

ViBe 算法鬼影抑制方法研究

马永杰*, 陈梦利, 刘培培, 段瑞国, 马芸婷

西北师范大学物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070

摘要 ViBe 算法由于便于实现、运算效率高等优点, 在运动目标检测等领域获得了广泛应用, 但其鬼影、阴影和运动目标不完整等不足也限制了 ViBe 算法的发展。针对 ViBe 算法在前景检测中的鬼影现象且长时间难以消除的问题, 提出一种结合平均背景法改进的 ViBe 算法。首先采用改进的平均背景法获得真实背景, 再对真实背景进行背景样本初始化; 然后利用 ViBe 算法实现前景检测、背景更新操作, 从而消除后续帧检测时出现的鬼影; 最后根据形态学相关知识来消除空洞以及干扰目标, 使得目标更加完整。实验结果表明, 与传统的 ViBe 算法相比, 本文算法能够有效地消除鬼影, 提高检测精度。

关键词 图像处理; 运动目标检测; ViBe 算法; 鬼影; 改进的平均背景法

中图分类号 TP391.9

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP57.021007

ViBe Algorithm-Based Ghost Suppression Method

Ma Yongjie*, Chen Mengli, Liu Peipei, Duan Ruiguo, Ma Yunting

College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China

Abstract The ViBe algorithm has been widely used for moving target detection owing to advantages such as ease of realization and high operational efficiency. However, the algorithm has weaknesses concerning ghosts, shadows, and incomplete moving targets. Therefore, an improved ViBe algorithm combined with the average background method is proposed, which aims to address the ghost phenomenon existing in the foreground detection of the ViBe algorithm, and the difficulty regarding its long-term elimination. First, the improved average background method was used to obtain and initialize the true background. Then, the ViBe algorithm was used for both foreground detection and background updating, to eliminate the ghosts in subsequent frame detection. Finally, morphological knowledge was used to make the target more complete by eliminating holes and interference targets. The experimental results indicate that this algorithm can more effectively eliminate ghosts and improve the detection accuracy compared with the traditional ViBe algorithm.

Key words image processing; moving target detection; ViBe algorithm; ghost; improved average background method

OCIS codes 100.2000; 150.1135; 330.4150

1 引言

在计算机视觉领域, 运动目标检测越来越受到人们的重视。它通过对视频序列图像的分析来提取运动目标, 是后续图像处理的基础, 因而被广泛应用于导航、视频监控以及交通检测等众多领域。后续图像处理包括目标跟踪、目标识别和目标行为理解等高级应用。

目前常用的运动目标检测方法主要分为帧差法^[1-2]、光流法^[3]、背景减法^[4]。背景减法算法的核心是对背景的建模, 当前帧和背景模型之间显著差异的区域被认为与移动对象相对应。一般背景减法算法包括高斯混合模型算法^[5]、码本算法^[6]和视觉背景提取(ViBe)算法^[7-8]。其中 ViBe 算法计算量比较小, 速度非常快, 而且对噪声有一定的稳健性, 检测效果很好, 但其缺点也很明显, 诸如鬼影、阴影、

收稿日期: 2019-05-22; 修回日期: 2019-06-24; 录用日期: 2019-07-01

基金项目: 国家自然科学基金(41461078)

* E-mail: myjmyj@163.com

目标不完整等问题。针对这些不足,科研人员提出许多关于运动目标检测的改进算法。文献[9]提出利用 Surendra 背景更新法得到纯净背景,将得到的纯净背景对 ViBe 算法进行初始化背景建模,以解决鬼影问题,然而 Surendra 背景更新法需要经过多次迭代才能得到较为纯净的背景,增加了算法的复杂度。文献[10]提出 ViBe 算法融合深度线索和颜色信息以分割前景区域,同时,在建立了背景模型和深度模型的基础上,提出一种新的更新策略,可以有效地消除鬼影和阴影。文献[11]提出利用超像素分割将原始图像分割为若干个超像素区域,再对 ViBe 算法检测的结果进行像素点分类,在目标检测的初始阶段实现鬼影信息的准确检测,并且更新鬼影区域像素点的背景模型,从而消除鬼影。文献[12]提出 ViBe 算法结合三帧差法的方法抑制鬼影及减少空洞,同时将显著性检测运用到运动检测中,检测的效果明显,具有较高的稳健性。文献[13]提出一种基于多尺度空间的 ViBe 算法,对输入的视频进行金字塔变换预处理,再在不同的分辨率下将得到的检测结果进行融合,最后结合帧间信息,加入二次判断策略来抑制鬼影,从而加快鬼影的消除。

