

## 融合颜色和梯度特征的运动阴影消除方法

刘 宏<sup>1,2)</sup> 李锦涛<sup>1)</sup> 刘 群<sup>1)</sup> 钱跃良<sup>1)</sup> 李豪杰<sup>1,2)</sup><sup>1)</sup>(中国科学院计算技术研究所智能信息处理重点实验室 北京 100080)<sup>2)</sup>(中国科学院研究生院 北京 100049)

(hliu@ict.ac.cn)

**摘 要** 提出一种检测运动阴影的方法. 首先将运动前景像素检测出来,再综合利用颜色和梯度特征将前景像素分类为运动物体或运动阴影像素. 为客观地分析实验结果,引入了一个新的评价指标  $F$  值来分析阴影检测效果. 实验结果表明该方法比基准方法具有更好的性能.

**关键词** 阴影检测;运动分割;视频监控;性能评价

**中图法分类号** TP391

## Moving Cast Shadow Elimination Based on Color and Gradient Features

Liu Hong<sup>1,2)</sup> Li Jintao<sup>1)</sup> Liu Qun<sup>1)</sup> Qian Yueliang<sup>1)</sup> Li Haojie<sup>1,2)</sup><sup>1)</sup>(Key Laboratory of Intelligent Information Processing, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)<sup>2)</sup>(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract** This paper proposes a novel algorithm, namely moving shadow elimination based on color and gradient features (MSECG), to detect moving shadow after the foreground detection by combining color with gradient features. In addition, a new quantitative metric  $F$  is introduced to assess the detection performance. Experimental results show that our algorithm could achieve a better performance than the benchmark method on outdoor video sequences.

**Key words** shadow detection; motion segmentation; video surveillance; performance evaluation

运动物体检测是视频运动分析的一个基本步骤. 在很多实际场景中,由于物体遮挡光线产生了阴影,运动分割或变化检测方法会把运动物体及其产生的阴影一起提取出来,容易造成运动目标的定位、分割、跟踪以及分类的失败. 阴影根据其在视频中的特性可分为自阴影和投影,自阴影是物体处于阴影的部分,而投影是物体投射在场景中的阴影. 投影又可分为由运动物体引起的运动阴影和静止物体引起的静止阴影<sup>[1]</sup>. 本文将关注运动阴影的去除.

阴影检测和识别是视觉监控技术中的一个重要

课题,近年来成为一个非常活跃的研究领域. 根据目前文献中的介绍,可将运动阴影检测方法分为 2 类:基于模型和基于特征的方法. 在基于模型的方法中,Koller 等<sup>[2]</sup>提取运动车辆的边缘信息,然后利用由 12 个参数控制的 3D 车辆几何模型匹配图像中的车辆,并利用先验的光照模型求车辆在道路平面上的投影. Yoneyama 等<sup>[1]</sup>设计了 6 个 2D 车辆阴影联合模型,通过跟踪车辆运动轨迹来判断消失点,确定用哪个模型对图像平面得到的运动前景进行匹配. 但是,基于模型的方法常需要一些先验知识,

收稿日期:2007-01-09;修回日期:2007-04-17. 基金项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2004AA114010,2003AA111010). 刘 宏,女,1975 年生,博士研究生,助理研究员,CCF 会员,主要研究方向为视频图像处理、模式识别、人工智能. 李锦涛,男,1962 年生,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向为数字化技术、多模式接口、视频内容处理、多媒体网络传输. 刘 群,男,1966 年生,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向为自然语言处理、信息提取、资源建设、技术评测. 钱跃良,男,1960 年生,学士,正高级工程师,硕士生导师,主要研究方向为中文信息处理、智能化人机交互、数字化技术、农业信息技术的研究和技术标准. 李豪杰,男,1973 年生,博士研究生,主要研究方向为视频分析、模式识别.

