

融合 HSL 颜色空间 ViBe 算法安防监控系统 运动目标检测的研究

何文乐¹ 陈光武¹
HE Wenle CHEN Guangwu

摘要

安防监控系统作为安防建设的重点工程,然而传统意义上的安防监控系统,运动目标的检测,仍需要人员固定的监控室实施监控,人防多于技防。这种运动目标的检测模式花费大量的人力资源,存在监控区域死角、监控及时性不足、只能事后调取处理。针对上述问题,文章提出了一种基于 HSL 颜色空间的 ViBe 检测算法,保证了检测算法的精准性和计算速度。

关键词

HSL 颜色空间; ViBe; 监控; 运动目标

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2026.06.037

0 引言

随着科技的进步,智能安防视频监控系统市场不断崛起,已经开始应用于各个领域当中。智能视频监控系统的智能化主要表现为对视频监控画面中的运动物体进行图像分析及图像分割等处理操作,实现对运动物体的检测,即目标检测。

1. 中山市中等专业学校 广东中山 528400

目前,对运动目标检测常用的方法可以划分为三类:光流场法、背景建模算法及块分割法。其中,基于光流场法的运动目标检测是根据光流的不连续性来对前景目标与监控画面背景进行分割。不同的光流区域对应着不同的运动物体,但光流法也存在自身的局限性,例如当检测目标被遮挡、监控场景光照突变、运动目标运动较快等场合时,光流场法的检测性能就下降;此外,光流场法的计算量也相对较大,系

明,在包含 S 型曲线、直线段与圆弧的复合轨迹测试中,该方法绝对位置跟踪误差较对比方法最高降低 74.8%,实现了移动平台与机械臂的高动态协调,显著提升了复杂扰动下的控制精度与鲁棒性。该研究为移动焊接机器人高精度运动控制提供了有效解决方案,后续工作可围绕控制器在更广泛扰动频谱下的适应性、多机协同控制策略集成及算法嵌入式实时实现等方面展开。

参考文献:

- [1] 罗卢洋,谈剑峰,黄海涛,等.工业机器人焊接平台的精准定位与运动控制研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2024, 59(4):118-121.
- [2] 曹海兰,张媛.基于 PLC 技术的焊接机器人主从协调运动控制系统研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(7):122-127.
- [3] 吴超群,赵松,雷艇.曲线焊缝的机器人焊接轨迹规划与高频控制[J]. 中国机械工程, 2023, 34(14):1723-1728.
- [4] 朱国栋.焊接机器人控制系统设计与实现[J]. 机械与电子控制工程, 2024, 6(11):193-195.

- [5] 张诚,袁慧铮,应之歌.应用多传感器激光视觉的焊接机器人变质心补偿控制[J]. 激光杂志, 2024, 45(1):236-241.
- [6] 程明权,秋钰洁,江鸣,等.基于 PLC 的机器人自动焊接设备控制系统的设计与研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(6):75-77.
- [7] 杨亮亮,方世坛.焊接机器人的摆动焊接轨迹规划策略研究[J]. 机械与电子, 2023, 41(1):39-45.
- [8] 陈彬,方杰,彭伊丽,等.基于约束性能的机器人焊接视觉伺服控制研究[J]. 机床与液压, 2025, 53(15):56-62.
- [9] 何余华,李夫强,周金龙.复杂金属接缝焊接机器人双臂非线性抖动控制方法研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2024(6):69-74.
- [10] 祁鹏.基于虚拟现实的工业机器人焊接轨迹控制仿真研究[J]. 中国新技术新产品, 2025(11):9-11.

