

doi: 10.3788/gzxb20144307.0710002

连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法

屈晶晶, 辛云宏

(陕西师范大学 物理与信息技术学院, 西安 710119)

摘 要: 为了克服背景差分法和帧间差分法的不足, 有效提高运动目标检测的准确性、实时性和检测效率, 提出了一种将连续帧间差分法与背景差分法相结合的运动目标检测方法. 首先通过连续帧间差分法获得连续帧差图像, 然后分别通过线性的自适应滤波、非线性的中值滤波获得背景图像进行差分, 之后再利用阈值分割技术实现运动目标的增强, 从而有效解决背景差分法和帧间差分法中都可能出现的无法检测目标的现象. 实验表明, 该算法可以有效避免漏检、误检等情况, 提高运动目标检测的效率和准确性.

关键词: 运动目标检测; 连续帧间差分; 背景提取; 背景差分; 阈值分割

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2014)07-0710002-8

Combined Continuous Frame Difference with Background Difference Method for Moving Object Detection

QU Jing-jing, XIN Yun-hong

(School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: In order to overcome the disadvantage of the background difference method and the frame difference method and improve the accuracy, real-time and detection efficiency for the detection of moving target, a method was presented that combines the continuous frame difference method with the background difference method. The proposed method firstly used continuous frame difference method to obtain continuous difference images. Then a linear adaptive filter or an nonlinear median filter was adopted to obtain the background image and get them subtraction. Finally a threshold segmentation technology was used to enhance the detected moving target. Experiment results demonstrate that the proposed algorithm can effectively avoids the phenomenon of the “missed” and “false alarms”, etc., and the detection efficiency and accuracy are improved greatly.

Key words: Moving target detection; Continuous frame difference; Background extraction; Background difference; Threshold segmentation

OCIS Codes: 100.0100; 100.2000; 100.3008

0 引言

随着 IT 技术的飞速发展与各种监控设备成本的不断降低, 视频监控系統已经在金融、交通、军事等领域得到了广泛应用^[1]. 视频序列中运动目标的检测和

跟踪技术也已成为计算机视觉领域中一个非常重要的研究课题.

视频序列中运动目标的检测方法主要有背景差分法、光流法和帧间差分法等. 背景差分法^[2-3]是利用当前图像与背景图像的差分来检测运动目标, 算法简单、

基金项目: 陕西省自然科学基金研究计划工业攻关项目(No. 2012K09-09)和中央高校基本科研业务费专项资金(No. GK201301008)资助
第一作者: 屈晶晶(1990-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为红外小目标的检测和跟踪. Email: qjj080610104@163.com

导师(通讯作者): 辛云宏(1967-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为微弱光电信号检测与处理、被动目标定位跟踪、多传感器信息融合.
Email: xinyh@snnu.edu.cn

收稿日期: 2013-10-28; 录用日期: 2013-12-10

检测速度快,但只有在建立准确背景模型的情况下才能很好地检测出运动的目标,一旦受到环境光线变化等干扰,实际背景发生变化就会容易将一些伪目标判断为目标对象,影响检测,效果的准确性,抗干扰能力较差.光流法^[4-6]利用序列图像中每一帧图像的各个像素的矢量特征来检测运动区域,当目标运动时,运动目标形成的光流失量发生变化,从而检测出运动目标.大多数情况下能有效地提取和跟踪运动目标,但计算复杂,抗噪性能差,难以进行实时处理.帧间差分法^[7-9]通过对视频图像序列中连续两帧或三帧图像作差分运算,利用时间差来提取图像中的运动区域,从而得到运动目标的特征信息.传统的帧间差分法^[17]实现简单,计算速度快,对动态环境具有较强的自适应性和鲁棒性,但对于移动速度缓慢的目标,则不能完整地提取出运动目标的信息,甚至会出现漏检的情况,光线、阴影对于检测效果有较大影响.文献[10]提出一种结合光流法与三帧差分法的运动目标检测算法,选择图像中具有代表性的 Harris 角点像素计算光流信息,简化了光流的计算,引入三帧差分法作为简化光流法的补充,但光流算法较复杂.文献[11]提出基于帧间差分和运动估计的 Camshift 目标跟踪算法,该算法是在假设目标为主运动分量且目标短时间速度不发生跳变的情况下设计的,具有一定的局限性.文献[12]提出基于背景建模与帧间差分的目标检测改进算法,能改善混合高斯背景相减法中高斯背景建模产生的鬼影,以及帧间差分法的前景检测结果中出现的严重拖影和空洞现象,并且在背景突变的情况下也能进行有效检测,但是对过于复杂的运动情况的检测还不是很理想.文献[13]提出一种基于帧间差分和光流技术结合的运动车辆检测和跟踪新算法,该方法先用帧间差分法检测出运动物体的运动区域,再计算差值图中不为零处的光流,然后利用其光流场来实现运动目标的跟踪,但该算法的计算量较大.

