

基于自适应混合差分的快速视频目标检测法^{*})

石时需 郑启伦 黄 翰

(华南理工大学计算机科学与工程学院 广州 510640)

摘 要 目标检测是视频跟踪过程一项重要的处理技术。目前,国内外常用主流的目标检测方法有基于统计的方法和差分法。基于统计的方法(如 GMM 等算法)计算量较大,而且不适用于快速移动的刚性物体分析;差分法容易造成跟踪对象重叠部分的较大空洞,造成分割结果不连通,而且大多需要人工给定参数阈值。本文针对以上方法的不足,提出了一种适用于分析快速移动刚性物体的目标检测方法:自适应差分法。新方法采用了混合差分策略提高了对象分割质量,并用高斯初始化策略实现了阈值的自适应选取。实验结果表明:自适应差分法比 GMM 算法、相邻差分法和间隔差分法效果更优且抗噪能力更强,更易应用于实际。

关键词 视频目标检测,混合差分,自适应阈值,视频事件检测

Fast Algorithm for Video Tracking Based on Adaptive Hybrid Difference

SHI Shi-xu ZHENG Qi-lun HUANG Han

(Institute of Computer Science, South China University of Tech, Guangzhou 510640, China)

Abstract Background modeling is an important technique for video tracking. Recently, there have been two popular methods of Background modeling: statistical model and image difference. However, the computational effort of model is too large, and the method cannot be used to analyze fast-moving rigid objects. Image difference easily causes shadow of the overlapped objects so that the shape of tracking objects cannot be clear. Furthermore, a manual threshold parameter is necessary to image difference. Adaptive hybrid difference (AHD) algorithm is proposed as an improvement of the methods. AHD algorithm uses a hybrid difference strategy to optimize the image partition and runs with an adaptive threshold setting based on Gaussian distribution. The experimental results indicate that AHD algorithm performs better and more steadily than the popular methods in the background modeling of fast-moving rigid objects.

Keywords Background modeling, Hybrid difference, Adaptive threshold, Incident detection

1 引言

视频运动目标跟踪是计算机视觉技术的一项重要研究课题,在智能交通系统和视频监控等方面均有广泛的应用^[1]。目标检测是视频跟踪的第一项处理技术,用于分割提取视频中的运动目标(前景)。目前,国内外常用的主流方法有两种:一种是基于统计的背景建模方法,另外一种为差分法。两个方法各有其优势和不足及其适用场合。

基于统计的背景建模方法最早可见时间平均模型^[2](Temporal average model, TAM)和单高斯背景模型^[3](Single Gaussian mixture model, SGM),这两种方法计算量较小,但是效果不稳定,不适用于视频背景像素点亮度有波动的情况。比较经典的方法还有混合高斯模型^[4](Gaussian Mixture Model, GMM),这种方法采用多个高斯函数加权求和来近似像素点亮度的分布,较好地处理了背景亮度有波动的情况。GMM 方法及其改进^[5]比较适合用于分析缓慢运动的柔性对象,且对于室外环境的光线变化、水面波动、树叶摇动和阴影等噪声有着较好的抗干扰能力。但是 GMM 算法的计算量很大,实际应用时易出现时间响应较慢的不足;而且当遇到快速移动的刚性对象时,混合高斯模型对背景估计的准确率会下降。非参数背景模型^[6]用在线估计的方式获得了比 GMM 更优的效果,但是计算量大的问题没有得到改善。后期的新方法卡尔曼滤波^[7,8]和粒子滤波^[9]等技术也被引入目标检测的研究,不过计算量仍然很大。

另一种方法是差分法,是基于运动图像序列中,相邻两帧图像间具有强相关性而提出的检测方法,常用于各类视频处

理技术^[10,11]。这种检测方法对光照变化不敏感,非常适合于动态变化的环境,而且运算简单,检测速度快,定位准确,适用于快速移动的刚性对象和实时性要求较高的应用环境。差分法相比 GMM 等基于统计的方法存在以下不足:首先它适用于检测运动的物体,但对于高速运动的物体又会使得分割区域会出现大于真实目标,其分割区域与目标运动速度相关;其次,如果物体内部的灰度比较均匀,相邻帧差可能在目标重叠部分形成较大空洞,严重时造成分割结果不连通,不利于进一步的物体分析与识别;而且差分法的性能与阈值选取有关,但阈值一般是通过人工经验设定的,不利于实际工程应用。

综上所述,GMM 等方法目标检测的效果较好,而差分法的优势是速度快。从应用的角度出发,响应时间是非常重要的指标。特别是在实时监控的系统中,这一点显得尤为重要。因此,我们在差分法的基础上,提出混合差分策略以提高目标检测的质量,并加入了自适应阈值方案提高算法的鲁棒性,从而设计了自适应混合差分(AHD)方法。本文以道路车辆的车辆监控视频测试了 GMM 算法、间隔差分法和 AHD 方法的目标检测效果。实验结果表明:在分析快速移动的刚性对象方面,AHD 比 GMM 算法更快速,建模效果更优;比间隔差分法分割对象的轮廓更加清晰,更具鲁棒性。

