

# 基于邻域相关性的背景重构

肖梅, 张雷, 寇雯玉, 刘伟, 苗永禄

长安大学汽车学院汽车运输安全保障技术交通行业重点实验室, 西安 710064

**摘要** 背景差法是一种重要的运动检测方法, 当场景中背景被长时遮挡, 并非总是以最大频率出现时, 往往容易将前景错误地认为是背景, 从而产生错误的重构, 针对该问题本文提出了一种基于邻域相关性的背景重构算法。算法首先对输入数据进行排序; 其次利用简单归类算法对排序后的数据进行分类; 再次计算灰度类的出现频率, 根据灰度类的出现频率得到像素的背景确定标识, 并为背景不确定的像素选定候选背景; 最后对背景不确定的像素循环执行背景确定程序, 即基于像素邻域相关性, 选择和邻域相似度最大的候选背景为像素的确定背景。为验证算法的有效性, 对算法进行了多种场景的仿真实验, 仿真实验表明, 即使在背景被长时遮挡的环境中, 算法仍能很好构建背景, 从而有利于后续的运动目标检测、识别和跟踪。

**关键词** 候选背景; 邻域相关性; 背景重构

中图分类号 TN919.8

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.24.009

## A Background Reconstruction Algorithm Based on Neighboring Correlation

XIAO Mei, ZHANG Lei, KOU Wenyu, LIU Wei, MIAO Yonglu

Key Laboratory of Automobile Transportation Safety Control Technology of Ministry Communication, School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China

**Abstract** The background subtraction is an important method for detecting the moving objects, which is widely applied in the video monitor system. When background is occupied by a foreground for a long time, the foreground will be mistakenly regarded as a background. In order to solve the background reconstruction in which background does not always appears with the largest appearance frequency, a new background reconstruction algorithm based on neighboring correlation is proposed. At first, the data is sorted in an ascending or descending order; secondly, the sorted data is classified by the simple method; thirdly, the appearance frequency of classified classes is computed. The definite identity of background is obtained by appearance frequency. The candidate backgrounds are selected for the pixels without definite background; finally, background selection procedure based on neighboring correlation is repeatedly executed to the pixels until the background of all pixels has been obtained. Simulations results show that the algorithm is able to deal with the complex scene in which the background has been covered for a long time. The proposed algorithm is able to reconstruct the background of scene well, and therefore the target could be perfectly extracted and successfully tracked.

**Keywords** candidate background; neighboring correlation; background reconstruction

### 0 引言

由于背景重构的运动目标检测算法具有运算速度快、准确且鲁棒性好等优点, 因此被广泛的应用于许多智能视频系统, 如视频监控和交通自动监控等系统。背景重构的运动目标检测算法的基本思想是从图像序列中构建场景的背景图

像, 再利用前景检测算法从图像序列中提取出运动目标。背景重构的运动目标检测算法的核心是背景重构, 背景重构的好坏直接决定了运动目标的检测效果。

时间平均法(Time Averaged Background Image, TABI)是一种简单而经典的背景重构方法, 该方法计算量小便于实时处

收稿日期: 2012-02-26; 修回日期: 2012-07-11

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(50908019)

