

文章编号: 0253-2239(2001)04-454-05

彩色编码投影光栅三维轮廓术中分色问题的研究*

刘维一 王肇圻 母国光 方志良

(南开大学现代光学研究所教育部光电信息技术科学开放研究实验室, 天津 300071)

摘要: 针对彩色编码投影光栅三维轮廓术所需的分色技术要求, 根据光度学的原理, 提出了一种由 RGB 格式到 HIS 格式的变换关系, 同时给出了逆变换关系式。亮度 I 定义为 R 、 G 、 B 三个分量的平均值。白度 S 定义为 R 、 G 、 B 三个分量中最小的分量除以亮度值。用 R 、 G 、 B 三个分量中的最小值去减另外两个分量, 得到该像素所对应的光谱色, 然后由这两个分量的比值来确定色度 H 。在 HIS 格式中将亮度与颜色信息分离开, 在进行分色处理时不受亮度变化的影响。通过设定固定的阈值, 可以将红、绿、蓝、青、品、黄几种颜色有效地区分开来。

关键词: 彩色空间变换; HIS 格式; 颜色分离

中图分类号: O432.2 文献标识码: A

1 引 言

利用光学轮廓术进行三维轮廓测量具有设备简单、测量精度较高、非接触测量等特性, 在许多领域有着广阔的应用前景。采用投影光栅进行三维测量是将一个被周期函数调制的光栅光场投射在被测物体的表面。由于物体表面高度的变化, 使得各点的光栅条纹相对参考面发生了偏移, 由测量系统的光路结构可找出相对偏移量与表面高度的函数关系。光栅光场的调制函数可以是正弦函数^[1]、线性周期函数^[2]、彩色光谱^[3]。彩色编码投影光栅三维轮廓术采用彩色条纹对条形光栅进行编码处理, 可以在不改变单个条纹宽度的前提下, 增加光栅的空间周期^[4], 从而在测量精度不变的条件下, 保证有足够的高度测量范围。测量过程只需一幅图像即可完成, 所以特别适合对动态物体进行测量。

用彩色编码光栅进行三维测量时, 由于被测物体存在本底颜色, 在测量图像中会造成一定程度的偏色。颜色分辨技术的好坏直接关系到这一方法的应用范围和测量的准确性。在用计算机进行图像处理, 彩色图像一般采用红、绿、蓝 (R 、 G 、 B) 三色格式。由于这种格式将每一个像素点分解成三个独立的彩色通道, 每一个彩色通道都包含了颜色信息和亮度信息。而在三维测量中则要求测量系统不受图像中明暗变化的影响, 因此希望把颜色信息与亮度信息分离开。 HIS 格式是另一种彩色格式^[5], 其中 I

称为亮度或强度, 表示物体表面明暗的程度; S 称为饱和度或白度, 表示颜色中含有白光的程度。 H 称为色度, 表示该颜色最接近的光谱色。这种格式反映了人观察彩色的方式, 同时也可用于彩色图像的处理。从 RGB 格式到 HIS 格式的变换不是唯一的。根据不同问题的需要, 有多种不同的变换^[6]。我们针对光学图像中颜色区分问题, 从光度学的角度出发, 导出了一种从 RGB 格式到 HIS 格式的变换关系。在用于彩色编码光栅三维轮廓测量图像处理中, 得到了很好的结果。

2 彩色坐标变换

有几种方法可以定量地表示颜色。如计算机中的彩色图像的颜色直接用红、绿、蓝三色的亮度值表示, 称为 RGB 格式。 RGB 格式可以很方便地表示各种颜色, 但如果要区分各种颜色则比较困难。因为在彩色图像中, 同一种颜色在各处的亮度变化不同, 使得各处的 RGB 值有很大变化。图 1 是三维测量彩色编码光栅采样图。其中编码光栅采用了黑、白、红、绿、蓝、青、品、黄 8 种颜色的条纹对光栅进行编码, 每种颜色的条纹在不同区域的亮度有很大的变化。这种变化在不同曝光量的图像之间的差别就更大, 很难通过几个固定的阈值来区分各种颜色。 HIS 格式将亮度与颜色信息分离开, 在进行分色处理时不受亮度变化的影响。但 HIS 格式的定义有许多种, 不同的定义所得到的结果也存在一定的差别。本文针对彩色编码光栅投影图的分色要求, 对 HIS 格式进行了定义。

