

# 基于高斯混合模型的空间域背景 分离法及阴影消除法

朱碧婷 郑世宝

(上海交通大学电子工程系图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

**摘要** 运动检测和背景分离技术是智能视频监控系统中的一项关键技术。由于目前广泛使用的高斯混合模型背景分离法是在像素域的时间尺度上对像素进行分类,因此常常造成误判,且无法解决阴影问题。为解决此问题,提出了一种空间域上的背景分离法。该方法首先将像素检测从像素域拓展至空间域的局部窗口内;然后在得到前景点集后,再将此空间域检测思想结合像素亮度特征运用到阴影消除中;最后,对经典模型的部分参数估计方法进行了修改。相关的实验结果证明,该方法可用于提高背景分离的检测精度和实现运动物体阴影消除。

**关键词** 背景分离 高斯混合模型 空间域检测 阴影消除

中图分类号: TP391.41 TP277 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)10-1906-04

## Space-domain Background Subtraction and Shadow Elimination Based on Gaussian Mixture Model

ZHU Bi-ting, ZHENG Shi-bao

(Institute of Image Communication and Information Processing, Department of Electrical Engineering,  
Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

**Abstract** Moving detection is a key technology in robust video surveillance. Currently widely used Gaussian mixture model (GMM) always detects incorrectly and cannot deal with shadows based on the pixel-level and time-domain classification, so we introduce an effective algorithm extending the pixel-level detection to space-domain detection with the combination of illumination of the pixel using GMM and apply it for shadow removal after the first step when foreground pixels has been got. Besides, some parameters in the standard GMM are modified. Experiments show that our algorithm is effective both on detect accuracy and shadow removal.

**Keywords** background subtraction, Gaussian mixture model, space-domain detection, shadow elimination

### 1 引言

运动检测作为整个监控系统中的底层,它的目标是尽可能精确地从视频图像序列中将变化区域提取出来。运动检测效果对后续跟踪、识别、智能检索等影响巨大,然而,由于背景图像的动态变化,如天气、光照、影子等的影响,使得运动检测成为一项相

当困难的工作。

常用的运动物体检测方法有时域差分法、背景减除法、光流分析法等。其中时域差分法<sup>[1]</sup>是将当前帧与前一帧(或前2-3帧)在像素域上进行相减,当得到绝对差分图像后,再按照设定的阈值通过二值化来分离出前景和背景。该方法可表示为

$$|F_i(x, y) - F_{i-1}(x, y)| \geq T_1 \quad (1)$$

式中,  $T_1$  为阈值, 如果当前检测的第  $i$  帧  $F$  的像素点  $(x, y)$  与前一帧同一像素点像素值的差值满足此式, 则为前景, 否则为背景。背景减法<sup>[2]</sup>是先将当前帧与事前存储起来的背景参考图像相减, 然后利用图像差进行目标检测。

$$|F(x, y) - B(x, y)| \geq T_1 \quad (2)$$

式中,  $B(x, y)$  表示背景图像的像素值, 由式(1)、式(2)可知, 时域差分法对于动态环境有很好的适应性, 但不能完全提取出目标的所有相关点; 背景减法虽能够提取较为完整的目标前景信息, 却又对光照和由其他外部条件所造成的动态场景变化过于敏感; 光流法<sup>[3]</sup>虽然能够直接用于摄像机运动下的目标检测, 但是大多数光流方法的计算复杂, 实时性差。

高斯混合模型的背景估计算法运用了数学建模思想, 对客观事物投影的图像序列进行了像素域在时间尺度上的建模。由于它是基于背景样本的统计学特征, 因此能更客观、更科学地表征背景信息。本文在此基础上, 对其进行了改进, 以提高运动检测效果。

## 2 高斯混合模型背景分离法及其改进

### 2.1 高斯混合模型

本质上说, 视频序列的背景分离技术是一个二值化分类的问题。即探求某一时刻当前帧的每个像素是处于前景状态还是背景状态。从贝叶斯准则观点来看, 这种探求是基于后验概率的。

