

一类光照不均图像的特征提取方法^①

吴金杰, 杨翠荣, 杨 勇, 庞 全

(杭州电子科技大学 生物医学工程与仪器研究所, 杭州 310018)

摘要: 图像采集过程中因环境光照不佳等原因往往造成的光照不均, 同一物体在不同光照条件下成像差异极大, 给图像特征提取带来了挑战。为了提高特征提取对光照不均的鲁棒性, 提出了基于色彩衡量的特征检测方法。根据 Kubelka-Munk 光谱辐射理论, 分析计算颜色的空间结构和光谱结构, 利用高斯颜色模型估算得到色彩衡量取代灰度图作为信息输入, 并在多个尺度下结合 Harris 角点检测方法进行角点提取, 综合得到图像特征信息。实现结果显示, 相比传统的特征检测方法, 该算法得到的特征点具有数量多、分布均匀及鲁棒性强等优势, 较好的解决了光照不均带来的影响。

关键词: 色彩衡量; 多尺度; 光照不均; 特征提取; 照明光谱;

Feature Extraction for a Class of Uneven Illumination Image

WU Jin-Jie, YANG Cui-Rong, YANG Yong, PANG Quan

(Institute of Biomedical Engineering and Instrument, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Changes in lighting are unavoidable and they have a big effect on the way the object looks. It makes a challenge to find a robust local invariant feature descriptor for these uneven illumination images. Most of approaches to feature extraction are based on the premise of that the color image should be converted to grayscale. This paper presents a new approach that it introduces the color independent components based on the Kubelka-Munk model instead of using the gray space to detect the corners. It uses multi-scale Harris corner detection to show the feature of the image, so more details were demonstrated. Experimental results support the potential of the proposed approach.

Key words: color independent components; multi-scale Harris; uneven illumination; feature extraction; illumination Spectrum;

1 引言

图像的特征提取是图像分析过程中的基础, 广泛应用于图像配准、图像拼接、图像检索、图像动态跟踪以及图像分类识别等领域。目标图像存在光照、旋转、视点、尺度、噪声以及模糊等变换, 因此如何得到鲁棒性更强的图像特征成为该领域的研究重点。

在图像采集过程中光照环境不合理或者目标物体采光不均衡均会导致图像光照不均, 光照不均现象将会影响图像特征的提取精度。目前传统的特征提取方法中, Harris 算子由于其计算简单、易于实现能够在图像旋转、平移以及灰度变化等干扰的条件下准提取

出角点, 在工程中应用比较广泛。如图 1 中(a)和(b)采光不同的情况下利用 Harris 算子进行角点检测的结果, 光照均匀的(a)图角点分布均匀且数量丰富, 而光照不均的(b)图角点集中分布在光照强烈的中间区域, 在较昏暗的周边区域没有检测到任何特征。如何能够得到鲁棒性更强的特征提取方法, 即是本文研究的重点。

目前处理光照不均的方法主要分为两类。第一类对图像预处理来减小光照变化带来的影响, 直方图均衡化为处理线性变化的经典方法^[1]。第二类则是寻找亮度不变特性进行处理, 文献[2-3]利用梯度信息处理

^① 基金项目: 国家科技支撑计划(2009BAB47B06)

收稿时间: 2011-04-06; 收到修改稿时间: 2011-05-06

线性光照变化, 在三维物体识别中可以处理沿图像某方向单调变化的非均匀光照。根据 Kubelka-Munk 光谱辐射理论, 颜色的反射光谱真实反映了颜色的本质, 反射光谱取决于照射图像的光源波长、同时依赖于目标图像对光照的散射和吸收比率^[4]。文献[5]利用高斯颜色模型分析了颜色的光谱结构和空间结构, 对无光泽、哑光并且不透明的目标图像, 得到了一个鲁棒性较强的基于色彩的光照不变衡量, 并估算出了反射光谱信息和 XYZ 颜色空间模型之间的映射关系。本文利用估算得到的色彩衡量信息, 将其运用到图像特征提取中。由于此方法存在边缘稳定性存在问题, 本文使用多尺度 Harris 特征检测方法, 对噪声抑制也具有较好的效果, 特征点的检测更加精确。实验结果显示, 该方法对光照不均匀的图像较好的处理能力, 在图像变化较为剧烈的情况下仍能检测到稳定的特征信息, 具有较高的使用价值。



