

# 视频分割中运动阴影消除的新方法

韩忠民<sup>1)</sup> 刘志<sup>1),2)</sup> 张兆杨<sup>1),2)</sup> 陆宇<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

<sup>2)</sup>(上海大学新型显示技术及应用集成教育部重点实验室, 上海 200072)

**摘要** 对于视频分割中运动阴影消除的问题,提出了一种结合色度、亮度和边缘信息的方法。首先使用结合核密度估计和边缘信息的分割方法获得初始分割结果及其中运动对象的边缘,然后提取输入视频帧的色度和亮度信息以得到可能的运动阴影区域,最后通过阴影区域生长将运动阴影和运动对象区分开。实验结果表明,该方法具有良好的消除运动阴影的性能。

**关键词** 运动阴影消除 区域生长 视频分割

中图法分类号: TN911.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)10-2110-04

## A New Approach to Moving Cast Shadow Removal in Video Segmentation

HAN Zhong-min<sup>1)</sup>, LIU Zhi<sup>1),2)</sup>, ZHANG Zhao-yang<sup>1),2)</sup>, LU Yu<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

<sup>2)</sup>(Key Laboratory of Advanced Display and System Application, Ministry of Education, Shanghai University, Shanghai 200072)

**Abstract** This paper proposes a new approach to moving cast shadow removal based on chromaticity, intensity and the edge information. Based on kernel density estimation and edge information of the input frame, an initial moving object mask and the corresponding edge of moving objects are obtained. Then a potential shadow region is obtained by extracting chromaticity and intensity information from the input frame. Finally, the moving cast shadow region is detected and then removed using region growing method. Experimental results demonstrate the good performance of moving cast shadow removal of the proposed approach.

**Keywords** moving cast shadow removal, region growing, video segmentation

## 1 引言

从视频中检测和分割出运动对象对于许多基于视觉的应用是很重要的,包括视频监控、目标识别和内容检索等。但是由于运动阴影的存在,往往使这些应用的性能令人担忧。因为运动阴影具有和运动对象一样的运动特征,而它们又都与背景不同,所以

运动阴影常被误认为运动对象。因此,消除运动阴影非常重要。

人们已经在这方面做了很多工作。文献[1]使用了一些在 HSV 颜色空间的阴影特性以区分阴影和运动对象。这些特性表示运动阴影降低了背景的亮度,而色度和饱和度在一定的范围内变化。这个方法的主要缺点是,当视频序列有噪声时,运动对象和阴影这种在像素级上的分类是不可靠的。文献

**基金项目:**国家自然科学基金项目(60602012);上海市教育发展基金会晨光计划基金项目(2007CG53);上海市教育委员会科研创新基金项目(09YZ02)

**收稿日期:**2009-06-20; **改回日期:**2009-07-15

**第一作者简介:**韩忠民(1979 ~ ),男。上海大学信息与通信工程专业博士研究生。研究方向为图像视频处理和计算机视觉等。  
E-mail: hanzm@shu.edu.cn

[2]使用梯度滤波消除阴影区域,主要是考虑阴影区域在亮度值上有渐进的变化,此外,它能消除亮度变化的一些影响。这个方法也受到了限制,既然其依靠平滑的改变一个区域的梯度,那么当处理纹理区域时梯度滤波的好处就减少了。另外,一些具有弱边缘和低纹理的对象可能因为图像细节的消除而被损坏。文献[3]使用一个考虑灰度和空间坐标的高斯模型建立了一个阴影区域的模型。文献[4]检查了当前和背景图像之间的亮度比,并且假设这个亮度比在阴影区域上是相当稳定的。没有考虑颜色信息,当前景和背景没有很多纹理的一致区域时,问题可能会出现。除了亮度和颜色信息,文献[5]提取了几何特性进行阴影分割。阴影边缘线被检测出来以形成一个闭合的阴影轮廓,其被填满后就获得阴影面积。既然这个方法依靠阴影边缘的存在,那么检测半影区域的效果没有检测本影区域的效果好。文献[6]基于多帧的边缘和区域信息检测运动阴影,并且使用后处理操作来除去噪声和调整运动对象的边缘。