由于 ViBe 算法是对第一帧进行初始化,若第一帧存在运动目标,在对后续帧检测时会产生鬼影。本文算法首先利用平均背景法得到真实背景;然后利用 ViBe 算法,根据得到的真实背景建立背景模型,从而消除鬼影;最后将改进的算法结合形态学运算,以提高检测精度。实验结果验证,本文算法在保证运算速度的同时也可有效地消除鬼影。

2 ViBe 算法及鬼影问题分析

2.1 ViBe 算法

ViBe 算法是一种基于像素的运动目标检测算法,其基本思想是为每个像素存储一组过去在相同位置或邻近位置获取的值,然后将该集合与当前像素值进行比较,以确定该像素是否属于背景,并在背景模型中随机选择要替换的值来适应模型。ViBe 算法的具体步骤如下。

1) 背景建模。ViBe 算法对第一帧图像 P 的每一个像素 (x, y) 建立一个大小为 N 的背景模型,即 $B(x, y) = \{b_1, b_2, \dots, b_N\}$,其中 b_i 为 (x, y) 的 8 邻域随机采样值, $i = 1, 2, \dots, N$, N 为背景模型中的样本值。

2) 前景检测。对第 k 帧图像 f_k ($k = 2, 3, \dots$,

n) 进行计算,即

$$d_{f_k} = |f_k(x, y) - b_j|, \quad (1)$$

式中: d_{f_k} 为第 k 帧图像 f_k 在 (x, y) 处的像素值与其对应的背景样本集元素 b_j 的欧氏距离; $j = 2, 3, \dots, N$; n 为图像帧数。

判断当前像素点 (x, y) 是否为背景,将 d_{f_k} 与预先设定的阈值 R 相比较,如果小于阈值 R ,并且数量足够多,则为背景,否则为前景。则第 k 帧图像 f_k 在 (x, y) 处的二值化结果为

$$f_k(x, y) = \begin{cases} 0 & d_{f_k} < R \\ 1 & d_{f_k} \geq R \end{cases}, \quad (2)$$

$$C_k(x, y) = \begin{cases} 0 & \sum_{i=1}^N f_k(x, y) \geq T \\ 1 & \sum_{i=1}^N f_k(x, y) < T \end{cases}, \quad (3)$$

式中: $C_k(x, y)$ 为第 k 帧图像 f_k 在 (x, y) 处的二值化结果; R 为半径阈值; T 为个数匹配阈值。

3) 背景更新。如果当前像素 (x, y) 被判断为背景像素,即 $C_k(x, y) = 0$ 时,则它有 $1/\varphi$ 的概率去更新背景模型,同时它也有 $1/\varphi$ 的概率去更新该像素邻域中的某一像素。其中 φ 为时间采样因子。那么经过时间 dt ,样本依然保留的概率为

$$P(t, t + dt) = \exp\left[-\ln\left(\frac{N}{N-1}\right)dt\right]. \quad (4)$$

(4)式表明一个样本值在模型中是否被替换与时间 t 不相关。

2.2 鬼影问题分析

鬼影是背景差分法检测运动物体的主要缺陷之一。当对背景初始化建模时,运动目标处于背景中,运动后则会产生鬼影。ViBe 算法利用第一帧初始化背景模型,其初始化方式为随机地选取每个像素周围位置的像素值来建立背景样本,因此当第一帧中存在运动目标时,模型初始化会将运动目标的像素填充进背景样本中,在后续帧进行检测时,便会出现鬼影现象。

图 1(d)是图 1(c)用 ViBe 算法检测到的结果。由于第 1 帧中存在运动目标(矩形框所示),并非真实的背景图像,因此检测结果中出现鬼影,如图 1(d)矩形框所示。因此,在建立 ViBe 背景模型时,使用真实背景建模是至关重要的。