【作者简介】

凌付平(1983—),男,江苏泰州人,硕士,高级实验师、高级工程师,研究方向:机械设计制造及其自动化。

(收稿日期:2026-03-09 修回日期:2026-06-03)

统运行效率低,实时性差。

基于背景建模的目标检测,针对单高斯背景建模对监控场景光照突变导致检测信息丢失的问题,Zoran提出一种基于多个高斯模型的背景分割方法,通过引入了负的先验系数,当权重小于既定阈值时,则减少高斯模型的数目。Kom等根据背景画面在视频图像序列中总被观测到的假设,提出了一种结合偏微分方程(PDE)的背景重构和前景目标分割算法。针对W4算法对光照强度发生突变目标监控检测效果较差的问题,上海交通大学的张志付在W4的基础上提出了一种Enhanced W4+算法,有效解决单纯W4算法的局限性。

1 ViBe 算法

ViBe (visual back ground extractor) 算法由比利时列日大学 (University of Liege) 的 Olivier Barnich 和 Marc Droogenbroeck 提出的一种新型背景建模算法^[1],基于像素级视频背景建模或前景检测的分割算法运算简单、软硬件兼容性好,检测分割效果较好。

1.1 模型的工作原理

在视频监控的画面中,通常背景指的是静止不动或运动相对缓慢的物体,相对于背景的其余部分则表示前景。简单而言,ViBe 算法把视频监控运动目标的物体检测视为一种分类问题,对于每一帧视频图像的像素点只有两种类别,即前景像素点(简称:前景点)和背景像素点(简称:背景点)^[1]。

ViBe 背景模型为视频图像帧的所有像素点构建一个样本集,样本集包含所有像素点过去的像素值以及其他相邻点的像素值;然后,将每一个新的像素值和样本集中的数据比较,判别该像素点为前景点或背景点。具体如下:

令 $p_i(x)$ 表示 x 处的像素值, $M(x) = \{p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)\}$ 表示 x 处的背景样本集, N 表示样本集大小, $S_R(p_i(x))$ 表示以 x 为中心,半径为 R 的区域,即 ViBe 背景模型如图 1 所示。

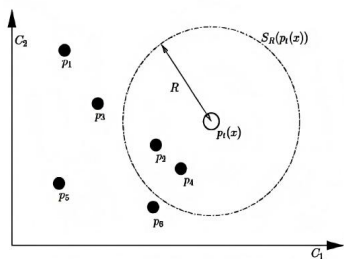


图 1 ViBe 背景模型

图 1 中的 $p_1, p_2, \dots, p_6$ 等表示像素点 x 的样本集中的采样点,通过计算像素点 x 到这些采样点的距离和半径差值是否大于给定的阈值 $\#min$,来判断像素点 x 是否属于背景点。即 $M(x) = [\{S_R(p_i(x)) \cap \{p_1(x), p_2(x), \dots, p_n(x)\}\}]$ 大于给定的阈值 $\#min$,因此判断 x 为背景点,否则判定像素点 x 为前景点^[2],

根据这个方法判断每一帧视频图像的像素点是背景点还是前景点。以上规则可以用公式表示为:

$$p_i(x) = \begin{cases} \in \text{background,} & \text{if } M(x) > \min \\ \in \text{foreground,} & \text{if } M(x) \leq \min \end{cases} \quad (1)$$

如上所述,圆的半径 R 及最小势 $\#min$ 直接影响算法模型的精确性。

1.2 模型的初始化

模型初始化表示构建背景模型的过程,其过程一般要求具备一定长度的视频序列才能实现,需要数秒的时间,实时性差^[3]。然而,ViBe 的初始化只需通过一帧视频图像即可实现,每一帧视频图像中鉴于不包含像素点对应的时空分布特征信息,根据相近像素点具有相近特征信息的规律,每一个像素点均可任意相邻点的像素值代替其样本值。 $M_u(x) = [v_u(y) | y \in NG(x)]$, $t=0$ 表示初始时刻, $NG(x)$ 表示相邻点,该方法的优点:算法运行效率高,对引入的噪声具有较强的鲁棒性,对运动目标较快地进行检测。

