第 38 卷 第 3 期
Vol.38 No.3

计 算 机 工 程
Computer Engineering

2012 年 2 月
February 2012

·开发研究与设计技术· 文章编号：1000—3428(2012)03—0255—03 文献标识码：A 中图分类号：TP391.41

基于直方图比较的高斯混合模型更新算法

叶吉祥，白一哲，田莎莎

(长沙理工大学计算机与通信工程学院，长沙 410004)

摘 要：高斯混合模型背景差法的难点在于对背景模型进行有效更新。针对该问题，提出一种高斯混合模型的自适应更新算法——HCGMM。通过量化帧间灰度直方图的差异，得到图像的亮度变化值，并依据亮度变化值对高斯混合模型参数进行调整。实验结果表明，即使在画面光强剧烈变化的情况下，该算法也能够准确地重构背景，避免过度检测现象，从而实现对运动目标的完整提取。

关键词：直方图比较；全局分析；高斯混合模型；运动目标检测；光线突变

Updating Algorithm of Gaussian Mixture Model Based on Histogram Comparison

YE Ji-xiang, BAI Yi-zhe, TIAN Sha-sha

(School of Computer Science and Telecommunication Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410004, China)

【Abstract】An updating method called Histogram Comparison Gaussian Mixture Model(HCGMM) is proposed to reduce the affection of target detection in the presence of large illumination changes and background variations. To begin with, the method constructs the intensity histograms for each frame in the time window, and then, calculates the values of comparison between the two intensity histograms of images in the time window. Using the values just calculated, it updates the parameters of the Gaussian Mixture Models(GMM). Experimental result shows that the method can reconstruct background accurately and extract the target integrally in the presence of large illumination changes and background variations.

【Key words】histogram comparison; global analysis; Gaussian Mixture Model(GMM); moving object detection; sudden change of light

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.03.084

1 概述

在计算机视觉系统中，如何有效地进行运动目标的检测与分割是一个非常重要的问题。系统中一种常见的情况是摄像机处于静止状态，并且镜头焦距是固定的，此时，图像中的背景区域固定不动。在这种情况下，背景差法是一种常用的方法，这种方法有很高的实时性，且由于能构建出场景的背景，因此有着较好的检测效果。

高斯混合模型背景差法 GMM(Gaussian Mixture Models)是一种鲁棒性强的背景差法，由文献[1]提出，采用 K 个高斯分布(K 取 3~5)的混合模型表示背景像素的分布规律，在一定程度上减小了背景变化对模型的扰动。但是对于镜面反光和光照环境变化等光线突变的场景，该方法不能对背景模型进行有效的更新。文献[2]提出对高斯混合模型中的均值和方差使用不同的参数进行更新，这种方法可以使所构造的背景模型不仅能准确地检测出小而快的移动物体，而且提高了对大而慢的移动物体的检测准确率，但是对于变化较频繁的环境，该方法则不能准确地更新模型。文献[3]使用 EM 算法优化高斯混合模型，虽然这种方法可以很好地收敛到真实的背景，但这样也会降低算法的实时性。文献[4]把 R、G、B 三通道值转化为色度坐标与亮度信息三通道上的值，再用高斯混合模型建模，在相同对比度下，该算法可以很好地降低误检测率。文献[5]在对一些图像帧对应像素的直方图分析的基础上，提出了一种高斯混合模型的初始化方法，这种方法可以消除运动目标检测中前景目标的拖影，具有比较好的检测效果。文献[6]提出一种高斯混合模型与粒子滤波相结合的方法，使用此方法可以减少前景目标的漏检率。文献[7]提出了一种更新高斯混合模型的新方法使模型可以快速收敛，这种方法在高速公路环境下能较好地检测出前景目标。

本文提出一种基于直方图比较方法的混合高斯模更新算法——GCGMM(Histogram Comparison on Gaussian Mixture Model)，提高了原高斯混合模型背景差法在环境光照条件变化剧烈情况下的建模能力。

2 高斯混合模型背景检测

建立背景模型是高斯混合模型背景差法的第 1 步。高斯混合模型对每一个像素点，定义 K 个高斯模型表示该像素点在某段时间内不同的状态。K 个状态中一部分表示像素点为背景时的状态，其余部分则表示像素点为前景时的状态。高斯模型认为每个像素点及其过去与未来的状态是符合高斯分布的，若图像中该像素点上表示的图像有 K 个模态(如树叶摆动、噪声等造成的)，则可用 K 个高斯分布来表示。考虑到算法的有效性，K 值一般取 3~5 之间。