而对于鬼影的检测与消除,文献[14]提出用连续两帧分别与背景模型作差分,根据两帧差分结果判断鬼影,并且将判定为鬼影的像素设置为背景点

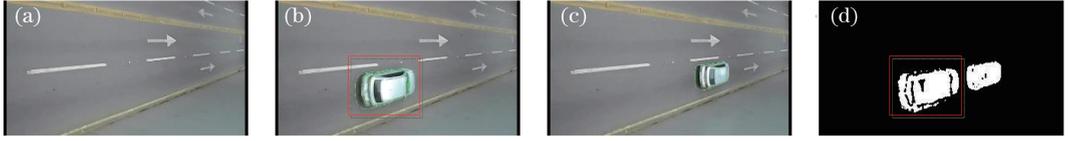


图1 鬼影产生。(a)真实背景;(b)第1帧;(c)第12帧;(d) ViBe检测结果

Fig. 1 Ghost generation. (a) Real background; (b) 1st frame; (c) 12th frame; (d) ViBe test result

进行背景更新,达到消除鬼影的目的。过程表达式为

$$\begin{aligned} D_k &= I(x, y, k) - B(x, y, k), \\ D_{k+1} &= I(x, y, k+1) - B(x, y, k+1), \\ F_{k,k+1} &= D_k \oplus D_{k+1}, \\ G_{\text{ghost}} &= \begin{cases} 1 & F_{k,k+1} > \delta \\ 0 & F_{k,k+1} \leq \delta \end{cases}, \end{aligned} \quad (5)$$

式中: I 为当前像素; B 为背景模型; $F_{k,k+1}$ 为前后两帧与背景模型比较的结果值; δ 为阈值; k 为当前帧; D_k 为当前帧在像素点 (x, y) 处与背景帧在像素点 (x, y) 处差分运算的结果; \oplus 为异或运算。

文献[15]提出在像素点空间传播时进行二次匹配来衡量前景像素点的鬼影程度,并调整疑似鬼影区域的更新速率,实现快速消除鬼影。匹配公式为

$$P_{\text{ghost}}(x_2) = \frac{\lambda \cdot R(x_2)}{\text{dist}[v(x_1), v(x_2)]}, \quad (6)$$

式中: $v(x_1)$ 为背景像素点 x_1 的像素值; $v(x_2)$ 为前景像素点 x_2 的像素值, x_2 是 x_1 的邻域像素; $R(x_2)$ 为邻域前景像素点 x_2 的当前匹配阈值; λ 为鬼影参数; $\text{dist}(\cdot)$ 为两个像素值的差值。 $P_{\text{ghost}}(x_2)$ 为像素点 x_2 鬼影因子,表示该点作为鬼影点的可能性,若判断出该前景点是鬼影像素,则提高空间传播速率,实现快速消除鬼影的目的。

上述方法只是提高了消除鬼影的效率,并不能从第一帧起就有效地消除鬼影,对于完全消除鬼影仍然需要一定的时间,其原因是由于没有使用接近真实背景的图像进行 ViBe 算法的背景建模。若是使用接近真实背景的图像进行 ViBe 背景样本初始化,便可以从第一帧起就能有效地消除鬼影。

3 改进的 ViBe 算法

综上所述,使用真实背景进行模型初始化是消除鬼影的重要一环,因此利用平均背景法得到真实背景,然后利用真实背景进行 ViBe 算法的背景样本初始化,就可以解决鬼影问题。

3.1 改进的平均背景法

在 ViBe 算法中,由于背景样本初始化过程会

把运动目标错误地初始化为背景,因此本文通过预处理过程来得到真实背景,然后使用得到的真实背景初始化背景样本,从而达到在对后续帧检测时消除鬼影的目的。

平均背景法是一种建立背景模型的方法。简单地说,就是从视频中获取一系列连续的帧,并且计算这些帧中的各个像素的平均值来表征背景,即

$$\overline{B}_m = \frac{1}{M}(f_m + f_{m-1} + f_{m-2} + \cdots + f_{m-M+1}), \quad (7)$$

式中: \overline{B}_m 为采集到第 m 帧图像时系统建立的背景模型; M 为检测的帧数; $f_m, f_{m-1}, \cdots, f_{m-M+1}$ 为包含当前帧在内的系统所保存的连续 M 帧图像。

本文认为应用的场景背景不会发生变化,因此不需要提前设定 M 值,而是采用视频的前 m 帧求平均,从而得到真实背景。经过大量的实验验证, m 确定为输入视频总帧数的 $1/2$ 。