本文针对背景差分法和帧间差分法的优势和不足,经过详细的分析和论证,提出了一种新的运动目标检测算法,即连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法,该算法的计算速度快,抗干扰能力强,能够快速、准确地检测出运动目标,特别是对运动速度较慢的物体也能够很好地进行检测.

1 算法原理

1.1 背景差分法

背景差分法是利用当前图像与背景图像的差分来检测目标.一般通过背景估计和图像滤波^[14]来获得背景图像,其原理可表示为

$$d_k(x, y) = |f_k(x, y) - b_k(x, y)| \quad (1)$$

式中 $f_k(x, y)$ 为当前帧, $b_k(x, y)$ 为当前帧的背景帧, d_k

(x, y) 是当前帧与背景帧的差分结果.

算法流程如图 1.

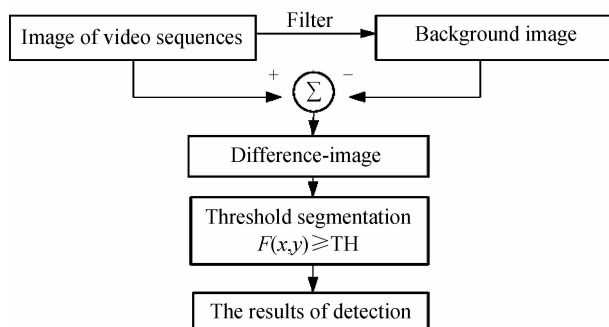


图 1 背景差分法流程

Fig. 1 The flowchart of background difference method

1.2 连续帧间差分法

针对传统帧间差分法不能检测出完整目标、易产生空洞现象、对运动缓慢的物体不敏感的局限性,文献[18-19]提出了累积的帧差分法,通过求取连续多张序列图像中前后帧差所共有的部分来得到运动目标的区域,避免了因目标运动速度慢而无法检测的情况.基于此,提出了连续的帧间差分法,算法流程如图 2.

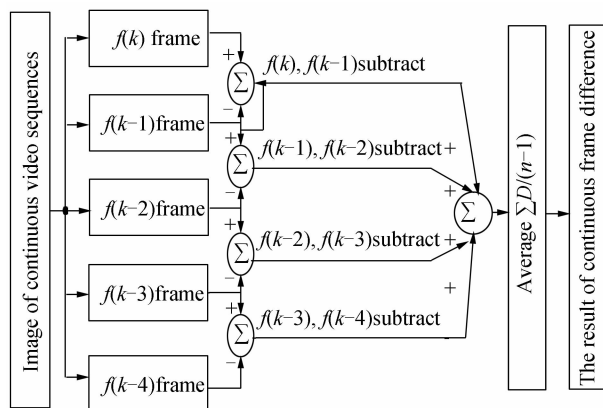


图 2 连续帧间差分法流程图

Fig. 2 The flowchart of continuous frame difference method

以连续 5 帧序列图像为例,运算步骤为:

Step1: 设 n 帧图像序列表示为 $\{f_1(x, y), \dots, f_k(x, y), \dots, f_n(x, y)\}$, 其中, $f_k(x, y)$ 表示视频序列的第 k 帧图像, 读取连续的 5 帧图 $f_k(x, y), f_{k-1}(x, y), f_{k-2}(x, y), f_{k-3}(x, y), f_{k-4}(x, y)$, 分别计算相邻两帧图像之间的差值, 即

$$d_{(k, k-1)}(x, y) = |f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)| \quad (2)$$

$$d_{(k-1, k-2)}(x, y) = |f_{k-1}(x, y) - f_{k-2}(x, y)| \quad (3)$$

$$d_{(k-2, k-3)}(x, y) = |f_{k-2}(x, y) - f_{k-3}(x, y)| \quad (4)$$

$$d_{(k-3, k-4)}(x, y) = |f_{k-3}(x, y) - f_{k-4}(x, y)| \quad (5)$$

Step2: 对于所得到的差值图像进行求和运算.

$$\begin{aligned} \Sigma D = & d_{(k, k-1)}(x, y) + d_{(k-1, k-2)}(x, y) + \\ & d_{(k-2, k-3)}(x, y) + d_{(k-3, k-4)}(x, y) \end{aligned} \quad (6)$$

Step3: 对所得到的图像求平均.

$$r = \Sigma D / 4 \quad (7)$$

该方法在目标检测中充分利用了累积差分法的优势,采用多帧累积的方法很好地对运动区域进行了检测和增强,进一步累积图像求平均,减弱了环境因素和噪音对检测目标的影响.由于连续多张图像帧差求和与求平均都是加减运算,因此基本不占用 CPU 运算时间.相比于传统的帧间差分法,连续帧差分法在基本不增加计算量的基础上,可以获得更好的检测效果.

图 3 给出了传统帧差法和连续帧差法对于不同大小运动目标的检测结果,从连续帧差法结果(图 3(b))中可以明显地观察到运动目标,而传统帧间差分法对于运动目标较大的物体不能够完整的检测,对红外小目标的检测会因为目标移动较慢而漏检,检测效果不佳.

