in a high coupling between brightness information and color information, making it difficult to identify abnormal situations in security videos. Therefore, an anomaly detection system is designed, which integrates a color tracking algorithm for continuous adaptive mean shifts and an improved multi-target tracking framework, which constructs a hardware architecture based on the Robei EDA platform and adopts a three channel parallel processing scheme for the collaboration between an FPGA, DSP, and TVP5150 encoder, where the FPGA is responsible for video capture and preprocessing, The DSP for detection and tracking of targets, and the TVP5150 for interactive display. With the color information of leaf-occluded regions as features, the security video image is transformed from the RGB color space to the HSV color space. The leaf occlusion regions are separated from the background to reduce the coupling between brightness information and color information. The continuously adaptive mean-SHIFT (CamShift) is used for adaptive color tracking of leaf-occluded regions. By combining improved fair multi-object tracking (FairMOT) multi-feature fusion similarity matrix with re identification loss optimization, the re identification technology is adopted to adaptively identify whether a leaf is a new individual occluded by the same leaf through the re identification loss function, and to determine whether the detection target is an abnormal leaf occluded target, achieving the leaf-occluded anomaly detection of Robei EDA security videos. Experiment shows that in the partitioning results, this method has a total of 5 non leaf grids and 15 leaf

收稿日期:2025-08-25; 修回日期:2025-10-16。

作者简介:马海林(1978-),男,大学本科,讲师。

引用格式:马海林.融合 CamShift 和改进 FairMOT 下的 Robei EDA 安防视频树叶遮挡异常检测系统设计[J].计算机测量与控制,2026,34(4):57-64.

grids, which are consistent with the experimental indicators, and the *TPR* reaches up to 94% with an *FPR* of 10%. This method is notably superior to the existing methods and meets main needs of leaf-occluded detection in today's security monitoring systems, with a feasibility and application value.

Keywords: leaf-occluded detection; CamShift; improved FairMOT; multi-feature fusion; Robei EDA

0 引言

在视频监控系统中, 由于使用场景具有多样性与特殊性, 不同环境下的操作所受影响也不尽相同。树叶遮挡是视频异常的一种, 在道路、小区监控等场景中尤为常见。这是因为监测点位置固定, 而随着季节变化、城市绿化推进以及树木生长, 一些原本无遮挡的摄像头, 在某个季节或安装后的某一时期, 可能会被枝叶遮挡。视频被遮挡会导致监控系统中大量监控信息缺失, 给公共安全管理带来极大危害, 在一些重要监控点位, 甚至可能造成无法弥补的损失^[1]。同时, 树叶遮挡还会使智能监测系统中的多种检测和处理算法无法正常执行, 对整个系统产生很大负面影响。因此, 视频中的树叶遮挡检测技术是一项非常有意义的研究课题。

针对监控领域的遮挡异常问题, 宋鹏程等人^[2]提出了利用局部—全局时间依赖的检测方法, 利用多尺度时间跨度特征融合模块, 捕获安防视频不同时间区间内受树叶遮挡片段的局部时间关联性。利用多场景自注意力模块, 整合安防视频中所有受树叶遮挡及未遮挡片段的信息, 利用遮挡特征强化注意力模块, 优化受树叶遮挡片段内部特征权重, 从而检测安防视频中受树叶遮挡异常情况。该方法容易受到天气影响, 导致与树叶遮挡无关的时间特征混入, 影响检测精度。刘辉等人^[3]提出了卷积自编码网络的检测方法, 使用 3D 时空卷积模块提取安防视频中受树叶遮挡片段的时空特征, 通过正常安防视频数据模拟受树叶遮挡异常情况的数据分布来生成伪树叶遮挡异常数据, 基于间隔抽帧的方法和基于局部区域选取的方法, 检测安防视频树叶异常遮挡情况。该方法选取局部区域可能无法全面覆盖所有可能的异常位置, 影响检测精度。肖剑等人^[4]提出了基于前景对象检测和回归的检测方法, 利用安防目标检测器检测视频中受树叶遮挡影响的前景目标对象, 并构建以受树叶遮挡目标对象为中心的时空立方体, 并采用随机打乱树叶遮挡特征分布的方法构造伪树叶遮挡异常数据, 在有监督学习范式下检测异常遮挡情况。该方法对于大面积的树叶遮挡, 检测器可能会将整个遮挡区域误判为一个大型目标。常兴亚等人^[5]提出了基于多任务学习的检测方法, 利用安防前景检测算法获取安防视频光流图像中受树叶遮挡影响的目标区域, 将选取的区域送入到专门针对树叶遮挡场景优化的编码—解码网络, 完成未来受遮挡运动重构, 使用深度概率网络给出的概率值作为判断

树叶遮挡异常的决策依据, 以此判断安防视频中树叶遮挡的异常性。该方法无法很好地适应这些复杂场景, 降低整个异常检测系统的可靠性。

针对上述方法存在的问题, 设计了融合连续自适应均值漂移算法 (CamShift, continuously adaptive mean-SHIFT) 和改进改进多目标跟踪算法框架 (FairMOT, fair multi-object tracking) 下的 Robei EDA 安防视频树叶遮挡异常检测系统。使用 CamShift 算法进行树叶遮挡异常区域, 利用改进 FairMOT 对目标区域检测。