* 国家自然科学基金 (69777003) 资助项目。

收稿日期: 1999-09-27; 收到修改稿日期: 2000-02-28



Fig. 1 The image of color-coded grating of 3-D measurement

2.1 由 RGB 格式到 HIS 格式的变换

2.1.1 I 的定义

在各种 HIS 格式中, 亮度 I 的定义基本上是一致的, 通常它是 R 、 G 、 B 三个分量的平均值。定义为:

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (1)$$

由于计算机显示器采用的是红、绿、蓝等值的白色, 即由相同亮度的红、绿、蓝三色光组成白光, 所以(1)式的定义具有一定的普遍性。在 24 位真彩色模式下 R 、 G 、 B 三个分量的取值范围都是 $0 \sim 255$, 因此, I 的取值范围也是 $0 \sim 255$ 。 I 确定了像素的整体亮度, 而不管颜色是什么。在确定了亮度值以后, R 、 G 、 B 三个分量中只有两个是独立的。

2.1.2 S 的定义

我们首先考虑白色物体的情况。物体对红、绿、蓝三色的反射系数分别用 A_R 、 A_G 、 A_B 表示, 并且 $A_R = A_G = A_B$ 。入射光由两部分组成, 一部分是光谱纯的彩色光, 在不失一般性的条件下, 为讨论方便, 先假设它由红绿光组成, 并表示为 $P_R + P_G$; 另一部分是白色背景光, 红、绿、蓝三个光强分量分别用 O_R 、 O_G 、 O_B 表示, 并且有 $O_R = O_G = O_B$ 。这样的入射光照在白色物体上, 得到的彩色图像中红、绿、蓝三个分量分别为:

$$\left. \begin{aligned} \text{红色分量: } R &= (P_R + O_R) \times A_R \\ \text{绿色分量: } G &= (P_G + O_G) \times A_G \\ \text{蓝色分量: } B &= O_B \times A_B \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中, 蓝色分量的数值最小, 如图 2 所示。因此我们将彩色图像中 R 、 G 、 B 三个分量中最小的分量认定为该颜色中的白光成分, 除以亮度值, 就可以定量描述该颜色中所包含白光的程度。将 S 将为“白度”, 并将 S 定义为:

$$S = \frac{\min(R, G, B)}{I} m, \quad (3)$$

其中, $\min(R, G, B)$ 为 R 、 G 、 B 三个分量中的最小值。

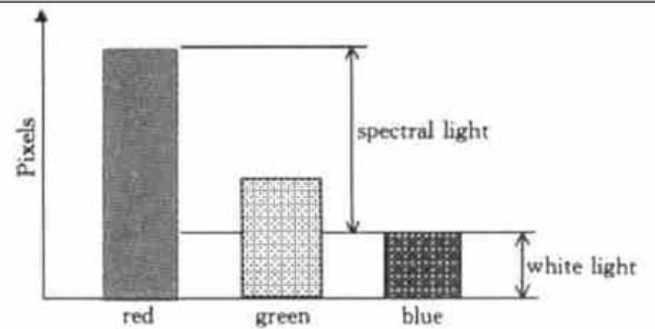


Fig. 2 The RGB distribution of a color pixel

2.1.3 H 的定义

从图 2 所示的 RGB 彩色格式中, 任意一种颜色可以表示为光谱色成分与白光成分的组合。而任意一个光谱色可以用 RGB 格式中两种颜色的比值表示。例如黄色由红色与绿色按 1:1 的比例构成。由于 24 位 RGB 格式中每一个彩色分量的取值范围为 $0 \sim 255$, 所以黄色可以表示为 $10/10$ 、 $100/100$ 、 $255/255$ 等。它们都表示黄色, 所不同的只是亮度不同而已。为了保证比例式中分母永远不为零, 规定用两个彩色分量中较大的一个分量作分母。这样两个彩色分量的比值在 $0 \sim 1$ 之间。

