

边缘检测与混合高斯模型相融合的运动目标检测算法*

潘欣艳,徐荣青,崔媛媛,王玉杰,关丽,王斌斌
(南京邮电大学 光电工程学院,江苏 南京 210046)

摘要: 针对传统的混合高斯模型不能很好地处理突变的情况,提出了一种新的运动目标检测算法。该算法在时间域上对混合高斯模型的更新机制进行了改进,并对模型加入了帧间处理,提取出初步的运动目标;在空间域上,通过 Canny 边缘检测算子获得初步的运动目标边缘轮廓,利用图像金字塔的多分辨率特性排除背景噪声,经过一定运算再次得到运动目标。将两次得到的运动目标作“与运算”,提取出最终的运动目标。实验结果表明,本算法可以较好地处理突变情况,提取的运动目标图像完整、轮廓清晰。

关键词: 边缘检测; 混合高斯模型; 运动目标检测; 背景减除

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)23-0043-03

Moving object detection method based on edge detection and Gaussian mixture model

Pan Xinyan, Xu Rongqing, Cui Yuanyuan, Wang Yujie, Guan Li, Wang Binbin

(School of Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: Aiming at the fact that the traditional Gaussian mixture model can not deal with the mutations effectively, this paper proposes an improved moving object detection algorithm. The model's updating mechanism is improved on the time domain, while joining frame disposal to the model, and obtain the preliminary moving object. Canny edge detection operator is used to get the edge figure on the space domain, and extract the preliminary outline of the moving object. Using the multi-resolution characteristics of the image-pyramid to eliminate the noise in background region, perform further operation, and extract the preliminary moving object again. Obtain the result by logic and processing for these two objects. Experiments show that this algorithm can effectively handle the mutation, and improve motion detection precision.

Key words: edge detection; Gaussian mixture model; moving object detection; background subtraction

在智能视频监控和运动分析应用中,一个基础而又关键的任务是从视频序列中实时地检测出运动目标。视频运动目标检测的主要目的是从视频序列中提取出运动目标并获得其特征信息,如颜色和轮廓等^[1]。目前运动目标检测算法主要有光流法、背景差分法和帧差分法等。其中,背景差分法是目前研究最多、应用最广泛的一种方法^[2]。混合高斯模型鲁棒性比较高,能够较好地处理规律变化的动态背景,但是它对突发事件(如光照突变)的响应速度比较慢,容易受到背景噪声干扰的影响,从而造成无法正确地提取运动目标。近年来,一些研究人员对高斯模型法提出了改进方法,效果仍不理想。本文提出了一种融合混合高斯模型和边缘检测的运动目

标检测算法。该算法首先对混合高斯背景模型的更新机制进行了改进,并对模型加入了帧间处理使其可以适应突变,得到初步的运动目标;再结合 Canny 边缘检测算子和金字塔运算得到运动目标轮廓,经过填充、形态学处理后再次得到运动目标图像,将两次得到的运动目标作“与运算”,提取出最终的运动目标。实验结果表明,本文提出的算法可以较好地提取运动目标轮廓,有效抑制阴影与噪声的影响,并能适应突变情况。

1 混合高斯模型

基于高斯混合模型的背景建模方法最初由 STAUFFER 和 GRIMSON 于 1999 年提出^[6-7]。对于图像序列中的像素点的历史观测值集合为 $\{X_1, X_2, \dots, X_i\}$,可以得到该像素值在当前帧的概率密度函数:

* 基金项目:国家自然科学基金(60778007)

$$P(x) = \sum_{i=1}^k \frac{w_{i,t}}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \left| \sum_{i,t} \right|^{\frac{1}{2}}} \exp \left[-\frac{1}{2} (x_t - \mu_{i,t})^T (\sum_{i,t})^{-1} (x_t - \mu_{i,t}) \right] \quad (1)$$

$$\sum_{i,t} = \sigma_{i,t}^2 \cdot I \quad (2)$$

其中, k 为高斯分布的个数 (经验值为 3~5), n 表示 x 的维数, $w_{i,t}$ 为在 t 时刻的混合高斯模型中第 i 个高斯成分的权重, $\mu_{i,t}$ 及 $\sum_{i,t}$ 分别为第 i 个高斯成分的均值和协方差, $\sigma_{i,t}$ 为标准差, I 为单位矩阵。

