

白光按两张图片之间的差别假色编码

蔡次凯 郑义 杨慧 田志伟
(杭州大学物理系)

提 要

本文提出用白光按两张图片之间的差别假彩色编码的一种方法。证明了用不同颜色的两个光源足以检验人眼所能同时区分的两张连续灰度图片之间的差别，并用电视模拟系统对假彩色编码输出像进行了选色和微分处理，增强了所需要的差别信号。理论分析与实验相符。最后，讨论了这种方法可能的实际应用。

一、引 言

检验一个物体在不同时刻拍摄的两张图片之间的差别，是光学信息处理的一种实际应用。

近年来，提出了各种以光学减法检验两张图片之间差别的方法。这些方法大体可分为全息法^[1]，干涉仪法^[2,3]，图像编码法^[4,5]和正负图片迭加法^[6,7]。新发展的这些系统，消除了立体镜方法和闪光方法易使视觉疲劳并且不易用电子学方法自动处理的缺点^[8]。但是，都失去了早期方法易于直接判读两张图片之间差别部分与相同部分之间位置关系的优点。

近来，由于电子学中彩色显示器件的进展，把彩色用于各种显示系统中，已引起人们的广泛注意。假彩色编码用于多波段地球资源图片、气象图片和联合两张不同扫描类型的医学图片的处理上，已经证明是非常有用的，并已得到实际应用^[9]。文献[7]讨论了用三原色对三张二进制图片编码产生的彩色效应，并阐述了它在半导体集成电路模板图形缺陷识别中应用的可能性。

二、实验原理分析

由色度学知识可知，用 CIE-XYZ 系统，每种颜色的光都可以用设想的三原色刺激量 (X) , (Y) , (Z) 表示。

如果两张图片第 j 个像素的强度透射率(或反射率)相等，即 $J_{1j}(x, y) = J_{2j}(x, y)$ ，则假彩色编码像的第 j 个像素与两个光源的光重迭时一致。如果两张图片第 j 个像素的强度透射率(或反射率)不等，即 $J_{1j}(x, y) \neq J_{2j}(x, y)$ ，根据色相加原理可得第 j 个像素三刺激量；由色度坐标和色度坐标固有关系式 $x+y+z=1$ ，得

$$\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_3} = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}, \quad \frac{y_1 - y_3}{y_3 - y_2} = \frac{\frac{Y_2}{Y_1} J_{2j}(x, y)}{J_{1j}(x, y)} \quad (1)$$

可见,假彩色编码像的第 j 个像素的色度坐标在两个照明光源的色度坐标的连线上,到 (x_1, y_1) 和到 (x_2, y_2) 之间的距离反比于各自对应的像素透射率(或反射率)之比,比例系数为 $(y_1 Y_2)/(y_2 Y_1)$ 。只要适当选择照明光源的亮度,便可有效地以不同的色度坐标表示两张图片之间人眼所能同时区别的灰度差别。

考虑到增强识别性能,进而能够进行自动识别,可用电子学方法处理光学系统的输出图像。因为需要处理的颜色较少,为简便起见,可用现行的彩色电视系统进行模拟处理。

现行彩色电视系统的摄像机输出信号为 $E = E_Y + E_P + E_S$, E_Y 是亮度信号, E_P 是调制在副载波的色度信号, E_S 是同步信号。亮度信号与色度信号之间的关系是

$$E_Y = 0.30 E_R + 0.59 E_G + 0.11 E_B, \quad (2)$$

E_R, E_G, E_B 分别表示经过纠正的红、绿、蓝三原色信号电压。

因为色差信号 $E_G - E_Y = -0.51(E_R - E_Y) - 0.19(E_B - E_Y)$, 所以在色度信道中仅用两个色差信号 $(E_R - E_Y), (E_B - E_Y)$ 就可以传输全部彩色信息。这两个色差信号经过副载波正交平衡调制,形成彩色色差矢量图。它的解析表达式为

$$U = (E_R - E_Y) \cos \omega t + (E_B - E_Y) \sin \omega t = |c| \sin(\omega t + \varphi), \quad (3)$$

