

融合颜色和 CS-LBP 纹理的运动阴影检测^①

杨尚斌, 刘秉瀚

(福州大学 数学与计算机科学学院, 福州 350108)

摘要: 针对现存阴影检测方法存在的实时性和精确性兼顾不周的问题, 提出加权融合颜色和纹理特征的阴影检测方法: 首先利用 *HSV* 颜色信息提取疑似阴影点; 其次, 通过阴影的亮度比计算阴影亮度隶属度, 对于高亮度隶属度的疑似阴影点, 直接判定为阴影点, 减少了纹理检测的计算量; 然后对低亮度隶属度的疑似阴影点提取高效的 *CS-LBP* 纹理, 并进行纹理匹配, 根据纹理的相似程度及阴影空间分布特点, 计算出纹理隶属度; 最后, 根据实际中纹理随亮度变化的特点, 提出了依据亮度比自适应调整纹理隶属度权重的特征融合方法, 进行有效的阴影检测. 实验表明, 本文方法实时性良好, 可去除自阴影, 分割精度较佳, 隶属度方法的使用, 使本方法对光照变化及噪声更具有鲁棒性.

关键词: 阴影检测; 亮度分布; *CS-LBP* 纹理; 隶属度

Moving Target Shadow Detection Based on Color and CS-LBP Texture

YANG Shang-Bin, LIU Bing-Han

(Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Considering the contradiction of real-time and accuracy in existing shadow detection method, this paper presents a new shadow detection method, the method combines color feature and texture feature by weight fusion. Firstly, we use *HSV* color information to extract the suspected shadow points. Secondly, we calculate the shadow brightness membership according to the brightness ratio, then judge the points with high brightness membership as real shadow points, so we can reduce the calculation of texture detection. For those suspected shadow points with low brightness membership, we extract the *CS-LBP* texture of these points, because *CS-LBP* is highly efficient. Via matching texture, we calculate the texture membership according to the level of similarity of textures and distribution of shadow. At last, considering the fact that texture change with the brightness, we put forward the method of feature texture membership by weight fusion, and this weight self-adapts to the brightness ratio. Experiment results show that, the proposed method has a good real-time performance, it can remove the self-shadows, and performs better accuracy in segmentation. With using membership, the proposed method is more robust to noise and illumination changes.

Key words: motion shadow; brightness distribution; *CS-LBP* texture; membership degree

在智能交通中, 需对运动目标进行提取识别. 而运动目标所伴随的移动阴影, 由于和运动目标一样的区别背景且运动属性一致, 在用背景差分法检测运动目标时, 难以和运动目标准确分割. 产生的影响是: 所检测的运动目标变形、多运动目标粘连等, 影响系统进一步跟踪识别处理, 导致系统决策有误. 对于智

能交通, 实时高效处理交通事项是至关重要的, 因此对阴影正确快速检测具有重要意义.

纹理和颜色都是计算机视觉的重要特征, 是当前阴影检测常用的特征. 颜色空间对光照变化具有一定的鲁棒性, 目前基于颜色空间分割的一种方法是根据阴影点在 *HSV* 空间变化规律区分运动目标和阴影: 像

^① 基金项目:福建省自然科学基金(2013J01186,2012J01263)

收稿时间:2014-12-30;收到修改稿时间:2015-03-12

素点被阴影覆盖后,亮度降低,饱和度变小,色调变化不大;另一种方法是根据点像素值变化频率,使用多高斯模型模表示像素值的分布,依据运动目标和阴影颜色的分布区间不一致进行分割.然而由于颜色缺乏空间结构信息,当运动目标和背景颜色相似时,基于颜色特征的方法会出现将运动目标误判为阴影的现象,造成运动目标形变,甚至分割成多个目标.

相较于颜色特征,纹理特征具有不依赖颜色或亮度即可反映图像中像素同质现象的特点.纹理描述了像素灰度在空间上的分布特征,提供了一种描述空间结构的方法.利用纹理在阴影覆盖前后变化不大、运动目标纹理显著区别于背景的特点,可使用纹理区分运动目标和阴影.

