

基于 CIEDE 2000 的陶瓷砖小色差检测研究

张 磊,汪仁煌

(广东工业大学 自动化学院,广东 广州 510090)

摘 要: 采用目前最均匀的色差公式 CIEDE 2000 对小色差的检测进行了研究。实验结果表明, CIEDE 2000 色差公式可以对小色差进行比较好的检测。

关键词: 陶瓷砖;小色差;色差公式;颜色空间;计算机视觉

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)15-0035-03

Research of the ceramic tile small color difference detection based on CIEDE 2000

ZHANG Lei, WANG Ren Huang

(Automation College, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: In this paper, the most uniform color-difference formula CIEDE 2000 detection of small color difference were studied. Experimental results showed that CIEDE 2000 color-difference formula can be a good test to the small color difference.

Key words: ceramic tiles; small color; color-difference formula; color space; computer vision

由于生产工艺及操作条件等原因,陶瓷砖的色差是不可避免的。为了解决这个问题,生产厂家采取同一种颜色的制品分成几类,颜色接近的放归一类的办法。例如,同是棕色,但颜色深浅不等,分为A、B、C类。该过程是通过专用仪器将被测定的试样与标准试样进行色度比较、计算色差、以确定颜色匹配的可接受性。用于颜色测量的仪器为反射光谱光度计或三刺激值式色度计。而目前行业采用的计算色差的色空间多为1976年的YUV颜色空间和LAB颜色空间或者CMC色差公式。为判定可接受性,应选择有关各方达成的“宽容度”。当被测试样与参照标准试样间计算的 ΔE 值与该宽容度相比时,即可确定被测试样与参照标准试样间是否是可接受的匹配。与参照标准试样相比较,被测试样包括两类:其 ΔE 值小于或等于达成的宽容度,则为可接受(合格);其 ΔE 值大于达成的宽容度,则为不可接受(不合格)。因此,对于色差要求严格的产品,尤其需要均匀的颜色空间及计算准确的色差公式。CIEDE 2000 色差公式在理论上是目前和人的视觉最能够相匹配的公式,因此本文采用 CIEDE 2000 色差公式对陶瓷砖进行小色差的检测研究。

1 颜色空间转换

RGB 值是相机获得的第一数据,然而由于 RGB 颜色空间的不均匀性需要进行颜色空间的转换。本文将 RGB 颜色空间转换到 CIELAB 颜色空间。CIELAB 颜色空间是 CIE1976LAB 颜色空间的缩写,在许多参考文献中,也称 CIE1976L*a*b*(简称为 CIEL*a*b*)颜色空间,或者称为 CIELAB/CIEL A B 色差制(CIELAB color difference metric)。

CIE1976LAB 颜色空间是一种均匀的颜色空间,它能够比较准确地求出符合人眼视觉的差别。在许多行业中,基于 CIE1976LAB 颜色空间的色差公式已经被定为标准。CIE1976LAB 颜色空间如图 1 所示。

使用 CIELAB 颜色空间时,光亮度、色调及饱和度都

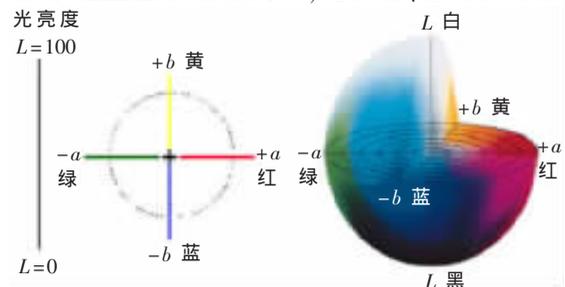


图 1 CIE1976LAB 颜色空间

能够独立调整。CIELAB 使用 L^* 、 a^* 和 b^* 坐标轴定义 CIE 颜色空间。其中, L^* 值代表光亮度, 其值从 0(黑色)~100(白色)。 a^* 和 b^* 代表色度坐标, 其中, a^* 代表红-绿轴, b^* 代表黄-蓝轴, 它们的值从 0~10。 $a^*=b^*=0$ 表示无色, 因此 L^* 就代表从黑到白的比例系数。

从 RGB 颜色空间到 CIELAB 颜色空间的转换要先转换到 CIE1931XYZ 颜色空间, 计算出三基色的刺激值 X 、 Y 、 Z 。此变换是一个线性变换, 通过一个 3×3 的矩阵实现:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.489\ 989 & 0.310\ 008 & 0.20 \\ 0.176\ 962 & 0.812\ 400 & 0.01 \\ 0.000\ 000 & 0.010\ 000 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

得到三基色的刺激值 X 、 Y 、 Z 后, 可以按下列变换式计算出 L^* 、 a^* 和 b^* 的值:

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 & \text{如果 } \left(\frac{Y}{Y_n} \right) > 0.008\ 856 \\ 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) & \text{如果 } \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \leq 0.008\ 856 \end{cases} \quad (2)$$

$$a^* = 500 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \right] \quad (3)$$

$$b^* = 200 \left[f \left(\frac{X}{X_n} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_n} \right) \right] \quad (4)$$

其中:

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}}, & \frac{Y}{Y_n} > 0.008\ 856 \\ 7.787t + \frac{16}{116}, & \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008\ 856 \end{cases}$$

X_n 、 Y_n 和 Z_n 是 CIE 标准光源的坐标, 是三刺激值。本文采用 D65 标准光源漫反射, 在 2° 视场下观测。此时的三刺激值分别为 $X_n=95.047$, $Y_n=100.00$, $Z_n=108.883$ 。

2 CIEDE2000 色差公式

CIEDE2000 色差公式:

$$\Delta E_{2000} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H} \right)} \quad (5)$$

式(5)的计算过程及各参数的意义如下:

(1) 在 CIELAB 颜色空间中计算 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^*_{ab} 和 h^*_{ab} 的值。其中, L^* 、 a^* 、 b^* 由式(2)、(3)、(4)求得。

$$\text{心理彩度 } C^*_{ab} = \left[(a^*)^2 - (b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$\text{心理色相角 } h^*_{ab} = \frac{180}{\pi} \times \tan^{-1} \left(\frac{a^*}{b^*} \right) \quad (7)$$

(2) 计算 a' 、 C'_{ab} 和 h'_{ab} 的值:

$$\begin{cases} L' = L^* \\ a' = (1+G) \times a^* \\ b' = b^* \\ C'_{ab} = \sqrt{a'^2 + b'^2} \\ h'_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{b'}{a'} \right) \end{cases} \quad (8)$$

式中, $G = 0.5 \times \left[1 - \sqrt{\frac{C_{ab}^{*7}}{C_{ab}^{*7} + 25^7}} \right]$, 表示 CIELAB 颜色空间的

a^* 轴的调整因子。

(3) 计算亮度差 $\Delta L'$ 、彩度差 $\Delta C'_{ab}$ 和色相差 $\Delta H'_{ab}$:

$$\begin{cases} \Delta L' = L'_b - L'_s \\ \Delta C'_{ab} = C'_{ab,b} - C'_{ab,s} \\ \Delta H'_{ab} = 2 \times \sqrt{C'_{ab,b} \times C'_{ab,s}} \times \sin \left(\frac{\Delta h'_{ab}}{2} \right) \end{cases} \quad (9)$$

式中, 下标 s 表示样本色, b 表示标准色。

(4) 计算权重系数 S_L 、 S_C 、 S_H , 以及 R_T 和 R_C :

$$\begin{cases} S_L = 1 + \frac{0.015 \times (L' - 50)^2}{\sqrt{20 + (L' - 50)^2}} \\ S_C = 1 + 0.045 \times C'_{ab} \\ S_H = 1 + 0.015 \times C'_{ab} \times T \end{cases} \quad (10)$$

式中, $T = 1 - 0.17 \times \cos(h'_{ab} - 30^\circ) + 0.24 \times \cos(2h'_{ab}) + 0.32 \times \cos(3h'_{ab} + 6^\circ) - 0.20 \times \cos(4h'_{ab} - 63^\circ)$

必须指出的是, 计算时要注意角度和弧度的相互转化。

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta) \times R_C, \Delta\theta = 30 \times \exp \left[- \left(\frac{h'_{ab} - 275^\circ}{25} \right)^2 \right], \text{它是}$$

由色调决定的旋转角。

$$R_C = 2 \times \sqrt{\frac{C_{ab}^{*7}}{C_{ab}^{*7} + 25^7}}, \text{它是根据彩度变化的旋转幅度。}$$

(5) 选择合适的校正系数 K_L 、 K_C 和 K_H 。

在 CIE 给定的标准观测条件下, $K_L = K_C = K_H = 1$ 。在条件不符合时, 则要根据工业色差评估条件来确定这些数值。本文的观测条件符合 CIE 给定的标准, 因此 K_L 、 K_C 、 K_H 的取值均为 1。

(6) 用 CIEDE2000 色差公式计算色差 ΔE_{2000} 。

3 陶瓷砖的小色差检测

根据计算机视觉的原理, 所设计瓷砖色差检测装置如图 2 所示。

选择合适的相机和光源对小色差检测尤其重要。本文选用微视 MVC1000SAM/C-GE30 摄像机, 采用的是 10 bit、逐行扫描的 CMOS 传感器。微视 MVC1000SAM/C-GE30 摄像机通过一个千兆网口控制拍摄, 在拍摄和传输图像方面具有很好的实时性。在光源方面, 采用 LED 面光源, 倾斜 60° 角, 以避免瓷砖反光产生过曝。