1 Robei EDA 安防视频树叶遮挡异常检测硬件结构设计

Robei EDA 安防视频树叶遮挡异常检测系统结构构建了包含 DSP 高效能处理器、TVP5150 编码器以及 FPGA 逻辑控制器的目标检测框架。鉴于树叶遮挡异常检测算法复杂且存在大量重复计算, 系统采用 3 条通道并行处理架构^[6]。其中, DSP 模块专注于执行目标检测与跟踪, 以应对复杂计算任务; FPGA 模块负责视频图像的预处理工作, 并精准控制系统的时序逻辑, 保障系统稳定运行; TVP5150 编码器则着重实现界面交互与系统处理结果的清晰显示, 系统结构如图 1 所示。

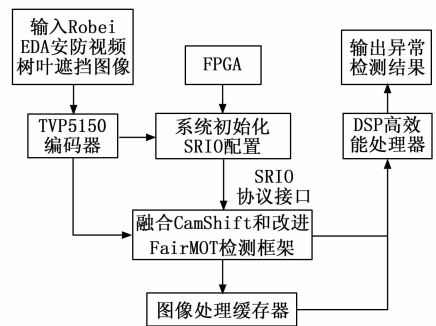


图 1 总体结构

在图 1 中, 利用 FPGA 完成视频信号的采集工作, 同时借助 FPGA 实现对海量数据的并行处理。在摄像机与 FPGA 进行并行通信的过程中, FPGA 通过其 IP 核构建一个双口 RAM 用于缓存图像。FPGA 的 IVDS 接口以低压差分技术接收图像数据, 其内部 RAM 对并行数据进行读写操作^[7]。随后, FPGA 将数据传输至 DSP, 并借助 SRIO 串口协议实现与 DSP 的通信。因此, FPGA 还需完成串并转换功能。

并串接口采用状态机设计, 工作流程如下: 首先判定重置信号, 若重置信号为 0, 则执行重置操作: 将串

行单总线的 seriallink 的终止标志 serialend 清零, 应答信号 ack 置 0, 输入数据缓冲寄存器 bufer [7: 0] 清零。完成重置后, 模块进入闲置状态, 中断串行链路, 将串行链路设为 0, 串行口设为闲置, ack 设为 0, 并把并行地址 address [7: 0] 写入 bufer [7: 0]; 接着, 模块进入写地址状态机。此时对序列进行判定: 若序列为 0, 将序列数据设为 1, 把地址串行输出序列数据设为缓冲区 bufer [7]。在循环中, 缓冲区每向左移动一个比特, 就输出缓冲区 bufer [7], 直至输出地址的最小比特, 之后将 seriallink 置为 0, 再设置为 1; 若序列为 1, 串行输出状态机处于闲置状态, 把并行数据 data [7: 0] 存储到缓冲区 bufer [7: 0] 中, 并将序列设置为 0; 下一步, 模块进入写数据状态机。判定序列是否为 0: 若序列为 0, 也与写地址类似的方式传送数据, 串行输出序列数据循环到缓冲区 bufer [7]; 若序列为 1, 将暂停序列连接设置为 0, 序列设置为 0, 返回信号设置为 1; 最终, 模块进入终接状态机, 将 ack 设置为 0, 完成一次写入操作。当主机收到 ack 后, 由信号源提供下一步动作目标, 模块再次进入闲置状态, 如此循环往复。

TVP5150 的编码器采用 TVP5150 视频 A/D 解码芯片, 其结构如图 2 所示。

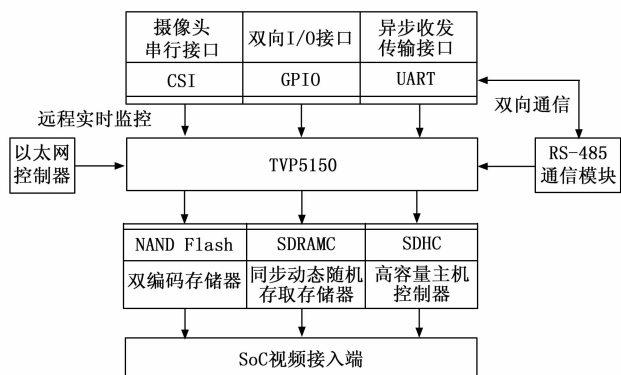


图 2 TVP5150 的编码器结构

图 2 中, CSI 为一种高速串行接口, 用以将摄像机与处理器相连, 并可进行高速的影像资料传送; GPIO 接口可以与多种外设相连, 可以实现对数字信号的简单输入和输出; UART 是一种异步发送和接收的接口, 它可以完成串行通信, 并且可以把串行的数据转换成并行的数据^[8]; NAND 闪存控制器主要用来对存储器进行读取和写入, 以保证图像数据的精确稳定存储; SDRAMC 是用来协调 CPU 和 SDRAM 间的数据传递; SDHC 是一种可扩充的存储装置, 主要用来存储视频数据和异常检测记录。

