

文章编号:1007-2780(2018)06-0497-07

基于统计信息的改进滑动平均目标检测算法

李大维^{1,2}, 孙海江^{1*}, 刘伟宁¹, 刘培勋¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:随着实时视频监控技术的发展,运动目标的检测在众多领域都有着广泛的应用。针对当下运动目标检测算法易受环境噪声和光照突变的影响,为了提高算法的稳定性和自主检测能力,本文系统研究了背景减除法和帧差法的不足和优势,提出了一种基于统计信息的改进滑动平均算法。首先,依据帧间差分对光照不敏的特性,粗略分离出背景和前景部分,同时去除掉其他随机孤立噪声,然后在滑动平均算法中引入对前景点的统计计数,自适应更新背景建模学习速率,加速背景模型收敛,最后将滑动平均与三帧差分两者形态学处理后的目标团块进行与运算,得到准确的前景区域。实验结果表明,本算法可以在树叶晃动和光照变化中精确定位运动目标,正确前景点率平均提升 7.4%,得益于帧差法特性,误检前景点率显著降低,鲁棒性和自适应性更好。

关键词:图像处理;目标检测;光照突变;背景建模

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183306.0497

Improved sliding average target detection algorithm based on statistical information

LI Da-wei^{1,2}, SUN Hai-jiang^{1*}, LIU Wei-ning¹, LIU Pei-xun¹

(1. *Changchun Institute of Optics Fine Mechanic and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China;*

(2. *University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)*

Abstract: With the development of real-time video surveillance, moving target detection algorithm has been used in many fields. The current moving object detection algorithm is most vulnerable to environmental noise and light mutation. In order to improve the stability and self-adaptability of the algorithm, an improved moving average target detection algorithm based on statistical information is proposed. Firstly, on the basis of the characteristics of inter-frame difference that is insensitive about light, the background and foreground parts are separated and other random noise is also removed. Secondly, the information of statistical counting of foreground points is introduced in the moving average algorithm to adaptive update background modeling learning rate which is effective to accelerate the convergence of the background model. Finally, to get accurate moving target position we should

收稿日期:2017-12-26; **修订日期:**2018-03-27.

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(No.61602432)

Supported by Young Scientists Found of the National Natural Science Foundation of China(No.61602432)

* 通信联系人, E-mail: sunhaijiang@126.com

process the results of the two algorithms by further using morphological methods and AND operation. Experimental results show that the proposed algorithm can accurately locate moving targets under the condition of light mutation and leaves shaking. Compared to the previous algorithm, the TP rate increases by 7.4% and the FP rate significantly decreases. The proposed algorithm has better robustness and adaptability.

Key words: image processing; target detection; light mutation; background modeling

1 引言

在实时视频监控中,运动目标检测处于整个监控系统的最底层,是其他后处理过程,如识别与跟踪的前提,也是图像处理与计算机视觉领域的热门研究方向,近年来已有许多相关研究展开^[1-2]。在无人值守环境的固定摄像头视频监控中,无法避免的突变因素和环境干扰会导致算法结果出现较大偏差,不能很好地将目标和背景分割开来。针对建筑入口现场环境光线变化引起的动态背景,Jianhong Zhou 提出了一种基于像素时间序列聚类的背景建模的视频对象分割算法^[3]。背景模型使用 YUV 空间中像素值的特定距离度量来减少环境光线变化的干扰。Chen-guang Liu 基于像素层改进背景建模方法,以用来适应快速适应光照变化,其首先选取一个模型参数,采用固定的学习率并增加自适应更新方差因子,最后使用统计决策来解决背景更新的复杂度问题^[4]。Ali I 与 Rashid 在动态背景下的运动目标检测中引入了目标运动知识信息,并对这种知识进行建模作为附加信息来帮助进行前景检测,可以区分移动物体和具有相似尺寸和亮度级别的背景^[5-6]。吴桐等人用帧差法将图像分块,然后使用高斯混合模型进行处理,然而,高斯混合模型算法较为复杂,不适合实时处理,均值方差等参数更新方式也有待提高^[7-8]。文献[9]对 ViBe 算法提出了改进,结合像素生命长度对鬼影或残影像素进行判断,利用二次更新策略提高消除速度,根据像素值变化引入最大类间方差法,将原有的固定像素阈值变为动态阈值,提高了算法在交通视频中车辆目标检测的抗干扰能力。

