

快速色差评价

张小燕, 程 韦

(北京工业职业技术学院 信息工程系, 北京 100042)

摘要: 在VC++6.0平台上设计了CIE1976色差 ΔE_{ab}^* , CIE1994色差 ΔE_{94} 和CIE2000色差 ΔE_{00} 评价软件。本色差评价软件做成界面形式,可分别进行单个色差和批量色差的快速评价。由于 ΔE_{94} 及 ΔE_{00} 中的参数因子 K_L , K_C 和 K_H 的未确定性,便于研究者在实际应用中进行色差公式的改进工作。选取50例Munsell色卡和30例实测水果样本,基于主成分分析法光谱重建,计算原始光谱和重建光谱的色差。结果表明:本色差评价软件的可靠度、可信度、工作效率较高。

关键词: 色差评价; CIE1976色差 ΔE_{ab}^* ; CIE1994色差 ΔE_{94} ; CIE2000色差 ΔE_{00}

中图分类号: O432.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)02-0077-04

Fast Color Difference Evaluation

Zhang Xiaoyan Cheng Wei

(Department of Information, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China)

Abstract: A color difference (including CIE1976 ΔE_{ab}^* , CIE1994 ΔE_{94} , CIE2000 ΔE_{00}) evaluation software based on VC++6.0 is introduced, which designed into the form of user interface and can evaluate the single and the batch color difference fast. Because of the uncertainty of the parameter factors (including K_L , K_C , K_H) in ΔE_{94} and ΔE_{00} , it is easy for researchers to improve the color difference formula in the actual applications. The spectrums of 50 cases Munsell color cards and 30 cases measured fruit samples are reconstructed based on the method of principal component analysis (PCA), and the color difference between the original and the reconstructed spectrum is calculated by the software. The result shows that this color difference evaluation software is credible, and can improve the work efficiency practically.

Keywords: color difference evaluation; CIE1976 color difference ΔE_{ab}^* ; CIE1994 color difference ΔE_{94} ; CIE2000 color difference ΔE_{00}

0 引言

研究表明, CIELab1976色差公式计算结果与目测结果一致性较差,即有的颜色的色差测量值较大,但是给人眼的视觉感受较小;有的颜色的色差测量值较小,但是人眼感觉的色差却较大^[1]。虽然CIELab1976色差公式至今在很多行业中仍广泛使用,

但是颜色工作者一直都没停止过创建新的色差公式,使评价结果与目测结果具有较高的一致性。

CIE1994色差公式计算结果与人眼的视觉评价结果比较相符。在CIE标准条件下,即D65光源、照度1 000 lx、大于4°视场、颜色均匀、CIELab1976色差在0~5之间、背景为中等明度的灰($L^*=50$),参数因子 K_L , K_C 和 K_H 取值为1,这时CIE1994公式的计算

收稿日期: 2010-12-28

作者简介: 张小燕(1973-),女,重庆人,北京工业职业技术学院讲师,硕士,主要从事光学测量研究,

E-mail: zhang8915@sohu.com

结果与视觉评价结果一致性好。如果工业观测条件与CIE标准条件发生偏差时,会导致在视觉上每一个颜色分量(亮度 L 、彩度 C 、色调 H)的改变。这种情况下,可通过调节 K_L 、 K_C 和 K_H 值来改变相对半轴的长度,进而改变亮度差 ΔL 、彩度差 ΔC 和色调差 ΔH 的相对宽容度,达到调整色差公式中的各个色差分量以适应这种改变的目的。例如,评价纺织品时,由于亮度感觉的降低,推荐 K_L 取2, K_C 和 K_H 取1,这时CIE1994公式的计算结果和纺织品的视觉评价就比较接近^[2]。

CIE2000色差公式是CIE于2001年公布的,它给出了改良的工业色差计算过程,是目前较为精确的色差计算公式。

1 色差计算

1.1 计算CIE1976色差

$$\begin{cases} L^* = 116f(Y/Y_0) - 16, \\ a^* = 500\{f(X/X_0) - f(Y/Y_0)\}, \\ b^* = 200\{f(Y/Y_0) - f(Z/Z_0)\}, \end{cases}$$