摄像头产生的模拟视频信号先进入 TVP5150 视频 A/D 解码芯片, 在该芯片中进行模数转化, 将模拟信

号转换为数字信号。转换后的数字视频信号被传递给 SoC 的视频接入端, 完成视频信号的采集工作, 为后续处理提供基础数据^[9]。经过预处理的视频数据被送入 SoC 相应的线程, 分别进行双流编码处理和异常检测。对于双流编码处理对视频数据进行双流编码处理, 以满足不同场景下的视频存储和传输需求, 例如一路编码用于本地高清存储, 另一路编码用于实时网络传输; 对于异常检测, 运用融合 CamShift 和改进 FairMOT 检测算法对视频数据进行分析, 判断是否存在树叶遮挡异常情况, 并记录异常发生的时间、位置以及异常程度等关键信息。

2 融合 CamShift 和改进 FairMOT 的异常检测研究

在安防视频中, 树叶遮挡场景具有独特复杂性。CamShift 算法应用于此场景具有显著优势, 它以树叶遮挡区域的色彩信息为特征进行跟踪。RGB 色彩易受光照和亮度影响, 而 HSV 色彩空间的 H 成分能更精确稳定刻画树叶色彩信息, CamShift 算法基于此, 在跟踪时不受树叶遮挡区域变形干扰, 对动态形变和尺度变化有强稳定性。光照、季节变化会使树叶颜色改变, 通过实时统计更新图像颜色分布, 可自适应调整对物体颜色的感知, 实现精确跟踪。例如光照强时重新计算叶片颜色分布概率, 修正颜色感知。将 CamShift 算法应用于树叶遮挡异常区域跟踪, 能有效应对复杂场景变化, 为后续异常检测提供准确基础数据, 体现该选择的合理性与有效性。

2.1 基于 CamShift 的树叶遮挡异常区域跟踪

在结合 CamShift 与改进 FairMOT 的异常检测算法中, 软件层面的实现需围绕目标跟踪稳定性优化与异常行为判定效率展开。程序流程分为三个阶段: 首先, 初始化阶段通过改进 FairMOT 生成多目标轨迹, 利用其动态加权融合机制获取初始跟踪框; 随后进入 CamShift 优化阶段, 针对每个目标提取 HSV 色彩直方图, 通过反向投影与均值漂移迭代调整跟踪框, 补偿 FairMOT 在快速运动或局部遮挡下的位置偏差; 最终异常判定阶段, 基于轨迹的瞬时速度、方向突变率及空间聚集度构建异常评分模型, 当评分超过阈值时触发警报。

安防视频中, 树叶遮挡区域会因阳光照射角度变化、风力扰动、摄像机视角变化等因素产生动态形变和尺度变化, 使亮度信息与色彩信息高度耦合, 进而产生跟踪不稳定问题。Camshift 跟踪方法以树叶遮挡区域的色彩信息为特征, 利用色彩信息容易获取, 并且在跟踪时不受树叶遮挡区域变形影响的优势, 对树叶遮挡区域在安防视频中的运动轨迹有较强的跟踪稳定性。

色彩概率分布是一种统计直方图, 它用来描述树叶

遮挡区域的色彩信息, RGB 色彩会受到安防视频场景中光照和亮度等因素的影响, HSV 色彩空间的 H 成分能更精确、更稳定地刻画树叶遮挡区域的色彩信息^[10]。在应用 Camshift 算法对 Robei EDA 安防视频进行树叶遮挡异常检测之前, 需要对安防视频图像进行 RGB 色彩空间的变换。在此基础上, 利用灰度直方图求出各帧检索窗(对应安防视频中树叶遮挡区域相关窗口)的色彩概率分布^[11-12]。采用基于彩色概率分布的 Meanshift 算法对树叶遮挡区域进行定位。该方法是根据上一帧中树叶遮挡对象的位置及尺寸进行更新的, 从而使该检索窗的位置成为下一帧安防视频图像中被追踪树叶遮挡对象的起始位置, 如此反复, 最终达到对安防视频序列中随着阳光照射而动态变化的树叶遮挡对象的持续追踪。具体实现流程如下所示。

1) 获取安防视频中树叶遮挡区域直方图:

在安防视频中, 树叶遮挡区域与周围环境的色彩往往存在较大差异。借助树叶遮挡区域的直方图, 能够将树叶遮挡区域与背景分离开来, 进而提升 Camshift 跟踪方法的精度, 减少背景干扰对跟踪结果的影响。

假设被人工标注的安全视频中, 树叶遮挡区域由 n 个像素组成, 其色彩直方图被平均划分为 m 层。用 $Z(a_i)$ 来表示第 i 个像素点 a_i 所对应的色彩等级, o 表示色度直方图的等级, 对于树叶遮挡区域 H 分量直方图可表示为:

$$H = \sum_{i=1}^n \vartheta[Z(a_i) - o] \quad (1)$$

式中, $\vartheta[\cdot]$ 表示用于判断像素点色彩级别与当前统计级别是否一致的函数。

2) 计算色彩分布概率:

由于光照和季节变化, 安防视频中的树叶遮挡区域颜色会发生改变。基于此, 对图像中的颜色分布进行统计并实时更新, 可实现对树叶遮挡区域颜色的自适应。例如, 当光照强度较大时, 重新计算叶片的颜色分布概率, 以此实时修正对物体颜色的感知, 进而实现对被遮挡区域的精确跟踪。

