

# 一种基于双背景模型的遗留物检测方法<sup>①</sup>

范俊君, 战荫伟

(广东工业大学 计算机学院, 广州 510006)

**摘 要:** 针对一般遗留物检测算法运算量大和难以适应遮挡情况的问题, 提出了一种静止单摄像机条件下快速有效的遗留物检测算法。算法建立了两个基于累积均值更新法的背景模型, 分别称之为纯背景模型和脏背景模型。通过两个背景的差别得到静止目标块, 并对静止目标块进行跟踪, 当静止目标停留超过设定的时间即判定其为遗留物并触发报警。由于算法避免了使用复杂度数学概率背景模型, 大大减低了背景更新的计算复杂度, 使算法能满足视频监控系 统实时处理的要求。同时, 算法在静止目标跟踪模块中增加了碰撞帧计数使遮挡情况下的遗留物跟踪得到更好的效果。在 PETS2006 数据集提供的多个视频序列实验中, 该算法显示了良好的性能。**关键词:** 视频智能监控; 遗留物检测; 双背景模型; 遮挡跟踪

## An Abandoned Object Detection Method Based on Dual Background Models

FAN Jun-Jun, ZHAN Yin-Wei

(Faculty of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Most abandoned object detection algorithms proposed are either computationally intensive or weak in tracking abandoned object with occlusion. For this, an abandoned objects detection method under static cameras is presented based on dual backgrounds, which are updated with different strategies and frequencies. The background model is driven by accumulative average values instead of complex filters and hence it is simple and of lower computational cost. Besides, the algorithm is able to track abandoned objects under occlusion. Experimental results under the benchmark datasets on PET 2006 show that the proposed method has a good performance.

**Key words:** video surveillance; abandoned object detection; dual background models; tracking with occlusion

可疑遗留物检测是机场、体育馆、候车厅和展览馆等公众场合的智能视频监控系统不可缺少的内容。遗留物通常是指被运动主体携带从运动到静止, 再与运动主体分离, 静止超过一定时间并且没有所属主体的物体。对此, 文献提出了许多自动检测遗留物的方法<sup>[1-8,11]</sup>。

常见的遗留物检测方法可以分为两大类: 基于轨迹跟踪信息的方法<sup>[1-4]</sup>和基于背景消除的方法<sup>[5-8]</sup>。前者不适用于机场、车站候车厅等人流拥挤、场景复杂的公共场合。为克服基于轨迹信息的检测方法的局限, Porikli 等人<sup>[6]</sup>提出了基于背景消除的遗留物检测方法, 其基本思想是, 建立两个不同更新频率的高斯背景模

型并根据两背景间的差别检测静止目标。Li 等人<sup>[7]</sup>进而利用 Porikli 的双高斯背景方法检测静止前景, 并使用射线可达滤波器来重定义前景掩膜, 大大降低了光照变化的影响, 最后获取颜色直方图特征并通过支持向量机分类器检测遗留物。Singh 等人<sup>[8]</sup>通过两个不同更新时间的缓冲背景来检测静止前景, 并提出了一种静止目标跟踪算法, 通过先检测后跟踪静止目标来判定目标是否为遗留物。该方法避免了使用复杂的数学概率模型, 计算复杂度因而大大低于其它基于背景消除的遗留物检测方法。但其缺点是, 在不同人流复杂度的监控场合下, 需要人为设定不同缓冲帧的更新时间以达到最佳检测效果, 无法实现完全自适应更新。

① 基金项目:广州市科技计划项目(2010Y1-C611)

收稿时间:2011-11-28;收到修改稿时间:2012-01-02

为了既能保证检测效果，又能降低算法的计算复杂度，本文提出了一种基于双背景模型的遗留物检测方法。该方法采用累积均值背景模型，使用掩膜保护下的局部更新机制进行更新，不但能减小计算复杂度，还能在目标被遮挡的情况下对遗留物进行跟踪。

本文第 1-3 节分别介绍双背景模型、静止目标块检测、静止目标块跟踪。第 4 节是对在 PETS2006 数据集下的实验结果进行分析。第 5 节对本文所提出的方法进行总结。

