

基于改进 ViBe 算法的静态场景运动目标检测

汤旻安, 王晨雨*

兰州交通大学自动化与电气工程学院, 甘肃 兰州 730000

摘要 针对 ViBe 算法在静态背景下检测效果较差和检测目标存在“鬼影”的问题, 结合哈希算法和图像二维信息熵的知识提出一种改进的 ViBe 算法。首先, 采用哈希算法对选取的三帧图像进行差分运算, 对差分后得到的目标区域进行背景填充以得到背景图像, 再对背景图像进行背景建模, 从而消除鬼影现象。然后, 根据背景的复杂程度得到自适应阈值与更新速率, 使用自适应阈值进行前景检测, 使用连通域信息进行二次检测以得到目标图像。最后, 对目标图像进行形态学处理与背景更新。由实验数据可知, 改进算法对草地、树叶和雪景等静态场景下的行人与车辆目标进行检测后, 图像的 F -measure 值在 0.8 以上, 比 ViBe 算法和高斯混合模型有所提升且较为稳定。实验结果表明, 改进的 ViBe 算法可以消除鬼影现象, 抑制背景的干扰, 较好地检测目标信息。

关键词 图像处理; 静态背景; 目标检测; 哈希算法; ViBe 算法; 二维信息熵

中图分类号 TP391

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.1410011

Moving Object Detection in Static Scene Based on Improved ViBe Algorithm

Tang Min'an, Wang Chenyu*

School of Automation & Electrical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730000, China

Abstract Aiming at the problem of the poor detection effect of ViBe algorithm under static background and the existence of “ghosting” in the detection target, an improved ViBe algorithm is proposed by combining the knowledge of the Hash algorithm and the two-dimensional information entropy of the image. First, the Hash algorithm is used to perform differential operations on the selected three frames of images, and the target area obtained after the difference is filled in the background to obtain the background image, and then the background image is modeled to eliminate the ghost phenomenon. Then, the adaptive threshold and update rate are obtained according to the complexity of the background, the adaptive threshold is used for foreground detection, and the connected domain information is used for secondary detection to obtain the target image. Finally, the target image is processed and the background is updated. According to the experimental data, after the improved algorithm detects pedestrians and vehicles in static scenes such as grass, leaves, and snow scenes, the F -measure value of the image is above 0.8, which is improved and more stable than the ViBe algorithm and the Gaussian mixture model. Experimental results show that the improved ViBe algorithm can eliminate ghosting, suppress background interference, and better detect target information.

Key words image processing; static background; object detection; Hash algorithm; ViBe algorithm; two-dimensional entropy

OCIS codes 100.2000; 100.3008; 150.1135

收稿日期: 2020-09-25; 修回日期: 2020-11-06; 录用日期: 2020-11-12

基金项目: 国家自然科学基金(61663021, 71763025, 61861025)、甘肃省重点研发计划(18YF1FA058)、甘肃省科技支撑计划(1304GKCA023)、甘肃省高校科研项目(2017A-025)

通信作者: * 794730778@qq.com

1 引言

随着计算机视觉技术的发展,运动目标检测技术成为了目前的研究热点之一,但计算机在面对复杂多变的外部环境和运动目标发生形变的情况,往往会存在目标漂移和跟丢^[1]以及背景抑制不彻底^[2]等问题。目前,基于图像或视频序列的目标检测法有帧差法^[3]、背景差分法和光流法等,其中背景差分法是最为常见的一种的运动目标检测算法^[4]。

背景差分法中的 ViBe 算法^[5]因其具有计算量小、运行速度快以及检测效果较好的优点而被广泛使用,但 ViBe 算法也会带来鬼影^[6]、运动区域不完整^[7]和背景适应性差^[8]等问题,而且算法采用的是固定阈值,无法处理静态场景的扰动,在复杂的静态环境中容易出现错检和漏检的现象^[9],难以获得完整的前景,所以对其进行了大量改进。文献[10]使用了鬼影因子对图像进行二次匹配以消除鬼影,使用 Sobel 算子来计算区域的复杂程度以调整半径阈值,但是当视频或图像存在噪声干扰时,会对算法的性能造成较大的影响。文献[11]使用了像素生命长度来区分前景与鬼影,采用最大类间方差法来改变阈值以适应背景变换,该算法消除鬼影的效果较好,在复杂的背景中,目标提取的准确率有一定的提升。但像素生命长度阈值的选取会极大地影响算法消除鬼影的时间,而且最大类间方差法存在单峰偏向的问题,在不同的环境中,目标检测的准确率难以保证。文献[12]通过相邻三帧图像差分法来获取鬼影区域,采用背景像素填充的方法来消除鬼影现象,但是相邻三帧差分法难以有效获取运动目标的信息,从而影响算法滤除鬼影的效率。上述算法在适应静态场景与处理鬼影方面都有一定的效果,但效果依旧有待提高。

