

基于改进的单高斯背景模型运动目标检测算法

陈 银 任 侃 顾国华 钱惟贤 徐福元

(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)存在的背景模型不能很好地自适应背景变化、目标检测不完整的问题,提出了一种改进的单高斯背景模型运动目标检测算法,该方法结合单高斯背景模型和 mean shift 原理对运动目标进行检测。取前 N 帧视频样本的均值作为初始背景模型,对当前帧图像进行运动目标的初检测,根据单高斯背景模型更新原理用当前帧图像对检测为背景的点进行背景模型更新,对更新后的背景模型中不属于背景点的像素点进行 mean shift 修正,将进行 mean shift 修正后得到的背景模型作为最终的背景模型,再通过背景差分法最终检测出运动目标。实验表明,改进的算法能很好地克服背景模型不能自适应背景变化的缺点,目标检测完整度比传统的单高斯模型高。

关键词 机器视觉; mean shift; 样本均值; 背景模型; 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/CJL201441.1109002

Moving Object Detection Based on Improved Single Gaussian Background Model

Chen Yin Ren Kan Gu Guohua Qian Weixian Xu Fuyuan

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

Abstract Aiming at the non-adaptive problem and incomplete detection of single Gaussian background model (SGM), an improved single Gaussian background model method for moving object detecton is proposed. This method combines SGM and the mean shift algorithm to detect moving objects. The initial background model is decided by using N frames of images, and the moving objects are detected, the pixel which belong to background points are updated according to the single Gaussian model algorithm, and the pixel which do not belong to the background points in the updated background model are corrected using the mean shift algorithm, the background model corrected by the mean shift algorithm is used as the final background model. The moving objects are detected using the background difference method. The experiments show that the improved method can overcome the non-adaptive shortcoming and have high detectivity.

Key words machine vision; mean shift; sample mean; background model; background difference; moving objects

OCIS codes 150.1135; 120.4630; 040.1880

1 引 言

目前对于运动目标检测的方法主要有帧差法,非参数估计,光流法,背景模型法。帧差法^[1]利用相邻两帧或者几帧做差来提取目标。帧差法实时性好,但检测率低,检测出的目标往往存在空洞现象。

非参数估计^[2]将样本集中,每个样本赋予一个核函数,将所有的样本核函数进行加权,得到模拟样本集的概率分布曲线,通过计算某像素点在概率分布曲线中的概率来判断是否是目标点。由于非参数估计需要对样本集进行统计,因此会随着样本集的增多,

收稿日期: 2014-05-20; **收到修改稿日期**: 2014-06-17

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK20130769)

作者简介: 陈 银(1989—),男,硕士研究生,主要从事图像处理、机器视觉等方面的研究。

E-mail: cy08042402@163.com

导师简介: 任 侃(1983—),男,讲师,硕士生导师,主要从事三维建模、目标探测、图像处理等方面的研究。

E-mail: k.ren@njjust.edu.cn

计算量增大。光流法^[3]是在适当的平滑性约束条件下,根据图像序列时空梯度估算运动场,通过分析运动场的变化对运动目标和场景进行检测和分割。缺点是计算复杂,实时处理不高,抗噪性差。背景差分法直接用输入图像与背景模型相减检测出运动目标,背景差分法由于其相对简单、检测率高,成为目前运动目标检测最常用到的方法。

背景模型法的关键在于背景模型的建立以及更新,背景模型建立的好坏直接影响运动目标检测率的高低。目前,对于背景模型的建立和更新,提出了不少算法,比如卡尔曼预测背景模型^[4],混合高斯背景模型^[5],单高斯背景模型(SGM)^[6]。其中,卡尔曼预测背景模型背景自适应能力缓慢,混合高斯背景模型随着高斯分布个数的增加,计算复杂程度也随之增加,单高斯背景模型存在背景模型不能很好地自适应、检测率不完整的问题。

本文是在传统单高斯背景模型的基础上提出的一种改进的单高斯背景模型运动目标检测算法。该算法通过传统单高斯背景模型建立及更新背景模型,然后通过 mean shift 算法^[7]修正使其更接近于真实背景的背景模型,使改进后的算法获得的背景模型更精确,最后通过帧差法检测出运动目标。有效地克服了背景模型不能很好地自适应的现象,提高了检测完整度。

