

快速混合高斯模型的运动目标检测^①

黄海涛¹, 蔡坚勇^{1,2,3,4}, 洪亲^{1,4}, 蔡娟¹, 丁侨俊¹

¹(福建师范大学 光电与信息工程学院, 福州 350007)

²(福建师范大学 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

³(福建师范大学 福建省光子技术重点实验室, 福州 350007)

⁴(福建师范大学 智能光电系统工程研究中心, 福州 350007)

摘要: 针对经典混合高斯模型算法在实际应用中计算量大实时性差, 且对光线变化和运动物体速度敏感的缺点, 提出一种改进的快速检测算法. 通过选取合适的间距, 先用帧间差分法提取出完整的运动区域和背景区域, 只对前者进行混合高斯模型匹配, 来降低计算量. 对背景图像不同区域采用不同背景更新率, 及时响应背景变化. 最后引入一个光线突变参数, 来预防光线突变给检测带来的干扰. 通过实验, 证明本算法在实时性, 鲁棒性, 稳定性等上有了很大的改善, 能够很好的检测出运动目标.

关键词: 混合高斯模型; 运动目标检测; 帧间差分法; 背景更新率; 光线突变

Fast Gaussian Mixture Model of Moving Target Detection

HUANG Hai-Tao¹, CAI Jian-Yong^{1,2,3,4}, HONG Qin^{1,4}, CAI Juan¹, DING Qiao-Jun¹

¹(School of Electronic College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

²(Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

³(Fujian Provincial Key Laboratory for Photonics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

⁴(Intelligent Optoelectronic Systems Research Centre, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In this paper, we propose an improved fast detecting algorithm to solve the disadvantages which are the high computation, sensitive to light changes and the speed of moving object of the classical Gaussian mixture model. We extract the complete regions of the motion and the background by using frame different method of choosing the appropriate space. The algorithm reduces the amount of calculation because it just needs to calculate part of pixels. We use different background update rate in the different area of the background to respond the changes of the background timely. Finally, we introduce an environment mutation parameter to detect mutations. Through experiments, the algorithm has made a lot of improvement in the aspects of the instantaneity, the robustness and the stability. The moving target can be detected very well.

Key words: Gaussian mixture model; moving target detection; frame different method; background update rate; light mutation

近年来消费者对于更加智能化, 人性化的电子产品越发受追捧, 其功能实现依托于摄像机捕捉人的动作通过计算机视觉来完成. 在计算机视觉中, 能否完整的提取运动目标则成为影响后续目标分类, 跟踪和行为理解等更高级的处理工作的提前.

目前常用的运动目标检测算法有光流法^[1], 帧间差分法^[2]和背景减差法^[3-6]三种. 背景减差法是目前主流的方法, 它的优点在于能提取到完整的运动目标, 但抗干扰能力差, 容易受环境的影响. 其中由 Stauffer^[5]最早提出的混合高斯模型, 应用最广. 刘静^[7]

① 收稿时间:2014-09-18;收到修改稿时间:2014-10-16

等提出通过在空间和颜色上对每个像素点建模,使混合高斯模型的自适应明显改善,提高了抗干扰能力.白向峰^[8]等提出基于线性均差的模型匹配方法来减少计算量,但实际应用中效果不明显. Ren^[9]等人针对非平稳场景提出一种新型高斯模型,但耗费更多计算资源,实时性差. 栾胜利^[10]提出一种高斯分布个数的自适应选择策略,虽然减少高斯分布个数但引入大量判别运算,效果也不佳. 这些算法大多不能兼顾完整检测运动目标与实时性的问题,在实际中不能得到应用.

针对上述问题,本文提出一种改进的快速混合高斯模型运动目标检测算法,减少了算法的计算量,提高了经典混合高斯模型的实时性,同时较好的抑制了对突发光线变化的干扰以及运动目标速度敏感的问题,经过试验,取得很好的效果.