常用纹理描述子有 *LBP* 和 *Gabor*.文献[3]利用 *Gabor* 滤波器获得区域纹理特征,比对相应的背景和阴影区域纹理,若纹理相似则为阴影.然而 *Gabor* 滤波器参数设置较多且敏感,滤波器模板大小需根据运动目标分辨率进行调整,实时性和适应性有所欠缺.文献[4]提出使用 *LBP* 检测阴影,并增添了中心像素信息以提高精确度,然而仅使用纹理信息和亮度信息,无法处理好自阴影,误检率依然较大.*LBP* 纹理描述子维数较高,抗噪性仍不足.*CS-LBP* 相对于 *LBP*,仅比较了中心点周围方向上像素值的大小.因此,*CS-LBP* 比 *LBP* 维数大大降低,计算量也相对减少.在中心点为噪声的情况下,*CS-LBP* 可表现出更好的抗噪性^[6,7].本文旨在提出一个实时性准确性兼顾的方法,因此,本文选用了 *CS-LBP* 作为纹理描述子.本文综合颜色和纹理,使用 *CS-LBP* 提取纹理,对颜色在空间描述上进行弥补.

1 阴影光照特性

由于直射光源被运动目标遮挡住了,其在地面会投射出相应的运动阴影.将光源分成两部分:直射光源和环境光源,其中直射光源由路灯或太阳产生,环境光源则为周围环境光源.假设 $G(x, y)$ 为坐标 (x, y) 处亮度值,投射到物体单位面积光照强度表示为 $E(x, y)$. $\rho(x, y)$ 是物体表面的反射系数,则光照模型^[9]可以为:

$$E(x, y) = C_A + C_P \cos(\angle N(x, y), L) \tag{1}$$

$$G(x, y) = E(x, y) \rho(x, y) \tag{2}$$

其中, C_A 和 C_P 分别为环境和光源的亮度, N 为物体表面的法向量, L 为物体表面到光源方向矢量, $k(x, y)$ 表示遮挡的软阈值,其中取值范围为 $[0, 1]$.

定义一个亮度比 $R(x, y)$, 表示像素点 (x, y) 在有阴影覆盖后和无阴影时的亮度比值,同一点 $\rho(x, y)$ 不变,则:

$$R(x, y) = \frac{E_{有阴影}(x, y)\rho(x, y)}{E_{无阴影}(x, y)\rho(x, y)} \tag{3}$$

$$= \frac{C_A + k(x, y)C_P \cos(\angle N(x, y), L)}{C_A + C_P \cos(\angle N(x, y), L)} < 1$$

对于点 (x, y) 邻域内, 差值 $\Delta g(x, y)$ 为:

$$\Delta g(x, y) = G(x, y) - G(x+i, y+j) \tag{4}$$

$$= k(x, y)C_P \cos(\angle N(x, y), L)\rho(x, y) - k(x+i, y+j)\cos(\angle N(x+i, y+j), L)\rho(x+i, y+j)$$

假设在小邻域 $C_A, C_P, k(x, y)$ 保持恒定, 可得 $C_P \cos(\angle N(x, y), L) \approx C_P \cos(\angle N(x+i, y+j), L)$, 因此 $R(x, y) \approx R(x+i, y+j)$. 邻域像素强度差值 $\Delta g(x, y)$ 正负性由反射因子 $\rho(x, y)$ 决定, 而 $\rho(x, y)$ 只与物体表面的物体特性相关, 不随光照变化而变化. 因此, 根据式(3)(4)可得结论有二:

- 1) 阴影区域的邻域像素点间, 亮度比值相似.
- 2) 像素点与邻域点正负性不变, 可用来描述局部纹理.