2 算法原理与步骤

2.1 单高斯背景模型原理

单高斯背景模型认为各个像素点的像素值随时间的推移会有一些扰动,这个扰动近似满足高斯分布。当有物体经过时,像素值的变化就会很大,不服从高斯分布。根据某一时刻某像素点的像素值是否满足高斯分布可以判断该点是否为背景点。

2.1.1 单高斯背景模型的初始化

取前 N 帧图像做统计平均,点 (x, y) 的均值和方差的初始值分别按照如下公式求取:

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

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

式中 $I_i(x, y)$ 为点 (x, y) 的灰度值,将 $\mu(x, y)$ 作为初始背景模型的灰度值。

2.1.2 运动目标检测

利用如下公式对当前帧的每个像素点进行计算,如果像素点的概率值大于阈值 T ,则判定该像素

点为背景点,否则为前景点。概率计算公式为

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

式中 $P[I(x, y)]$ 是点 (x, y) 的像素的概率值。

2.1.3 背景模型的更新

随着时间的变化,背景也会发生一些变化,背景模型需要响应这些变化,因此需要对背景模型进行更新。更新的原则是:当像素点为前景时,背景保持不变,当像素点为背景时,按下式进行更新:

$$\begin{aligned} \mu^{t+1}(x, y) &= (1 - \alpha)\mu^t(x, y) + \alpha I^{t+1}(x, y), \quad (4) \\ [\sigma^{t+1}(x, y)]^2 &= (1 - \alpha)[\sigma^t(x, y)]^2 + \\ &\quad \alpha [I^{t+1}(x, y) - \mu^{t+1}(x, y)]^2, \quad (5) \end{aligned}$$

式中 α 为更新参数,表示背景更新的速度快慢,取值范围为 $0 \sim 1$,根据实验效果确定, t 表示前一帧, $t+1$ 表示当前帧。

从上述原理可以得知,在背景更新的过程中,只是对判断为背景的像素点进行了更新,而被判断为前景点的像素点不进行背景模型的更新,导致背景模型不能很好地自适应。因此,若在前 N 帧图像中包含大部分的运动目标信息,则在初始化的背景模型中也将包含运动目标信息,在后续的背景更新中,这部分运动目标信息将不会得到更新,从而造成残影现象。对于运动目标由运动变为静止的情况,则会存在运动目标静止后,不会被更新为背景,静止的运动目标将会一直被检测为前景。

对于上述不足之处,本文对不属于背景点的像素点采用 mean shift 算法在样本集上进行计算来修正其背景点,使其能够自适应背景的变化。并且通过背景差分法来检测目标。

2.2 Mean shift 原理

Mean shift 是一个迭代的步骤,即先算出当前点的偏移值,移动该点到其偏移值,然后以此为新的起始点,继续移动,直到满足一定的条件结束。Mean shift 计算公式为

$$M(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i k\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)} - x, \quad (6)$$

式中 $M(x)$ 为偏移差值, x 为迭代起始点。

从(6)式可以看出新坐标的计算公式为

$$x_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i k\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}, \quad (7)$$

式中 x_n 为新的坐标点。

从(7)式可以得知 mean shift 的每一次计算是通过高斯权重进行加权平均求得偏移后的点,该点位于迭代样本中密度较大的区域。对于运动目标来说,其在空间中每个点的样本集中所占比重较小,密度较小,因此可以通过在样本集中计算(7)式来修正背景点。Mean shift 是一个迭代的过程,本文权衡效率与效果,只进行一次迭代,即通过(7)式计算出新的像素点,并将新的像素点作为修正后的背景模型像素点。

2.3 算法步骤与流程图

算法主要分为 5 个部分:背景初始化,运动目标检测初检测,背景更新及修正,运动目标检测终检测,样本集更新。具体步骤为:

- 1) 背景初始化:取前 N 帧图像的平均值作为初始背景图像;
- 2) 运动目标初检测:采用当前帧图像与背景图像做差,若差值大于阈值 T (根据实验效果而定,一般取 $10\sim 20$),判断为前景点,否则为背景点;
- 3) 背景更新:对步骤 2)中判断出的背景点,根据单高斯模型,按照(4)式和(5)式分别进行均值和方差的更新,将均值作为背景图像;对判断出的前景点,根据 mean shift 算法,按照(7)式计算修正其背景点;
- 4) 运动目标检测终检测:用当前帧图像与更新后的背景图像做差,若差值大于阈值 T (与运动目标初检测中的阈值相同),判断为前景点,否则为背景点;
- 5) 样本集更新:将样本集中的第一帧图像移