1.3 模型的更新策略

背景模型的更新策略表示及时适应背景产生的变化(如光线明暗变化、树木晃动、水文波动等)。其中,传统的更新策略:前景点不用于背景建模而被死锁。例如,初始化时若一块本为静止区域误认为前景目标,则它永远会被当作运动目标进行处理。然而,Blind 策略则对死锁具有较强的鲁棒性,前景和背景均能够用于背景模型的更新,但缺点是对于运动非常缓慢的前景目标,会被误判为背景,因而无法对其进行检测。

本文提出的更新策略为保守的更新策略前景点计数方法,即对像素点进行统计,若连续 N 次某个像素点均被认定为前景点,则在第 $N+1$ 次更新为背景点。

由于每一个像素点被认定为背景点时,均有 $1/\varphi$ 的概率去更新其背景模型,同时也有 $1/\varphi$ 的概率去相邻点背景模型的样本值。更新相邻点的样本值利用像素值的空间传播特性,方便 Ghost 区域的识别。同时,当前景点计数达到 N 次,被更新为背景点,即有 $1/\varphi$ 的概率是其模型的样本值。

当需要替换背景模型中的样本值时,任意选取更新一个样本值,因此样本值随机更新,其样本值在时刻 t (假设时间连续)不用于更新的概率是 $(N-1)/N$ 当 d_t 时间过去后,模型样本值还保留的概率用公式表示为:

$$P(t, t + d_t) = \left(\frac{N-1}{N} \right)^{(t+d_t)-t} \quad (2)$$

也可记作:

$$P(t, t + d_t) = e^{-\ln\left(\frac{N}{N-1}\right)d_t} \quad (3)$$

可见,某样本值在模型中替换与否与时间 t 无关,本文提出的策略满足要求。

2 HSL 颜色空间

2.1 HSL 颜色空间的原理

HSL 颜色空间代表色调 (Hue), 饱和度 (Saturation) 和亮度 (Lightness), 通常也称为 HLS。HSL 将颜色表示为圆柱体内的点, 圆柱中心轴的底部到顶部为由黑至白, 中间为灰色; 绕轴的角度表示“色调”, 圆柱体底面半径表示“饱和度”, 圆柱体的高表示“亮度”。HSL 颜色空间的圆柱模型和圆锥模型分别如图 2 所示。

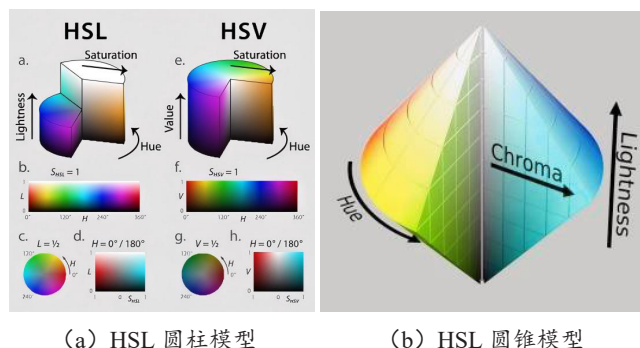


图 2 HSL 模型

由图 2 显示, 色调 Hue 表示角度, 饱和度 Saturation 表示点到中心轴的距离, 亮度 Lightness 表示中心轴的高度。

2.2 视频图像 RGB 到 HSL 的转换

HSL 颜色空间与常用的 RGB 颜色空间的差异在于: RGB 是一种基于心理物理色的颜色空间, 而 HSL 一种基于直觉色的颜色空间。由于 RGB 变换注重对图像的明暗亮度变化, 而用 HSL 变换后的图像特征明显, 易于对目标进行分割、边缘检测和目标识别等处理, 因此 HSL 模型对于开发基于彩色描述的视频图像处理是一个较为理想的方法。