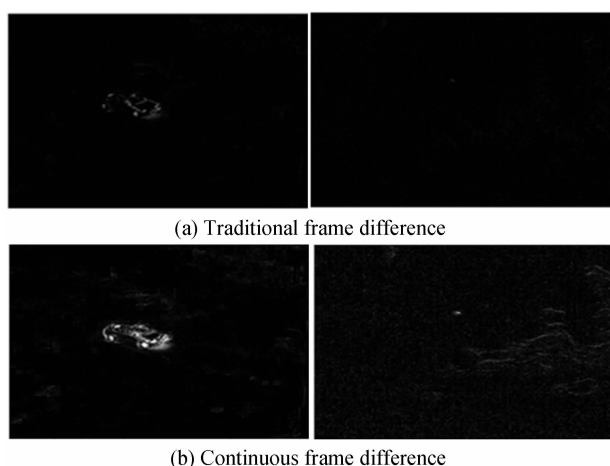


图 3 传统帧差和本文提出的连续帧差结果对比
Fig. 3 Compared the results of Traditional frame difference and continuous frame difference method

引入图像对比度和信杂比的定义对传统帧差法和连续帧差法进行定量分析比较.选取红外小目标的图像序列进行分析说明.对比度是指目标与周围背景之间灰度或者亮度的差异.

$$C = \frac{G_T - G_B}{G_B} \quad (8)$$

式中, G_T 表示目标的灰度值, G_B 表示图像的灰度值, C 为相对对比度.

信杂比是信号与杂波之比,是图像背景杂波的相对强度.

$$SCR = \frac{G_T - G_B}{\sigma} \quad (9)$$

式中, σ 表示图像的均方差.

表 1 传统帧差法与连续帧差法性能参量比较

Table 1 Compared of performance parameters between traditional frame difference and continuous frame differential method

	Traditional frame difference method	Continuous frame differential method
Contrast ratio	12.900 6	17.180 2
Signal-to-clutter ratio	8.787 7	15.829 3

从表 1 可以看出连续帧差法在对比度和信杂比方面都优于传统的帧差法,证明该算法的可靠性.

1.3 结合连续帧间差分法与背景差分法进行运动目标检测

结合连续帧间差分法与背景差分法进行运动目标检测的思想是先通过连续帧间差分法进行运动目标的粗略检测,然后再采用图像滤波的方法对所得到的帧差图像进行进一步的处理,在此基础上,对滤波后的背景图像和连续帧间差分图像进行差分运算,获取运动目标,最后对处理后的图像进行一定的阈值处理,使得被检测目标得到增强,以便更好地判断被检测目标.为了得到较好的检测效果,可以对选取的连续帧数进行一定量的增加.算法流程如图 4.

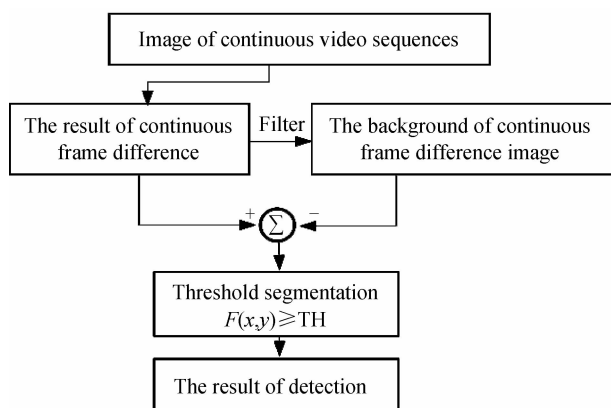


图 4 本文算法流程图

Fig. 4 The flowchart of presented algorithm

该算法在连续的帧差图像进行背景提取时,分别用到了线性的自适应滤波^[15]和非线性的中值滤波^[16]来验证其有效性.自适应滤波是一种在平稳条件下采用最小均方误差准则得出的最佳滤波准则,即寻找一个最佳的线性滤波器,使得均方误差最小.其原理是首先估计出像素的局部矩阵均值和方差,即

$$\mu = \frac{1}{NM} \sum_{x,y \in \eta} f(x,y) \quad (10)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{NM} \sum_{x,y \in \eta} f^2(x,y) - \mu^2 \quad (11)$$

η 是图像中每个像素的 $N \times M$ 的邻域.利用自适应滤波函数估计出每一个像素的灰度值为

$$b(x,y) = \mu + \frac{\sigma^2 - v^2}{\sigma^2} (f(x,y) - \mu) \quad (12)$$

式中, v^2 是整幅图像的方差.它根据图像的局部方差来调整滤波器的输出,当局部方差大时,滤波器的效果较弱,反之滤波器的效果较强.

