

# 基于区域颜色聚类的运动目标阴影检测

徐杰, 项文波, 茅耀斌, 孙金生

(南京理工大学 自动化系, 江苏 南京 210094)

**摘要:**文中提出一种基于区域颜色特征的阴影检测方法。首先,通过均衡化灰度直方图来增强图像中各个区域之间的对比度;使用 $K$ -means算法对前景区域进行聚类。对于聚类后的每个区域,统计每部分的色彩特征不变量直方图,利用一种直方图相似性度量方法来比较当前区域和对应背景区域的相似性,根据相似性结果对每个区域进行阴影属性的判断。通过与基于彩色特征不变量、基于HSV颜色空间等方法进行比较,结果表明文中算法的阴影检测率和前景检测率有一定的提升,且用时较少。实验结果表明,文中算法充分利用了阴影的区域颜色特征,在 multi-class 场景中能够有效检测出阴影,且具有较好的实时性。

**关键词:**视频监控;运动目标阴影检测;增强对比度;彩色特征不变量; $K$ -means;直方图相似性

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2016)03-0193-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2016.03.045

## Moving Object Shadow Detection Based on Regional Color Clustering

XU Jie, XIANG Wen-bo, MAO Yao-bin, SUN Jin-sheng

(Department of Automation, Nanjing University of Science and Technology,  
Nanjing 210094, China)

**Abstract:** A novel algorithm based on regional color feature is proposed to detect moving shadow. First, an image equivalence method is built to enhance the contrast between regions in the frame, and  $K$ -means is also used for the foreground cluster. Then, the statistical histogram of color invariant feature is calculated in each cluster, comparing the similarity of histogram between foreground and background by histogram similarity measuring method. Last, the shadow properties of regions are judged according to the similarity result. By comparison with certain classical methods such as invariant color features based method, HSV color space based method and so on, the proposed method performs better than some of them in terms of shadow detection rate and running time. The experimental results show that the algorithm in this paper make full use of the color feature of region to detect the shadow effectively in multi-class view and has better real-time.

**Key words:** video surveillance; moving target shadow detection; contrast enhancement; color invariant feature;  $K$ -means; similarity of histogram

## 0 引言

阴影是因光源被物体遮挡而产生的物理现象,在自然界中十分普遍。在视频监控中,阴影与运动目标混杂在一起,会导致计算机对目标物体的提取和跟踪出现错误。因此,有效的运动目标阴影检测方法对于正确的目标提取至关重要。

目前大量涌现出的阴影检测算法<sup>[1-4]</sup>,首先根据决策过程是否引入不确定性,可以分为决策类方法和统计类方法<sup>[5]</sup>。其中,决策类方法又有基于阴影模型

方法<sup>[6]</sup>和基于阴影特征方法之分<sup>[7]</sup>。基于阴影模型的方法是利用场景、运动目标、光照条件等先验知识来建立阴影模型,对三维物体模型的棱、线、角进行匹配。这类方法通常只在特定场景条件下使用,并不具有通用性。基于阴影特征的方法则是利用阴影的几何特点、亮度、色彩、纹理等信息来标识阴影区域。

由于一般前景区域中运动目标和阴影区域首先在颜色上会有区别,且运动目标(包括行人和车)本身也可以从颜色角度划分为不同的区域;因此,文中提出一

收稿日期:2015-06-09

修回日期:2015-09-15

网络出版时间:2016-02-18

基金项目:国家科技重大专项基金(2011ZX04002-051)

作者简介:徐杰(1991-),女,硕士,研究方向为视频图像处理;项文波,讲师,研究方向为计算机视觉、视频与图像处理、视频跟踪;茅耀斌,副教授,研究方向为图像处理与模式识别、多媒体信息安全;孙金生,教授,研究方向为网络拥塞控制、质量控制。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160218.1630.034.html>