2 HSV及亮度分布特征

像素点在光照条件变化后, 像素值呈一定规律变化. *HSV* 模型反映了人的视觉系统感知彩色的方式, 相比于三通道相关 *RGB* 模型, *HSV* 模型可更准确地识别阴影. 当像素点被阴影覆盖时, 该像素点颜色的亮度会变暗, 饱和度通常变小, 而色度不会有较大变化. 所以可以采用式(5)判断像素点是否为阴影点^[5]:

$$SP(x, y) = \begin{cases} 1, & \alpha \leq \frac{I^V(x, y)}{B^V(x, y)} \leq \beta \text{ and} \\ & |(I^S(x, y) - B^S(x, y))| \leq T^S \text{ and} \\ & |I^H(x, y) - B^H(x, y)| \leq T^H \\ 0, & \text{others} \end{cases} \tag{5}$$

式中, $SP(x, y)$ 为图像坐标点处 (x, y) 的阴影像素点掩模; I^H, I^S, I^V 与 B^H, B^S, B^V 分别表示坐标点 (x, y) 处当前像素值与背景像素值的 H, S, V 分量.

$0 < \alpha < \beta < 1, 0 < T^S < 1, 0 < T^H < 1$, 当场上的阴影越深, α 就越小. 当时 $SP(x, y) = 1$, 则该点为疑似阴影点.

通过光照模型分析可知, 阴影区域亮度比值较为一致. 对疑似阴影区域的亮度比值进行直方图统计,

根据阴影点亮度比值较为一致、数量大、集中的特点,峰值部分为阴影点的可能性最大.文献[5]依据阴影前后像素点 RGB 值比呈单峰分布特点,用高斯模型拟合,划分阴影点和目标点.本文通过光照模型分析及试验验证得出,疑似阴影区域亮度比亦呈单峰分布(见图 1),最高直方图为阴影区域的可能性最高.



(a) 前景帧 (b) 运动目标二值图 (c) 亮度比直方图
图 1 疑似阴影点亮度比直方图

因此,本文将亮度比值从 α 到 β 间,以 0.01 为单量量化直方图.以最高直方图为标准,计算疑似阴影点的阴影隶属度,公式如下

$$C_i = 1 - |Bin_i - Bin_{max}| \quad (6)$$

Bin_{max} 为最高直方图横坐标亮度比, Bin_i 为第 i 个直方图横坐标亮度比.可知处在最高直方图的疑似阴影点隶属度为 1,处在 i 直方图的疑似阴影点隶属度为 C_i .直方图越偏离最高直方图,则其属于阴影的可能性越小.由于存在噪声,及现实情况和理想情况有一定误差.本文结合纹理再进行判断,对于隶属度为 1 的点,由于其高确定性及为了减少计算量,不需要对这类点再进行纹理判断.

3 CS-LBP纹理特征

光照模型分析可得,同光照强度下,邻域间像素强度差值的正负是不变的. LBP 计算中心像素点和邻点的正负性,以此描述局部像素变化特点,即纹理特征. LBP 被证实在纹理描述上的有效性,然而 LBP 维数较高,对平坦区域鲁棒性较低,易受噪声影响.文献[6,7]提出了更为高效的纹理描述子 CS-LBP,不同于 LBP 的比较方式,原理略有区别, LBP 以中心点 g_c 与其环形邻域像素灰度值的相对大小来描述该点的纹理结构,而 CS-LBP 只比较中心点周围方向上的大小值. CS-LBP 纹理描述子为 LBP 纹理描述子维数的 1/2,存储量大大降低,计算量也相对减少.在中心点为噪声的情况下, CS-LBP 可表现出更好的抗噪性.本文旨在建立一个高效快速的算法,因此采用 CS-LBP.

CS-LBP 描述无比较中心点,缺乏中心点描述,为了反映中心点和邻域的关系,本文将中心点和平均值进行比较.补上中心点描述,以获得更佳的纹理描述效果.所以 CS-LBP 式(7-9)所示:

$$m = \sum_{i=0}^{i=N-1} g_i / N \quad (7)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x > T \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (8)$$

$$CS-LBP_{R,N}(x,y) = \sum_{i=0}^{(N/2)-1} s(g_i - g_{i+(N/2)})2^i + (g_c - m)2^{N/2} \quad (9)$$

式中, R 为邻域半径, N 为邻域像素个数, m 是 R 半径区域像素平均值, g_c 为中心像素点 c 的亮度值, g_i 为其邻域像素点 i 的亮度值, $CS-LBP_{R,N}(x,y)$ 为中心点 (x,y) 的 $N/2+1$ 位纹理描述子, $s(x)$ 为判别式, T 为灰度阈值,增加了 CS-LBP 的抗噪性.