式中 ω 是副载波的圆频率;相角 $\varphi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{E_B - E_Y}{E_R - E_Y} \right)$, 决定了彩色的色调;振幅

$$|c| = \sqrt{(E_R - E_Y)^2 + (E_B - E_Y)^2}$$

是矢量长度,决定该色调的饱和度。

如果色度解调时,我们先定义两个二进制函数,

$$H_0 = \begin{cases} 1 & h_1 \leq \varphi \leq h_2, \\ 0 & \text{其它,} \end{cases} \quad S_0 = \begin{cases} 1 & s_1 \leq |c| \leq s_2, \\ 0 & \text{其它。} \end{cases} \quad (4)$$

它们在副载波彩色色差矢量图上形成一个随控制变量 h_1 与 h_2 及 s_1 与 s_2 移动的窗口。最后再定义一个选择显示方式的二进制逻辑函数 D

$$D = H_0 S_0, \quad (5)$$

$D=1$ 时,进行彩色显示(或进行微分轮廓显示); $D=0$ 时,进行微分轮廓显示(或彩色显示)。这样,两张图片之间的差别信号便得到了增强或者被有选择地记录下来。

三、实验实例

本文用的实验光路图如图 1 所示。通过衰减器 D_1 和滤色片 C_1 的光经过第一张图片平面 P_1 照射到半透膜 S_1 上,透过 S_1 的光线由透镜 L_1 成像在 P_3 平面;与此同时,通过衰减器 D_2 和滤色片 C_2 的光经过第二张图片平面 P_2 后被半透膜 S_1 反射,也由透镜 L_1 成像在 P_3 平面上。由于两张图片 P_1 和 P_2 同时通过同一个透镜 L_1 成像在同一平面 P_3 上,所以保证了放大率的一致性。所用的光源是两个普通的幻灯机光源,透镜 L_1 是一块双胶合望远物镜。

在不同的色度,人眼对颜色的差别感受性不同^[8]。在 550~620 nm 范围内,视觉的辨色能力可达到 $\Delta\lambda = \pm 2 \text{ nm}$ 以下,并且人们习惯于用红色表示警觉信号。所以,我们选用绿色和红色作为假色编码的照明光源。 C_1 为绿色滤色片, C_2 为红色滤色片。实测得它们的色

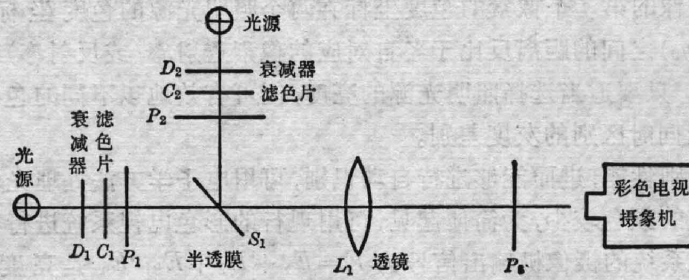


图 1 假色编码实验光路图

Fig. 1 Pseudocolor encoding system

度坐标分别为 $x_1=0.26$, $y_1=0.60$ 和 $x_2=0.62$, $y_2=0.33$ 。

调节衰减器 D_1 和 D_2 (也即调节光源的亮度 Y_1 和 Y_2)，使两个图像的相同部分合成黄色，也即令 $\frac{Y_1}{y_1} J_{1j}(x, y) = \frac{Y_2}{y_2} J_{2j}(xy)$ ，形成色度坐标为 $x_3=0.44$, $y_3=0.46$ 的黄色。对应的主波长为 575 nm 左右^[8]。设两张图片之间相同部分的透射率一样，即 $J_{1j} = J_{2j}$ 。可以估计，差别信号若以相隔一个色区 (即黄绿色和橙色，色度坐标分别为 $x=0.39$, $y=0.50$ 以及 $x=0.50$, $y=0.41$) 显示出来，只需象素透射率相差一倍左右。

图 2 给出我们处理的一个例子：图 2(a) 是两张黑白的玩具照片，要找出这两张照片的不同之处是较费时的。图 2(a) 经过假彩色编码 (见彩色插页图 (a))，就很容易直接找出这两张照片之间灰度的正负差别和差别部分与相同部分之间的位置关系。并且可以看到，在差别信号有重迭时，用本方法也很容易判读。