使用平均背景法得到真实背景的步骤如下。

1) 输入连续的 m 帧图像,得到视频帧的大小,即一帧图像的长宽高 h, w, d 。

2) 获得每帧图像的矩阵,对其进行转置,即

$$\mathbf{T}(q, :) = \mathbf{F}_q^T, \quad q = 1, 2, \cdots, m. \quad (8)$$

并将转置矩阵进行相加,对 \mathbf{T} 矩阵各列取均值,即

$$\mathbf{A} = \frac{1}{m} \sum_{q=1}^m \mathbf{T}(q, :). \quad (9)$$

3) 将得到的矩阵 \mathbf{A} 利用函数`reshape`恢复成 $h \times w \times d$ 的图像矩阵,得到真实背景矩阵 \mathbf{B}_m ,即

$$\mathbf{B}_m = \text{reshape}(\mathbf{A}, w, h, d), \quad (10)$$

式中:`reshape`为重塑矩阵函数。

图2(a)为原始 ViBe 算法得到的背景,其中运动目标会在初始化过程中被错误地初始化为背景样本,从而产生鬼影。图2(b)为本文算法得到的真实背景 \mathbf{B}_m 。

3.2 形态学后操作

上述方法虽然可以消除鬼影对前景检测的影响,但在实际检测中,由于受到运动目标表面颜色或者环境的干扰,检测目标会出现空洞,从而影响运动

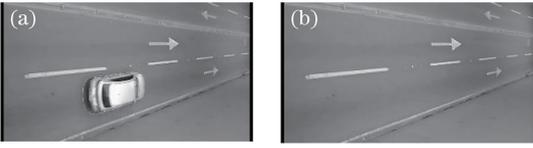


图2 背景图像。(a)原始 ViBe 算法得到的背景；
(b)本文算法得到的背景

Fig. 2 Background image. (a) Background obtained by original ViBe algorithm; (b) background obtained by proposed algorithm

目标的检测。为了得到更完整的目标,使用形态学运算。形态学基本运算包括腐蚀、膨胀、开运算和闭运算。开运算是先腐蚀再膨胀,闭运算是先膨胀再腐蚀。

在本文中形态学的处理过程为

$$S_1 = (S \ominus E) \odot E, \quad (11)$$

式中: S 为运动目标检测后的目标; E 为宽度为 5 pixel 的正方形结构元素; S_1 为输出结果; \ominus 为膨胀操作; \odot 为腐蚀操作。

$$S_2(x, y) = \text{med}\{S_1(x - h', y - l), (h', l \in W)\}, \quad (12)$$

式中: $S_1(x, y)$ 为输出结果; $S_2(x, y)$ 为中度滤波后的图像; W 为二维模板, 3×3 区域; $\text{med}\{\cdot\}$ 为中度滤波; h', l 分别为 x, y 方向的邻域数量。

首先利用(11)式连接目标,填充空洞,再经(12)式消除小目标,最后得到经过形态学操作后的图像。

3.3 改进的 ViBe 算法的运动目标检测

运动检测具体实现步骤如下。

1)背景建模。利用经平均背景法预处理得到的

真实背景 B_m 来构建 N 幅背景样本,即 $\bar{B}(x, y) = \left\{ \frac{b_{11} + b_{12} + \dots + b_{1m}}{m}, \frac{b_{21} + b_{22} + \dots + b_{2m}}{m}, \dots, \frac{b_{N1} + b_{N2} + \dots + b_{Nm}}{m} \right\}$, 其中 b_{ij} 表示 8 邻域随机采样值, $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, m, m$ 为输入视频总帧数的 1/2。

2)前景检测。计算当前图像中的像素到背景样本的距离,并且设定阈值 R 。如果小于阈值 R , 并且数量足够多,则为背景,否则为前景。

$$D_k = |I(x, y) - \bar{B}(x, y)|, \quad f_k(x, y) = \begin{cases} 0, & D_k < R \\ 1, & D_k \geq R \end{cases}, \quad C_k(x, y) = \begin{cases} 0, & \sum_{i=1}^N f_k(x, y) \geq T \\ 1, & \sum_{i=1}^N f_k < T \end{cases}, \quad (13)$$

式中: \bar{B} 为背景模型。

3)背景更新。如果当前像素被判断为背景像素时,则它有 $1/\varphi$ 的概率去更新背景模型,同时它也有 $1/\varphi$ 的概率去更新该像素邻域中的某一像素。