## 2 算法描述

本文算法的框图如图 1 所示,由 4 个部分组成。

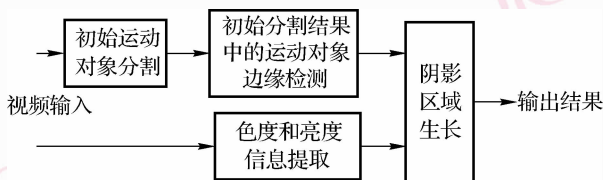


图 1 算法框图

Fig. 1 Algorithm block diagram

### 2.1 初始运动对象分割

对于每一帧输入视频图像  $I_j$ ,使用结合核密度估计和边缘信息的分割方法<sup>[7]</sup>获得初始运动对象分割结果  $IM_j$ 。首先利用输入视频的起始若干帧分别建立背景和前景的概率模型,借以计算出当前输入帧中各像素属于前景和背景的概率;然后参照运动边缘图对各像素的前景和背景概率进行修正;最后将修正的概率引入到马尔可夫随机场(MRF)模型中,利用图切割方法得到分割结果,并用当前帧中分割出的背景区域来更新背景帧。如图 2(a)所示的一帧视频图像,运动对象的初始分割结果如图 2(b)所示,可以看出对象分割结果中包含了运动

对象的阴影区域,本文算法就是要消除这类阴影区域,以获得更为准确的运动对象分割结果。

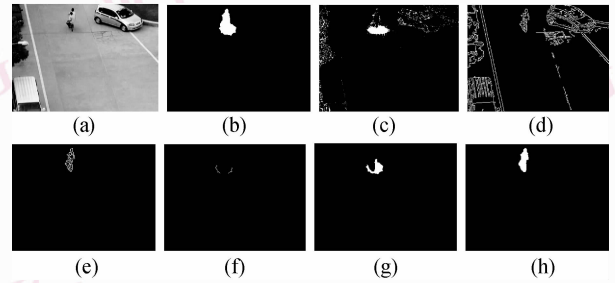


图 2 运动阴影消除的方法的图解

Fig. 2 Illustration of moving cast shadow removal

### 2.2 色度和亮度信息提取

使用 4 个变量来比较当前帧和背景帧的色度和亮度。设索引向量  $k = (n, m)^T \in Q = \{0, 1, \dots, n, \dots, N; 0, 1, \dots, m, \dots, M\}$  定义为图像中任一像素的位置,其在当前帧和背景帧中的颜色分别表示为  $p_k^f$  和  $p_k^b$  (RGB 颜色空间的 3 维向量),这两个向量之间的夹角  $\varphi$  定义为

$$\varphi(p_k^f, p_k^b) = \cos^{-1} \left( \frac{p_k^f \cdot p_k^b}{|p_k^f| |p_k^b|} \right) \quad (1)$$

$p_k^f$  和  $p_k^b$  之间的亮度比值  $I_r$  定义为

$$I_r(p_k^f, p_k^b) = |p_k^f| / |p_k^b| \quad (2)$$

由阴影的特性可知,如果当前帧像素的色度与背景帧对应像素的色度基本保持不变,而亮度降低的话,则其可被视为阴影。为单一像素定义如下的阴影判断准则

$$T(\varphi) = \begin{cases} 1 & \varphi < TH_\varphi \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$T(I_r) = \begin{cases} 1 & TH_1 < I_r < TH_2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $TH_\varphi$  的取值应小些,以保持阴影像素的色度与背景帧对应像素的色度基本不变,  $TH_1$  的取值需考虑阴影的强度,当阴影越强时,  $TH_1$  越小,而  $TH_2$  的取值则需考虑用于防止前景受到细微噪声影响而被误判为阴影,可通过实验获得。  $0 < TH_1 < TH_2 < 1$ , 本文  $TH_\varphi$ ,  $TH_1$  和  $TH_2$  的取值分别是 0.08, 0.1 和 0.9。

设以  $p_k^f$  和  $p_k^b$  为中心的邻域内所有像素的颜色向量集合分别表示为  $p_{k+w}^f$  和  $p_{k+w}^b$ ,则基于颜色向量的夹角判断该邻域内阴影的像素数目为

$$\eta_\varphi(p_{k+w}^f, p_{k+w}^b) = \sum_{w \in W} T(\varphi(p_{k+w}^f, p_{k+w}^b)) \quad (5)$$

式中,邻域半径向量  $w = (i, j)^T \in W = \{-W, \dots, 0, 1, i, \dots, W; -W, \dots, 0, 1, j, \dots, W\}$  为属于对应当前像素的邻域像素位置。 $W$  是围绕一个选定像素的矩形窗。

基于亮度比值判断该邻域内阴影的像素数目为

$$\mu_l(p_{k+w}^f, p_{k+w}^b) = \sum_{w \in W} T(I_r(p_{k+w}^f, p_{k+w}^b)) \quad (6)$$