根据阴影像素点纹理的不变性,结合式(7-9)获得每个疑似阴影点的数字字符串,通过海明距离判断阴影.使用海明距离判断得到该点码距,即两个数字字符串中同一位置数值不同的个数.将个数除以数字字符串总个数,得到疑似阴影点隶属度:

$$t(x,y) = 1 - Ham(L_b(x,y), L_f(x,y)) / NUM \quad (10)$$

式中, $t(x,y)$ 为疑似阴影点纹理隶属度, $Ham()$ 为海明判断函数,判断两个字符串中同一位置数值不一样的个数,即为码距. $L_b(x,y)$, $L_f(x,y)$ 分别为背景点 (x,y) 及相应前景点 (x,y) 的 CS-LBP 海明编码, NUM 是编码个数, $NUM=N/2+1$, N 为邻域像素个数,本文增加了中心点描述,所以 $NUM=N/2+1$.

阴影在空间上呈聚集分布,具有一定面积大小和位置相关的特点.所以根据阴影的空间聚集性,及为了减少噪声影响,将获得结果进行一次腐蚀运算,对小区域和分散点给予隶属度惩罚,方式如下:

$$t(x,y) = \begin{cases} t, & \text{聚集区域} \\ t/\gamma, & \text{分散区域} \end{cases} \quad (11)$$

式中, $\gamma > 1$, 可见 $0 \leq t \leq 1$. 描述子相似度越高, $t(x,y)$ 越大,属于阴影的可能性就越大,符合了纹理相似性.对于分散点和小区域,其属于阴影的可能性较小,隶属度应被适当减小.

4 HSV-CS-LBP结合

现存众多文献如^[4,8]是对阴影先依据颜色或亮度信息检测,再依据纹理检测,此类方法缺点有二:一

则颜色检测中缺检的阴影,在纹理检测中得不到再检测确认;二则颜色检测中高概率确定的阴影中再进行纹理检测,增加了计算负担,且有可能被误检.因此,对为阴影可能性极高的像素点,本文提出对其无需进行纹理检测,即节省计算量,也可消除纹理检测环节将其误检.将纹理和颜色简单的双重检测也是有缺陷的,本文将根据纹理随亮度实际变化情况,设计出合理的纹理颜色特征结合方式.

CS-LBP 纹理描述和局部像素值变化有关,上述我们得到相邻像素间正负性有反射因子决定,所以光照条件变化并不影响正负性.但实际中发现,光照变化较大时,像素间关系变化并不规律,即相邻像素不是近似同等程度变化;极端情况下,如亮度近似 0,图像区域并不反映像素值差别,这一变化已有文献提及^[8].具体表现为:当区域被重阴影覆盖时,区域较为平滑,与原纹理相比,纹理变化较大;而被轻阴影所覆盖的区域纹理,变化较小,适合用纹理相似性判断阴影.所以本文根据这一特征,设计权重,在光照变化较大的疑似阴影点,纹理权重较低,而光照变化较轻的疑似阴影点,权重较重.阴影越重,阴影覆盖前后的像素点亮度比值就越小.设计权重如式(12)所示:

$$w(x,y) = \frac{R(x,y) - \alpha}{\beta - \alpha} \quad (12)$$

$R(x,y)$ 为疑似阴影点阴影覆盖前后的亮度比值, α 、 β 为 HSV 获取疑似阴影点时的亮度范围.将纹理隶属度和亮度隶属度相结合,可得:

$$D(x,y) = w(x,y) * t(x,y) + (1 - w(x,y)) * C(x,y) \quad (13)$$

$$f(x,y) = \begin{cases} \text{阴影点, } D(x,y) \geq T \\ \text{运动目标, } D(x,y) < T \end{cases} \quad (14)$$

$D(x,y)$ 定义为阴影最终隶属度, T 为隶属度阈值,当 $D(x,y)$ 大于 T 时,点 (x,y) 即为阴影点,否则为运动目标.综上所述,本算法流程步骤如下:

①输入视频,获取前景帧若干帧经背景差分法训练生成背景帧.