对于 RGB 颜色空间的视频图像序列, 令每个像素表示为一个矢量 $v_c(R, G, B)$, 通常 R 、 G 、 B 的值均为 0~1 之间的实数。

设 $\max$ 等价于 R 、 G 、 B 中的最大者, $\min$ 等价于 R 、 G 、 B 中的最小者。根据 R 、 G 、 B 的值, 求得视频图像序列 HSL 空间中的 (h, s, l) 值, 具体计算关系为:

$$h = \begin{cases} 0^\circ, & \text{if } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{\max - \min} & \text{if } \max = R \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{\max - \min} & \text{if } \max = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{\max - \min} & \text{if } \max = B \end{cases} \quad (4)$$

$$l = \frac{1}{2}(\max + \min) \quad (5)$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } l = 0 \text{ or } \max = \min \\ \frac{\max - \min}{\max + \min} = \frac{\max - \min}{2l}, & \text{if } 0 < l \leq \frac{1}{2} \\ \frac{\max - \min}{2 - (\max + \min)} = \frac{\max - \min}{2 - 2l}, & \text{if } l > \frac{1}{2} \end{cases} \quad (6)$$

式中: h 表示色调, $h \in [0, 360)$, $h=0$ 用于 $\max=\min$ 的表示灰色; s 表示饱和度, l 表示亮度, 两者一般取值均为 0~1 之间。

3 融合 HSL 颜色空间的 ViBe 算法改进

融合 HSL 颜色空间特征的 ViBe 算法 (HSL_ViBe 算法) 构建两种背景模型: 一种为灰度背景模型 $M_1(x)$ (简称 $M_1(x)$), 另一种为基于 HSL 颜色空间背景模型 $M_2(x)$ (简称 $M_2(x)$)。在模型 $M_1(x)$ 中, 利用 ViBe 算法的快速收敛性, 对前景目标进行检测分割, 对检测结果进行图像增强预处理, 捕获更加准确的前景目标区域信息; 在 HSL 颜色背景模型中, 计算图像各像素点间的颜色差及亮度差, 使 HSL 背景模型捕获比较完整的前景目标区域信息; 对当前帧在前景目标区域中的像素点再次进行分割, 从而得到更为准确清晰的前景目标。

3.1 构建背景模型

$M_1(x) = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ 表示为每一个像素点构建一个样本长度为 N 的背景模型。其中, $p_1, p_2, \dots, p_N$ 表示对应监控场景的灰度样本值。

同样, 根据 ViBe 的快速收敛性, $M_2(x) = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 表示每一个像素点构建一个样本长度为 N 的模型, 其中, $q_1, q_2, \dots, q_n$ 表示包含监控场景对应像素点的 HSL 颜色空间特征信息。具体过程如下:

首先, 任意 N 次抽样第一帧视频图像 8 领域中像素点灰度值, 数据储存于 $M_1(x)$ 的 N 个样本中; 然后, 同样任意 N 次于第一帧视频图像抽样当前像素 8 领域中像素点, 由 RGB 转换到 HSL 颜色空间, 数据储存于 $M_2(x)$ 的 N 个样本中。

3.2 前景目标检测

通过 $M_1(x)$ 对前景运动目标的区域进行定位; 将得到的前景区域通过 $M_2(x)$ 对进行前景分割。具体步骤如下:

(1) 从读入视频图像序列的第二帧开始, 利用模型 $M_1(x)$ 对现场监控场景采集的画面进行前景目标检测。当 $M_1(x)$ 检测到有目标进入监控画面, ViBe 检测算法利用 $M_1(x)$ 对前景目标进行前景分割, 并对分割出的前景目标进行图像增强预处理, 确保为 HSL 模型 $M_2(x)$ 提供更为完整的前景区域信息^[4]。否则, $M_2(x)$ 一直处于等待状态。融合 HSL 颜色空间的 ViBe (HSL_ViBe) 算法流程如图 3 所示。