4)运动目标输出。将检测到的目标,使用形态学闭操作以及中度滤波运算来填充空洞,消除小目标,得到较为完整的运动目标。

4 实验结果及分析

4.1 实验验证

本实验运行环境为 Windows10 64 位操作系统, Inter (R) Core (TM) i5-7500 CPU 处理器, 16 GB 内存, MATLAB R2016a 仿真系统。为了验证本文算法对鬼影消除的实际效果,选取了两组视频进行实验验证,并且与三帧差分法、传统的 ViBe 算法以及文献[9]中的算法进行比较。本文中 $N = 20, R = 15, T = 2, \varphi = 5$ 。

为了验证本文算法能够解决第一帧存在运动目标而引起的鬼影问题,设置两组对比实验,所选用的待检测视频的第一帧均存在运动目标,如图 3 所示。



图3 待检测视频的第一帧。(a) Car 图像序列;
(b) Highway II 图像序列

Fig. 3 1st frame of video to be detected. (a) Car image sequence; (b) Highway II image sequence

设置的第一组对比实验采用序列图像 Car, 该视频图像分辨率为 320×176 , 实验对比结果如图 4 所示。

图 4(a)为输入图像,从左至右分别为 Car 视频图像帧的第 12 帧、第 78 帧、第 147 帧以及第 232 帧。图 4(b)为三帧差分法检测的结果,可以看出检测出来的前景目标中不存在鬼影,但是检测结果也并不理想,尤其是第 12 帧以及第 232 帧存在目标不完整、边缘信息丢失的问题。图 4(c)为传统 ViBe 算法检测的结果,矩形框中为鬼影,可以看出,第 12 帧时鬼影还很明显,经过不断的背景更新,到 232 帧时鬼影已经消失,但检测的前景目标也并不理想,第 78 帧以及第 147 帧存在目标空洞的问题,第 232 帧检测出来的前景目标也存在目标不完整、边缘信息丢失的问题。图 4(d)为文献[7]中所使用的算法,对比传统 ViBe 算法,文献[9]中的算法的确解决了

第一帧存在运动目标时目标离开会出现的鬼影问题。但是,从图 4(d)中的方框中可以看出,检测出来的前景目标中存在着噪声点,并且运动目标也不完整,第 78 帧检测出的运动目标存在着空洞。图 4(e)为本文算法的检测结果,与图 4(b)相比,本文算法能很好地解决三帧差分法带来的目标不完

整、边缘信息丢失的问题;与图 4(c)相比,本文算法能够很好地消除鬼影,第 78 帧以及第 147 帧目标空洞的问题也能得到解决;同时,也不存在图 4(d)中前景目标中的噪声点。综上所述,本文算法很好地解决了鬼影问题,检测结果更加完整,避免了给后续的图像处理带来干扰。

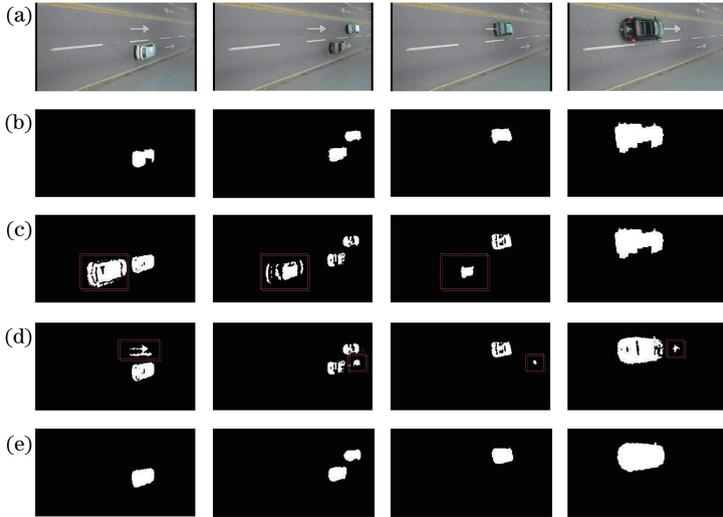


图 4 Car 图像序列结果对比。(a)输入图像;(b)三帧差分法;(c) ViBe 算法;(d)文献[9]算法;(e)本文算法
Fig. 4 Comparison of Car image sequence results. (a) Input image; (b) three-frame difference method;
(c) ViBe algorithm; (d) algorithm in Ref. [9]; (e) algorithm in this paper

为了了解本文算法在复杂交通下的鬼影去除性能,选用 Highway II 视频进行第二组实验。实验中图像序列 Highway II 的分辨率为 160×120 ,该视频取自高速公路,车流量较大。图 5(a)为输入图像,从左往右依次取自该视频序列的第 26 帧、第 55 帧、第 109 帧以及第 300 帧,实验结果如图 5 所示。