本文主要针对 ViBe 算法在处理实际视频或图像中存在鬼影现象和背景适应性差等问题,提出一种改进方法。本文结合了哈希算法与差分运算来获取真实的背景图像;使用背景复杂度因子来自适应改变阈值,通过连通域图像的像素个数对图像进行二次判断以区分前景与背景。改进后的算法可以较好地消除鬼影现象,对复杂场景的变动具有一定的鲁棒性。

2 检测算法的原理

2.1 ViBe 算法

ViBe 算法是一种基于像素的目标检测算

法^[13],该算法主要包含背景像素建模、像素分类和背景模型更新三个部分^[14]。与帧间差分等算法不同,ViBe 算法采用了随机替换背景像素样本的更新策略,使其在一定程度上可以应对像素变换的不确定性,具体检测步骤如下。

1) 背景像素样本的初始化:对第一帧图像中每个像素的八邻域随机采样 n 次,并将采样得到的 n 个像素保存到背景空间中。

2) 前景检测:在二维欧氏空间中,计算当前帧图像中的各像素与其所对应的背景样本像素间的欧氏距离,若欧氏距离大于半径阈值 R ,则匹配数加一。当匹配数大于匹配阈值 P_{\min} 时,该像素为背景,否则为前景。像素分类的示意图如图 1 所示,其中 v_i 表示第 i 次采样的像素值, $S_R(v_i)$ 为二维欧氏空间内以像素 v_i 为圆心、 R 为半径的区域中像素点的集合。

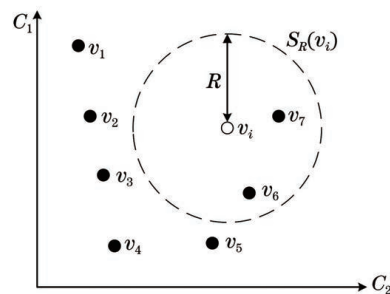


图 1 像素分类的示意图

Fig. 1 Schematic of pixel classification

3) 背景更新:ViBe 算法采用保守的更新策略,当像素点被判断为背景点时,随机替换其所对应的背景样本中的一个像素。若图像中的像素点被连续判断为前景,则将该像素更新为背景。

2.2 感知哈希算法

感知哈希算法是一种图像检索算法,其通过比较每张图像的哈希值来判断图像的相似性^[15],具体步骤如下。

1) 为了去除图像尺寸和细节等对算法带来的影响,感知哈希算法将图像的尺寸缩小到 $8 \text{ pixel} \times 8 \text{ pixel}$,只保留基本结构与明暗信息,以便计算。

2) 将缩小后的图像简化为 64 级灰度。

3) 计算图像中的灰度平均值。

4) 比较每个像素灰度值与平均值的大小,若该像素值大于等于平均值,则将该像素值记为 1,否则记为 0。

5) 将步骤 4) 中得到的结果按照统一的次序进行组合,得到一组 64 位的数据,这组数据即为图像

的哈希值。

实验将 64 位二进制数据转为 16 位十六进制数据,在得到每张图像的哈希值后,可以通过计算字符串的汉明距离来比较图像的相似度。

3 改进算法

3.1 改进思路

鬼影现象是在背景建模的过程中采样到运动目标像素所造成的,所以采用改进的差分算法将其还原成真实背景,对真实背景进行采样即可避免鬼影现象的发生。传统的 ViBe 算法在处理视频帧的过程中都采用了固定阈值,当检测静态场景中的目标时,会出现像素点误检的情况,所以为每个像素点设置自适应阈值与更新速率,对残留的干扰信息通过连通域检测进行滤除,从而得到运动目标。

3.2 背景建模

ViBe 算法主要根据第一帧图像来建立背景模型,当将运动物体的像素作为初始化样本时,会产生伪影区域^[16]。三帧差分法可以较好地检测运动目标,但是对运动目标的速度有一定的要求。当运动目标的速度较慢时,目标在三帧图像中有较大的重合部分,三帧差分法会将重合部分检测为背景,而留下部分残影,从而影响目标的提取效果。实验结合改进的三帧差分法并通过差分图像来获取运动目标区域,再经过像素点填充来得到“真实背景”^[17]。所提算法使用图像哈希值的汉明距离来判断图像之间的差异。背景建模的流程如图 2 所示,具体步骤如下。