为了使检测可以自动化以及使色盲者也能判读，可用电子学方法对光学系统输出像进行处理。

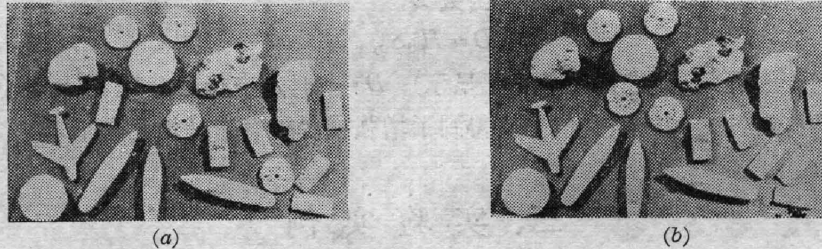


图 2

(a) 两张玩具的照片； (b) 图 2(a) 经假色编码处理后的结果 (见彩色插页图 (a))

Fig. 2

(a) A pair of photographs of playthings for pseudocolor encoding;

(b) Pseudocolor encoding image of fig. 2(a) (Shown in color inset fig. (a))

本文所用的彩色电视摄像机，型号是 DXC-1200 P。显示部分用的彩色电视机是春雷 3S2-4 型。附加选色电路的方框图如图 3 所示。

取样电路从电视机中梳形滤波器取出副载波色差信号 $(E_R - E_Y)$ 和 $(E_B - E_Y)$ 。因为用的是 PAL 电视制，所以副载波色差信号 $(E_R - E_Y)$ 先经过一个 PAL 开关，消除逐行倒相。然后再与副载波色差信号 $(E_B - E_Y)$ 一同输入加法器，形成副载波色差矢量。副载波色差

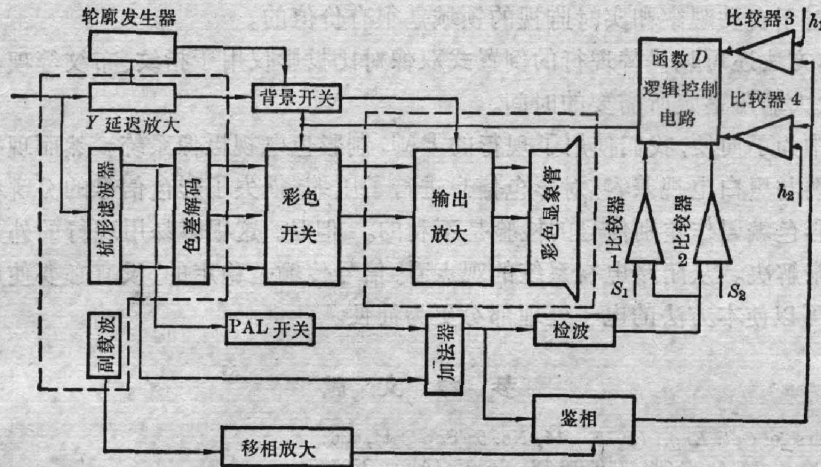


图 3 选色电路方框图

Fig. 3 Block diagram of the color image segment-display apparatus

矢量信号经放大和检波后, 由比较器 1 和 2 形成(4)式 S_0 函数。另一路副载波色差矢量信号经限幅放大和相位检波之后, 由比较器 3 和 4 形成(4)式 H_0 函数。 H_0 和 S_0 同时输入函数 D 逻辑控制电路。最后 D 逻辑控制电路给出控制信号, 控制在彩色电视机电路的色度信道中增设的三个彩色信号开关和在亮度信道内增设的背景转换开关。相位检波的鉴相信号由同步副载波信号移相形成, PAL 开关控制信号由行同步信号形成。