1 经典混合高斯模型

经典混合高斯模型^[5]是为背景的每个像素建立 k (k 一般为 3~5, 根据计算机的性能而定) 个高斯分布模型. 假设每个像素点的观测样本为 $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_t\}$, 则观察到当前像素值 X_t 的概率为:

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K w_i \cdot \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2(X_t - u_i)^T \Sigma_i^{-1} (X_t - u_i)} \quad (1)$$

式中, K 表示高斯模型的个数, w_i 表示第 i 个高斯模型的权重值, u_i 表示第 i 个高斯模型的均值, n 为颜色通道数, Σ_i 表示第 i 个高斯模型颜色值的协方差矩阵, 为了减少计算量, 假设 RGB 颜色空间的 3 个颜色通道相互独立并且方差相同, 值为:

$$\Sigma_i = \sigma_k^2 I \quad (2)$$

如果当前像素点满足下式:

$$|X_t - u_{i,t-1}(x, y)| \leq 2.5\sigma_{i,t-1} \quad (3)$$

则认为该像素点与第 i 个高斯模型匹配, 对匹配的高斯模式参数做如下更新:

$$w_i = (1 - \alpha)w_{i-1} + \alpha \quad (4)$$

$$u_i = (1 - \rho)u_{i-1} + \rho X_t \quad (5)$$

$$\sigma_i^2 = (1 - \rho)\sigma_{i-1}^2 + \rho(X_t - u_i)^T (X_t - u_i) \quad (6)$$

式中, α 为学习速率, ρ 为第二学习速率:

$$\rho = \alpha \cdot \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(X_t - u_i)^T \Sigma_i^{-1} (X_t - u_i)} \quad (7)$$

对不匹配的高斯模型, 均值和方差保持不变, 权值做如下更新:

$$w_i = (1 - \alpha)w_{i-1} \quad (8)$$

如果当前像素没有匹配的高斯模型, 则新建一个高新模型来取代 w/σ 最小的高斯模型, 它以当前像素值为均值, 并初始一个大的方差和较小的权重值. 所有权重更新完以后, 需要重新归一化, 然后按 w/σ 的值由大到小对 K 个高斯模型重新排列. 取前 B 个高斯分布作为背景像素的最佳描述:

$$B = \arg \min_b \left(\sum_{k=1}^b w_k > T \right) \quad (9)$$

如果当前像素匹配的高斯模型属于公式(9), 则该像素点为背景点, 否则为前景点.

2 快速混合高斯模型

经典的混合高斯模型对每一帧图片中每个像素点做上述运算, 导致经典混合高斯模型很难达到实时性要求. 它采用固定的学习率 α , 当运动目标速度很快或很慢时, 背景无法及时更新, 影响目标检测. 同时, 经典算法对光线突变十分敏感, 本文提出一个新的改进算法改善了上述问题.

本文通过帧间差分法来迅速提取运动目标区, 只对目标区域进行高斯模型匹配, 而不是对每个像素逐次进行匹配, 这样就大大降低了计算量, 提高算法的实时性. 帧间差分法:

$$\text{diff}(x, y) = |f_t(x, y) - f_{t-m}(x, y)| \quad (10)$$

式中, $f_t(x, y)$ 表示当前帧, m 表示两帧间隔, $f_{t-m}(x, y)$ 表示前 m 帧, $\text{diff}(x, y)$ 表示像素差值, 当差值大于阈值时, 认为该点为前景点即属于运动目标区域, 否则为背景点. 帧间差分法是用相邻几帧图像做差分, 可以一定程度消除环境变化对检测结果的影响, 提高混合高斯模型算法的抗干扰能力.

2.1 帧间距选择的影响

现实应用中, 对每一帧都进行检测是不必要的, 不仅增加计算量而且造成模型对运动物体速度敏感, 所以选择合适的帧间距很重要. 若间距 m 太小, 当运动目标速度很慢或短暂停留在背景中, 帧间差分法检测结果会有明显空洞如图 1, 只能提取目标的边缘甚至漏检. 若间距 m 太大, 那么帧间差分法的结果有“重影”现象如图 2, 增加了后期高斯模型匹配的计算量,

降低实时性,甚至造成运动目标逃离背景区域导致漏检. 根据实验 m 取 1~3 效果最好.