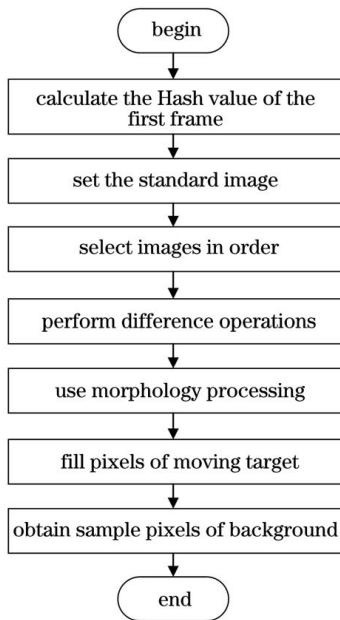


图 2 背景建模的流程

Fig. 2 Process of background modeling

1) 确定三帧图像:将第一帧图像设为标准图像 I_{s1} ,依次计算序列图像与标准图像哈希值的汉明距离。当汉明距离达到阈值 s 时,停止计算,将首次达到要求的图像设为差分图像 I_{s2} 。以 I_{s2} 为标准,重复计算,得到差分图像 I_{s3} 。

2) 提取目标信息:对三帧图像进行差分运算,表达式为

$$D_1 = I_{s3} - I_{s1}, \quad (1)$$

$$D_2 = I_{s2} - I_{s1}, \quad (2)$$

$$D_{12} = D_1 \cap D_2, \quad (3)$$

式中: D_1 和 D_2 为不同的差分图像; D_{12} 为运动目标图像。将得到的差分图像进行二值化和逻辑与运算处理,可以得到图像 D_{12} 。由于受到背景像素的影响,需要对差分图像进行中值滤波与形态学处理。

3) 填充背景图像:将 I_{s1} 中的运动目标区域使用 I_{s3} 中相对应的背景像素点进行填充,未填充的目标区域使用邻域像素来填充以得到背景图像。

4) 背景建模:对背景图像的各像素及其邻域随机采样 n 次,得到背景模型样本。

3.3 静态场景适应性的改进

3.3.1 自适应阈值的设置

在实际场景中,背景并不是一直静止的,其会时刻进行轻微运动。当传统的 ViBe 算法在背景不是完全静止的情况下运行时,检测结果会出现一定的动态变化^[18],这些运动的背景会在前景检测的过程中造成算法误判,从而在一段时间内被保留为白点或白色区域。为此,通过自适应阈值的方法来提高前景提取的精准度与背景的更新速率。文献[19]通过计算以背景样本集为基础的背景复杂度,为每个像素自适应设置更新速率与半径阈值。衡量因子 \bar{d}_{\min} 的计算公式为

$$D_k(x, y) = \min \{d [I_N(x, y), I_B(x, y)]\}, \quad (4)$$

$$\bar{d}_{\min} = \left[\sum_{t=1}^k D_t(x, y) \right] / k, \quad (5)$$

式中: $I_N(x, y)$ 为当前像素; $I_B(x, y)$ 为背景样本像素; (x, y) 为图像中像素点对应的坐标; k 为时刻; d 为求解像素间的空间距离; $D_k(x, y)$ 为坐标为 (x, y) 处的像素点在 k 时刻的最小距离。从开始到 k 时刻的最小决策距离 $D = \{D_1(x, y), D_2(x, y), \dots, D_k(x, y)\}$ 。

但样本集主要体现的是像素的时间信息,忽略了像素的空间特征。在此基础上,在计算背景复杂

度的过程中,引入度量像素块复杂度的二维信息熵^[20]。二维信息熵的计算公式为

$$E_k(I_{med}) = - \sum_{\mu=0}^{255} \sum_{i_{area}=0}^{255} P_{i_{area},\mu,k} \lg P_{i_{area},\mu,k}, \quad (6)$$

式中: I_{med} 为 k 时刻灰度图像中 $5 \text{ pixel} \times 5 \text{ pixel}$ 区域内的中心像素; μ 为灰度均值; i_{area} 为区域内任一点的灰度值; $E_k(I_{med})$ 为 k 时刻像素点 I_{med} 处的二维信息熵值; $P_{i_{area},\mu,k} = f(i_{area}, \mu) / 25$, 其中 $f(i_{area}, \mu)$ 为特征二元组 (i_{area}, μ) 出现的频数。相邻两帧背景的变化程度可表示为

$$d_{space} = |E_k - E_{k-1}|. \quad (7)$$

那么,综合两种算法所得到的衡量因子,背景复杂程度 d_{mix} 可以表示为

$$d_{mix} = \alpha_1 \bar{d}_{min} + \alpha_2 d_{space}, \quad (8)$$

式中: α_1 和 α_2 分别为时间和空间的权值系数,表征像素在时间和空间上衡量因子的贡献度。

半径阈值可以表示为

$$R(x, y) = \begin{cases} R(x, y) \cdot (1 - \theta), & R(x, y) > b \cdot d_{mix} \\ R(x, y) \cdot (1 + \theta), & R(x, y) < b \cdot d_{mix} \end{cases}, \quad (9)$$