2 混合差分策略

差分方法是基于图像矩阵模型的,即把视频任意帧的图像($n \times m$ 个像素点)用一个 $n \times m$ 的矩阵 G 进行刻画。 $G(i, j)$ 表示第 t 帧 (i, j) 位置像素点的像素值,其中 $i=1, \dots, n, j=1, \dots, m, t=0, 1, 2, \dots$ 。

^{*})基金项目:广东省自然科学基金项目(编号:07006474)。石时需 博士研究生,主要研究方向为智能视频分析和智能交通;郑启伦 教授,博士生导师,主要研究方向为智能信息处理及其应用;黄 翰 博士研究生,主要研究方向为数据挖掘和视频处理。

最简单的差分法是用当前帧与前一帧相减,计算同位置像素值之差,如下式所示:

$$D'(i,j) = |G'(i,j) - G^{-1}(i,j)| \quad (1)$$

其中 $D'(i,j)$ 为差分后所得绝对值,表示第 t 和 $t-1$ 帧 (i,j) 位置像素值之差, $t=1,2,\dots$ 。而两两差分后的图像由连续两个两帧相减后所得(该图像为二值图像):

$$B'(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (D'(i,j) > T) \\ 0 & \text{if } (D'(i,j) < T) \end{cases} \quad (2)$$

其中 T 为阈值,阈值一般人为根据经验设定。这种方法虽然简单并且易于实现,但检测出的视频对象并不完整清晰。为了避免相邻两帧某些像素点上相差不明显,可以采用间隔差分法作为改进,即取当前帧和前面的某一帧相减。常用的做法有使用的是隔 k 帧相减, k 一般取 3,如式(3)。

$$D'(i,j) = |G'(i,j) - G^{-k}(i,j)| \quad (3)$$

由于实现简单且响应速度快,(1)和(3)式所示的差分法常用于辅助视频处理^[10,11]。然而,当视频目标对象内部的灰度比较均匀时,间隔差分法可能在对象的重叠部分形成空洞,难以检测出物体的整个轮廓。如公路上的汽车,一般内部的灰度都比较均匀,而且移动速度较快,要对这样的对象进行分割提取,需要改进差分法的性能。

为了提高对视频前景识别的敏感度,我们设计了一种新的混合差分策略。新策略是保存前三帧的图像,用当前帧分别与前三帧图像两两差分,如(4)式所示。

$$D_k(i,j) = |G(i,j) - G^{-k}(i,j)| \quad (4)$$

$D_k(i,j)$ 表示第 t 和 $t-k$ 帧 (i,j) 位置像素值之差,(2)式改为(5):

$$D'(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (\bigvee_{s=1}^k D_s(i,j) > T) \\ 0 & \text{if } (\bigvee_{s=1}^k D_s(i,j) < T) \end{cases} \quad (5)$$

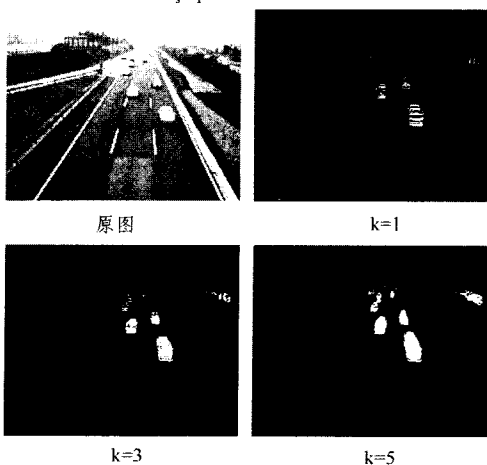


图1 不同 k 的目标检测效果

只要在相邻 k 帧中有像素值的变化,混合差分策略就可以识别出来。 k 取太小时,得到的差分较小,接近(3)式的效果,提取对象易出现不清晰; k 取太大时,会使得检测过于敏感,很可能把静态的背景也误识别为前景,出现较大噪声。因此,我们做了多组的实验,确定了 k 的最优取值为 3。如图 1 所示, $k=3$ 时混合差分法对视频中运动对象的识别是最准确的,而且分割提取的效果最清晰。

由图 1 可以看出: $k=1$ 时算法检测出来的对象(汽车)轮廓不完整,而且有许多对象不能检测出来; $k=5$ 时算法检测出的对象出现了重叠,而且有噪声干扰; $k=3$ 时效果最优,即检测到了所有运动对象,又完整清晰地刻画出对象的轮廓。

