

文章编号 1004-924X(2009)08-1999-05

随机纹理图像的色差检测

高春甫¹, 贺新升¹, 唐可洪², 程丽丽²

(1. 浙江师范大学 机械设备与测控技术研究所, 浙江 金华 321004;

2. 吉林大学 机械学院, 吉林 长春 130025)

摘要:针对随机纹理图像在实际生产环境下的色差检测问题,提出了基于CIELAB均匀颜色空间的色差检测算法。首先在HSV颜色空间中计算聚类数目,在CIELAB颜色空间中确定初始聚类中心,然后进行模糊C均值聚类,最后进行颜色特征的提取。以雨花石墙地砖为例,分别在光照、粉尘、振动3种典型干扰环境下进行了实验。实验结果表明,本文提出的色差检测算法检测结果受粉尘、振动干扰影响较小,色差值 <1.5 ,认为无色差,而受光照干扰影响较大,色差值 >1.5 ,认为有色差。这一结果与人眼的视觉判断相一致。建议在实际应用中应对光照条件、光源稳定性进行合理的控制。本算法对其它随机纹理产品的颜色检测也有实用价值。

关键词:彩色图像;特征提取;颜色空间;色差检测

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Color-difference detection of image with random texture

GAO Chun-fu¹, HE Xin-sheng¹, TANG Ke-hong², CHENG Li-li²

(1. *Institute of Machinery and Measurement-Control Technology,*

Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China;

2. *College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)*

Abstract: A color-difference detection algorithm based on the CIELAB color space is proposed to solve the problem of detecting the color-difference of an image with random texture in the actual production environment. Firstly, the number of clusters are calculated in the HSV color space and the initial cluster center is determined in the CIELAB color space. Then, the color-difference is detected with a fuzzy C-Means clustering. Taking the pebble tiles for examples, some experiments in interference of light, dust and vibration are done in this paper. The experimental results show that the proposed color-difference detection algorithm has anti-interference capability and obtained result is consistent with that of the human eye. When it is affected by the dust and vibration interference, the color-difference value is less than 1.5. While it is affected by the light interference, the color-difference value is greater than 1.5. It suggests that the stability of light power should be controlled reasonably in the practical application. These results also prove that the algorithm can be used to detect the surface color of

收稿日期:2008-09-08;修订日期:2008-10-07.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 59705005);浙江省教育厅科研计划资助项目(No. 20060469)

other random texture.

Key words: color image; feature extract; color space; color-difference detection

1 引言

人们日常生活生产中很多产品的表面颜色具有随机纹理图像。目前产品表面颜色差异的检测主要由人工来进行。这既限制了成本的进一步降低,也影响了检测的准确性。因此,设计出稳定的、检测后的结果能够符合人眼的视觉感知的色差检测系统不仅可以节省劳动力、提高检测精度,而且对于提高我国制造业的整体自动化水平也能起到很好的推动作用。色差检测的必要条件就是对采集到的图像进行颜色特征提取。在颜色特征提取方面,其工作的重点主要集中在颜色空间的选择和图像分割算法上。许多学者和研究人员做了很多研究,提出了很多新的方法。主要包括直方图阈值法^[1]、基于区域的方法^[2]、特征空间聚类法^[3]、基于模糊的方法^[3]、基于神经网络的方法^[4]、基于边缘检测的方法^[5-6]等,还有这些方法的相互结合运用。现有的方法都是针对特定图像特定应用场合,还没有一个通用的分割算法和颜色空间可以胜任所有的彩色图像。

模糊 C 均值算法(Fuzzy C-Means, FCM)是由 Bezdek 1973 年提出的一种模糊聚类算法,它应用于背景颜色复杂的图像分割时取得了较好的效果^[7]。但传统的 FCM 方法存在 3 个主要问题^[3]:(1)最佳聚类数目的选择。选取不同的聚类数分割结果不同,一般需要对一幅图像多分割几次找到最佳聚类数;(2)初始聚类中心的选取。目前,大多数 FCM 方法在选取初始聚类中心时都是随机选取的,而聚类中心的初始化非常重要,不同初始聚类中心的选择可能导致不同的局部最佳或不同的分割;(3)计算量大。