式中: θ 为调节参数背景模型的更新速率; $R(x, y)$ 为 (x, y) 坐标处像素点的半径阈值; b 为设置的比例因子。更新速率 φ 可以表示为

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} \varphi(x, y) - \frac{1}{\lambda}, & \text{if } I(x, y) = 255 \\ \varphi(x, y) + \frac{1}{\lambda}, & \text{if } I(x, y) = 0 \end{cases}, \quad (10)$$

式中: λ 为调节参数。

3.3.2 连通域判断

环境中的光照变化和视频采集过程中的噪声干扰都会影响运动目标提取的准确性^[21],而自适应阈值的方法可以在一定程度上减少背景的影响,但是当场景中存在突变和噪声点时,无法高效区分前景与背景。本文改进算法在检测前景后,通过计算连通域像素点的个数可以对图像进行前景的二次判断。连通域计算首先需要确定阈值 n_a ,若阈值选择过小,则不能完全滤除干扰的背景,若阈值选择过大,则会滤除掉远处像素占比较小的运动目标。在使用自适应阈值检测前景后,图像误检的区域较小,所以确定的阈值应尽可能小。对于二次判断,当图像中连通域像素点的个数小于 n_a 时,判断这些像素为背景,像素点的像素值置 0;当连通域像素点的个数不小于 n_a 时,则确定像素为前景目标,像素点的

像素值为 255。连通域的判断方式为

$$I_d(x, y) = \begin{cases} 255, & n_d \geq n_a \\ 0, & n_d < n_a \end{cases}, \quad (11)$$

式中: $I_d(x, y)$ 为连通域内位于 (x, y) 位置的像素值; n_d 为连通域内的像素个数。

4 改进 ViBe 算法的实现与步骤

改进后的算法主要分为背景建模、阈值选取、前景检测、二次检测和背景更新 5 个部分,算法的具体流程如图 3 所示,主要步骤如下。

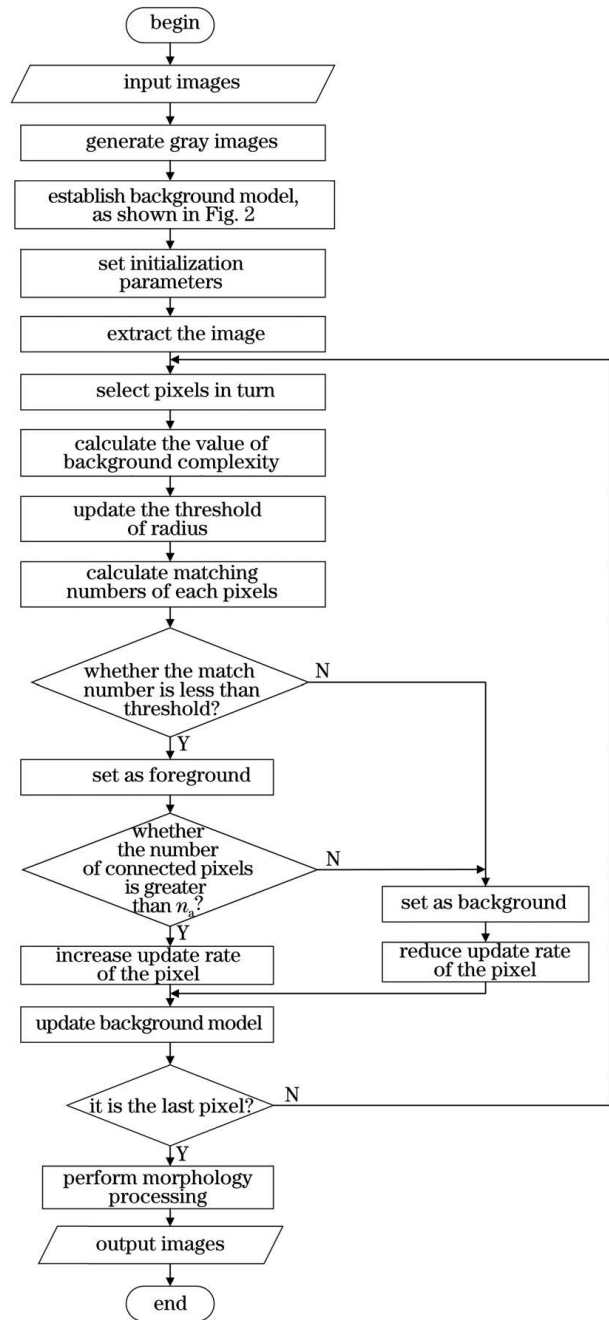


图 3 改进 ViBe 算法的流程

Fig. 3 Flow chart of improved ViBe algorithm

1) 背景建模:依次选取前 N 帧图像哈希值的汉明距离达到阈值 s 的三帧图像,并对其进行差分运算,将得到的图像 D_{12} 进行形态学处理以提取运动目标区域。将图像 I_{s1} 中的运动目标区域进行填充,填充后的图像 I_{s1} 即为背景图像。再采用传统的 ViBe 算法进行背景建模,得到背景模型。