如场景的三维构造、前景物体可用模型描述等,其适用于一些特殊的场景;另外,该方法计算复杂,不适用于实时的应用。

基于特征的方法利用图像的颜色、梯度、纹理等特征识别阴影。这类方法一般是先检测运动前景像素,再进一步分成物体和阴影。在颜色方面,文献[3-4]采用HSV颜色空间,认为阴影降低了所覆盖区域的亮度值,但色度和饱和度值在一定范围内变化。Schreer等<sup>[5]</sup>采用YUV颜色空间,认为阴影线性地降低其覆盖背景的像素值。Horprasert等<sup>[6]</sup>在RGB颜色空间,利用归一化的亮度变化和色度偏移来识别阴影。Toth等<sup>[7]</sup>利用mean shift算法对检测到的运动前景进行颜色聚类,同时利用显著性测试将每个点分成阴影或物体,最后将2种方法结合以改善检测性能。基于颜色的方法对动态场景的光照变化较为敏感,如果物体的部分像素和阴影具有相似的颜色特征,以上方法会将这些物体像素误判为阴影。

在梯度方面,Chien等<sup>[8]</sup>假设场景中的阴影梯度缓慢变化,利用梯度滤波将输入图像中的阴影去除。该方法对背景单一、阴影较弱的室内场景有效,对阴影边缘去除的效果不好。Xu等<sup>[9]</sup>首先在相邻的多帧中检测运动前景并提取Canny边缘,将这些结果进行融合以去除静止边缘;然后进行边缘匹配和区域增长,得到最终的阴影区域。该方法适用于室内光照引起的弱阴影,以保证边缘提取时将阴影的边缘去除。Javed等<sup>[10]</sup>首先将当前图像中比背景颜色深的像素作为候选阴影提取出来,然后利用 $k$ 均值算法对得到的像素进行聚类,并进行区域分割和合并;最后分析每个块的梯度方向,如果和背景的梯度方向差别不大,就认为该块属于运动阴影;但是当自阴影很大时,其将与投影连成一片,常导致将自阴影当作投影去除,使物体检测不完全。

在纹理方面,Leone等<sup>[11]</sup>利用阴影比其覆盖的背景灰度值小的特性,得到候选的阴影像素;然后利用优化的Gabor核函数提取候选点附近和相应背景点附近的Gabor特征值,如果这2个特征值相近,则认为纹理相似,判为阴影像素。该方法选取的核函数越多,检测性能越好,但计算也更复杂。同时该方法适合运动物体和背景纹理差别较大的情况。

## 1 系统框架

本文采用基于特征的方法,利用颜色和梯度特征,并在每个特征方面进行了改进和创新。为进一步改善检测性能,提出了一种融合方法MSECG(moving shadow elimination based on color and gradient features)。其系统框架如图1所示,采用先检测运动前景像素,再进一步分成物体和阴影的方法。运动前景检测可采用任何算法,本文采用混合高斯背景模型方法。MSECG融合了以下2种算法:1)阴影像素和其覆盖的背景像素相比具有相似的色度和饱和度,但亮度值较低,由此得到一个阴影检测结果SDNM(smoothed deterministic non-model)。文献[3]算法在像素级上操作,容易受环境噪声的影响;而本文先对前景点在周围的邻域内进行平滑,再判断阴影,使算法更鲁棒。2)阴影区域和其覆盖的背景区域具有相似的纹理特征。本文采用梯度特征,创新性地提出了对前景模板和背景模板求梯度差的方法SEBG(shadow elimination based on gradient feature),很好地去除了阴影的边界以及处于阴影区域但和阴影颜色差别较大的像素。MSECG可以保留更多的物体像素,并去除更多的阴影像素。为了客观地分析阴影检测性能,引入一个新的综合评价指标 $F$ 值,对本文方法和基准方法进行了性能比较和分析。

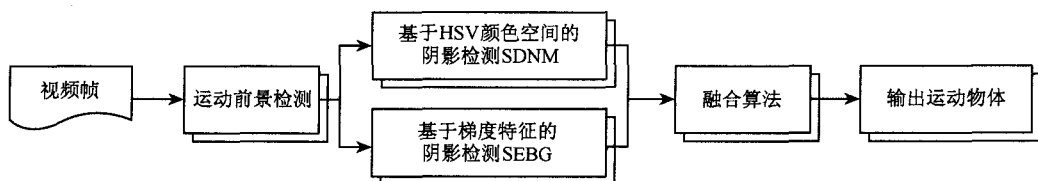


图1 系统框图

## 2 运动阴影检测方法

### 2.1 运动前景检测

在一段时间内,监控场景中每个像素位置出现背景的概率比出现前景的概率要大,基于此,本文采

用对背景进行统计建模的方法。由于室外场景受摇摆的树枝、飘扬的旗帜和光照变化等的影响,背景常呈现多模态特性。本文采用混合高斯模型对背景的每个像素建模<sup>[12-13]</sup>,得到RGB颜色背景模型。该背景模型对环境噪声有较强的鲁棒性,并可以自适应地更新<sup>[12-13]</sup>。

图 2 所示为运动检测的一个结果图,其中图 2a 是构造好的彩色背景图像选取混合高斯第 1 个分布对应的均值;图 2c 中只保留运动像素,去除背景像素;图 2d 是通过连通区域分析得到的运动分割结果. 由于和运动物体一起移动,运动阴影也被当作运动前景检测出来,可见运动分割方法无法将运动物体和阴影区分开.