由此,为每一像素的邻域定义如下的阴影判断准则

$$T(\eta_\varphi) = \begin{cases} 1 & \eta_\varphi > TH \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

$$T(\mu_l) = \begin{cases} 1 & \mu_l > TH \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式中,阈值  $TH$  设置为  $2W(W+1)$ ,在实验中, $W$  取为 1。

当前帧中可能的运动阴影区域  $PSD_j$  确定为

$$PSD_j = (T(\varphi(p_k^f, p_k^b)) \cup T(\eta_\varphi(p_{k+w}^f, p_{k+w}^b))) \cap (T(I_r(p_k^f, p_k^b)) \cup T(\mu_l(p_{k+w}^f, p_{k+w}^b))) \quad (9)$$

对于图 2(a) 所示的视频帧,由上式所得的可能的运动阴影区域如图 2(c) 所示。

### 2.3 初始分割结果中的运动对象边缘检测

对输入视频使用 Canny 算法<sup>[8]</sup>以得到边缘图像  $CE_j$ ,如图 2(d) 所示。为了区分  $CE_j$  的运动边缘和静止边缘,可先统计出连续  $Z$  帧边缘图像中各像素位置出现边缘的频数  $Z_F(u)$ ,则静止边缘图像  $SCE_j$  可由下式确定

$$SCE_j(u) = \begin{cases} 255 & Z_F(u) > Z/2 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

式中, $SCE_j(u) = 255$  表示像素  $u$  是静止边缘点。进而获得  $IM_j$  的内部的运动边缘  $NMCE_j$ ,如图 2(e) 所示,它为后面的阴影区域的种子点选择和区域生长提供了重要的信息。

$$NMCE_j(u) = \begin{cases} 255 & (IM_j(u) = 255) \cap (SCE_j(u) = 0) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

由图 2(b) 能够很容易地提取出初始分割结果的边缘  $EIM_j$ ,它包含了真正的运动对象的边缘和阴影部分的边缘。

### 2.4 阴影区域生长

既然  $EIM_j$  的一些部分找不到与其对应的运动 Canny 边缘,如果这些部分又属于可能的运动阴影  $PSD_j$ ,那么它们则被选择作为初始的阴影区域种子点

$$ISR_j = \{u \mid u \in EIM_j, \forall \min \|u - v\| < T_1, NMCE_j(v) = 0, u \in PSD_j\} \quad (12)$$

式中, $T_1$  是一个限定搜索邻域的阈值, $\|\cdot\|$  表示棋盘距离。 $ISR_j$  如图 2(f) 所示,可见包含了足够多的种子点。

在运动对象和阴影区域的共同边缘上出现了一些小缝隙,这主要是由 Canny 边缘检测的错误连接导致的。为了去除它们,需要对  $NMCE_j$  进行形态学膨胀操作,结构元素是一个  $3 \times 3$  的正方形。这个膨胀的结果为  $DNMCE_j$ 。使用区域生长算法<sup>[9]</sup>以  $ISR_j$  的种子点开始在  $IM_j$  里逐个像素地进行生长以得到阴影区域  $SR_j$ ,如图 2(g) 所示。通过去除阴影区域,可得到最终的运动对象分割结果, $IOM_j = IM_j - SR_j$ ,如图 2(h) 所示。

## 3 实验结果及评价

### 3.1 实验结果

在 2.00 GHz CPU, 512 MB RAM 的 PC 机上进行实验。图 3 所示是用不同算法分割校园场景序列(图像大小为  $320 \times 240$ ) 的运动对象结果。第一、二、三行分别是第 601 帧、第 697 帧和第 710 帧。校园场景序列中的运动对象包括行人、自行车和汽车,同时存在运动阴影,而且有些行人的服装和汽车的表面与背景颜色相似。从结果中可以看到,文献[6]的分割算法有时不能完全消除运动阴影,如第 710 帧中行人右下方的运动阴影没有被完全消除,而本文算法将此阴影消除了。另外,在第 697 帧中文献[6]的分割算法没能将汽车顶部准确地分割出

