

基于组合特征和 HSI 颜色空间的阴影检测

李子龙^{1,2}, 刘伟铭¹

(1 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640; 2 徐州工程学院 信电工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 为了更有效地检测视频序列中的阴影, 提出基于组合特征和 HSI 颜色空间的阴影检测算法. 对提取的前景, 先采用扩展的不变矩和 Gabor 小波变换分别抽取待识别区域的全局特征和局部特征来建立组合特征向量, 再通过建立的 HSI 空间的阴影颜色模型来准确检测出目标的阴影. 实验结果表明, 该算法具有良好的阴影检测效果.

关键词: 阴影检测; 组合特征; 扩展的不变矩; Gabor 小波变换; HSI 颜色空间

中图分类号: TP391.42

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)03-0066-04

Shadow Detection Based on Mixed Feature and HSI Color Space

LI Zi-long^{1,2}, LIU Wei-ming¹

(1 School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2 School of Information and Electrical Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: In order to effectively detect the shadow area in video image sequences, this paper proposes a new shadow detection algorithm based on mixed feature and HSI color space. After the foreground figures are extracted, this algorithm proposes to use extended moment invariants to get global feature of image and use Gabor wavelet transform to get local feature. Then, combining the global feature and the local feature will fuse into a new feature to be processed. Finally, there is a further analysis of HSI color space to search real shadow area. Experimental results shows that the proposed algorithm owns high performance of shadow detection.

Key words: shadow detection; mixed feature; extended moment invariants; Gabor wavelet transform; HSI color space

1 引言

现有的阴影检测算法大致可以分为三类: 基于模型的、基于纹理的和基于阴影属性的. 这些方法都有其各自的优点和缺点. 基于模型^[1]的方法需要事先知道光源的位置、方向和阴影发生的时间等, 但这些条件都是很难确定的且随不同的应用环境变化的, 并且难以满足实时检测的需要. 基于纹理^[2]的方法需要对提取的图像纹理特征和背景纹理特征进行对比分析, 如果图像子块中细节很多导致纹理特征不明显, 则会出现误检测现象. 基于阴影属性^[3-4]的方法通常需要定义一些属性的阈值, 而这些阈值只能从实验中提取, 且随条件变化很大.

为此, 文中提出了一种基于图像的组合特征和颜

色模型的阴影检测算法. 对提取的前景采用扩展的不变矩和 Gabor 小波变换分别抽取待识别区域的局部特征和全局特征来建立组合特征向量, 再通过建立的 HSI 空间的颜色模型来准确检测出目标的阴影.

2 实现方案

2.1 不变矩和 Gabor 分析

对于 $M \times N$ 大小的图像, 其密度函数 $f(x, y)$ ($0 \leq x \leq M, 0 \leq y \leq N$) 在平面 R^2 上的 $p+q$ 阶矩定义为^[5]

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q f(x, y), p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Hu 在其基础上又定义了由三阶规格化后的中

收稿日期: 2010-04-01; 修回日期: 2010-06-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(50978106); 徐州工程学院校级课题(XKY2008217)

心距的非线性组合构成的 7 个量值,这些矩就成为同时满足平移、伸缩、旋转都不变性的不变矩.它们对图像拥有较好的鲁棒性,很好地描述了目标图像的信息.

在信息光学中,通过对图像成像质量等的分析提出了结构复杂度的概念.所谓一幅图像的“结构”丰富度,是指该幅图像上光强随坐标位置变化的急剧程度.设图像 $f(x, y)$, 它的结构丰富的程度由下面的积分定义^[6]:

$$S_F = \iint_F f^2(x, y) dx dy \quad (2)$$

就是说,在面积 F 下中总光能给定,即 $\iint_F f(x, y) dx dy = \text{常量}$ 的前提下, S_F 越大则图像的结构越丰富.为此,通过对物体函数 $f(x)$ 的变换,将其映射到另一个变换空间,以达到易于区分和识别的目的.

于是,对于 $M \times N$ 大小的图像密度函数 $f(x, y)$ ($0 \leq x \leq M, 0 \leq y \leq N$) 在平面 R^2 上扩展的 $p+q$ 阶矩变为

$$m'_{pq} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} x^p y^q f^2(x, y), p, q = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

类似的,也可得到 Hu 构造出的其他 7 个扩展的不变矩.在扩展的不变矩分析中,我们先把可能的阴影区域划分成若干个图像子块,分别提取这些图像子块的像素值 $f(x, y)$, 然后通过扩展的不变矩变换得到图像子块的三阶规格化后构成的 7 个不变矩的量值向量,设分别为 $\phi = (\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7)$, 用它们表示图像子块的整体特征.

