

# 光照突变环境下基于高斯混合模型和 梯度信息的视频分割

原春锋<sup>1)</sup> 王传旭<sup>1),2)</sup> 张祥光<sup>1),2)</sup> 刘云<sup>1)</sup><sup>1)</sup>(青岛科技大学信息学院, 青岛 266042) <sup>2)</sup>(中国海洋大学信息学院, 青岛 266003)

**摘要** 基于高斯混合模型和帧间梯度信息提出了一种新的运动目标分割算法。首先,在利用亮度信息对背景建立自适应高斯混合模型的基础上,进行前景的粗分割;其次,由于视频信号的亮度和色彩分量随光照突变有较大的改变,导致大片背景的高斯模型产生错误匹配,误判为前景,为了提高高斯模型分割算法的鲁棒性,结合结构梯度互相关函数对分割结果进一步校正,能适应剧烈的光照变化;最后,利用数学形态学进行后处理,消除影子和孤立的噪声点。通过不同场景的运动分割实验结果表明,该算法在复杂背景和剧烈光照变化条件下具有较强的鲁棒性和较高的分割精度。

**关键词** 复杂背景分割 高斯混合模型 结构梯度互相关函数 光照突变

**中图分类号**: TP301.6 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)11-2068-05

## Video Segmentation of Illuminance Abrupt Variation Based on MOGs and Gradient Information

YUAN Chun-feng<sup>1)</sup>, WANG Chuan-xu<sup>1),2)</sup>, ZHANG Xiang-guang<sup>1),2)</sup>, LIU Yun<sup>1)</sup><sup>1)</sup>(Institute of Information, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042)<sup>2)</sup>(Institute of Information, China Ocean University, Qingdao 266003)

**Abstract** In this paper, a novel segmentation algorithm is proposed which is based on MOGs and interframe gradient information. Firstly, a primary foreground segmentation is obtained, where an adaptive MOGs (Mixture of Gaussians) is established for each pixel's luminance; Secondly, luminance and chroma of each pixel change largely due to the abrupt illuminance change, which causes the mismatch between a pixel's luminance and its MOGs, and causes the misclassification of a vast of background pixels as the foreground as well. To adapt to the illuminance sudden variation, an improved method using the interframe gradient information is adopted to correct the initial segmentation. Finally, morphological methods are used to remove shadows and isolated noise pixels. Experimental results on various video sequences show that this method is robust and of high segmentation accuracy.

**Keywords** complicated background segmentation, MOGs, structure gradient cross-correlation, illuminance abrupt variation

## 1 引言

视频图像分割是一种基本的计算机视觉技术,是运动分析和运动跟踪的基础。例如,视频监控、人

体的运动分析、人机交互,以及基于目标的视频编码(如 MPEG4)等应用程序中,将一个图像流中运动的前景目标分割出来是非常关键的第1步,只有在图像分割的基础上才能对目标进行特征提取和参数测量,使得更高层的图像分析和理解成为可能。因此

收稿日期:2006-06-08;改回日期:2006-08-28

第一作者简介:原春锋(1981~),女,青岛科技大学信息科学与技术学院硕士研究生。主要研究方向为数字视频监控、计算机视觉。

E-mail: venusunion@163.com

对图像分割方法的研究具有十分重要的意义。

针对这一问题目前已提出大量的分割算法<sup>[1~3]</sup>,但一直没有很好地解决。其主要的困难在于:(1)背景渐变,例如,光照的缓慢变化;(2)非静态背景,如风中摇摆的树叶;(3)背景突变,背景物体的变化,例如,场景中加入或移除某一目标,或者突然开灯关灯等导致光照剧烈变化;(4)前景目标与背景相似的情况下,容易被检测为背景;(5)运动目标在背景上产生的阴影往往被检测为前景目标;(6)背景出现时间很短,真正的背景经常被不同的前景目标遮挡,确定真正的背景很困难,如统计直方图的方法建立背景模型要求背景出现时间超过 50% 等。本文采用颜色信息对背景建立混合高斯模型(MOGs)可以很好地解决上述部分难点,但是无法处理光照突变的情况。文献[4]逐像素建立颜色、梯度、帧间 3 种信息的特征向量表,然后进行贝叶斯判决,也能处理光照突变情况,但却降低了分割精度,分割出的前景目标支离破碎。本文提出利用梯度相关性算法对 MOGs 分割的结果进一步校正,以解决光照突变问题并保证了分割精度。