出,新一帧图像加到样本集中的最后。回到步骤 2)对新一帧图像中的运动目标进行检测。

整个算法的流程框图如图 1 所示。

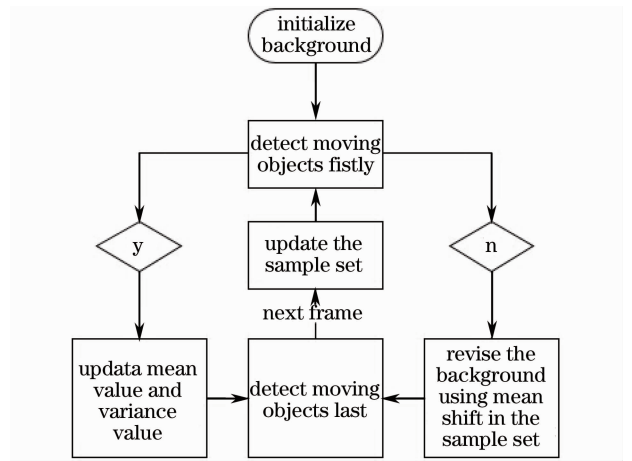


图 1 算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow chart

3 实验结果及分析

3.1 背景模型自适应结果对比

仿真环境是 Matlab R2012b, Win7 操作系统,中央处理器(CPU)型号 Intel(R) Core(TM) 2 T7650。样本集数量为 50 帧,视频前 50 帧图像的平均值作为初始背景模型,mean shift 计算所用样本从 50 帧样本中每 5 帧取一帧,即 mean shift 所用样本数量为 10 帧。其中 mean shift 中的高斯核函数的均值取值为背景模型的均值,方差取 255。阈值 T 取值 20, α 更新参数取值 0.01。

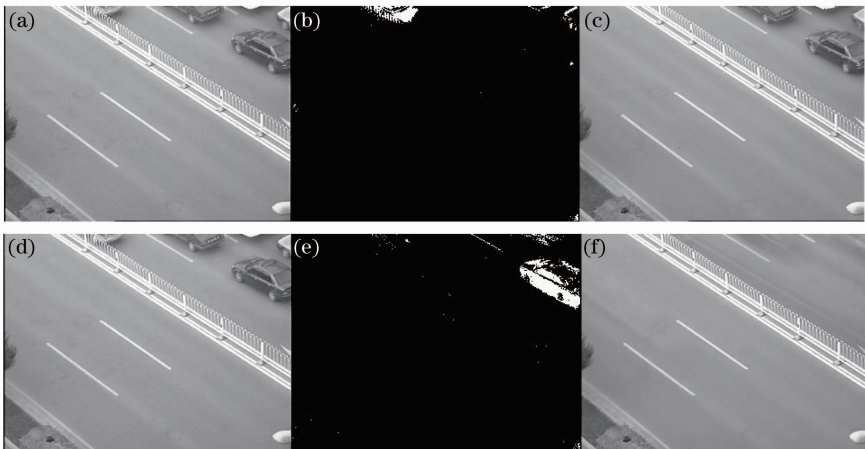


图 2 第 2599 帧图像。(a)(d) 原始图像;(b) 本文算法检测结果图;(e) 单高斯模型算法检测结果图;(c) 本文算法更新的背景模型;(f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 2 2599th image. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