为了将彩色空间中每一个光谱色区分开来, 我们将 H 定义为: 当红色为最大值, 由红、绿两个分量组成的光谱色用 G/R 表示; 当绿色为最大值, 由红、绿两个分量组成的光谱色用 $2 - R/G$ 表示; 当绿色为最大值, 由绿、蓝两个分量组成的光谱色用 $2 + B/G$ 表示; 当蓝色为最大值, 由绿、蓝两个分量组成的光谱色用 $4 - G/B$ 表示; 当蓝色为最大值, 由蓝、红两个分量组成的光谱色用 $4 + R/B$ 表示; 当红色为最大值, 由蓝、红两个分量组成的光谱色用 $6 - B/R$ 表示。

按照以上定义的 HIS 格式中, 包含颜色信息的两个参数 H 与 S 可以形象地用一个周长为 6 的圆来描述。在圆的中心是灰色, 白度为 1。在圆的外围圆周是光谱纯颜色, 白度为 0。 H 可以认为沿着圆环外围变化。由于 S 与 H 是两个互相独立的变量, 这种设定不会造成参数之间的冲突。按照以上对 H 的定义, 红色为圆周的起始点, 对应着 $H = 0$; 绿色和蓝色分别位于 $H = 2$ 、 $H = 4$ 的位置。可以依次由红 \rightarrow 黄 \rightarrow 绿 \rightarrow 青 \rightarrow 蓝 \rightarrow 品 \rightarrow 红将色环等分成 6 个区域。如图 3 所示。在 I 区, 最大值为红色, 由红、绿两

个分量组成光谱色;在 II 区,最大值为绿色,由红、绿两个分量组成光谱色;在 III 区,最大值为绿色,由绿、蓝两个分量组成光谱色;在 IV 区,最大值为蓝色,由绿、蓝两个分量组成光谱色,在 V 区,最大值为蓝色,由蓝、红两个分量组成的光谱色;在 VI 区,最大值为红色,由蓝、红两个分量组成光谱色。在这 6 个区域中 H 分别定义为:

$$\left. \begin{aligned} \text{I 区: } H &= G/R; \\ \text{II 区: } H &= 2 - R/G; \\ \text{III 区: } H &= 2 + B/G; \\ \text{IV 区: } H &= 4 - G/B; \\ \text{V 区: } H &= 4 + R/B; \\ \text{VI 区: } H &= 6 - B/R. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

在两个区域的交界处,用哪个区域定义的 H 值得到的结果都是一样的。

$$\left. \begin{aligned} \text{I 区 } \max(R, G, B) &= R, \quad \min(R, G, B) = B, \quad H = (G - B)/(R - B); \\ \text{II 区 } \max(R, G, B) &= G, \quad \min(R, G, B) = B, \quad H = 2 - (R - B)/(G - B); \\ \text{III 区 } \max(R, G, B) &= G, \quad \min(R, G, B) = R, \quad H = 2 + (B - R)/(G - R); \\ \text{IV 区 } \max(R, G, B) &= B, \quad \min(R, G, B) = R, \quad H = 4 - (G - R)/(B - R); \\ \text{V 区 } \max(R, G, B) &= B, \quad \min(R, G, B) = G, \quad H = 4 + (G - R)/(B - G); \\ \text{VI 区 } \max(R, G, B) &= R, \quad \min(R, G, B) = G, \quad H = 6 - (G - R)/(R - G). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