如将控制变量 h_1 和 h_2 , s_1 和 s_2 定于黄色区域, 当逻辑控制函数 $D=1$ 时, 彩色信号开关断开, 同时背景开关接通微分背景轮廓发生器。 $D=0$ 时, 彩色信号开关接通, 背景开关关断。这样, 输入的假彩色编码图像仅差别信号以彩色显示, 而相同部分则显示黑白轮廓。另外, 如果把控制变量定于红色或绿色区域, 当 $D=0$ 时彩色信号开关关断, 可以单显示两张图片之间 $J_{1j}(x, y) > J_{2j}(x, y)$ (或者 $J_{1j}(x, y) < J_{2j}(x, y)$) 的差别信号。本实验用的色选择器色度分辨率实测为 $3.2^\circ \pm 0.7^\circ$, 选用的两编码原色张角约为 105° , 这一系统能够分辨 12 种不同色调, 也即 12 级灰度差别, 可根据需要进行选择。

图 4 [见彩色插页图 (b)] 给出了当控制变量定于红色区域和绿色区域时用电子系统处理图 2(b) 的结果。可以看到, 差别信号已明显增强。由于有背景轮廓线, 两张照片的差别部分即使是两种不同的重迭物体, 也很容易判别。差别部分与相同部分的相对位置, 也能直接迅速判定。

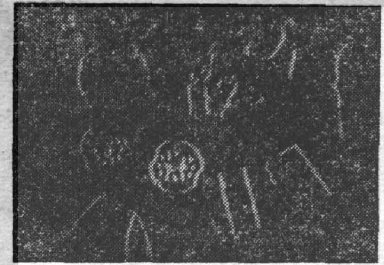


图 4 图 2(b) 经电子系统处理后的结果(见彩色插页图 (b))
Fig. 4 Fig. 2(b) after processing by the video processor (Shown in color inset fig. (b))

四、讨论与结论

从实验分析结果可以看到, 本方法对于光源、透镜和图片都没有任何特殊要求, 也不会损失原图像的分辨率。因此可用于直接进行活动景物与储存信号的图片之间差别的实时判

读。这一点对于自动观察和实时监视的领域是很有价值的。

此外,本方法还可以代替现行的倒置式双像对比投影仪用于指纹、布纹等项目的检验和鉴定,并能大大缩短鉴定所需要的时间。

在实验中为了简便,我们使用了现行的 PAL 制彩色电视摄像系统。然而现行的彩色电视系统由于要与黑白电视兼容,对彩色信息进行了压缩,损失了彩色信号的分辨率。这一点对于利用假彩色编码作差别信号的检验是不利的。但是,这很容易用现行的外兼容工业彩色电视系统来解决。从闭路电视系统的观点看,信号传输是稳定的,没有必要使用逐行倒相技术。这样可以使本方法的电子处理部分更为简便。

参 考 文 献

- [1] J. F. Ebersole; *Opt. Eng.*, (1975), **14**, No. 5 (Sep-Oct), 436.
- [2] F. T. S. Yuet *et al.*; *Appl. Opt.*, (1979), **18**, No. 15 (Aug), 2705.
- [3] J. Grinterg *et al.*; *U. S. Patent*, No. 4,124, 278 (1978).
- [4] 黄乐天等;《激光》, (1980), **7**, No. 5~6 (May-Jun), 165.
- [5] C. Wheatstone; *Phil. Trans. Roy. Soc.*, **129** (1938), P+I 371.
G. L. Rogers; «*Noncoherent Optical Processing*», (John Wiley & Sons, 1977).
- [6] M. D. Buchanan; *E. O. S. D.*, (1980), **12**, No. 1 (Jan) 29.
- [7] 伊藤贵康 *et al.*; 昭和 52 年度电通信学会総合全国大会 1193.
- [8] 荆其诚等;《色度学》, 科学出版社, (1979).

White light optical pseudocolor upon the difference between two photographs

CAI CUKAI ZHENG YI YANG HUI AND TIAN ZHIWEI
(Department of Physics, Hangzhou University)

(Received 21 September 1981, revised 20 January 1982)

Abstract

In this paper, a optical pseudocolor encoding method upon the difference between two photographs is presented. We show that the difference between two pictures with continuous change in gray which is discriminated simultaneously by eyes, can be detected by use of two sources of different color. The pseudocolor image from the optical system is processed in select-color and differentiation by video system, thus the signal of difference is enhanced. The theory is agreement with experiment. Finally, some applications are discussed.