鉴于 FCM 以上 3 个主要缺点,本文改进了 FCM 算法。将图像的 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间,在 HSV 颜色空间里先计算聚类的数目;再把图像从 RGB 颜色空间转换到 CIELAB 颜色空间计算初始聚类中心,然后再利用 FCM 的算法继续分割;最后提取图像颜色特征,实现了对随机纹理图像的色差检测。本文以

雨花石墙地砖为例,分别在光照、粉尘、振动三种典型干扰环境下对算法可行性进行了实验。

2 色差检测算法

色差检测算法的颜色特征提取流程图如图 1 所示:

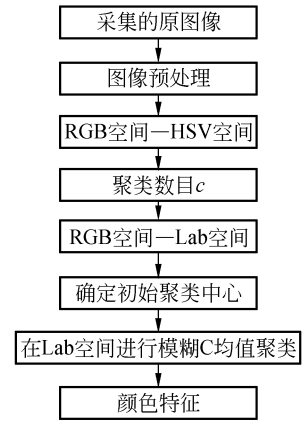


图 1 图像颜色特征提取的流程图

Fig. 1 Flow chart of color feature extract

(1)将 RGB 空间转化到 HSV 空间,然后构造一维高斯模板,用该模板对 H 直方图进行卷积运算,即对直方图滤波使其变得平滑,对卷积运算的结果进行二次差分,最后求出一次差分为 0、二次差分 <0 的数即为聚类数 c 。

由于采集到的图像的颜色空间是 RGB 颜色空间,需要进行颜色空间转换,RGB 颜色空间到 HSV 颜色空间的转换公式如式(1)所示。

$$\begin{cases} V = (R+G+B)/3 \\ S = 1 - \frac{\min(R,G,B)}{I} \\ H = \arccos \frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(G-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} (G \geq B) \end{cases} \quad (1)$$

H 通道的直方图与高斯函数相乘后,进行两次差分运算,一次差分等于 0、二次差分 <0 的数目 c 即为图像聚类的数目。

(2)将 RGB 空间转换到 CIELAB 空间。

彩色数字图像一般为 RGB 格式,但是 RGB 颜色空间不是一个均匀颜色空间,不利于基于颜色特征的图像分割。而 CIELAB 颜色空间是一个均匀的视觉空间,在 CIELAB 颜色空间中的两个点之间的距离能够表现为色差,与人眼视觉系统的感觉是一致的。因此,CIELAB 颜色空间在彩色图像分析中是很有效的。

本文首先将 RGB 转换到 CIEXYZ 颜色空间。再转化为 CIELAB 颜色空间,如图 2 所示。



图 2 颜色空间转化关系图

Fig.2 Conversion chart between two color spaces

RGB 模型与 CIEXYZ 模型存在如下关系^[8]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.608 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (2)$$

CIEXYZ 模型转换为 Lab 模型的公式^[9]为:

$$\begin{cases} L=116f\left(\frac{Y}{Y_0}\right)-16 \\ a=500\left[f\left(\frac{X}{X_0}\right)-f\left(\frac{Y}{Y_0}\right)\right] \\ b=200\left[f\left(\frac{Y}{Y_0}\right)-f\left(\frac{Z}{Z_0}\right)\right] \end{cases}. \quad (3)$$

$$f(x) = \begin{cases} x^{\frac{1}{3}} & x > 0.008856 \\ 7.787 + \frac{16}{116} & x \leq 0.008856 \end{cases}. \quad (4)$$