## 2 背景建模

背景建模就是在每个像素点使用足够的信息来描述背景,而混合高斯模型被经常使用。混合高斯模型是一种半参数的多维概率密度函数估计的方法<sup>[5]</sup>。它通过对每个高斯分布的参数(均值、方差和权重)的在线更新,能够很好地表征缓慢变化的背景。另一方面,与单高斯模型相比,混合高斯模型通过用一个新学习到的分布替代一个旧的高斯分布,能够很好地处理规律变化的动态背景(如摇摆的树叶),同时也适用于某些突变的背景建模(如场景中加入或移除某一物体)。可见混合高斯模型本身就能很好地解决第 1 节提到的前景分割中存在的前 2 个难点及第 3 个难点中在场景中加入或移除其某一目标的情况。

### 2.1 混合高斯模型

首先对背景建立一个基于像素的、自适应的混合模型。文献[6]使用颜色和深度信息建立多维的高斯模型,文献[4]使用颜色、梯度、帧间 3 种信息对背景统计建模,利用多种信息的确能更准确地表征背景,然而却大大增加了计算的复杂度和缓存空

间。与 RGB 颜色空间的 3 种颜色分量相比,YUV 颜色空间是一种亮度不变的颜色空间<sup>[6]</sup>,本文对背景建模只采用了最基本的 YUV 颜色空间中的亮度信息,可以使高斯模型维数更低,实时性得到保障的同时分割效果更好。

对于图像平面上的一给定像素点  $s = (x, y)$ ,设亮度函数为  $I$ ,其历史数据记为  $\{I_1, I_2, \dots, I_{t-1}\}$ ,混合高斯模型使用  $K$  个高斯分布来表征该像素点的特征,通过对其在线更新来表征背景的渐变。因此,定义当前像素点的概率密度函数为这  $K$  个高斯模型的概率密度函数的加权和

$$P(I_t) = \sum_{i=1}^K \omega_{i,t} \cdot \eta_i(I_t, \mu_{i,t}, \sigma_{i,t}) \quad (1)$$

其中, $K$  为高斯混合模型中高斯分布的个数, $\omega_{i,t}$  为  $t$  时刻第  $i$  个高斯分布的权值, $\eta_i$  为第  $i$  个高斯分布的概率密度函数, $\mu_{i,t}$  为其均值, $\sigma_{i,t}$  为其方差。

### 2.2 模型匹配与更新

随着时间的推移,高斯混合模型也被不断地更新以适应背景的变化。背景的变化可以分为渐变和突变两类。以往的高斯模型很好地解决了背景渐变的情况(如文献[7]、[8]),但是对于背景的突变,特别是短时间内光照突变的情况都无法处理。

首先,对  $K$  个高斯分布进行初始化,将最初 5 帧的亮度值设为其均值,方差初始化为一个较大的值(如 125),而权值初始化为  $1/K$ 。然后,将  $K$  个高斯分布按  $\omega/\sigma$  从大到小排序,并依次与当前像素点进行匹配,若第  $j$  个模型满足下式:

$$(I_t - \mu_{j,t})^2 < \beta \cdot \sigma_{j,t}^2 \quad (2)$$

则认为当前像素点与第  $j$  个分布匹配成功,并中止与后续模型的匹配。其中,当匹配阈值  $\beta$  设为 1.29 时,可使模型匹配的置信度达 90% 以上<sup>[9]</sup>。

最后,根据当前像素与其  $K$  个高斯分布相匹配的结果对模型进行更新。对于未匹配上的模型,其均值和方差应保持不变,而匹配成功的第  $j$  个模型按下列方式更新:

$$\begin{cases} \mu_i = (1 - \alpha) \cdot \mu_{i-1} + \alpha \cdot I_t \\ \sigma_i^2 = (1 - \alpha) \cdot \sigma_{i-1}^2 + \alpha \cdot (\mu_i - I_t)^2 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\alpha$  为学习速率,它反映了当前像素融入背景模型的速率。

$K$  个高斯分布的权值调整用下式表示为

$$\omega_{n,t} = (1 - \alpha) \cdot \omega_{n,t-1} + \alpha \cdot M_{n,t} \quad n \in [1, K] \quad (4)$$

其中, $M_{n,t} = \begin{cases} 1 & n=j \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$ ,  $n=j$  表示当前观测值与第  $j$

