

# 基于改进的单高斯背景模型检测算法的研究

徐鸿伟 陈 钱 钱惟贤

南京理工大学电光学院, 江苏 南京 210094

**摘要** 针对传统单高斯背景模型(SGM)检测中背景模型不能很好地自适应背景变化等问题,提出了一种改进的单高斯背景模型检测的方法。该方法取前 $N$ 帧做均值建立初始背景模型,然后利用三帧差法计算得出背景作为本文需要处理的背景区域。同时,对帧差法获得的背景区域分区,划分出大面积静止区域、历史变化区域及该变化区域的历史轨迹区域。赋予大面积静止区和历史变化区固定更新率,同时历史变化区域的历史轨迹区域按照时间分布,给予线性衰减的更新率,在此基础上进行背景模型参数的更新,最终通过背景差分法得出运动的目标。实验表明,改进的算法背景模型的自适应性有了很大地提高,基于单高斯背景模型运动目标的检测也变得更加准确。

**关键词** 探测器; 视频监控; 单高斯背景模型; 帧差法; 历史运动图像; 背景差分法; 运动目标

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP53.040401

## Target Detection Algorithm Based on Improved Single Gaussian Background Model

Xu Hongwei Chen Qian Qian Weixian

*School of Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology,  
Nanjing, Jiangsu 210094, China*

**Abstract** In order to solve the problem that background model can not be well adapt to background changes in traditional single-Gaussian background model (SGM) detection, an innovative single-Gaussian background model detection method is proposed.  $N$  frames are used to establish the initial model, and the background area is obtained by frame difference method. At the same time, the background is divided into a large area of the stationary area, historic changing area and historic area of the changing one. Then the large stationary area and historic changing area are taken with fixed update rate and the relevant track area of historic changing area is taken with linear attenuation in accordance with the time distribution. So background model parameters are updated. The moving target is obtained by using the background subtraction. According to the experiment, the self-adaptability of the proposed algorithm model is improved greatly, and the detection of moving target is more accurate based on single Gaussian background model.

**Key words** detectors; video surveillance; single-Gaussian background model; frame difference method; motion history picture; background subtraction; moving target

**OCIS codes** 040.1880; 330.1880; 140.1135; 120.4630

## 1 引言

运动目标检测一直是智能监控领域的主要课题。传统的运动目标检测算法有:帧差法<sup>[1]</sup>、光流法<sup>[2]</sup>、背景差分法<sup>[3]</sup>等。帧差法利用不同时刻帧图像差分得出运动目标,该方法实时性好,但是容易出现目标空洞以及目标丢失的情况。光流法利用运动目标随时间变化的光流特性建立约束方程,从而进行目标的检测,此算法比较复杂,计算量大,运算速度较慢,不利于实时监控。背景差分法先建立一个背景模型,将当前场景与该背景模型进行差分运算,所得结果即运动目标。

收稿日期: 2015-09-06; 收到修改稿日期: 2015-11-08; 网络出版日期: 2016-03-06

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK20130769)

作者简介: 徐鸿伟(1991—),女,硕士研究生,主要从事视频监控、图像处理等方面的研究。E-mail: 1214426803@qq.com

导师简介: 陈 钱(1964—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事光电探测与图像处理、信息光电子技术、传感器与信号处理等方面的研究。E-mail: chenq@mail.njust.edu.cn

背景差分法的关键在于背景模型的建立与更新。常用的背景建模有单高斯背景模型(SGM)<sup>[4]</sup>和混合高斯背景模型(GMM)<sup>[5]</sup>等。单高斯模型运算速度快,但是背景自适应性差,容易出现目标鬼影、拖影等现象。混合高斯模型随着高斯分布个数的增加,计算复杂程度增加,不能很好地满足目标提取的实时性要求。

本文对传统单高斯模型检测算法进行了改进。先对传统单高斯背景模型建模,然后利用帧差法获得的背景模型对单高斯背景模型进行修正。改进后的算法有效地解决了传统单高斯背景模型中出现的鬼影现象,目标准确性得到了很大地提高。