目前较为成熟的检测算法主要有光流法、背景相减法和帧差法^[10]。光流法不需要背景信息,是给图像中的每一个像素点赋予一个速度矢量,形成一个图像运动场,通过图像上的点与三维物

体点的投影关系,进行动态分析,可以准确检测出完整的目标,检测精度高,但由于其计算量和复杂度很大,不适合在实时系统中使用^[11-12]。背景相减法检测准确,易于实现,利用当前帧与背景模型的差分,经二值化得到目标位置信息,可以得到较为完整的运动目标,但需要有稳定的建模过程,运算速度较慢且受光线变化影响^[13]。帧差法算法实现简单,程序设计复杂度低,处理速度快,但是不能提取出对象的完整区域^[14]。但是以上算法均不能很好地适应光照变化及环境干扰影响下的图像,难以将目标和背景准确分割出来。本文以前人研究为基础,提出了一种基于统计信息的改进滑动平均算法进行目标的检测。首先,利用帧间差分对光照突变不敏和能够消除孤立噪点的特性,将图像分离成前景和背景部分,统计前景点信息,自适应更新背景学习速率,然后使用滑动平均法进行背景建模,最后将滑动平均与三帧差分两者形态学处理后的目标团块取与,经过形态学处理,得到准确的检测结果。根据实际项目需求,本文设计开发了全天候无人值守运动目标检测系统。整体上,该系统方案评估了硬件配置和软件功能,集合了多种工作模式,在进行了较长时间的实验之后,改进后的算法可以在十数帧内改善环境干扰影响,完成运动目标的优化提取,表明该算法可以很好地满足需求。

2 运动目标检测

2.1 滑动平均法

在简单应用场景下,滑动平均方法是一种适用度很好的背景相减法,在背景较为稳定的情况下可以准确地提取出前景。滑动平均法是基于像素信息的背景建模方法,根据背景图像和当前帧图像的加权动态更新背景模型,使得模型适应场景变化,更新由公式(1)表示:

$$B_{t+1}(x, y) = (1 - \alpha) B_t(x, y) + \alpha F_t(x, y), \quad (1)$$

其中: α 是背景模型场景变化更新速率,取值范围 $0 < \alpha < 1$, $F_t(x, y)$ 是第 t 帧图像, $B_t(x, y)$ 是时刻 t 的背景。

滑动平均背景建模算法的优势在于时间复杂度低,算法处理思想简单。具体思想是利用当前帧和背景图像之间的像素灰度差的绝对值来分析视频图像序列,并根据其做差结果确定是否有运动目标前景。如果差值的绝对值比设定阈值小,就是背景点;如果大于设定阈值就是前景运动点, T 为给定阈值,由式(2)表示。

$$BGS_t(x, y) = \begin{cases} 1 & |B_t(x, y) - F_t(x, y)| \geq T \\ 0 & |B_t(x, y) - F_t(x, y)| < T \end{cases}, \quad (2)$$

滑动平均法检测结果如图1所示。不足之处在于会对整个图像的每一个像素都进行加权更新,不区分前景和背景,使其灵敏度较低。如果目标在场景中长时间停留,就会自动成为背景的一部分,反之对偶然出现的脉冲性干扰的抑制作用较差,如光照突变等。在实际场景拍摄的视频中,外界环境实时影响背景图像,这些突变因素会导致图像背景像素值整体或者局部发生改变,之前建立的背景模型无法短时间适应,前景与背景的分割不再准确,影响了检测结果,也就会对后续处理造成难以容忍的错误。

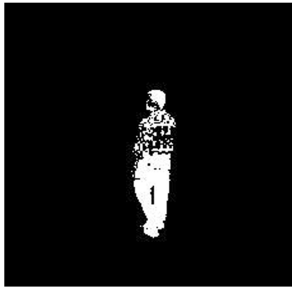


图1 滑动平均法检测结果

Fig.1 Detection result of moving average algorithm

2.2 三帧差分法

帧间差分法是在连续的图像序列中两个或多个相邻帧之间采用基于像素的帧间差分,并且通过阈值化来提取出图像中的运动区域。对于视频序列中的相邻第 k 帧和第 $k+1$ 帧,可表示为公式(3)和(4):

$$P(x, y, k) = O_k(x, y) + B_k(x, y), \quad (3)$$

$$P(x, y, k+1) = O_{k+1}(x, y) + B_{k+1}(x, y), \quad (4)$$

其中: $O_k(x, y)$ 是目标的像素部分, $B_k(x, y)$ 是背景的像素部分,其差分计算如式(5):

$$d_k(x, y) = [O_{k+1}(x, y) - O_k(x, y)] + [B_{k+1}(x, y) - B_k(x, y)]. \quad (5)$$

