

# 基于计算机视觉的车灯光导色差检测

王 晨 戴曙光 穆平安

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

**摘要:**设计了一种汽车车灯光导的色差检测系统。该系统主要由计算机、高性能 CCD 摄像机硬件平台和 LabVIEW 软件平台组成。首先由摄像机分别对正常发光和有缺陷的光导进行图像拍摄,然后对图像进行直方图阈值分割,最后将图像的颜色模型由 RGB 模型转换到 CIELAB 模型上,在此模型上分别应用 CIE  $L^* a^* b^*$  和 CIE2000 色差公式对正常发光的光导和有缺陷的光导图像进行计算和对比,从而完成车灯光导的色差检测。

**关键词:** LabVIEW; 车灯光导; 图像处理; 颜色模型; 色差检测

**中图分类号:** TP216.1    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.4099

## Color-difference detection of light guide based on computer vision

Wang Chen Dai Shuguang Mu Ping'an

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering in University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

**Abstract:** A color-difference detection of light guide in the automobile system is designed in this paper. This system consists of a computer, a high-performance CCD camera hardware platform and a LabVIEW software of national instruments platform. First, use the computer to control the CCD camera to acquire the image of the normal and defective light guide. Then segment these images based on a method of histogram threshold segmentation. At last, transform these images' color model from RGB model to CIELAB model, then apply the color difference formula CIE  $L^* a^* b^*$  and CIE2000 to calculate and contrast the color-difference values between the normal and the detective images. So then finish the detection of color-difference of light guide in the automobile.

**Keywords:** LabVIEW; light guide; image processing; color model; color-difference detection

## 1 引言

光导照明出现于 20 世纪 80 年代。1981 年,加拿大的 Whitehead 公司与美国 3M 公司合作,利用全反射原理开发出了棱镜导光管<sup>[1]</sup>。随着光导照明技术的不断发展和完善,现在一些品牌汽车上的日行灯已经开始运用这种照明技术。在工业生产领域中车灯光导已实现大规模的生产,然而在生产过程中光导的颜色偏差是影响车灯照明效果的因素之一,最初在生产线上是由人工去识别光导的颜色和亮度偏差,这样长时间工作后,人眼会感觉到疲惫,检测效率也会下降。根据实际情况,本文设计了一种光导色差检测系统,该系统由 3 个部分组成:1)对正常发光和有缺陷的光导进行图像采集;2)对图像进行预处理;3)计算由预处理后的正常图像与各缺陷图像之间的色差,在对各色差值进行比较和对照后得出结论,从而完成整个检测过程。经过实验验证,本系统具有较高的准确性和实时性。

## 2 检测原理

在车灯光导颜色检测中所使用的软件为美国 NI 公司的 LabVIEW 软件,它是一种用图标代替文本行创建应用程序的图形化编程语言<sup>[2]</sup>。它以直观的流程图编辑风格为特点,开启了虚拟仪器的先河。虚拟仪器是指通过应用程序将通用计算机与功能化硬件结合起来,用户可通过友好的图形界面来操作计算机,在自动化测试领域有着广泛的应用<sup>[12]</sup>。该检测系统的实现要用到 LabVIEW 的机器视觉模块和一些图像处理方面的技术。首先通过摄像头对光导图像进行采集,并进行图像的预处理;然后进行颜色模型的转换(从 RGB 颜色模型转换到  $L^* a^* b^*$  颜色模型上);最后在指定的颜色模型上通过色差公式的计算得出检测结果。

该检测系统主要就是由这 3 个部分组成,其中在图像的采集及预处理部分是最关键的。因为在刚开始的阶段如果图像采集的不规范,那么在后续的处理过程当中就会出

现很大的误差。在对点亮的光导进行图像采集时要注意调整摄像头的光圈和焦距,由于光导被点亮了,它的亮度对图像采集有很大的影响,因此要适当的调整摄像头的光圈,最后在采集到的图像中会发现整幅图像中除了光导部分外其余部分大多都是比较暗的区域,另外还有一些由于实验平台的反射形成的一些亮区,但这些亮区与点亮的光导相比可以很明显的观察到,在图像的预处理过程中这些亮区是噪声,不能运用到色差的计算当中,需要用数字图像处理相关技术进行预处理。如图 1 所示在检测现场所拍摄的有缺陷的光导图片,图 2 为标准光导图片。