## 2 单高斯背景模型

### 2.1 传统单高斯背景模型

单高斯背景模型认为,在外界环境的影响下,每个像素点的像素值是关于时间的高斯分布,当有物体经过时,像素值变化很大,不服从高斯分布,因此将不服从高斯分布的像素点判定为前景点,否则为背景点。

传统单高斯背景模型的建立主要过程如下:

1) 初始化背景模型。取前  $N$  帧视频序列,对图像中像素点  $(x,y)$  进行统计运算。该像素点的均值  $\mu(x,y)$  和方差  $\sigma^2(x,y)$  初始值为

$$\mu(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(x,y), \quad (1)$$

$$\sigma^2(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [I(x,y) - \mu(x,y)]^2, \quad (2)$$

式中  $I(x,y)$  为像素点  $(x,y)$  的灰度值,将初始均值  $\mu(x,y)$  作为初始背景模型的灰度值。

2) 运动目标检测。当新的帧图像输入时,计算像素点  $(x,y)$  在概率模型中的概率,选取合适的阈值,若概率大于阈值,则认为该点为背景点,否则为前景点。概率  $P[I(x,y)]$  计算公式为

$$P[I(x,y)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2(x,y)}} \exp\left\{-\frac{[I(x,y) - \mu(x,y)]^2}{2\sigma^2(x,y)}\right\}. \quad (3)$$

3) 更新背景模型。对于背景差分法而言,背景模型的好坏直接影响目标检测效果的好与差。背景模型建立后,随着时间的推移,背景会发生一些变化,因此需要及时地对背景模型进行更新<sup>[6]</sup>。传统的更新策略是对被检测为背景点的像素点进行高斯参数的更新,更新公式为

$$\mu^{i+1}(x,y) = (1 - \alpha)\mu^i(x,y) + \alpha I^{i+1}(x,y), \quad (4)$$

$$[\sigma^{i+1}(x,y)]^2 = (1 - \alpha)[\sigma^i(x,y)]^2 + \alpha [I^{i+1}(x,y) - \mu^{i+1}(x,y)]^2, \quad (5)$$

式中  $\mu^{i+1}(x,y)$  和  $\sigma^{i+1}(x,y)$  是当前帧像素点  $(x,y)$  的均值和方差,  $\alpha$  为背景更新率。

根据上述建模过程可知,在背景更新过程中,传统的更新策略是选取被判定为背景点的像素点进行更新,被判定为前景点的像素点则不进行更新。对于背景比较稳定的环境,单高斯背景模型检测算法能够很好地检测出运动目标。然而,在实际环境监控中,目标运动以及环境变化比较复杂,传统单高斯背景模型很容易将部分背景点误判为前景点,忽视该部分的背景更新,造成背景模型的鬼影现象。此外,由于传统的背景模型更新策略采用统一的背景更新率,容易造成背景模型的拖影现象。由此可见,传统的单高斯背景模型中的背景模型自适应效果较差,无法满足实际要求。

针对上述不足,在传统的单高斯背景模型基础上,引入帧差法和运动历史图像(MHI)对其进行改进,使得背景模型的背景自适应性得到了显著提高。

### 2.2 三帧差法

三帧差法是对相邻的3帧图像进行两两差分,将得到的结果进行灰度转换,然后分别对灰度图像进行二值化处理。将得到的两个二值化图像中各像素点值进行与运算,得到三帧差法处理后的运动目标的二值化图像。

$$y_1 = \begin{cases} 1, & |x_t - x_{t-1}| > T_1 \\ 0, & |x_t - x_{t-1}| < T_1 \end{cases}, \quad (6)$$

$$y_2 = \begin{cases} 1, & |x_{t+1} - x_t| > T_1 \\ 0, & |x_{t+1} - x_t| < T_1 \end{cases}, \quad (7)$$

$$y = \begin{cases} 1, & y_1 \& y_2 = 1 \\ 0, & y_1 = 0 \text{ or } y_2 = 0 \end{cases}, \quad (8)$$