(3)计算每个颜色点到参考颜色的隶属度函数。

设 $\mathbf{x}=(x_L, x_a, x_b)$, $\mathbf{x} \in X$, X 为所采集到的一幅图像中的所有点,设图像的像素个数为 n , $\mathbf{r}_i=(r_L^i, r_a^i, r_b^i)$, $\mathbf{r}_i \in \mathbf{R}(i=1,2, \dots, 14)$ 为参考颜色:

设 \mathbf{x} 到 \mathbf{r}_i 的隶属度函数为 $\mu_{r_i}(\mathbf{x})$, 则

$$\mu_{r_i}(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1.0 & \delta(\mathbf{x}, \mathbf{r}_i) = 0 \\ 0.0 & \delta(\mathbf{x}, \mathbf{r}_j) = 0 \\ \left\{ \sum_{j=1}^{14} \left[\frac{\delta(\mathbf{x}, \mathbf{r}_j)}{\delta(\mathbf{x}, \mathbf{r}_i)} \right]^\lambda \right\}^{-1} & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (5)$$

其中: $\delta(\mathbf{x}, \mathbf{r}_i) = \sqrt{(x_L - r_L^i)^2 + (x_a - r_a^i)^2 + (x_b - r_b^i)^2}$ 为 \mathbf{x} 到参考点 \mathbf{r}_i 的距离, λ 为权重函数, 其值也是人为设定, 一般设 $\lambda=2.0$ 。 $\mu_{r_i}(\mathbf{x})$ 需满足以下条件:

$$0 \leq \mu_{r_i}(\mathbf{x}) \leq 1; \sum_{i=1}^{14} \mu_{r_i}(\mathbf{x}) = 1.0.$$

如果 $\delta(\mathbf{x}, \mathbf{r}_i) < \delta(\mathbf{x}, \mathbf{r}_j)$, 那么 $\mu_{r_i}(\mathbf{x}) \geq \mu_{r_j}(\mathbf{x})$ 。

(4)主导颜色及初始聚类中心的确定。

分别找出所有 $\mathbf{x}_j \in X$ 中隶属于 $\mathbf{r}_i(i=1,2, \dots, 14)$ 的最大隶属度记为 $\mu_i(i=1,2, \dots, 14)$, 且将对应的 \mathbf{x} 记为 $\mathbf{p}_i(i=1,2, \dots, 14)$ 。找出 μ_i 中最大的前 c 个值, 他们所对应的 \mathbf{r} 即为主导颜色, 所对应的 \mathbf{p} 即为初始聚类中心, 记为 $\mathbf{v}_i(i=1,2, \dots, c)$ 。

(5)计算图像中每一个点 \mathbf{x}_k 到第 i 类聚类中心的隶属度函数矩阵:

$$\mu_{ik} = \left\{ \sum_{j=1}^c \left[\frac{d_{ik}(\mathbf{x}_k, \mathbf{v}_i)}{d_{jk}(\mathbf{x}_k, \mathbf{v}_j)} \right]^{2/(m-1)} \right\}^{-1} \quad k=1,2, \dots, n. \quad (6)$$

(6)更新聚类中心:

$$\mathbf{v}_i = \frac{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^m \mathbf{x}_k}{\sum_{k=1}^n (\mu_{ik})^m} \quad i=1,2, \dots, c. \quad (7)$$

(7)重复步骤(5)(6)直至式(7)收敛, 此时便完成了图像的分割。

当 $d_{ik}(\mathbf{x}_k, \mathbf{v}_i) = 0$ 时, 会出现奇异值, 隶属度不能用(5)式计算, 对非奇异值的类, 其对应的隶属度值赋值为 0, 出现奇异值的类, 其对应的隶属度按(6)式赋值。

提取出图像的颜色特征后, 根据式 $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ 计算出两幅图像的平均色差。新国标中规定单色釉面砖常规的色差值为 0.75, 但对于多色的墙地砖, 还没有一个统一的色差评价标准。一般色差值 < 1.5 时目测难以发现差异^[10], 本文实验就以此为标准进行检测。