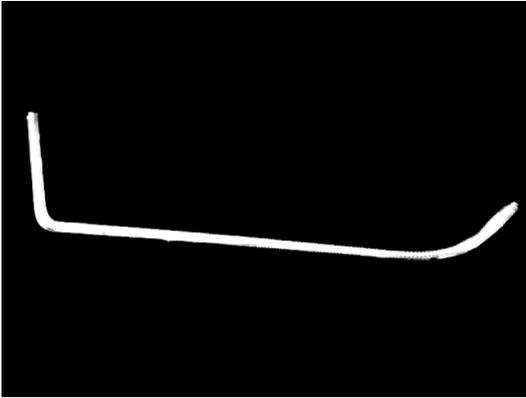


图 1 有缺陷的光导

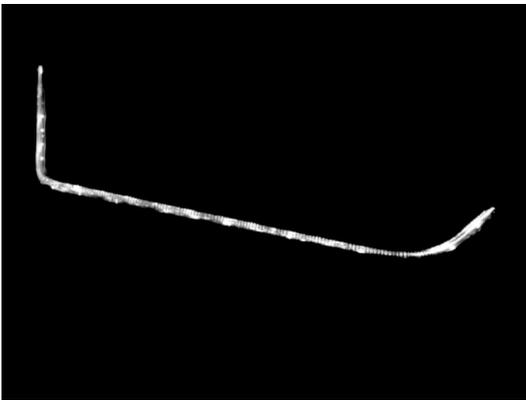


图 2 标准光导

所谓有缺陷的光导指的是该光导与正常发光的光导相比有色差,比如有的光导偏蓝色,有的光导亮度偏高等。

在对图像进行预处理时使用的方法是直方图阈值分割,由于所拍摄的图像格式是彩色 RGB 格式,并且由于各种光导的缺陷不同,从而导致它们所占 RGB 分量的比重不同,因此选用另一种颜色模型来描述它们。在这里选用 HSL 模型,该模型能很好地适应实际上人解释的颜色,其中 H, S, L 分别表示色调、饱和度和明度。明度其实就代表了该彩色图像的灰度信息,提取每一副图像的灰度信息进行直方图阈值分割,可以看到每幅图像的直方图都是双

峰型的,黑色的暗区产生了高峰直方图,点亮的光导产生了矮峰直方图,噪声区域的灰度级像素数介于两者之间且相对较少,从而形成了两峰之间的谷,选择谷作为灰度阈值对图像进行分割<sup>[3]</sup>。分割后形成一幅二值图像,然后与原灰度图像相乘,则噪声区域和黑色暗区的灰度值均为 0,再转换为 RGB 图像后,这些区域的 R, G, B 三分量的值也均为零,RGB 值不为零的区域就是光导所在的区域,提取这些区域的 RGB 值,然后经过颜色模型的转换,在  $L * a * b *$  颜色模型上求出光导的平均明度  $\bar{L}^*$  和平均色度  $\bar{a}^*$ 、 $\bar{b}^*$ 。最后根据色差公式计算出有缺陷的光导和正常的光导的色差值,根据色差值以及明度、色度差得出检测结果。

如图 3 所示为检测系统的前面板,在该前面板上首先设置摄像头曝光量和增益,设置完毕后可以保存该参数的设置。然后开始采集图像并对图像进行预处理,图像采集预处理完毕后可以计算色差了,在这里总共采集了 8 幅光导的图片,其中名称为 *pic3* 的图片为正常发光的光导,其余的都是待检测的样品。在前面板上不仅计算了它们之间的色差值,而且每一分量的差值均已在前面板上显示出来了,这些差值所占的比重大小有助于分析某些有缺陷的光导的颜色取向。根据色差值的大小可以判断该光导的色差属于哪一种类型,此外将两种色差公式计算出的色差值进行对比可以分析它们之间的差异性,为以后的不同产品色差检测提供一些参考。