式中: X, Y, Z 是物体的三刺激值;

X_0, Y_0, Z_0 为CIE标准照明体的三刺激值;

L^* 表示心理明度;

a^*, b^* 为心理色度。

$$f(I) = \begin{cases} I^{1/3}, & I > 0.008856; \\ 7.787I + 16/116, & I \leq 0.008856. \end{cases}$$

若2个色样样品都按 L^*, a^*, b^* 标定颜色,则两者之间的明度差 ΔL 、色度差 Δa 和 Δb 用下列各式计算:

$$\Delta L = |L_1^* - L_2^*|, \Delta a = |a_1^* - a_2^*|, \Delta b = |b_1^* - b_2^*|。$$

CIE1976色差由式(1)计算,

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}。 \quad (1)$$

1.2 计算CIE1994色差

在CIELab色度空间,彩度 C 由式(2)计算,

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}。 \quad (2)$$

彩度差 ΔC 由式(3)计算,

$$\Delta C = |C_1 - C_2|。 \quad (3)$$

色相角差 ΔH 由式(4)计算,

$$\Delta H = \sqrt{\Delta E_{ab}^{*2} - \Delta L^2 - \Delta C^2}。 \quad (4)$$

权重函数 S_L, S_C, S_H 由式(5)计算,

$$\begin{cases} S_L = 1, \\ S_C = 1 + 0.045(C_1 \cdot C_2)/2, \\ S_H = 1 + 0.015(C_1 \cdot C_2)/2c \end{cases} \quad (5)$$

CIE1994色差由式(6)计算,

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{K_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{K_C \cdot S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{K_H \cdot S_H}\right)^2}。 \quad (6)$$

1.3 计算CIE2000色差

在CIELab色度空间,修正后的值, a', C'_{ab} 和 h'_{ab} 由式(7)计算,

$$\begin{cases} L' = L^*, \\ a' = (1+G) \times a^*, \\ b' = b^*, \\ C'_{ab} = \sqrt{a'^2 + b'^2}, \\ h'_{ab} = \arctan(b'/a'), \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{式中: } G = 0.5 \times \left[1 - \frac{\sqrt{\left(\frac{C_1 + C_2}{2}\right)^7}}{\sqrt{\left(\frac{C_1 + C_2}{2}\right)^7 + 25^7}} \right]。$$

明度差 $\Delta L'$ 、彩度差 $\Delta C'_{ab}$ 和色相差 $\Delta H'_{ab}$ 由式(8)计算,

$$\begin{cases} \Delta L' = |L'_1 - L'_2|, \\ \Delta C'_{ab} = |C'_{ab,1} - C'_{ab,2}|, \\ \Delta H'_{ab} = 2\sqrt{C'_{ab,1} \cdot C'_{ab,2}} \sin(\Delta h'_{ab}/2)。 \end{cases} \quad (8)$$

权重函数 S_L, S_C, S_H 由式(9)计算,

$$\begin{cases} S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}, \\ S_C = 1 + 0.045(C'_{ab,1} + C'_{ab,2})/2, \\ S_H = 1 + 0.015(C'_{ab,1} + C'_{ab,2})T/2, \end{cases} \quad (9)$$

式中:

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

由色调决定旋转角

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

式中 $R_C = 2 \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right)^{7/2} / \left(\left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right)^7 + 25^7 \right)^{7/2}$ 是根据彩度变化的旋转幅度。

CIE2000色差由公式(10)计算,

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H} \right)^2 \right] +$$

$$R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C} \cdot \frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H} \right)^2 \quad (10)$$

式(10)中,在CIE标准条件下,取 $K_L=K_C=K_H=1$;在其它条件下通过调节 K_L, K_C 和 K_H 值,可使计算结果与视觉评价结果有较好的一致性^[3]。

1.4 软件设计

本色差评价软件在VC++6.0平台上设计并做成界面形式,可计算单个 ΔE_{ab}^* 色差、 ΔE_{94} 色差和 ΔE_{00} 色差,也可实现3种色差的批量计算,最大能处理100组数据。