### 1 双背景模型及其更新策略

本文中，我们给出一种遗留物检测算法。该算法建立一种具有不同更新策略的双背景模型，分别对两个背景模型采取全局更新和局部更新机制。因此我们将算法命名为 DUBDUM (DUal Background (of Different Updating) Model)。

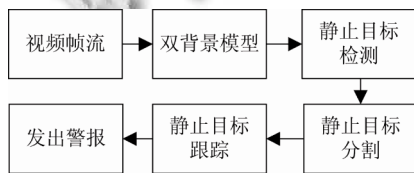


图 1 遗留物检测算法流程图

进而，通过两种两个背景图像之间的差异可以求得静止目标的前景图像。通过连通域分量法可得到一组候选静止目标块后对这些候选的目标进行跟踪，如果停留超过一定的时间则认为是遗留物。

该算法采用了累积均值背景模型，同时在更新中采取了局部更新机制，不但能减小背景更新的计算量，还能在目标被遮挡的情况下对遗留物进行跟踪。

设监控视频为  $\{I_n(x, y) | (x, y) \in D, n=1, \dots, N\}$ ，其中  $N$  是视频的总帧数， $D = [0, h] \times [0, w]$  为帧的定义域， $h$  和  $w$  分别为帧的高度和宽度。对第  $n$  帧  $I_n$ ，设其背景为  $B_n$ ，支集为  $S_n^B$ ；前景（即运动目标）为  $F_n$ ，支集为  $S_n^F$ ，即  $D = S_n^B \cup S_n^F$ ， $S_n^B \cap S_n^F = \emptyset$ ， $I_n = B_n + F_n$ 。在各自支集内，前景和背景分别和所在帧图像一致，在支集外为零。

对前景  $F_n$ ，定义其掩膜  $M_n$  为  $S_n^F$  的示性函数，即如果像素点  $(x, y) \in S_n^F$ ，属于的外界矩形，则令  $M_n(x, y) = 1$ ，否则  $M_n(x, y) = 0$ 。掩膜  $M_n$  生成示例如图 2 所示。



图 2 原图像(左)，运动目标掩膜(中)，掩膜  $M_n$ (右)

由于视频中前景和背景总是处于不断的变化中，我们需要建立一种背景更新的机制。考虑到在很多情况下背景变化具有连续性，为简化计算，我们假设

$$B_n(x, y) = (1 - \alpha)B_{n-1}(x, y) + \alpha I_n(x, y) \quad (1)$$

其中， $\alpha$  为常量，它反应了更新背景的速度， $\alpha$  越大，背景更新越快。

当视频场景中不出现运动目标，或者背景不受场景中所出现的运动目标影响时，这样的背景称为纯背景，记为  $B_n^P$ ；否则，称为脏背景，记为  $B_n^D$ 。当运动目标在场景中停留时，按照式(1)，运动目标会在（脏）背景中逐渐呈现出来。为了能够有效地将前景（运动目标）和背景进行分离，我们可以利用上述两种背景的差异。对纯背景使用运动目标掩膜  $M$  控制下的局部更新，纯背景模型为：

$$B_n^P(x, y) = \begin{cases} B_{n-1}^P(x, y) & M(x, y) = 1 \\ B_n(x, y) & M(x, y) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

对脏背景则使用全局更新，脏背景模型为

$$B_n^D(x, y) = B_n(x, y) \quad (3)$$

### 2 静止目标检测

由上文看出，通过纯背景模型可以得到一个不包含运动目标的纯背景，通过脏背景模型可以得到一个包含运动目标残影的脏背景图像。当一个运动目标进入监控场景并由运动状态变为静止状态，在场景中作超过一定时间的停留时，在运动目标掩膜作用下的背景更新过程中，该目标不会出现在纯背景中，但会清晰地出现在脏背景中。因此，可以通过纯背景和脏背景的差别来检测出场景中的静止目标。