通过安防视频中树叶遮挡区域的 H 分量色彩直方图, 能够对树叶遮挡目标区域内各个像素值出现的次数进行统计。遍历安防视频图像中的各个像素点, 用该像素值出现的概率替代原有的像素值, 并将其归一化到 $[0, 255]$ 区间, 基于此, 利用树叶遮挡目标区域内所有像素值的出现次数来计算各像素值发生的概率, 公式为:

$$P(H) = \min\left(\frac{255}{\max(H)}, 255\right) \quad (2)$$

3) 树叶遮挡区域的质心跟踪:

在安防视频中, 由于叶子与摄像机之间的距离不

同, 叶子遮挡的面积会发生不同程度地变化。通过动态调节图像质量中心的位置及色彩分布, 使 Camshift 算法具备对物体尺度变化的自适应性, 进而确保跟踪精度。例如, 当树叶遮挡区域越来越靠近摄像机时, 追踪窗口会自动扩大, 以实现目标的完全覆盖; 反之, 当目标距离摄像机越来越远时, 追踪视窗会相应缩小。跟踪窗口内像素值的总和, 可表示为:

$$E_0 = \sum_x \sum_y R(x, y) \quad (3)$$

式中, $R(x, y)$ 表示反向投影图中坐标为 (x, y) 的像素点的像素值^[13]。跟踪窗口在 x, y 方向上像素值分布情况, 计算公式为:

$$E_x = \sum_x \sum_y R_x(x, y) \quad (4)$$

$$E_y = \sum_x \sum_y R_y(x, y) \quad (5)$$

式中, $R_x(x, y)$ 、 $R_y(x, y)$ 分别表示 x, y 方向的像素值分布情况^[14]。基于上述计算得到的像素值分布情况, 可以求出跟踪树叶遮挡区域窗口的质心坐标, 计算公式如下:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{E_x}{E_0} \\ y_0 = \frac{E_y}{E_0} \end{cases} \quad (6)$$

4) 判断跟踪窗口的质心位置:

判断跟踪窗口的质心位置的距离是否小于一个固定的阈值。若已满足收敛条件, 则跟踪窗口的质心位置就是目标(树叶遮挡区域)在当前帧中的位置, 并将此位置作为下一帧搜索的起始位置; 若不满足收敛条件, 需要调整搜索窗口, 重新进行上述跟踪和调整过程, 以此实现树叶遮挡异常区域跟踪。

2.2 改进 FairMOT 下的树叶遮挡异常检测

树叶遮挡的动态性会使目标外观特征模糊、检测置信度降低, 进而产生量化误差。为提高异常检测精度, 根据异常区域跟踪结果, 对视频帧图像进行了一个并行分支的设计, 分别用来输出热力图、检测框尺寸和中心偏移。热力图表示当前帧中树叶遮挡区域中心位置的置信度, 检测框尺寸用于回归树叶遮挡区域的宽度和高度, 中心偏移用于补偿由于图像分辨率限制导致的中心点位置的量化误差。根据当前帧中真实树叶遮挡区域的标注形式, 目标真实框中心坐标可以表示为:

$$(x_a, y_a) = \left(\frac{x_0}{2}, \frac{y_0}{2}\right) \quad (7)$$

遮挡目标真实坐标混合概率分布可以通过下式计算得到, 公式为:

$$P_u = \sum_{i=1}^n \exp\left[-\frac{(x_a - x_0)^2 + (y_a - y_0)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (8)$$

式中, σ 表示标准差^[15]。在安防视频中, 树叶遮挡会导

致遮挡区域发生突变且运动状态异常。通过建立精准的热力图损失函数,能够更有效地检测这些异常现象。当出现树叶遮挡时,树叶的实际位置、形状等信息会发生变化,借助热力图损失函数的反馈,可以实时感知树叶的这些变化,从而更精确地判定树叶的遮挡情况。独热编码 ID 标签能够明确地指示每个样本所属的真实类别,在计算损失函数时可以方便地预测结果与独热编码的真实标签进行对比,从而准确地计算损失值,引导模型学习到能够有效区分不同树叶遮挡个体的特征表示。编码后的向量,可表示为:

$$J = \begin{cases} -\frac{1}{n} \sum_{(x_c, y_c, c)} [(1 - P_u) \cdot \omega_u \cdot \log P_u] & P_u = 1 \\ -\frac{1}{n} \sum_{(x_c, y_c, c)} [(1 - P_u)^{\alpha} \cdot P_u \cdot \omega_u \cdot \log(1 - P_u)] & P_u \neq 1 \end{cases} \quad (9)$$

式中, c 表示热力图中每个像素点的通道索引^[16]; ω_u 表示用于调整难易样本在损失计算中的权重^[17]; α 表示用于平衡正样本和负样本在损失计算中的比例^[18]。