按照(5)式的定义: H 值只与颜色本身的特性有关,而不受图像中的亮度影响。因此可以方便地用 H 值将各种颜色区分开来。

2.2 由 HIS 格式到 RGB 格式的变换

根据 HIS 格式的定义,可以得出由 HIS 格式到

$$\left. \begin{aligned} \text{I 区 } 0 \leq H < 1, \quad R &= \frac{3 - 2S + HS}{H + 1} I, \quad G = \frac{3H + S - 2HS}{H + 1} I, \quad B = IS; \\ \text{II 区 } 1 \leq H < 2, \quad R &= \frac{-6 + 3H + 3S - 2SH}{H - 3} I, \quad G = \frac{-3 + SH}{H - 3} I, \quad B = IS; \\ \text{III 区 } 2 \leq H < 3, \quad R &= SI, \quad G = \frac{3 - 4S + SH}{H - 1} I, \quad B = \frac{-6 + 3H + 5S - 2SH}{H - 1} I; \\ \text{IV 区 } 3 \leq H < 4, \quad R &= SI, \quad G = \frac{-12 + 3H + 7S - 2SH}{H - 5} I, \quad B = \frac{-3 - 2S + SH}{H - 5} I; \\ \text{V 区 } 4 \leq H < 5, \quad R &= \frac{-12 + 3H + 9S - 2SH}{H - 3} I, \quad G = SI, \quad B = \frac{-3 - 6S + SH}{H - 3} I; \\ \text{VI 区 } 5 \leq H < 6, \quad R &= \frac{-3 - 4S + SH}{H - 7} I, \quad G = SI, \quad B = \frac{-18 + 3H + 11S - 2SH}{H - 7} I. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

由于在 24 位真彩色模式下,RGB 格式中,红、绿、蓝 3 个分量采用 3 个整数表示,取值范围都是 0~255,所以变换后 HIS 格式中的 3 个变量也采用 3 个整数表示,取值范围也设定在 0~255。这时要给 S 和 H 乘以一个系数。我们用 S' 和 H' 表示取值范围在 0~255 的 S 和 H 值,得到:

$$S' = 255 \times S; \quad (7)$$

$$H = 42.5 \times H'. \quad (8)$$

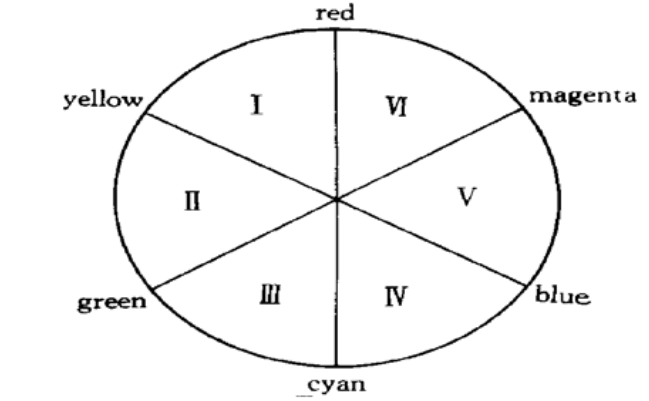


Fig. 3 The color circle expression of HIS model

对于非光谱色在进行彩色图像处理时,首先去除其中的白光成分。即用 RGB 三个分量中的最小值减去另外两个分量,得到该像素所对应的光谱色,然后由这两个分量的比值来确定色度 H 。由此我们就得到了一般条件下 H 的定义为:

RGB 格式的变换关系。根据 H 的取值范围,首先确定它在色环中的位置,然后用(5)式中相应的变换公式及 S 和 I 的定义式得到 HIS 格式到 RGB 格式的变换关系为:

这样就能完成由 HIS 格式到 RGB 格式的变换。

3 实验结果

从图 1 的实际测量图中,选取 5 个不同亮度区

域对红、绿、蓝、青、品、黄 6 种颜色进行采样。得到每种颜色的条纹不同亮度的 RGB 像素分布值,如图 4 所示。其中横坐标为同一颜色的 5 个不同亮度区域的采样点,纵坐标为红、绿、蓝 3 个分量的像素值。在 24 位 RGB 格式下,每一个分量用 8 位二进制表示,

所以每一个分量有 0~ 255 个灰阶。从图 4 的实验测量结果看到,对同一种颜色,在不同亮度区域中,RGB 三个分量值有较大的离散性。□表示红色分量的大小,○表示绿色分量的大小,■表示蓝色分量的大小。