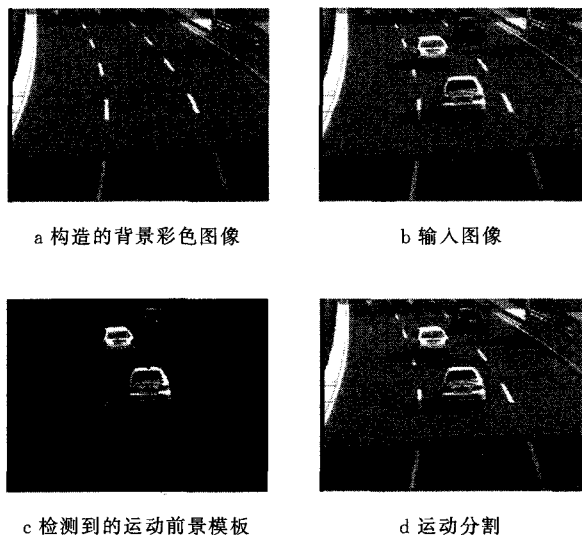


图 2 运动前景检测结果

2.2 基于颜色特征的阴影检测

颜色特征常被用来检测阴影<sup>[3-7]</sup>,目前已有文献虽然采用不同的颜色空间,但基本原理都是基于运动阴影和其覆盖的背景像素相比具有相似的色度和饱和度而亮度值更低这一特点. 本文采用 HSV (Hue, Saturation, Value) 颜色空间,HSV 比 RGB 颜色空间更加符合人眼对颜色的感觉<sup>[14]</sup>,而且在 HSV 空间检测亮度和色度变化比在 RGB 空间更有效,特别是针对室外场景<sup>[3]</sup>. 本文对现有的 DNM1 (deterministic non-model based approach) 方法<sup>[3,14]</sup>进行了改进(DNM1 在像素级上操作,容易受环境噪声的影响). 首先对每个前景点在周围的邻域内进行平滑,并采用

$$SP_m(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } T_{v1} < \frac{IA_m^v(x, y)}{BA_m^v(x, y)} < T_{v2} \text{ and} \\ & |IA_m^h(x, y) - BA_m^h(x, y)| < T_h \\ & \text{and } |IA_m^s(x, y) - BA_m^s(x, y)| < T_s \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

进行阴影判断. 其中,  $SP_m(x, y)$  表示第  $m$  帧在坐标  $(x, y)$  处的判别结果,1 表示阴影像素,0 表示物体像素.  $IA_m(x, y)$  和  $BA_m(x, y)$  分别表示第  $m$  帧输入图像和当前背景图像在坐标  $(x, y)$  处的特征值,该特征值包含色度、饱和度和亮度值,分别用上标  $h, s$  和  $v$  标识. 本文采用  $N \times N$  的窗口对每个前景像素进行平滑,取  $N$  等于 3.  $IA_m$  和  $BA_m$  代表运动前景和相关背景经过平滑后的图像,将改进的方法称作 SDNM. 式(1)中有 4 个参数,其中  $T_{v1}$  和  $T_{v2}$  是控制亮度  $v$  的 2 个参数,  $T_s$  和  $T_h$  是阴影和背景之间的饱和度差和色度差<sup>[3]</sup> 阈值.  $T_{v2}$  能有效地阻止将一些背景噪声点误判为阴影,  $T_{v1}$  考虑了阴影在实际场景中的特性,如光源的强度等,室外场景中的太阳光越强,  $T_{v1}$  取值越小. 这些参数的取值一般通过经验或实验获得,本文采用实验方法获得,利用部分训练数据(人工标出运动阴影和运动物体)进行阴影检测和性能分析,选取性能较好的参数组合. 一般来说,通过实验获得参数的方法在相近的场景和光照条件下能获得较好的分割结果.