### 3 颜色模型的选择

颜色模型的目的是在某些标准下用通常可以接受的方式方便地对彩色加以说明,本质上,颜色模型就是坐标系统和子空间的说明。现在所用的大多数颜色模型不是面向硬件(如彩色监视器和打印机)的,就是面向应用的<sup>[4]</sup>。在实际中最通用的颜色模型是 RGB 模型,该模型主要用于彩色监视器和彩色视频摄像机中。然而这种颜色模型却不能应用于该色差检测系统中,因为 RGB 颜色模型所代表的颜色空间在视觉上是一个非均匀的颜色空间,也就是说在该颜色空间上任意选两个点,若用它们之间的欧式距离来表示色差的话,则有可能空间上相等的距离所带来的视觉感觉上的差异却不等<sup>[5]</sup>。因此为了更准确的计算色差,我们需要进行颜色模型的转换,转换到一个均匀颜色模型上去(例如  $L * a * b *$  颜色模型),下面简单的介绍一下该检测过程所涉及的一些颜色模型。

#### 3.1 RGB 颜色模型

颜色混合的基本定律表明:自然界任何一种颜色均可用红、绿、蓝 3 种原色光混合匹配产生,这在几何上能够以 R、G、B 3 个相互垂直轴所构成的空间坐标系统来表示。对于任何一种颜色,都可以以一定的比例的红光、绿光和蓝光匹配得到。RGB 颜色模型在彩色处理系统中是不可缺少的颜色模型,运用在很多场合。如显示器,它使用送来的 R、G、B 数值来驱动 R、G、B 电子枪发射电子,并分别激发

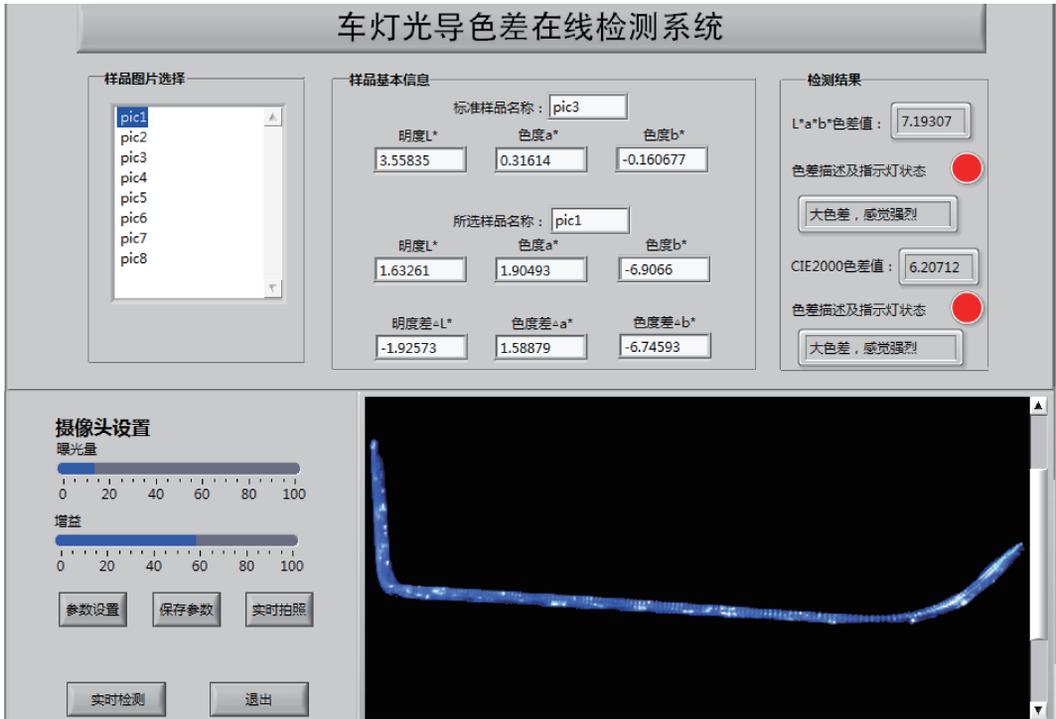


图 3 检测系统前面板

荧光屏上的 R、G、B 3 种颜色的荧光粉发出不同亮度的光线,最后通过相加混合产生各种颜色。不同型号的显示器显示同一副图像,会有不同的色彩显示结果,因此该颜色模型是与设备相关的颜色模型<sup>[11]</sup>。另外 R、G、B 3 个分量具有高度相关性<sup>[6]</sup>,因此不能直接用于色差的计算,从 CCD 摄像机内采集到的原始图像是 RGB 类型的,所以要进行颜色模型的转换。