中值滤波是一种去除噪音的非线性处理方法,基本原理是把数字图像或数字序列中一点的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替.中值的为:一数组 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 按值的大小顺序排列: $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_n$

$$y = \text{med}\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & n \text{ 为奇数} \\ \frac{1}{2}(x_{n/2} + x_{n/2+1}) & n \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (13)$$

y 为序列 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 的中值. 把一个点的特定长度或形状的邻域称为窗口. 在一维情形下, 中值滤波器是一个含有奇数个像素的滑动窗口, 窗口正中间那个像素的值用窗口内各像素值的中值代替, 同样可以得到二维的中值滤波. 二维中值滤波的模板可以取方形, 也可以取近似圆形或十字形. 最后对连续的帧差图像和经过背景提取的帧差图像的差分结果进行阈值分割, 通过设定适当的阈值 TH , 得到阈值分割图像. 当被分割图像像素值小于阈值 TH 时, 将该点像素看做背景像素, 取该像素点值为 0, 即为黑点; 当被分割图像像素值大于阈值 TH 时, 将该点像素看做目标像素, 取该像素点值为 255, 即为白点. 具体公式为

$$F(x, y) = \begin{cases} 0 & F(x, y) \leq TH \\ 1 & F(x, y) \geq TH \end{cases} \quad (14)$$

2 实验结果及分析

本文采用四个图像序列进行实验仿真. 其中序列 1 的图像大小为 240×360 像素, 选取的是一个人物的缓慢移动场景, 目标所占区域较大, 移动速度较慢; 序

列 2 的图像大小为 288×384 像素, 选取的是一辆缓慢靠近停车位的车, 目标相对较大, 移动速度缓慢, 并且相对背景较复杂; 序列 3 的图像大小为 128×128 像素, 选取的是红外小目标^[20]的缓慢移动场景, 目标很小, 不易通过观察辨别, 目标移动极慢; 序列 4 的图像大小为 288×384 像素, 选取的也是红外小目标的缓慢移动过程, 不同的是光照对目标的影响较大^[21]. 为了检验连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法的有效性, 将该算法分别与线性的自适应滤波背景差分和非线性的中值滤波背景差分进行实验比较. 算法采用 MATLAB 语言编程实现.

图 5 和图 8 分别为原始图像序列 1 和 2 的连续 5 帧, 图 6 和图 9 分别为采用中值滤波和自适应滤波背景差分后的图像, 图 7 和图 10 为采用本文算法后的图像. 从图中可以看出采用本文算法处理后的运动目标检测效果显著, 对于较大的运动区域检测, 背景差分法结合非线性中值滤波的运动目标检测较结合线性自适应滤波的运动目标检测效果明显. 虽然结合线性自适应滤波的检测效果不如结合非线性中值滤波, 但从连续帧差图像中也可以明显分辨出运动目标, 相对于采用中值滤波和自适应滤波背景差分后的图像能更加清晰地分辨出运动目标的位置, 说明本文方法的有效性.



图 5 原始图像序列 1

Fig. 5 The original image sequence 1 frames

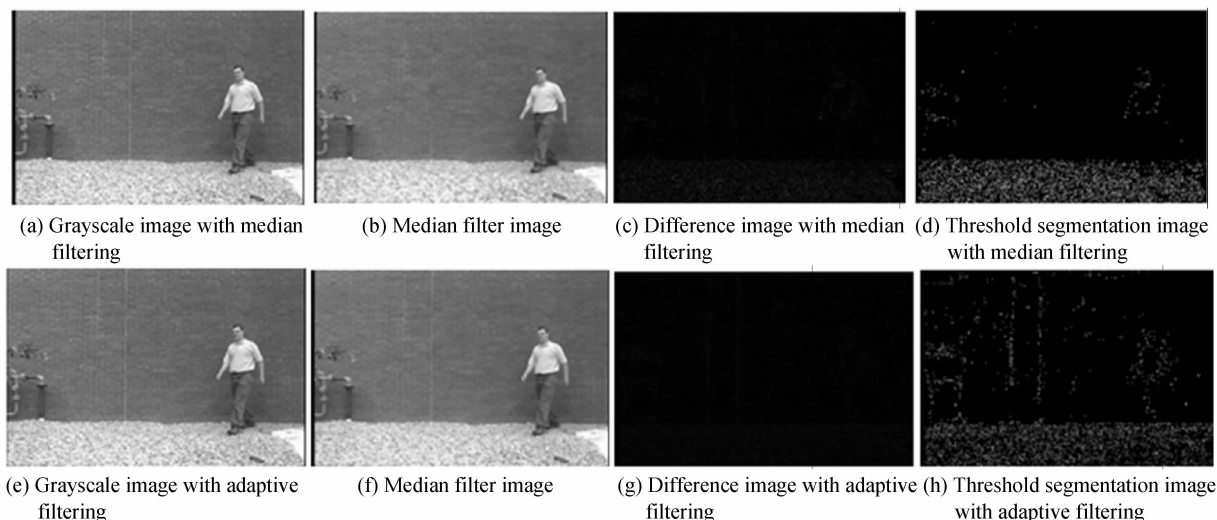


图 6 对序列 1 进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 6 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering for sequence 1