(2) 为了获取前景区域信息, 在 HSL 颜色空间中, 人的肉眼能够独立感知各颜色分量的变化, 因此本文提出一种将视频图像的像素点由 RGB 转换到 HSL 的颜色空间, 并计

算颜色失真度,从而更好地判别前景点与背景点的变化。其中, h 、 s 、 l 分别表示图像像素对应其颜色模型的三个分量,上文已提到, $h \in [0, 2\pi)$, $s \in [0, 1]$, $l \in [0, 1]$ 。在 HSL 颜色空间的背景下, Color_dist (色彩差异) 和 Brightness_dist (亮度差异) 通常用于表示视频图像中各像素点间的差异^[5]。

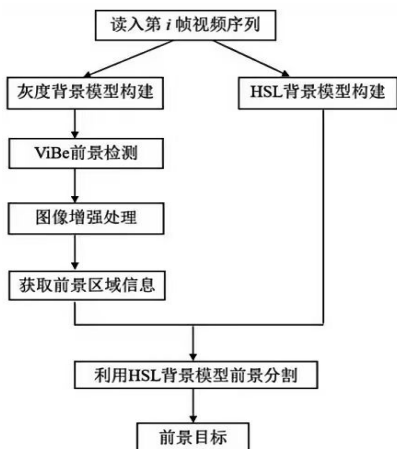


图3 HSL_ViBe 目标检测算法流程

假设 HSL 颜色模型中两个像素点分别表示为 $x_m(h_m, s_m, l_m)$ 和 $y_n(h_n, s_n, l_n)$ 则有:

$$\begin{cases} \text{Color_dist}(x_m, y_n) = (s_m \times \sin(h_m) - s_n \times \sin(h_n))^2 \\ \quad + (s_m \times \cos(h_m) - s_n \times \cos(h_n))^2 + (l_m - l_n)^2 \\ \text{Brightness_dist}(x_m, y_n) = |l_m - l_n| \end{cases} \quad (7)$$

根据式(7)比较前景目标区域内当前像素点与样本模型中像素点的差异,与设定的阈值作比较,具体有:

$$\text{Matched} = \begin{cases} 1 & (\text{色彩相近}), \text{Color_dist} < \sigma_1 \text{ and } \text{Brightness_dist} < \sigma_2 \\ 0 & (\text{色彩相异}), \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

式中: σ_1 表示色差阈值, σ_2 表示亮度差阈值,经过多次实验,本文取 $\sigma_1=1.5$, $\sigma_2=15$,对前景目标的检测更加精准; Matched 表示前景目标检测的匹配标识。若视频图像的像素点间的差异满足 σ_1 及 σ_2 两个条件,则匹配样本的满足也满足,即令 Matched 为 1, 否则 Matched 为 0。

根据上述方法,得到所有图像像素的匹配样本,并统计模型中与当前像素点 $p(x, y)$ 匹配样本的数目 $N_i(x, y)$,然后将 $N_i(x, y)$ 与最小匹配数目阈值 Thresh_Num (一般取值 Thresh_Num=2) 比较,来判别当前像素点是否为前景点,则有:

$$M_i(x, y) = \begin{cases} 0(\text{background}), & \text{if } N_i(x, y) < \text{Thresh_Num} \\ 1(\text{foreground}), & \text{if } N_i(x, y) > \text{Thresh_Num} \end{cases} \quad (9)$$

式中: $M_i(x, y)$ 表示在视频图像第 i 帧的一个像素点,若 $N_i(x, y)$ 大于或等于 Thresh_Num, 则 $M_i(x, y)$ 为前景点; 否则, $M_i(x, y)$ 为背景点,最终由二值化的 $M_i(x, y)$ 表示运动目标的检测结果。

