

# 利用光纤面板分色作彩色 图像的黑白存储

王 辉 郭履容

(四川大学信息光学研究所, 成都 610064)

唐继跃 汤一新

(浙江师范大学物理系, 金华 321004)

## 提 要

设计一种新的光学纤维面板——彩色图像分色、合成变换器——进行彩色胶片的黑白存储, 黑白胶片拍摄彩色相片, 黑白电视影像真彩色化以及彩色图像保密存储等。通过实验对这一元件的彩色图像存储功能进行了验证。

关键词: 光纤面板, 彩色存储。

## 一、引 言

众所周知, 彩色图像资料常因染料的褪色而引起失真, 人们一直在寻找有效和实用的方法来解决这一问题, 尽管近几年提出了许多新的方案, 并在原理上得到了验证<sup>[1~4]</sup>, 但都难以付诸实用。这些方法的共同点是利用光学图像信息处理的方法, 在光学傅里叶变换系统中进行彩色图像的编码存储和滤波综合, 因此这些方法在技术和设备上要求都比较高, 而且伴随着一些诸如互调制、光能利用率低等重要问题难以解决, 从而限制了这些方法的实用。相反, 沿用的是传统的三个基色滤色片将彩色图像保存在三个不同的黑白胶片上, 然后用三个基色幻灯机来合成彩色像法<sup>[5]</sup>, 其缺点是在分解与合成时调整技术要求高, 存储体积大, 以及合成系统昂贵、复杂等。本文提出新的方案——编码光纤面板技术, 它既有传统方法的原理简单, 光能利用率高的优点, 又具备目前新方法存储体积小, 三色分解一次完成, 合成自动对位、不存在互调制问题等优点, 光纤面板结构简单, 它既是存储元件又是恢复元件, 相对来说价格是便宜的。这种元件不仅可用于彩色图像的黑白存贮, 而且还可用于黑白胶片的彩色摄影, 黑白电视显示彩色影像及保密存储等方面。

## 二、原 理

### 1. 面板的结构及其应用原理

彩色图像的现代存储法的一个典型例子是三色光栅编码法, 用三色光栅将彩色图像三

基色图像取样调制到三个取向不同的光栅上, 这种存储图像可在光学傅里叶变换系统中通过滤波得到还原。本文的方法是制作一光纤面板, 分别将彩色图像的三基色图像取样到不同的区域, 这种光纤面板的结构如图 1 所示, 面板的  $P_1$  端为取样端,  $P_2$  端为分色分域端,  $P_1$  端的某一取样点由三根相邻光纤组成, 这三根光纤在  $P_2$  端分别处于区域 I, II, III 的对应位置, 应用这种面板进行彩色图像存储的原理是很简单的, 存储时将彩色透明片贴于  $P_1$  端, 用白光如图 2(a) 照明, 在  $P_2$  端得到三幅由于取样而被压缩的图像, 并在三个区域分别加上红、绿、蓝三基色滤色片, 这样区域 I 只输出红色图像, 区域 II 只输出绿色图像, 区域 III 只输出蓝色图像, 用全色黑白感光胶片贴于  $P_2$  端曝光, 经处理即可得到黑白存储正片, 将此存储片贴于同一光纤面板的  $P_2$  端, 用白光如图 2(b) 所示照明, 存储片上三个基色黑白像素分别被  $P_2$  端红、绿、蓝三基色滤色片赋色, 各自被光纤传送到  $P_1$  端而复合成原彩色像输出。