1.4.1 计算单个色差

打开单个色差评价界面(如图1所示),根据界面提示选择白点参数,输入需要计算色差的2组三刺激值以及参数因子 K_L, K_C 和 K_H ,点击确定后可在界面上直接读取色差值。

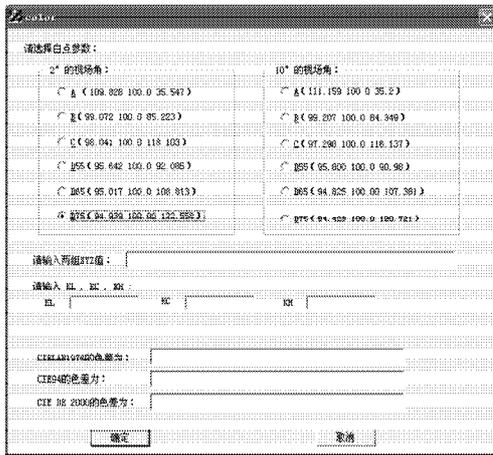


图1 单个色差评价界面

Fig. 1 The user interface of single color difference evaluation

1.4.2 计算批量色差

首先将需要计算色差的三刺激值数据创建成源文件(如图2所示),保存在批数据处理文件夹中。打开批量色差评价界面(如图3所示),根据界面提示导入源文件。导入源文件后,系统会在界面上显示保存目标文件的路径及目标文件名。再选择白点参数,输入参数因子 K_L, K_C 和 K_H ,点击确定后完成色差计算。



图2 源文件

Fig. 2 Source file

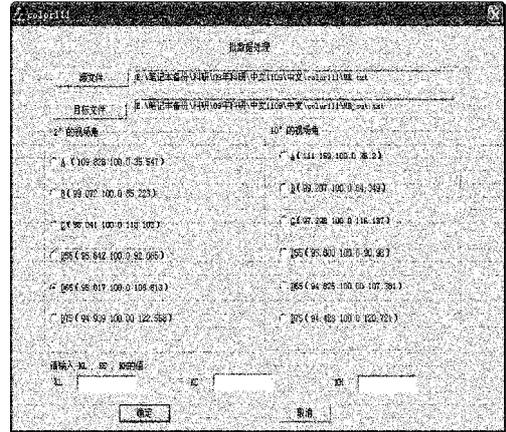


图3 批量色差评价界面

Fig. 3 The user interface of batch color difference evaluation

2 色差计算结果

2.1 50例Munsell色卡色差评价

50例Munsell色卡基于主成分分析法进行光谱重建^[4]。计算原始光谱和重建光谱之间的色差($D_{65}, 2^\circ, K_L=K_C=K_H=1$,下同)^[5-7],结果如表1所示。

表1 50例Munsell色卡色差评价结果

Table 1 The color difference of 50 cases Munsell color cards

序号	色 差 值		
	ΔE_{ab}^*	ΔE_{94}	ΔE_{00}
1	0.306 94	0.258 59	0.338 96
2	1.675 79	0.653 70	0.627 69
3	0.971 86	0.479 41	0.495 93
4	0.282 84	0.178 89	0.177 92
5	0.259 53	0.222 13	0.225 00
6	0.263 17	0.225 09	0.274 71
7	0.879 66	0.490 52	0.474 84
8	0.244 47	0.204 08	0.236 42
9	0.180 70	0.180 43	0.147 51
10	0.625 74	0.584 08	0.837 21
⋮	⋮	⋮	⋮
41	0.157 19	0.150 27	0.164 81
42	0.213 54	0.194 95	0.279 37
43	4.218 09	3.163 54	3.052 30
44	5.329 19	2.738 76	2.677 29
45	0.454 58	0.337 38	0.318 76
46	0.188 57	0.156 45	0.193 62
47	2.166 21	0.903 76	0.863 72
48	0.415 22	0.302 25	0.264 02
49	0.374 15	0.270 71	0.228 35
50	0.275 58	0.250 67	0.224 35