现实世界中的很多物理过程都可以用高斯过程模拟, 混合高斯模型因此得名。某点  $x$  在某时刻的随机分布概率为

$$\begin{aligned} p(x) &= \sum_{i=1}^K p(G_i) p(x|G_i) \\ &= \sum_{i=1}^K w_i g(x, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $K$  为高斯分布的数量,  $w_i$  是第  $i$  个高斯分布的权值;  $\mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}$  为第  $i$  个高斯分布的均值向量和方差矩阵;  $g$  是第  $i$  个概率密度的高斯分布函数。在这个分布模型上, 以  $x$  为背景的后验概率  $p(B/x)$  可进一步表示为

$$\begin{aligned} p(B/x) &= \sum_{i=1}^K p(B/G_i) p(G_i/x) \\ &= \sum_{i=1}^K p(B/G_i) \left[ \frac{p(x/G_i) p(G_i)}{p(x)} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum_{i=1}^K p(x/G_i) p(G_i) p(B/G_i)}{\sum_{i=1}^K p(x/G_i) p(G_i)} \end{aligned} \quad (4)$$

式中,  $G_i$  为第  $i$  个高斯分布,  $p(G_i)$  为这个高斯分布在高斯混合模型中的权值, 在实际运用中, 这是一个先验知识。

当有新的观测点  $x_{t+1}$  来临时, 则将这个样本的像素值分别与  $K$  个高斯分布的均值  $\mu_{i,t}$  相比, 同时计算观测点落入相应高斯分布的概率, 并按某一判断法则选择匹配的高斯分布。这个法则为

$$|x_{t+1} - \mu_{i,t}| < c \times \sigma_{i,t} \quad (i = 1, \dots, K) \quad (5)$$

$c$  为一常数。据此, 就可以选择出符合判断法则的高斯分布。当存在匹配的高斯分布时, 则需要根据当前像素  $x_t$ , 对这些高斯分布的权值、均值和方差参数进行更新处理。

$$w_{i,t+1} = (1 - \alpha) \times w_{i,t} + \alpha \times M(t) \quad (6)$$

$$M(t) = \begin{cases} 1 & \text{匹配} \\ 0 & \text{不匹配} \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $\alpha$  为一与时间相关的学习速度。

$$\mu_{i,t+1} = (1 - \rho) \times \mu_{i,t} + \rho \times x_t \quad (8)$$

$$\sigma_{i,t+1}^2 = (1 - \rho) \times \sigma_{i,t}^2 + \rho (x_{t+1} - \mu_{i,t})^T (x_{t+1} - \mu_{i,t}) \quad (9)$$

$$\rho = \alpha \times g(x_t, \mu_{i,t}, \sigma_{i,t}^2) \quad (10)$$

在这些匹配的高斯分布中, 还需要按照各自的

$\frac{w_i}{\sigma_i}$  比值进行排序, 然后从中选择最能代表背景的高斯分布, 并以此来最终确定表征背景的高斯分布。式(11)中, 权值较大的前  $b$  个高斯分布被识别为背景, 即

$$B = \arg \min_b \left( \sum_{k=1}^b w_k > T_2 \right) \quad (11)$$

### 2.2 本文提出的改进算法

为了节省数组运算时间, Stauffer-Grimson 经典算法<sup>[4]</sup>定义像素  $x_t$  的 RGB 分量的方差一致(如式(12)所示)。

$$\Sigma_{i,t} = \sigma_{i,t}^2 \mathbf{I} \quad (12)$$

然而在彩色空间内, 即使 R、G、B 分量中的某个值改变(例如颜色从深红转为朱红), 也并不代表该像素存在背景像素与前景像素的交换, 因此, 本文将各个彩色空间的方差单独表示, 并进行更新(如式(13)所示)。

$$\Sigma_{i,t} = \begin{bmatrix} \sigma_{r,t}^2 & & \\ & \sigma_{g,t}^2 & \\ & & \sigma_{b,t}^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

经典算法中, 高斯模型方差参数的更新是一个降函数, 且收敛于一个接近零的小数, 这说明随着时间积累到一定程度, 背景的随机过程的描述越来越趋向于稳定, 然而由于现实世界中存在噪声、光线轻微变化、摄像机微弱移动等情况, 致使这种高度稳定对下一时刻相同位置的检测容易发生误判, 因此本文对  $\sigma^2$  更新函数进行了修改, 即在方差收敛到初始值的 20% 左右时, 设定一个下限来限定模型进入过度的稳定状态。