传统的三帧差分法算法(公式(6)、(7))中,两幅差分图像与一个固定的阈值相比较,进而决定非黑即白。固定的阈值 T 一般是由经验确定。

$$\begin{cases} Q_{k-1}(x, y) = \begin{cases} 1 & P_k \geq T \\ 0 & P_k < T \end{cases} \\ Q_k(x, y) = \begin{cases} 1 & P_{k+1} \geq T \\ 0 & P_{k+1} < T \end{cases} \end{cases}, \quad (6)$$

$$\begin{cases} P_k = |P(x, y, k) - P(x, y, k-1)| \\ P_{k+1} = |P(x, y, k+1) - P(x, y, k)| \end{cases}. \quad (7)$$

最终目标区域由式(8)标定:

$$F_k(x, y) = \begin{cases} 1 & Q_{k-1}(x, y) \cap Q_k(x, y) \neq \emptyset \\ 0 & Q_{k-1}(x, y) \cap Q_k(x, y) = \emptyset \end{cases}. \quad (8)$$

滑动平均法检测结果如图2所示。帧差法是根据相邻帧间差值与阈值 T 的大小来判断像素点属于运动前景还是背景,由图2可见检测结果易产生空洞,获取到的目标信息不完整。

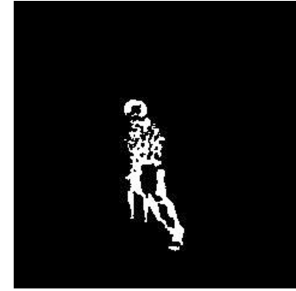


图2 帧差法检测结果

Fig.2 Detection result of three frame difference algorithm

2.3 基于统计信息的改进算法

本文算法首先利用帧间差分对光照突变不敏和能够消除孤立噪点的特性,将图像分离成前景和背景部分,然后对判定为前景区域的像素点进行统计计数,引入到滑动平均算法中,自适应更新背景学习速率,以加速背景模型的收敛速度,最后将滑动平均与三帧差分两者形态学处理后的目标团块取与,经过进一步填充不完整区域等处理,得到准确的检测结果,算法流程由图3所示。

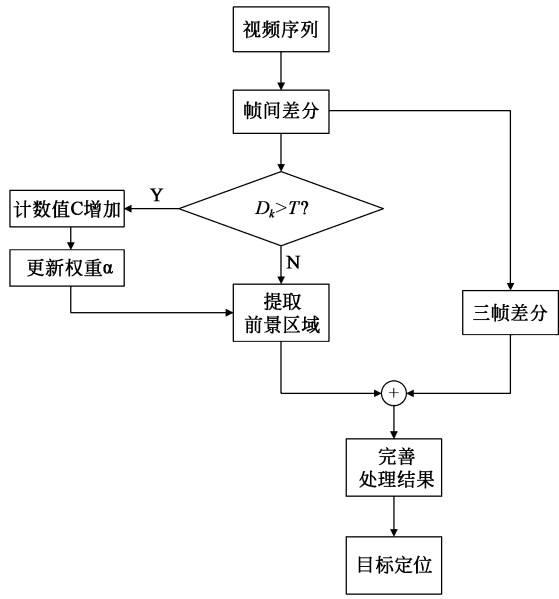


图 3 算法流程

Fig.3 Algorithm flow

非自适应更新率的 α 一般是给定的值,这里需要对更新率进行重定义,使得预先设定的定值变为可以自适应更新的值。式(9)和式(10)是改进滑动平均法背景模型的更新策略。

$$\begin{cases} \alpha_b = \alpha_{b0} \left(1 + \left(\frac{1}{C+1} \right)^{\frac{1}{2}} \right) & D_k < T \\ \alpha_f = \alpha_{f0} \left(\frac{1}{C+1} \right)^{\frac{1}{2}} & D_k \geq T \end{cases}, \quad (9)$$