图1 传统 Harris 特征提取(a)光照均匀情况下采集图像 (b)单束光从左下角照射情况下采集得到图像

2 基于色彩衡量的信息恢复

2.1 色彩衡量原理

Kubelka-Munk 理论描述了物体的光谱辐射特性, 其模型表达式为^[5]:

$$E(\lambda, \bar{x}) = e(\lambda, \bar{x})(1 - \rho_f(\bar{x}))^2 R_\infty(\lambda, \bar{x}) + e(\lambda, \bar{x})\rho_f(\bar{x}) \quad (1)$$

其中 λ 表示波长, \bar{x} 表示图像的位置, $e(\lambda, \bar{x})$ 表示照明光谱强度, $\rho_f(\bar{x})$ 表示在该位置的菲涅尔 (Fresnel) 反射系数, $R_\infty(\lambda, \bar{x})$ 表示目标物体的材料反射率, $E(\lambda, \bar{x})$ 为物体的反射频谱。在光源稳定的情况下, 照明光谱强度与 λ 无关, 表示为 $i(\bar{x})$, 式(1)

等价于:

$$E(\lambda, \bar{x}) = i(\bar{x})[(1 - \rho_f(\bar{x}))^2 R_\infty(\lambda, \bar{x}) + \rho_f(\bar{x})] \quad (2)$$

对于无光泽、哑光的物体 $\rho_f(\bar{x}) \approx 0$, 公式可进一步简化为:

$$E(\lambda, \bar{x}) = i(\bar{x})R_\infty(\lambda, \bar{x}) \quad (3)$$

对求偏微分

$$E_\lambda = \frac{\partial E}{\partial \lambda} = i(\bar{x}) \frac{\partial R_\infty(\lambda, \bar{x})}{\partial \lambda} \quad (4)$$

综合式(3)和式(4)得到:

$$C_\lambda = \frac{E_\lambda}{E} = \frac{1}{R_\infty(\lambda, \bar{x})} \frac{\partial R_\infty(\lambda, \bar{x})}{\partial \lambda} = f(R_\infty(\lambda, \bar{x})) \quad (5)$$

可以看出 C_λ 只与目标物体的材料反射率 $R_\infty(\lambda, \bar{x})$ 有关, C_λ 是色彩衡量的一种表述, 它是一个与观察者位置、表面朝向、光强大小和照明方向均无关的值。

2.2 色彩衡量的计算方法

高斯颜色模型在 Kubelka-Munk 光谱辐射理论基础上详尽分析了颜色的光谱结构和颜色的空间结构, 估算出了目标图像的反射频谱和 XYZ 颜色空间模型映射关系, 光谱分量 ($\hat{E}, \hat{E}_\lambda, \hat{E}_{\lambda\lambda}$) 和 XYZ 颜色空间的线性关系^[5]:

$$\begin{bmatrix} \hat{E} \\ \hat{E}_\lambda \\ \hat{E}_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.48 & 1.2 & 0.28 \\ 0.48 & 0 & -0.4 \\ 1.18 & -1.3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \\ \hat{Z} \end{bmatrix} \quad (6)$$

根据 CIE 1964 XYZ 颜色标准 RGB 颜色, 模型与 XYZ 颜色模型之间的线性转换关系:

$$\begin{bmatrix} \hat{X} \\ \hat{Y} \\ \hat{Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.62 & 0.11 & 0.19 \\ 0.3 & 0.56 & 0.05 \\ -0.01 & 0.03 & 1.11 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (7)$$

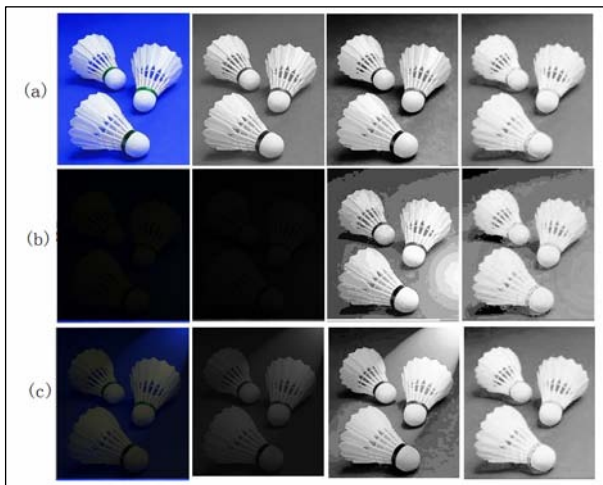
综合(6)和(7)可以得到光谱分量 ($\hat{E}, \hat{E}_\lambda, \hat{E}_{\lambda\lambda}$) 和 RGB 颜色空间的线性关系:

$$\begin{bmatrix} \hat{E} \\ \hat{E}_\lambda \\ \hat{E}_{\lambda\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.63 & 0.27 \\ 0.3 & 0.04 & -0.35 \\ 0.34 & -0.6 & 0.17 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (8)$$

将估算得到的光谱分量 ($\hat{E}, \hat{E}_\lambda, \hat{E}_{\lambda\lambda}$) 代入式子 (5), 并对得到的 C_λ 进行归一化处理, 对于曝光不足

的照片, 色彩衡量 C_λ 仍然可以较全面的表现源图像的特征信息。

如图 2 中, (a)为光照充分且均匀条件下采集图像, (b)为图片曝光不足条件下图像, (c)为单束光照射条件下采集到的光照不均图像。对三组图像分别使用传统的灰度直方图均衡化方法和色彩衡量化方法进行处理。观察可知在曝光不足的情况下两种方法均可以较好恢复图像特征, 而在光照不均的情况下灰度直方图均衡化方法无法避免光束的影响, 而色彩衡量化方法在三种光照条件下显示出了较强的鲁棒性。



(1)为源图像(2)图像的灰度图(3)直方图(4)色彩衡量归一均衡化效果 (5)灰度图

图 2 色彩衡量与传统方法效果比较

3 Harris特征检测

C. Harris 和 M.J.Stephens 于 1988 年在 Moravec 算子的基础上进行了改进, 提出了 Harris 特征点检测算法。Harris 自相关矩阵 $M^{[6]}$:

$$M = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中 $w(x,y)$ 为高斯模板, I_x 和 I_y 分别为水平和垂直方向像素梯度值,

$$R(x,y) = \det M - k \cdot tr^2 M \quad (10)$$

$$\det M = \lambda_1 \lambda_2 \quad (11)$$

$$trM = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (12)$$

其中 $\det M$ 为行列式 M 的值, trM 为行列式

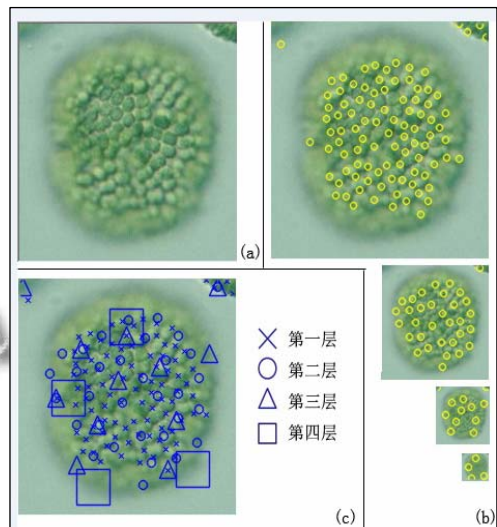
M 的迹, λ_1, λ_2 为行列式的特征值, k 一般取 $0.04 \sim 0.06$ 。当值 $R(x,y)$ 值超过预设阈值 R_0 , 并且为周围点的极大值时, 则该点即为所求角点。

3.1 多尺度 Harris 特征提取

Harris 算子操作简单、计算量小, 广泛应用于图像处理领域。然而图像的局部结构特征并不会只表现在单一尺度下^[7], 为了更加全面的提取图像的局部特征, 同时避免噪声干扰^[8], 本文在多尺度空间范围内进行特征的检测和提取。图像金字塔是指一个图像集合, 集合中的所有图像都源于一个原始图像, 而且是通过原始图像连续降采样获得^[9]。

$$P_l(i,j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 w(m,n) P_{l-1}(2i+m, 2j+n) \quad (13)$$

公式需满足 $1 \leq l \leq N, 0 < i < C_l, 0 < j < R_l$, 其中: $P_l(i,j)$ 表示图像金字塔的第 l 层, P_0 表示原始图像即图形金字塔的最底层, N 表示层数, C_l 和 R_l 分别表示第 l 层的列数和行数, $w(m,n)$ 表示一个 5×5 模板的高斯低通滤波器窗口。