种充分利用区域颜色特征的运动目标阴影检测方法,通过颜色聚类将前景聚成不同的区域。同时,由于色彩特征不变量<sup>[8]</sup>具有不受视角、阴影、表面方向及光照条件等因素影响的特点,故文中选用该特征;统计聚类后各区域与对应背景区域的色彩特征不变量直方图,并采用一种直方图相似性度量方法对当前区域和背景区域之间的相似性进行比较,从而实现阴影属性的最终判定。

文中阴影检测方法的流程如图 1 所示。

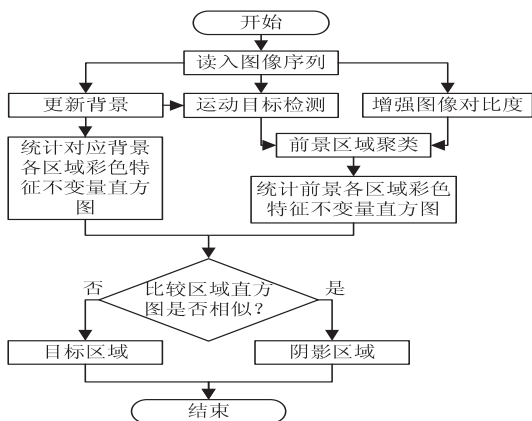


图 1 基于区域颜色聚类的运动目标阴影检测

## 1 运动目标阴影检测

对于读入的图像序列,文中预先采用 ViBe (Visual Background extractor) 方法<sup>[9]</sup>来提取出前景区域。由于提取出的目标区域会受到噪声干扰,因此需要进行形态学滤波和膨胀腐蚀处理,处理后的结果如图 2 所示。

获得前景区域后,文中首先通过均衡化灰度直方图来增强当前图像中各区域之间的对比度,然后分别采用  $K$ -means 聚类<sup>[10]</sup>以及衡量直方图相似度这两种方法来实现阴影区域的检测。

### 1.1 增强对比度

对于不同场景下的运动目标,由于光照强度不同,其产生的阴影强弱也有所不同。为了在不同光照场景下都能够较好的辨识出阴影区域,本文采用均衡化灰度直方图<sup>[11]</sup>的方法来增强图像中不同区域之间的对比度,结果如图 2(c)、(d)所示。可以看出,真实前景区域比原灰度图像对应区域要暗,而实际阴影区域灰度则没有明显的变化。

### 1.2 前景区域划分

对于初步检测出的前景区域,增强对比度后的目标区域和阴影区域在灰度上存在较大差异。根据这一特点,文中利用  $K$ -means 聚类方法对增强对比度后的前景进行聚类。其中,根据一般行人衣着的特点,将聚类中心个数取为 5。同时,为了进一步提高后续阴

影检测步骤的准确性,对需要聚类的所有前景点进行初步筛选。筛选准则基于阴影最基本特点,即阴影点 RGB 三个通道的像素值均要低于构建背景中对应的像素值。使用  $K$ -means 方法聚类前景区域,结果如图 3 所示。

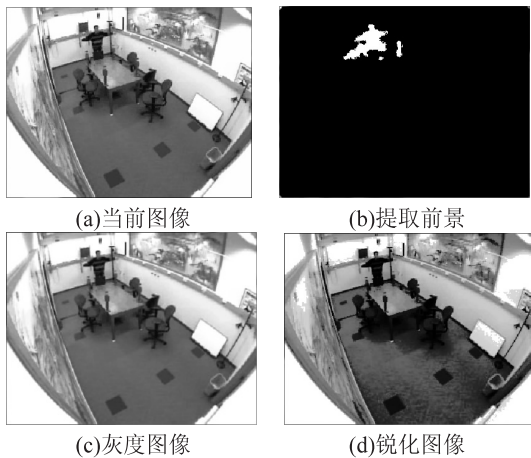


图 2 预处理图像



图 3  $K$ -means 聚类前景区域

### 1.3 基于直方图的相似性度量

聚类后的前景区域需要判断每个区域的阴影属性。对阴影区域而言,其与构建背景区域相比,在理论上只有光照强度的变化,因此,需要选择一个不受光照条件影响的特征量来用于后续的相似性比较。在彩色图像中,双色性反射模型<sup>[12]</sup>是机器视觉系统常用的彩色模型。根据该模型性质,文中选择图像的色彩特征不变量  $c_1, c_2, c_3$  为基本特征,转换公式如下:

$$c_1 = \arctan\left(\frac{R}{\max(G, B)}\right) \quad (1)$$

$$c_2 = \arctan\left(\frac{G}{\max(R, B)}\right) \quad (2)$$

$$c_3 = \arctan\left(\frac{B}{\max(R, G)}\right) \quad (3)$$

其中,  $R, G, B$  分别表示在 RGB 颜色空间中的通道值。

结合文献[12]并推理可知,该特征不受视角、表面方向及光照条件等因素的影响,其取值仅与物体表面反射率有关。

文中选定色彩特征不变量  $c_1, c_2, c_3$  中的  $c_1$  作为特征值,针对聚类后的每个区域,统计当前图像和对应背景图像中各区域的  $c_1$  值,并将其线性转化至  $[0, 255]$  之间。在获得当前图像区域和对应背景区域  $c_1$  直方图后,采用一种直方图相似性度量方法<sup>[13]</sup>来判断区域

的阴影属性,具体步骤如下:

(1)对当前区域直方图和背景区域直方图进行归一化处理,设归一化后的当前区域直方图为  $F = \{f(i) \mid i = 0, 1, \dots, 255\}$ , 对应背景区域直方图则为  $B = \{b(i) \mid i = 0, 1, \dots, 255\}$ ;

(2)以2为指数对两个归一化直方图进行分级,每一级通过错位起点方式得到两个直方图,分别为正位直方图  $f_{N_i}, b_{N_i}$  和错位直方图  $f_{D_i}, b_{D_i}$ ;

(3)分别计算  $f_{N_i}$  和  $f_{D_i}$  以及  $b_{N_i}$  和  $b_{D_i}$  之间的余弦相关系数值,得到同级同类型直方图相似值  $s_{N_i}$  和  $s_{D_i}$ 。其中:  $s_{N_i}$  表示第  $i$  级正位直方图  $f_{N_i}$  和  $b_{N_i}$  的相似度;  $s_{D_i}$  表示第  $i$  级错位直方图  $f_{D_i}$  和  $b_{D_i}$  的相似度;

(4)按照各级权重计算得两个直方图之间的相似度  $s$ , 并设定阈值  $T_s$  来判断区域属性,如果  $s > T_s$ , 则该区域属于运动目标区域, 否则就属于阴影区域。其中,  $T_s$  的取值范围为  $[0, 1]$ , 具体取值与图像内容有关。

## 2 实验与结果分析

### 2.1 实验数据集和度量标准

在实验数据集选取方面,文中从广为使用的阴影检测基准运动序列(<http://arma.sourceforge.net/shadows/>)中选取6组具有代表性的图像序列及其真实图进行测试,分别为:Hallway, Lab, HighwayI, HighwayIII, Room 和 Campus。这些图像序列在具体环境、序列长

度、阴影强弱等方面都存在一定差异。

在度量标准方面,文中选取由 Prati 等提出的两个评估标准<sup>[14]</sup>,分别为阴影检测率  $\eta$  和前景检测率  $\xi$ , 公式如下:

$$\eta = \frac{TP_s}{TP_s + FN_s} \quad (4)$$

$$\xi = \frac{TP_F}{TP_F + FN_F}$$

其中:  $TP_s$  表示实际阴影像素点中检测正确的阴影点数目;  $TP_F$  表示实际前景像素点中检测正确的前景点数目;  $FN_s$  表示实际阴影像素点未被检测出来的数目;  $FN_F$  表示实际前景像素点被错分成为阴影像素点的数目。