$$D_k = |F_k(x, y) - F_{k-1}(x, y)|. \quad (10)$$

改进的滑动平均法融合了帧差法对图像前背景的判定,引入计数值 C 作为统计度量,用来记录每个像素点被连续判别为前景的次数。其初始值为零,当像素点被判断为前景点,即满足 $D_k \geq T$ 条件,则 C 的值增加 1。更新函数 $y = \sqrt{1/x}$ 模型可以很好地表示随着统计值 C 的增大,前景点信息所占比重减少,下降趋势减缓但仍较快的趋势。对应地,判别为前景点的学习速率 α_f 值减小,前景点在背景模型中所占比例减小,而判别为背景点的学习速率 α_b 逐渐增大,背景建模更为稳定,满足了 Koller 提出的两者比值越大,算法自适应性越好的要求。

统计值 C 的更新策略如下:当某个像素点从前景判别为背景时, C 的取值若连续 5 帧不再增加则清零,重新开始计数;若在 5 帧内被判别为前

景点,则断定是误判, C 的值继续增加, C 值最大取 10,以规避极端未知情况。5 帧的选取基于实验所使用的视频素材,在帧速率低于 30 的情况下,在已有实验的统计经验下,是较为合适的值。其中, $F_k(x, y)$ 与 $F_{k-1}(x, y)$ 分别是相邻两帧图像各点像素值, D_k 表示帧间图像差分运算, T 是差分运算所选用阈值,取经验值 15 ~ 25 之间, C 是统计计数值, α_{f0} 与 α_{b0} 分别表示初始设定的前景像素点和背景像素点更新速率,前者较小,后者较大。相应地, α_f 与 α_b 分别表示自适应更新过程中的前景像素点和背景像素点更新速率。

背景模型的自适应更新速率公式如式(11)与(12):

$$\alpha = \alpha_f H_k(x, y) + \alpha_b (1 - H_k(x, y)), \quad (11)$$

$$H_k(x, y) = \begin{cases} 0 & D_k < T \\ 1 & D_k \geq T \end{cases}. \quad (12)$$

经过以上算法处理,改进后的滑动平均算法能够得到较为完整的目标区域,而由于三帧差分固有缺陷,提取出的运动区域会产生空洞,需要对其进行连通域分析进行区域填充,再将两者目标检测结果取与,进行形态学处理,如膨胀等,完善目标信息,得到最终的检测结果。

3 实验结果与分析

为验证算法有效性和准确性,本文算法在录制视频和公共数据集上中均有测试实验,并与传统三帧差分、滑动平均检测与 ViBe 算法结果做了比较。算法测试使用 Microsoft Visual Studio 2010 编译环境,配置为 Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU @3.20 GHz,内存为 4G 的 PC 机。运动目标检测参数初始化根据已有文献所述和实验经验选取,具体如下: $\alpha_{f0} = 0.2$, $\alpha_{b0} = 0.8$, $T = 20$ 。阈值参数选取为上述各值时,在室内进行离线机上测试,实验结果如下。

图 4(a)为受树叶摆动影响的背景原始帧。图 4(b)、4(c)、4(d)分别为滑动平均法、三帧差法和 ViBe 算法所获取到的检测结果,图 4(e)是本文改进算法检测结果。由图可知,滑动平均法与 ViBe 算法检测结果较为相近,由于室外树叶不稳定的晃动随机性大,对车辆的检测造成了很大的影响,产生了许多破碎状的误检区域,无法正确辨

识运动目标和背景区域。三帧差分法抗干扰能力较强,但是车体本身有空洞产生,效果较差。本文算法通过帧差法先一步判别前背景部分,并引入统计计数来更新滑动平均法的背景学习速率,以加速背景建模过程,使得结果更为稳定。