一个高斯模型匹配,该高斯模型的权值增量为  $\alpha(1 - \omega_{j,t-1}) > 0$ ,其他高斯模型的权值增量为  $-\alpha\omega_{n,t-1} < 0, n \in [1, K]$  且  $n \neq j$ , 调整后的  $K$  个高斯模型权值的和仍为 1。

如果  $K$  个模型中均不与当前观测值匹配,则取当前观测值为均值,给定一个较大的值为方差(如 125),构造一个新的高斯分布,替代  $\omega/\sigma$  最小的分布  $i$ ,用公式表示为

$$\begin{cases} \mu_{i,t} = I_t \\ \omega_{i,t} = \omega_{i,t-1} \\ \sigma_{i,t} = 125 \end{cases} \quad (5)$$

### 3 分割算法

在对背景建立自适应高斯混合模型的基础上,进行前景背景分割,并结合局部区域内的结构梯度互相关函数对分割结果进一步校正,以克服剧烈光照变化的影响。

#### 3.1 预分割

在对每个像素点建立的混合高斯模型中,其中只有一个或者多个高斯分布代表背景,其他的代表前景(或曾经出现过的前景)。与背景相比,前景出现的时间一般较短,权重较小,所以高斯混合模型中代表背景的高斯分布是那些权重较大的分布。基于此,从混合高斯模型中选择代表背景的高斯分布时,先将  $K$  个高斯分布按  $\omega/\sigma$  从大到小排列,再用下式选择代表背景的高斯分布的个数  $b$ :

$$\arg \min_b \left( \sum_{k=1}^b \omega_k > T \right) \quad (6)$$

其中,  $T$  代表在整个视频中背景出现的概率,本文取为 0.6。

经过上述处理,该像素点的  $K$  个高斯分布分为两类:第 1 类是按  $\omega/\sigma$  从大到小排序后的前  $b$  个分布,代表背景的高斯分布;第 2 类代表前景。如果当前像素点与第  $j$  个高斯分布匹配成功,那么只需判断  $j$  是否属于第 1 类前  $b$  个代表背景的分布,如果是,则此像素点将被判为背景,在前景二值图中置为 0,否则为 1;若在这  $K$  个高斯分布中,没有与当前像素点匹配的分布,则直接在前景二值图中置为 1。由此,就得到了一个粗略的关于前景目标的二值图(mask)。但是,当光照发生剧烈改变时,该预分割得到的结果很不理想,下面介绍本文消除光照变化的具体方法。

#### 3.2 克服光照突变

当光照突变时(窗帘突然拉开或开关灯时),场景的亮度明显改变(如像素  $(R, G, B)$  的值变化超过 15),此时大量背景像素点在传统的混合高斯模型分割算法下,会误判为前景。一种直观的解决方法是将高斯模型匹配阈值加大,误判的背景点相应减少,但这会降低与背景颜色相近的前景运动目标的分割精度。这正是混合高斯模型方法的缺点,也是前景分割问题中常遇到的难点。本文结合梯度互相关函数对上一步分割出的前景目标二值图进行再分割,以校正误判的背景,很好地解决了这一问题。

梯度信息表征的是物体的结构特性,而物体的结构并不会随着光照的变化而变化。在背景点处,帧间的梯度并没有明显变化,而前景点处,由于物体发生了改变,所以结构也就发生了变化,相应的梯度也就发生了很大改变。因此本文通过比较当前帧与其前第 5 帧的梯度,梯度相近的点就重新判为背景。为了克服只与一帧比较产生的偶然性,选取了多帧(前第 5、10、15、20、25 帧)与当前帧比较,提高了准确性。

首先,在预分割二值图的前景位置  $S(x, y)$  处;设  $S_t$  表示当前帧该位置处的像素点,而  $S_{t-n \cdot \Delta t}$  ( $n \in [1, 5]$ ) 是对应此位置处前第 5、10、15、20、25 等帧在该位置处的像素点,梯度向量表示为  $V_t(s) = (V_x, V_y)$ , 其中,  $V_x = \nabla_x I(s, t)$ ,  $V_y = \nabla_y I(s, t)$ , 这里偏导数使用 Sobel 算子生成。然后分别计算当前帧与这些帧梯度的帧间相关性,用互相关函数来表示为

$$\begin{aligned} C(s_t, s_{t-n \cdot \Delta t}) &= V_t(s) \cdot V_{t-n \cdot \Delta t}(s) \\ &= \|V_t(s)\| \cdot \|V_{t-n \cdot \Delta t}(s)\| \cdot \cos\theta \quad (7) \\ n &\in [1, 5] \end{aligned}$$