作者简介: 肖梅, 博士, 研究方向为图像处理、多传感信息融合, 电子邮箱: xiaomei@chd.edu.cn

理,但运动目标容易混入背景图像当中,造成运动“混合”现象。除 TABI 法之外,背景重构方法还有假设法<sup>[1-6]</sup>、模型法<sup>[7-9]</sup>及预测法<sup>[10]</sup>等。自适应平滑算法<sup>[1]</sup>假定“处于稳定状态最长的灰度值是像素的背景值”,当背景被运动物体遮挡时,会构建错误的背景图像。中值滤波法<sup>[2-3]</sup>选择图像序列中数值处于中间的灰度值作为该像素的背景值,一旦背景出现频率小于 50% 时往往会得到错误的背景。偏微分等式法背景重构<sup>[4]</sup>假设背景在图像序列中是最经常被观测到的,该算法比较复杂且参数不易设置。像素灰度归类 (Pixel Intensity Classification, PIC) 的背景重构算法<sup>[5]</sup>采用偏微分等式法背景重构的假设前提,利用相邻两帧图像的灰度差对该像素点灰度进行归类,选择频率最高的灰度值作为该点的背景值。在线聚类的背景重构算法<sup>[6]</sup>是对像素灰度归类的背景重构算法的一种改进,算法利用在线聚类(也称为基本顺序聚类算法)对图像序列的像素灰度值进行分类,选择出现频率大于阈值的灰度类作为该像素的背景,这样可以很好地构建出多模态场景的背景,但对数据的输入顺序和阈值敏感。混合高斯建模法<sup>[7]</sup>利用混合高斯对复杂背景建模,能跟踪场景的变化且运动分割效果好,但算法复杂、耗时且参数的选择很困难。Lee 等<sup>[8]</sup>和 Zivkovic 等<sup>[9]</sup>对混合高斯建模法进行了改进,解决了光线突变、暗环境下的运动分割等问题,但仍未改变算法复杂耗时且参数选择困难的缺点。Toyama 等<sup>[10]</sup>采用 Kalman 滤波的一个简化算法 Winer 滤波建立背景模型。本文提出了一种对像素灰度归类的背景重构算法的改进算法——基于邻域相关的背景重构算法。

## 1 算法步骤

实际中的智能监视系统主要应用于摄像头静止的场合,和运动场景(喷泉、飘动的旗帜等)不同,该场景的背景本身不存在运动,且常以最大的频率出现,但是当场景中存在噪声或前景目标等干扰时,背景并非总是以最大的频率出现。图 1 为公路视频中不同位置的像素在 40 帧的灰度变化曲线,数据 1 为没有前景通过的某像素的灰度值,可见该像素

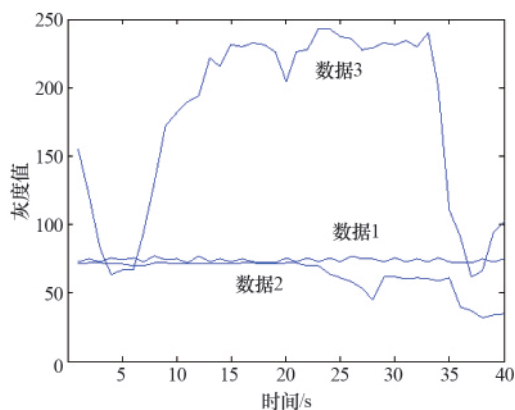


图 1 某像素在 40 帧的灰度变化曲线

Fig. 1 Curve of pixel intensity with 40 frames

在 40 帧内保持平稳;数据 2 为有前景通过的某像素的灰度值,可见该像素在部分时段被前景遮挡,但背景仍以最大频率出现;数据 3 为有前景通过的某像素的灰度值,和数据 2 像素不同,该像素的真实背景(即路面)长期被前景目标遮挡,此时出现频率最大的并非是真实背景而是前景目标。对于数据 3 如果仍然选择出现频率最大的像素作为背景,则会产生错误的背景重构。针对这一问题,本文提出了一种基于邻域相关的背景重构算法。

基于邻域相关的背景重构算法有 5 个步骤,具体如下。

步骤 1:对输入数据按照大小进行排序。

像素灰度归类的背景重构算法分析了数据输入顺序对分类的影响,因此在对数据分类之前进行排序是降低其对分类结果的最简单方法。已知从图像序列中等间隔抽取  $N$  帧图像,记为:  $F' = \{f'_1, f'_2, \dots, f'_N\}$ 。对输入数据  $F'$  排序可以选择从小到大的顺序,也可以按照从大到小的顺序。用  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_N\}$  表示经过排序后的数据,这里  $F$  表示按从小到大的顺序排序。

步骤 2:简单像素灰度归类。

用  $p$  表示像素点,  $C_j^c(p)$  表示像素点  $p$  的第  $j$  类的的数据数,  $C_j^s(p)$  表示像素点  $p$  的第  $j$  类的灰度和,给出以像素  $p$  为例的简单的归类算法。