#### 2.1 静止目标前景检测

由当前帧  $I_n$  与其脏背景  $B_n^D$  差分得到静止掩膜  $M_n^S$ ，它包含静止目标和部分背景。由纯背景  $B_n^P$  与脏背

景  $B_n^D$  差分得到运动掩膜  $M_n^M$ ，它可确定运动目标（包括静止后的目标）。由静止掩膜和运动掩膜进行与运算即可得到静止目标的前景掩膜  $M_n^F$ 。这三个掩膜定义为

$$M_n^S(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{若 } |I_n(x, y) - B_n^D(x, y)| < T_a \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

$$M_n^M(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{若 } |B_n^P(x, y) - B_n^D(x, y)| > T_b \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

$$M_n^F(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{若 } M_n^S(x, y) = 1 \wedge M_n^M(x, y) = 1 \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (6)$$

其中， $T_a$  和  $T_b$  分别是相应的二值化阈值。

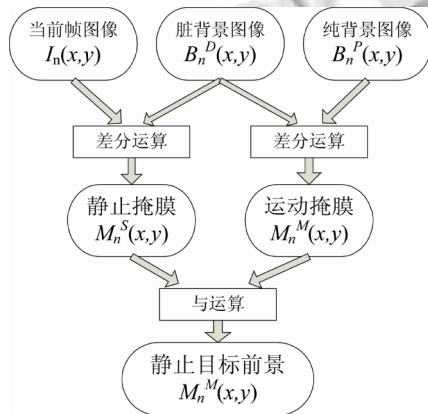


图 3 获取静止目标前景的流程图

### 2.2 目标分割

在监控场景中的同一时刻可能会出现多个遗留物，所以上述求得的静止目标前景掩膜图像中可能包含多个静止目标前景，这些前景区域一般是非连通的。我们先使用连通域分割法<sup>[9]</sup>把前景图像分割成多个独立的静止目标块。对每个目标块，取其外接矩形，计算  $M_n^F$  在其上的均值，如果该均值超过一定值（设定阈值  $T_c$ ），则认为该目标块为临时静止目标，否则删除该目标块。这样，就可有效去除由于运动目标短时间停留而产生的伪静止目标，减少类似情况造成的误检测。

### 3 静止目标跟踪与报警

现在，我们就可以对检测出的目标块进行跟踪，以确定该目标块和遗留物的一致性。算法流程见图 4。

借鉴文献[8]的方法，为对目标块进行跟踪，创建一个包含所有目标块的集合，并引入命中帧数，丢失帧数，以统计跟踪过程中连续成功跟踪和连续跟踪丢失的帧数。不同于文献[8]的方法，本文增加了碰撞帧数用于计算新的运动目标跟检测出来的静止目标发生遮挡情况的帧数，以处理目标块发生遮挡的情况。

对每个目标块进行初始化，包括目标块外接矩形。在后续的每帧中，对目标块集合中所有目标块进行分析，如果静止目标块形状和位置的变化小于或等于给定的阈值，则增加命中帧数并把丢失帧数清零，同时减少碰撞帧数直至为零；否则，将命中帧数清零并增加丢失帧数，碰撞帧数清零。

当检测到运动目标与目标块发生碰撞时，将碰撞帧数增加，命中帧数和丢失帧数保持不变。对每个目标块重复以上检测过程。

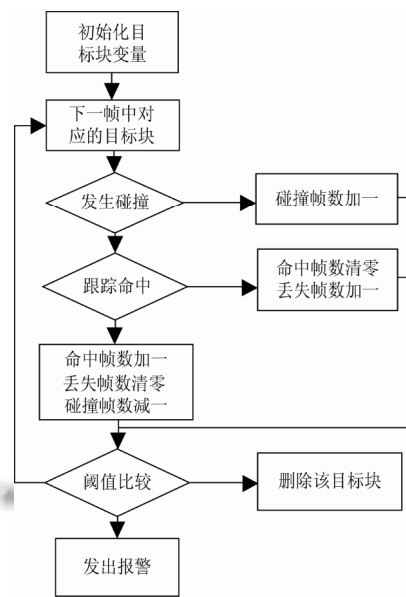


图 4 目标块跟踪流程图

如果丢失帧数大于给定的某个阈值，则认为该目标块跟踪丢失，将其从目标块集合中删除。

如果命中帧数大于给定的某个阈值，则将该目标块判定为遗留物，发出遗留物检测警报。

由于算法在静止目标块跟踪模块中加入了碰撞帧数变量，当静止目标块对应的目标与其他目标发生遮挡时，碰撞帧数变量开始计数，计算遮挡发生的时间。当遮挡结束后，碰撞帧数变量逐渐减小，减小至零时命中帧数才开始继续计数。这种机制使得算法能够在