3.1.1 对交通视频的处理结果对比

对车辆进行检测的检测结果。图像大小为(高度×宽度)240 pixel×320 pixel。

以下实验是在一段交通视频中分别用两种算法

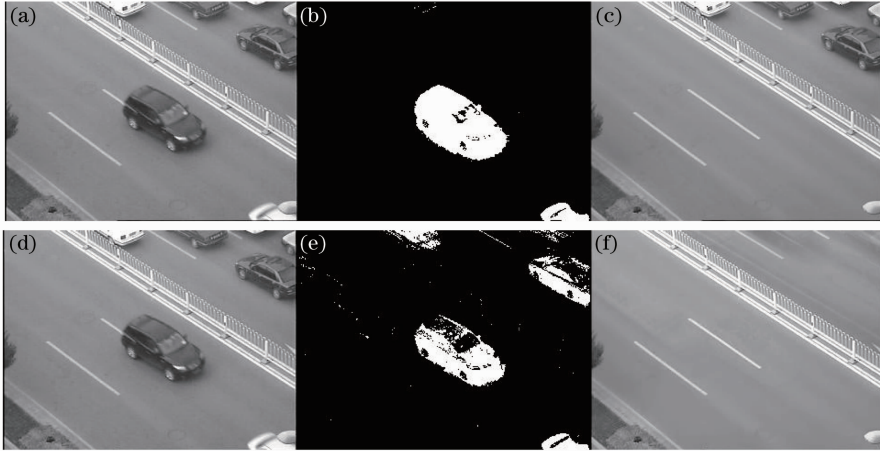


图3 第3167帧图像。(a)(d)原始图像；(b)本文算法检测结果图；(e)单高斯模型算法检测结果图；(c)本文算法更新的背景模型；(f)单高斯模型算法更新的背景图

Fig.3 3167th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

从上述两组图可以看出,本文算法能达到自适应背景变化的效果,使静止后的目标逐渐融为背景,能很好地将静止的运动目标更新为背景。而传统的单高斯背景模型不能自适应背景变化,因此,不能将静止后的目标更新为背景,导致目标静止后仍被当做运动目标检测出来。

acA640-90gc)在一段时间内,对某一场景情况的录制。图像大小(高度×宽度)为492 pixel×660 pixel(相机原始分辨率为492 pixel×658 pixel,为便于使用opencv处理,将图像扩展为492 pixel×660 pixel)。

3.1.2 对一般场景下运动目标检测的效果对比

从上述三组背景图可以看出本文算法的背景更新过程,而单高斯背景模型在目标由静止变为运动后并没有对背景进行更新,不能达到自适应。

1) 当目标由静止变为运动时的检测效果对比

视频来源是采用德国的 basler 相机(型号:

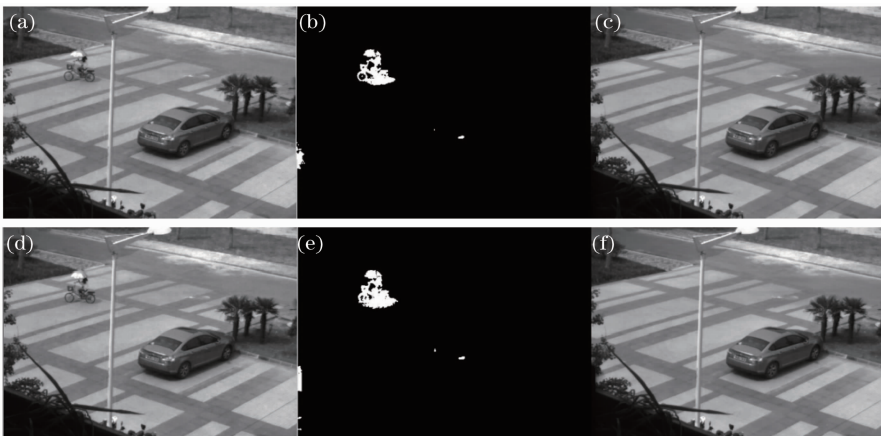


图4 第36帧图像。(a)(d)原始图像；(b)本文算法检测结果图；(e)单高斯模型算法检测结果图；(c)本文算法更新的背景模型；(f)单高斯模型算法更新的背景图

Fig.4 36th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

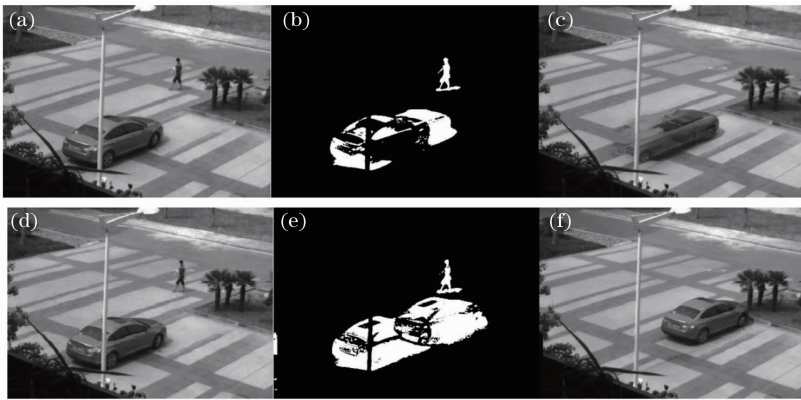


图 5 第 196 帧图像。(a)(d) 原始图像；(b) 本文算法检测结果图；(e) 单高斯模型算法检测结果图；(c) 本文算法更新的背景模型；(f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 5 196th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