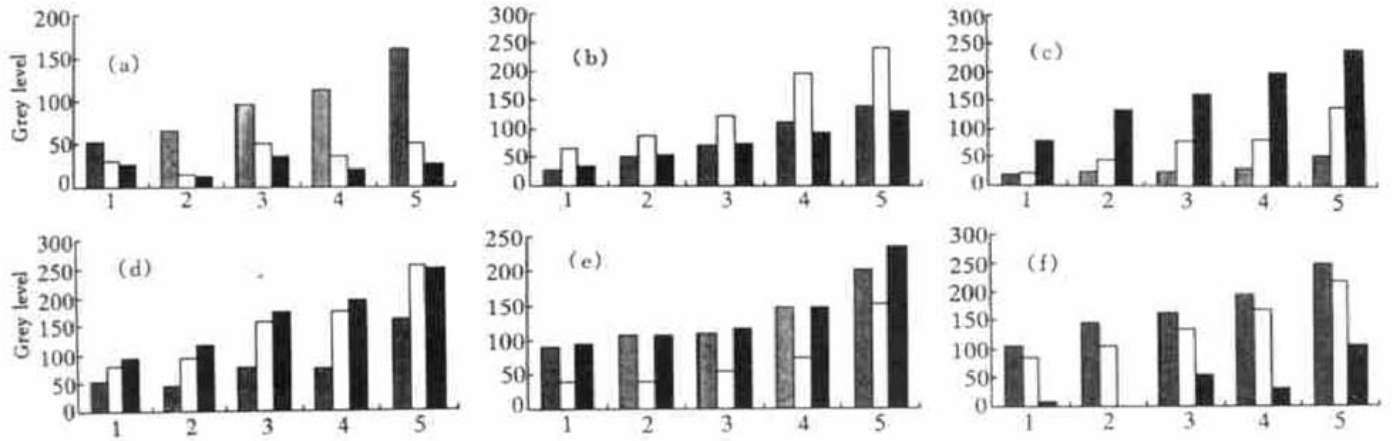


Fig. 4 The RGB value of red, green, blue, cyan, magenta and yellow strips with different brightness of a measurement image.

(a) Red strips, (b) Green strips, (c) Blue strips, (d) Cyan strips, (e) Magenta strips, (f) Yellow strips

将图 4 的实验数据由 RGB 格式转换成 HIS 格式,可以消除由亮度造成的离散。图 5 是图 4 中红、黄、绿、青、蓝、品 6 种色所对应的 H 值。其中每一根柱线对应着图 4 中的一组 RGB 采样值。在图 5 中,每种颜色的离散性被限制在一定范围之内,不同颜色之间的 H 值有较大的差异。因此可以用固定的阈值来区分各种颜色。

三种颜色的 H 值差别较大,在没有青、品、黄颜色的情况下,可以将阈值范围取得比较宽,因而具有更强的抗干扰能力。

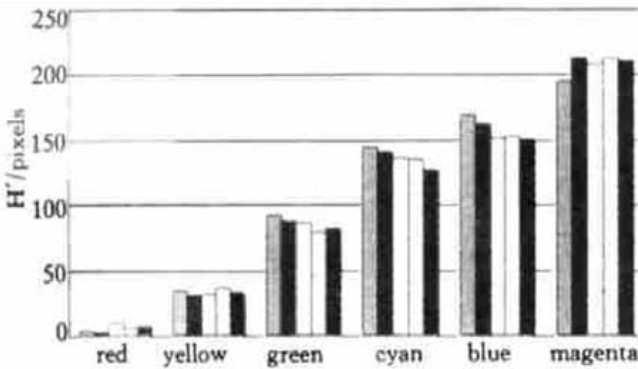


Fig. 5 The H value of red, green, blue, cyan, magenta and yellow strips of Fig. 4

图 6 是彩色编码光栅采样图(图 1) 经过 HIS 变换后,采用固定阈值对彩色条纹进行分色处理,然后对彩色条纹进行色纯化处理得到的结果。其中完全消除了亮度变化带来的影响。为以后的处理提供了很好的基础。

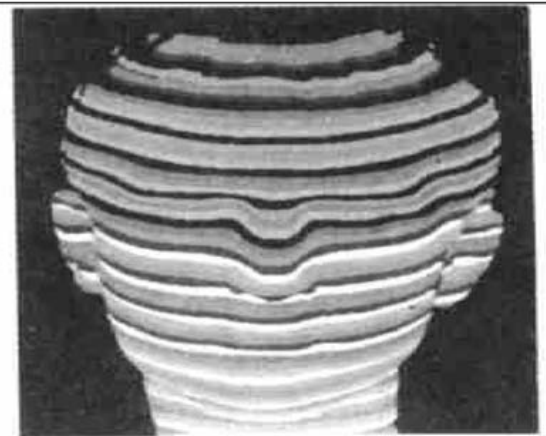


Fig. 6 The result of image after color distinguish and purification

在进行三维测量时,被测物体不限于白色物体。有一定本底色的物体,特别是有一定纹理的物体,会对测量产生较大的干扰。这时应尽量采用红、绿、蓝 3 种颜色对光栅进行编码。在 HIS 格式中,红、绿、蓝