静止目标块发生遮挡的情况下正常跟踪目标。

#### 4 实验结果

为了验证上述方法能有效检测遗留物，并在遮挡情况下跟踪遗留物，我们进行了实验。实验设备为主频 1.87GHz 的 Pentium®双核处理器、2G 内存的微机。算法利用 C++语言在 OpenCV 2.0 运行库上实现。实验数据采用 PETS 2006 基准数据集<sup>[10]</sup>。

PETS 2006 数据集是专门设计用于测试公共场合遗留物检测算法的。该数据集记录了在不同主观复杂度下旅客把行李遗留在场景中的行为，如表 1 所示。这些场景都是在四个不同视觉角度获取的。本文算法是基于单摄像头的，所以我们只选择其中一个视觉角度上的七个场景进行测试。

表 1 PETS 2006 七组视频序列的场景设计

数据集	人数	遗留物	主观复杂度
S1	1	1	1/5
S2	2	1	3/5
S3	1	1	1/5
S4	2	1	4/5
S5	1	1	2/5
S6	2	1	3/5
S7	6	1	5/5

在实验中，我们选取了四组视频序列中的第三组，该组视频序列的摄像角度正对行李遗留事件发生场景。表 1 是七组视频序列的设计情况，视频主要内容为其中一人携带一行李出现在场景中，然后留下行李最后离开场景。每个视频序列约有 3000 帧，时间约为 5 分钟。

实验中算法实现的功能是对监控视频序列进行处理，检测出视频中行人留下的行李，并在视频中将遗留的行李用红色圆圈标记作为警报，提示保卫工作人员对该事件进行处理。图 5 演示了算法在第 1 组视频实验情况下行人留下的背包被检测出来时刻各个模块的实时情况。A 是当前帧的情况，背包被遗留在车站护栏旁边同时两路人经过。B 是纯背景的情况，由于纯背景模型更新是局部更新，背包和行人没有出现纯背景中。C 是脏背景的情况，背包由于停留时间较长而变得清晰，路过的行人只留下了一些阴影。E 和 F 是静止目标掩膜和运动目标掩膜，静止目标掩膜中白色部分只对应了被遗留背包的位置，而运动目标掩膜对应的位置则包含了背包和两个路人。D 是显示检测结果的图像，算法用蓝色画出运动目标的外接矩形，把检测出来的遗留

物用蓝色填充并用红色圆圈标记。

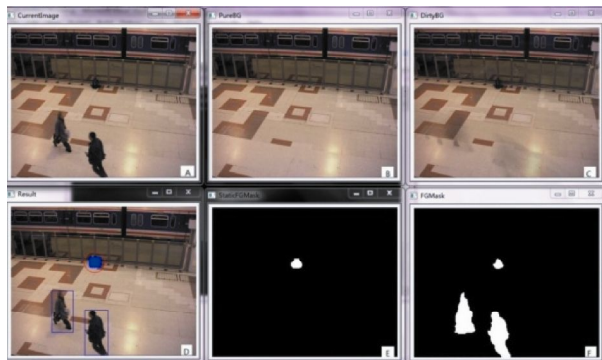


图 5 在 PETS2006 数据集第 1 组视频序列中无遮挡情况下检测被遗弃的背包

图 6 演示了算法在第七组视频实验下遗留物被算法发现出来之后被行人遮挡，但算法依旧能正确跟踪跟踪的情况。A 为视频序列的第 581 帧，旅客携带行李进入监控范围。B 为第 1227 帧，旅客留下行李离开监控范围。C 为 1544 帧，旅客留下的行李箱被算法检测出来，用蓝色填充及红色圆圈标记。D 为第 1707 帧，在跟踪遗留物的情况下，两个行人从遗留行李前面经过，完全将行李遮挡住，但遗留行李依然能被正确跟踪。



