

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.07.025

基于机器视觉的工业品色差检测系统

黄虎, 程建, 蒲恬

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 611731)

摘要: 为了消除人眼在产品检测中的主观差异, 采用机器视觉的方法对工业品进行色差检测。通过工业CCD相机采集均匀光照下的产品与标准色板的图像, 使用色差检测系统对图像进行色差计算, 最后比较色差与用户设置的阈值来判断产品颜色是否合格。其中, 色差检测使用了CIEDE2000色差公式, 该公式可以正确的反映微小的颜色差异。实验结果表明: 检测结果与人眼检测结果相符, 证明了这种方法在实际应用中的可行性。

关键词: 机器视觉; 色差; 产品外观; CIEDE2000

中图分类号: TP306+.3; TP391.41 **文献标识码:** A

Industrial Products Chromatic Aberration Detection System Based on Machine Vision

Huang Hu, Cheng Jian, Pu Tian

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: In order to eliminate subjective differences in product detected by human eyes, machine vision was used in chromatic aberration detection of industrial products. Chromatic aberration detection system was used to compute chromatic aberration between product appearance and standard color board. The images contain product and standard color board were captured through industrial CCD camera under uniform illumination. At last, compare chromatic aberration with threshold to determine whether the product is up to standard. The system uses CIEDE2000 color difference formula which can reflect minor differences in color correctly. The experiment results indicate that the testing result has a good consistence with human eyes and the feasibility of this method is proved.

Keywords: machine vision; chromatic aberration; product appearance; CIEDE2000

0 引言

在工业产品的生产过程中, 不同批次产品外观的颜色经常会有差异。产生差异的原因主要包括颜色配料、生产工艺等方面。目前, 产品检测大多采用人工检测的方法, 容易受到人的生理和心理上的影响。故将机器视觉引入色差检测, 以客观地对产品与标准色板之间的差异进行量化检测。

1 系统概述

该系统主要由计算机、工业相机、屋顶灯光源、集成支架及对采集到的图像进行分析的色差检测软件构成。采用工业相机, 可以对产品外观颜色进行精确采集。光源具有球积分效果的半球内壁, 可以均匀反射从底部360° 发射出来的光线, 使整个图像的照度十分均匀。集成支架用来固定相机和调节屋顶灯和相机之间的位置。色差检测软件采用MS Visual Studio 2003编写。

该系统的工作原理为: 首先, 选择合适的颜色

空间, 然后选择合适色差计算公式计算色差。

2 颜色空间的选择

颜色空间包括 RGB 颜色空间、XYZ 颜色空间、LAB 颜色空间 3 种。其中, RGB 颜色空间是不均匀的, 不能用来计算色差^[1]。XYZ 颜色空间虽然消除了r、g、b 出现负数的情况^[2], 但也是不均匀的颜色空间, 不能用于色差的计算。LAB 色彩模型是由 L (明度)、A (颜色)、B (颜色) 3 个要素组成。其中, A 表示从红色到绿色的范围, B 表示从黄色到蓝色的范围。LAB 颜色空间是一个均匀的颜色空间, 符合人的视觉感受。当颜色的差异为人眼所识别并且这个差值又小于孟塞尔系统中相邻两级的色差值时, 可反映观察人员对产品的实际感受。

故先将 RGB 颜色空间转换到 XYZ 颜色空间, RGB 颜色空间到 XYZ 颜色空间转换公式为^[3]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.430\ 574 & 0.341\ 550 & 0.178\ 325 \\ 0.222\ 015 & 0.706\ 655 & 0.071\ 330 \\ 0.020\ 183 & 0.129\ 553 & 0.939\ 180 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

收稿日期: 2010-01-28; 修回日期: 2010-04-08

基金项目: 电子科技大学青年科技基金重点项目 (NO. JX0804) 中国博士后科学基金 (20080441198)

作者简介: 黄虎 (1987-), 男, 安徽人, 从事图像处理、机器视觉研究。

其次, 将 XYZ 颜色空间转换到 LAB 颜色空间, 转换公式为^[4]:

$$L = \begin{cases} 166 \times (Y/Y_n)^{1/3} - 16 & Y/Y_n > 0.008856 \\ 903.3 \times (Y/Y_n) & Y/Y_n \leq 0.008856 \end{cases} \quad (2)$$

$$a = 500 \times (f(X/X_n) - f(Y/Y_n)) \quad (3)$$

$$b = 200 \times (f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)) \quad (4)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & Y/Y_n > 0.008856 \\ 7.787 \times t + 16/116 & Y/Y_n \leq 0.008856 \end{cases} \quad (5)$$