高斯模型可记为 $B(\omega_k, \mu_k, \Sigma_k)$，其中，$\omega_k$、$\mu_k$、$\Sigma_k$ 分别表示模型的权值、均值和方差。对当前帧图像像素值 $X_{i,t}$ 与它对应的高斯分布进行匹配，若满足下式，则认为 $X_{i,t}$ 与此高斯分布匹配；否则，为不匹配：

$$|X_{i,t}-\mu_{i,t-1}|<2.5\Sigma_{i,t-1} \tag{1}$$

其中，$\mu_{i,t-1}$、$\Sigma_{i,t-1}$ 表示上一帧更新的高斯模型的均值和方差；$\Sigma_{i,t-1}$ 前的系数 2.5 是文献[1]中经验确定的值，控制模型对中心的收敛程度；式中的下标 i 表示第 i 个模型(i=1,2,…,k)。

基金项目：湖南省自然科学基金资助项目(10JJ2050)

作者简介：叶吉祥(1963－)，男，教授，主研方向：人工智能，模式识别；白一哲、田莎莎，硕士研究生

收稿日期：2011-08-05 **E-mail：**blackhuman_mh@163.com

为了保证高斯混合模型能一直适应变化的背景环境，建立起模型后，需要对模型进行更新。若 $X_{i,t}$ 与高斯模型匹配，则对此高斯分布的权值按式(2)进行更新，对均值和方差按式(3)和式(4)更新；不匹配的高斯模型保持不变：

$$\omega_{i,t}=(1-\alpha)\omega_{i,t-1}+\alpha M_{i,t} \tag{2}$$

$$\mu_{i,t}=(1-\rho)\mu_{i,t-1}+\rho X_{i,t} \tag{3}$$

$$\Sigma_{i,t}^2=(1-\rho)\Sigma_{i,t-1}^2+\rho(X_{i,t}-\mu_{i,t-1})^{\mathrm{T}}(X_{i,t}-\mu_{i,t-1}) \tag{4}$$

其中，α 是用户自定义的更新率，按经验可取 0.05；ρ 表示学习率，$\rho=\alpha/\omega_{i,t}$。

若 $X_{i,t}$ 与所有高斯模型都不匹配，则将高斯混合模型中权值最小的那个模型用一个新的模型取代。对每一帧都使用高斯混合模型背景差法进行检测，并根据当前环境对背景模型进行更新，就可以将每一帧中的运动目标检测出来。

3 改进的高斯混合模型更新算法

3.1 光线变化对模型影响的分析

高斯混合模型(GMM)是对单个像素点进行建模的，所以模型并不清楚像素点临近区域内的其他像素点的变化情况。当外界光照变化导致图像整体亮度大幅度改变时，模型会认为运动的前景目标出现了，从而将亮度突变的背景判别为前景产生误判。

为了清晰描述模型更新时权值的变化情况，下面采用光线突变前只有一个模型表示背景的简单系统进行说明。图 1 中的点线描述了传统高斯模型的权值更新算法。在 x_2 处新模型权值上升到阈值以上成为背景模型，这一点距光线突变发生处 x_0 有(x_2–x_0)帧。为了加快新模型对光线突变环境的适应能力，新的算法应该使新模型(图 1 中表现为第 2 个模型)的权值更快地达到阈值水平，从而缩短适应环境的时间。图 1 中实线描述了新算法应具备的能力，即新算法要在 x_1 处新模型权值上升到阈值以上时成为背景模型时，使 x_1 距光线突变发生 x_0 处的距离小于传统算法的(x_2–x_0)帧。

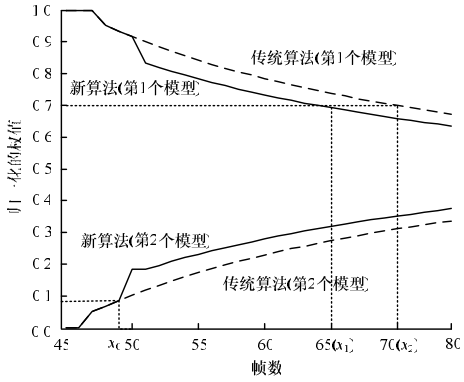


图 1 模型的权值变化曲线

3.2 直方图比较算法

为了提高光线突变时高斯混合模型的权值更新速度，根据以上对高斯混合模型权值变化的分析，提出了一种基于直方图比较的自适应更新方法。

图像中不同亮度像素值的分布情况完全可反映出环境光线的强弱变化，直方图则可以简单、方便、直观地对这种分布进行描述。在突变的光线环境中，连续 2 帧图像的直方图有不同的表现形式。以灰度图像为例，一般的，图像越亮，直方图的峰值就会越偏向灰度值的高值区域，从而与较暗图像的直方图(峰值会偏向低值区域)有着明显的区别。要估计亮度变化情况，可使用直方图的匹配方法，计算 2 个直方图之间的匹配程度。匹配方法有多种，考虑到计算速度问题，可使用下式提供的方法进行直方图的相似性估计：