如果在坐标  $(x, y)$  处的前景像素被判为阴影,则在运动前景中去除,并对结果二值化;然后使用形态学滤波消除噪声填补空洞;最后利用连通区域分析标出每个运动物体区域. 图 3a 所示为利用 SDNM 得到的检测结果,其中,背景用灰色表示,阴影用白色,物体用黑色. 图 3b 所示为去掉阴影像素并进行形态学处理后的结果,其中保留了大部分物体像素,但车体上颜色较深的部分,由于和阴影具有相似的颜色特征,也被当作阴影去除;另外,处在阴影中的路面标记部分,由于与阴影有较大的颜色差别,被当作物体提取出来,造成误检.



图 3 利用 SDNM 得到的阴影检测结果

2.3 基于梯度特征的阴影检测

在视频监控中,感兴趣的运动物体往往含有较丰富的纹理信息,如车辆和行人.运动阴影改变了其覆盖背景的颜色特征,但保留了背景的纹理特征;而运动物体会较大地改变背景的纹理特征<sup>[10]</sup>,从图2a,2b也可以看出这一点.梯度特征有以下优点:较好地反映纹理信息、计算量小、对光照变化不敏感.本文采用如图4所示的梯度算子,每个梯度算子对应的像素位置如图5所示,这4个算子可以提取水平、垂直和对角线方向的梯度特征.

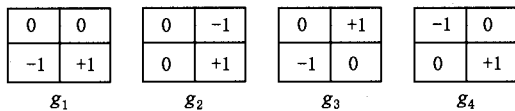


图4 梯度算子

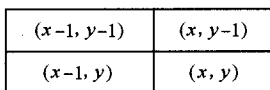


图5 每个算子4个位置的关系

为了计算梯度,首先将图2c灰度化,坐标(x,y)处的梯度值为

$$G(x,y) = \begin{cases} 255, & \text{if } \sum_{i=1}^4 |g_i(x,y)| > 255 \\ \sum_{i=1}^4 |g_i(x,y)|, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

目前已有的一些算法假设视频中存在的是弱阴影,即阴影部分的梯度缓慢变化,这样在提取梯度时设定相应的阈值就可以去除阴影的梯度<sup>[8-9]</sup>;但对于光照较强的室外场景或阴影部分存在较强纹理特征的情况不适用.有些算法能去除阴影内部的像素,但对阴影的边界不能很好地处理.基于此,本文创新性地提出了对运动前景模板(如图2c所示)和其覆盖的背景模板进行操作的方法,背景模板(如图6a所示)保留了前景模板所覆盖的背景部分.首先求出前景模板和背景模板的梯度,如图6b,6c所示.前景模板的梯度包含了车体部分的梯度以及处于阴影中的路面标记和阴影的边界,而背景模板的梯度除了包含整个运动前景的外边界,还包含背景的梯度.图6d所示为前景模板和背景模板的梯度差,将阴影部分的梯度以及阴影的边界很好地去除,并保留了物体的梯度.最后采用形态学滤波得到图6e所示的结果,其中保留了大部分物体像素,比图3b的结果去除了更多的阴影像素.



a 图2c对应的背景模板    b 前景模板的梯度    c 背景模板的梯度    d b和c的梯度差    e 形态学处理后的结果

图6 SEBG的实验结果

2.4 融合颜色和梯度特征的阴影检测方法

在实际应用中,运动物体的某一部分可能含有的纹理较少,SEBG对这部分运动物体像素的提取效果不好,特别是离边缘较远的物体区域,如图6e所示右上角的运动物体检测的就不完全,而这部分区域的颜色如果和背景差别较大,则可以在SDNM中得到.从图2c表示的SDNM的结果和图6e表示的SEBG的结果可以看出,两者的或操作将保留尽量多的物体像素并保留了一些噪声,而交操作仅保留属于物体部分的像素.为进一步改善分割结果,本文提出了一种新的融合方法MSECG,图7所示为该方法的框图.首先,根据

$$AND(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } G_{SDNM}(x,y) = 1 \text{ and} \\ & G_{SEBG}(x,y) = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

$$OR(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } G_{SDNM}(x,y) = 1 \text{ or} \\ & G_{SEBG}(x,y) = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

对图3c,6e中得到的SDNM和SEBG的阴影检测结果进行AND操作和OR操作,得到AND图和OR图.式(3),(4)中, $G_{SDNM}(x,y)$ 和 $G_{SEBG}(x,y)$ 分别表示SDNM和SEBG的结果,1表示物体像素,0表示背景像素.