(a) 原图 (b) 不同尺度下 Harris 角点 (c) 综合各尺度角点信息

图 4 实验效果

分别对图像金字塔的各层提取 Harris 角点, 将得到不同尺度下的特征信息, 实验选用了一组藻类图像对多尺度 Harris 角点检测和传统 Harris 方法进行了比较。如图 4(b)藻图像在金字塔逐层进行角点检测, 金字塔底层可以检测到图像的细节信息, 在金字塔较高

层则可以检测到图像的区域信息。图 4(c)是把各层的特征信息归一到了同一层,分析图像可知,不同尺度下的特征信息进行综合,可以更加全面的表征图像的局部结构信息。

3.2 算法实现步骤

由于色彩衡量鲁棒性较强的特点,可以更加稳定的表征图像的结构信息,本文使用色彩恒量作为信息输入,建立色彩衡量金字塔并进行角点检测。具体设计步骤为以下:1)对于目标图像进行色彩衡量计算,直接使公式(5)计算得出的色彩衡量的取值范围很大($-\infty \sim +\infty$),需进行归一化处理;2)对于色彩衡量信息连续进行采样得到图像色彩衡量金字塔;3)对于金字塔逐层数据信息进行 Harris 角点检测;4)综合色彩衡量金字塔各层角点,得到图像的特征信息。

4 实验结果分析

为了评估算法的有效性,进行如下的实验。如图 5 对于同一目标,三张光照方向和强度变化明显的(a)(b)(c)三幅图片分别使用亮度灰度图以及色彩衡量作为信息输入来进行特征信息的检测,并且对传统 Harris 角点检测和本文算法效果进行了比较。表 1 统计了各图像分别使用传统 Harris 角点检测、

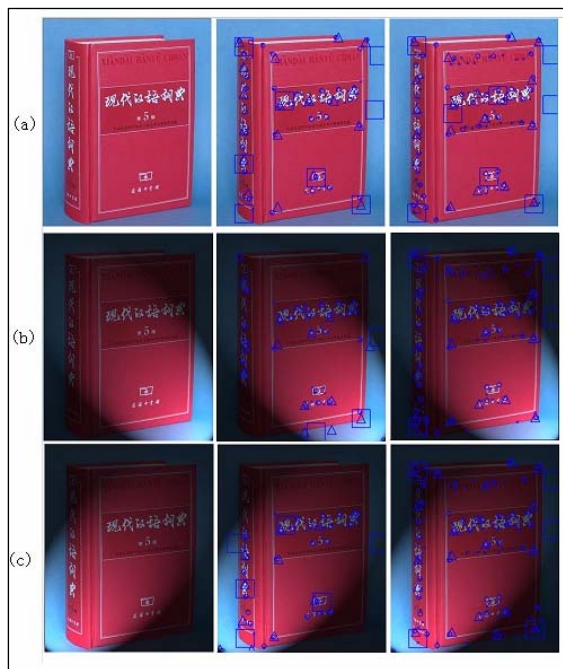
多尺度 Harris 角点检测以及本算法检测到的角点数目,观察统计数据以及图像结果可知本文算法得到的特征点不但数量远远高于传统 Harris 角点检测,而且分布更加均匀。特别是对于光照不均匀的(b)(c)图像,传统 Harris 角点集中在光照较强的区域,而本文算法得到的特征信息分布很均匀,而且数目也更加稳定。表 2 对(a~c)三幅图两两统计了互匹配特征点的对数,本文算法可以互匹配点的对数也明显高于传统算法。并且传统算法的正确匹配个数大多集中在金字塔第一层,所占比例达到了 61.7%,本算法中这一比例为 36.4%。本算法与传统算法相比加强了局部结构信息权重,削弱了细节信息的影响,使得特征检测的具有更好的抗噪性。

表 1 不同检测方法特征点数目

特征点个数	传统 Harris 检测	多尺度 Harris 检测	本文算法检测
图(a)	77	139	161
图(b)	58	102	162
图(c)	52	95	171