其中,  $\theta$  代表两个向量间的夹角。同样地,梯度向量的自相关函数可定义为

$$C(s_t, s_t) = V_t(s) \cdot V_t(s) = \|V_t(s)\|^2 \quad (8)$$

而

$$\begin{aligned} C(s_t, s_t) + C(s_{t-n \cdot \Delta t}, s_{t-n \cdot \Delta t}) &\geq 2\|V_t(s)\| \cdot \|V_{t-n \cdot \Delta t}(s)\| \\ &\geq 2C(s_t, s_{t-n \cdot \Delta t}) \quad (9) \\ n &\in [1, 5] \end{aligned}$$

设  $n=1$  时,则  $s_{t-\Delta t}$  是对应于此位置处的前第 5 帧的像素点。如果此点处是被误判为前景的背景点,那么  $s_t$  和  $s_{t-\Delta t}$  的局部纹理特征是相似的,此时满足:

$$\begin{aligned} C(s_t, s_t) + C(s_{t-n \cdot \Delta t}, s_{t-n \cdot \Delta t}) &\approx 2C(s_t, s_{t-n \cdot \Delta t}) \quad (10) \\ n &\in [1, 5] \end{aligned}$$

另一方面,如果该点是真正的前景,此时它们是来自于不同物体的表面, $s_t$  和  $s_{t-n \cdot \Delta t}$  通常有很大的差别,此时满足:

$$C(s_t, s_t) + C(s_{t-n \cdot \Delta t}, s_{t-n \cdot \Delta t}) \gg 2C(s_t, s_{t-n \cdot \Delta t}) \quad (11)$$

$$n \in [1, 5]$$

因此,两像素的帧间梯度相似性定义为

$$R_s(s_t, s_{t-n \cdot \Delta t}) = 1 - \frac{2C(s_t, s_{t-n \cdot \Delta t})}{C(s_t, s_t) + C(s_{t-n \cdot \Delta t}, s_{t-n \cdot \Delta t})} \quad (12)$$

$$n \in [1, 5]$$

根据经验取  $R_s$  的阈值为 0.2。如果  $R_s(s_t, s_{t-n \cdot \Delta t}) < 0.2$ , 则称该点的帧间梯度相似, 否则认为不相似。同样的方法, 可以计算当前帧与前第 10、15、20、25 帧之间的梯度相关性。当帧间梯度相似次数大于 2 时, 将该点改判为背景, 并在二值图中重新置为 0; 否则, 该点仍被判为前景, 在二值图中仍为 1。经过上述处理, 可将由于光照突变引起的误判纠正过来, 提高前景目标分割算法的鲁棒性。

## 4 去除影子和噪声点

光照下运动目标的投影应该归属于背景区域, 但由于该投影是运动的, 所以和运动目标一起也被误判为前景。为了去除运动目标投影的影响, 采用数学形态学的基本运算——腐蚀运算和膨胀运算, 组成形态滤波器, 滤除前景图像中的孤立噪声点; 利用形态梯度滤波器去除影子<sup>[10]</sup>。

## 5 仿真结果与分析

为了验证算法的实时性和鲁棒性, 进行了大量的实验测试, 这里列举了两段视频中的部分处理结果并加以分析。图 1 是选自一段复杂交通视频的处理结果。第 1 行是原始视频, 分别是第 890 帧和第 950 帧; 第 2 行是未使用形态滤波消除影子之前的分割结果, 由于目标的投影也伴随着运动目标一起运动, 所以也被分割到前景中, 此外, 可以看到此算法很好地解决了遮挡问题, 例如遮挡车体的电线杆并没有被误判为前景; 第 3 行是利用本文第 4 节提到的形态梯度滤波器去除运动目标的投影, 并保持了目标的完整性。

图 2 为光照突变下, 本文算法与传统混合高斯模型的分割结果比较。第 1 行是原始视频(分别是 925 帧、950 帧和 960 帧), 窗帘突然打开造成光照突

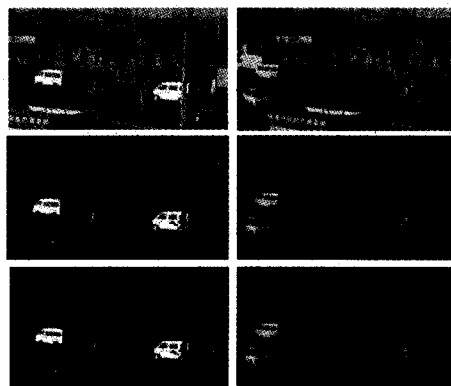


图 1 光照缓慢变化基于亮度混合高斯模型分割结果  
Fig. 1 Segmentation results based on luminance's MOGs while illumination slowly varies