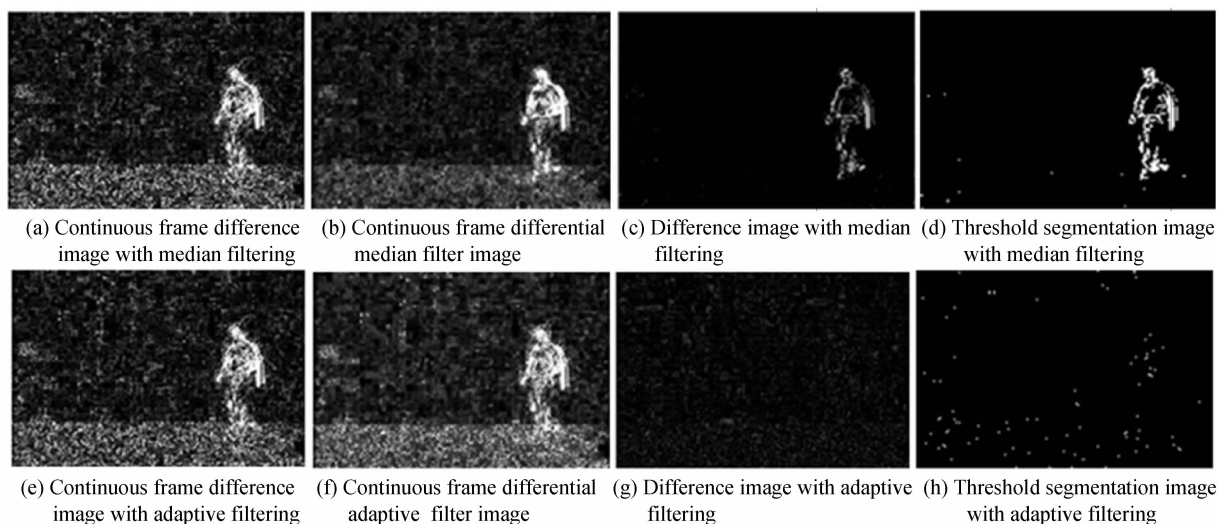


图7 采用本文算法对序列1进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 7 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering by presented algorithm for sequence 1

图8和图14分别为原始图像序列3和4的连续5帧,图12和图15分别为采用自适应和中值滤波背景差分后的图像,图13和图16为采用本文算法处理后的图像.从图中可以看出采用本文算法处理后的运动目标检测避免了对于红外小目标的误检和漏检,对于

红外小目标的运动检测,结合非线性中值滤波的运动目标检测和结合线性自适应滤波的运动目标检测都可以很好地检测出运动目标.序列4验证了在光照影响下也能很好地检测到缓慢运动的小目标,进一步说明本文算法的有效性.



图8 原始图像序列2

Fig. 8 The original image sequence 2

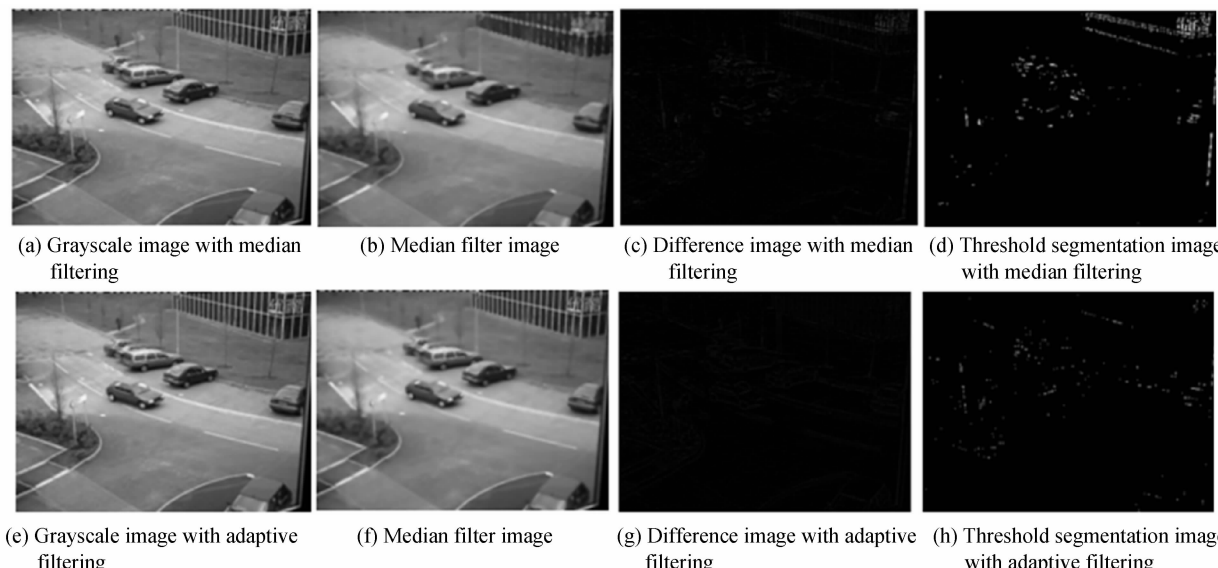


图9 对序列2进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 9 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering for sequence 2

