

# 彩色图象的光学信息处理

杨振寰<sup>1)</sup> 庄松林<sup>2)</sup> 赵天欣<sup>3)</sup>

1980 年 4 月 16 日收到

## 提 要

本文研究了在相干多色处理中用黑白透射介质进行彩色图象空间编码的方法。这个方法可应用于彩色象的信号检测、去模糊、及相加与相减。并且指出,类似于相干单色处理,这种多色处理方法有能力处理彩色图象。这个方法虽然有某些不足之处,例如需要对被处理对象事先进行编码。但是,这个方法展示了在彩色图象处理中的一个新的方向。而且,它并不只局限于处理彩色图象,也可应用于处理某些具有灰度变化的图象。

## 一、引 言

我们<sup>[1]</sup>已经得到了在黑白底片上进行彩色图象编码的空间调制方法。并且还指出,这个方法非常适用于用白光处理系统再现出原来的彩色图象。本文将表明,这种经彩色编码的底片也能被应用于多色相干处理。换句话说,在空间频率域上,可以对彩色图象的三种原色独立地进行复数滤波。而这种滤波后的原色图象可以非相干地迭加而在输出平面上得到多色的处理后的象,类似于通常的相干单色处理,这种多色处理方法有能力处理彩色图象。本文将研究一些可以用这种方法处理的若干例子,如多色信号的检测、模糊图象的复原、多色图象的相加与相减等等。但是,这个方法仍然有某些不足之处,它是非实时处理系统,需要事先进行彩色象的编码处理。尽管如此,这个方法还是展示了在彩色图象处理中的一个新的方向。此外,它还可以应用来对某些具有灰度变化的图象的处理。

## 二、多色象的编码方法

首先简要地讨论在黑白底片上进行空间彩色编码的方法。如图 1 所示,利用三个原色滤色片,将被处理图象与密度型光栅一起,依次记录在黑白底片上。而对于不同的原色,光栅具有不同的方位角(图 2)。例如,第一次曝光用红色滤色片而光栅方位角为零度。第二次及第三次曝光分别用蓝色及绿色滤色片,而对应的光栅方位角分别为 60 度及 120 度。这样我们就得到了多色空间调制的黑白透射物,相应的强度透过率为

$$T_n(x, y) = k_1 \{ T_1(x, y)[1 + \operatorname{sgn}(\cos \omega x)] + T_2(x', y')[1 + \operatorname{sgn}(\cos \omega x')] + T_3(x'', y'')[1 + \operatorname{sgn}(\cos \omega x'')] \}^{-1/n}, \quad (1)$$

1) 杨振寰 (F. T. S. Yu), Pennsylvania state University, U. S. A.

2) 上海光学仪器研究所,现在 Pennsylvania state University 作访问研究。

3) Pennsylvania state University.

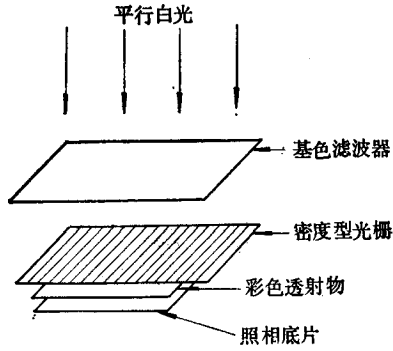


图1 空间彩色编码方法

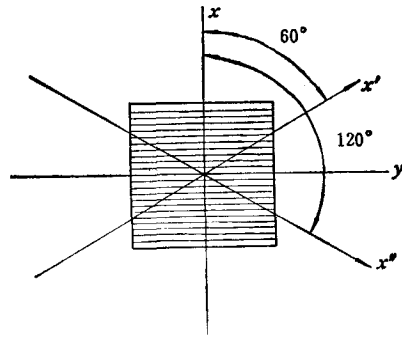


图2 空间编码时密度光栅三种不同的取向

其中

$$\text{sgn}(\cos \omega x) \triangleq \begin{cases} 1 & \cos \omega x \geq 0, \\ -1 & \cos \omega x < 0. \end{cases}$$

这里  $\omega$  是光栅的空间频率,  $T_n$  表示负片的强度透过率, 而  $T_1$ ,  $T_2$  及  $T_3$  分别相当于用红、蓝、绿三色记录在底片上的象的强度,  $(x, y)$ ,  $(x', y')$  及  $(x'', y'')$  是相应于光栅位置为  $0^\circ$ ,  $60^\circ$  及  $120^\circ$  时的坐标系.  $\gamma_{n1}$  是控制记录介质的伽玛值,  $k_1$  是一个比例常数.