从图 3(b)中可以看出,Highway II 视频序列的第一帧图像存在大量的运动目标。图 5(b)的检测结果中并没有产生鬼影,但是在第 26 帧、55 帧的检测结果中,运动目标密集导致小目标连成一片难以分辨,而在第 109 帧的检测中运动目标不完整,存在空洞。图 5(c)为传统 ViBe 算法的检测结果,矩形

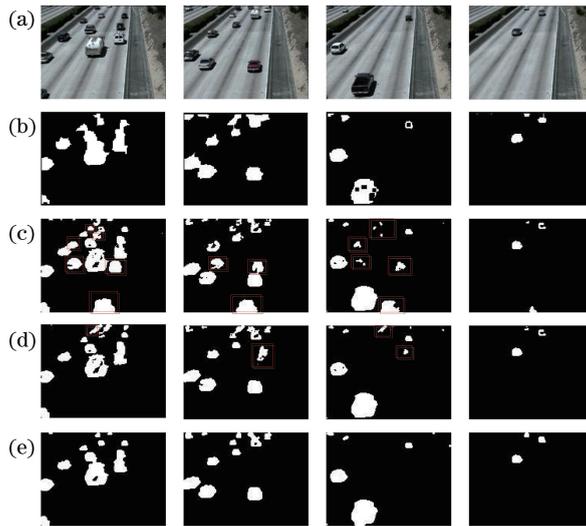
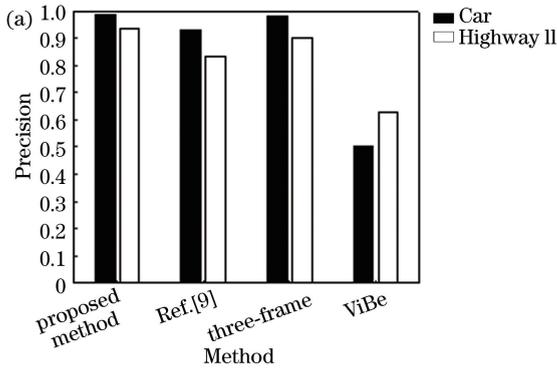


图 5 Highway II 图像序列结果对比。(a)输入图像;(b)三帧差分法;(c) ViBe 算法;(d)文献[9]算法;(e)本文算法
Fig. 5 Comparison of Highway II image sequence results. (a) Input image; (b) three-frame difference method;
(c) ViBe algorithm; (d) algorithm in Ref. [9]; (e) algorithm in this paper

框中为鬼影。由于第一帧图像存在大量的运动目标,第 26 帧的检测结果显示大量的鬼影,而到第 109 帧时大部分鬼影已经被更新掉,只有小部分鬼影,到第 300 帧时鬼影已经完全消除。相比于图 5(c),图 5(d)中文献[9]算法基本解决了鬼影问题,但同图 4(d)相似,检出的前景目标中存在着噪声点,如图 5(d)红框所示,在第 22 帧和第 55 帧中可以看出检测出来的运动目标并不完整,存在空洞。图 5(e)为本文算法的检测结果,从第 26 帧、55 帧所检测的结果可以看出,本文算法并没有因为目标密集而出现三帧差分法中目标粘连的情况,也解决了传统 ViBe 算法中鬼影和运动目标空洞的问题,更没有文献[9]算法检测出的噪声点。本文算法能够很清晰地将每个运动目标都单独检测出来,且目标自身没有断裂,与其他目标之间也没有粘连,更没有第一帧存在运动目标而产生鬼影的现象。



4.2 算法性能评估

为了准确、全面地评价本文算法与文献[9]算法、三帧差分法和 ViBe 算法的性能,采用精确度(P)、召回率(R')以及错误分类比(PWC)作为量化指标^[16-17],其定义为

$$\begin{cases} P = \frac{T_P}{T_P + F_P} \\ R' = \frac{T_P}{T_P + F_N} \\ R_{PWC} = \frac{F_P + F_N}{T_P + T_N + F_P + F_N} \times 100\% \end{cases}, (14)$$

式中: T_P 为正确检测为前景的数量; T_N 为正确检测为背景的数量; F_N 为被错误地检测为背景的数量; F_P 为被错误地检测为前景的数量。(14)式表明,精确度与召回率越高,算法性能越好。图 6 为两组视频下 4 种算法的精确度(P)与召回率(R')的直方图。