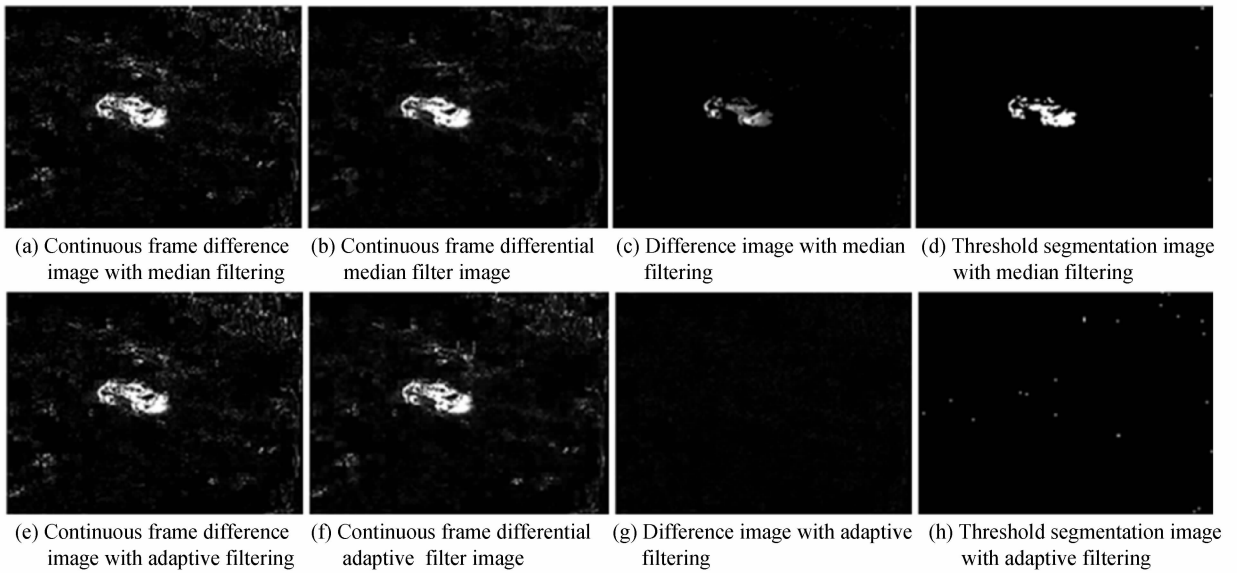


图 10 采用本文算法对序列 2 进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 10 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering by presented algorithm for sequence 2



图 11 原始图像序列 3

Fig. 11 The original image sequence 3

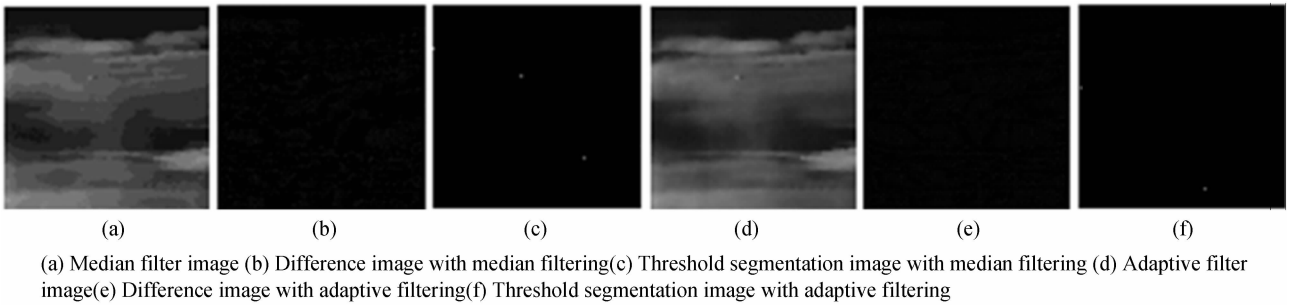


图 12 对序列 3 进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 12 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering for sequence 3