《微型机与应用》2010 年 第 29 卷 第 15 期

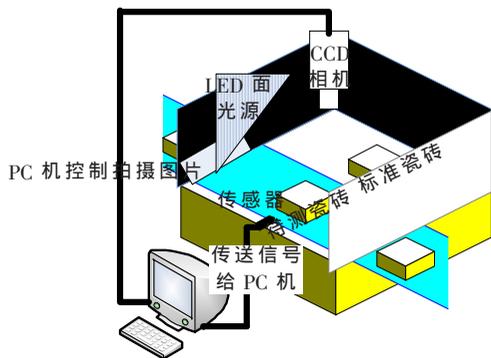


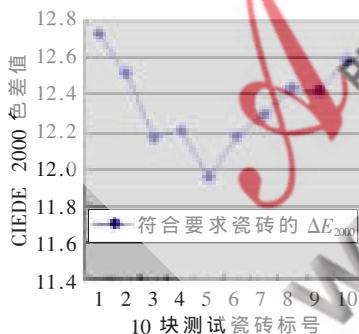
图2 陶瓷色差检测装置设计图

瓷砖颜色繁多,每种颜色的检测都必须找一块符合要求的标准砖。每次检测色差,都用摄像机拍摄样本和标准砖的图像存入计算机。然后采用 3×3 均值滤波去掉噪声干扰,进行颜色空间转换(即RGB颜色空间转化到CIELAB颜色空间),进而计算出整块瓷砖的平均 L^* 、 a^* 和 b^* 值,最后利用CIEDE 2000色差公式计算色差。其检测流程图如图3所示。

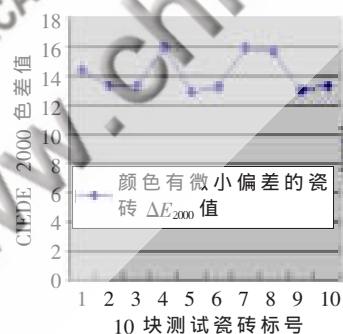
本文采用白色陶瓷砖进行色差检测试验,实验共用了20块待测样本砖和1块标准砖。其中10块是符合要求的瓷砖,另外10块是存在微小颜色偏差的瓷砖。



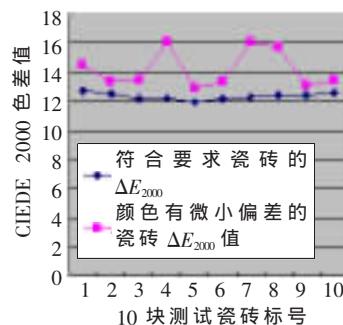
图3 色差检测流程图



(a) 符合要求瓷砖的 ΔE_{2000} 值



(b) 颜色有微小偏差瓷砖的 ΔE_{2000} 值



(c) 色差最终检测结果对照比较

图4 实验结果

摄像机拍摄图片后通过千兆网口传送给PC机,在PC机上用VC++6.0编写的图像处理软件实现均值滤波、颜色空间转换,并最终实现CIEDE 2000色差计算。实验数据如图4所示。从图4(c)可以清楚地看到,两种样本陶瓷砖与标准瓷砖色差值的大小差异,因此可以得出结论:采用目前最均匀的色差公式CIEDE 2000,可以有效地针对小色差进行检测。

综上所述,采用目前和人的视觉最能够相匹配的CIEDE 2000色差公式,针对小色差进行检测是一种比较有效的方法,此方法值得在陶瓷业色差检测中应用以及在其他类似行业中推广。

参考文献

[1] 林福宗.Color_measurement[M].北京:清华大学智能技术与系统国家重点实验室,2001.
 [2] 刘浩学.CIE均匀颜色空间与色差公式的应用[J].北京印刷学院学报,2003,11(3):4-8.
 [3] 郑元林.色差公式CMC(1:c)、CIE94和CIEDE2000的对比研究[J].包装工程,2006(10):127-128.
 [4] 郑元林.最新色差公式:CIEDE2000[J].印刷标准化,2004(7):34-36.

(收稿日期:2010-04-14)

作者简介:

张磊,男,1984年生,研究生,主要研究方向:计算机测控技术。

汪仁煌,男,1945年生,教授,博士生导师,主要研究方向:图像测控识别技术,嵌入式系统及信息处理、测控技术与智能仪器。