

基于改进的单高斯模型的运动目标检测方法

陈超, 杨克俭

(武汉理工大学 计算机科学与技术学院, 湖北 武汉 430063)

摘要:对传统的单高斯模型作了一些改进,有效地解决了传统单高斯模型中的拖尾、鬼影问题。对单高斯模型中均值与均方差的更新率的选取提出了一种新方案,能够兼顾高斯模型的收敛性和稳定性。将基于色度畸变与一阶梯度信息的阴影消除方法结合起来,能够很好地消除阴影,使得提取出的运动目标轮廓更为精确。实验结果表明,在室内以及背景较为稳定的室外环境下,基于单高斯模型的运动目标检测方法能够很好地检测出运动目标。

关键词:单高斯模型; 运动目标检测; 拖尾; 鬼影; 阴影消除

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)24-0039-04

Moving object detection based on improved single Gaussian model

CHEN Chao, YANG Ke Jian

(College of Computer Science & Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: In this paper, based on Improved Single Gaussian Model, problems such as trailing and ghosts in traditional single Gaussian model were solved effectively. We employed a new solution of how to choose update rate of mean and unbiased variance in single Gaussian model. It makes single Gaussian model get good astringency and stability. A shadow suppression method which integrates chroma aberrance with first gradient information was adopted to get more precise shape of moving object. Experiments inflect that the method Based on Improved Single Gaussian Model can detect Moving Object well in indoor or stable outdoor environment.

Key words: single Gaussian model; moving object detection; trailing; ghost; shadow suppression

近年来,随着硬件设备成本大大降低,智能视频监控系统得到了日益广泛的研究与应用,智能视频监控技术也得到了越来越多科研工作者的关注。运动目标检测技术是智能视频监控技术中的核心部分,常用的运动目标检测方法有光流法、时间差分法和背景差分法。光流法^[1]利用运动目标随时间变化的光流特性进行运动检测,但其抗噪性能差,且计算相当复杂,很难满足视频监控系统实时性的要求。时间差分法又称帧差法^[2],它通过对相邻帧对应像素的差分来提取图像中的运动区域,能够很好地适应光照的变化,对背景的变化也有很好的自适应性。但用时间差分法提取出的运动区域往往会出现空洞现象,且对于运动缓慢的目标很难检测出来。背景差分法通过将输入的每一视频帧和通过训练得到的背景图像进行差分来检测运动目标。考虑到背景不可能完全固定,一个好的背景模型应该能够反映出背景随时间的推移发生的变化。因此,背景差分法的关键不在于差分,而在于背景模型的建立与更新。常用的背景

《微型机与应用》2010年第29卷第24期

建模方法有单高斯模型法^[3]和混合高斯模型法^[4]。与混合高斯模型法相比,单高斯模型法的时间效率更高。在室内以及背景较为稳定的室外环境下,单高斯模型法可以很好地检测出运动目标。本文针对传统的单高斯模型中的拖尾、鬼影问题,在背景的更新策略方面做了一些改进,有效地解决了这些问题。在更新率的选取方面也提出了一些自己的看法,使得高斯模型具有更好的稳定性和收敛性。在阴影抑制方面,将基于色度畸变和一阶梯度信息的阴影消除方法相结合,取得了较好的效果。

1 单高斯模型

高斯模型法来源于高斯分布,其基本原理为:视频图像由于受到外界因素的影响,各个像素点的像素值随时间的推移会有一些扰动,这个扰动近似满足高斯分布。当有物体经过时,像素值的变化就会很大,物体经过的地方像素点的像素值不服从高斯分布。利用某一时刻某像素点的像素值是否满足高斯分布可以判断该点是否为背景点。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com

39

1.1 单高斯模型的建立

单高斯分布背景模型适用于单模态背景情形, 以下是利用单高斯分布背景模型进行运动检测的过程: 首先, 对一段时间内的视频序列图像进行训练, 从而建立每个像素点的颜色分布初始高斯模型 $\eta(x, \mu_0, \sigma_0)$ 。假设这段时间内有 $0-(T-1)$ 共 T 帧图像, 则有:

$$\mu_0 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} x_i \quad (1)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} (x_i - \mu_0)^2} \quad (2)$$