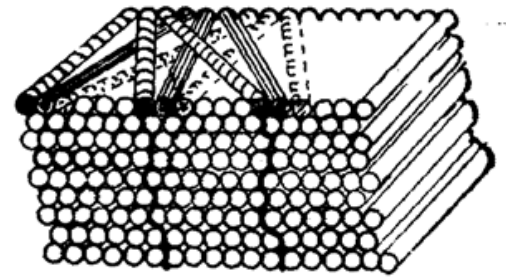


Fig. 1 An optical fiber faceplate-color image translator

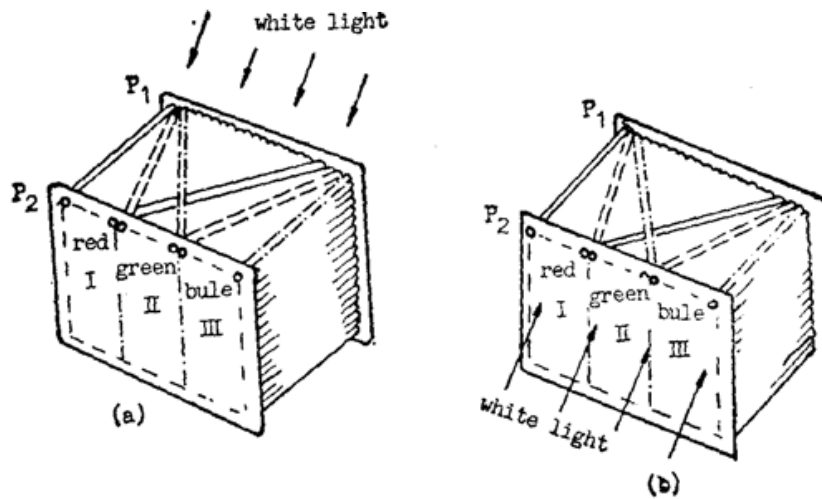


Fig. 2 Principle of color image storage and restoration with the fiber faceplate  
(a) storage; (b) restoration

现就光纤面板对某一像素的分解与合成情况来讨论面板的工作原理, 设面板是由  $N \times M$  根光纤组成, 面板  $P_1$  端与  $P_2$  端的三个区域是相关的。  $P_1$  端沿  $N$  方向每三个相邻光纤对图像取一像素, 设某像素由坐标为  $(nd, md)$ ,  $[(n+1)d, md]$ ,  $[(n+2)d, md]$  的三个相邻光纤取出,  $d$  为光纤直径, 显然  $n$  应取值为  $n=1, 4, 7, 11, \dots$ , 在  $P_2$  端与这三根光纤对应的坐标应为  $[(n+2)d/3, md]$ ,  $\{[(n+2)d/3] + (Nd/3), md\}$ ,  $\{[(n+2)d/3] + (2Nd/3), md\}$ , 这一关系可由表 1 给出的  $P_1$  面与  $P_2$  面的坐标变换得到的, 设被取样的像素的亮度为  $Y$ , 颜色为  $O$ , 则可写出关系

$$Y[O] = Y_1[O_1 \langle nd, md \rangle] + Y_2[O_2 \langle (n+1)d, md \rangle] + Y_3[O_3 \langle (n+2)d, md \rangle], \quad (1)$$

$Y_1, Y_2, Y_3$  分别是三根光纤取到的亮度,  $O_1, O_2, O_3$  表示对应的颜色, 若面板的分辨率足够高, 三根光纤靠得很近, 可以认为  $O_1 = O_2 = O_3 = O$ 。这三个点光被光纤传到  $P_2$  端三个区

Table 1 The coordinates ( $n$ ) transformation of  $P_1$  plane and  $P_2$  plane

$P_2$ plane coordinate	1	2	3	...	$\frac{N}{3}+1$	$\frac{N}{3}+2$	$\frac{N}{3}+3$	...	$\frac{2N}{3}+1$	$\frac{2N}{3}+2$	$\frac{2N}{3}+3$	...
$P_1$ plane coordinate	1	4	7	...	2	5	8	...	3	6	9	...

域, 设光纤的光谱透过率为  $\varphi(\lambda)$ , 从图 3 可以看出, 在可见光范围内  $\varphi(\lambda)$  约等于常数  $\alpha$ , 这样输出的亮度和颜色可表为

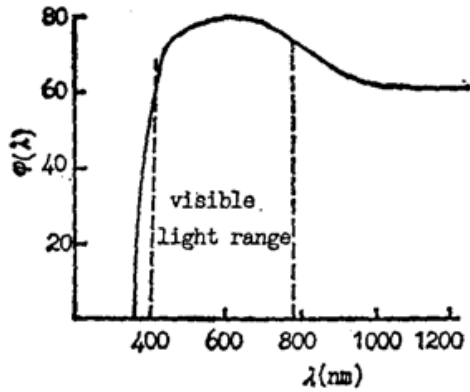


Fig. 3 Spectral transmissivity of glass fiber (50cm)

$$Y'[O] = \alpha Y'_1 \left[ O \left( \frac{n+2}{3} d, md \right) \right] + \alpha Y'_2 \left[ O \left( \frac{n+2}{3} d + \frac{N}{3} d, md \right) \right] + \alpha Y'_3 \left[ O \left( \frac{n}{3} d + \frac{2N}{3} d, md \right) \right], \quad (2)$$