树叶的遮挡状况会随时间、光照和风力而改变。当树叶摇晃、变形,或者叶子的一小片掉落,就会造成遮蔽的面积变化。重识别能够自适应地识别出叶子是否为同一叶子遮挡的新个体,从而确保跟踪连续性与精确性。重识别损失函数可表示为:

$$L = - \sum_{(x_c, y_c, c)} [J \cdot \log(1 - P_u)] \quad (10)$$

在非理想的针对视频树叶遮挡场景的 FairMOT 模式下的目标关联算法里,由于忽略了低置信度树叶遮挡目标的影响,当出现较大面积树叶遮挡情况时,树叶遮挡目标的运动轨迹会丧失连续性。此外,该算法还存在当前帧树叶遮挡目标定位信息不精确、未充分考虑树叶遮挡对象表观相似性以及提取的树叶遮挡表观特征不清晰等问题^[19]。这些问题导致在各个相关匹配层次上,仅采用单一特征(如仅用运动特征或外观特征)的相似度矩阵难以构建出最优的相似性矩阵,进而增加了树叶遮挡目标间的身份转换次数。为此,改进了 FairMOT 框架。

在改进 FairMOT 框架以应用于视频树叶遮挡异常检测时,采用多特征融合相似度矩阵(MF, multi-feature fusion similarity matrix)与位置信息相似度矩阵(IoU, intersection over union),对各匹配层次的相似性矩阵进行精细化处理。同时,调节不同匹配层次间的权重比例,以此构建更优的相似性矩阵,降低各层次间的相互干扰,进而减少树叶遮挡目标运动的交互频次。MF、IoU 计算公式可表示为:

$$MF = \frac{I_{e1} \cdot I_{e2}}{\|I_{e1}\| \|I_{e2}\|} \quad (11)$$

$$IoU = 1 - \frac{|L_1 \cap L_2|}{|L_1 \cup L_2|} \quad (12)$$

式中, I_{e1} 、 I_{e2} 分别为树叶遮挡异常表观实际特征序列和重识别特征序列; L_1 、 L_2 分别表示重识的实际边界框和检测边界框。利用精细化关联匹配结果,通过对不同相似度矩阵可信度调节,能够获取更好的相似度矩阵,可用如下公式表示:

$$ER = \omega_1 MF + \omega_2 IoU \quad (13)$$

式中, ω_1 、 ω_2 分别表示 MF、IoU 的调节权重。在第一层的关联匹配中,将一组具有较高置信度的重识别特征与当前一组检测对象进行匹配。引入表观信息,并采用调整权重较低的 EM 相似性矩阵来校正局部遮挡对象,从而实现重识别丢失优化,为后续基于重识别丢失的异常检测奠定精确基础;在第二层的关联匹配中,由于剩余的重识别特征序列集可信度普遍较低,且存在大量遮挡对象,导致该层次的重识别序列对当前帧的定位精度欠佳,更适用于长距离匹配。因此,引入调整权重较低的 IoU 相似性矩阵,对表观特征不明确以及表观特征提取不清晰的重识别特征进行校正,以实现重识别丢失的最优关联,进而辅助提升异常检测的精度;在第三层的关联匹配中,运用已有的图像匹配算法对图像进行匹配操作。通过调整 EM、IoU 相似性矩阵的权重来辅助图像匹配,同时分析前后两帧图像间的相关性,以此提升以再辨识损失最小化为目标的匹配精度。

在改进 FairMOT 框架时,针对多特征融合与位置信息相似度矩阵的协同优化,需重点阐明其降低匹配干扰的机制。传统方法中,特征相似度与位置相似度独立计算且权重固定,导致在遮挡或密集场景下,位置误差易干扰特征匹配,而特征模糊时位置信息又难以补全,形成匹配层次间的相互干扰。

改进方案通过动态加权融合实现解耦:首先,基于 Re-ID 分支提取的多层特征构建特征相似度矩阵,聚焦目标身份区分;同时,利用卡尔曼滤波预测轨迹与当前检测框的 IoU 及空间距离构建位置相似度矩阵,捕捉运动连续性。两者通过不确定性驱动的动态权重融合,当位置信息可靠时,自动偏向运动相似度,提升轨迹平滑性;当位置受遮挡干扰时,转向特征相似度,维持身份一致性。

根据最终的相似度矩阵 ER,对于每一个检测目标,找到与之相似度最大的跟踪目标特征序列。设定一个相似度阈值 EQ,如果 $ER > EQ$,则认为检测目标与跟踪目标特征序列是同一树叶遮挡目标,属于正常情况;如果 $ER \leq EQ$,则判定检测目标为异常树叶遮挡目标。

3 实验与分析

3.1 实验环境搭建

2023 年 7 月 2 日突降大雨,位于写字楼停车场出

现了刮碰现象。经过现场调取录像发现，树叶遮挡了摄像头，导致无法清晰捕捉到停车区域内的所有活动。Robei EDA 安防视频，如图 3 所示。



图 3 Robei EDA 安防视频

为了验证融合 CamShift 算法和改进 FairMOT 算法的 Robei EDA 安防视频树叶遮挡异常检测系统的有效性，使用 Matlab2010b 软件进行测试。本实验数据集为自制数据集，主要由 3 部分构成。1) 从写字楼停车场监控录像中提取的 300 个正常监控视频与 18 个有树叶遮挡的视频样本，场景为室外停车场，存在自然光照变化及车辆、行人活动，标注了正常活动与树叶遮挡区域；2) 室外采集的 10 个无遮挡视频和 10 个有树叶遮挡视频，涵盖不同天气（如晴天、多云）和时段，标注了树叶遮挡范围；3) 将前两部分整合，经筛选与平衡正负样本后，得到 320 个样本用于实验研究，标注采用人工与半自动结合方式，确保准确性与效率，为算法验证提供可靠数据支撑。