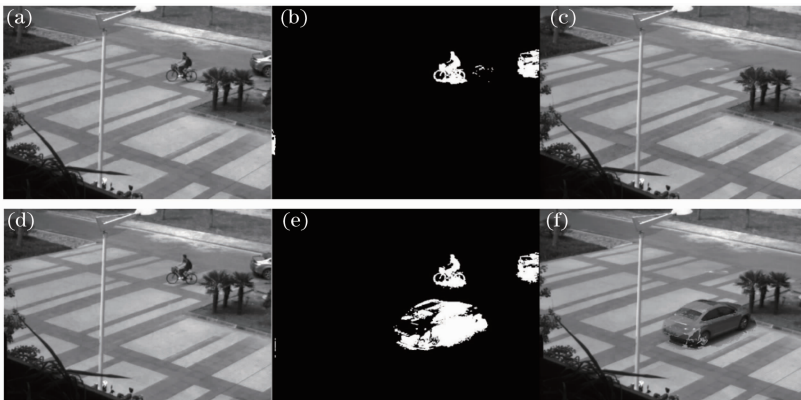


图 6 第 366 帧图像。(a)(d) 原始图像；(b) 本文算法检测结果图；(e) 单高斯模型算法检测结果图；(c) 本文算法更新的背景模型；(f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 6 366th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

2) 当摄像机发生抖动时的检测效果对比

从上述实验对比可以看出,当因摄像机发生抖动

而导致场景发生变化时,本文算法能很好地再次将背景更新出来,而单高斯模型则不能适应这种变化。

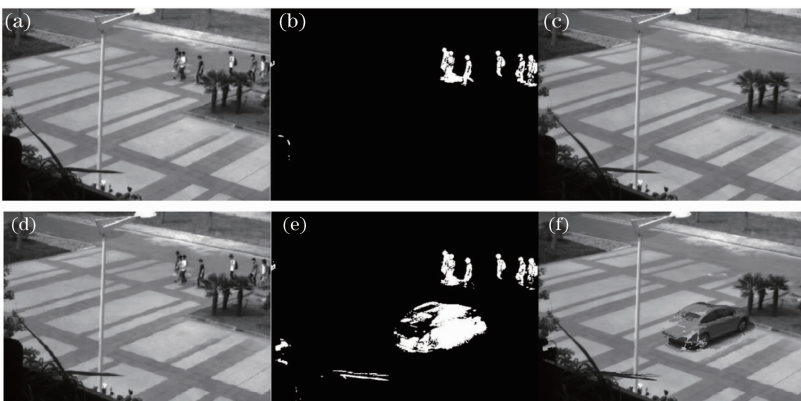


图 7 第 2446 帧图像。(a)(d) 原始图像；(b) 本文算法检测结果图；(e) 单高斯模型算法检测结果图；(c) 本文算法更新的背景模型；(f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 7 2446th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

从上述几组实验对比可以得出,由于本文对判断为前景的像素点通过 mean shift 进行了背景模型的修正,使修正后的背景模型更接近实际背景模型,达到自适应背景变化的效果,使静止后的目标逐渐融为背景,能很好地将静止的运动目标更新为背景。

而传统的单高斯背景模型,由于没有对检测为前景的像素点进行背景模型的修正,因此,不能将静止后的目标更新为背景,导致目标静止后仍被当做运动目标检测出来。

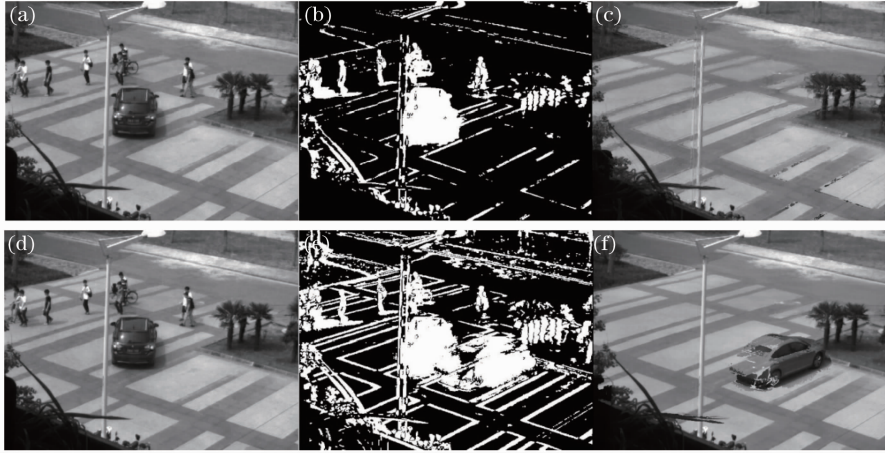


图 8 第 2545 帧图像。(a)(d) 原始图像; (b) 本文算法检测结果图; (e) 单高斯模型算法检测结果图; (c) 本文算法更新的背景模型; (f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 8 2545th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