不变矩反映了目标图像的全局信息,而 Gabor 特征反映了目标图像的局部信息.两个特征本身拥有较好的互补特性,故此,可借助 Gabor 小波来进一步提高目标图像的描述能力.一般来说,一个二维 Gabor 函数 $g(x, y)$ 及其傅里叶变换 $G(u, v)$ 可以表示为^[7]:

$$g(x, y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \right) \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) + 2\pi j\omega x \right] \quad (4)$$

$$G(u, v) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(u-\omega)^2}{\sigma_u^2} + \frac{v^2}{\sigma_v^2} \right] \right\} \quad (5)$$

式中, ω 为中心频率; σ_u 和 σ_v 为频率域的带宽参数,

$\sigma_u = \frac{\pi}{2}\sigma_x, \sigma_v = \frac{\pi}{2}\sigma_y$; σ_x 和 σ_y 为空间域的带宽参数.

令 $g(x, y)$ 为母小波,通过母小波的膨胀和旋转,得到 Gabor 小波变换:

$$g_m(x, y) = a^{-m} g(x', y') \quad (6)$$

式中, m, n 为整数; a 为大于 1 的实数; a^{-m} 为比例因子; $\theta = m\pi/K$; K 为方向数; $x' = a^{-m}(x\cos\theta + y\sin\theta)$; $y' = a^{-m}(-x\sin\theta + y\cos\theta)$.

对输入图像中点 (x, y) 的像素值 $f(x, y)$, 其 Gabor 小波变换可以表示为

$$W_m(x, y) = \iint f(x_1, y_1) g_m^*(x - x_1, y - y_1) dx_1 dy_1 \quad (7)$$

用 Gabor 小波变换系数的模的平均值 μ_m 和 σ_m 标准差来表示抽取的灰度图像的特征,其中

$$\begin{aligned} \mu_m &= \iint |W_m(x, y)| dx dy, \sigma_m \\ &= \left[\iint (|W_m(x, y)| - \mu_m)^2 dx dy \right]^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

则特征向量可以用 μ_m 和 σ_m 来表示.对于尺度数为 4, 方向数为 6 的 Gabor 小波,则图像子块的局部特征向量可以表示为 $(\mu_{00}, \sigma_{00}, \mu_{01}, \sigma_{01}, \dots, \mu_{35}, \sigma_{35})$.

这样,针对每个图像子块所生成的局部特征向量与前面的不变矩变换产生的 7 个全局特征值一起形成 31 维的组合特征向量 $V = (v_1, v_2, \dots, v_{31})$. 进而通过比较阴影下和相应背景图像的组合特征向量和的欧式距离即可判别出该图像是否为阴影.

$$D(v^i, v^j) = \sum_m \sum_n \sqrt{(\mu_{mn}^i - \mu_{mn}^j)^2 + (\sigma_{mn}^i - \sigma_{mn}^j)^2} + \sum_i \sqrt{(\phi_i^{H_i} - \phi_i^{H_j})^2 + (\phi_i^{S_i} - \phi_i^{S_j})^2} \quad (8)$$

2.2 颜色模型分析

HSI 空间直接对应彩色视觉特征的三要素即色调、饱和度和亮度,三分量是互相独立的.根据阴影区域中的亮度变暗,色调、饱和度变化不大的特点,假设 I^H, I^S, I^I 和 B^H, B^S, B^I 分别代表前景图像和背景图像的 H, S, I 三个分量,那么点 (x, y) 是一个阴影点当且仅当满足下面三个条件式:

$$\left| \frac{I^I(x, y)}{B^I(x, y)} - \gamma_I \right| \leq 1.5\sigma_I \quad (9)$$

$$\| I^S(x, y) - B^S(x, y) | - \gamma_S | \leq 1.5\sigma_S \quad (10)$$

$$\| I^H(x, y) - B^H(x, y) | - \gamma_H | \leq 1.5\sigma_H \quad (11)$$

式中, $\gamma_H, \gamma_S, \gamma_I$ 和 $\sigma_H, \sigma_S, \sigma_I$, 它们分别为阴影区的色度、饱和度和亮度的归一化平均值及其标准差.

上面这些参数是通过特定帧图像的分析而得到的.也就是分析特定帧中有阴影覆盖和无阴影覆盖时的色度差值、饱和度差值和亮度比值,然后再根据其统计特性得到的.

2.3 算法步骤

文中阴影检测算法的步骤如下:

(1) 建立背景的自适应混合高斯分布模型,并选取一定数量的视频帧进行背景提取,当获得新的视频帧时,就更新混合高斯分布模型.再通过分析特定帧中前景区域和背景区域的 I 比率及 H 、 S 的差值,计算相应的颜色模型参数(即色度、饱和度和亮度的归一化平均值及其标准差),建立 HSI 阴影颜色模型.