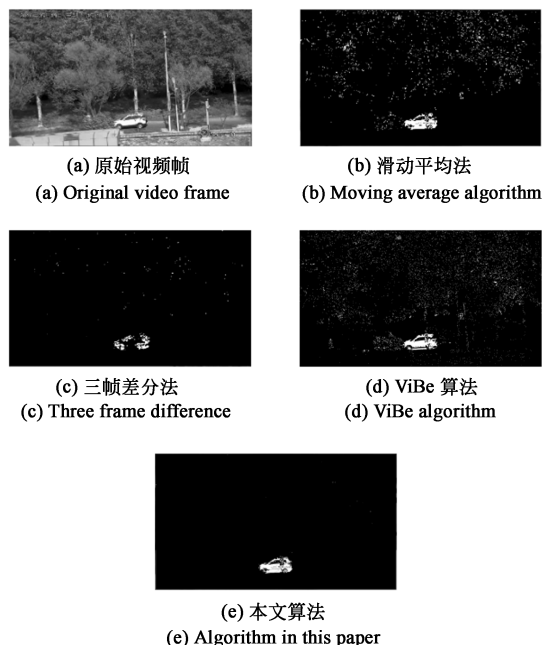


图4 室外车辆检测实验

Fig.4 Outdoor vehicle detection experiment

实验结果表明,滑动平均和 ViBe 算法对外界噪声敏感度很高,误检区域较大;三帧差分提取出的目标区域不完整;本文的改进算法能够较为准确地提取出运动目标区域,融合改进的结果虽不能完全去除背景噪声,但是基本已经达到实用要求。

室内开关灯行人走动实验在九州大学视频库上的公共数据测试集上进行。图 5(a)是原始视频的两帧,间隔 10 帧,光照条件的改变由室内开关灯实现。由于这 10 帧视频并没有人的走动,只是开关灯引起了光照的改变,所以应当全部判别为背景,即最理想的结果是整幅图像为全黑。图 5(b)是滑动平均法检测结果,图 5(c)是 ViBe 算法的检测结果,图 5d 是本文算法检测结果。

实验结果表明,当室内灯光由明变暗时,滑动平均法受到很大的影响,收敛速度很慢,相当多背景点在 10 帧之后仍被误检为前景,效果很差;ViBe 算法正处于随机选择邻域内像素值进行中心点像素值更新的过程,已有许多像素点被归入

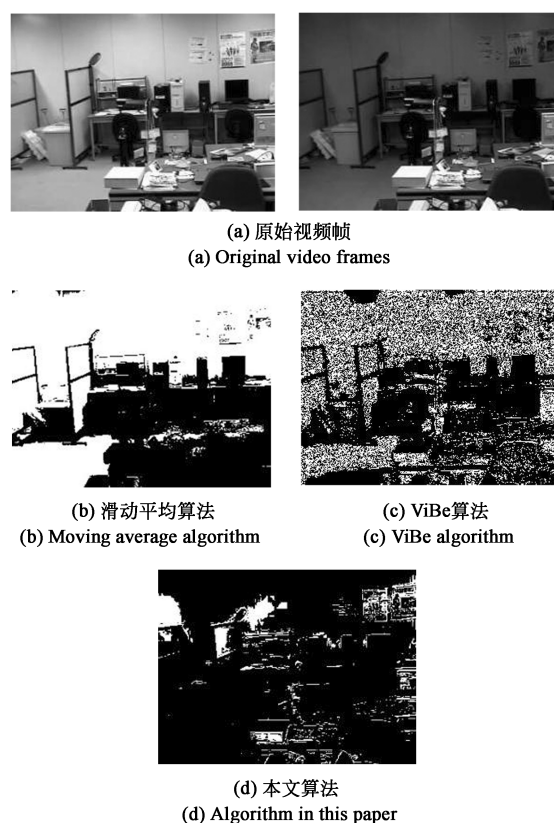


图5 室内开关灯背景建模实验

Fig.5 Indoor light switch background modeling experiment

到背景中,呈现出点状的收敛趋势,但受光照变化影响,仍没有完成;本文算法中的背景建模速率提高很多,更多的像素点已归为背景,以大量实验结果来看,在此数据集上平均可在 15 帧左右内建立新的背景模型。

图 6(a)是视频里开灯后行人运动中的一帧图像。图 6(b)是滑动平均检测结果,图 6(c)是三帧差分法检测结果,图 6(d)是 ViBe 算法的检测结果,图 6(e)是本文算法得到的检测结果。

在灯光变化数帧之后,滑动平均法由于受到背景建模速率较慢的影响,隔断挡板和部分墙壁仍被认为是前景,检测结果很不理想;三帧差分对光照不敏,检测结果受干扰较小,但算法本身固有缺陷使得前景区域空洞较大。相对地来说,ViBe 算法获取到的行人区域较为完整,不过,人的背部和腿部有 Ghost 区域产生且还没有将许多独立的散点学习归为背景。本文改进后的算法融合了前两种算法的优势,既保证了获取到的行人区域清晰完整,同时也提高了背景建模速度,使得误检