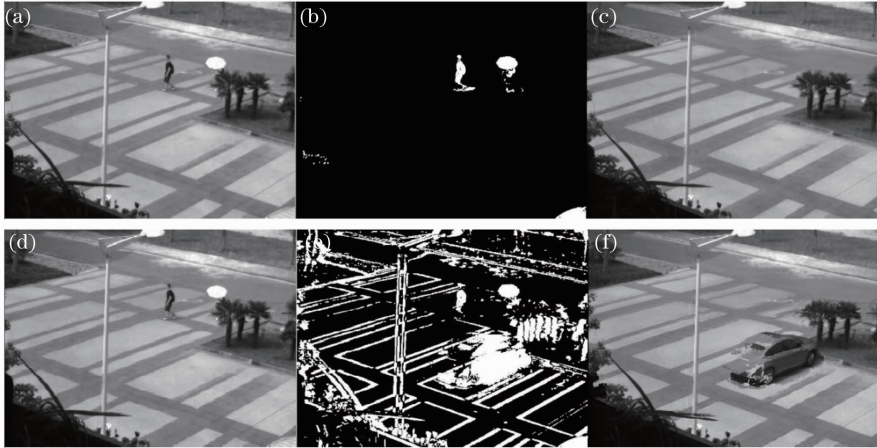


图 9 第 2720 帧图像。(a)(d) 原始图像; (b) 本文算法检测结果图; (e) 单高斯模型算法检测结果图; (c) 本文算法更新的背景模型; (f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 9 2720th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

3.2 检测完整度结果对比

3.2.1 对交通视频的处理结果对比

上述实验对比显示本文算法检测率较单高斯模型高,没有空洞及检测不完整的现象。

3.2.2 对一般场景下运动目标检测的效果对比

视频来源是采用德国的 basler 相机(型号:acA640-90gc)在一段时间内,对某一场景情况的录制。

从这组实验可以看出,本文算法对背景模型的更

新好,背景图完整,因此检测完整度较单高斯模型高。

从上述实验对比可以看出,由于传统单高斯背景模型是根据高斯概率函数计算像素点的概率值,通过概率值与阈值的比较来判断前景和背景。而高斯函数中的两个参数均值和方差对概率值起着决定作用。传统单高斯模型中没有对判断为前景的像素点进行均值和方差的更新,导致概率值有偏差。本文只是用 meanshift 算法对背景模型进行了修正,

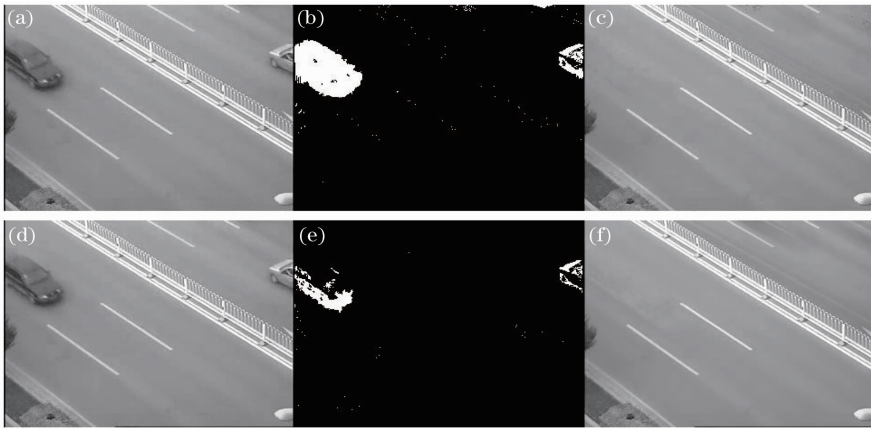


图 10 第 27 帧图像。(a)(d) 原始图像；(b) 本文算法检测结果图；(e) 单高斯模型算法检测结果图；
(c) 本文算法更新的背景模型；(f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 10 27th frame. (a)(d) Original image; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