图 6 PETS2006 数据集第七组视频序列中遮挡的情况下检测被遗弃的行李箱

我们对七组视频序列进行了实验，结果见表 2，其中只有一组视频中遗留物未被检测出来以及一组视频序列中出现误检测。未检出和误检的原因如下：

- ① 行李箱被放下后短时间内便被取走。如第三组视频中行人将行李放下后很快又抬起；

② 监控场景内的人长时间静止不动。如第四组实验视频中出现站立不动的行人。

表 2 遗留物检测算法在 PETS 2006 视频中得的结果

视频序列数	遗留物体数	正确检测数	未检测数	错误检测数
7	7	6	1	1

## 5 结语

本文提出并实现了一种基于双背景模型分割的遗留物检测算法。算法建立了两个基于累积均值更新法的背景模型，分别称之为纯背景模型和脏背景模型。在更新过程中对纯背景模型使用在掩膜保护下的局部更新，而对脏背景模型使用全局更新。当场景中出现了静止目标时，由于纯背景模型采用的是掩膜保护下的局部更新，静止目标的影像不会在纯背景中出现，却会因为脏背景模型采用的是全局更新而在脏背景中随着时间而越来越清晰。通过纯背景模型和脏背景模型的这种差别可以得到静止目标的前景。使用连通域分割法得到各个静止目标所对应的静止目标块，最后对这些静止目标块进行跟踪并在成功跟踪达到一定时间条件后发出报警信号以达到视频智能监控遗留物品的目的。相对于现有的其它遗留物检测算法，由于算法避免了使用复杂度数学概率背景模型而大大减低了背景更新的计算复杂度，使算法能满足视频监控实时处理的要求。同时，算法在跟踪模块中增加了碰撞帧数计数以解决遮挡情况下的遗留物跟踪问题。相比文[8]的方法具有更好的跟踪效果。我们在 PETS2006 数据集提供的测试视频上进行了实验。实验测试表明，该算法能有效检测出场景中的遗留物品，并且能在遮挡的情况下跟踪遗留物品。今后的研究将会注重于对遗留物检测后的结果进一步分析和识别，同时也会关注遗留物被主人返回取走的视频智能检测。

## 参考文献

- 1 Auvinet E, Grossmann E, Rougier C, et al. Left-luggage detection using homographies and simple heuristics: Ninth IEEE International Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance, New York, 2006, IEEE Computer Society, 2006.51-58.
- 2 Bevilacqua A., Vaccari S. Real-time detection of stopped vehicles intraffic scenes: Proc. IEEE Int. Conf. Adv. Video Signal-Based Surveillance, London, 2007, IEEE, 2007.266-270.
- 3 Guler S, Farrow K. Abandoned Object detection in crowded places: Ninth IEEE International Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance, New York, 2006, IEEE Computer Society, 2006.18-23.
- 4 Ferrando S, Gera G, Regazzoni C. Classification of unattended and stolen objects in video-surveillance system: Proc. IEEE Int. Conf. Adv. Video Signal-Based Surveillance, Sydney, 2006. IEEE, 2006.21-21.
- 5 Spagnolo P, Caroppo A, Leo M, et al. An abandoned/ removed objects detection algorithm and its evaluation on pets datasets in Video and Signal Based Surveillance: Proc. IEEE Int. Conf. Adv. Video Signal-Based Surveillance, Sydney, 2006. IEEE, 2006.17-17.
- 6 Porikli F, Ivanov Y, et al. Robust abandoned object detection using dual foregrounds, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, (2008):1-10.
- 7 Li XL, Zhang C, Zhang D. Abandoned Objects Detection Using Double Illumination Invariant Foreground Masks: 20th International Conference on Pattern Recognition. Istanbul, 2010. ICPR, 2010.436-439.
- 8 Singh A, Sawan S, Hanmandlu M, et al. An abandoned object detection system based on dual background segmentation: Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. Genova, 2009. AVSS, 2009.352-357.
- 9 Suzuki S, Abe K. Topological structural analysis of digital binary images by border following. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, (30):32-46.
- 10 PETS 2006 Benchmark Data. <http://www.cvg.rdg.ac.uk/PETS2006/data.html>.
- 11 汤一平, 富吉勇, 陈耀宇. 基于全方位计算机视觉的遗留物检测系统. 计算机测量与控制, 2010, 18(3):517.