$$w = v - y', \quad (9)$$

式中  $x_{t-1}$ ,  $x_t$ ,  $x_{t+1}$  分别为第  $t-1, t, t+1$  时刻的输入图像,  $T_1$  为两次差分时的阈值,  $y_1$  和  $y_2$  是传统帧差法获得的二值化图像,  $y$  为  $t$  时刻由 3 帧差法得出的最终二值化图像,  $y'$  为  $y=1$  的区域, 即运动目标像素点所在区域,  $v$  为整体图像的像素点全区域,  $w$  为  $t$  时刻由帧差法得出的背景区域。

### 2.3 运动历史图像

MHI<sup>[7-8]</sup> 是一种很巧妙的运动分割的方法, 利用连续运动图像中的目标轮廓的空间相关性, 将不同时刻的连续图像加权叠加形成运动历史图像, 最后进行分割得到目标。基本原理如下:

假设  $t$  时刻图像记为  $I_m(x, y, t)$ ,  $t-1$  时刻图像记作  $I_m(x, y, t-1)$ , 则差分图像为

$$D(x, y, t) = \begin{cases} 1, & |I_m(x, y, t) - I_m(x, y, t-1)| > T_m \\ 0, & |I_m(x, y, t) - I_m(x, y, t-1)| \leq T_m \end{cases}, \quad (10)$$

式中  $T_m$  为图像亮度阈值。

MHI 的计算公式为

$$H_\tau(x, y, t) = \begin{cases} \tau, & \text{if } D(x, y, t) = 1 \\ \max[0, H_\tau(x, y, t-1) - 1], & \text{else} \end{cases}, \quad (11)$$

式中  $\tau$  控制着 MHI 包含持续运动信息时间的长短。

### 2.4 单高斯背景模型的改进

首先, 对于运动目标由静止变为运动或者运动变为静止等复杂运动情况, 利用三帧差法得出的背景区域  $w$  代替传统单高斯模型中的背景区域, 进行背景模型的更新。该方法能够及时获得完整背景区域, 避免了传统单高斯背景建模中因像素值变化较大造成的背景点误判情况和鬼影现象。

此外, 为了解决出现的拖影问题, 结合运动历史图像的思想, 对传统单高斯建模中使用固定的更新率进行背景更新的方法进行改进, 采用动态更新率<sup>[8]</sup> 的办法。

对于  $t$  时刻获得的背景区域  $w$ , 将该背景区域  $w$  分为  $t-1$  时刻目标图像运动历史区域  $m_1$  (该区域记为  $t$  时刻历史变化区  $m_1$ , 不包含  $t$  时刻与  $t-1$  时刻都存在运动目标的区域) 和剩余背景区  $m_2$ , 其表达式分别为

$$m_1 = y_1 - y, \quad (12)$$

$$m_2 = w - m_1. \quad (13)$$

背景区域  $w$  划分示意图如图 1 所示。阴影部分为  $t$  时刻背景区域, 左虚线部分为运动目标历史背景区  $m_1$ , 右虚线部分为剩余背景区  $m_2$ 。