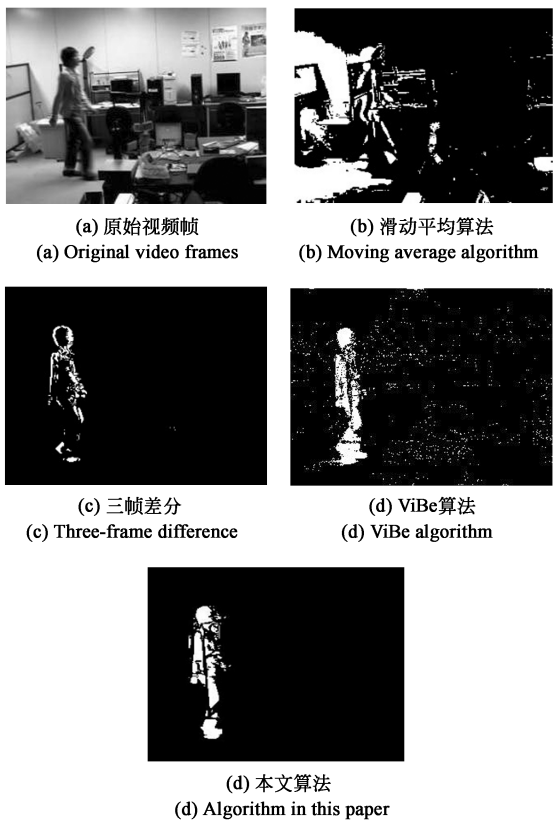


图 6 室内行人走动检测实验
Fig.6 Indoor pedestrian walking detection experiment

点大幅减少,抗干扰能力更强。

表 1 是各种测试环境下的实验数据,3 种检测算法对比室内外环境的前景像素点的正检率和误检率统计。

表 1 不同算法的 FP rate 和 TP rate			
Tab.1 FP rate & TP rate in different algorithms			
算法名称	技术指标	视频类型	
		室外车辆	室内行人
滑动平均法	FP rate	0.153	0.239
	TP rate	0.924	0.703
三帧差分法	FP rate	0.082	0.007
	TP rate	0.687	0.587
ViBe 算法	FP rate	0.133	0.074
	TP rate	0.931	0.838
本文改进算法	FP rate	0.031	0.004
	TP rate	0.937	0.812

表 1 中的各个表项代表的性能指标是:误检前景点率(FP rate)与正确前景点率(TP rate)。各个精度指标的具体值通过式(13)和式(14)计算:

$$FP\ rate = \frac{fp}{fp + tn}, \quad (13)$$

$$TP\ rate = \frac{tp}{tp + fn}, \quad (14)$$

其中: fp 表示前景像素点误检个数, fn 表示背景像素点误检个数, tp 表示前景像素点正检个数, tn 表示背景点正检个数。由此, $fp + tn$ 代表了整幅图像背景点像素个数, $tp + fn$ 代表了整幅图像前景点像素个数。误检前景点率 FP rate 越大,说明视频序列中检测出的前景点的噪声越多。正确检测的前景点的个数所占比重越大,TP rate 的值就越大^[15]。

由上述实验结果可以看出,ViBe 算法虽然可以提取出比较准确的行人目标,但是误检为前景点的比率仍然较高,且行人背后有“鬼影”产生。滑动平均算法在提取运动目标中,受到环境干扰影响,运动背景残留现象较为明显,三帧差分法抗干扰能力较强,但算法本身存在固有的缺陷,获取到的结果不是很完善,本文改进后的算法相较于前者,具有一定优势,可以很快地适应环境变化且检测结果相对较好。最后,本文改进算法已在实际工程项目中应用,且实现了软件工程化,系统界面如图 7 所示,验证了算法的实用性。



图 7 图像处理系统
Fig.7 Image processing system

4 结 论

针对实时视频监控下的运动目标检测,本文提出了一种改进的算法。首先介绍了滑动平均和三帧差分两种算法,分析其在环境干扰条件下适用性较差,然后在之前的研究基础上引入对前景