Step 1:令  $F(p)$  的分类标识  $A(p) = \{a_1(p), a_2(p), \dots, a_N(p)\}$  均为  $m$ ,且  $m=1$ 。转入 Step 2。

Step 2:计算灰度差  $d_i(p) = f_{i+1}(p) - f_i(p)$ ,若  $d_i(p) > \delta_1$ ,转入 Step 3;否则,转入 Step 4。

Step 3:创建新类,即  $a_{i+1}(p) = m+1$ ,并初始化新类数据数,  $C_{m+1}^n(p) = 1$  和新类灰度和  $C_{m+1}^s(p) = f_{i+1}(p)$ 。转入 Step 5。

Step 4:更新类标记,即  $a_{i+1}(p) = m$ ,类数据数  $C_m^c(p) = C_m^c(p) + 1$  和类灰度和  $C_m^s(p) = C_m^s(p) + f_{i+1}(p)$ 。转入 Step 5。

Step 5:遍历  $F(p)$  直至  $i > N-1$ ,结束;否则,转入 Step 2。

其中,  $\delta_1$  为门限值,对于 256 级的灰度图像,  $\delta_1$  取 20—40 为宜。

步骤 3:计算所有灰度类的出现频率。

假定经过步骤 2 后得到  $R$  个灰度类,第  $j$  类的出现频率  $W^j(p)$  为

$$W^j(p) = \frac{C_j^c(p)}{N} \quad j=1, 2, \dots, R \quad (1)$$

步骤 4:候选背景的确定。

在实际中的智能监视系统中,绝大多数像素的背景总是以最大的频率出现,但当真实背景被运动目标遮挡和噪声干扰时,场景中会有部分像素的真实背景并不总是以最大的频率出现。本文采用候选背景的策略来解决这一问题,即首先确定像素的背景是否唯一确定,若像素的出现频率最大的灰度类的出现频率大于门限值,则认为该像素背景唯一确定,并选择出现频率最大的灰度类为该像素的背景值;否则,认为该像素的背景不唯一确定,标记该像素,并选择出现频率最大的 2—3 个灰度类作为该像素的候选背景。

假定用  $B_b(p)$  表示背景确定标识,  $B_b(p) = 1$  表示像素  $p$  的背景唯一确定,  $B_b(p) = 0$  表示像素  $p$  的背景不确定。像素  $p$  的

候选背景策略如下:

(1) 若满足函数  $\operatorname{argmin}_k (\sum_{j=1}^k W^j(p)) > \delta_2$  的  $k$  值为 1 时, 则选择出现频率最大的灰度类为候选背景, 候选背景数为 1, 此时像素  $p$  有唯一确定的背景, 令  $B_b(p)=1$ 。

(2) 若满足函数  $\operatorname{argmin}_k (\sum_{j=1}^k W^j(p)) > \delta_2$  的  $k$  值为 2 时, 则选择出现频率最大的两个灰度类为候选背景, 候选背景数为 2, 此时像素  $p$  的背景不唯一确定, 令  $B_b(p)=0$ 。

(3) 若满足函数  $\operatorname{argmin}_k (\sum_{j=1}^k W^j(p)) > \delta_2$  的  $k$  值大于 2 时, 则选择出现频率最大的 3 个灰度类为候选背景, 候选背景数为 3, 此时像素  $p$  的背景不唯一确定, 令  $B_b(p)=0$ 。

步骤 5: 像素背景的确。

对于满足  $B_q(p)=1$  的像素, 其背景值即为唯一的候选背景值, 而对于候选背景不唯一的像素 (即  $B_q(p)=0$ ) 的背景确定思路如下。

首先, 计算像素  $p$  优先级  $D(p) = \sum_{q \in \Phi} B_b(q)$ ;

其次, 先选择优先级最大的像素点背景, 选择相似度  $d(p, q)$  为最大的候选背景作为该像素的背景, 相似度表征如下:

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{q \in \Phi} (f(p) - f(q))^2} + \sqrt{\sum_{q \in \Phi} (G(p) - G(q))^2} \quad (2)$$