$$d(H_t,H_{t-1})=\sum_i \min(H_t(i),H_{t-1}(i)) \tag{5}$$

其中，$H_t(i)$、$H_{t-1}(i)$分别表示当前帧与上一帧直方图中第 i 个格子中的归一化值，即图像中亮度为 i 的像素点个数的归一化值；i 取 0,1,…,255，为图像像素值量化等级。d 表示直方图间的相交匹配度，值越大表示匹配度越高，最大为 1；完全不匹配为 0。若匹配度比较高，说明图像亮度的变化很小；若匹配度很低，则说明图像亮度有了很大变化。

本文提出一种基于直方图比较方法的混合高斯模更新算法(HCGMM)，利用式(5)中的方法计算直方图的相交匹配度 d，并将其用于高斯混合模型(GMM)的权值更新。评估值 d 根据图像亮度值计算，所以此值代表了图像亮度的差异性。d 值越小，说明图像亮度的差异越大，即环境有可能有亮度突变，所以要根据 d 对新模型的权值 ω 进行调整。定义权值增量与相似度 d 关系函数为：

$$\Delta\omega=\alpha(1-\omega_{t-1})d^2+0.1(1-d) \tag{6}$$

如此对权值进行调整，既保证了在图像亮度突变的时候(d=0)权值可以快速增长，也保证了在图像匹配度最佳(d=1)的时候，权值会有一定量的变化。

3.3 改进后的模型更新步骤

改进的模型更新方法 HCGMM 相比于传统 GMM 方法[1]的不同之处在于权值的更新，总结更新算法如下：

(1)对当前帧图像建立灰度分布直方图，横轴为灰度值(从 0~255 分为 255 个区间)，纵轴为这帧图像在某个灰度级上的像素个数(已经过归一化)。

(2)将当前帧图像的灰度分布直方图与上一帧进行比较，计算相交匹配度 d。

(3)若符合式(1)，则使用式(7)对高斯模型 i 的权值进行更新；均值和方差的更新公式分别为式(3)和式(4)：

$$\omega_t=\omega_{t-1}+\Delta\omega \tag{7}$$

若不符合式(1)，则现有模型不需要更新，要建立新的模型并赋予模型初始值。

4 实验结果与分析

为验证算法，本文使用多个视频，应用上述算法进行比较实验，限于篇幅只列出对分辨率为 360×288 像素的图像序列进行实验的结果。视频的内容为室内空间，并在 46 帧(如图 2 所示)的时候修改图像模拟摄像机曝光突然减小，导致视频图像整体亮度突然降低，之后视频的亮度一直不变。本文使用原始 GMM 算法(称之为 M1)、文献[2]提出的算法(称之为 M2)以及本文提出的算法 HCGMM 对同一视频进行实验并且分析。

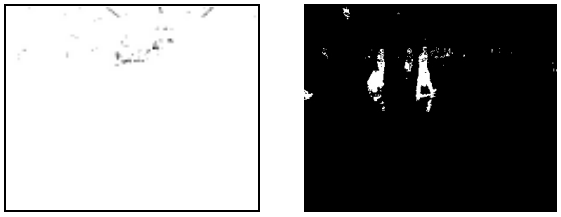


(a)光线突变前图像(45 帧) (b)光线突变后图像(46 帧)

图 2 测试视频图像

在对视频的目标检测实验中，图 3 为使用 M1 算法的检测结果，在 46 帧时由于光线突变检测出大量前景点导致检测失败，到第 63 帧开始可以检测出正确的检测到目标。同样

的对 M2 算法和 HCGMM 算法进行实验，得到相应的实验结果，限于篇幅，在此不列出实验结果图像。



(a)第 46 帧　　(b)第 83 帧

图 3　使用 GMM(M1)算法对前景运动目标检测的结果

由于检测出的前景点数量可体现检测结果是否正确，因此统计不同算法对每帧检测结果中的像素点数量，可对比不同算法的适应能力。如图 4 所示，横轴表示帧数，纵轴表示从每帧中检测出的前景点的数量，像素数量值突然增大的持续时间代表了算法误检测持续的时间。