3.2 实验装置

实验装置采用了高解析度和高灵敏度的 PTC-305 摄像头，保证了即使在严酷的气候环境中，也可以保持清晰的影像。在停车场的关键位置设置了监控探头，以保证监控范围。同时，为 Robei EDA 系统的硬件加速提供可编程门阵列或其他硬件平台。在系统中安装了 Robei EDA 工具、OpenCV 视频处理库和所需的程序环境，将视频录制速度设定为 30 秒/次，并对视频进行持续采集。其中 Robei EDA 工具核心参数，如表 1 所示。

表 1 Robei EDA 工具核心参数

名称	参数
三级流水线架构最高主频	200 MHz
SRAM 指令	24 kB
可重构引脚	80 个
DVP 摄像头接口	1 080 p 分辨率视频流
DMA 传输指令	16~32 kB
SPI 接口数量	2 个

Robei EDA 是一种可以提供外部 SD 卡的自动电子设计工具，可以用来进行日志和数据储存。它与摄像机

相连，可采集 1 080 p 分辨率的视频流，也可以支持 YUV、RGB 等多种格式的输入，并能自动将其转化成内部的处理格式。对于视频数据的处理，本工具充分发挥了 FPGA 强大的并行运算能力，能够对多个视频帧进行同步处理。同时利用 BRAM 对数据进行存储，降低了对外存的存取延时，提高了系统的实时性。

在发现有树叶遮挡的情况下，利用 GPIO 接口，可以启动蜂鸣器、LED 灯等报警信号，同时还可以通过 UART/WiFi 等方式向监测中心发送报警信息。另外，本工具还能将遮挡情况的重要信息记录到 SD 卡中，并将测试结果通过 HDMI 线进行输出，方便现场调试和校验。

3.3 实验结果

将视频分割成 20 个单元（5×4 网格），方便实验过程中对各个子区域的树叶遮挡自动检测。这种分块处理方式可以更准确地定位树叶遮挡具体位置，从而有效地实现树叶遮挡异常区域跟踪。结果如图 4 所示。

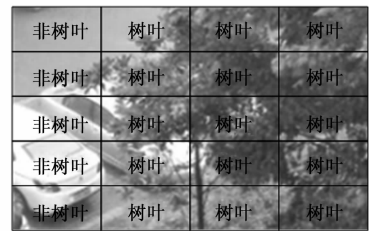


图 4 树叶遮挡异常区域跟踪结果

由图 4 可知，该分区结果呈现出了清晰的网格化分布状态。在这 20 个网格中，经过系统的检测与分析，明确区分出了非树叶网格和树叶网格。其中，共有 5 个非树叶网格，这些非树叶网格所对应的区域，系统判定不存在树叶遮挡情况。而另外 15 个网格被判定为树叶网格，这意味着这些子区域存在树叶遮挡现象。因为融合 CamShift 和改进 FairMOT 系统采用 HSV 色彩空间的 H 分量构建直方图，因其对光照变化不敏感，能更稳定地刻画树叶遮挡区域的色彩特征，使直方图统计后能有效分离目标区域，完成树叶遮挡异常区域跟踪。

使用局部-全局时间依赖的检测方法、卷积自编码网络的检测方法、基于前景对象检测和回归的检测方法、基于多任务学习的检测方法、融合 CamShift 和改进 FairMOT 下的检测方法，对比分析分区结果，如图 5 所示。

由图 5 可知，使用局部-全局时间依赖的检测方法，分区结果中共有 8 个非树叶网格，12 个树叶网格。该方法主要依据时间序列上的局部和全局特征来检测遮挡，当树叶遮挡情况复杂多变时，难以精准区分树叶遮挡与其他类似动态变化（如正常物体移动），导致检测