### 2.2 实验结果

针对选取的6组图像序列,使用文中方法进行阴影检测,并取出其中一帧,结果如图4所示(黑色对应前景目标区域,灰色对应阴影区域)。

从图中可以看出,在行人阴影检测方面,文中方法可以检测出前景区域中的大部分阴影区域;然而,当行人穿着的颜色和阴影颜色接近时,就会出现误判断,如图4(a)中颈部区域、图4(c)中腰部区域以及图4(d)中行人的部分上半身区域。而在车辆阴影检测方面,文中方法在检测出投影区域的同时,也容易将车身中与阴影颜色相近的区域误检成阴影,如图4(e)和图4(f)所示。

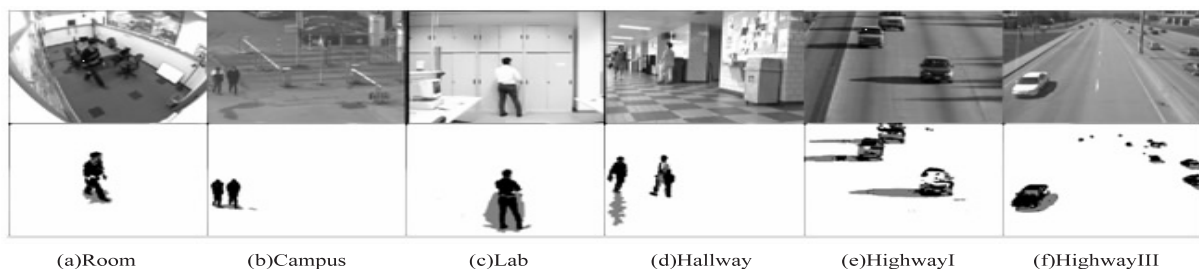


图4 文中方法阴影检测结果

### 2.3 定量评估结果

文中针对不同的图像序列,首先采用 ViBe 背景建模提取前景,然后针对基于  $c_1, c_2, c_3$  颜色空间方法<sup>[15]</sup>、基于 HSV 颜色空间方法<sup>[16]</sup>、基于 HSI 颜色空间方法<sup>[17]</sup>以及文中提出的阴影检测方法进行定量比较,结果如表1和表2所示。

在实时性方面,从表1中可以看出,针对前四组图像序列,除了基于 HSV 颜色空间方法外,文中方法处理所用时间比其余方法的用时都要少;对于 HighwayI, 文中方法用时最短;而最后一组图像序列 HighwayIII, 文中方法用时要高于基于  $c_1, c_2, c_3$  颜色空间方法和基于 HSV 颜色空间方法,但仍比基于 HSI 颜色空间方法用时要短。由此可得,文中的阴影检测算法具有较好

的实时性。

在阴影检测率方面,从表2中可以看出,针对 Campus、Lab 和 Room 三组图像序列,文中方法能够达到90%以上,且比其他几种方法的检测率都要高;而对于剩下的三组图像序列,文中方法并未获得最高的阴影检测率,且在 Hallway 图像序列中,与最优结果有近20%的差距。

在前景检测率方面,从表2可以看出,针对 Hallway 图像序列,文中方法得到了最高的前景检测率;而对于其他图像序列,文中方法并未获得较好的结果。考虑这种现象的原因,是由于在聚类的过程中,与背景颜色相近的区域容易被误判断成阴影,这样会使真实目标内部出现区域性误判,导致前景检测率受到较大

影响。

表 1 不同方法的阴影检测用时

	ms					
	Campus	Lab	Room	Hallway	HighwayI	HighwayIII
基于 $c_1, c_2, c_3$ 颜色空间方法	32.58	29.15	21.40	31.18	43.12	22.90
基于 HSV 颜色空间方法	8.72	8.95	7.14	11.28	10.73	6.82
基于 HSI 颜色空间方法	35.75	33.40	34.40	34.23	35.47	33.15
文中方法	14.30	19.00	8.70	17.80	8.40	23.10