2) 阈值选取:设置半径阈值 R' 和更新速率 φ 等初始值。计算当前图像的动态衡量因子 \bar{d}_{\min} 与 d_{space} ,其中计算 d_{space} 的初始二维信息熵来选取建模图像二维信息熵的均值。由此得到背景的复杂度因子 d_{mix} ,在此基础上计算各像素的自适应半径阈值与更新速率。

3) 前景检测:计算当前像素点与样本集在半径阈值 R 范围内的匹配个数,若匹配个数大于设定值 P_{\min} ,则判定该像素为背景,否则为前景。

4) 二次检测:计算前景检测后的图像中的连通域,将像素个数小于阈值 n_a 的连通域所对应的像素设为背景,再对其进行形态学处理以修补图像空洞。

5) 背景更新:将检测后的各像素按照对应的更新速率进行更新。

5 实验结果分析

为了验证所提算法的有效性,分别在鬼影消除和静态场景目标检测两个方面进行实验。实验平台

为装有 64 位 Windows 系统的个人电脑,内存为 8 G。实验在 MATLAB 2018b 软件中进行,实验使用的材料为数据集 CDW2014 中的部分视频。在鬼影消除部分,为了避免处理后的图像受到背景的干扰而影响比较效果,所以 ViBe 算法的半径阈值 R 为多次调整后设定的值,所提算法设置哈希值的汉明距离阈值 $s=3$ 。对于静态场景目标检测部分,ViBe 算法与所提算法预设的半径阈值 $R'=20$, $P_{\min}=2$,更新速率 $\varphi=16$,单像素的样本长度为 20。所提算法设置的权值系数 $\alpha_1=0.5$, $\alpha_2=0.5$,放大系数 $b=10$,阈值 $n_a=20$ 。高斯混合模型选取三个高斯分量。实验的目的是为了证明所提算法可以消除鬼影现象,并且在静态场景中可以减少背景的影响,而不影响图像的“质量”。

5.1 鬼影消除

鬼影消除实验选取“PETS2006”、“Backdoor”和“Highway”三组视频,如图 4(a)所示。除了所提算法以外,此部分还采用 ViBe 算法和结合三帧差分的 ViBe 算法进行对比实验。各算法的检测结果如图 4 所示。

从图 4 可以看到,在不同情况下,ViBe 算法和结合三帧差分的 ViBe 算法都有较为明显的鬼影现象,目标难以准确辨别;ViBe 算法处理后的图像都存在运动目标在初始状态所留下的鬼影,鬼影区域

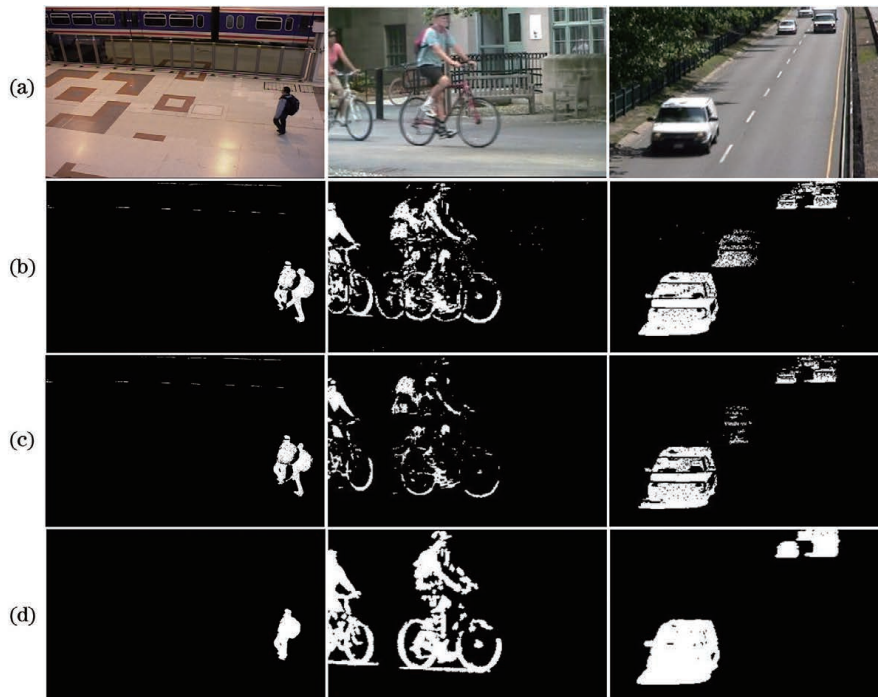


图 4 三种算法的检测结果。(a)视频帧;(b)ViBe 算法;(c)结合三帧差分的 ViBe 法;(d)所提算法

Fig. 4 Detection results of three algorithms. (a) Video frames; (b) ViBe algorithm; (c) ViBe algorithm combined with three-frame difference; (d) proposed algorithm