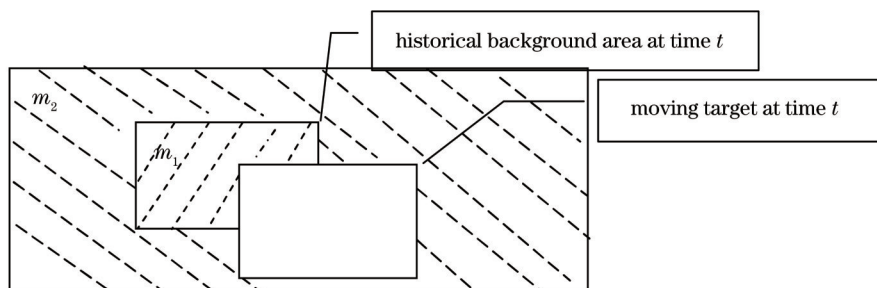


图 1 背景区域划分示意图

Fig.1 Segmentation map of background area

对于背景区中的  $m_1$  区域选取比较大的更新率,对于背景区中区域  $m_2$ ,结合运动历史图像的方法采用一种动态的背景更新率。

如图2所示,设  $t$  时刻的当前帧为第  $N_t$  帧,对于阴影部分背景区域  $m_2$ ,则可分为  $N_t-1, N_t-2, \dots, N_t-n$  帧  $m_1$  历史变化区域和剩余的大面积静止区。大面积静止区域,选取较小的背景更新率  $a$ ,对于  $N_t-1, N_t-2, \dots, N_t-n$  历史变化区域  $m_1$  选取动态衰减的更新率。

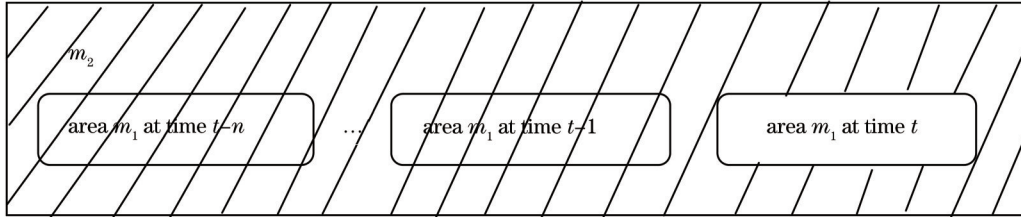


图2  $t$ 时刻背景区域  $m_2$  划分示意图

Fig.2 Segmentation map of background area  $m_2$  at time  $t$

对于第  $N_t-n$  帧的历史变化区域  $m_1$ ,更新率衰减,直到动态变化的更新率衰减为  $a$ :

$$b_{N_t-n} = b - \frac{(b-a)}{C} \times n, (1 \leq n \leq C), \quad (14)$$

式中  $C$  为更新率由  $b$  衰减为  $a$  需要的帧数,由实际情况具体而定。当更新率衰减为  $a$  的时候将该区域划出  $n$  帧历史变化区  $m_1$  范围。

则背景区域更新率  $b_{N_t}$  可表示为

$$b_{N_t} = \begin{cases} b, & \text{if } (x,y) \in m_1 \\ \max\left[a, b_{N_t-1} - \frac{(b-a)}{C}\right], & \text{if } (x,y) \in m_2 \end{cases} \quad (15)$$

背景区域更新率分配情况如图3所示。

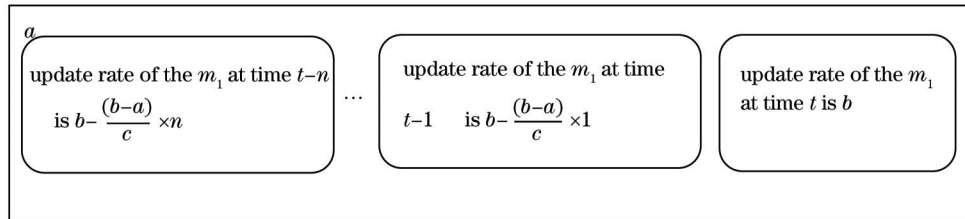


图3 背景区域更新率

Fig.3 Update rate of the background area

最后,综合改进后的背景区域以及更新率,根据(4)~(5)式进行高斯参数的更新,并利用背景差法提取出有效的运动目标。

用帧差法得到的背景区域代替用传统单高斯背景建模得到的背景区域,可以很好地对传统单高斯背景建模中误判为前景点的部分进行补充,从而比较完整地获得单高斯背景模型中需要更新的背景区域,再通过结合运动历史图的方法采用不同更新率的更新模式,很好地解决了传统单高斯背景模型中出现鬼影和拖影现象的问题,由此基础上更新的背景模型更接近真实场景,背景模型的自适应性有了很大地提高。

## 2.5 算法的主要步骤和流程图

完整的单高斯背景模型运动目标检测算法步骤如下:

1) 背景初始化:取前  $N$  帧图像的均值做初始背景模型。  
2) 背景修正:利用(6)~(9)式由帧差法得出新的背景区域并对背景区域按(12)~(13)式进行划分,记录  $m_1$  历史变化区域和和该区域更新率作为一个样本集。

3) 更新率更新:将当前时刻历史变化区域  $m_1$  更新率赋值为  $b$ ,对于  $t-1, t-2, \dots, t-n$  时刻的历史变化区域  $m_1$ ,更新率线性衰减,同时对于更新率衰减到  $a$  的区域,将该部分划出  $t-1, t-2, \dots, t-n$  时刻历史变化区  $m_1$  范

围,更新所有的  $m_1$  历史变化区样本集,然后按(4)~(5)式对修正后的背景点进行高斯分布的更新,建立新的背景模型。

4) 运动目标检测:对当前帧图像与更新后的背景区域做差分,取合适的阈值,若差值大于阈值则判定为最终前景点,否则为背景。将3)得出的模型作为新的背景模型,回到步骤2)进行操作。

算法流程图如图4所示。

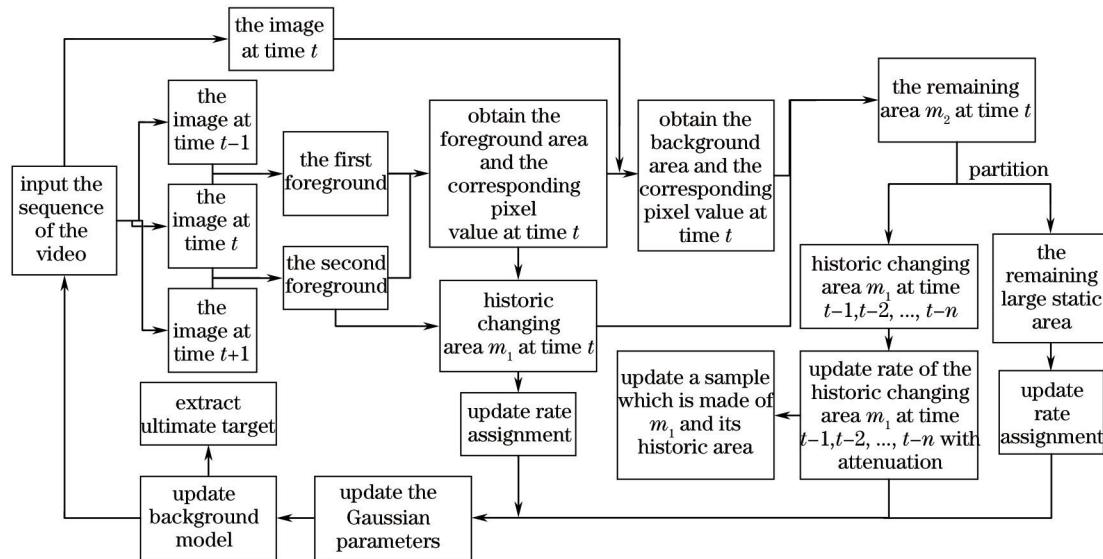


图4 算法流程图

Fig.4 Flow chart of the proposed algorithm

### 3 实验与分析

实验环境条件为 Matlab 2013b, 计算机 CPU 为 Intel(R)Core(TM) i7-4700MQ@2.40 GHz, 内存 4 GB。取前 40 帧图像的均值做初始背景模型。帧差法从第 41 帧开始运算。帧差法阈值为 0.078125, 背景差法目标检测阈值取 20, 对于  $m_2$  更新参数  $a=0.01$ , 对于  $m_1$  更新参数  $b=0.1$ , 动态更新率区域变化帧数  $C=10$ 。

为了验证本文算法的有效性,选取模拟了 4 种真实的场景。

实验一:模拟运动目标由静止到运动的过程,如图 5 所示。图 5(a)~(d)为本文算法的实验图,图 5(e)~(h)为传统单高斯法的实验图,虚线区域为运动目标的初始区域。