### 3.2 XYZ 颜色模型

R、G、B 颜色模型使用红、绿和蓝三基色系统匹配某些可见光谱颜色时,需要使用基色的负值,不仅不容易理解,而且使用也不方便。由于任何一种基色系统都可以从一种系统转换到另一种系统,因此国际照明委员会采用了一种新的颜色模型,即 XYZ 颜色模型。该颜色模型是与设备无关的颜色模型。从 RGB 颜色模型到 L\*a\*b\* 颜色模型的转换是不能直接转换的,先要将其转换到 XYZ 颜色模型,然后再转换到 L\*a\*b\* 模型上。这里的 X、Y、Z 是想象的 3 种基色,它们与可见颜色不相应<sup>[7]</sup>。XYZ 颜色模型是由 RGB 颜色模型通过坐标变换的方法转换而来的,因此它是一个非均匀的颜色模型。设 r, g, b 为像素的 3 个通道,取值范围均为 [0, 255],从 RGB 颜色模型到 XYZ 颜色模型的转换公式如下:

$$\begin{cases} R = \gamma\left(\frac{r}{255}, 0\right) \\ G = \gamma\left(\frac{g}{255}, 0\right) \\ B = \gamma\left(\frac{b}{255}, 0\right) \end{cases} \quad (1)$$

$$\gamma(x) = \begin{cases} \left(\frac{x + 0.055}{1.055}\right)^{2.4}, & x > 0.04045 \\ \frac{x}{12.92}, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3579 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

上面的 gamma 函数是用来对图像进行非线性色调编辑,目的是提高图像对比度。

### 3.3 L\*a\*b\* 颜色模型

L\*a\*b\* 颜色模型是 1 个均匀的颜色空间,它描述的是物体颜色的显示方式,不是面向硬件设备(如显示器、打印机)的,所以它是 1 个与设备无关的颜色模型<sup>[8]</sup>。其中 L\* 代表明度, a\* 和 b\* 代表色度。L\*a\*b\* 属于对立色空间, L\* 代表黑/白; a\* 代表红/绿, +a\* 表示红色, -a\* 表示绿色; b\* 代表黄/蓝, +b\* 表示黄色, -b\* 表示蓝色<sup>[7]</sup>。

L\*a\*b\* 颜色模型是 XYZ 颜色模型的一种非线性变换,其变换公式如下:

$$\begin{cases} L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\ a^* = 500\left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right] \\ b^* = 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right] \end{cases} \quad (4)$$

式中:

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) =$$

$$\begin{cases} (X/X_n)^{1/2} & X/X_n > 0.008 856 \\ 7.787(X/X_n) + 16/116 & X/X_n \leq 0.008 856 \end{cases} \quad (5)$$

等于 255 时所对应的  $X, Y, Z$  值<sup>[9]</sup>。在  $L^* a^* b^*$  均匀颜色空间中求两个颜色的色差公式为:

$$\Delta E_{cb}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (8)$$

$$\begin{cases} (Y/Y_n)^{1/2} & Y/Y_n > 0.008 856 \\ 7.787(Y/Z_n) + 16/116 & Y/Y_n \leq 0.008 856 \end{cases} \quad (6)$$

为了进一步改善工业色差评价的视觉一致性,2001 年 CIE 推荐了一个新的色差公式,称为 CIE2000 色差公式。它与  $L^* a^* b^*$  色差公式相比提高了很大的精度,其色差公式为:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'_{ab}}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H}\right)^2 + R_t \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'_{ab}}{K_H S_H}\right)} \quad (9)$$

$$\begin{cases} (Z/Z_n)^{1/2} & Z/Z_n > 0.008 856 \\ 7.787(Z/Z_n) + 16/116 & Z/Z_n \leq 0.008 856 \end{cases} \quad (7)$$