其中  $f(p)$  和  $f(q)$  分别为  $p$  和  $q$  的灰度值;  $\Phi$  为以像素  $p$  为中心的  $7 \times 7$  的邻域;  $G(p)$  和  $G(q)$  分别为像素  $p$  和  $q$  的梯度,  $G(p)$  和  $G(q)$  可以采用简单的梯度算子, 也可以采用 Sobel 算子和 Canny 算子的梯度公式, 这里采用一阶差分算子。

再次, 更新像素  $p$  的背景确定标识  $B_b(p)$  为  $B_b(p)=1$ 。

最后, 遍历所有像素后, 直到所有像素的背景确定标识  $B_q(p)=1$ , 背景确定程序结束。

## 2 实验比较与讨论

为了验证本文算法的有效性, 对多种视频进行仿真实验。本文将基于邻域相关的背景重构算法的实验结果和均值法、中值法和灰度归类法<sup>[7]</sup>做比较, 结果如图 2—图 4 所示。基于邻域相关的背景重构算法的参数取值分别为:  $N=100, \delta_1=30$  和  $\delta_2=0.9$ 。

图 2 所示为人工视频, 视频中场景的真实背景为灰色, 运动目标为白色长方形物体, 运动目标缓慢从场景的左侧向右侧移动。图 2(a)—图 2(d) 分别为用于构建背景的图像序列的第 1, 25, 75 和 100 帧。因为不同的像素背景个数是不同的, 在显示算法构建的多背景时用黑色表示像素点的背景为空, 例如: 若像素 (1, 1) 有 3 个背景  $B^1(1, 1), B^2(1, 1)$  和  $B^3(1, 1)$ , 而像素 (2, 2) 有一个背景  $B^1(2, 2)$ , 故  $B^2(2, 2)$  和  $B^3(2, 2)$  为空, 空值在显示的时候用黑色表示, 即在显示第 2 幅和第三幅背景图像时, 像素 (2, 2) 为黑色。可以清晰地看到, 由于运动前景的影响, 均值法构建的背景 (图 2(e)) 产生了“运动混合”现象; 在部分像素区域, 前景出现的概率大于背景出现的概率, 可见中值法 (图 2(f)) 将运动前景错误地构建为背景; 和中值法类似, 灰度归类法 (图 2(g)) 亦无法正确地构建出真实背景。当背景被运动目标遮挡, 并非以最大频率出现时, 基于邻域相关的背景重构算法 (图 2(h)) 在选择背景时, 利用了场景中确定背景的区域的信息来构建未知的背景区域, 可见基于邻域相关的背景重构算法正确地构建了背景图像。

图 3 为室外公路交通视频的背景重构结果, 场景中有黑色的轿车从左边运动到右边, 白色的轿车减速缓慢驶入侧边路口。由于白色轿车运动缓慢, 在 40 帧内其行进的路程很