3 自适应阈值区间

差分法目标检测的质量很大程度取决于阈值 T 的选取, T 取太小时,算法检测会很敏感,容易产生噪声; T 取太大时,算法对于前景的提取不清晰,影响目标检测质量。一般情况下都是人为设定 T 的经验取值。实际应用往往要求:系统在无人操作下,自动实现不同视频的目标检测。因此,人工设定阈值的方法并不适用于无人监控系统。针对这一问题,本文提出的混合差分算法需要加入一个自适应阈值策略,实现自动化的视频目标检测。

由(2)和(5)式可得,阈值 T 是前景和背景判别的分界线,我们设计的自适应阈值应该能准确地反映这一作用。借鉴 GMM 算法^[4,5]的思想,背景点的像素值 $G'(i,j)$ 是以 Gauss(正态)分布的形式波动,这里我们假设背景点的差分 $D'(i,j)$ 也是如此。因此,在进行目标检测之前,算法需要一个初始化过程对纯静态视频(没有要跟踪检测的移动对象)进行学习,得到 μ_{ij} 和 σ_{ij} ,其中 μ_{ij} 为 $D'(i,j)$ 的均值, σ_{ij} 为 $D'(i,j)$ 的标准差。我们以 μ'_{ij} 和 σ'_{ij} 作为 μ_{ij} 和 σ_{ij} 的估计,计算如(6)式所示。

$$\mu'_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D'(i,j) \quad (6)$$

$$\sigma'_{ij} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (D'(i,j) - \mu'_{ij})^2} \quad (7)$$

其中 N 为初始化学习所需要的帧数,为了使得估计误差最小,一般要求 $N \geq 30$;当然, N 越大,对于 μ_{ij} 和 σ_{ij} 的估计就越准确,但是需要消耗的学习时间就越长。

原来阈值 T 不再是一个值,而是成为一个区间,即 $T^v = [\mu'_{ij} - \sigma'_{ij}, \mu'_{ij} + \sigma'_{ij}]$ 。因此,(5)式修改为(8)式:

$$B'(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (\bigvee_{s=1}^k D_s(i,j) \notin T^v) \\ 0 & \text{if } (\bigvee_{s=1}^k D_s(i,j) \in T^v) \end{cases} \quad (8)$$

其中 $i=1,\dots,n, j=1,\dots,m, t=1,2,\dots$ 。

初始化学习策略为自适应混合差分(AHD)算法的第一步,实际应用中先取一段 N 帧的无运动对象视频作学习,得到 μ'_{ij} 和 σ'_{ij} 。完成初始化后,AHD 算法自动得到了适应该视频的阈值区间,从而可以开始目标检测。

4 算法描述

自适应混合差分(AHD)算法的流程见图 2,其中初始化自适应阈值区间和混合差分算法是 AHD 算法核心部分, $t_{\max}$ 为处理视频的最大帧数。

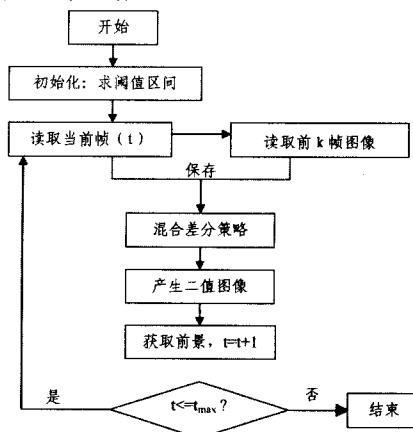


图2 自适应混合差分算法的流程

5 实验结果与分析

为了证明自适应混合差分算法的有效性,我们在同一个

计算机平台上(CPU:P4 2.4G,内存:512M)分别运行了 AHD 算法、GMM 算法^[4,5]和间隔差分法,对同一段公路交通视频进行检测,对比其目标检测的效果。测试结果的部分视频截取见图 3 和图 4。

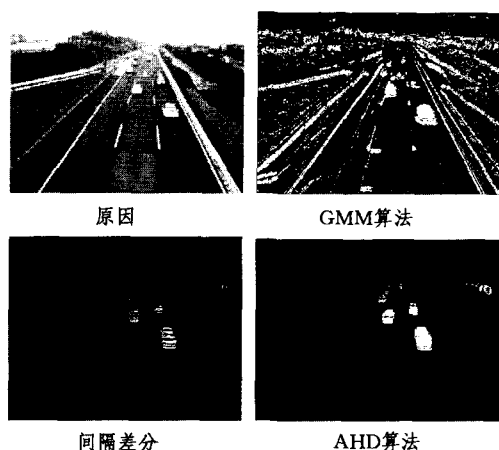


图 3 三种算法的目标检测效果对比(一)