因  $Y'_1 = Y_1, Y'_2 = Y_2, Y'_3 = Y_3$ , 所以

$$Y'[O] = \alpha Y[O]. \quad (3)$$

在输出端三个区域分别加上红、绿、蓝三基色滤色膜, 那么上述三个光点经过滤色膜后亮度和颜色可以表示为

$$Y''[O'] = \alpha Y''_1 \left[ R \left( \frac{n+2}{3} d, md \right) \right] + \alpha Y''_2 \left[ G \left( \frac{n+2}{3} d + \frac{N}{3} d, md \right) \right] + \alpha Y''_3 \left[ B \left( \frac{n}{3} d + \frac{2N}{3} d, md \right) \right]. \quad (4)$$

因为这是原色分解, 根据色度学原理应有<sup>[6]</sup>

$$\left. \begin{aligned} Y''_1 &= \beta Y'_1, Y''_2 = \beta Y'_2, Y''_3 = \beta Y'_3, \\ O &= R + G + B = O', \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

则有

$$Y''[O'] = \alpha \beta Y'[O] = \alpha \beta Y[O], \quad (6)$$

$\beta$  为一常数。用全色黑白胶片感光, 控制处理过程, 使得到的存储片最后的透射率  $T$  正比三个光点的亮度。

$$T = \gamma Y'' = \alpha \beta \gamma Y = \alpha \beta \gamma \left[ Y_1 \left( \frac{n+2}{3} d, md \right) + Y_2 \left( \frac{n+2}{3} d + \frac{N}{3} d, md \right) + Y_3 \left( \frac{n}{3} d + \frac{2N}{3} d, md \right) \right], \quad (7)$$

将此存储片放于  $P_2$  端, 由白光照射, 设亮度为  $k$ , 则从胶片进入  $P_2$  端三个点  $[(n+2)d/3, md]$ ,  $\{[(n+2)d/3 + (Nd/3)], md\}$  和  $\{[(n+2)d/3] + (2Nd/3), md\}$  光的亮度分别为  $\alpha \beta \gamma k Y_1, \alpha \beta \gamma k Y_2, \alpha \beta \gamma k Y_3$ , 再经三基色滤色膜赋色, 则其亮度和颜色可以表为

$$Y'''[O''] = \alpha \beta^2 \gamma k Y_1 [R] + \alpha \beta^2 \gamma k Y_2 [G] + \alpha \beta^2 \gamma k Y_3 [B] = \alpha \beta^2 \gamma k Y[O], \quad (8)$$

经光纤传输到  $P_1$  端, 这三个光点又成为三相邻的点, 经人眼混合而成为一个像素, 设其亮度为  $Y''''$  颜色为  $O'''$ , 显然应有

$$Y''''[O'''] = \alpha Y'''[O'''] = \alpha^2 \beta^2 \gamma k Y[O]. \quad (9)$$

上式表明恢复的色度是正比于输入的色度的, 这样原彩色就得到了恢复。

## 2. 面板的分辨率

光纤面板作为图像变换器在一些领域里已经得到应用<sup>[7]</sup>, 目前在工艺上光纤面板的分辨率可达到 200 lp/mm<sup>[8]</sup>, 对光纤面板的分辨的要求取决于两个方面, 一是被变换图像的分辨(空间频率), 二是探测器的分辨率, 当用面板传递目视图像时, 对面板分辨率要求是不高的\*。在这种情况下, 对输入图像取三个样(即红、绿、蓝三点)才能成一个像素, 所以, 对光纤面板的分辨率要求应达到 42 lp/mm。但实际上不必要要求这么高, 事实证明, 对彩色图像取样频率等于 10 lp/mm 时, 人眼仍能综合出较好质量的图像, 这是因为视觉系统对彩色图像有更为明显的低通特性<sup>[9]</sup>, 考虑到这一生理特点, 光纤面板的分辨率可定为 30 lp/mm 左右, 因为光纤传像束的分辨率  $\nu$  与纤维直径  $d$  的关系为<sup>[10]</sup>