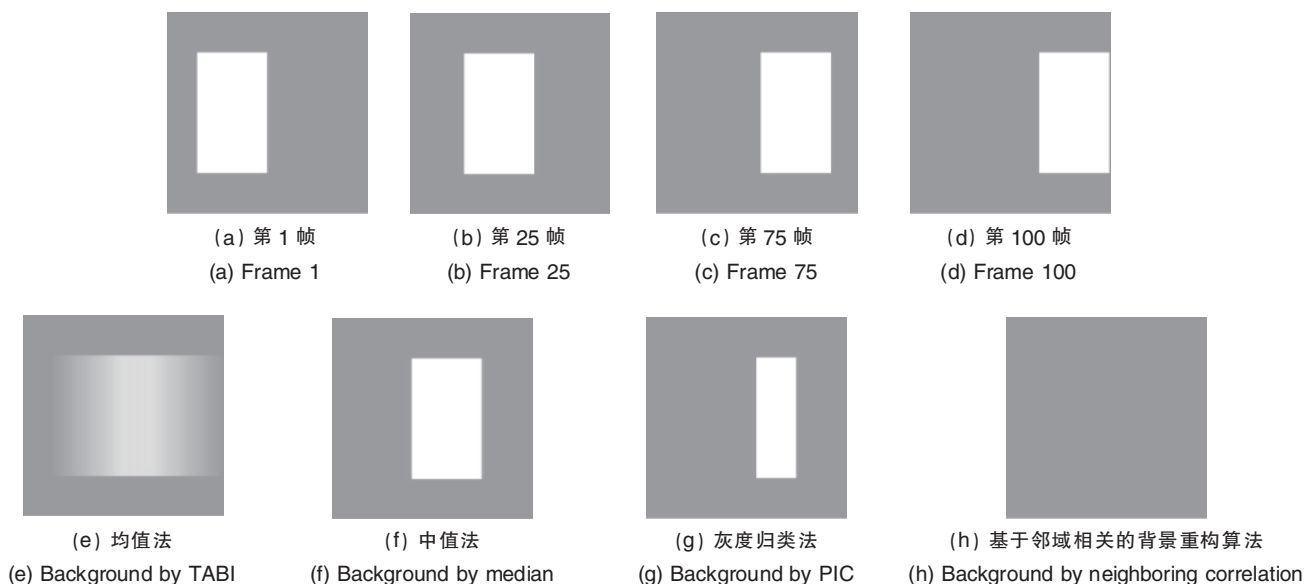


图 2 人造视频的背景重构结果

Fig. 2 Experimental results of background reconstruction for artificial sequence

短,故在白色轿车行进的轨迹上,道路区域极易被白色遮挡,在视频序列中并非以最大的频率出现。图 3(a)—图 3(d)分别为第 1、15、30 和 40 帧图像序列。图 3(e)—图 3(h)分别为均值法、中值法、灰度归类法和基于邻域相关的背景重构算法的结果,从图 3(e)可以看出,均值法构建的背景同时受到了两个前景目标的影响,车道的标志线和白车遮挡区域(如图 3(e)中的红色椭圆框所示)都受到了前景目标的影响,构建的背景严重失真;与均值法类似,正是由于前景目标的影响,使得被遮挡的道路无法以最大频率出现,所以中值法(图 3(f))

和灰度归类法(图 3(g))都出现了不同程度的失真(如图 3(e)中的红色椭圆框所示),导致构建的背景出现错误,从而导致后续的运动检测结果;与均值法、中值法和灰度归类算法所不同,本文方法构建的背景准确,效果好,仅在极少数的区域(图 3(f)和图 3(g)红色椭圆框所示)出现了错误构建,对错误构建的区域进行分析,发现道路区域的出现频率低于 0.05,也就是说道路区域出现的频率极低,故导致了错误的构建,此外,因相似度判断中包含了梯度信息,所以道路的标线也很好地构建出来了。