②生成稳定背景后,获取前景帧,利用基于 HSV 的 DNM 算法(见公式(5)),提取疑似阴影区域.

③对疑似阴影区域作亮度直方图,并计算亮度隶属度(见公式(6)),亮度隶属度为 1 的点判定为阴影.

④对亮度隶属度小于 1 的点计算 CS-LBP 纹理隶属度,(见公式(7-11)).

⑤结合亮度隶属度和纹理隶属度,得到最终阴影

(见公式(12)-(14)).

5 实验结果

为了测试本方法的性能,本文采用 ATON 组织提供的两段公路视频(*highI_raw.avi*, *campus.avi*)检验本文方法,测试平台为 *Petium(R) daul-Core CPU E5200 2.50GHz*, 1.0GB 内存, *Windows 7* 操作系统, *VS2010* 编译器,图像处理库为 *OpenCV 2.6*.

由于本文采用的是纹理和颜色软性结合的方法, α , β , T^S , T^H 可宽松,尽量将所有阴影全部被检测到,即使有误检,亦可结合纹理方法再综合判断.而纹理隶属度惩罚 r 经试验调试,选 2 合适.具体设置见表 1.

表 1 算法参数设置

视频	α	β	T^S	T^H	T	r
<i>highI_raw.avi</i>	0.2	0.8	0.2	0.25	0.56	2
<i>campus.avi</i>	0.25	0.85	0.2	0.25	0.65	2

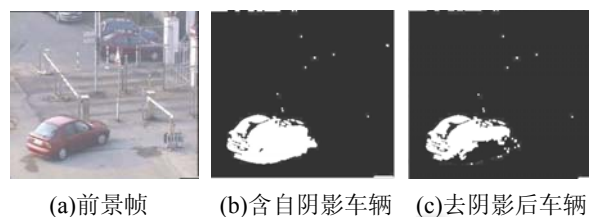


图 4 具有自阴影的车辆帧 (*campus.avi*)

图 4 显示的是 *campus* 中的一帧图像, *campus* 视频噪声较重.在(a)图像中可见,车辆阴影较轻淡,且车辆包含了自阴影(车体背光部分),自阴影同样具有亮度较低,颜色区别于运动目标的特点.本文结合了纹理和颜色信息,区分开了自阴影,较好的去除了阴影.

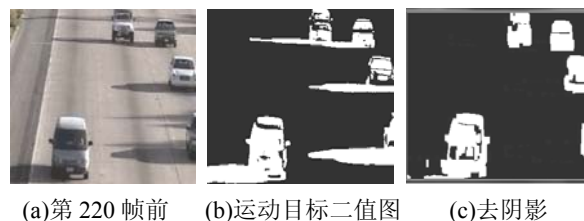


图 5 视频 *highI_raw.avi* 处理效果

图 5 是 *highI_raw.avi* 中的图像,该视频中,阴影较大,车辆和背景颜色接近,所以仅利用颜色,运动目标容易被识别为阴影.加上纹理特征可较佳排除运动

目标被误识别为阴影的情况。最后利用形态学处理,填充了空洞,去除小面积得到真实阴影。

为了更佳表现出本方法的优越性,本文选取了 *highI_raw.avi* 作为测试视频,将本文方法和文献[5]DNM 基于颜色特征方法,文献[3]基于 Gabor 小波和颜色模型的阴影检测算法方法,文献[8]融合 LBP 纹理特征和阴影属性的方法进行对比。