2.2 自适应背景更新率选择

经典混合高斯模型使用固定背景更新率, 根据公式(4), 我们知道更新率决定背景更新的快慢. 固定的背景更新率无法满足各种不同运动场景的要求, 如果更新率小, 背景更新缓慢, 无法模拟实时的真实场景, 造成大面积的误检, 尤其对运动速度快的目标, 容易把背景显露区域(即当前背景还留有上一帧的运动目标信息, 但运动目标此时已不在该区域.)误检为前景点, 造成运动目标“重影”. 如果更新率太大, 背景更新快, 容易将运动速度缓慢的目标迅速同化到背景中, 成为背景一部分, 从而造成目标漏检或只能提取到模糊的轮廓信息. 本文认为应该根据不同的区域, 赋予不同的背景更新率, 使得背景能够最真实的模拟真实的实时背景, 改善混合高斯模型对运动物体速度的敏感的问题, 提高运动目标检测正确性.



图 1 “空洞”现象



图 2 “重影”现象

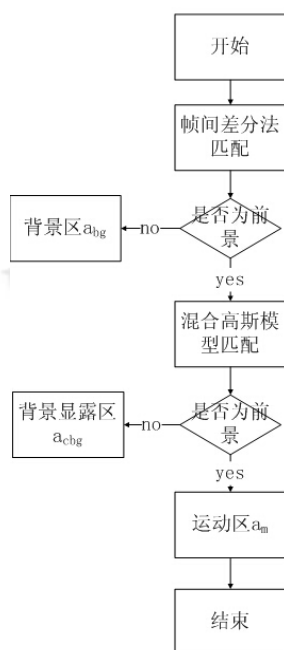


图 3 背景区域分块流程图

本文将背景分为背景区域 a_{bg} , 背景显露区域 a_{cbg} 和运动区域 a_m , 三者分块如图(3)所示.

具体操作: 首先将当前帧进行帧间差分法处理, 将前景点认为是运动目标区域 a_m , 将背景点认为是前帧分为背景区 a_{bg} , 然后只对运动目标区域 a_m 进行混合高斯模型匹配, 如果满足公式(9), 则认为该像素属于运动区 a_m , 否则属于背景显露区域 a_{cbg} .

三者更新率如下式:

$$\alpha(x, y) = \begin{cases} \alpha_{bg}, & \text{if } (f_i(x, y) \in a_{bg}) \\ \alpha_{cbg}, & \text{if } (f_i(x, y) \in a_{cbg}) \\ \alpha_m, & \text{if } (f_i(x, y) \in a_m) \end{cases} \quad (11)$$

式中, $\alpha_{bg} < \alpha_m < \alpha_{cbg}$, 因为背景区域最稳定, 仅需要很小的更新率来保持背景正常的更新调整即可, 本文 $\alpha_{bg} = 0$, 背景区域不做更新, 实验证明不影响目标检测又可以节省系统资源, 提高算法实时性. 对于运动区域, 因为 α_m 取大值会将运动目标迅速同化到背景中, 将运动目标当成背景的一部分而造成目标漏检, 所以它的更新率只能取较小值, 既保证背景及时更新, 又不同化运动目标. 对于背景显露区域, 这块区域已经不存在运动目标, 但是保留有运动目标信息, 会造成目标误检而出现“重影”, 所以要赋予 α_{cbg} 较大的背景更新率, 让该区域迅速回归到实时背景. 这样在算法中, 就可以根据不同的区域自适应选择背景更新率进行背景更新.

2.3 预防光线突变的背景更新策略

经典混合高斯模型对光线突变十分敏感, 当环境发生光线突变时, 大部分的背景点的像素值会发生跳变而被误检为前景点, 造成运动目标区域被遮盖出现大面积的“雪花”现象. 针对这种情况, 本文引入一个光线突变系数 ψ :

$$\psi = (N_{non} / N_{sum}) * 100\% \quad (12)$$

式中, N_{non} 表示用帧间差分法得到的差分图像中非零的像素点, N_{sum} 表示像素点总数. 当 ψ 大于阈值 T (一般取 75%), 认为光线发生突变. 那么对混合高斯模型每个像素点中优先级最大的那个高斯模型 k_1 做如下更新:

$$\mu_{i,k1} = f_i(x, y), w_{i,k1} = \max(w_{i,i}), \sigma_{i,k1}^2 = 30 \quad (13)$$

式中, $f_i(x, y)$ 表示当前帧的像素, $\max(w_{i,i})$ 表示最大的权重值. 这样可以保证光线突变后, 混合高斯模型能在短时间快速地更新到真实背景, 准确的提取出运动目标.