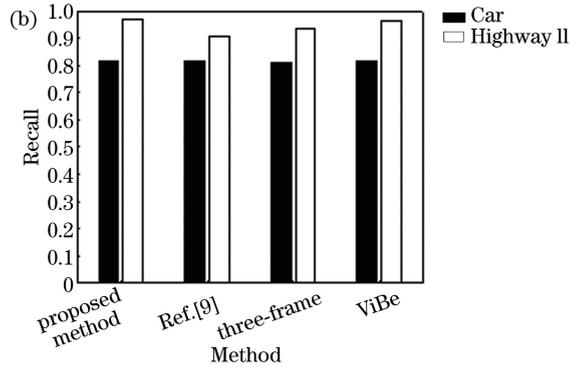


图 6 两组视频下 4 种算法的 P 与 R' 的直方图。(a)精确度直方图;(b)召回率直方图

Fig. 6 Histograms of P and R' of four algorithms for two groups of video. (a) Precision histogram; (b) recall histogram

图 6(a)为精确度直方图,可以看出本文算法的精确度指标明显高于 ViBe 算法和文献[9]算法,尤其在 Car 视频帧中比原始 ViBe 算法提高了将近 1 倍,而在 Highway II 视频帧中也高了将近 30 个百分点。但是与三帧差分法相比,本文算法的精确度虽然有所提高但不是很明显,这是因为三帧差分法只检测目标轮廓,所以检测出的错误前景较少,故而精确度偏高。在召回率指标上,如图 6(b)所示,本文算法也有所提高。虽然在 Car 视频帧中,本文算法与文献[9]和三帧差分法基本持平,但是在 Highway II 视频帧中,本文算法的召回率明显高于文献[9]和三帧差分法。与原始 ViBe 算法相比,本文算法不管是在 Car 视频帧还是在 Highway II 视频帧中都没有太大区别,也就是说,本文在被错误地检测为背景的数量上与传统 ViBe 算法基本持平。总体而言,本文算法的性能要优于其他三类算法。

表 1 四种算法的 PWC 对比

Table 1 Comparison of PWC of four methods %

Video	Three-frame		Ref. [9]	Proposed method
	difference method	ViBe		
Car	11.07	37.93	13.04	10.44
Highway II	8.19	24.09	13.04	4.94

表 1 是四种算法 PWC 的对比结果,PWC 越低,说明算法越可靠。从表 1 的数据可以看出,本文算法的 PWC 不管是在 Car 图像序列中,还是在 Highway II 的图像序列中检测出来的结果比其余三类算法都要低。

在 Car 视频图像中,本文算法要比传统 ViBe 算法低了将近 27 个百分点,而在 Highway II 视频图像中也低了将近 20 个百分点。也就是说,本文算法要比原始 ViBe 算法可靠得多。虽然在 Car 视频序列中本文算法与三帧差分法以及文献[9]算法相比,

PWC 并没有显著性的降低,但是在 Highway II 视频图像中本文算法的优势还是比较明显的。本文算法在 Highway II 图像序列中的 PWC 要比在 Car 图像序列中的 PWC 低得多,且 Highway II 视频图像比 Car 视频图像要复杂,也就是说,本文更适用于复杂场景中的鬼影去除。

为了验证本文算法的运算效率,以保证监控应用中的实时性,本文分别用四种算法对 2 组视频多次实验,统计了每种算法对不同视频的处理速度。视频帧 Car 的分辨率为 320×176 , Highway II 视频图像的分辨率为 160×120 。从表 2 的实验数据来看,本文算法的运算速度相比原 ViBe 算法有提高,且视频帧的分辨率越低,本文算法的运算速度越快。

表 2 两组视频的处理速度对比

Table 2 Comparison of processing speeds for two groups of video frame $\cdot s^{-1}$

Video	Three-frame difference method		Ref. [9]	Proposed method
	ViBe	Ref. [9]		
Car	14.13	12.70	14.79	14.39
Highway II	15.43	15.12	17.43	17.21

5 结 论

由于 ViBe 算法采用第一帧进行背景建模,因此当第一帧中存在运动目标时,后续帧检测时便会产生鬼影。为了快速地消除鬼影,本文提出一种改进的 ViBe 算法。首先利用平均背景法得到真实背景,并用得到的真实背景建立背景模型;同时采用 ViBe 算法实现前景检测、背景更新以及运动目标输出;最后利用形态学操作对检测结果加以完善。与三帧差分法、传统的 ViBe 算法、文献[9]中的算法进行实验对比,并定量评估了各自的结果。实验表明,本文改进的 ViBe 算法能在保持目标检测实时性的同时,有效地消除鬼影对目标检测准确度的影响。

参 考 文 献

[1] Migliore D A, Matteucci M, Naccari M. A reevaluation of frame difference in fast and robust motion detection[C] // Proceedings of the 4th ACM international workshop on Video surveillance and sensor networks - VSSN '06, October 27-27, 2006, Santa Barbara, California, USA. New York: ACM, 2006: 215-218.