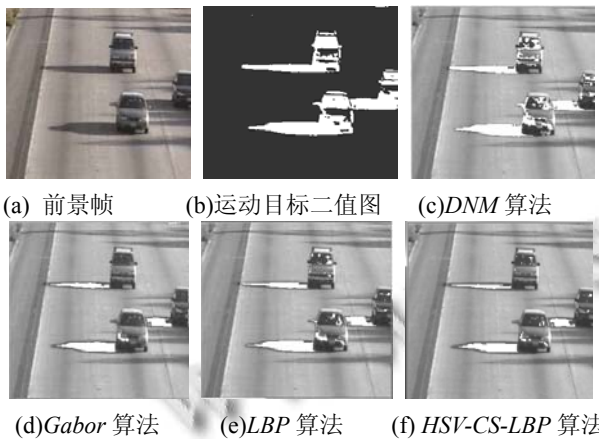


图 6 各算法比较结果

本文采用阴影检测率 η 和物体检测率 ξ 作为统计量,量化对比效果。其中

$$\eta = \frac{TP_S}{TP_S + FN_S}, \xi = \frac{TP_F}{TP_F + FN_F}$$

式中, TP_S 和 TP_F 分别为正确检测到的阴影像素点数和前景像素点数, FN_S 和 FN_F 分别表示为被误判为前景的阴影像素点数和被误判为阴影的前景像素点。结果见表 2。

表 2 相关算法时间对照表

方法	η (%)	ξ (%)	Time(s)
DNM ^[4]	66.4	56.1	0.087
Gabor ^[3]	79.8	73.2	0.480
LBP ^[8]	70.9	70.2	0.123
HSV-CS-LBP	74.8	70.5	0.118

综上所述,仅使用颜色信息的 DNM 算法,处理简单,时间最快,但易将车辆识别为阴影,造成车辆目标形态缺失; Gabor 在纹理表述上更为全面,和颜色信息结合可较好去掉阴影,但时间消耗大。文献[8]结合了 LBP 纹理特征和亮度特征,也可将阴影大体检测出,但由于只采用亮度特征,在自阴影上处理效果欠佳。

本文方法处理效果较好,阴影基本上被检测出来,且算法不复杂,实时性优。

6 结论

本文利用纹理特性对仅使用颜色方法的阴影检测进行了空间描述上的补充。引进了隶属度方法,改变了对颜色和纹理两步骤检测的硬阈值判断。针对纹理特征随光照的变化,设计权重,有效的综合了颜色和纹理的阴影检测,减少了计算,提高了正确率。实验表明了,相对于现有的颜色和纹理结合方法,本文方法在计算时间和精确度上具有综合优势,可应用于实际中。

参考文献

- 李广伦, 艾伟群. 运动目标的阴影实时检测和消除. 小型微型计算机系统, 2011, 32(2): 361-364.
- 张红颖, 李鸿, 孙毅刚. 基于混合高斯模型的阴影去除算法. 计算机应用, 2013, 33(1): 31-34.
- 柏柯嘉, 刘伟铭, 汤义. 基于 Gabor 小波和颜色模型的阴影检测算法. 华南理工大学学报(自然科学版), 2009, 37(1).
- 胡园园, 王让定. 基于局部纹理不变性的运动阴影去除算法. 计算机应用, 2008, 28(12): 3141-3143.
- Song KT, Tai JC. Image-based traffic monitoring with shadow suppression. Proc. of the IEEE, 2007, 95(2): 413-426.
- Heikkil M, Pietik inen M, Schmid C. Description of interest regions with center-symmetric local binary patterns. Computer Vision, Graphics and Image Processing. Springer Berlin Heidelberg, 2006: 58-69.
- Junding S, Shisong Z, Xiaosheng W. Image retrieval based on an improved CS-LBP descriptor. 2010 The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering (ICIME). IEEE. 2010. 115-117.
- 余孟泽, 刘正熙, 骆键, 等. 融合纹理特征和阴影属性的阴影检测方法. 计算机工程与设计, 2011, 32(10): 3431-3434.
- Siala K, Chakchouk M, Chaieb F, et al. Moving shadow detection with support vector domain description in the color ratios space. Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proc. of the 17th International Conference on. IEEE. 2004, 4. 384-387.