式中: $X, Y, Z$  为颜色样品的三刺激值; $X_n, Y_n, Z_n$  为 CIE 标准照明体照射到完全漫反射体上,再经过完全漫反射反射到观察者眼中的白色刺激的三刺激值(即 R,G,B 值分别

该色差公式里各项参数的详细解释参考文献[10],表 1 中显示了各色差值所代表的主观颜色差别感觉程度。

表 1  $\Delta E$  与主观颜色差别感觉分级表

$\Delta E$	0.0~0.50	0.5~1.50	1.5~3	3~6	6 以上
感觉色差程度	(微小色差) 感觉极微	(小色差) 感觉轻微	(较小色差) 感觉明显	(较大色差) 感觉明显	(大色差) 感觉明显

### 4 结 论

各样本光导与标准光导的明度值  $L^*$ , 色度值  $a^*, b^*$

, 以及样本光导与标准光导的色差值, 明度差  $\Delta L^*$ , 色度差  $\Delta a^*, \Delta b^*$  均已列出, 如表 2、表 3 所示。

表 2 各光导  $\overline{L^*}, \overline{a^*}, \overline{b^*}$  三个分量及色差值

名称	类型	$\overline{L^*}$	$\overline{a^*}$	$\overline{b^*}$	$\Delta E_{cb}^*$	$\Delta E_{00}$
pic1	标准光导	3.558 35	0.316 14	-0.1606 77	0	0
pic2	待测光导	2.127 6	0.201 769	-0.007 81797	1.443 43	0.869 494
pic3	待测光导	6.853 91	0.215 076	-0.407 746	3.306 36	1.995 86
pic4	待测光导	4.386 75	2.395 24	3.855 84	4.597 97	4.571 95
pic5	待测光导	1.419 64	5.360 3	-2.219 2	5.852 79	6.657 81
pic6	待测光导	1.632 61	1.904 93	-6.906 6	7.193 07	6.207 12
pic7	待测光导	6.029 76	-2.921 15	8.336 95	9.423 24	7.587 46
pic8	待测光导	4.696 89	-7.198 88	5.993 77	9.780 03	9.219 25

表 3 各待测光导与标准光导的明度差、色度差

名称	类型	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$
pic1	标准光导	0	0	0
pic2	待测光导	-1.430 75	-0.114 371	0.1528 59
pic3	待测光导	3.295 56	-0.101 064	-0.247 068
pic4	待测光导	0.828 398	2.079 1	4.016 52
pic5	待测光导	-2.138 71	5.044 16	-2.058 52
pic6	待测光导	-1.925 73	1.588 79	-6.745 93
pic7	待测光导	2.471 41	-3.237 29	8.497 63
pic8	待测光导	1.138 54	-7.515 02	6.154 45

有缺陷的光导, 则由表 2 中色差值可以看出, 待测光导 pic4~7 均为有缺陷的光导, 即与正常发光的光导相比有色差。从图 4 中也可以很明显看出这些光导的实际发光情况, 它们与标准光导相比色差是很明显的, 也就是说它们是属于大色差的范畴内。但对于 pic3 来说, 它的缺陷主要是由亮度引起的, 因此它的平均明度值  $\overline{L^*}$  与标准光导相比相差很大, 然而它的平均色度值  $\overline{a^*}$  与  $\overline{b^*}$  标准光导相比却相差不大, 这可以通过表 3 中的 pic2 和 pic3 之间比较看出, 因此亮度对色差是没有影响, 这里认为 pic3 是没有色差的, 只是亮度与标准光导相比比较高而已, 在图 4 中可以很明显的看出这种情况。同时比较两种不同的色差公式所计算出的色差值时, 会发现由  $CIE L^* a^* b^*$  计算出