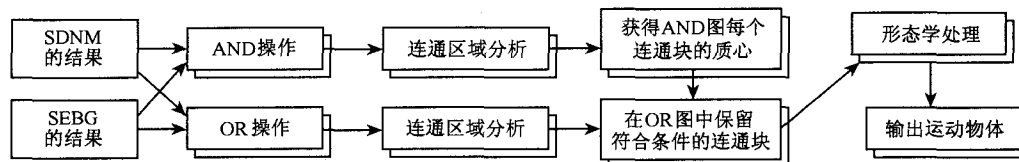


图 7 MSECG 的流程示意图

然后,利用连通区域分析得到每个连通区域,称为一个 Blob. 在 AND 图中获取每个 Blob 的质心点,然后判断 OR 图中的哪个 Blob 含有该质心点,如果含有则保留 OR 图中的此 Blob. 最后将 OR 图中不含 AND 图中质心点的 Blob 删除. 对 OR 图的

结果再进行一次形态学处理和连通区域分析,得到最终的运动目标.

图 8 所示为利用 MSECG 在视频第 793 帧上的检测结果.

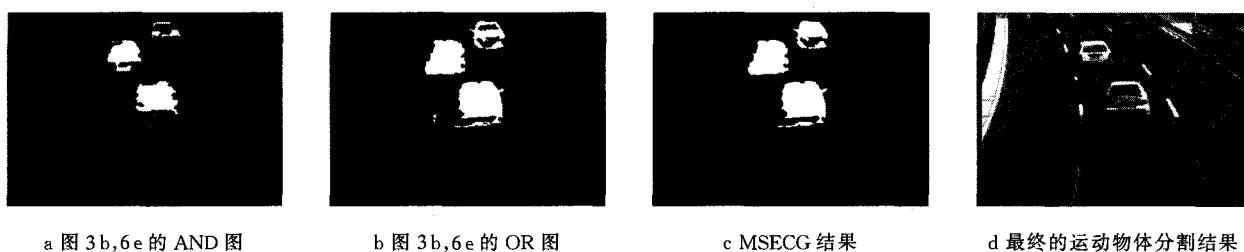


图 8 MSECG 在第 793 帧上的检测结果

在视频监控场景中,人们感兴趣的一般是车辆和行人,这 2 类物体往往含有较丰富的纹理信息. 纹理体现在图像上就是像素和相邻的像素之间存在一定的颜色差或灰度差,前景和背景之间的梯度的差别往往也体现了颜色差的存在,所以一般情况下,通过 SDNM 和 SEBG 获得的正确前景的 Blob 是相交的. 一种特殊的情况是,运动物体内部含有较少的梯度信息,梯度主要集中在物体和背景的交界处,如运动物体是一个大的圆球. 这种情况下,通过后期的形态学处理和连通区域分析,得到的靠近物体边缘部分的 Blob 和通过颜色得到的 Blob 仍然有相交部分,而这种运动物体在实际监控场景中很少出现;还有一种极端的情况,即物体的颜色和阴影区域相近,并且物体纹理简单边缘较少,即在视觉上阴影和运动物体融为一体,差别很小,这种情况下任何一种方法都很难将阴影和物体分开,而这种情况在实际的监控场景中很难同时出现.

### 3 性能评价和实验

为了更好地评价检测本文方法的性能,文献[8]建议应同时考虑 2 个重要性能:检测性能和辨别性能. 检测性能对应最小错误拒绝率,即阴影点被分成背景或前景;辨别性能要求错误接受率要小,即前

景或背景点被检测为阴影. 在对阴影检测的客观评价方面,Cucchiara 等<sup>[14]</sup>进行了开拓性工作,定义了阴影的检测率  $\eta$  和阴影辨识度  $\xi$ ,为后来的很多文献所采用,即