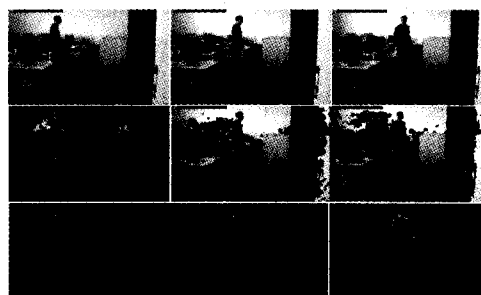


图 2 光照突变下, 本文算法与传统混合高斯模型的分割结果比较

Fig. 2 Under abrupt illumination variation, the Segmentation results comparison between method traditionally based on luminance's MOGs and the proposed method

变, 使 950 帧和 960 帧比 925 帧图像明显变亮 ( $\Delta I$  大于 20); 第 2 行为基于传统混合高斯模型的分割结果, 右边两图有大片背景被误判为前景; 第 3 行是本文算法的分割结果, 很好地克服了传统混合高斯模型分割算法在光照突变下的缺点。

## 6 结 论

针对目前视频分割领域普遍存在的几种困难, 结合高斯混合模型和局部梯度信息, 提出了一种适用于剧烈光照变化条件下的分割算法。为了减少计算的复杂度和缓存空间, 本文只采用了最基本的 YUV 颜色空间中的亮度信息对背景建模, 使高斯模型维数更低, 实时性得到保障。另外, 通过计算帧间的结构梯度相关性对粗分割的结果进行校正, 克服了剧烈光照变化产生的误判。但当前景目标长时间静止时, 梯度判别的算法有很大的局限性, 可以通过

增加梯度比较的帧数和帧间的时间间隔来对该情况进行改善,但不能从根本上解决该问题,这将作为我们下一步研究的重点。最后,本文对不同场景的视频进行处理,实验结果表明,本文提出的算法在实时性和运动目标分割的鲁棒性上有较大的提高。

### 参考文献 (References)

- 1 Lin Kai-yan, Wu Jun-hui, Xu Li-hong. Summary of segmentation methods in color image[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1): 1 ~ 10. [林开颜, 吴军辉, 徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(1): 1 ~ 10.]
- 2 Wang Ze-bing, Yang Chao-hui. Research of segmentation techniques in color image[J]. Journal of Digital Television and Digital Video, 2005, 4: 20 ~ 24. [王泽兵, 杨朝晖. 彩色图像分割技术研究[J]. 数字电视与数字视频, 2005, 4: 20 ~ 24.]
- 3 Wei Hong-bo, Lü Zhen-su, Jiang Tian-zi, et al. Survey of image segmentation techniques [J]. Gansu Science Ransaction, 2004, 16(2): 19 ~ 24. [魏弘博, 吕振肃, 蒋田仔等. 图像分割技术纵览[J]. 甘肃科学学报, 2004, 16(2): 19 ~ 24.]
- 4 Li Li-yuan, Huang Wei-min, Gu Yu-hua, et al. Statistical Modeling of Complex Backgrounds for Foreground Object Detection[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(11): 1459 ~ 1472.
- 5 Arandjelovi, Cipolla R. Incremental learning of temporally-coherent Gaussian mixture models [A]. In: Proceedings of British Machine Vision Conference [C], Oxford, UK, 2005: 759 ~ 768.
- 6 Michael Harville, Gaile Gordon, John Woodfill. Foreground segmentation using adaptive mixture models in color and depth [A]. In: IEEE Proceedings of IEEE Workshop on Detection and Recognition of Events in Video [C], Vancouver, Canada, 2001: 3 ~ 11.
- 7 Stauffer C, Grimson W. Learning patterns of activity using real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 747 ~ 757.
- 8 Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking [A]. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Fort Collins, Colorado, 1999: 246 ~ 252.
- 9 Paul Rosin. Thresholding for change detection [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2002, 88(2): 79 ~ 95.
- 10 Chen Bai-sheng, Lei Yun-qi, Li Wang-wei. A novel background model for real-time vehicle detection [A]. In: ICSP'04 Proceedings of IEEE 2004 [C], Beijing, China, 2004, (4): 1276 ~ 1279.