2.2 30例实测水果色差评价

30例实测水果样本基于主成分分析方法光谱重建,计算原始光谱和重建光谱之间的色差,结果如表2所示。

表2 30例水果色差评价结果
Table 2 The color difference of 30 cases
measured fruit samples

序号	色 差 值		
	ΔE_{ab}^*	ΔE_{94}	ΔE_{00}
1	1.690 40	0.805 60	0.831 34
2	1.230 06	0.571 71	0.607 38
3	0.881 24	0.554 76	0.642 01
4	0.997 88	0.675 46	0.792 12
5	0.789 87	0.495 78	0.575 02
6	2.589 11	0.646 22	0.667 66
7	2.062 31	0.626 81	0.648 26
8	2.137 59	0.609 08	0.637 20
9	1.409 69	0.691 50	0.764 07
10	2.348 68	1.180 51	1.321 20
11	0.920 38	0.554 07	0.591 15
12	2.475 61	1.653 87	2.093 47
13	1.440 87	0.616 26	0.628 53
14	1.303 70	0.812 43	0.875 82
15	4.035 88	2.578 81	3.211 11
16	0.906 06	0.739 34	1.066 66
17	1.670 50	1.100 34	1.186 25
18	3.492 76	1.397 19	1.404 64
19	0.878 59	0.394 66	0.423 59
20	2.750 17	1.873 29	2.084 87
21	2.002 86	0.775 17	0.845 53
22	0.826 76	0.416 4	0.436 34
23	1.937 26	1.247 28	1.348 93
24	2.202 77	1.668 89	1.887 46
25	1.225 25	0.824 09	0.904 06
26	1.003 46	0.827 18	1.215 94
27	1.247 95	0.959 87	1.310 61
28	1.800 92	1.456 28	1.973 47
29	1.784 46	1.171 62	1.251 50
30	2.697 57	2.060 69	2.570 04

3 结语

由表1和表2可知,除了44#Munsell色卡的 ΔE_{ab}^* 大于5个色差单位外,其余结果都小于5个色差单位。评价结果证明:本色差评价软件的结果是可信、可靠的,该软件可以提高使用者的工作效率。笔者将对该软件在评价结果数据处理形式,增加评价色差的种类以及增加图形输出等方面作进一步完善。

参考文献:

- [1] 郑元林,杨淑蕙,周世生,等. CIE1976LAB色差公式的均匀性研究[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 48-49.
Zheng Yuanlin, Yang Shuhui, Zhou Shisheng, et al. Research on Uniformity of CIE 1976 LAB Color Difference Formula[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 48-49.
- [2] 郑元林,曹从军,戚永红. CIE94色差公式在包装行业的应用探讨[J]. 包装工程, 2004, 25(4): 24-25.
Zheng Yuanlin, Cao Congjun, Qi Yonghong. Research on the Application of CIE94 Color-Difference Equations in Packaging and Printing Industries[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 24-25.
- [3] 李勤. CIELAB之后色差公式的新进展[J]. 染料工业, 1997, 34(3): 30-37.
Li Qin. Recent Developments of Color Difference Formula Since CIELAB[J]. Dyestuff Industry, 1997, 34(3): 30-37.
- [4] 张小燕,杨卫平,周洪涛,等. 基于独立成分分析法ICA的多光谱重建[J]. 光学技术, 2007, 32(3): 390-394.
Zhang Xiaoyan, Yang Weiping, Zhou Hongtao, et al. Multi-Spectral Reconstruction Based on the Method of Independent Component Analysis (ICA)[J]. Optical Technique, 2007, 32(3): 390-394.
- [5] 徐海松. 颜色技术原理及在印染中的应用(四)[J]. 印染, 2005(21): 35-39.
Xu Haisong. Color Technical Principle and Its Application to Dyeing and Finishing(IV)[J]. Dyeing and Finishing, 2005 (21): 35-39.
- [6] 吕新广. 对光谱三刺激值概念的理解[J]. 包装工程, 2002, 23(5): 40-41.
Lv Xingguang. Relationship of Spectral Tristimulus Values with Tricolor Unitage[J]. Packaging Engineering, 2002, 23 (5): 40-41.
- [7] 汤顺青. 色度学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1990: 20-40.
Tang Shunqing. Colorimetry[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1990: 20-40.

(责任编辑: 邓光辉)