[2] Cui J, Hu C Q, Xu H D. Moving target detection for

multi-beam forward-looking sonar based on frame-difference method[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(2): 169-176.

崔杰, 胡长青, 徐海东. 基于帧差法的多波束前视声呐运动目标检测[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(2): 169-176.

- [3] Li C M, Bai H Y, Guo H W, et al. Moving object detection and tracking based on improved optical flow method[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(5): 249-256.
- 李成美, 白宏阳, 郭宏伟, 等. 一种改进光流法的运动目标检测及跟踪算法[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(5): 249-256.
- [4] Ahmed S H, El-Sayed K, Elhabian S Y. Moving object detection in spatial domain using background removal techniques-state-of-art[J]. Recent Patents on Computer Science, 2008, 1(1): 32-54.
- [5] Chen H Y, Cui Y J, Li S, et al. An improved GMM-based algorithm with optimal multi-color subspaces for color difference classification of solar cells[J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2018, 31(4): 503-513.
- [6] Murgia J, Meurie C, Ruichek Y. An improved colorimetric invariants and RGB-depth-based codebook model for background subtraction using kinect[M] // Gelbukh A, Espinoza F C, Galicia-Haro S N. Human-inspired computing and its applications. Lecture notes in computer science. Cham: Springer, 2014, 8856: 380-392.
- [7] Barnich O, van Droogenbroeck M. ViBe: a universal background subtraction algorithm for video sequences[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6): 1709-1724.
- [8] Huang W, Liu L, Yue C, et al. The moving target detection algorithm based on the improved visual background extraction[J]. Infrared Physics & Technology, 2015, 71: 518-525.
- [9] Liu C, Zhai Z Q. Moving target detection algorithm with improved ViBe [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2017, 36(1): 123-126.
- 刘春, 翟志强. 改进的 ViBe 运动目标检测算法[J]. 传感器与微系统, 2017, 36(1): 123-126.
- [10] Zhou X Q, Liu X F, Jiang A M, et al. Improving video segmentation by fusing depth cues and the visual background extractor (ViBe) algorithm[J]. Sensors, 2017, 17(5): 1177.
- [11] Chen H Y, Qie L Z, Yang D D, et al. Visual background extraction algorithm based on superpixel

- information feedback[J]. Acta Optica Sinica, 2017, 37(7): 0715001.
- 陈海永, 郗丽忠, 杨德东, 等. 基于超像素信息反馈的视觉背景提取算法[J]. 光学学报, 2017, 37(7): 0715001.
- [12] Yang Y Z, Zhang Q, Wang P F. A novel moving objects detection algorithm based on improved ViBe and three-frame differencing algorithm[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2018, 41(8): 1052-1058.
- 杨依忠, 张强, 汪鹏飞. 基于改进 ViBe 算法与三帧差法的运动检测算法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2018, 41(8): 1052-1058.
- [13] 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.
- [14] Wei H T, Li J, Wu X X. Moving object detection algorithm using ViBe combined with frame-difference[J]. Application Research of Computers, 2017, 34(5): 1565-1567, 1571.
- 魏洪涛, 李瑾, 吴细秀. 融合帧差和 ViBe 的运动目标检测算法[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(5): 1565-1567, 1571.
- [15] 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.
- [16] Zhu W J, Wang G L, Tian J, et al. Detection of moving objects in complex scenes based on multiple features[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(6): 0612004.
- 朱文杰, 王广龙, 田杰, 等. 基于多特征的复杂场景运动目标检测[J]. 光学学报, 2018, 38(6): 0612004.
- [17] Goyette N, Jodoin P M, Porikli F, et al. Changedetection. net: a new change detection benchmark dataset [C] // 2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, June 16-21, 2012, Providence, RI, USA. New York: IEEE, 2012: 12865138.