$$\nu = 1/2d. \quad (10)$$

所以要求构成纤维面板的光纤直径  $d$  约为 17  $\mu\text{m}$  或每毫米排 60 根光纤, 这一要求我们国家已能达到\*。

若将面板的面积做成  $24 \times 36 \text{ mm}^2$  (135 胶片的幅度), 则面板所具有的光纤数为  $N = 24 \times 60 \times 36 \times 60 \approx 275$  万根, 每一根光纤取一个色点, 这样一幅图像由 275 万个色点组成, 比一般彩色电视的色点数(约 140 万个)多出近一倍, 所以由这种面板综合出的图像应比彩电图像清晰, 若将光纤面板的输出图像放大观察、观察距离也应随之变大, 只要对一个像素的视角  $< 1'$ , 就可以综合出高质量的彩色图像。

当然由于杂散光和纤维面板结构的缺陷的存在, 分辨率将会受到一些影响, 但从目前我国生产的各种面板(南京旭光厂)看, 传像的效果是很好的, 在我们这里影响面板分辨率的主要因素可能是感光胶片上的银颗粒散射造成的。散射带来的后果是: (1) 像点的入射光的入射角变大, 若光纤的  $N \cdot A < 1$ , 就会有光线进入光纤的包层。若每根光纤间的光绝缘很好, 进入包层的杂散光不会影响分辨率。(2) 若胶片的乳胶面距面板有一段距离, 则像点的光斑到达面板端面时将变大, 这样一个像点的光就会进入许多根光纤中, 使最后输出匀化, 导致分辨率下降。但若将胶片的乳胶面与面板的端面相贴, 这一问题就可得到解决。

## 3. 色分解技术

不论采用何种存储法, 首先必须将彩色图像分解为三基色图像, 这就需要滤色处理, 由色度学三基色相加混合成任意颜色的原理可知, 原色滤色片可以任意选择, 只要它们相互间是独立的, 即一个原色不能由其它两种原色混合得到, 本文在实验中使用的三原色滤色片的光谱透过率如图 4 所示, 可见它们基本上正交的, 当然为了使最后恢复的颜色能够与原图像的一致, 还必须进行校色, 校色原理如下, 将三原色滤色片分别贴于光纤面板的  $P_2$  端的三个区域, 用溴钨灯白光照射

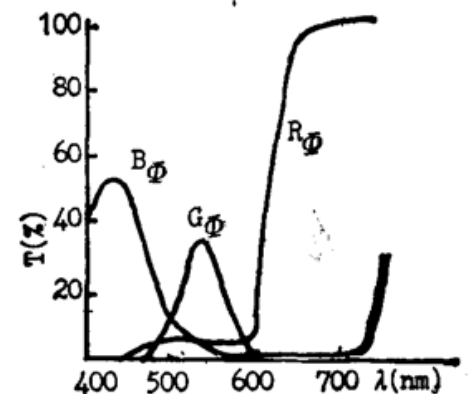


Fig. 4  $S$  spectral transmissivity of Chunguang color filter

\* 因为人眼的最小分辨角一般为  $1'$ , 在明视距离 25 cm 处观察, 当图像取样点间隔为  $7.25 \times 10^{-3} \text{ cm}$  时, 人眼即不可分辨, 这相当于取样频率为 14 lp/mm 的图像可被人眼认为是连续的图像。

\*\* 我们已委托南京 861 研究所研制这一规格的板面。



$P_2$  端,若不进行校色,从  $P_1$  端合成出射的光可能不是白光,而在  $P_2$  端三个区域再分别加上不同透射率的灰阶片(中性)如图 5 所示,通过实验表明,对上海春光牌三原色滤色片,在红、绿、蓝三色上加的灰阶片透射率比值为 1:1.23:0.50 时,最后从  $P_1$  端输出的光即为白光。

在进行滤色时,必须注意到滤色片厚度的影响,从纤维端出射的光经过有一定厚度的滤色膜后将会弥散开来,致使存贮图像模糊而不能高质量的恢复原彩色图像,解决这一问题的方法是用镀干涉膜取代滤色片,彩色电视摄像系统中的分光原理就是采用这一技术。或者将从  $P_2$  端滤色输出的图像用透镜成像再记录也可解决这一问题。