此后为每帧图像的每个像素点建立高斯模型 $\eta(x_i, \mu_i, \sigma_i)$ 。其中, 下标 t 表示帧序号, x_i 为像素点的当前像素值, μ_i 为当前像素点高斯模型的均值, σ_i 为当前像素点高斯模型的均方差。若 $\eta(x_i, \mu_i, \sigma_i) \leq T_p$ (这里 T_p 为概率阈值), 则该点被判定为前景点, 否则为背景点 (这时又称 x_i 与 $\eta(x_i, \mu_i, \sigma_i)$ 相匹配)。在实际应用中, 可以用等价的阈值替代概率阈值。记 $d_i = |x_i - \mu_i|$, 在常见的一维情形中, 则常根据 d_i/σ_i 的取值设置前景检测阈值: 若 $d_i/\sigma_i > T$ (根据高斯分布的特性, T 值在 2 到 3 之间, 具体数值需经过实验选取), 则该点被判定为前景点, 否则为背景点。用公式表示为:

$$f(x, y, t) = \begin{cases} 1, & d_i/\sigma_i > T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

1.2 单高斯模型的更新

背景不可能是完全固定的, 随时间的推移会发生一些变化。一个好的背景模型应该能够反映出背景的这些变化, 否则就可能产生误检。因此, 需要对背景模型进行实时更新。单高斯分布背景模型的更新即指各像素点高斯分布参数的更新。传统的高斯模型更新方法是引入表示更新快慢的常数——更新率 α , 则该点高斯分布参数的更新可表示为:

$$\mu_{i+1} = (1-\alpha)\mu_i + \alpha d_i \quad (4)$$

$$\sigma_{i+1} = \sqrt{(1-\alpha)\mu_i^2 + \alpha d_i^2} \quad (5)$$

传统的高斯模型更新方法对均值和均方差采用相同的更新率, 没有考虑到高斯模型的均值和均方差各自不同的特点^[5], 是不合理的。当更新率取值较小时, 模型的稳定性好, 但收敛性较差, 不能很快地适应光照的变化。当更新率取值较大时, 模型的收敛性较好, 能很快地适应光照的变化, 但模型的稳定性又会变得很差。因此提出了一种新的更新策略: 对于均值和均方差采用不同的更新率 α_μ 和 α_σ , 改进后的高斯分布参数的更新可表示为:

$$\mu_{i+1} = (1-\alpha_\mu)\mu_i + \alpha_\mu d_i \quad (6)$$

$$\sigma_{i+1} = \sqrt{(1-\alpha_\sigma)\mu_i^2 + \alpha_\sigma d_i^2} \quad (7)$$

对更新率的选取给出了参考意见: 取 $\alpha_\mu = 0.01$, 当 $1/t > 0.001$ 时, 取 $\alpha_\sigma = 0.01$; 当 $1/t \leq 0.001$ 时, 取 $\alpha_\sigma = 0.001$ 。这样, 由于 α_μ 取值始终较大, 模型能够很好地适应光照的变化。在开始训练的一段时间里, α_σ 取值较大,

模型具有很好的收敛性; 在训练一段时间后, α_σ 取值又较小, 使模型具有很好的稳定性。

1.3 单高斯模型的改进

背景模型对运动目标要有较强的抗干扰能力。因为在背景模型的更新过程中, 对背景模型上的每点而言都是受到了一个颜色序列的“训练”, 不论实际场景中该点是处于静止背景还是在运动目标上。静止的背景或目标的这种“训练”是我们所希望的, 而运动目标的“训练”则是不希望看到的。特别是当运动物体尺度较大或运动较慢时, 这种长时间的“训练”可能会引起错误的检测结果, 如在运动目标的尾部产生“空洞”, 特别是两个颜色相近的物体交错而过时更加明显。

传统的背景模型的更新策略不加判断地将整个当前帧用于背景的更新, 而没有考虑到运动目标对于背景的影响。这样运动目标会部分地融入背景, 造成更新后的背景和实际背景的误差, 造成所谓的“拖尾”现象。KOLLER 等人对传统的高斯模型的更新策略作了一些改进, 在背景模型的更新过程中剔除掉运动目标, 而只让背景点参与更新^[6]。KOLLER 等人的高斯分布参数的更新策略可表述为:

$$\mu_{i+1} = \begin{cases} \mu_i, & \text{该点被判定为前景点} \\ (1-\alpha_\mu)\mu_i + \alpha_\mu d_i, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

$$\sigma_{i+1} = \begin{cases} \sigma_i, & \text{该点被判定为前景点} \\ \sqrt{(1-\alpha_\sigma)\mu_i^2 + \alpha_\sigma d_i^2}, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