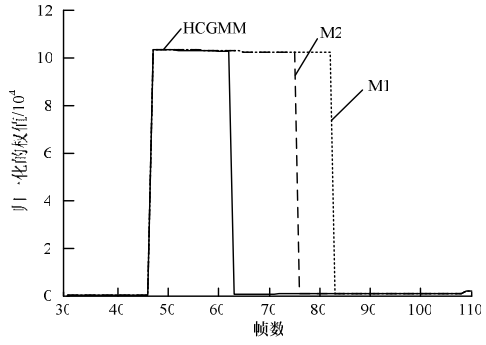


图 4　M1，M2 以及 HCGMM 算法的前景点数量曲线

对视频的检测结果做分析，图 4 中短虚线表示 M1 算法的检测结果，长虚线表示 M2 算法的检测结果，实线表示 HCGMM 算法的检测结果。可以看出在 46 帧的时候，3 种算法的检测结果都出现了大量的错误：在 83 帧左右的时候，M1 算法检测结果恢复了正常，这时已经经过了 37 帧；M2 算法的检测结果到近 76 帧的时候才恢复正常，这个时候也已经经过了 30 帧；而 HCGMM 算法只到了第 63 帧，即 17 帧之后就恢复了正常检测能力，这比 M1 的 37 帧间隔和 M2 的 30 帧间隔都要短。由此可见，改进的 HCGMM 算法对环境的变化有更强的适应能力。

5　结束语

本文提出了一种基于直方图比较方法的混合高斯模更新算法，该算法在检测到环境光线突变时自动调整高斯混合模型的更新方式，使高斯混合模型可以快速适应环境关系变化。但是，由于使用了复杂度较低的直方图比较方法，在图像较小的局部发生亮度突变时，有可能检测不到这些变化，从而不能对模型适应性进行有效调整。如何处理局部亮度突变情况下的运动目标检测问题是下一步的工作。

参考文献

[1] Stauffer C, Grimson W. Adaptive Background Mixture Models for Real-time Tracking[C]//Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington D. C., USA: [s. n.], 1999: 246-252.

[2] Bouttefroy P L M, Bouzerdoum A, Phung S L, et al. On the Analysis of Background Subtraction Techniques Using Gaussian Mixture Models[C]//Proc. of IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing. Dallas, USA: [s. n.], 2010: 4042-4045.

[3] Kaewtrakulpong P, Bowden R. An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-time Tracking with Shadow Detection[C]//Proc. of the 2nd European Workshop on Advanced Video Based Surveillance Systems. Kingston, UK: [s. n.], 2001: 1-5.

[4] 陈　璇，吴清江. 基于色度坐标高斯混合模型的步态检测[J]. 计算机工程, 2009, 35(17): 198-200.

[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): 1585-1589.

[6] 周圣鑫，周　军，宋　利，等. 一种针对小目标的跟踪算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(16): 186-188.

[7] 焦　波，李国辉，涂　丹，等. 一种用于运动目标检测的快速收敛混合高斯模型[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(11): 2139-2143.

编辑　任吉慧

(上接第 245 页)

文提出一种应用于 LTE 系统中的检测算法并给出了该算法的实现结构。该算法用统一的结构实现对 LTE 系统中各种传输模式的信号进行检测，不仅在硬件上节省资源，也简化了各种模式切换时的软件控制，尤其适合在终端实现。

参考文献

[1] 汪　浩，林孝康. 天线相关性对 D-MIMO 系统极限性能的影响[J]. 计算机工程, 2011, 37(6): 9-11.

[2] Song Kyoung-Young, Yang Jae-Dong. Alamouti Code with Quadrature Partial Response Signaling[J]. IEEE Trans. on Communications, 2009, 57(7): 2080-2089.

[3] 3GPP. TS 36.211 V8.7.0 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Physical Channels and Modulation[S]. 2009.

[4] Lei Sheau-Fang, Lai Shin-Chi, Cheng Po-Yin, et al. Low Complexity and Fast Computation for Recursive MDCT and IMDCT Algorithm[J]. IEEE Trans. on Circuits and Systems, 2010, 57(7): 571-575.

[5] Kuhling D. A Novel Low-complexity Algorithm for Linear MMSE MIMO Receivers[C]//Proc. of IEEE Int'l Symp. on Wireless Pervasive Computing. [S. l.]: IEEE Press, 2008.

[6] 陈萌萌，邵贝贝. 单片机系统的低功耗设计策略[EB/OL]. (2006-05-26). http://www.mcu99.com/Article/embed_system/200605/937.html.

编辑　陈　文