按照 $\frac{w_{i,t}}{\sigma_{i,t}}$ 的大小把高斯分布的模型进行排序, 把值最大的排在最前面。该值的大小包含了模型在以前处理过程中的累积效果和模型的偏差情况, 该值越大, 表明该模型匹配的次數越多, 并且方差也越小。通过这样的排序之后, 最有可能成为背景的模式排在了最前面, 可能性最小的模型被放在了底部, 以便被新建立的模型替代。当预设一个阈值 T 时, 可以用式(3)进行模型分类:

$$B = \arg \min_b \left(\sum_{i=1}^k w_i > T \right) \quad (3)$$

式(3)表明, 按照 $\frac{w_{i,t}}{\sigma_{i,t}}$ 的大小排序之后, 把满足式(3)的前 B 个模型选择为背景。阈值 T 的大小一般通过实验方法选择, 一般取 $T=0.7$ 。

高斯混合背景建模算法根据当前像素值与模型中的 k 个高斯分布的匹配情况对模型进行更新。如果像素值在某高斯分布均值的 2.5 倍方差范围之内, 则表示与该分布成功匹配。如果当前像素值与 k 个高斯分布都不匹配, 则用一个新的高斯分布取代权重最小的分布, 新的分布的均值即为当前的像素值, 同时为它分配一个较大的初始协方差和一个较小的初始权重值^[8]。如果存在与之匹配的高斯分布, 则对各个分布的权重值作如下调整:

$$w_{i,t} = (1-\alpha)w_{i,t-1} + \alpha M_{i,t} \quad (4)$$

其中, α 为学习率, 其值在 0~1 之间。

对于与当前像素值匹配的高斯分布, $M_{i,t}=1$, 否则, $M_{i,t}=0$ 。这样, 通过式(4)将导致匹配的高斯分布权重值增加, 而不匹配的高斯分布权重值减小。对于与当前像素值匹配的高斯分布, 将其参数作如下调整:

$$\mu_i = (1-\rho)\mu_{i,t-1} + \rho X_t \quad (5)$$

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

其中:

$$\rho = \alpha \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} (x_t - \mu_{i,t})^T (\sum_{i,t})^{-1} (x_t - \mu_{i,t}) \right] \quad (7)$$

对于没有匹配的高斯分布, 其参数皆保持不变。前景检测的过程在模型更新之前进行。如果在当前根据 w/σ 值排序后的背景描述的 B 个高斯分布中, 至少有一

个高斯分布与当前像素值匹配, 则当前像素为一个背景像素, 否则, 判定其为前景像素。

2 改进的运动目标检测算法

2.1 对混合高斯模型算法的改进

由式(4)~式(7)可知, 随着训练数据数目 t 的增加, 模型参数将趋于稳态, 使当前的观测值 X_t 对估计的影响减弱。针对这一问题, 对参数进行改进, 将 α 和 ρ 都取为固定的值, 这样既能避免上述情况, 又可减少算法的运算量。实验结果显示, 选择 $\alpha=0.005, \rho_i=0.0015$ 效果为佳。

随着背景越来越稳定, 方差会越来越小, 场景中的变化很容易造成误检。参照参考文献[9]提出的算法, 本文对方差进行自适应的更新, 即令方差更新因子 ρ 乘一个系数 κ , 其中 $\kappa = X_t - \mu_{i,t}$ 。然而, 当 κ 很小时, 会使方差加速减小, 因此再设置一个阈值 $\delta^2 > 25$, 可有效地避免方差过小。改进后的更新公式为:

$$w_{i,t} = (1-\alpha)w_{i,t-1} + \alpha(M_{i,t}) \quad (8)$$

$$\mu_{i,t} = (1-\rho)\mu_{i,t-1} + \rho X_t \quad (9)$$

$$\sigma_{i,t}^2 = (1-\kappa \cdot \rho)\sigma_{i,t-1}^2 + \kappa \cdot \rho (x_{i,t} - \mu_{i,t})^T (x_{i,t} - \mu_{i,t}) \quad (10)$$

$$\kappa = X_t - \mu_{i,t} \quad (11)$$

混合高斯背景模型的更新机制对背景变化缓慢的情况能很好地处理, 但是对于突变情况 (如光照突变), 会将大多数像素误检为前景, 从而造成无法正确地提取运动目标。由于光照突变具体表现为整体灰度值的变化, 即当前帧与所得到的背景平均灰度值之间的差值变化, 因此, 可以计算这个差值, 如果它大于一定的阈值, 则对整幅图像所有的像素中权重最大的高斯分布参数进行替换, 用当前帧图像像素值代替 μ_0, w_0 取较大的值以保证新的分布成为稳定的背景成分。本文 $\sigma_0=20$ 。