表 2 不同特征检测方法正确对数统计

正确匹配特征点对数	基于灰度图		基于色彩衡量	
	多尺度 Harris	金字塔第一层	本文算法	金字塔第一层
图(a)~(b)	66	44	63	20
图(b)~(c)	48	31	71	25
图(a)~(c)	61	33	80	33



(1)原图 (2)传统多尺度 Harris 检测 (3)本文算法

图 5 光照不均匀情况下检测 Harris 角点

5 结论

本文算法使用色彩衡量作为信息输入代替传统的亮度灰度图生成图像色彩衡量金字塔,再逐层提取 Harris 角点,最后综合各层信息得到特征信息。继承了传统 Harris 角点的快速、旋转不变性、操作简单、计算量小等优点,增加和突出了色彩信息的在检测中的权重,使得特征信息具有更加丰富。实验结果显示该算法具有较强的鲁棒性和准确性。

参考文献

- Gonzalez RC, Woods RE. Digital image processing. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.

(下转第 78 页)

- 2)按照实验要求连接好各仪器,检查各仪器状态。
- 3)启动电磁波检测系统,选定各个参数。
- 4)启动压机,开始加载。

实验过程如图8,图9,图10,图11。



图8 岩样受载实验过程



图9 正在做岩样11号的受压实验

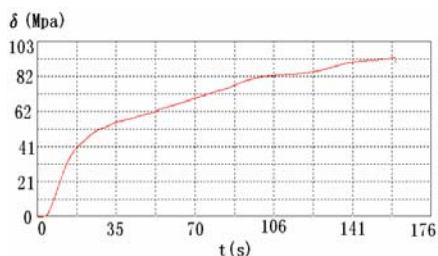


图10 实验施加应力—时间曲线

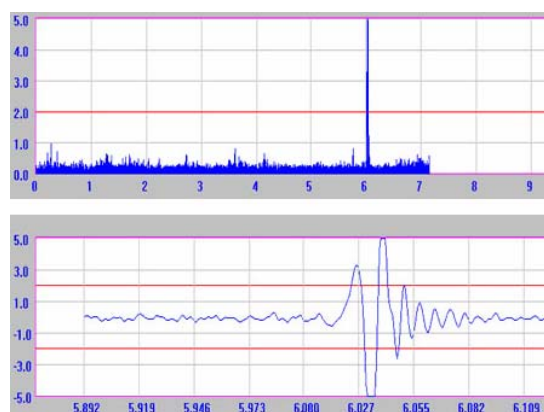


图11 经过本装置测试记录下的曲线

5 结论

本系统是智能矿山安全系统中的一部分,通过实验说明装置方案的可行性。本装置是嵌入式技术在矿山安全方面的应用。

本论文依据该原理设计了电磁辐射检测系统,可以为对岩石破裂电磁辐射的检测实验研究重要仪器手段。

参考文献

- 1 张继红,张京华,刘敏,张昆.地震前电磁辐射异常变化特征.地震地磁观测与研究,2001.
- 2 朱元清,罗祥麟,郭自强,赵志光,祝中伟.岩石破裂时电磁辐射的机理研究.地球物理学报,1991.
- 3 Silabs.www.Silabs.COM,2004
- 4 苏维嘉.基于 C8051F040 单片机的矿山动力电磁辐射检测仪的研制.辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2008,12.
- 5 张洪平,苏维嘉.岩石声波测量装置研究.辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2008.

(上接第82页)

- 3 Chen HF, Belhumeur PN, Jacobs DW. In search of illumination invariants Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hilton Head Island, 2000:254-261.
- 4 Geusebroek JM. Color and Geometrical Structure in Images. University of Amsterdam, 2000.
- 5 Geusebroek JM, van den Boomgaard R, Smeulders AWM, Geerts H. Color Invariance. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 2001,23(12):1338-1350.
- 6 Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector.

- In Alvey Vision Conference, 1988:147-151.
- 7 张洁玉.图像局部不变特征提取和匹配及应用研究.南京:南京理工大学,2010.
- 8 Mikolajczyk K, Schmid C. Indexing Based on Scale Invariant Interest Points. Proc. of the 8th International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada, 2001, 525-531.
- 9 Zhang XH, Wu DM. Substation Remote Infrared Image Registration Based on Multi-scal Harris Corner and Hierarchical Guiding Match Strategy. IEEE International Congress on Image and Signal Processing. 2010:2681-2685.