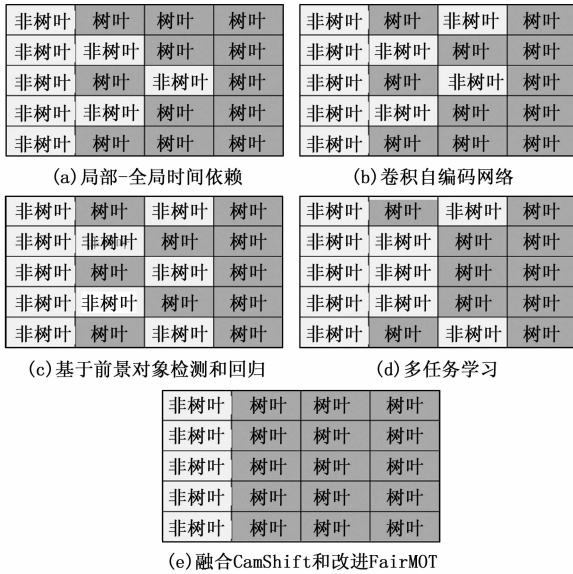


图 5 不同方法分区结果

能力受限；使用卷积自编码网络的检测方法，分区结果中共有 9 个非树叶网格，11 个树叶网格。在树叶遮挡检测场景中，该方法无法学习到足够具有区分性的特征，导致检测性能不佳；使用基于前景对象检测和回归检测方法，分区结果中共有 10 个非树叶网格，10 个树叶网格。该方法难以充分考虑到遮挡的动态变化和复杂场景因素，如树叶的飘动、重叠等情况，使得检测结果不够准确；使用多任务学习检测方法，分区结果中共有 10 个非树叶网格，10 个树叶网格。任务学习虽然可以同时学习多个相关任务，但在树叶遮挡检测中，各任务之间的关联性和优化目标不够明确，影响检测的精准度；使用融合 CamShift 和改进 FairMOT 的检测方法，分区结果中共有 5 个非树叶网格，15 个树叶网格，能够对目标进行持续跟踪，快速定位可能存在遮挡的区域，分区结果与实验指标一致。在不同光照条件下，本文融合 CamShift 和改进 FairMOT 的方法表现出较好的稳定性。在强光照射下，部分树叶可能会出现反光，导致色彩特征发生变化。但由于本文方法采用 HSV 色彩空间的 H 分量构建直方图， H 分量对光照变化不敏感，能有效刻画树叶遮挡区域的色彩特征，使得直方图统计后依然可以准确分离目标区域。同时，改进 FairMOT 框架中的多特征融合相似度矩阵与位置信息相似度矩阵，能综合利用目标的多种特征和位置信息，减少光照变化对目标关联的影响，从而保证在光照变化场景下仍能准确检测树叶遮挡目标。

ROC 曲线下面积 (AUC-ROC, area under the receiver operating characteristic curve) 是评估异常检测模型性能的核心指标之一，其数值大小直接反映了模型在不同阈值下区分正常样本与异常样本 (如树叶遮挡) 的

能力。采用 ROC 曲线下面积作为实验指标，ROC 面积越大说明异常检测精度越高。使用不同方法对比分析 ROC 曲线下面积，结果如图 6 所示。

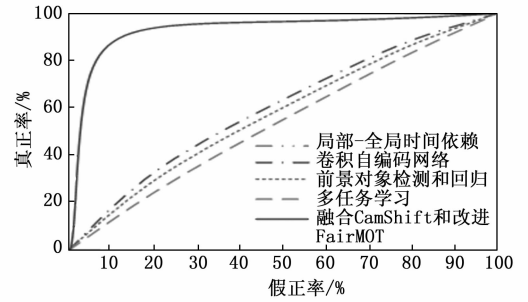


图 6 不同方法 ROC 曲线下面积对比结果

由图 6 可知，使用融合 CamShift 和改进 FairMOT 下的检测方法，能够更准确地跟踪多个目标，当假正率 (FPR, false positive rate) 为 10% 时，融合方法的真正率 (TPR, true positive rate) 接近 94%，随着假正率增加， TPR 逐渐增大。而使用局部-全局时间依赖的检测方法、卷积自编码网络的检测方法、基于前景对象检测和回归的检测方法、基于多任务学习的检测方法 TPR 明显较低，当 FPR 为 10% 时，不同方法的 TPR 分别约为 30%、20%、15%、12%。因为设计系统融合了 CamShift 和改进 FairMOT 方法，通过 CamShift 方法准确跟踪树叶遮挡目标的运动轨迹，利用改进 FairMOT 精准检测树叶遮挡区域并进行准确的目标关联。这种融合方法能够更准确地识别树叶遮挡目标，减少误判和漏判。

4 结束语

设计的融合 CamShift 与改进 FairMOT 的树叶遮挡检测系统，通过异构硬件架构与算法协同优化，有效解决了安防视频中因树叶遮挡导致的异常检测难题。实验表明系统分区检测结果与真实标注一致，当 FPR 为 10% 时， TPR 达 94%，显著优于现有方法，说明 FP-GA 并行预处理与三级匹配策略保障了复杂场景下的实时性能，CamShift 色彩自适应机制显著提升了对光照、季节变化的鲁棒性。

参考文献：

[1] 潘理虎, 彭守信, 张 睿, 等. 面向运动前景区域的视频异常检测 [J]. 计算机应用, 2025, 45 (4): 1300 - 1309.

[2] 宋鹏程, 郭立君, 张 荣. 利用局部-全局时间依赖的弱监督视频异常检测 [J]. 计算机应用, 2025, 45 (1): 240 - 246.

[3] 刘 辉, 何如瑾, 张琳玉, 等. 伪异常引导的卷积自编码网络视频异常检测 [J]. 微电子学与计算机, 2023, 40

(9): 38-44.

[4] 肖 剑, 刘天元, 吴 祥, 等. 基于前景对象检测和回归的视频异常检测方法 [J]. 南京师大学报 (自然科学版), 2024, 47 (2): 117-128.

[5] 常兴亚, 武云鹤, 陈东岳, 等. 基于多任务学习的视频异常检测方法 [J]. 仪器仪表学报, 2023, 44 (8): 21-29.

[6] 曹喆钦, 高立青. 基于混合注意力机制的视频异常检测算法 [J]. 计算机工程与设计, 2025, 46 (2): 500-507.

[7] 曾 静, 李 莹, 戚小莎, 等. 多层记忆增强生成对抗网络二次预测的视频异常检测方法 [J]. 应用科学学报, 2023, 41 (1): 80-94.

[8] 谭奕鑫, 詹永照, 刘洪麟. 基于显著特征和时空图网络的视频异常事件检测 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2025, 46 (2): 179-188.