较为完整;对于行人检测的图像,结合三帧差分的 ViBe 算法虽然对鬼影有一定的抑制作用,但因为目标运动较慢,残影较完整地保留了目标的初始运动状态;对于车辆检测图像,三帧差分法处理后的背景较为完整,提取出的目标只有小部分残影,可以看到目标速度对算法有一定的影响,检测效果依然不佳;相比于 ViBe 算法和结合三帧差分后的 ViBe 算法运

行的结果,所提算法检测的图像较完整地保留了目标区域,消除了鬼影的影响,准确提取出了运动目标。

5.2 静态场景目标检测

静态场景目标检测部分选用视频“Office”、“Fall”、“Snowfall”和“Pedestrians”进行目标提取,4 幅图像如图 5(a)所示。目标提取后,对图像“质量”进行分析比较,目标检测结果如图 5 所示。



图 5 运动目标的检测结果。(a)视频帧;(b)真值图;(c)ViBe 算法;(d)高斯混合模型;(e)文献[22];(f)所提算法
Fig. 5 Detection results of moving object. (a) Video frames; (b) ground truth; (c) ViBe algorithm; (d) Gaussian mixture model; (e) Ref. [22]; (f) proposed algorithm

从图 5 可以看到,ViBe 算法可以较完整地提取出目标轮廓,但是因为受到灯光、树叶和草地等因素的影响,背景部分像素被误检为前景,使得目标提取结果不够准确;高斯混合模型对背景干扰有一定的抑制作用,但运动的背景对前景检测依然有较大的影响,而且部分图像中的目标信息有较大缺失;文献[22]对静态场景有一定的适应性,图像受到背景的影响较小,但是目标区域的空洞现象较为严重,图像检测效果不佳;与 ViBe 算法、高斯混合模型和文

献[22]相比,所提算法可以更好地处理背景像素,对目标像素的判断较为准确,保留了目标区域信息。为了客观评价各算法检测到的“质量”,选用准确率(P)、召回率(R)以及 F 测度(F -measure)来比较实验结果的优劣性,计算公式为

$$P = x_{TP} / (x_{TP} + x_{FP}), \quad (12)$$

$$R = x_{TP} / (x_{TP} + x_{FN}), \quad (13)$$

$$F_{F\text{-measure}} = 2(P \times R) / (P + R), \quad (14)$$

式中: x_{TP} 为检测到正确前景的点数; x_{FP} 为检测到

错误前景的点数; x_{FN} 为检测到错误背景的点数。处理后的各帧图像的测评数据如表 1 所示,各算法

的性能曲线如图 6 所示,图 6(e)为各算法处理每帧图像所需的平均时间。

表 1 不同算法的评价指标

Table 1 Evaluation index of different algorithms

Evaluation index	Algorithm	Office	Fall	Snowfall	Pedestrians
Precision	ViBe	0.8744	0.7865	0.5944	0.8919
	GMM	0.8112	0.6831	0.8234	0.9394
	Ref. [22]	0.8454	0.5129	0.6991	0.8283
	Ours	0.9605	0.7102	0.8229	0.9364
Recall	ViBe	0.7575	0.4140	0.9238	0.2231
	GMM	0.9230	0.6905	0.9429	0.7512
	Ref. [22]	0.9975	0.8144	0.9419	0.8696
	Ours	0.9889	0.9499	0.9904	0.8528
<i>F</i> -measure	ViBe	0.8118	0.5425	0.7233	0.3570
	GMM	0.8635	0.6868	0.8791	0.8348
	Ref. [22]	0.9151	0.6294	0.8025	0.8484
	Ours	0.9745	0.8128	0.8701	0.8926