4 讨 论

RGB 格式可以很方便地显示各种颜色。但要区分各种颜色则比较困难。在 RGB 格式中,颜色信息与亮度信息融合在一起。受图像亮度变化的影响,无法用固定的阈值来区分各种颜色。HIS 格式将亮度信息与颜色信息分离开。在 HIS 格式下进行分色处理时,可以不受图像中亮度变化的影响。采用固定的阈值即可将各种颜色有效地分离开来。

由 RGB 格式到 HIS 格式的变换关系可以有多种,采用不同的彩色坐标系可以得到不同的彩色

空间变换模型。然而通过数学模型进行变换, 往往会使变换关系的物理模型不够清晰。

本文从彩色空间的物理模型出发, 用光度学的方法给出了由 *RGB* 格式到 *HIS* 格式的变换关系式。在这一关系式中, *H* 值直接反映出光谱色中两个颜色的比值。而且从一种颜色到另一种颜色的变化过程中, *H* 值与颜色的变化为线性关系。例如将 *RGB* 格式中的红色分量固定为 255, 然后将绿色分量从 0 增加到 255, 这时的颜色从红色逐渐变为黄色, 相应的 *H* 值从 0 变到 1。在这个变化过程中, *H* 值是随着绿色分量的增加而线性增加的。文献[6] 中给出了一种 *H* 的定义式。以红、绿色组成的光谱色为例, 如果将其变换成与本文等值的关系式, 它采用的是绿色分量与红、绿两个分量的平均值之比。按照这一定义, 从一种颜色到另一种颜色的变化过程中, *H* 值与颜色的变化为非线性关系。因此本文定义的 *H* 值

在进行较为细致的分色处理时具有一定的优点。

参 考 文 献

- [1] Fan Hua, Zhao Hong, Tan Yushan. Automated three-dimensional surface profilometry using dual-frequency optic fiber phase-shifting method. *Opt. Engng.*, 1997, **36**(11): 3167~ 3171
- [2] 张舜德, 方 强. 线性结构光编码的三维轮廓术. *光学学报*, 1997, **17**(11): 1533~ 1537
- [3] Hausler G, Ritter D. Parallel three-dimensional sensing by color-coded triangulation. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(35): 7164~ 7169
- [4] 刘维一, 王肇圻, 母国光等. 彩色组合编码条纹光栅轮廓术. *光学学报*, 2000, **20**(9): 1218~ 1223
- [5] Castleman K R. *Digital Image Processing*. Prentice-Hall, Inc., 1996
- [6] Ledley R S, Buas M, Golab T J. Fundamentals of True-Color Image Processing. *Proc. 10th Int. Conf. Pat. Rec.*, Los Alamitos: IEEE Comp. Soc. Press, 1990, (Cat. No. 90CH2898-5) 1: 791~ 795

Color Distinction and Its Application in Color-Coded Grating Profilometry

Liu Weiyi Wang Zhaoqi Mu Guoguang Fang Zhiliang

(*Institute of Modern Optics, Opto-Electronic Information Science and Technology Lab, EMC, Nankai University, Tianjin 300071*)

(Received 27 September 1999; revised 28 February 2000)

Abstract: A transformation from *RGB* model to *HIS* model is presented based on the luminosity of the object and its reverse transformation. *I* is used to represent the brightness of the color defined as the average value of *RGB*, and *S* is used to represent the whiteness of the color defined as the minimum value of *RGB* divided by brightness. *H* is used to represent the hue of the color. Two larger values of *RGB* are subtracted by the minimum value of *RGB*. The *H* is defined as the ratio of the differences. In *HIS* model, the brightness is separated from color. Thus, the brightness has no influence on the distinction of colors. By setting certain thresholds, it is easy to distinguish red, green, cyan, magenta and yellow strips in *HIS* model.

Key words: color transformation; *HIS* model; color distinguish