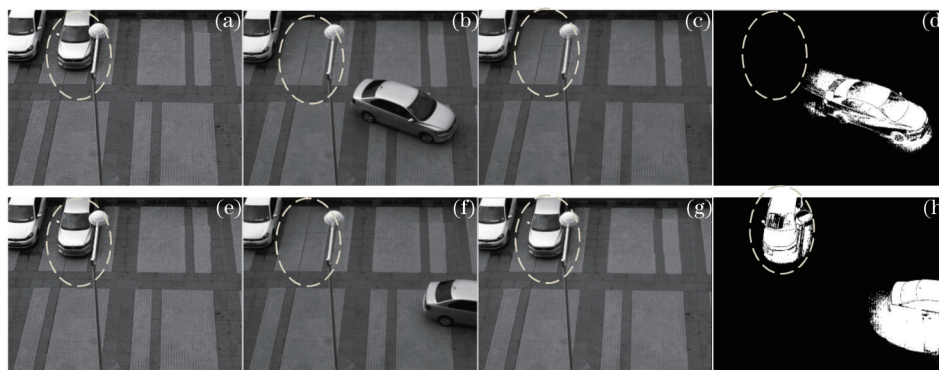


图5 实验模拟目标由静止到运动的过程。(a) 初始场景;(b) 实时图像;(c) 本文算法背景模型;(d) 本文算法目标检测图;(e) 初始场景;(f) 实时图像;(g) 传统单高斯法背景模型;(h) 传统单高斯法目标检测图

Fig.5 Processing of experimental simulation target from static to movement. (a) Initial scene; (b) real-time image; (c) background model of proposed algorithm; (d) object detection image of proposed algorithm; (e) initial scene; (f) real-time image; (g) background model of SMG algorithm; (h) object detection image of SMG algorithm

由图 5(g)可知,传统的单高斯模型对于原目标静止区域的背景不能进行有效地更新,目标初始静止区域如图 5(e)所示出现了鬼影现象,而用本文算法处理的背景模型如图 5(c)所示,有效地将初始静止区域的背

景进行了更新,且目标检测效果如图5(d)所示,效果良好。

实验二:模拟运动目标由运动到静止的过程,如图6所示。图6(a)~(d)为本文算法的实验图,图6(e)~(h)为传统单高斯法的实验图,虚线区域为运动目标最终静止区域。

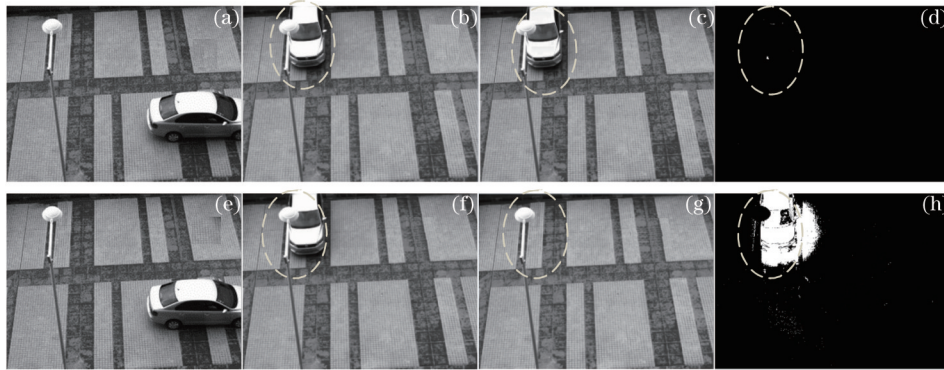


图6 实验模拟目标由运动到静止的过程。(a) 初始场景; (b) 实时图像; (c) 本文算法背景模型; (d) 本文算法目标检测图; (e) 初始场景; (f) 实时图像; (g) 传统单高斯法背景模型; (h) 传统单高斯法目标检测图