3 实验验证

为了验证本文算法的有效性。本文以雨花石墙地砖为样本进行了几组实验。实验图像是由 CCD 摄像头拍摄并经过采集卡传到计算机中, 用 C++ 语言进行了算法的编程, 求出墙地砖图像表面整体颜色的 RGB 值, 转换到 HSV 颜色空间和 CIELAB 颜色空间, 进行聚类数目的选择、初始聚类中心的选取以及颜色特征的提取。

迭代次数会影响模糊聚类的最终结果, 也会

影响模糊 C 均值聚类的速度。经实验验证,既能够达到最优的聚类结果,又能够减少计算的时间和复杂度的迭代次数是 100。

实际生产环境中生产车间里常见的干扰对图像的影响很大,为了验证本算法的实际应用价值,本文选择 3 种典型干扰——光照、振动、粉尘对本文的算法进行了验证。图 3 是实验所采集的图像。

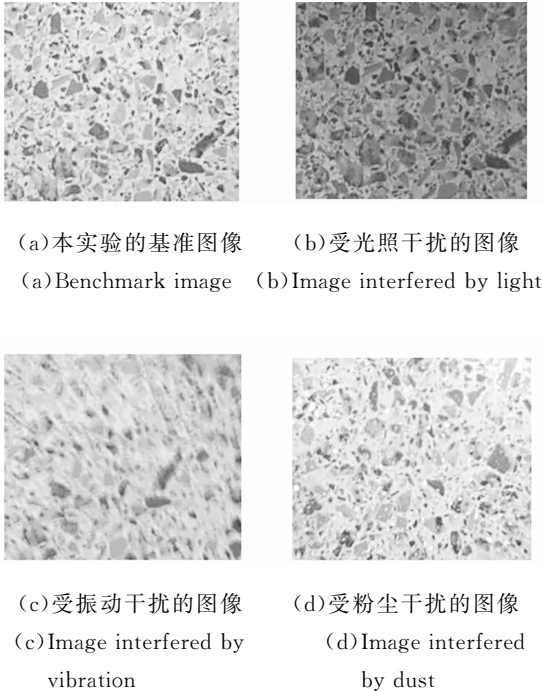


图 3 基准图像与受干扰的图像

Fig. 3 Benchmark image and interferential images

(a)图是在光线充足、光照条件较好的情况下拍摄的,实验中把它作为基准图像。(b)图是在光线不充足、光照条件不好的情况下拍摄的,用来模拟在实际应用中采集图像光源的变化;(c)图像是在实际生产环境中图像采集时受振动干扰的图像;(d)图像是受粉尘干扰的图像。

表 1 是三种受干扰的图像与参考图像用本文算法计算的 L 、 a 、 b 三通道实验数据(前 5 组数据的平均值)。

表 1 墙地砖聚类后的三通道值

Tab. 1 Three-channel values after clustering

	基准砖	受光照干扰	受振动干扰	受粉尘干扰
L	123.891 6	113.184 8	121.491 1	123.374 8
a	-12.105 0	-12.451 7	-12.700 8	-12.857 2
b	-2.372 3	-2.798 6	-2.186 0	-2.997 6
ΔE	0	3.299 2	1.258	0.890 1

在均匀颜色空间内,2 个颜色样品之间的色差表示为其坐标点之间的距离, $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ 。

从表 1 可以看出,相比这三种干扰,本文的算法受光照干扰的影响较大,色差值为 $3.299 2 > 1.5$ 。为了增加对比,本文选的受光照干扰的图像非常暗,目测有很明显的色差,检测结果验证了这一点。受振动干扰的图像用本文的算法检测出的色差值相对小一些,受粉尘干扰的色差最小,这两种色差值分别为 1.258 和 0.891,都 < 1.5 ,证明了该算法具有较好的抗干扰能力。