3 实验结果与分析

由本文所有的实验使用的硬件是 Inter 奔腾 2.9GHz 处理器、4G 内存的 PC 机, PC 系统是 window XP, 仿真软件为 matlab 2012a 版本.

为了验证本算法的实时性效果, 本文选择了 4 个不同的视频(分辨率为 240*360)分别用经典混合高斯模型算法和本文算法进行仿真. 视频内容有不同交通道路状况下车辆行驶情况以及行人走路场景, 场景中还包括光线环境的突变情况. 算法中, k 值取 3, 表 1 为仿真的结果, 我们可以看出本文算法的处理速度优于经典的混合高斯模型算法, 出现这样的结果是因为经典的混合高斯模型对视频每一帧图片的像素点都要做 $240*360*3=259200$ 次的高斯模型匹配, 每次高斯匹配中又得处理大量平方、开方、指数运算和多个模型参数的更新, 所以计算量庞大, 非常占系统资源, 实时性差. 但是本文算法通过帧间差分法找到大致运动目标区域, 仅需要对该区域进行高斯模型匹配而不是对全部像素点进行匹配, 同时引进的帧间差分法本身很简单且实时性高, 因此大大减少了需要的计算量, 减少了占用的系统资源. 实验数据也证明本文算法有效的提高了算法的建模速度, 节约了系统运算资源, 提高了算法的实用性.

表 1 处理速度对比(ms/f)

算法	Video1	Video2	Video3	Video4	Video5
经典混合高斯模型	80.4	74.8	85.6	70.9	77.9
本文算法	65.2	62.5	73.3	61.8	65.7

图 4 表示车子不同速度下检测下的实验结果, 实验中, $\alpha_{bg}=0.001$, $\alpha_m=0.003$, $\alpha_{cbg}=0.05$, 帧间差分法中的帧间距 m 取 2. 图 4 第 1 行表示车子速度快的情况下处理效果, 在图(b)中, 由于经典混合高斯模型算法采用固定背景更新率, 导致背景整体更新慢, 无法及时更新使得背景显露区域被误检为前景, 造成车子“重影”现象. 而在图(c)中本文算法对背景区域使用较大的背景更新率, 使得背景能够及时响应背景变化, 有效抑制了背景显露区域被误检的问题, 得到完整的运动目标. 图 4 第 2 行表示车子在速度慢的情况下的处理效果, 在图(e)中, 经典高斯模型算法把车子同化到背景中, 只能得到模糊的边界, 而在图(i)中, 融入

了帧间差分算法的本文算法, 能够抑制运动物体速度慢造成的目标被同化而被漏检情况. 不仅能及时响应背景变化及时更新背景, 而且能提取出运动区域得到完整运动目标.