Fig.6 Processing of experimental simulation target from movement to static. (a) Initial scene; (b) real-time image; (c) background model of proposed algorithm; (d) object detection image of proposed algorithm; (e) Initial scene; (f) real-time image; (g) background model of SMG algorithm; (h) object detection image of SMG algorithm

对于由运动到静止的过程,如图6(c)~(d)所示,本文算法能有效地将静止后的目标逐渐转化为背景,而传统的单高斯背景模型,如图6(g)~(h)所示,始终将已经静止的物体当作目标,无法将静止后的物体融入需要更新的背景区域中。因此,对于由运动到静止的场景,本文算法更加准确。

实验三:拖影效果的处理,如图7所示。图中虚线区域为检测目标区域。

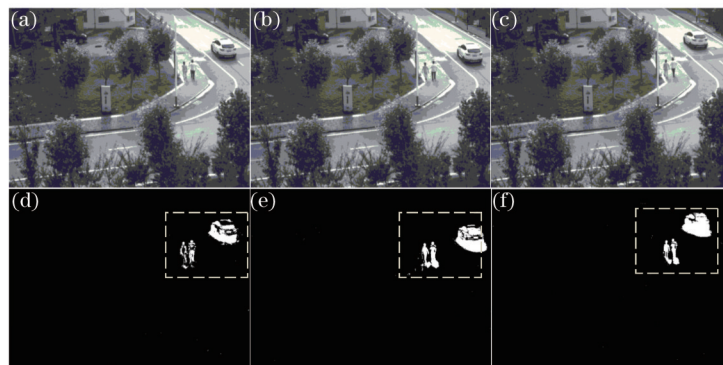


图7 拖影效果对比。(a) (d) 本文算法实时图像和目标图像; (b) (e) 仅结合帧差法的算法实时图像和目标图像; (c) (f) 传统单高斯法实时图像和目标图像

Fig.7 Contrast of smear effect. (a) (d) Real-time image and target image of proposed algorithm; (b) (e) real-time image and target image of proposed algorithm only with frame difference; (c) (f) real-time image and target image of traditional SGM

实验三对本文算法、仅结合帧差法的算法以及传统单高斯算法检测的效果进行比较,如图7(d)~(f)所示,可知仅结合帧差法改进的算法,目标阴影很大,加了分区以后,使用本文算法提取目标时,拖影明显比用另两种算法提取的目标拖影小很多,目标的精确率有了很大地提高。

实验四:模拟监控复杂环境,摄像机在拍摄过程中转动视角<sup>[9]</sup>,实验效果如图8所示。图8(a)~(d)为本文算法处理得到的实验图,图8(e)~(h)为传统单高斯法处理得到实验图。

对于传统单高斯法而言,当背景出现大面积变动时,会出现背景不更新、目标提取错乱、大面积误检的情况,如图8(g)、(h)所示。与传统单高斯法相比,对于转动过视角的场景,本文算法依然能够有效地更新背景,从而有利地提取出转换视角后的运动目标。

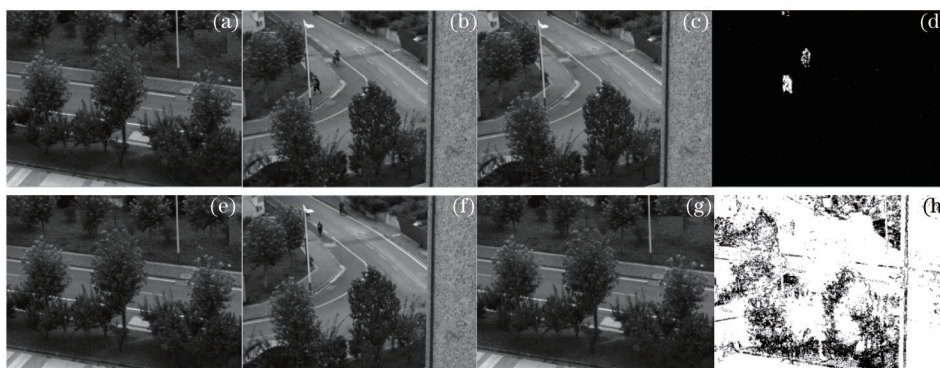


图8 模拟复杂环境实验对比图。(a) 初始场景; (b) 实时图像; (c) 本文算法背景模型; (d) 本文算法目标图像; (e) 初始场景; (f) 实时图像; (g) 传统单高斯法背景模型; (h) 传统单高斯法目标图像