通过改进的混合高斯模型算法可以得到一个初步的运动目标, 并标记为运动目标 a , 以备与基于边缘检测所得运动目标相结合, 得到更精确的运动目标。

2.2 Canny 边缘检测算法

由于阴影及背景噪声的影响, 单纯使用混合高斯模型所提取出的运动目标轮廓不准确。为了在运动物体分割中得到精确的对象轮廓, 本文结合空间分割结果来优化物体区域。一个好的边缘检测算子应具有 3 个指标: 好的边缘检测结果、好的定位特性和单边缘响应。基于这 3 个指标, Canny 提出了一种最优逼近算子——Canny 边缘检测算子。该算法描述如下:

(1) 用高斯滤波模板进行卷积以消除噪声, 平滑图像。

(2) 用一阶偏导计算梯度的幅值和方向。

(3) 对梯度幅值进行非极大值抑制, 在梯度方向上获取梯度幅值最大的边缘点。如果某个像素的灰度值与其梯度方向上前后两个像素的灰度值相比不是最大的, 则认为该点不是边缘点。

(4) 迟滞处理, 用双阈值算法检测和连接边缘。认为所有梯度大于高阈值的一定是边缘点, 凡是小于低阈值

的一定不是边缘点;如果梯度值大于低阈值而小于高阈值,则根据该像素的邻域像素进行判断,如果邻域中存在梯度大于高阈值的像素,就认为该点是边缘点,否则不是边缘点。采用这种方法可以更好地抑制孤立噪声。

2.3 本文算法描述

图 1 所示为本文提出的边缘检测与混合高斯模型相融合的运动目标检测算法流程图。在时间域上,对 GMM(混合高斯算法)进行改进之后,提取到初步运动目标 a。在空间域上,利用 Canny 边缘检测算子获得当前帧图像和背景图像的边缘轮廓,相减得到粗糙的运动目标边缘轮廓,对其进行金字塔运算得到精确的运动目标轮廓,经形态学处理后可针对同一帧图像再次提取到运动目标 b。将两次得到的运动目标 a 和 b 作“与运算”,提取出最终的运动目标。

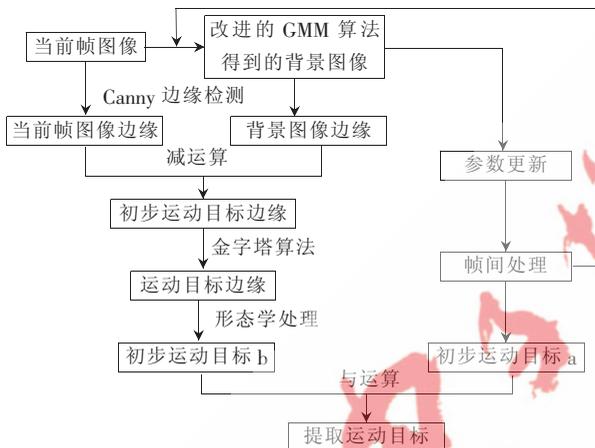


图 1 本文算法流程图

下面给出运动目标 b 的提取方法。

边缘是由图像的局部变化决定的,因此边缘检测结果对图像噪声相当敏感。为了减少物体边缘图像中的噪声,在边缘检测之前应尽量排除那些与运动物体无关的背景区域。可以在对图像进行 Canny 边缘检测之前先平滑图像,以减少图像中的噪声污染。但是,这样做并不能较好地消除噪声污染,因此,本文引入了金字塔运算。

在金字塔图像中,不同尺度的图像提供不同的特征信息,在细尺度下的图像主要显示细节信息,粗尺度图像主要提供图像的全局信息。将当前帧边缘轮廓与背景边缘轮廓相减所得的运动目标边缘轮廓进行多级金字塔分解后,得到了边缘轮廓的多尺度表达。噪声主要表现为不规则的点,因此在粗尺度下,噪声污染将基本清除。再将粗尺度的边缘轮廓向上采样,由于所得到的图像轮廓会存在间断,因此应使用闭运算进行边缘连接,这样可以得到精确的运动目标边缘轮廓。然后填充运动目标轮廓,将面积小于一定阈值的连通成分当作噪声去除。经形态学处理之后就得到初步运动目标 b。