其中, $X_n=95.04$, $Y_n=100.00$, $Z_n=108.89$ 为 CIE 标准照明体 D_{65} 的白光三刺激值^[5]。

3 色差公式的选择

国际照明委员会 (International Commission on Illumination, 简称 CIE) 在 1976 年推出的色差公式广泛应用于对颜色控制的印刷、纺织等工业部门。在转换到 LAB 颜色空间后, 可以得到 LAB 颜色空间的色差公式^[6]:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (6)$$

其中 ΔE 为在 LAB 颜色空间中的色差值。但是 CIE1976LAB 对小色差的检测而言不是均匀的颜色空间。所以, 在 2001 年的时候, 国际照明委员会在 LAB 色差公式的基础上提出了 CIEDE2000 色差公式, 很好地解决了对小色差的检测。故采用 CIEDE2000 色差公式如下^[7]:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H}\right)} \quad (7)$$

第 1 步: 计算 LAB 颜色空间中的明度 L 、色度 a 和 b 、心理彩度 C_{ab} 。

$$C_{ab} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (8)$$

第 2 步: 计算 L' 、 a' 、 b' 、色调 h'_{ab} 、调节因子 G 。

$$\begin{cases} G = 0.5 \times \left(1 - \sqrt{\frac{\overline{C_{ab}}^{-7}}{\overline{C_{ab}}^{-7} + 25^7}} \right) \\ L' = L \\ a' = (1 + G) \times a \\ b' = b \\ h'_{ab} = \tan^{-1}(b/a) \end{cases} \quad (9)$$

其中, $\overline{C_{ab}}$ 为待测产品 C_{ab1} 与标准色板 C_{ab2} 的算术平均值。

第 3 步: 计算明度差 ΔL 、彩度差 ΔC_{ab} 、色相差 ΔH_{ab} 。

$$\begin{cases} \Delta L' = L_1 - L_2 \\ \Delta C'_{ab} = C_{ab1} - C_{ab2} \\ \Delta H'_{ab} = 2 \times \sqrt{C_{ab1} C_{ab2}} \times \sin\left(\frac{\Delta h_{ab}}{2}\right) \\ \Delta h'_{ab} = h_{ab1} - h_{ab2} \end{cases} \quad (10)$$

第 4 步: 计算权重函数 S_L 、 S_C 、 S_H 和旋转函数 R_T 、 R_C 。

$$\begin{cases} S_L = 1 + \frac{0.015 \times (\overline{L'} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\overline{L'} - 50)^2}} \\ S_C = 1 + 0.045 \times \frac{\overline{C'_{ab}}}{C'_{ab}} \\ S_H = 1 + 0.015 \times \frac{\overline{C'_{ab}}}{C'_{ab}} \times T \end{cases} \quad (11)$$

$$T = 1 - 0.17 \times \cos(\overline{h'_{ab}} - 30^\circ) + 0.24 \times \cos(2\overline{h'_{ab}}) + 0.32 \times \cos(3\overline{h'_{ab}} + 6^\circ) - 0.20 \times \cos(4\overline{h'_{ab}} - 63^\circ) \quad (12)$$

$$\begin{cases} R_T = -\sin(2\Delta\theta) \times R_C \\ \Delta\theta = 30 \times \exp\left[-\left(\frac{\overline{h'_{ab}} - 275^\circ}{25}\right)^2\right] \\ R_C = 2 \times \sqrt{\frac{\overline{C_{ab}}^{-7}}{\overline{C_{ab}}^{-7} + 25^7}} \end{cases} \quad (13)$$

第 5 步: 选择 K_L 、 K_C 和 K_H 。其中, K_L 、 K_C 和 K_H 是根据实际使用条件确定的校正系数。在 CIE 标准观测条件下, 取 $K_L = K_C = K_H = 1$ 。

第 6 步: 计算色差

用公式 (7) 计算色差 ΔE_{00} 的大小。

4 色差检测软件

4.1 色差检测软件介绍

检测的流程如图 1。

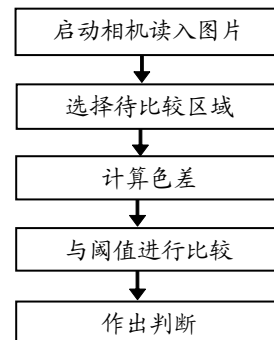


图 1 色差检测软件操作流程

其中的阈值为大量检测试验中得到的一个统计值, 当计算出的色差大于这个阈值时, 判断产品颜

色不合格。反之，小于这个阈值时，则认为产品颜色是合格的。

色差检测软件界面主要包括操作窗口和相机采集窗口。相机采集窗口主要用来采集图像并把采集到的图像传给操作窗口。在操作窗口里面，用户在采集到的图片上选中 2 个矩形区域，分别在标准色板和待测产品上，然后就可以计算两者之间的色差。检测人员可以根据检测出来色差的大小判断产品是否合格。软件界面如图 2。