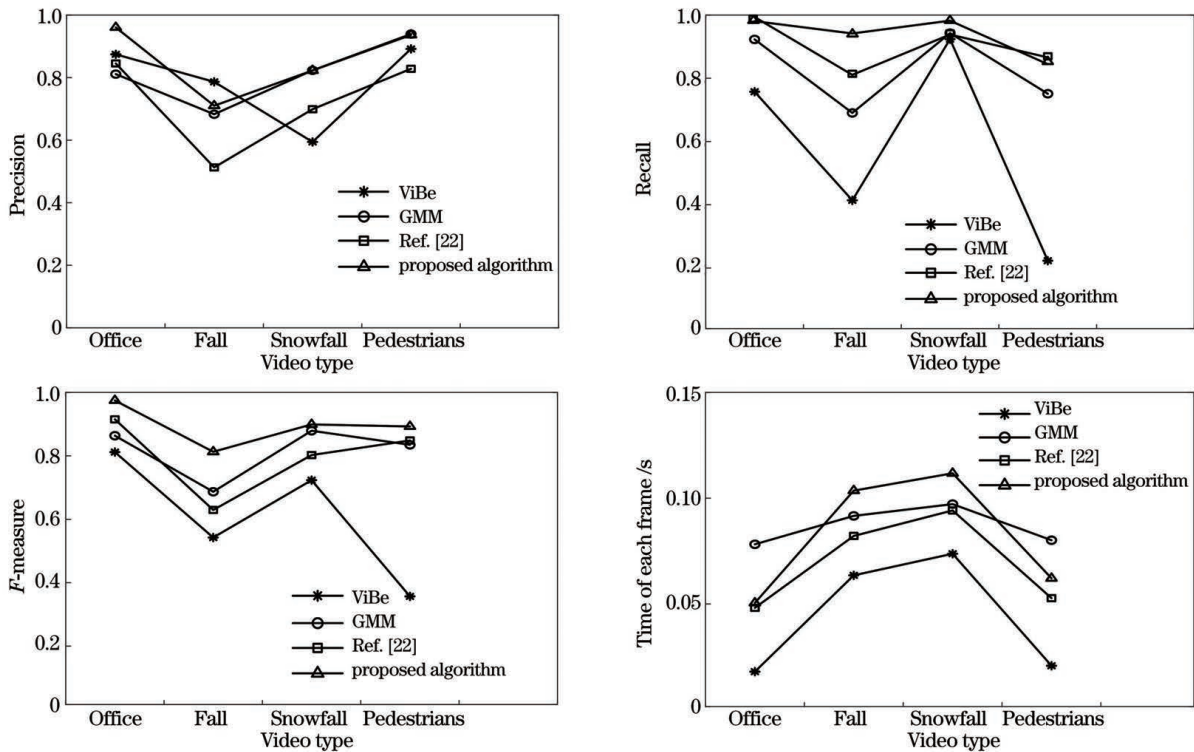


图 6 各算法的性能折线。(a) *P*; (b) *R*; (c) *F*-measure; (d) 平均时间

Fig. 6 Performance polylines of each algorithm. (a) *P*; (b) *R*; (c) *F*-measure; (d) average time

从表 1 和图 6 可以看到, ViBe 算法的准确率以及召回率受到图像背景的影响较大, 召回率最低, 低至 0.2231; GMM 算法在准确率方面表现优异, 但是召回率起伏较大; 文献[22]与所提算法的召回率都保持在 0.8 以上, 但在准确率方面, 所提算法至少

提升 10%; 在 *F* 测度方面, 所提算法较其他算法都有所提升, 且保持在 0.8 以上。结合时间信息, 所提算法的处理时间比传统 ViBe 和文献[22]更长, 在处理像素较少的图像优于 GMM 算法, 但是在处理像素较多的图像差于 GMM 算法。

5.3 算法的性能分析

在鬼影消除方面,与 ViBe 和结合三帧差分的 ViBe 算法不同,所提算法可以较好地消除鬼影现象,而且并未留下残影,目标提取效果较好。在静态场景目标检测部分中,ViBe 算法检测后的 F 测度受到背景的影响而取值较低,不同场景下数值上下波动较为严重,背景适应性较差;高斯混合模型与文献[22]的 F 测度都较为接近,对复杂背景有一定的适应性,但检测到的图像质量较差;所提算法的 F 测度值在不同场景下较为稳定,目标检测效果优于其他算法。所提算法在 ViBe 算法的基础上进行改进,所以运算时间有所增长,但基本满足需求。

6 结 论

为了解决 ViBe 算法在静态场景中运动目标检测效果不佳的问题,本文通过改进背景建模方式和自适应调整像素前景检测的阈值,提高算法在静态场景下目标检测的效果和图像质量。但本文主要针对目标像素占比小于背景的图像进行检测以去除鬼影,对于目标占比较大的图像,处理效果有待提高。