将运动目标 b 与前面改进的 GMM 算法得到的运动目标 a 作与运算,提取出最终的运动目标。

3 实验结果与分析

实验在 Intel (R) 双核 Duo CPU2 T5870@2.00 GHz CPU、2 GB 内存、Windows XP 操作系统、VC++6.0 的环境下,基于 Intel 开源库 OpenCV 编程实现。

为了验证本文算法的有效性和适应性,本实验选取了室外和室内两组视频序列,实验结果如图 2 和图 3 所示。图 2(a)是室外视频序列的第 576 帧,图 2(b)为使用传统混合高斯模型提取的运动目标图像,图 2(c)为本文算法得到的目标图像。从图 2 可以看出,由于光照变化、户外噪声以及阴影因素的影响,使用混合高斯模型提取的运动目标并不理想,本文算法可以很好地处理噪声,得到的运动目标完整、轮廓清晰。

图 3(a)为室内视频序列的第 250 帧,图 3(b)为使用传统混合高斯模型提取的运动目标图像,图 3(c)为本文算法得到的目标图像。由于室内存在反光镜,当人走进时,会导致光线变化,使用混合高斯模型并不能很好地处理突变,造成大量误检。应用本文算法后,能够提取出准确、完整的运动目标。

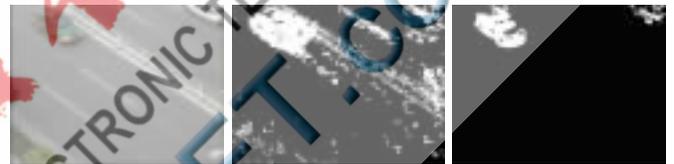


图 2 室外视频序列运动物体检测效果

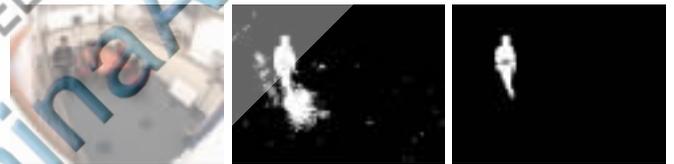


图 3 室内视频序列运动物体检测效果

本文提出了一种融合边缘检测和混合高斯模型的运动目标检测算法。针对传统的混和高斯模型不能很好地适应突变的情况,在时间域上,对混合高斯模型参数进行重新选择,对更新机制进行改进,并加入帧间处理,得到初步的运动目标(标记为 a)。由于阴影、噪声等的影响,运动目标 a 的轮廓仍然不够清晰。因此,在空间域上,结合 Canny 边缘检测算子和金字塔运算得到运动目标轮廓,经形态学处理后再得到运动目标图像(标记为 b)。将两次得到的运动目标 a 和 b 作“与运算”,提取出最终的运动目标。实验表明,本文算法能适应突变情况,并能有效抑制阴影和噪声的影响,提高了运动目标检测的精确度。

参考文献

- [1] 赵文哲,秦世引.视频运动目标检测方法的对比分析[J].科技导报,2009,27(10):65-70.
- [2] 甘新胜,赵书斌.基于背景差的运动目标检测方法对比

- 分析[J].指挥控制与仿真,2008,30(3):45-50.
- [3] LEE D S. On line adaptive Gaussian mixture learning for video applications [C]. Statistical Methods in Video Processing, LNCS3247, 2004,3247:105-116.
- [4] Arandjelovic O, CIPOLLA R. Incremental learning of temporally -coherent Gaussian mixture models [C]. Proceedings of British Machine Vision Conference, Oxford, UK,2005:759-768.
- [5] 陈祖爵,陈潇君,何鸿.基于改进的混合高斯模型的运动目标检测[J].中国图象图形学报,2007,12(9):1586-1589.
- [6] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C]. Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Fort Collins; IEEE Press, 1999: 246-252.
- [7] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747-757.
- [8] SCHINDLER K, Wang Hanzhi. Smooth foreground-background segmentation for video processing[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 3852:581-590.
- [9] 李亚玲,徐荣青,聂桂军,等.适应场景光照变化的运动目标检测算法 [J]. 计算机技术与发展,2011.21(2): 140-142.

(收稿日期:2011-09-13)

作者简介:

潘欣艳,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:视频处理。

徐荣青,男,1966年生,教授,博士,主要研究方向:图像处理、视频处理。