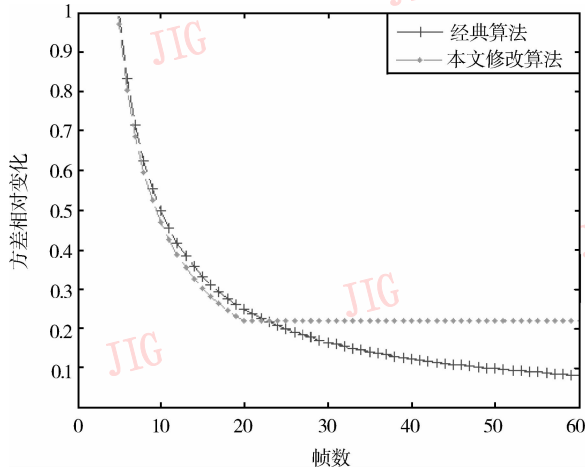


图 1 两种算法中  $\sigma^2$  的收敛函数

Fig. 1 The convergence function of  $\sigma^2$  in two methods

在经典的高斯模型算法中, 对像素的检测始终是参考该点像素在时间上的样本的统计量, 却忽略了像素邻域间的历史统计信息。本文在像素检测中除了参考像素的历史统计值外, 还要同样参考像素周边  $3 \times 3$  区域内像素的统计特征, 当前像素需要和像素的历史信息以及周边 8 个像素的统计特征值进行综合检测, 这样才可以解决诸如因摄像机微弱抖动造成背景物体边缘像素漂移所带来的误检, 以提高检测精度。空间域检测算法框架如图 2 所示。

通过高斯混合模型分割开前景背景后, 本文的阴影消除方法仅处理运动物体(前景)的投射影子, 将区域检测算法进一步引用到前景点集的区分中, 并结合阴影像素亮度变化较小的特点, 将像素统计特征的均值更改为像素的亮度  $H$ , 最后将此替代像素的均值作为区域检测法的输入参数。为简便计算, 在此定义像素的亮度为

$$H = R + G + B \quad (14)$$

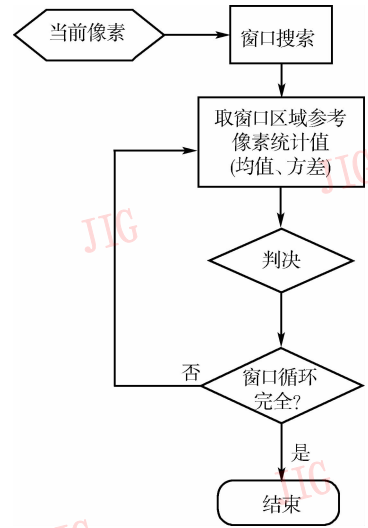


图 2 空间域检测法流程

Fig. 2 Workflow of space-level pixel detection method

### 3 实验结果

为验证本文算法的检测结果, 在 Penium 4, 2GHzPC 机上用软件进行了仿真实验, 测试序列为作者用手持式普通相机拍摄而成的 20ftp, XVID 压缩格式的视频。高斯混合模型的参数  $K$  取值 3, 初始方差为 100,  $\alpha$  为 0.06。

实验 1 为本文改进算法与经典算法检测结果的比较, 其中将空间域检测法仅应用在前端的运动检测中, 并未使用在前景点集的二次判断, 也即未用于区分运动物体和其阴影。测试图像选取序列的第 508 帧。从图 3(c) 中可以看出, 本文算法的检测效果在背景点前景点的初步判断较图 3(b) 经典算法的检测效果更为精确。

实验 2 是在实验 1 的基础上, 在得到前景点集后, 再次应用空间域检测法的思想, 进一步区分运动目标和其阴影。从图 4(a) 可以发现, 当未用阴影消除算法时(已经使用了空间域检测法), 阴影像素虽然不断和周边窗口像素进行比较, 但由于两者数值过于接近, 因此绝大部分依然被检测成为前景。图 4(b) 为结合像素亮度特征与空间域检测算法对这些前景点进行二次判断的检测结果。对于由阴影块组成的前景点集而言, 当前像素的亮度与参考窗口域内像素“亮度”(实际为  $R, G, B$  分量均值的和) 几乎接近, 而对于由运动物体构成的前景点集而言, 则反差很大。因此, 使用该方法可以有效抑制阴影。