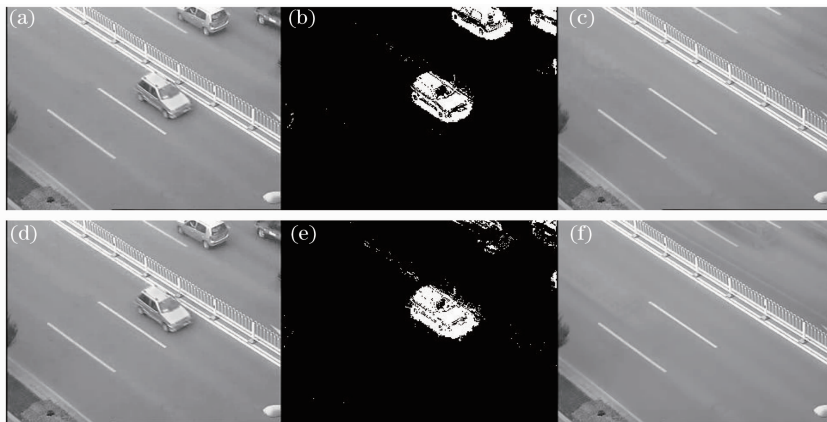


图 11 第 79 帧图像。(a)(d) 原始图像；(b) 本文算法检测结果图；(e) 单高斯模型算法检测结果图；
(c) 本文算法更新的背景模型；(f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 11 79th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

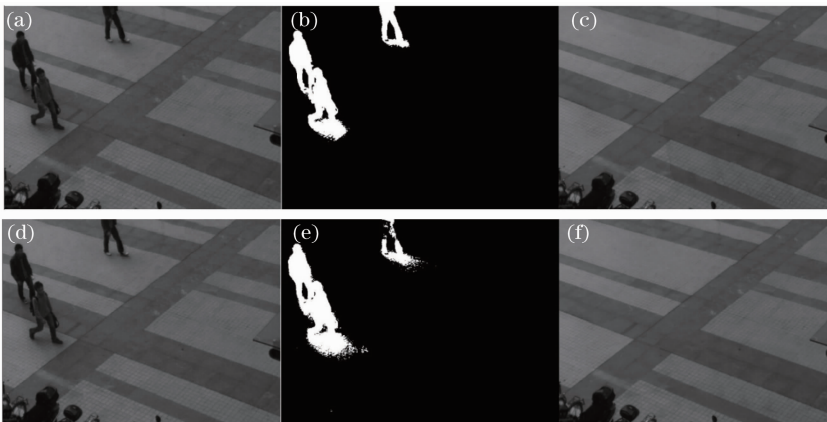


图 12 第 65 帧图像。(a)(d) 原始图像；(b) 本文算法检测结果图；(e) 单高斯模型算法检测结果图；
(c) 本文算法更新的背景模型；(f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 12 65th frame. (a)(d) Original image; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

没有更新均值和方差。因此,没有采用(3)式高斯概率公式来判断前景和背景,而是采用背景帧差法判

断前景和背景,比传统单高斯模型的检测完整度高,不会存在检测不完整,或有空洞的现象。

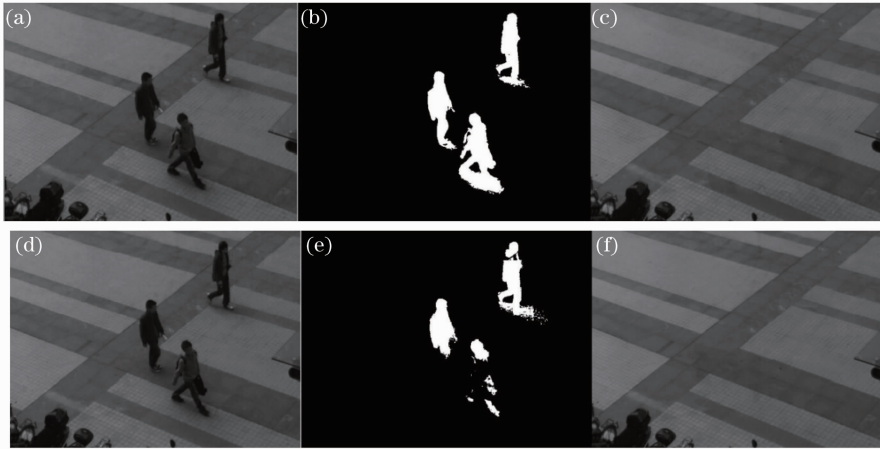


图 13 第 105 帧图像。(a)(d) 原始图像; (b) 本文算法检测结果图; (e) 单高斯模型算法检测结果图; (c) 本文算法更新的背景模型; (f) 单高斯模型算法更新的背景图