[9] 陈景霞, 林文涛, 龙旻翔, 等. 基于 UNet3+生成对抗网络的视频异常检测 [J]. 计算机工程与设计, 2024, 45 (3): 777-784.

[10] 李致毅. 深度学习语义分割下太阳能电池片热斑检测 [J]. 电子设计工程, 2025, 33 (11): 50-53.

[11] 周炫余, 吴莲华, 郑勤华, 等. 联合语义提示和记忆增强的弱监督跳绳视频异常检测方法 [J]. 计算机工程, 2024, 50 (7): 87-95.

[12] 潘振鹏, 李志军, 薛超然, 等. 一种时间-外观能量扩

[10] 秦思怡, 盖绍彦, 达飞鹏. 混合采样下多级特征聚合的视频目标检测算法 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2024, 58 (1): 10-19.

[11] 庞枫睿, 赵鸿飞, 康营营. 融合不确定性估计的端到端视频事件检测算法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2024, 50 (12): 3759-3770.

[12] 郑中海, 高 茜, 刘鹏威, 等. 基于跟踪检测时序特征融合的视频遮挡目标分割方法 [J]. 计算机科学, 2024, 51 (1): 415-420.

[13] 孔 烜, 李思琪, 韩振勇, 等. 适用于中小跨径桥梁频率识别的移动检测车辆参数研究 [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2023, 50 (7): 12-22.

[14] 胡立伟, 陈 琛, 赵雪亭, 等. 基于行车风险场的快速路短交区间车辆交互风险识别 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2024, 24 (3): 221-231.

[15] 李玉华, 师文浩. 表征道路交通信息的特殊虚线交通标线设计与仿真 [J]. 武汉理工大学学报, 2023, 45 (1): 45-51.

[16] 石睿娟, 苏小宁, 鲍庆华, 等. 顾及随机特征的 GNSS 连续站坐标时间序列建模方法 [J]. 地球物理学报, 2024, 67 (6): 2110-2124.

[17] 郝 帅, 张 旭, 马 旭, 等. 基于 PKAMNet 的输电

散 Transformer 的无监督视频异常检测 [J]. 微电子学与计算机, 2025, 42 (2): 68-76.

[13] 柳德云, 李 莹, 周 震, 等. 基于时空依赖关系和特征融合的弱监督视频异常检测 [J]. 数据采集与处理, 2024, 39 (1): 204-214.

[14] 程 稳, 陈忠碧, 李庆庆, 等. 时空特征对齐的多目标跟踪算法 [J]. 光电工程, 2023, 50 (6): 61-73.

[15] 石瑞年, 何 强, 王恒友, 等. 动态运动约束下的视频异常检测 [J]. 重庆邮电大学学报 (自然科学版), 2025, 37 (1): 110-120.

[16] 肖进胜, 郭浩文, 谢红刚, 等. 监控视频异常行为检测的概率记忆自编码网络 [J]. 软件学报, 2023, 34 (9): 4362-4377.

[17] 严 飞, 徐 龙, 陈佳宇, 等. 改进 Camshift 算法实时目标跟踪实现 [J]. 计算机工程与设计, 2025, 46 (1): 314-320.

[18] 胡 昊, 史天运, 杨 文. 基于改进 FairMOT 的铁路周界入侵检测方法 [J]. 中国铁道科学, 2023, 44 (5): 222-232.

[19] 陈瑞东, 秦会斌. 多特征融合与 Kalman 滤波的 CAM-Shift 跟踪算法 [J]. 计算机仿真, 2024, 41 (3): 200-205.

[20] 李 旺, 张娜娜. 基于改进 FairMOT 的多目标跟踪算法 [J]. 计算机工程与应用, 2024, 60 (11): 139-146.

线路小目标故障检测方法 [J]. 高电压技术, 2023, 49 (8): 3385-3394.

[18] 张喜清, 李 进, 陈殿民, 等. 基于模型预测控制的智能车辆轨迹跟踪仿真 [J]. 计算机仿真, 2024, 41 (10): 114-120.

[19] 李东泽, 齐咏生, 刘利强, 等. 基于双流生成对抗网络数据增强的风电机组智能故障诊断 [J]. 电力自动化设备, 2024, 44 (11): 94-102.

[20] 张 卓, 雷 晏, 毛晓光, 等. 基于对抗生成网络的缺陷定位模型域数据增强方法 [J]. 软件学报, 2024, 35 (5): 2289-2306.

[21] 李斐然, 张雨甜, 魏 超, 等. 多轮分布式驱动车辆可重构集成协调控制方法 [J]. 兵工学报, 2023, 44 (1): 260-269.

[22] 丁深圳, 陈旭梅, 傅泽新, 等. 协同自适应巡航控制环境下车辆轨迹数据重构方法 [J]. 公路交通科技, 2023, 40 (8): 154-162.

[23] 林永杰, 陈 宁, 卢 凯. 基于毫米波雷达点云的路口车辆轨迹跟踪方法 [J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2023, 51 (10): 110-125.

[24] 于镇滔, 李若霆, 王忠庆, 等. 交互多模自适应容积 Kalman 滤波算法设计及履带车辆跟踪应用 [J]. 火力与指挥控制, 2023, 48 (12): 47-52.