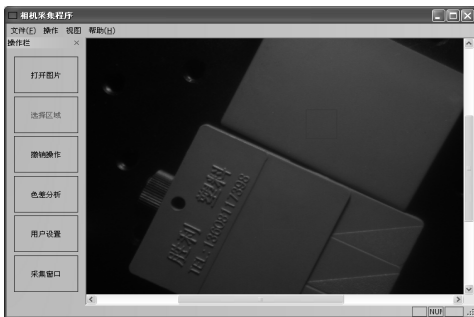


图 2 色差检测窗口

4.2 实验数据分析

如图 3，当在标准色板上选择 2 个矩形区域时，这时凭直观感受可知色差应该很小。

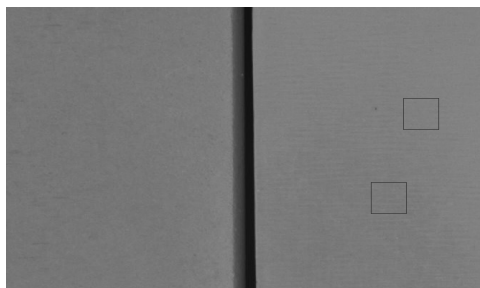


图 3 实验图片

色差计算的中间数据和所计算出的色差如表 1，其中 ΔE 为 2 个比较区域的色差。

表 1 相同产品做色差检测

	L	a	b	ΔE
区域A	80.589 6	31.214 1	-77.249 7	0.173 5
区域B	80.832 2	31.224 3	-77.414 7	

从表 1 中的数据可以看出，当 2 个区域几乎无差别的时候，计算出来的色差相当小。同样很容易得知，2 个相同区域的色差为 0。

下面分析标准色板和产品之间的色差，在操作窗口左右两侧分别选择 2 个区域进行色差比较，如图 4，数据如表 2。

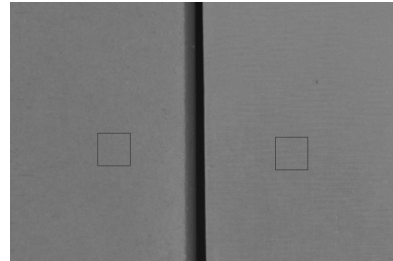


图 4 产品和色板做比较

表 2 产品和标准色板之间的色差

	L	a	b	ΔE
色板	80.832 2	31.224 3	-77.414 7	
产品1	80.368 0	30.747 5	-76.637 8	0.385 8
产品2	80.121 7	30.494 7	-76.256 2	0.590 7
产品3	79.990 5	30.390 7	-76.102 8	0.692 4
产品4	79.730 5	30.275 3	-75.813 7	0.876 5
产品5	79.694 1	30.262 1	-75.794 5	0.901 4
产品6	79.506 1	30.115 9	-75.583 1	1.047 6
产品7	79.145 7	29.939 7	-75.230 6	1.309 6
产品8	78.624 6	29.737 5	-74.807 9	1.682 0
产品9	78.315 9	29.680 4	-74.611 7	1.895 2

表 2 统计了 9 个产品和标准色板之间的色差，从统计数据可以看出，色差的大小和人眼直观的颜色差异是成正比的，可以正确地反映出产品的实际颜色与标准色板之间的颜色差异。通过大量的实验得出：当计算出来的色差在 2 附近时，通过人眼几乎看不出差别。这时可以把 2 设置成一个阈值，将产品和色板之间的色差与这个阈值进行比较，从而确定产品是否合格。

5 结论

该系统操作简单、直观，可以准确测定产品表面颜色的差异，提高了检测效率，可用于印刷、丝绸、注塑等对色差严格控制的各行业。

参考文献：

- [1] 戚永红, 周世生. 均匀色彩空间及色差公式的发展简述[J]. 印刷世界, 2003(9): 16-19.
- [2] 刘素一, 刘晶璟, 薛勇, 等. 基于计算机视觉的织物色差检测[J]. 棉纺织技术, 2008(6): 32-35.
- [3] 贾渊, 姬长英. 农产品自动检测中的常见颜色模型[J]. 农机化研究, 2004(4): 205-208.
- [4] 徐晓昭, 沈兰荪, 刘长江. CIEDE2000在中医舌象色差评价中的应用[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2007(5): 111-115.
- [5] 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, 2007(2): 3-12.
- [6] 李勤. CIELAB之后色差公式的新进展[J]. 染料工业, 1997(3): 30-37.
- [7] 郑元林, 刘士伟. 最新色差公式: CIEDE2000[J]. 印刷质量与标准化, 2004(7): 34-37.