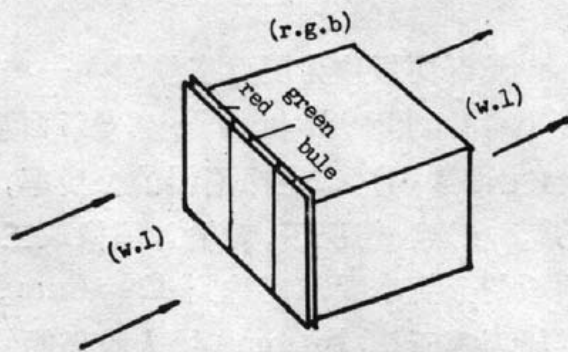


Fig. 5 Color correction principle

### 三、实验验证

为了验证本方法的原理正确性,采用较粗的光纤制作了一个光纤变换面板,纤维直径为  $250\mu\text{m}$ , 面板的分辨率为  $2\text{lp/mm}$  面板含有三万根光纤,这一分辨率是很低的,所以只能用来存贮简单的彩色图案。



(b)

Fig. 6 Experimental result

- (a) original color image; (See: inset No. 16)  
 (b) storage image;  
 (c) restoration color image (See: inset No. 17)

实验采用接触存取法,在面板  $P_2$  端三个区域分别贴上春光原色滤色片和对应的中性灰阶片,由于薄膜有一定的厚度,在用接触法存取时将结果产生不良影响,又由于面板是用手工排列而成,这样很难使得面板的两端光纤排列得相关,结果是与  $P_1$  端某像素相对应的三根光纤到达  $P_2$  端三个区域时位置是任意的,但仍分别落到三个区域,所以从  $P_2$  端输出的整幅图像不再是原彩色图像的三基色像,而是一些紊乱的点,但三个区域仍分别代表原图像的三基色信息,这相当于对图像的三基色信息作了乱序编码,复原时,将这种乱序编的存贮片严格复位于原面板的  $P_2$  端,从  $P_1$  端仍可输出复原的图象,虽然乱序给复原带来了复位的要求,但这一点正好可以用于彩色图像的黑白保密存储。光纤面板这一独特性质在公安保密部门是相当有用的。图 6 给出了实验结果,图 6(a)及图 6(c)请见彩色插页中 No. 16 及 No. 17 图。虽然实验条件和面板质量都不理想,但实验结果足以证明本文提出的方案是正确的。

### 四、小 结

本文所研究的光纤面板存储方案综合了传统彩色图像存贮法与一些新的存贮法的优点,而克服了它们各自的缺陷,这种面板不仅可以在彩色存取方面得到应用,具有较大的潜在应用价值,例如可以用于黑白胶片的彩色摄影,黑白电视的真彩色化等方面,在学术上可促进光纤在图像信息处理中应用的研究。

## 参 考 文 献

- [1] P. F. Mueller; *Appl. Opt.*, 1969, **8**, No. 8 (Aug), 2051~2055.
- [2] 方志良等;《光学学报》,1984, **4**, No. 8 (Aug), 701~705.
- [3] F. T. S. Yu; *Appl. Opt.*,1980, **19**, No. 14 (Jul), 2457~2460.
- [4] M. T. Gale, K. Knop; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 9 (Sep), 2189~2198.
- [5] 杨振寰;《光学信息处理》,(南开大学出版社,天津1986), 366。
- [6] 汤顺青;《色度学》,(北京理工大学出版社,北京,1990), 34~41。
- [7] 刘德森等;《纤维光学》,(科学出版社,北京,1987), 102。
- [8] B. B. 维恩别尔格等,《光导纤维学》,(机械工业出版社,北京,1986), 264。
- [9] 海恩维希·朗格等;《色度学与彩色电视》,(中国电影出版社,北京,1985), 356。
- [10] W. B. 艾伦;《纤维光学——理论和实践》,(轻工业出版社,北京,1981), 117, 56。

**Color image storage on black-white films using fiber faceplates**

WANG HUI AND GUO LURONG

*(Institute of Information Optics, Sichuan University, Chengdu 610064)*

TANG JIYUE AND TANG YIXIN

*(Physics Department, Zhejiang Normal University Jinhua 321004)**(Received 13, July 1990; revised 3, October 1990)***Abstract**

A new optical fiber faceplate—color image-converter is designed. This fiber-converter can be used in color film storage on black-white film, color photograph with the black-white film, color image displaying with the black-white TV and color image classified storage et al., The color image storage has been illustrated experimentally.

**Key words:** Optical fiber faceplate, color image storage