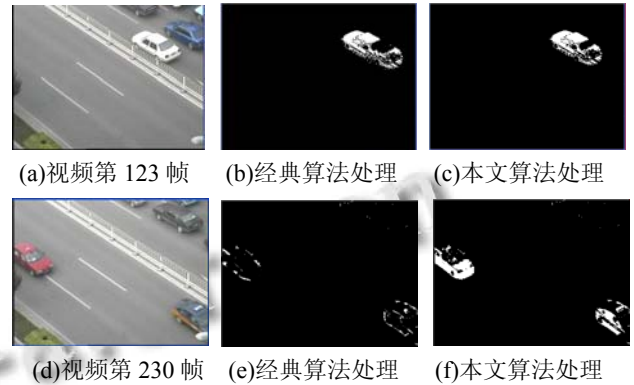


图 4 不同速度下车子检测的实验结果

图 5 表示光线突变下的实验结果, 光线突变系数 ψ 取 75%. 从图片中我们可以看到当光线发生大面积突变时, 图像中绝大多数像素值发生跳变而被误检为前景点, 并且覆盖了运动目标出现“雪花”现象. 经典的混合高斯模型算法对光线变化十分敏感, 无法及时响应这种情况, 要到第 60 帧才能只适应调整才能消除光线突变影响, 检测到运动目标, 而本文的算法只到第 28 帧图片就能基本消除光照突变影响, 提取出比较完整的运动目标. 这说明本文能够在较短时间能及时响应光线突变的场景, 有效的抑制由于光线突变造成的“雪花”现象.

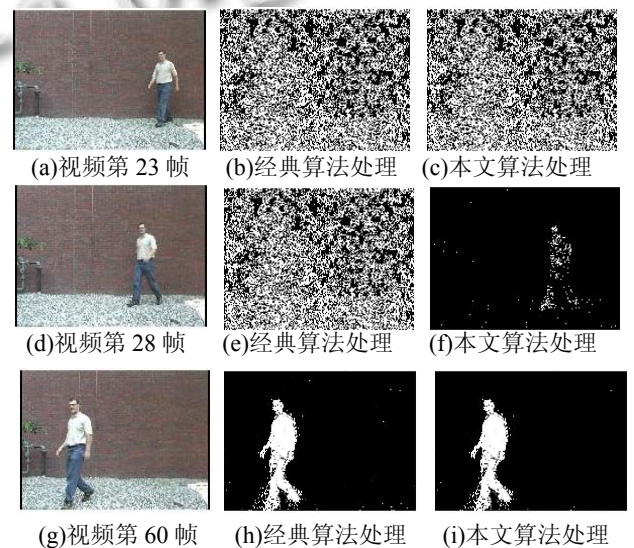


图 5 光线突变下的实验结果

4 结语

针对经典混合高斯模型中由于对全部像素点逐一进行高斯模型匹配,其中涉及到平方、开方及指数运算,占用系统资源且计算量庞大而导致的实时性低,实用性弱的缺点,提出了融合帧间差分法的新算法,能够迅速找到运动区域范围进行高斯模型匹配,显著减少了计算量,提高了算法的实时性. 本文将背景划分为不同区域,并且根据区域的不同特性分别采用不同的背景更新率,使背景模型能够及时响应场景变化,有效抑制了经典混合高斯模型由于采用固定背景更新率而对运动物体速度敏感的问题. 新算法还引入了光线突变系数 ψ ,能够在较短时间能及时响应光线突变的场景,使算法的鲁棒性进一步增强.

参考文献

- 1 Horn BK, Schunck BG. Determining optical flow. 1981 Technical Symposium East. International Society for Optics and Photonics, 1981: 319-331.
- 2 Lipton AJ, Fujiyoshi H. Moving target classification and tracking from real-time video. Proc. IEEE Workshop on Applications of Computer. Princeton, NJ. 1998. 8-14.
- 3 Rymel J, Renno J, Greenhill D, et al. Adaptive eigenback-
- grounds for object detection. 2004 International Conference on Image Processing(ICIP'04). IEEE. 2004, 3. 1847-1850.
- 4 Wren CR, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Pfinder: Real-time tracking of the human body. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 780-785.
- 5 Stauffer C, Grimson WEL. Adaptive background mixture models for real-time tracking. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 1999. IEEE. 1999. 246-252.
- 6 Gupte S, Masoud O, Martin RFK, et al. Detection and classification of vehicles. IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems, 2002, 3(1): 37-47.
- 7 刘静,王玲.混合高斯模型背景法的一种改进算法.计算机工程与应用,2010,46(13):168-170.
- 8 金广智,石林锁,白向峰,等.基于混合高斯模型的新型目标检测系统.计算机应用,2011,31(12): 360-3362.
- 9 Ren Y, Chua CS, Ho YK. Statistical background modeling for non-stationary camera. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(1): 183-196.
- 10 栾胜利.基于改进的混合高斯模型的背景建模方法.指挥控制与仿真,2014,36(1):84-87.