$$\eta = \frac{TP_s}{TP_s + FN_s} \quad (5)$$

$$\xi = \frac{\overline{TP}_F}{TP_F + FN_F} \quad (6)$$

其中,下标  $s$  表示阴影,下标  $F$  表示前景,  $TP$  表示正确位置数,  $FN$  表示错误拒绝数,  $\overline{TP}_F$  是基准图像中前景像素的数目减去应该是前景但误判为阴影的像素数. 好的阴影检测算法应该同时具有较高的  $\eta$  和  $\xi$ ,这 2 个指标相互影响,提高一个指标就会降低另一个. 在目前的许多文献中同时列出 2 个评价指标,没有一个综合指标,算法的性能分析不太直观. 基于此,本文引入了一个新的综合指标  $F$  值,该指标作为一个标准性能评价指标被广泛应用于国际文本分类评测中<sup>[15]</sup>,能很好地评价分类的好坏. 本文将  $F$  值引入阴影检测性能评价中,它融合了阴影检测率和辨识度,该指标越大,说明阴影检测性能越好,定义

$$F = \frac{2\eta\xi}{\eta + \xi} \quad (7)$$

本文使用一个室外的交通视频进行实验,帧大小

是  $320 \times 240$ , 每秒 25 帧, 共 3450 帧. 为了比较算法的性能, 手工标注了 10 帧的前景、背景和阴影区域作为基准答案, 图 9 所示为部分基准图像, 其中背景用灰色表示, 运动阴影用白色表示, 运动物体用黑色表示.

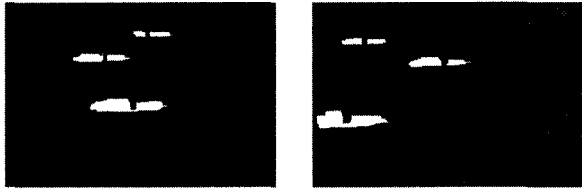


图 9 基准图例子

**实验 1.** 比较 DNM1 和本文改进的 SDNM 的性能. 由于基于颜色的方法的性能直接受式(1)中参数选择的影响, 本文在实验中采用多种不同的参数组合进行比较. 根据在测试帧上的初步测试, 我们选择  $T_h$  在 0.5 到 0.9 之间,  $T_s$  在 0.2 到 0.4 之间,  $T_{v1}$  在 0.1 到 0.2 之间,  $T_{v2}$  在 0.5 到 0.8 之间, 间隔大小为 0.1, 总共 160 种参数组合. 计算各个指标( $\eta$ ,  $\xi$  和  $F$ ) 在 10 幅基准图像上的平均值作为参考. 图 10 所示为 DNM1 和 SDNM 在 160 种参数组合下的  $F$  值的实验结果, 其中有 104 种组合对应的 SDNM 的  $F$  值要高于 DNM1 的  $F$  值. 另外, DNM1 的  $\eta$  平均值是 0.668,  $\xi$  平均值是 0.725; SDNM 的  $\eta$  平均值是 0.781,  $\xi$  平均值是 0.674; DNM1 的  $F$  平均值是 0.687, SDNM 的  $F$  平均值是 0.716. 实验

结果表明, SDNM 比 DNM1 具有更好的参数鲁棒性和分割性能.

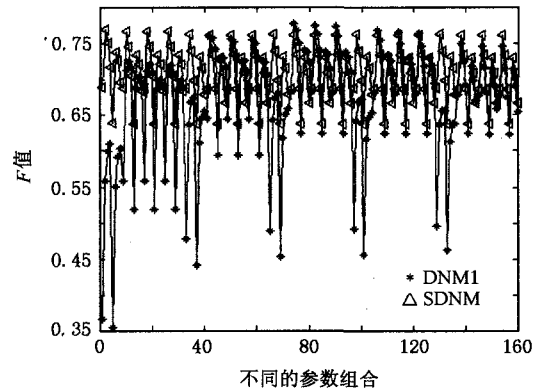


图 10 2 种方法在不同的参数组合下的  $F$  值

**实验 2.** 对 MSECG 和 SDNM 进行比较. 根据对实验 1 结果的分析, 选择了性能较好的 8 组参数进行实验, 计算 2 种方法的各个指标在所有基准答案上的平均值. 表 1 所示为最终的实验结果. 从整体看, SDNM 和 MSECG 均具有较好的检测率  $\eta$ , 但 MSECG 比 SDNM 具有更好的辨识率  $\xi$ , 说明阴影的误检较少, MSECG 比 SDNM 对参数变化更为鲁棒; 另外, MSECG 的  $F$  值比 SDNM 的  $F$  值平均高出 4~6 个百分点, 其中, MSECG 最高的  $F$  值是 0.861, SDNM 是 0.816. 通过以上实验数据可以看出, MSECG 比 SDNM 具有更好的阴影检测性能, 另外  $F$  值可以替代阴影检测率和辨识率, 作为一个综合指标来衡量算法的阴影检测性能.