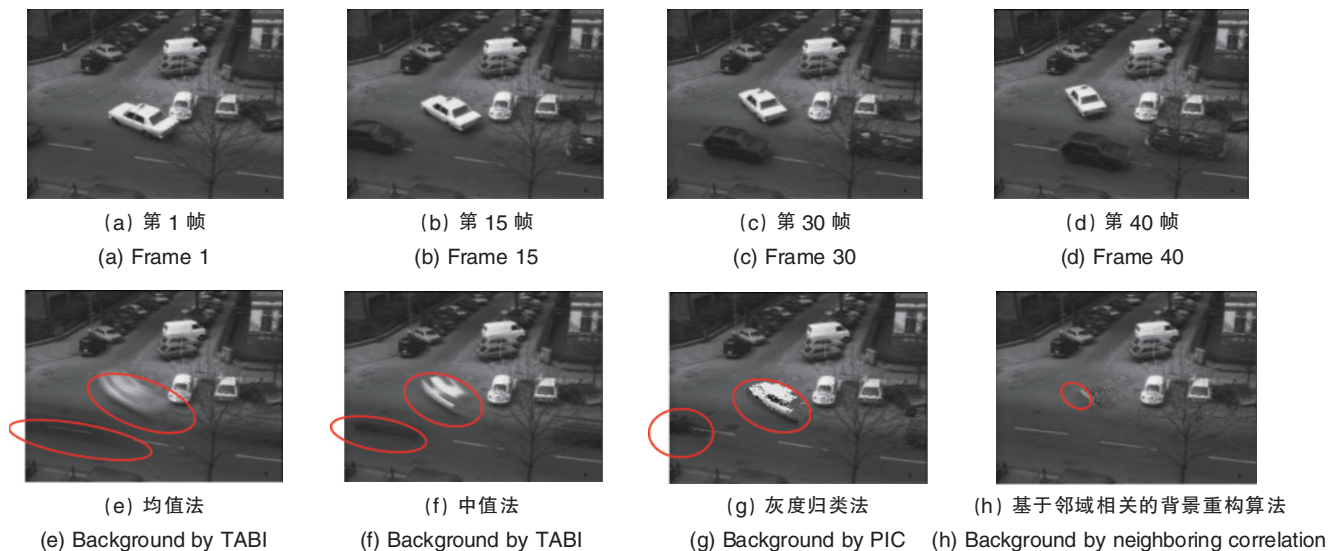


图 3 室外公路交通视频的背景重构结果

Fig. 3 Experimental results of background reconstruction for outside traffic sequence

图 4 为室内视频的背景重构结果,场景中有黑色小车从画面右边进入,停止一段时间后继续前行。由于小车静止一

段时间,故路面被较长时间地遮挡,在视频序列中并非以最大的频率出现。图 4(a)—图 4(d)分别为第 1、38、56 和 89 帧

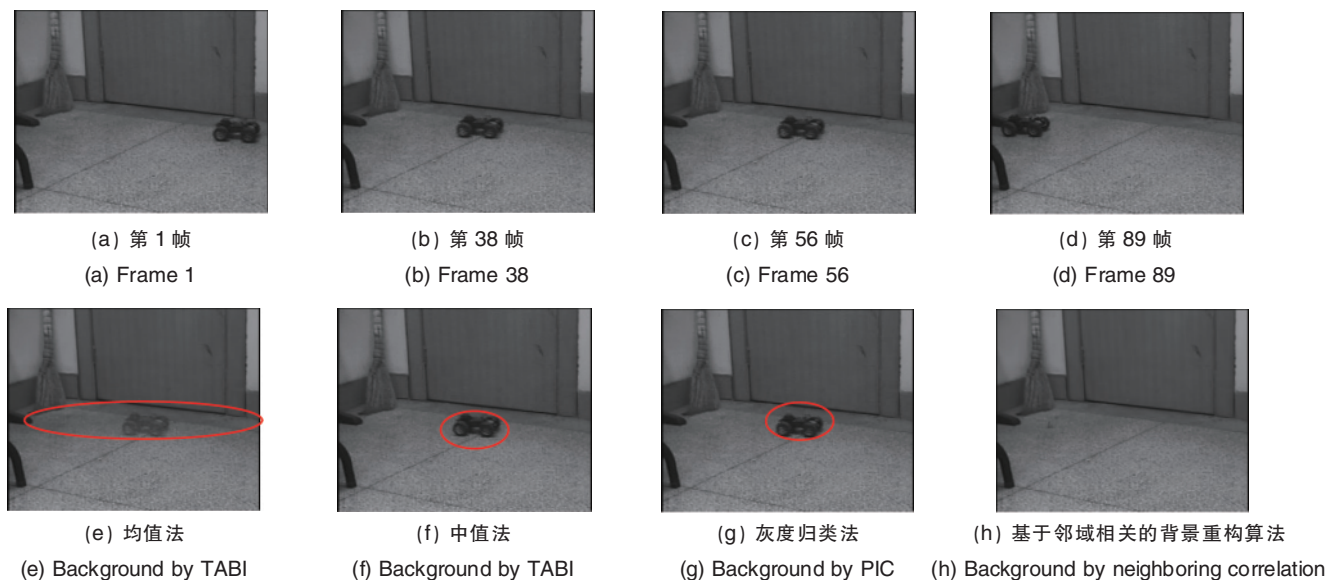


图 4 室内视频的背景重构结果

Fig. 4 Experimental results of background reconstruction for indoor sequence

图像序列。图 4(e)—图 4(h)分别为均值法、中值法、灰度归类和基于邻域相关的背景重构算法的结果,从图 4(e)可以看出,均值法构建的背景同时受到了背景和前景的影响(如图 4(e)中的红色椭圆框所示)都受到了前景目标的影响,构建的背景严重失真;与均值法类似,正是由于前景目标的影响,使得被遮挡的道路无法以最大的频率出现,所以中值法(图 4(f))和灰度归类法(图 4(g))都出现了失真(如图 4(e)中的红色椭圆框所示),导致构建的背景出现错误;与其他方法不同,基于邻域相关的背景重构算法构建的背景准确、效果好。