(2) 对当前帧与背景帧进行差分,再对差分图像进行 Canny 边缘检测,从而得到连续的边缘.最后进行轮廓检测,找出当前帧中的前景部分.

(3) 将图像划分为一个个图像子块,通过扩展的不变矩和 Gabor 小波变换,分别计算前景和背景区域中以每个像素点为中心的小区域(5×5)的组合特征(即不变矩变换的全局特征和 Gabor 小波变换的局部特征相结合).如果前景和背景的组合特征之间的欧氏距离不超过一定阈值,则认为该像素点为可能的阴影点.

(4) 对所有可能的阴影点,求出其前景和背景色的 I 比率及 H 、 S 的差值,并结合颜色模型的归一化平均值及其标准差来判断该点是否阴影点.

(5) 对所有可能的阴影点进行连通区域标记和形态学操作,消除孤立点,得到候选的阴影区域.再通过误检测区域分析,获得图像中真正的阴影区域.

3 实验结果及分析

为了验证文中算法的效果,选取了一段高速公路上的视频序列进行阴影检测.图 1 显示了对视频中的某一帧阴影检测算法的处理过程.图 1(a)所示

为原视频帧图像;图 1(b)所示为当前帧对应的背景图像;图 1(c)、(d)、(e)和(f)所示的分别为对原视频帧图像进行前景提取、不变矩和 Gabor 小波组合特征的分析、HSI 颜色模型分析和后续处理的结果.

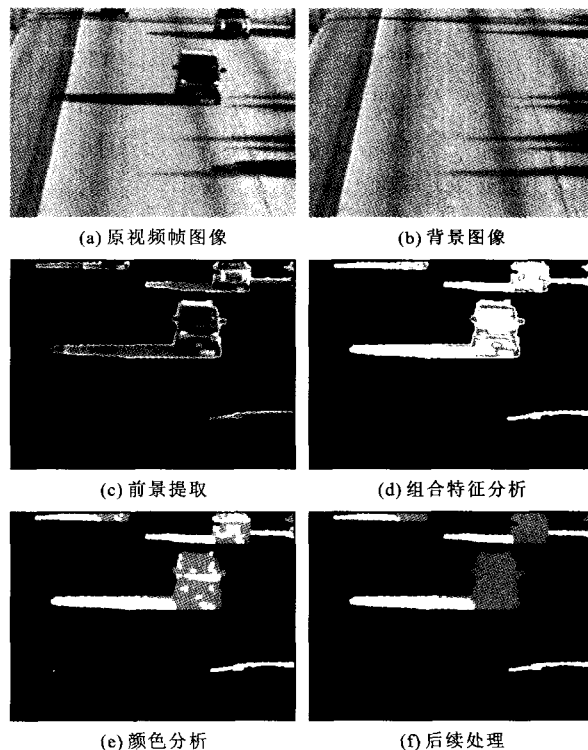


图 1 阴影处理的过程图

图 2 显示了本算法对不同视频帧的阴影检测结果.其中图 2(a)所示为阴影检测前的视频帧图像,分别是视频序列的第 20、70、90、100、170、190 帧.图 2(b)所示为对这些视频帧的阴影检测结果.可以看