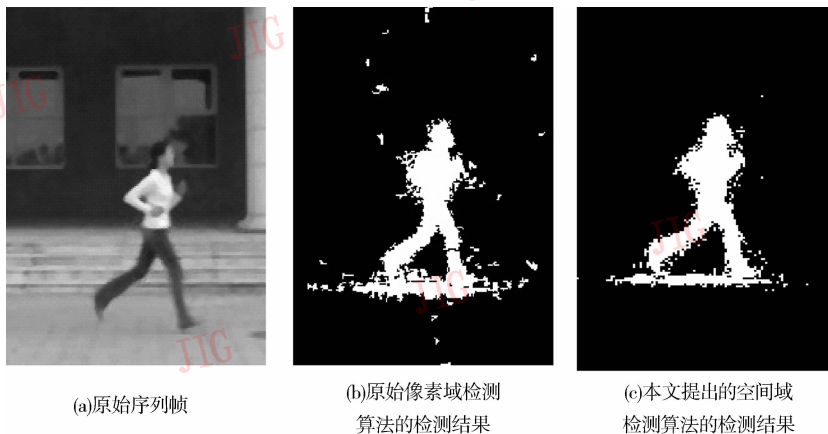


图 3 两种像素检测算法的比较

Fig. 3 Comparison of two methods in pixel detection

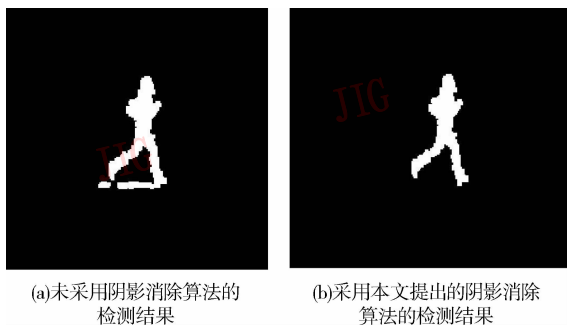


图 4 采用和未采用阴影消除的检测效果图

Fig. 4 The result with and without shadow removal

### 4 结 论

本文提出了一种基于高斯混合模型的空间域检测法,在检测过程中,通过结合周边像素的历史统计信息,建立了空间域上的高斯混合模型。由于参考的不是周边像素的当前值,而是其历史样本的统计值,因而该空间域检测法其实包含了像素时间域检测的思想,其能够灵活利用到帧间信息;此外,本文将该思想进一步引入到前景点集的判断中,形成了

基于像素亮度和区域窗口的前景点集的二步检测阴影消除法。实验测试证明了本方法的有效性:不仅提高了检测目标的精度,而且对运动物体的阴影去除起到了明显作用。

### 参考文献 (References)

- 1 Fu Si-hua, Zhang Xiao-hu. Real-time moving detection for video sequences [J]. Optical Technology, 2004, **30**(2): 215 ~ 222. [伏兴华, 张小虎. 基于序列图像的运动目标实时检测方法[J]. 光学技术, 2004, **30**(2): 215 ~ 222.]
- 2 Hu Shi-yan. Moving detection and alarm for video surveillance [J]. Journal of Shijiazhuang Railway Institute, 2002, **15**(4): 7 ~ 10. [胡师彦. 基于视频监控系统的运动监测与报警[J]. 石家庄铁道学院学报, 2002, **15**(4): 7 ~ 10.]
- 3 Du Zhen, Zhang Gui-lin, et al. A moving detection algorithm in video surveillance [J]. Machinery and Electronics, 2003, (6): 45 ~ 47. [杜峥, 张桂林等. 视频监控系统中的一种运动检测算法[J]. 机械与电子, 2003, (6): 45 ~ 47.]
- 4 Chris Stauffer, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [A]. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Ft. Collins, CO, USA, 1999: 246 ~ 252.