1)由表 1 可知, 我们假定色差值大于 1.5 的光导均为

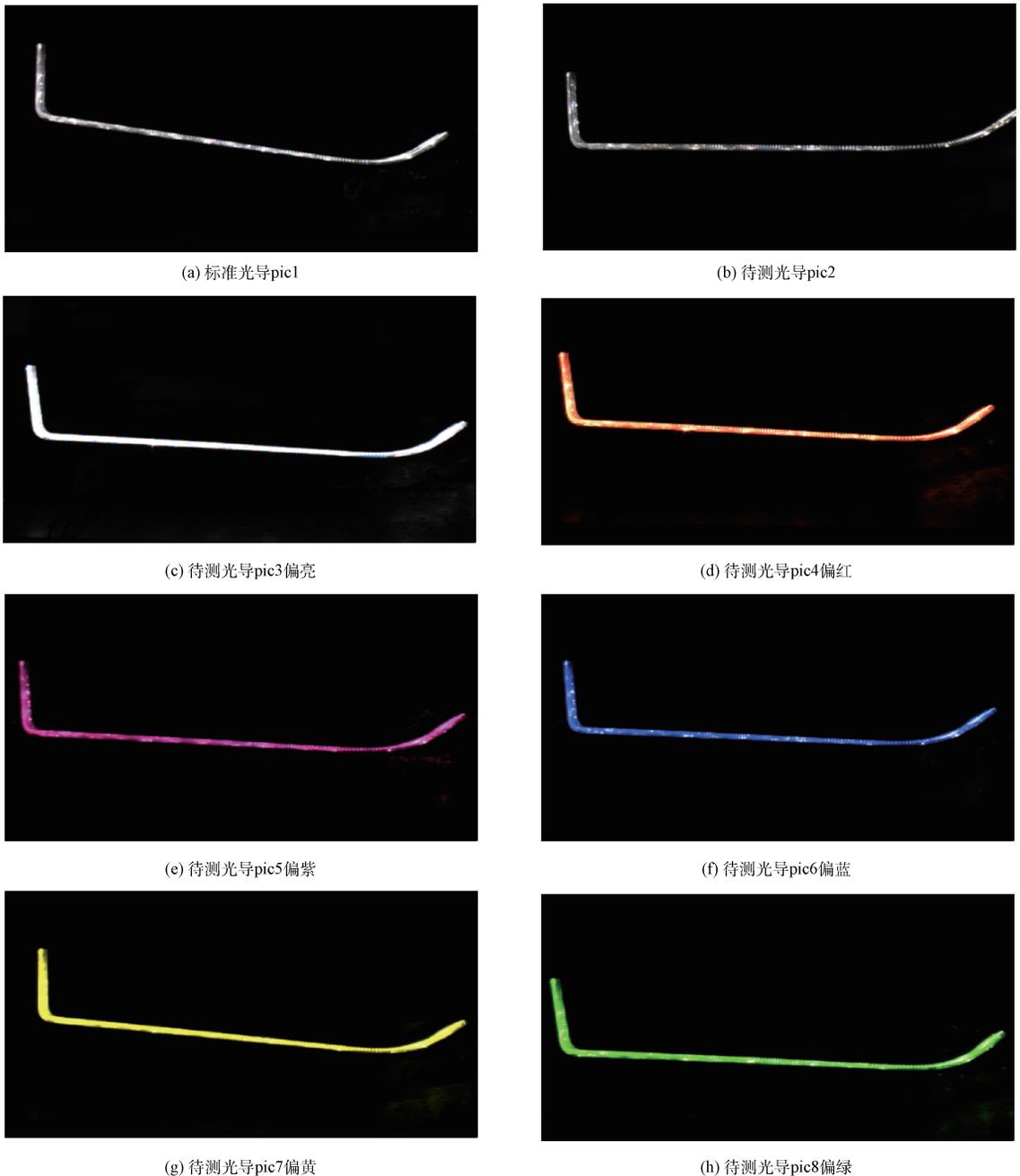


图 3 待测光导与标准光导

的色差值一般总是要大于用 CIE2000 计算出的色差值,因此在计算有较大色差物体的色差值时  $CIEL^*a^*b^*$  色差公式要比 CIE2000 色差公式更敏感一些,但从表 1 以及图 4 中可以看出这两个色差公式均可以正确的检测光导的色差。由表 1 可知 pic2 的色差属于小色差,感觉轻微,在实际生产中认为它是正常的,即与标准光导相比没有色差,可以从图 4 中很明显的观察到。比较两个色差公式的值可知在计算小色差的物体的色差值时 CIE2000 色差公式要更敏感一些。