在生产实际应用中,本算法对光照条件、光源稳定性的要求较高,要求设计有专门进行图像采集的灯箱,有特殊的光源,这样就能够获得比较稳定的检测效果。

4 结 论

通过对雨花石墙地砖色差检测的实验验证,得出了以下结论:

(1) 该色差检测算法能够对随机纹理墙地砖的色差进行识别,且与人眼的视觉判断相一致。

(2) 该色差检测算法在粉尘、振动等影响下色差值都 < 1.5 ,具有抗干扰能力,具有理论意义和实用价值。对其它随机纹理产品的颜色检测也有指导意义。

(3) 该色差检测算法受光照干扰的影响较大,色差值 > 1.5 。建议在实际应用中对光照条件、光源稳定性进行合理的控制,使之在稳定的光源下进行检测。

参考文献:

[1] KURUGOLLU F, SANKUR B, HARMANCI A E. Color image segmentation using histogram mul-

tiresholding and fusion[J]. *Image and Vision Computing*, 2001,19(13):915-928.

[2] KIM D W, LEE K H, LEE D. A novel initialization scheme for the fuzzy c-means algorithm for color

- clustering[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2004, 25:227-237.
- [3] 郭伟,王士同. 基于模糊颜色空间聚类的图像检索方法[J]. *计算机应用*, 2006, 8(3):186-191.
GUO W, WANG SH T. Image retrieval based on fuzzy color space clustering[J]. *Application Research of Computers*, 2006, 8(3): 186-191. (in Chinese)
- [4] 潘梅森,荣秋生. 基于SOFM神经网络的图像融合二值化方法[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(3):401-407.
PAN M S, RONG Q SH. Image fusion binarization method based on SOFM neural network[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(3):401-407. (in Chinese)
- [5] 付树军,阮秋琦,穆成坡,等. 基于非线性扩散滤波的边缘检测和图像测量[J]. *光学精密工程*, 2007, 15(2):289-293.
FU SH J, YUAN Q Q, MU CH P, et al.. Edge detection for image measurement based on nonlinear diffusion filtering[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2):289-293. (in Chinese)
- [6] 林玉池,崔彦平,黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(3): 509-514.
LI Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3): 509-514. (in Chinese)
- [7] 林开颜,许立鸿,吴军辉. 快速模糊C均值聚类彩色图像分割方法[J]. *中国图象图形学报*, 2004, 9(2): 159-163.
LIN K Y, XU L H, WU J H. A fast fuzzy C-Means clustering for color image segmentation[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(2):159-163. (in Chinese)
- [8] OHTA Y, KANADE T, SAKAI T. Color information for region segmentation[J]. *Computer Graphics and Image Processing*, 1980, 13(3):222-241.
- [9] 陈纯. 计算机图像处理技术与算法[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
CHEN CH. *Image Process Technology and Algorithm of Computers*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003. (in Chinese)
- [10] 李庆中,张漫. 基于遗传神经网络的苹果颜色实时分级方法[J]. *中国图象图形学报*, 2000, 9(5):779-784.
LI Q ZH, ZHANG M. Real-time apple color grading based on genetic neural network[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2000, 9(5): 779-784. (in Chinese)

作者简介:



高春甫(1965—),男,吉林公主岭人,博士,教授,主要从事机电设备及其自动化、机器视觉方向的研究。E-mail: cfgao2007@zjnu. cn



唐可洪(1952—),男,吉林长春人,硕士,副教授,主要从事图像处理及机器人方向的研究。E-mail: tangkh@jlu. edu. cn



贺新升(1979—),男,河南巩义人,博士,讲师,主要从事机器视觉、微纳米加工、机电设备及其自动化方向的研究。E-mail: xinshenghe@126. com



程丽丽(1983—),女,黑龙江依安人,博士研究生,主要从事人工智能方向的研究。E-mail: singlily@yahoo. cn