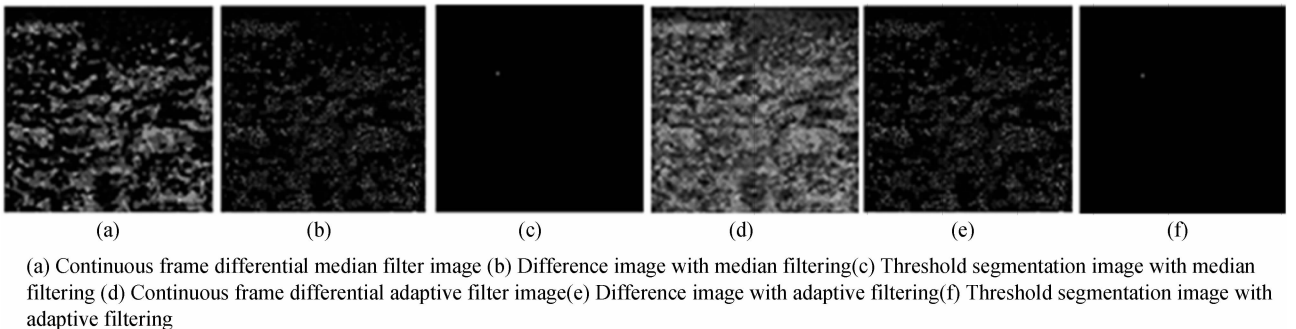


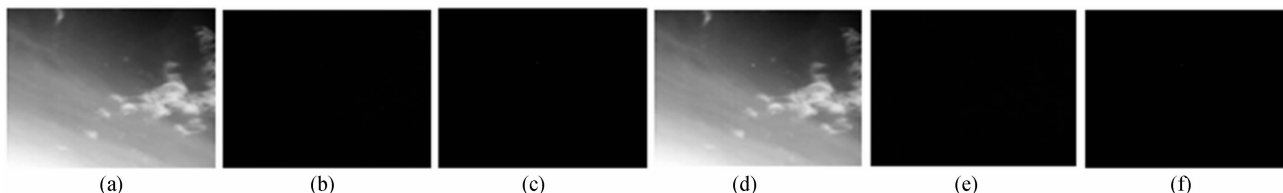
图 13 采用本文算法对序列 3 进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 13 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering by presented algorithm for sequence 3



图 14 原始图像序列 4

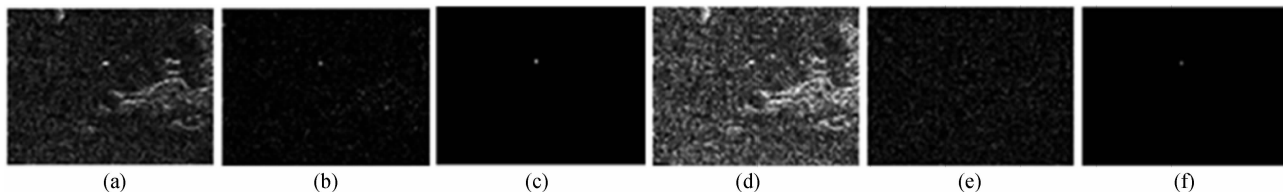
Fig. 14 The original image sequence 4



(a) Median filter image (b) Difference image with median filtering(c) Threshold segmentation image with median filtering (d) Adaptive filter image(e) Difference image with adaptive filtering(f) Threshold segmentation image with adaptive filtering

图 15 对序列 4 进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 15 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering for sequence 4



(a) Continuous frame differential median filter image (b) Difference image with median filtering(c) Threshold segmentation image with median filtering (d) Continuous frame differential adaptive filter image(e) Difference image with adaptive filtering(f) Threshold segmentation image with adaptive filtering

图 16 采用本文算法对序列 4 进行中值滤波和自适应滤波后的图像差分结果

Fig. 16 The image difference results of the median filtering and adaptive filtering by presented algorithm for sequence 4

3 结论

基于对传统的背景图像差分法和帧间差分法的优缺点,提出了连续帧间差分法,又将连续帧间差分与背景差分相融合进行运动目标检测,并借助于相关的滤波方法与阈值分割方法,较好地实现了不同场景下运动目标的检测.实验结果表明,所提出方法能够有效地检测出不同速度的运动目标,且运算简单,易于实现,是一种实用性较强的运动目标检测方法,具有一定的应用价值.

参考文献

[1] LIU Hao, ZHAO Feng-min, CHEN Wang-da. A moving object detection and tracking method based on adaptive background image[J]. *Journal of Naval Aeronautical And Astronautical University*, 2012, **27**(1): 15-18.
刘焱, 赵峰民, 陈望达. 一种基于背景自适应的运动目标检测与跟踪算法[J]. *海军航空工程学院学报*, 2012, **27**(1): 15-18.

[2] ZHANG Yu-si. Research on moving objects detection and tracking based on background subtraction with illumination robustness [D]. Sichuan: Southwest Jiaotong University, 2011.
张雨丝. 基于背景差分的光照鲁棒性运动目标检测与跟踪技术研究[D]. 四川:西南交通大学,2011.

[3] CHEN Lei, ZOU Bei-ji, New algorithm for detecting moving object based on adaptive background subtraction and

symmetrical differenceing [J]. *Application Research of Computers*, 2008, **25**(2): 488-494.
陈磊, 邹北骥. 基于动态阈值对称差分 and 背景差分的运动对象检测算法[J]. *计算机应用研究*, 2008, **25**(2): 488-494.