KOLLER 等人的算法有效地避免了运动目标参与更新对背景造成的干扰问题, 消除了“拖尾”现象, 但又产生了新的问题。由于只让背景点参与更新, 当物体的运动状态发生变化, 即当前景目标从运动变为静止而融入背景或者背景目标从静止变为运动而转化为前景时, 背景模型不能得到及时的更新, 导致背景图像上还保留着物体运动状态发生改变前的信息, 从而产生所谓的“鬼影”现象^[7]。

针对该问题, 本文提出一种新的背景模型更新策略: 考察一段时间内的图像序列, 记录变化区域内的像素点连续作为前景点的帧数。如果帧数超过一定范围, 就有理由相信, 原来处于该像素点处的物体的运动状态已经发生变化。这时, 就用该像素点的像素值取代背景模型中对应像素点的像素值。改进后的背景模型的更新策略可具体描述为: 利用式(1)判断当前帧的每一个像素点为前景点还是背景点, 同时为每一个像素点设置帧计数器 C 。当像素点为背景点时, 将帧计数器置 0, 采用式(8)、式(9)的策略对背景进行更新。当像素点为前景点时, 将该像素点的帧计数器 C 加 1, 然后将 C 与预先设定的帧计数器阈值 C_T 进行比较 (C_T 的选取与运动目标的大小和运动速度有关, 运动目标越小, 速度越快, C_T 取值应越小; 运动目标越大, 速度越慢, C_T 取值越大)。若 $C < C_T$, 则该点处的背景模型保持不变; 若 $C > C_T$, 就用当前帧中对

应像素点的像素值取代背景模型中对应像素点的像素值。用公式表示为:

$$\mu_{t+1} = \begin{cases} \mu_t, & \text{该点被判定为前景点且 } C < C_T \\ x_t, & \text{该点被判定为前景点且 } C \geq C_T \\ (1-\alpha_\mu)\mu_t + \alpha_\mu d_t, & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

$$\sigma_{t+1} = \begin{cases} \sigma_t, & \text{该点被判定为前景点且 } C < C_T \\ \sigma_0, & \text{该点被判定为前景点且 } C \geq C_T \\ \sqrt{(1-\alpha_\sigma)\sigma_t^2 + \alpha_\sigma d_t^2}, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

2 阴影消除

背景差分法的缺陷是阴影点常常被误检为运动点,从而严重干扰了运动目标的分割与提取。由于阴影具有与运动目标相同的运动特征,阴影消除成为运动目标检测与提取的难点。CUCCHIARA 等提出了一种在 HSV 颜色空间内去除阴影的方法^[8], JIANG 等采用基于阴影强度与几何特征的三步阴影检测算法剪除阴影^[9], KUMAR 等提出基于不同彩色空间检测前景物体及其阴影的方法^[10]。本文将基于 YUV 颜色空间色度畸变和一阶梯度模型的阴影检测算法结合起来消除阴影,取得了较好效果。

2.1 基于 YUV 颜色空间色度畸变的阴影检测方法

YUV 是被欧洲电视系统所采用的一种颜色编码方法,其中 Y 表示亮度,UV 代表色差,U 和 V 是构成彩色的两个分量。YUV 颜色空间的一个重要特性是其亮度信号 Y 和色度信号 U、V 相分离。这一特性可以很好地应用于阴影的检测与消除。应用式(12)可以很容易地将图像从 RGB 颜色空间转换到 YUV 颜色空间。

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (12)$$

基于 YUV 颜色空间色度畸变的阴影检测方法的原理是:阴影区域和它所对应的背景区域的亮度会有较大变化,但其色度几乎保持不变或有微小的变化。这样,根据当前帧中某像素点和它所对应的背景中的像素点的色度变化大小就可以检测出该像素点是否属于阴影点。基于 YUV 颜色空间色度畸变的阴影检测方法的步骤为:

(1) 应用式(12)将当前帧图像 x 从 RGB 颜色空间转换到 YUV 颜色空间,记 $I_x=(Y_x, U_x, V_x)$;

(2) 应用式(12)将背景图像 b 从 RGB 颜色空间转换到 YUV 颜色空间,记 $I_b=(Y_b, U_b, V_b)$;

(3) 分别计算 I_x 和 I_b 在 UV 平面上的投影,分别记为 I'_x 和 I'_b ;