Fig. 13 105th frame. (a)(d) Original images; (b) detecting result of the proposed algorithm; (e) detecting result of SGM; (c) background model of the proposed algorithm; (f) background model of SGM

4 实时性分析

表 1 中平均时间是指在仿真实验所用的视频中,在较长时间段内,处理每帧图像所花的时间相对

稳定的情况下得到的。本文算法处理每帧图像所花时间最小值是在没有运动目标的情况下得出的,最大值是在发生背景突变的情况下得出的。

表 1 算法实时性比较

Table 1 Comparition of the algorithm real-time property

Size of image /(pixel×pixel)	Moving object detecting method	Time for themoving object detecting
492×660	SGM	0.11 s/frame
	Improved SGM	0.04~1.1 s/frame Average time: 0.1 s/frame
240×320	SGM	0.03 s/frame
	Improved SGM	0.03~0.2 s/frame Average time: 0.05 s/frame

由于单高斯模型对被判断为前景的像素点不进行处理,而本文算法对被判断为前景的点结合 mean shift 算法对其背景点进行修正,因此在实时性方面略低于单高斯模型。本文算法的计算复杂度主要在于对被判断为前景的点所对应的背景点进行修正,当被判断为前景点的像素点较多时,计算复杂度增大,反之,计算复杂度减小。因此,本文算法的实时性依赖于运动目标的大小和数量,目标小,数量少,实时性高,目标大,数量多,实时性较低。当背景发生突变时实时性将达到最低,没有目标时,实时性达到最高。

背景的判别。对背景点采用单高斯背景模型更新公式更新,对前景点采用 mean shift 算法进行修正使其适应场景的变化。该方法能很好地适应背景的变化,检测度高。

参 考 文 献

- Zhang Ling, Chen Limin, He Wei, *et al.*. Application of an improved frame-difference method based on video in traffic flow measurement [J]. Journal of Chongqing University (Nature Science), 2004, 27(5): 31-33.
张 玲, 陈丽敏, 何 伟, 等. 基于视频的改进帧差法在车流量检测中的应用[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2004, 27(5): 31-33.
- Wang Jinsong, Yan Yi'an, Wei Fajie. Moving object detection method using background Gaussian kernel density estimation[J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(2): 373-376.
王劲松, 颜益安, 魏法杰. 利用背景高斯核密度估计的运动目标检测方法[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(2): 373-376.
- Hu Juehui, Li Yimin, Pan Xiaolu. An improved optical flow algorithm in vehicle identification and tracking [J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(23): 5814-5817.

5 结 论

在单高斯背景模型的基础上进行了改进,采用 mean shift 算法修正背景模型。利用视频前 N 帧图像的均值对背景模型进行初始化,然后进行前景和

- 胡觉晖, 李一民, 潘晓露. 改进的光流法用于车辆识别与跟踪[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(23): 5814—5817.
- 4 Xia Weicai, Zeng Zhiyuan. Background update algorithm based on Kalman filtering[J]. Computer Technology and Development, 2007, 17(10): 134—136.
- 夏伟才, 曾致远. 一种基于卡尔曼滤波的背景更新算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10): 134—136.
- 5 Lu Qinghua, Wu Zhiwei, Fan Yanbin. An improved mobile vehicle detection method based on Gaussian mixture model[J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2013, 24(4): 751—757.
- 卢清华, 吴志伟, 范彦斌. 基于混合高斯模型的运动车辆检测方法[J]. 光电子·激光, 2013, 24(4): 751—757.
- 6 Zhu Huasheng, Ye Jun. Adaptive vehicle detection and traffic statistics algorithm based on improved Gaussian model[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(10): 1180—1183.
- 朱华生, 叶 军. 基于改进高斯模型的车流量检测算法[J]. 激光与红外, 2013, 43(10): 1180—1183.
- 7 Y Z Cheng. Mean shift, mode seeking, and clustering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790—799.

栏目编辑:张浩佳