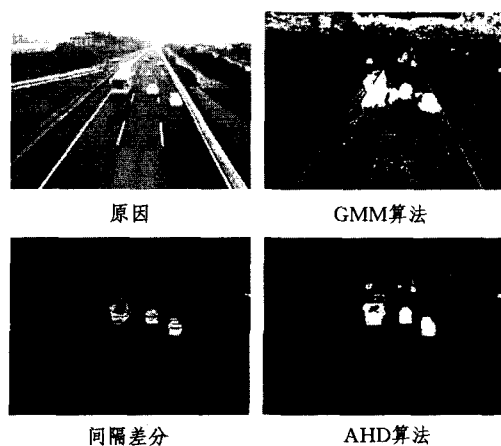


图 4 三种算法的目标检测效果对比(二)

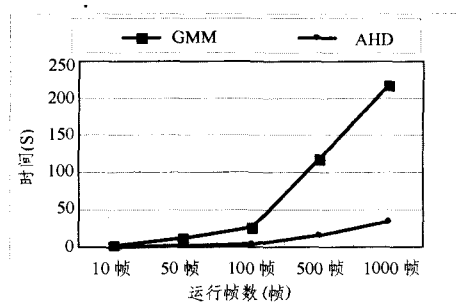


图 5 算法 GMM 和 AHD 运行时间对比

由图 3 和图 4 可见,GMM 比间隔差分检测到的运动对象要多。这与 GMM 算法的特性有关,因为较远处的车辆在视频中相对运动比较缓慢,所以,GMM 能够一一识别出来。但是,GMM 算法的效果受噪声影响较大,目标检测质量不如间隔差分。间隔差分法虽然在抗噪方面优于 GMM 算法,但是有两个不足:1)远处运动对象无法检测到;2)检测对象的轮廓不完整。本文设计的自适应混合差分(AHD)算法的目标

检测效果是三者中最优的。AHD 算法既比 GMM 算法抗噪能力强,又能够识别出远处缓慢运动的对象,而且识别出的对象轮廓最完整最清晰。

AHD 算法的另一大优势是处理速度快。图 5 给出了 GMM 算法和 AHD 算法的对比,可以看出:GMM 算法随着处理帧数的增加,处理时间急剧上升,而 AHD 处理时间增长趋势呈线性。因此,本文提出的 AHD 不仅检测质量高,目标检测效果好;而且处理快速,比 GMM 和间隔差分法更适应于实际应用。

结束语 本文提出了混合差分策略,克服了间隔差分法难以检测出移动对象的完整轮廓的缺点;并且设计了自适应阈值策略,使得算法能够自动地根据视频调整最佳阈值。实验结果表明:本文设计的自适应混合差分(AHD)算法适用于分析快速移动的刚性对象,如:公路上行驶的汽车等。通过对比分析,AHD 算法比常用的 GMM 算法速度快多倍,且目标检测质量更强;而比间隔差分法对移动对象的检测准确率更高,更易应用于实际。本研究的进一步工作包括:1)把 AHD 算法应用于视频跟踪技术,如:智能交通系统中的自动车辆监控和事故检测;2)改进 AHD 算法,使之适用于背景噪声较大的视频处理,如:下雨、大风和下雪等恶劣天气下的路面交通视频目标检测。

参考文献

- [1] 左军毅,潘泉,梁彦,等. 基于模型切换的自适应目标检测方法. 自动化学报,2007,33(5):467-473
- [2] Friedman N, Russell S. Image segmentation in video sequences: a probabilistic approach//Proceeding of Thirteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Providence, Rhode Island, USA, Morgan Kaufmann Publishers, 1997:175-181
- [3] Wren CR, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Pfnder: Real-time tracking of the human body. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7):780-785
- [4] Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Fort Collins, Colorado, USA, IEEE, 1999:245-252
- [5] Zivkovic Z. Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction//Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition. Cambridge, United Kingdom, IEEE, 2004(2):28-31
- [6] Mittal A, Paragios N. Motion-based background subtraction using adaptive kernel density estimation// Proceedings of IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D C, USA, IEEE, 2004:302-309
- [7] Ridder C, Munkelt O, Kirchner H. Adaptive background estimation and foreground detection using Kalman-filtering//Proceedings of International Conference on Recent Advances in Mechatronics. Istanbul, Turkey, 1995:193-199
- [8] Zhong J, Sclaroff S. Segmenting foreground objects from a dynamic textured background via a robust Kalman filter // Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision. Nice, France, IEEE, 2003:44-50
- [9] Nummiaro K, Koller-Meier E, Van Gool L. An Adaptive Color-Based Particle Filter. Image and Vision Computing, 2003, 21(1):99-110
- [10] 付萍,方帅,徐心和,等. 视频监控系统中运动目标检测的阴影去除方法. 计算机工程, 2007, 33(10):22-24
- [11] 施华,李翠华,韦凤梅,等. 基于像素可信度和空间位置的运动目标跟踪. 计算机研究与发展, 2005, 42(10):1726-1732