2) 在检测出有色差的光导之外,还可以根据明度差,

色度差的大小所占的比重来分析有色差的光导更偏向哪一种颜色。若  $\Delta L^* > 0$  则表示样品与标准物的颜色相比偏亮;若  $\Delta a^* > 0$  则表示样品与标准物的颜色相比偏红,反之偏绿;若  $\Delta b^* > 0$  则表示样品与标准物的颜色相比偏黄,反之偏蓝。由表 3 可以看出 pic6 的  $\Delta b^*$  所占的比重较大,因此该光导偏蓝,可以由图 4 很明显的看出,其他光导的颜色偏向也可以以此类推。在判断光导颜色偏向时首先要确定该光导是有色差的,即通过色差公式计算并与表 1 对比后再进行颜色偏向判断才是有意义的。

3) 在公式(9)中  $\Delta L'$ 、 $\Delta C'_{ab}$ 、 $\Delta H'_{ab}$  分别表示亮度差、饱

和度差和色调差,另外有三个参数  $K_L$ 、 $K_C$ 、 $K_H$ ,它们是与使用条件相关的校正系数,是影响色差感觉的因素。比如在某一检测过程中若对亮度差非常感兴趣,那么在选择参数  $K_L$  时,它所占的比重大一些。其他情况以此类推,在本文所描述的待测光导中(如图 3 所示)亮度差、饱和度差和色调差均存在,因此在一般情况下  $K_L$ 、 $K_C$ 、 $K_H$  的取值所占的比重都是相等的,本文对于这 3 个参数的取值均为 1,即  $K_L=K_C=K_H=1$ 。对于各种色差检测的侧重点不同也就导致了这 3 个参数的不同的选择,所以在表 2 中发现对于待测光导 pic5 而言,用 CIE2000 计算出的色差值要大于  $CIEL^*a^*b^*$  所计算出的色差值。从数值上看它们都属于大色差的范畴,另外从图 3 中也可以很明显的看出。

## 参考文献

- [1] 徐登辉,刘志东. 光导照明系统的基本原理及使用概况[J]. 智能建筑与城市信息,2010(6):81-84.
- [2] 陈锡辉,张银鸿. LabVIEW 8.2 程序设计从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [3] 王业琴,王克奇,白雪冰,等. 计算机视觉木材表面色差检测的研究[J]. 林业科技,2005,30(2):36-38.
- [4] RAFAEL C, RICHARD E. Digital image processing[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
- [5] 武兵. CIELAB 均匀色空间在印刷中的应用[J]. 印刷质量与标准化,2003(5):14-17.

- [6] 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,2008,36(6):352-355.
- [7] 廖宁放,石俊生,吴文敏. 数字图文图像颜色管理系统概论[M]. 北京:北京理工大学出版社,2009.
- [8] 王静. 牛仔织物水洗色差检测装置及技术[D]. 武汉:武汉纺织大学,2013.
- [9] 孙建明,周世生,周利国. 基于 CIEDE2000 色差公式的印刷品色差检测研究[J]. 机械科学与技术,2011,30(4):582-585.
- [10] 杨杨. 基于均匀计色制的彩色图像质量评价[D]. 合肥:安徽大学,2007.
- [11] 李瑞娟. RGB 到 CIEXYZ 色彩空间转换的研究[J]. 包装工程,2009,30(3):79-81.
- [12] 李党娟. 基于 LabVIEW 的冲量测试系统开发[J]. 国外电子测量技术,2012,31(1):63-66.

## 作者简介

王晨,硕士研究生,主要研究方向为信号与信息处理。  
E-mail:511840226@qq.com。

戴曙光,教授,博士生导师,主要研究方向为工业光电检测技术与装置、测试信息获取与处理、计算机视觉检测技术等。

穆平安,教授,硕士生导师,主要研究方向为机器视觉与智能检测、信息获取与处理技术等。