Fig.8 Experimental contrast figure of simulating complex environment. (a) Initial scene; (b) real-time image; (c) background model of proposed algorithm; (d) object image of proposed algorithm; (e) initial scene; (f) real-time image; (g) background model of SMG algorithm; (h) object image of SMG algorithm

为了验证本文算法实时性,选取了两个不同规格尺寸视频进行分析。表1为各算法实时检测单帧图片处理时间。

表1 各算法实时特性分析

Table 1 Real-time characteristic analysis of each algorithm

Size of image /(pixel×pixel)	Moving object detecting method	Cost time for single frame /s
240×280	SGM	0.04
240×280	improved SGM	0.15
492×660	SGM	0.20
492×660	improved SGM	0.27

由表1可知,算法处理速度与图像大小有关,本文算法相比传统单高斯背景模型处理速度稍慢,但整体满足视频处理实时性要求。

## 4 结 论

在传统单高斯背景模型基础上,利用帧差法将初始背景模型划分出背景区域,结合运动历史图方法,将传统单高斯背景模型中统一的更新率改进为动态的更新率,进行背景更新之后,利用背景差法得出运动目标。实验结果表明,该算法处理速度略低于传统的单高斯背景模型运动目标检测算法,但是处理效果更加准确,自适应性更好。

## 参 考 文 献

- Gao Fei, Jiang Jianguo, An Hongxin, *et al.*. A fast detection algorithm for moving object[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2012, 35(2): 180-183.  
高 飞, 蒋建国, 安红新, 等. 一种快速运动目标检测算法[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2012, 35(2): 180-183.
- Denman S, Chandran V, Sridharan S. An adaptive optical flow technique for person tracking systems[J]. Pattern recognition letters, 2007, 28(10): 1232-1239.
- Pal A, Schaefer G, Celebi M E. Robust codebook-based video background subtraction[C]. Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP), 2010 IEEE International Conference on IEEE, 2010: 1146-1149.
- Chen Yin, Ren Kan, Gu Guohua, *et al.*. Moving object detection based on improved single Gaussian background model[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(11): 1109002.  
陈 银, 任 侃, 顾国华, 等. 基于改进的单高斯背景模型运动目标检测算法[J]. 中国激光, 2014, 41(11): 1109002.
- Hua Yuanlei, Liu Wangjun. Moving object detection algorithm of improved Gaussian mixture model[J]. Journal of Computer Applications, 2014, 34(2): 580-584.  
华媛蕾, 刘万军. 改进混合高斯模型的运动目标检测算法[J]. 计算机应用, 2014, 34(2): 580-584.
- Koller D, Weber J, Huang T, *et al.*. Towards robust automatic traffic scene analysis in real-time[C]. Pattern Recognition,

- Conference A: Computer Vision & Image Processing, Proceedings of the 12 th IAPR International Conference on IEEE, 1994, 1: 126-131.
- 7 Meng F, Qu Z, Zeng Q, *et al.*. Traffic object tracking based on increased-step motion history image[C]. Automation and Logistics, 2007 IEEE International Conference on IEEE, 2007: 345-349.
- 8 Liu Yan, Gao Yun. Abnormal behavior recognition based on corner motion history[J]. Computer Engineering & Science, 2014, 36(6): 1127-1131.
- 刘 燕, 高 云. 利用角点历史信息的异常行为识别算法[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(6): 1127-1131.
- 9 Intachak T, Kaewapichai W. Real-time illumination feedback system for adaptive background subtraction working in traffic video monitoring[C]. Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), 2011 International Symposium on IEEE, 2011: 1-5.

栏目编辑: 苏 岑