表 1 不同参数组合下 2 种方法的性能检测结果

$T_h$	$T_s$	$T_{v1}$	$T_{v2}$	SDNM			MSECG		
				$\eta$	$\xi$	$F$	$\eta$	$\xi$	$F$
0.6	0.3	0.1	0.6	0.813	0.791	0.802	0.831	0.859	0.845
0.6	0.3	0.1	0.7	0.876	0.712	0.786	0.832	0.826	0.829
0.6	0.4	0.1	0.6	0.813	0.785	0.799	0.831	0.858	0.844
0.6	0.4	0.1	0.7	0.876	0.705	0.781	0.832	0.824	0.828
0.7	0.3	0.1	0.6	0.867	0.770	0.816	0.879	0.843	0.861
0.7	0.3	0.1	0.7	0.929	0.688	0.791	0.880	0.809	0.843
0.7	0.4	0.1	0.6	0.867	0.765	0.813	0.879	0.842	0.860
0.7	0.4	0.1	0.7	0.929	0.681	0.786	0.880	0.808	0.842

## 4 结 论

针对视频监控中的运动阴影检测问题, 本文首先提出了基于颜色特征的方法 SDNM 和基于梯度

特征的方法 SEBG, 是对现有方法的改进和创新; 然后提出了一个融合方法 MSECG, 进一步改善了运动分割性能. 本文方法简单有效, 不需要恢复场景信息以及对物体建模, 也不需要了解光源方向, 对光照变化较为鲁棒. 本文的另一个贡献是引入了一个

新的指标  $F$  值来综合评价阴影的检测性能,该指标融合了阴影检测的检测率和辨识率. 实验结果表明,本文方法比基准方法具有更好的阴影检测性能,具有更高的  $F$  值. 将来的工作将侧重在消除阴影后的运动物体的跟踪和行为识别方面.

### 参 考 文 献

- [1] Yoneyama A, Yeh C H, Kuo C C J. Moving cast shadow elimination for robust vehicle extraction based on 2D joint vehicle/shadow models [C] //Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, Miami, FL, 2003: 229-236
- [2] Koller D, Danilidis 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
- [3] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, *et al.* Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information [C] //Proceedings of the Intelligent Transportation Systems Conference, Oakland, 2001: 334-339
- [4] Yin Xiaohua. Multi-target detection and tracking technology in intelligent video surveillance [D]. Xi'an: Xidian University, 2006 (in Chinese)  
(尹晓华. 智能视频监控中多目标检测跟踪技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006)
- [5] Schreer O, Feldmann I, Gözl U, *et al.* Fast and robust shadow detection in videoconference applications[C] //Proceedings of the 4th EURASIP IEEE Region 8 Interational Symposium on Video/ Image Processing and Multimedia Communications, Zadar, 2002: 371-375
- [6] Horprasert T, Harwood D, Davis L S A. A statistical approach for real-time robust background subtraction and shadow detection [C] //Proceedings of IEEE ICCV'99 Frame-Rate Workshop, Kerkyra, 1999: 1-19
- [7] Toth D, Stuke I, Wagner A, *et al.* Detection of moving shadows using mean shift clustering and a significance test[C] // Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, Cambridge, 2004: 260-263
- [8] Chien S Y, Ma S Y, Chen L G. Efficient moving object segmentation algorithm using background registration technique [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(7): 577-586
- [9] Xu Dong, Liu Jianzhuang, Li Xuelong, *et al.* Insignificant shadow detection for video segmentation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, 15(8): 1058-1064
- [10] Javed O, Shah M. Tracking and object classification for automated surveillance[C] //Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, 2002: 28-31
- [11] Leone A, Distanto C, Buccolieri F. A texture-based approach for shadow detection[C] //Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, Miami, 2003: 371-376
- [12] Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C] //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Ft. Collins, North Carolina, 1999: 246-252
- [13] Liu Hong, Li Jintao, Qian Yueliang, *et al.* Motion and gray based automatic road segment method MGARS in urban traffic surveillance [M] //Lecture Notes in Computer Science. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, 4153: 85-94
- [14] Cucchiara R, Grana 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
- [15] Vorheese E. Overview of the TREC 2004 question answering track [C] //Proceedings of the 2004 Edition of the Text REtrieval Conference, TREC 2004, Gaithersburg, 2004: 52-62