参 考 文 献

- [1] Yang Y G, Shang Z H. Object tracking algorithm based on correlation filtering and convolution residuals learning [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(12): 121012.
杨亚光, 尚振宏. 相关滤波融合卷积残差学习的目标跟踪算法[J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(12): 121012.
- [2] Cui L Q, Yang Z Z, Duan T L, et al. Saliency object detection method based on complex prior knowledge [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(10): 101019.
崔丽群, 杨振忠, 段天龙, 等. 基于复合先验知识的显著性目标检测方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(10): 101019.
- [3] Sengar S S, Mukhopadhyay S. Foreground detection via background subtraction and improved three-frame differencing [J]. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2017, 42(8): 3621-3633.
- [4] Qu Z, Huang X L. Algorithm of enhanced visual background extraction for eliminating ghost [J]. *Computer Science*, 2017, 44(4): 312-316.
瞿中, 黄晓凌. 一种用于消除伪影的增强视觉背景提取算法[J]. *计算机科学*, 2017, 44(4): 312-316.
- [5] Yang C D, Meng Q. Algorithm of micro-motion object detection based on ViBe and multi-feature extraction[J]. *Computer Science*, 2017, 44(2): 309-312, 316.
杨春德, 孟琦. 一种融合 ViBe 与多特征提取的微小目标检测算法[J]. *计算机科学*, 2017, 44(2): 309-312, 316.
- [6] Liu W, Hao X L, Lü J L. Efficient moving targets detection based on adaptive Gaussian mixture modelling[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2020, 25(1): 113-125.
刘伟, 郝晓丽, 吕进来. 自适应混合高斯建模的高效运动目标检测[J]. *中国图象图形学报*, 2020, 25(1): 113-125.
- [7] Peng Z Y, Liu Z Q, Dou H, et al. ViBe algorithm for moving object detection based on adaptive Lab color difference threshold[J]. *Journal of Optoelectronics·Laser*, 2019, 30(5): 529-535.
彭志勇, 刘子琪, 窦慧, 等. 基于自适应 Lab 色差阈值的 ViBe 运动目标检测算法[J]. *光电子·激光*, 2019, 30(5): 529-535.
- [8] Zhang Q, Lu W, Huang C, et al. An adaptivevibe algorithm based on dispersion coefficient and spatial consistency factor [J]. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2020, 54(1): 80-88.
- [9] Mao Z C, Shen X S. Improved Vibe algorithm integrated with multiscale transformation [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(11): 111501.
茅正冲, 沈雪松. 融合多尺度变换的改进 Vibe 算法[J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(11): 111501.
- [10] Wang X, Liu Y, Li G Y. Moving object detection algorithm based on improved visual background extractor algorithm [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(1): 011007.
王旭, 刘毅, 李国燕. 基于改进视觉背景提取算法的运动目标检测方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(1): 011007.
- [11] Min W D, Guo X G, Han Q. An improved ViBe algorithm and its application in traffic video processing [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(3): 806-811.
闵卫东, 郭晓光, 韩清. 改进的 ViBe 算法及其在交通视频处理中的应用[J]. *光学精密工程*, 2017, 25(3): 806-811.
- [12] Li S C, Che G L, Zhang G, et al. Adaptive moving target detection algorithm and its application [J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2021, 42(2): 381-386.
李善超, 车国霖, 张果, 等. 一种自适应运动目标检测算法及其应用[J]. *小型微型计算机系统*, 2021, 42(2): 381-386.
- [13] Ma Y J, Chen M L, Liu P P, et al. ViBe algorithm-

- based ghost suppression method[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(2): 021007.
马永杰, 陈梦利, 刘培培, 等. ViBe 算法鬼影抑制方法研究 [J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(2): 021007.
- [14] Fute E T, Deffo L L S, Tonye E, et al. EFF-ViBE: an efficient and improved background subtraction approach based on ViBE[J]. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 2019, 11(2): 1-14.
- [15] Ji J, Han L, Wei J, et al. Histogram-based perceptual hash algorithm for synthetic aperture radar image segmentation [J]. *Journal of Electronic Imaging*, 2018, 27(3): 033044.
- [16] Hu T, Zhu X Y, Guo W, et al. A moving object detection method combining color and depth data[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2019, 44(2): 276-282.
胡涛, 朱欣焰, 芮维, 等. 融合颜色和深度信息的运动目标提取方法 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2019, 44(2): 276-282.
- [17] Wang T, Wang W, Cui Y H, et al. Improved ViBe algorithm based on color layout descriptor [J]. *Journal of Computer Applications*, 2020, 40(3): 812-818.
王彤, 王巍, 崔益豪, 等. 基于颜色布局描述子的改进 ViBe 算法 [J]. *计算机应用*, 2020, 40(3): 812-818.
- [18] Wan Q, Zhu X L, Xiao Y P, et al. An improved non-parametric method for multiple moving objects detection in the Markov random field[J]. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 2020, 124(1): 129-149.
- [19] Sun Y, Hou J. Vehicle detection using cascaded feature based on improved PBAS algorithm [J]. *Application Research of Computers*, 2019, 36(11): 3481-3485.
孙渊, 侯进. 基于改进 PBAS 算法的级联特征行车检测 [J]. *计算机应用研究*, 2019, 36(11): 3481-3485.
- [20] Chen Y, Ai Y P, Chen J. Dunhuang mural inpainting algorithm based on information entropy and structural characteristics [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(12): 121020.
陈永, 艾亚鹏, 陈锦. 基于信息熵和结构特性的敦煌壁画修复算法 [J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(12): 121020.
- [21] Zou Y, Wang D H, Liu L A. Research on human movement target recognition algorithm in complex traffic environment [J]. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2020, 34(5): 2050012.
- [22] Wang W, Wang X P, Liang J C. An improved ViBe algorithm based on adaptive detection of moving targets [J]. *Journal of Measurement Science and Instrumentation*, 2020, 11(2): 126-134.