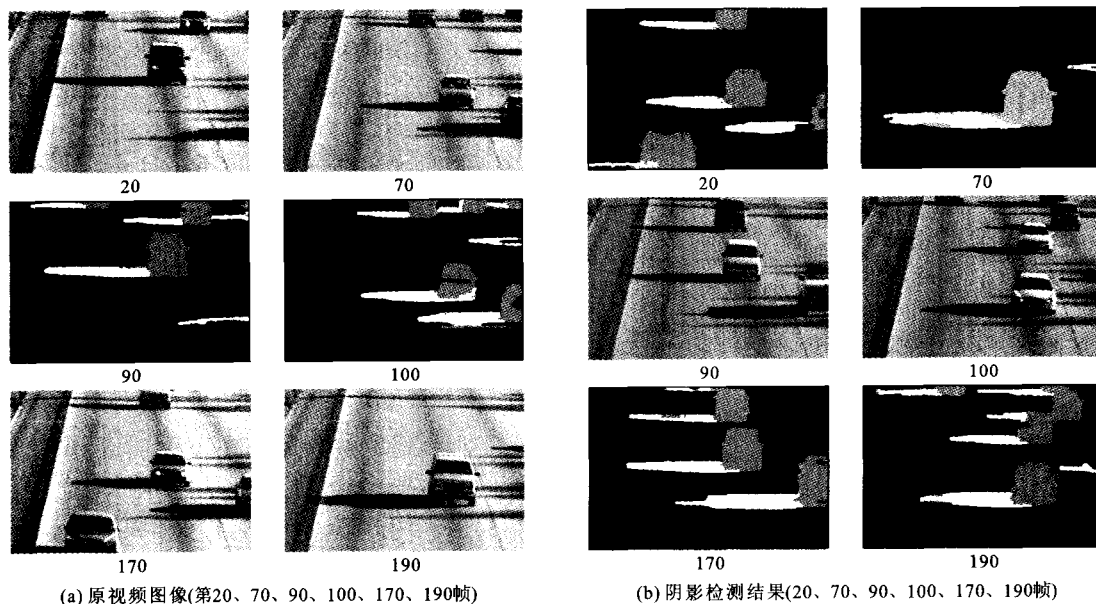


图 2 视频不同帧的阴影检测结果对比图

出,即使是物体在图像中没有完整出现,或者阴影只显示了一部份,本文算法都能达到很好的阴影检测效果.这是因为本文算法并不需要像基于模型的方法那样,对物体的形状、大小和位置、光照的方向等信息有事先的了解,这提高了算法的鲁棒性.

4 结束语

本文提出了一种基于组合特征和 HSI 颜色空间的阴影检测算法.首先通过扩展的不变矩变换和 Gabor 小波变换分别获得待识别区域的全局特征和局部特征来构成组合特征向量;然后通过 HSI 阴影颜色模型,对阴影区域进行第二次分析;最后通过连通区域标记和形态学操作,并再通过误检测区域分析,确定最终的阴影检测结果.实验结果表明,本算法具有较高的阴影检测效果.

在本文算法中,扩展的不变矩变换和 Gabor 小波变换的运算量相对较大.再就是,对全局特征和局部特征所起的作用需要根据实际情况区别对待而给予不同的权重.下一步的研究将改进该算法,以实现阴影更快更准确的检测和识别.

参考文献:

- [1] Song K, Tai J. Image-based traffic monitoring with shadow suppression [C]// Proceedings of the IEEE.

(上接第 65 页)

由表 2 中粗体部分可以看出, BP 网络能准确地对 4 个变化的字符目标进行分类识别,并能排除非目标 E 字符图像的干扰.大量的测试样本实验表明, BP 网络对 4 个字符目标在旋转($0^{\circ} \sim 360^{\circ}$)、尺度缩放(0.7~1.5)之间的识别率可达 95.5%.

5 结束语

相对其他矩特征提取算法, Hu 不变矩算法较为简单,便于实现,但其矩值易受目标背景噪声的干扰而变的不稳定,因此,实际应用中目标图像的除噪预处理是有必要的.采用附加动量项和学习速率自适应调整相结合的改进 BP 算法,能有效地提高网络的训练速度和识别精度.实验结果表明,这种将不变矩特征与神经网络算法相结合的目标识别方法对平移、旋转、尺度缩放变化目标图像的识别是有效的、可行的.

New York: IEEE, 2007, 95(2): 413-426.

- [2] Leone A, Distanto C, Ancona N, et al. Texture analysis for shadow removing in video-surveillance systems [C]// Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Hague, Netherlands: IEEE, 2004: 6325-6330.
- [3] 赵永锋, 王毅刚. 采用手指的三维人机交互方法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(6): 21-24.
- [4] 张哲源, 史颖欢, 高阳. 基于色彩和形态特征的人阴影检测方法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(10): 86-88.
- [5] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1962(8): 179-187.
- [6] Li Zongmin, Hou Kunpeng, Liu Yujie, et al. The shape recognition based on structure moment invariants[C]// The 2005 International Conference on Intelligent Computing. Hefei: ICIC, 2005.
- [7] Manjunath B S, Ma W Y. Texture features for browsing and retrieval of image data [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(8): 837-842.

作者简介:

李子龙 男, (1979-), 博士生, 讲师. 研究方向为图像处理、模式识别与目标跟踪.

刘伟铭 男, (1963-), 教授, 博士生导师. 研究方向为智能交通、图像处理.

参考文献:

- [1] 孙宝琛, 时银水, 朱岩. 基于模糊神经网络的目标识别[J]. 电光与控制, 2005, 12(3): 50-54.
- [2] 张蕾, 普杰信. 一种基于改进 BP 网络的物体识别方法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(4): 153-155.
- [3] 任毅. 用于激光雷达图像识别的不变矩特征向量研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [4] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariant[J]. IRE Trans Information Theory, 1962, 18(2): 179-187.
- [5] 焦李成. 神经网络的应用与实现[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1993.
- [6] 周开利, 康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [7] 汤茂斌, 谢渝平. 基于神经网络算法字符识别方法研究[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(8): 19-93.

作者简介:

孙红辉 男, (1975-), 博士, 讲师. 研究方向为图像处理与模式识别.