(4) 利用式(13)计算向量 OI'_x 和 OI'_b 之间的夹角余弦 $\cos\theta$;

$$\cos\theta = \frac{OI'_x \cdot OI'_b}{|OI'_x| |OI'_b|} \quad (13)$$

(5) 利用式(14)判断像素点是否属于阴影点。

$$f_{\text{shadow}} = \begin{cases} 1, & \cos\theta \geq T \\ 0, & \cos\theta < T \end{cases} \quad (T \text{ 为阈值}) \quad (14)$$

参考文献[11]求出角度再与阈值进行比较,使用了反余弦函数。本文根据两向量之间的夹角 $\theta \in [0, 180]$,且 θ 的余弦值在该区间内单调递减这一性质,仅需求出两向量夹角余弦,然后与设定的阈值 T 进行比较,简化了运算。

2.2 基于一阶梯度模型的阴影检测方法

当目标和阴影的颜色差别明显时,基于 YUV 颜色空间色度畸变的阴影检测方法能够很好地分离目标和阴影。但当目标和阴影的颜色几乎相同时,基于 YUV 颜色空间色度畸变的阴影检测方法就不再有效了^[12]。此时,利用图像的一阶梯度信息可以有效地区分出阴影和目标区域。基于一阶梯度模型的阴影检测方法过程如下:

(1) 采用 Sobel 算子计算背景图像中的每一个像素点在 x 、 y 方向的梯度,分别记为 b_{xi} 和 $b_{yi}(i=R, G, B)$;

(2) 计算背景图像的像素值均方差 $\bar{\sigma}_i(i=R, G, B)$ 。

(3) 采用 Sobel 算子计算当前帧图像中的每一个像素点在 x 、 y 方向的梯度,分别记为 i_x 和 $i_y(i=R, G, B)$ 。

(4) 利用式(15)判断像素点是否属于阴影点。

$$f_{\text{shadow}} = \begin{cases} 1, & \sum_{i=R, G, B} \sqrt{(i_x - b_{xi})^2 + (i_y - b_{yi})^2} < 3\bar{\sigma}_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (15)$$

基于 YUV 颜色空间色度畸变的阴影检测方法和基于一阶梯度模型的阴影检测方法有它们各自的适用范围,将二者结合起来使得算法具有更好的适应性。如果某点同时满足式(14)、式(15)中的第一个条件,则判定该点为阴影点,否则为目标点。

3 实验结果

用基于改进的单高斯模型的运动目标检测方法在 AMD Athlon(tm) 64 X2 Dual core processor 4 800+2.50 GHz、1.00 GB 内存的计算机上对视频序列进行处理,得到以下结果。

图 1 为运用 KOLLER 等人的算法消除传统高斯模型中的“拖尾”现象的效果图。其中图 1(a)表示视频中某一帧的实时图像;图 1(b)表示应用传统高斯模型得到的运动物体的掩膜图像,可以看到有严重的“拖尾”现象;图 1(c)表示应用 KOLLER 等人的算法得到的运动物体的掩膜图像,“拖尾”问题得到了很好的解决。

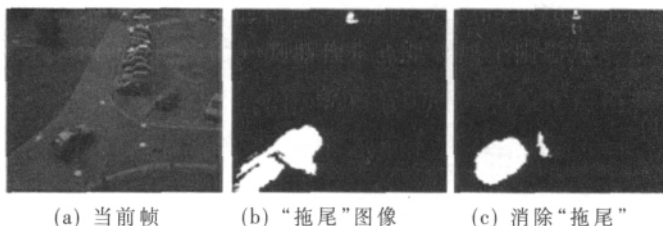


图 1 KOLLER 算法效果图

图 2 为运用基于改进的单高斯模型的运动目标检测方法去除 KOLLER 算法中的“鬼影”现象的效果图。其中图 2(a)表示视频中某一帧的实时图像;图 2(b)表示应

用 KOLLER 算法得到的运动物体的掩膜图像,可以看到有严重的“拖尾”现象;图 2(c)表示应用基于改进的单高斯模型运动目标检测方法得到的运动物体的掩膜图像,“鬼影”问题得到了很好的解决。