3.3 背景模型更新

在现实视频监控过程中,监控场景的背景产生变化情况时有发生。若背景的变化无法及时跟上实际监控场景的变化,

则可能会对运动目标的检测效果产生较多的噪声,这就要求算法对干扰更具鲁棒性。

鉴于背景图像要对监控场景的实时变化,需要较快反应,融合像素级的帧级的动态背景更新算法,有效解决运动目标受遮挡的影响以及背景更新实时性等问题;视频图像的帧级更新,即对视频监控画面中整个背景区域进行更新,从而有效解决光线明暗变化、树木晃动、水文波动等对视频图像造成干扰。具体背景模型更新过程如下:

(1) 在视频序列 $M(n)$ 帧背景模型中任意选取一帧 $M(i)$, 即时间随机性。当前一帧 $M(i-1)$ 中像素点 $p(x_{i-1}, y_{i-1})$ 被判断为背景点时,该点即可用于更新背景模型第 i 帧对应像素点 $p(x, y)$ 的对应值。过程如下: 对于 $M_1(x)$, 像素点 $p(x, y)$ 的灰度值用于背景模型进行更新; 对于模型 $M_2(x)$, 基于 HSL 颜色空间,以像素点 $p(x, y)$ 分别在 h 、 s 、 l 的三个分量对背景模型进行更新^[6]。

(2) 在视频序列第 $M(i)$ 帧背景模型中对应位置 (x, y) 的邻域中,任意选取背景模型中的一个像素点,用当前帧 $M(i-1)$ 中像素点 $p(x_{i-1}, y_{i-1})$ 更新背景模型。过程如下: 对于模型 $M_1(x)$, 用像素点 $p(x, y)$ 的灰度值对背景模型进行更新; 同理,对于模型 $M_2(x)$, 基于 HSL 颜色空间,以像素点 $p(x, y)$ 分别在 h 、 s 、 l 的三个分量对背景模型进行更新。

4 实验结果及分析

为验证本文提出的 HSL_ViBe 算法,在不同的复杂监控环境下,保持对运动目标准确稳定地检测,本文运用 MATLAB2011b 进行实验仿真,对视频监控场景中近景(远景)单目标或多目标进行验证,对运动不同环境的运动目标进行仿真实验。

4.1 实验结果

(1) 实验一: 单目标检测

本组实验是室外环境,对近景的行人进行目标检测。由图4可看到, GMM 和传统的 ViBe 算法检测效果都不理想, GMM 噪点较多; ViBe 算法对目标检测不完整,运动目标的特征信息比较模糊,其原因是人在行走时,照在人身上的光照不太均匀。



图4 室外环境检测结果

相比之下, HSL_ViBe 算法对运动目标颜色特征信息变化进行检测, 保证目标检测的完整性, 对光照强度变化具有一定鲁棒性。

(2) 实验二: 受遮挡检测

本组实验是对行驶速度较快的轿车进行检测, 并且行驶过程中轿车有一定的遮挡。如图 5 所示, GMM 算法在检测过程中存在较多“拖影”; ViBe 算法及 HSL_ViBe 检测效果相当, 但 HSL_ViBe 算法在目标受遮挡时具备更好的检测效果。

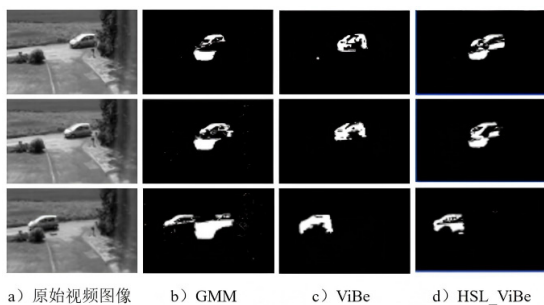


图 5 快速运动目标遮挡检测效果

(3) 实验三: 多目标检测

本组实验是对高速公路行驶快速的多个车辆进行检测。如图 6 所示, GMM 算法检测效果十分不理想, 出现的误检和漏检都很多; 传统 ViBe 算法能够对运动目标进行检测, 但本文的 HSL_ViBe 方法更具优势。