表 2 不同方法的阴影检测率  $\eta$  和前景检测率  $\xi$

		%					
		Campus	Lab	Room	Hallway	HighwayI	HighwayIII
基于 $c_1, c_2, c_3$ 颜色空间方法	$\eta$	98.63	97.69	92.53	66.77	74.08	2.85
	$\xi$	45.14	51.79	52.6	85.56	42.53	95.07
基于 HSV 颜色空间方法	$\eta$	82.87	76.26	78.61	91.63	66.83	58.30
	$\xi$	54.23	74.65	60.76	71.68	59.60	57.02
基于 HSI 颜色空间方法	$\eta$	92.18	41.00	44.71	47.57	34.30	99.97
	$\xi$	38.39	71.60	64.92	31.93	44.91	22.30
文中方法	$\eta$	99.01	97.80	94.57	69.01	74.04	77.49
	$\xi$	40.23	42.74	52.92	95.34	59.43	61.08

3 结束语

对于含有运动目标的视频,文中首先采用 ViBe 背景建模来提取前景目标,然后利用  $K - means$  聚类将前景区域划分成不同的区域,接着统计每个区域的  $c_1$  直方图,并使用一种直方图相似性度量方法来度量聚类后每个区域与对应背景区域之间的相似性,最终实现运动目标阴影检测。

实验结果表明,文中方法在阴影检测率方面能够获得不错的结果,但是在阴影检测率和前景检测率方面会存在一定的不稳定性。考虑这种现象的原因是在聚类过程中会把阴影区域和颜色接近阴影的前景区域聚类到一起,从而影响了阴影检测率。这在一定程度上会对算法的通用性产生一定影响,在以后的研究中需要解决这个问题。

参考文献:

[1] 奚 稳,罗立民. 基于 RGB 信息的运动阴影检测[J]. 中国电子商情:通信市场,2011(6):374-379.

[2] 蔡海鹏,潘志庚,孙 超. 面向视频场景的虚实交互中的运动阴影检测算法[C]//和谐人机环境联合学术会议. 出版地不详;出版者不详,2008:260-264.

[3] 袁国武,丁海燕,周 浩,等. 结合局部纹理和色度的运动目标检测方法[J]. 电子测量技术,2012,35(12):55-59.

[4] 王 典. 基于混合高斯的背景建模与阴影抑制算法研究[D]. 西安:西北工业大学,2006.

[5] Prati A, Mikic I, Trivedi M, et al. Detecting moving shadows: algorithms and evaluation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(7):918-923.

[6] Koller D, Daniilidis K, Nagel H H. Model-based object tracking in

monocular image sequences of road traffic scenes[J]. International Journal of Computer Vision, 1993, 10(3):257-281.

[7] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Shadow identification and classification using invariant color models [C]//Proc of IC-ASSP01. [s. l.]:[s. n.], 2001:1545-1548.

[8] 尚晋霞,尚振宏,杨 桢. 基于色彩特征不变量与局部纹理结合的运动阴影去除[C]//2009 年研究生学术交流会议通信与信息技术论文集. 出版地不详;出版者不详,2009.

[9] Barnich O, Droogenbroeck M V. ViBe: a universal background subtraction algorithm for video sequences[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6):1709-1724.

[10] 冯 超. K-means 聚类算法的研究[D]. 大连:大连理工大学, 2007.

[11] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007:72-74.

[12] Stauder J, Mech R, Ostermann J. Detection of moving cast shadows for object segmentation[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 1999, 1(1):65-76.

[13] 李 峰,陆宇芹,金 红,等. 一种直方图相似性度量方法:CN, 201410519175.3[P]. 2014-09-30.

[14] Sanin A, Sanderson C, Lovell B C. Shadow detection: a survey and comparative evaluation of recent method[J]. Pattern Recognition, 2012, 45(4):1684-1695.

[15] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Cast shadow segmentation using invariant color features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 95(2):238-259.

[16] Cucchiara R, Grnna C, Piceardi M. Detecting moving objects, ghosts and shadows in video streams[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10):1337-1342.

[17] Tsai V J D. A comparative study on shadow compensation of color aerial images in invariant color models[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(6):1661-1671.