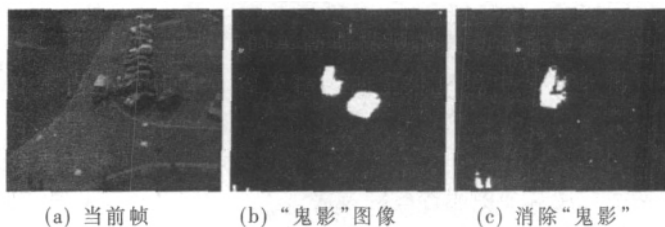


图 2 改进后的算法效果图

图 3 为基于 YUV 颜色空间色度畸变和一阶梯度模型的阴影检测方法去除阴影的效果图。其中图 3(a)表示视频中带有明显阴影的两帧图像;图 3(b)表示带有阴影的运动物体的掩膜图像;图 3(c)表示应用本文中阴影去除算法去除阴影后得到的运动物体的掩膜图像。

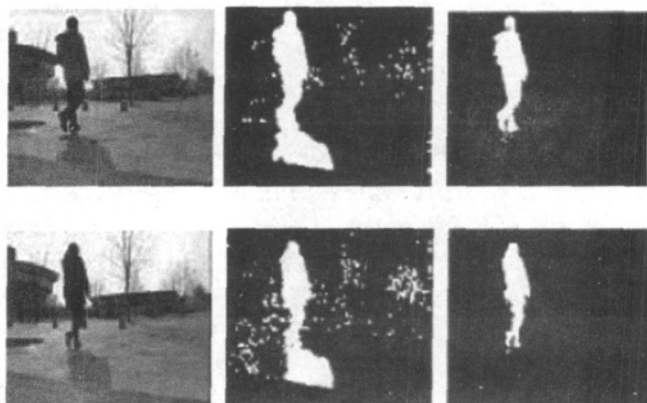


图 3 阴影检测效果图

针对传统的单高斯模型法的不足,提出了一种基于改进的单高斯模型的运动目标检测方法。通过为每一个像素点设置一个帧计数器,很好地解决了应用传统单高斯模型进行目标检测时的“拖尾”、“鬼影”问题。针对传统高斯模型更新方法中更新率选取的不合理性,提出了一种新的更新率选取策略,使得模型在训练的开始阶段具有良好收敛性,能够迅速逼近最合理的模型,在训练一段时间后,模型又能够保持较好的稳定性。针对阴影对于运动目标提取的干扰问题,将基于 YUV 颜色空间色度畸变和一阶梯度模型的阴影检测方法结合起来去除阴影,使得提取出的运动目标的轮廓更为精确。算法简单有效,可以充分满足视频监控系统实时性的要求。实验证明,基于改进的单高斯模型的运动目标检测方法在室内环境和背景较为稳定的室外环境中都能取得良好效果。

参考文献

[1] FEJES S, DAVIS L S. What can projections of flow fields

tell us about the visual motion[C]. Proceeding of International Conference on Computer Vision, Bombay, India, 1998: 979-986.

- [2] PARAGIS N, DERICHE R. Geodesic active contours and level sets for the detection and tracking of moving objects [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Interface, 2000, 22 (3): 266-228.
- [3] WREN C, AZARHAYEJANI A, DARRELL T, et al. Pfunder: real-time tracking of the human body[J]. 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 [C]. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Fort Collins, Colorado, USA, 1999: 246-252.
- [5] 刘洁, 张东来. 关于自适应高斯混合背景模型的更新算法的研究[J]. 微计算机信息, 2006, 22(8): 241-242.
- [6] KELLER D, WEBER J, HUANG T, et al. Towards robust automatic traffic scene analysis in real-time [C]. The 12th International Computer Vision & Image Processing Conference, 1994: 126-131.
- [7] 王小平, 张丽杰, 常佑. 基于单高斯背景模型运动目标检测方法的改进[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(21): 118-120.
- [8] CUCCHIARA R, GMNA C, PICCARDI M, et al. Detecting moving objects, ghosts and shadow in video streams[J]. IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1377-1342.
- [9] JIANG C, WARD M. Shadow identification[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1992: 606-612.
- [10] KUMAR P, SENGUPTA K, LEE A. A comparative study of different color spaces for foreground and shadow detection color spaces for foreground and shadow detection for traffic monitoring system [C]. The IEEE 5th International Conference. on Intelligent Transportation System, 2002, 3(6): 100-105.
- [11] 刘雪, 常发亮, 王华杰. 运动目标检测中的阴影去除方法[J]. 微处理机, 2008, 10(5): 116-117.
- [12] 王华伟, 李翠华, 施华, 等. 基于 HS V 空间和一阶梯度的阴影剪除算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(8): 43-44.

(收稿日期: 2010-09-13)

作者简介:

陈超, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机图形图像研究。

杨克俭, 男, 1955 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 计算机图形图像研究。