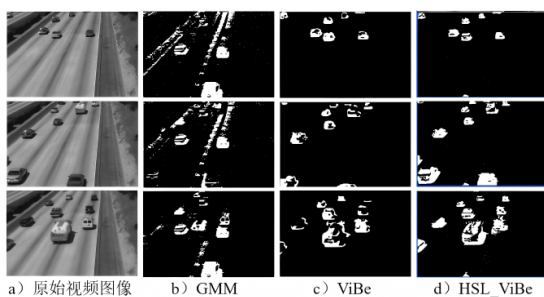


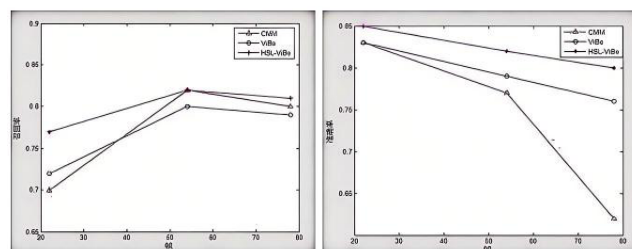
图 6 高速公路检测效果

4.2 实验结果分析

运动目标检测实质是一个分类问题, 即判断一个视频图像的像素点是属于前景点还是背景点的问题。为了评估目标检测算法的性能, 本文采用了召回率 (Recall) 和准确率 (Accuracy) 来评估算法的性能。定义为:

$$R = \frac{T_p}{T_p + F_n}, \quad A = \frac{T_p}{P + N} \quad (10)$$

式中: R 表示召回率, 即目标检测为前景像素点占前景像素点总和的比率, T_p 表示被正确检测为前景像素点的数目, F_n 表示被误检为背景像素点的数目, P 表示前景像素点总和的数目, F 表示为背景像素点总和的数目^[4]。各种算法性能检测如图 7 所示。



(a) 各种算法召回率 (b) 各种算法准确率

图 7 各种算法性能检测

在相对复杂监控场景包含的信息较多, 例如光线明暗变化、树木晃动、水文波动等都会对视频图像造成干扰。如图 7 所示, 在召回率和准确率, 相比其余两种方法, 本文的方法都有较大的提高。

5 结语

本文针对目前安防监控系统运动目标检测的问题, 在 ViBe 算法基础上, 提出一种融合 HSL 颜色空间的 ViBe 算法改进, 在前景目标检测方面, 本文将视频图像帧的像素从 RGB 到 HSL 颜色空间转换, 通过双模型的建立对噪声干扰具有一定的鲁棒性, 保证安防监控系统运动目标检测的精准性和计算速度。

参考文献:

- [1] 张磊, 傅志中, 周岳平. 基于 HSV 颜色空间和 ViBe 算法的运动目标检测 [J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(4): 181-185.
- [2] 高鹏. 基于背景差分法和粒子滤波模型的钱塘江涌潮的检测与跟踪 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2017.
- [3] 张志付, 付宇卓. 一种基于背景减法的运动检测算法评价方法 [J]. 信息技术, 2008, 32(12): 52-54.
- [4] Wilkinson B. A study of the influence of video surveillance images on institutional crime prevention and criminal justice practices [D]. Windsor: University of Windsor, 2010.
- [5] Van Droogenbroeck M, Paquot O. Background subtraction: experiments and improvements for ViBe [C] // 2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Piscataway: IEEE, 2012: 32-37.
- [6] 王金凤, 焦斌亮. 基于 HSL 空间彩色图像多结构元形态边缘检测 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(15): 216-218.

【作者简介】

何文乐 (1990—), 男, 广东中山人, 硕士, 讲师, 研究方向: 物联网技术应用、电子信息技术。

陈光武 (1984—), 男, 广东茂名, 硕士, 讲师, 研究方向: 应用电子技术、物联网技术应用、电子信息技术。

(收稿日期: 2025-11-03 修回日期: 2026-05-29)