### 3 结论

背景重构的好坏对运动目标的准确提取起着关键性的作用,本文提出了一种基于邻域相关的背景重构算法,算法在执行排序后,对排序后的数据进行归类,接着计算归类数据的出现频率,根据灰度类的出现频率得到像素的背景确定标识,对背景不确定的区域循环执行背景确定程序。邻域相关的背景重构算法具有以下优点:(1)不需要对背景进行假设,当背景未以最大频率出现时,算法亦能很好地进行背景重构;(2)大大降低了数据顺序对归类结果的影响;(3)背景重构结果鲁棒性好;(4)算法运行速度,算法运算速度主要集中于步骤 5 像素背景确定,背景不确定的像素数和像素候选背景的数据决定了背景确定的时间,一方面背景不确定的像素数越多,运算时间则越长;另一方面,像素候选背景的越多,运算时间也越长。本文算法在进行背景确定时是以像素为单位处理的,在后续的研究中如何采用基于快速的基于区域的背景确定算法是工作重点。

### 参考文献 (References)

[1] Long W, Yang Y. Stationary background generation: An alternative to the

difference of two images [J]. *Pattern Recognition*, 1990, 23 (12):1351-1359.

[2] Gloyer B, Aghajan H K, Siu K, et al. Video-based freeway monitoring system using recursive vehicle tracking [J]. *Proceedings of SPIE*, 1995, 2421(1): 173-180.

[3] Kornprobst P, Deriche R, Aubert G. Image sequence analysis via partial difference equations [J]. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 1999, 11(1):5-26.

[4] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(10): 1337-1342.

[5] 侯志强, 韩崇昭. 基于像素灰度归类的背景重构算法 [J]. *软件学报*, 2005, 16(9): 1568-1576.

Hou Zhiqiang, Han Chongzhao. *Journal of Software*, 2005, 16 (9): 1568-1576.

[6] 肖梅, 韩崇昭. 基于在线聚类的背景减法 [J]. *模式识别与人工智能*, 2007, 20(1): 35-41.

Xiao Mei, Han Chongzhao. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2007, 20(1): 35-41.

[7] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C]//1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos, USA, 1999: 246-252

[8] Lee D S, Hull J J, Erol B. Proceedings of 2003 International Conference on Image Processing: A Bayesian framework for Gaussian mixture background modeling[C]. Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Barcelona, Spain, 2003: 973-979.

[9] Zivkovic Z, Van D H F. Recursive unsupervised learning of finite mixture models [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2004, 26(5): 651-656.

[10] Toyama K, Krumm J, Brumitt B, et al. Wallflower: Principles and practice of background maintenance [C]//Proceedings of the 1999 7th IEEE International Conference on Computer Vision. Piscataway, NJ, USA: 1999.

(责任编辑 马骁骁)

·学术动态·

## “第四届固体推进安全技术研讨会”征文

“第四届固体推进剂安全技术研讨会”拟于 2013 年 7 月下旬在安徽省黄山市召开,此次大会由航天工业固体推进剂安全技术研究中心、华中危险化学品安全检测检验中心主办。

征稿范围:1) 固体推进剂安全技术研究进展;2) 固体推进剂配方与新型含能材料安全性;3) 固体推进剂安全性试验方法与测试技术;4) 固体推进剂安全性数值模拟及仿真分析技术;5) 固体推进剂安全性评估、评价方法;6) 火药、炸药及火工品安全技术;7) 危险化学品安全技术。

征稿截止时间:2013 年 3 月 31 日

联系电话:0710-3219099, 3219010

通信地址:湖北省襄樊市 156 信箱(441003)

电子信箱:zxb73525@sina.com, aqjsyth@163.com