像素的统计信息,对滑动平均算法进行改进,加速其背景建模速度。最后通过实验计算,相对原来的滑动平均算法,TP rate 平均提升 7.4%,同时

得益于帧差法特性,FP rate 显著降低,从而证明了算法可以有效地去除环境干扰带来的影响,可以获取到比较理想的检测结果。

参 考 文 献:

- [1] 黄凯奇,陈晓棠,康运锋,等.智能视频监控技术综述[J].计算机学报,2015,38(6):1093-1118.
HUANG K Q, CHEN X T, KANG Y F, et al. Intelligent visual surveillance: a review [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2015, 38(6): 1093-1118. (in Chinese)
- [2] 骆云志,刘治红.视频监控技术发展综述[J].兵工自动化,2009,28(1):1-3, 11.
LUO Y Z, LIU Z H. Review of video monitoring technology development [J]. *Ordinance Industry Automation*, 2009, 28(1): 1-3, 11. (in Chinese)
- [3] ZOU J H, ZHAO Q C. Video object segmentation using background model based on pixel time series clustering [C]//*Proceedings of the 23rd International Conference on Automation and Computing (ICAC)*. Huddersfield, UK: IEEE, 2017: 1-6.
- [4] LIU C G, WANG S. An adapting to light change pixel layer based background model for moving objects detection in a dynamic scene [C]//*Proceedings of the 11th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science (DCABES)*. Guilin, China: IEEE, 2012: 405-408.
- [5] RASHID M E, THOMAS V. A background foreground competitive model for background subtraction in dynamic background [J]. *Procedia Technology*, 2016, 25: 536-543.
- [6] ALI I, MILLE J, TOUGNE L. Adding a rigid motion model to foreground detection: application to moving object detection in rivers [J]. *Pattern Analysis and Applications*, 2014, 17(3): 567-585.
- [7] 吴桐,王玲.基于帧差分块的混合高斯背景模型[J].计算机工程与应用,2014,50(23):176-180.
WU T, WANG L. Gaussian mixture background model based on inter-frame differencing blocks [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2014, 50(23): 176-180. (in Chinese)
- [8] 刘翔,周桢.基于分块背景建模的运动目标检测技术[J].液晶与显示,2011,26(6):831-835.
LIU X, ZHOU Z. Moving objectives detecting technology based on block processing of background model establishment [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(6): 831-835. (in Chinese)
- [9] 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.
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. (in Chinese)
- [10] 万纓,韩毅,卢汉清.运动目标检测算法的探讨[J].计算机仿真,2006,23(10):221-226.
WAN Y, HAN Y, LU H Q. The methods for moving object detection [J]. *Computer Simulation*, 2006, 23(10): 221-226. (in Chinese)
- [11] ZHU W, TIAN L, DI F, et al. Dynamic targets detection for robotic applications using panoramic camera based on optical flow [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, 376: 455-460.
- [12] 刘洪彬,常发亮.权重系数自适应光流法运动目标检测[J].光学 精密工程,2016,24(2):460-468.
LIU H B, CHANG F L. Moving object detection by optical flow method based on adaptive weight coefficient [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, 24(2): 460-468. (in Chinese)
- [13] 康晓晶,吴谨.基于高斯背景建模的目标检测技术[J].液晶与显示,2010,25(3):454-459.
KANG X J, WU J. Object Detecting technology based on gauss background modeling [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(3): 454-459. (in Chinese)
- [14] 赵建.基于三帧差法的运动目标检测方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2013.
ZHAO J. The research of moving target detection method based on three-frame difference [D]. Xi'an: Xidian University, 2013. (in Chinese)
- [15] 何林宣.基于视频序列的双背景建模算法[D].长春:吉林大学,2014.
HE L X. Algorithm on video-based dual background modeling [D]. Changchun: Jilin University, 2014. (in Chinese)

作者简介:李大维(1997—),男,山西忻州人,硕士研究生,2015 年于西安电子科技大学获得学士学位,主要从事数字图像处理,目标检测与识别技术研究。E-mail:lidawei315@mails.ucas.ac.cn
孙海江(1980—),男,吉林辉南人,博士,副研究员,2012 年毕业于中科院长春光机所,主要从事目标识别与高速图像处理技术的研究。E-mail:sunhaijiang@126.com