[4] WEI Zhi-qiang, JI Xiao-peng, FENG Ye-wei, A moving object detection method based on self-adaptive updating of background[J]. *Acta Electronic Sinica*, 2005, **33**(12): 2261-2264.
魏志强, 纪筱鹏, 冯业伟. 基于自适应背景图像更新的运动目标检测方法[J]. *电子学报*, 2005, **33**(12): 2261-2264.

[5] DENMAN S, CHANDRAN V, SRIDHARAN S. An adaptive optical flow technique for person tracking system[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2007, **28**(10): 1232-1239.

[6] JAYABALAN E, KRISHNAN Dr A, PUGAZENDI R. Non rigid object tracking in aerial videos by combined snakes and optical flow technique[J]. *Computer Graphics, Imaging and Visualisation*, 2007, **21**(6): 388-396.

[7] HARITAOGLU D. Real-time surveillance of people and their activities[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, **22**(7): 809-830.

[8] COLLINS R, LIPTON A, KANADE T, et al. A system for video surveillance and monitoring: VSAM final report [R]. America: Carnegie Mellon University, Technical Report: CMU-RI-TR-00-12, 2000.

[9] ZHANG Ling. Application of an improved frame-difference method based on video in traffic flow measurement [J]. *Journal of Chongqin University*, 2004, **27**(5): 32-34.
张玲. 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*, 2004, **27**(5): 32-34.

- [10] YUAN Guo-wu, CHEN Zhi-qiang, GONG Jian, *et al.* A moving object detection algorithm based on a combination of optical flow and three-frame difference [J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2013, **34**(3): 669-671.
袁国武, 陈志强, 龚健, 等. 一种结合光流法与三帧差分法的运动目标检测算法[J]. 小型微型计算机系统, 2013, **34**(3): 669-671.
- [11] WU Da-peng, CHENG Wei-ping, YU Sheng-lin. Camshift object tracking algorithm based on inter-frame difference and motion prediction[J]. *Opto-electronic Engineering*, 2010, **37**(1): 55-60.
邬大鹏, 程卫平, 于盛林. 基于帧间差分和运动估计的Camshift目标跟踪算法[J]. 光电工程, 2010, **37**(1): 55-60.
- [12] CHEN Jun-chao, ZHANG Jun-hao, LIU Shi-jia, *et al.* Improved target detection algorithm based on background modeling and frame difference[J]. *Computer Engineering*, 2011, **37**: 171-173.
陈俊超, 张俊豪, 刘诗佳, 等. 基于背景建模与帧间差分的目标检测改进算法[J]. 计算机工程, 2011, **37**: 171-173.
- [13] WANG Zhen-ya, ZENG Huang-lin. A new algorithm of moving vehicle detection and tracking based on combining frame difference method with optical flow technique [J]. *Computer Applications and Software*, 2012, **29**(5): 117-120.
王振亚, 曾黄麟. 一种基于帧间差分 and 光流技术结合的运动车辆检测和跟踪新算法[J]. 计算机应用与软件, 2012, **29**(5): 117-120.
- [14] LI Peng, CHEN Qian, ZHEN Hai-ou, *et al.* Pretreatment method of small targets infrared image based on complex background[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, **40**(5): 958-962.
李鹏, 陈钱, 郑海鸥, 等. 基于复杂背景的红外小目标图像预处理方法[J]. 红外与激光工程, 2011, **40**(5): 958-962.
- [15] 张德丰. 数字图像处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 186-194.
- [16] SU Li-kun, CHEN Huai-xin. Video-background update based on median filtering[J]. *Opto-electronic Engineering*, 2010, **37**(1): 131-135.
苏礼坤, 陈怀新. 中值滤波的视频背景更新[J]. 光电工程, 2010, **37**(1): 131-135.
- [17] ZHANG Qi-gui, ZHANG Guang-wei. A moving target detection algorithm in video sequences [J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology*, 2010, **35**(8): 67-70.
张起贵, 张光伟. 一种视频序列中运动目标检测算法[J]. 昆明理工大学学报, 2010, **35**(8): 67-70.
- [18] XU Yue-lei, ZUO Ji-zhang. A video segmentation algorithm based on accumulated frame differences[J]. *Opto-electronic Engineering*, 2004, **31**(7): 149-150.
许悦雷, 左继章. 一种累积帧差视频对象的分割算法[J]. 光电工程, 2004, **31**(7): 149-150.
- [19] ZUO Feng-yan, GAO Sheng-fa, HAN Jian-yu. Moving object detection and tracking based on weighted accumulative difference[J]. *Computer Engineering*, 2009, **35**(22): 159-161.
左凤艳, 高胜发, 韩建宇. 基于加权累计差分的运动目标检测与跟踪[J]. 计算机工程, 2009, **35**(22): 159-161.
- [20] XU Jun. Research on the detection of small and dim targets in infrared images[D]. Xi'an: Xidian University, 2001.
徐军. 红外图像中小目标检测技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2001.
- [21] WENG Tze-lun, WANG Yi-ying, HO Zong-ying, *et al.* Weather-adaptive flying target detection and tracking from infrared video sequences [J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, **37**: 1666-1675.