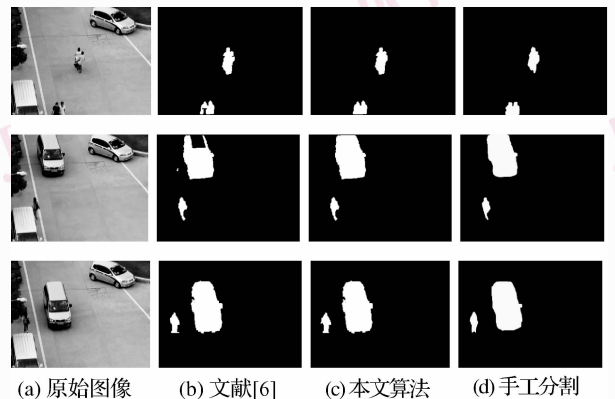


图 3 校园场景序列的分割结果

Fig. 3 Segmentation results of campus video

来并且有噪声,而本文算法将其完整地分割出来了并且无噪声。

图 4 所示是地铁站序列(图像大小为  $720 \times 576$ )的分割结果。第一、二、三行分别是第 194 帧、第 209 帧和第 227 帧。因受光源影响,行人走动时有时会出现多个运动阴影,增加了分割的难度。在第 194 帧和第 209 帧中,文献[6]结果的行人两脚之间仍有很多阴影,而在本文算法结果中这些阴影大部分已被消除。在第 227 帧中,本文算法结果比文献[6]结果明显地更完整。

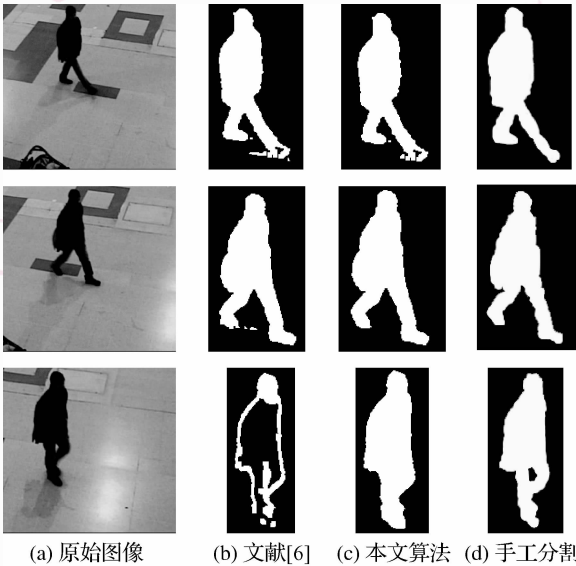


图 4 地铁站序列的分割结果

Fig. 4 Segmentation results of subway station video

### 3.2 分割结果评价

使用 Precision 和 Recall 两个指标客观地评价不同运动对象分割算法的分割结果。对于校园场景序列,本文算法和文献[6]算法的 Precision 的平均值分别是 0.96 和 0.95, Recall 的平均值分别是 0.93 和 0.59。对于地铁站序列,本文算法和文献[6]算法的 Precision 的平均值分别是 0.87 和 0.79, Recall 的平均值分别是 0.9 和 0.5。可以看出,本文算法的 Precision 和 Recall 两个指标都比文献[6]算法的高,分割结果优于文献[6]算法的结果。

## 4 结论

本文主要研究了视频分割中运动阴影消除的问

题。首先使用结合核密度估计和边缘信息的分割方法获得初始分割结果及其中运动对象的边缘,然后对输入视频帧进行色度和亮度信息提取以得到可能的运动阴影区域,最后通过阴影区域生长将运动阴影和运动对象区分开。实验结果表明,本文算法具有良好的消除运动阴影的性能。

### 参考文献 (References)

- 1 Cucchiara R, Granan C, Piccardi M, *et al.* Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25** (10): 1337-1342.
- 2 Chien Shao-yi, Ma Shyh-yih, Chen Liang-gee. Efficient moving object segmentation algorithm using background registration technique [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, **12** (7): 577-586.
- 3 Hsieh Jun-wei, Hu Wen-fong, Chang Chia-jung, *et al.* Shadow elimination for effective moving object detection by Gaussian shadow modeling [J]. *Image and Vision Computing*, 2003, **21** (6): 505-516.
- 4 Rosin P, Ellis T. Image difference threshold strategies and shadow detection [A]. In: *Proceedings of the 1995 British Conference on Machine Vision [C]*, Birmingham, United Kingdom, 1995: 347-356.
- 5 Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Cast shadow segmentation using invariant color features [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, **95** (2): 238-259.
- 6 Xu Dong, Liu Jian-zhuang, Li Xue-long, *et al.* Insignificant shadow detection for video segmentation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, **15** (8): 1058-1064.
- 7 Gu Jian-dong, Liu Zhi, Zhang Zhao-yang. A novel moving object segmentation algorithm using kernel density estimation and edge information [J]. *Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics*, 2009, **21** (2): 223-228. [顾建栋,刘志,张兆杨. 结合核密度估计和边缘信息的运动对象分割算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2009, **21** (2): 223-228.]
- 8 John Canny. A computational approach to edge detection [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, **8** (6): 679-698.
- 9 Adams R, Bischof L. Seeded region growing [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, **16** (6): 641-647.