用接触曝光处理<sup>[2]</sup>得到适用于多色相干处理的正片. 这样, 空间编码后的正片的透射率为

$$T_p(x, y) = k_2 \{ T_1(x, y)[1 + \text{sgn}(\cos \omega x)] + T_2(x', y')[1 + \text{sgn}(\cos \omega x')] + T_3(x'', y'')[1 + \text{sgn}(\cos \omega x'')] \}^{\gamma_{n1} \gamma_{n2}}, \quad (2)$$

其中  $T_p$  表示正片的强度透射率,  $k_2$  为比例常数, 而  $\gamma_{n2}$  是第二张底片被控制的伽玛值. 如果让  $\gamma_{n1} \gamma_{n2} = 2$ , 则相应的振幅透过率为

$$t_p(x, y) = k \{ T_1(x, y)[1 + \text{sgn}(\cos \omega x)] + T_2(x', y')[1 + \text{sgn}(\cos \omega x')] + T_3(x'', y'')[1 + \text{sgn}(\cos \omega x'')] \}, \quad (3)$$

即  $t_p$  是  $T_1$ ,  $T_2$  及  $T_3$  的线性函数.

### 三、多色相干处理

这里讨论对彩色图象处理的多色相干处理系统. 令  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  分别表示由多色光源所发射的, 对应于红、蓝、绿三种颜色的波长. 如果将空间编码后的底片  $t_p(x, y)$ , 放在如图3所示的多色处理系统的输入平面  $P_1$  上, 则在空间频率平面  $P_2$  上光场的复振幅分布为

$$E(p, q) = \sum_{n=1}^3 \left\{ \tilde{T}_1(p_n, q_n) + \tilde{T}_2(p'_n, q'_n) + \tilde{T}_3(p''_n, q''_n) + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\infty} a_m [\tilde{T}_1(p_n \pm m\omega, q_n) + \tilde{T}_2(p'_n \pm m\omega, q'_n) + \tilde{T}_3(p''_n \pm m\omega, q''_n)] \right\}. \quad (4)$$

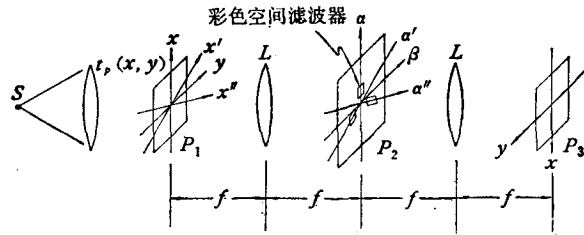


图3 多色相干处理系统

$S$  为白光点源； $L$  为消色差傅里叶变换透镜； $t_p(x, y)$  为空间编码后的黑白透射物

这里  $\tilde{T}_1(p_n, q_n)$ ,  $\tilde{T}_2(p'_n, q'_n)$  及  $\tilde{T}_3(p''_n, q''_n)$  是对应于  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  时相应的  $T_1(x, y)$ ,  $T_2(x', y')$  及  $T_3(x'', y'')$  的傅里叶变换。而  $p_n = (2\pi/\lambda_n f)\alpha$ ,  $q_n = (2\pi/\lambda_n f)\beta$ ,  $p'_n = (2\pi/\lambda_n f)\alpha'$ ,  $q'_n = (2\pi/\lambda_n f)\beta'$ ,  $p''_n = (2\pi/\lambda_n f)\alpha''$  及  $q''_n = (2\pi/\lambda_n f)\beta''$  分别表示角空间频率坐标。这里  $(\alpha, \beta)$ ,  $(\alpha', \beta')$  及  $(\alpha'', \beta'')$  是线空间频率坐标系统， $f$  为傅里叶变换物镜的焦距， $a_m$  是傅里叶变换系数。为简单起见，这里略去了比例常数。这样，上述方程可以用相应的频率坐标来表示，得到

$$E(\alpha, \beta) = \sum_{n=1}^3 \left\{ \tilde{T}_1(\alpha/\lambda_n, \beta/\lambda_n) + \tilde{T}_2(\alpha'/\lambda_n, \beta'/\lambda_n) + \tilde{T}_3(\alpha''/\lambda_n, \beta''/\lambda_n) \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\infty} a_m \left[ \tilde{T}_1\left(\alpha \pm \frac{m\lambda_n f}{2\pi} \omega, \beta\right) + \tilde{T}_2\left(\alpha' \pm \frac{m\lambda_n f}{2\pi} \omega, \beta'\right) \right. \right. \\ \left. \left. + \tilde{T}_3\left(\alpha'' \pm \frac{m\lambda_n f}{2\pi} \omega, \beta''\right) \right] \right\}. \quad (5)$$

在方程(5)中，可以看到，象谱的各个级次沿着相对于光栅位置(即取样方向)的  $\alpha, \alpha'$  及  $\alpha''$  轴有一个线性位移，而在每一个级次上都有三个明显的  $\lambda_1, \lambda_2$  及  $\lambda_3$  的多色象谱。假定光栅的空间频率比彩色图象的最高频率高两倍以上，这样  $\lambda_1, \lambda_2$  及  $\lambda_3$  的多色象谱就可以是相互分开的。在进行复数滤波中，首先选择三个一级谱，如图4所示。为了防止可能出现的颜色的重迭，在每个相应颜色的频谱上，分别加上红、蓝、绿三种滤色片，在它们前面分别放置相应的空间滤波器。换句话说，分别沿着  $\alpha, \alpha'$  及  $\alpha''$  轴对三种颜色的频谱进行复数空间滤波。由于这三种颜色经空间滤波后的象是彼此非相干的，所以在输出平面  $p_4$  上就可以观察到经空间滤波后的多色象。

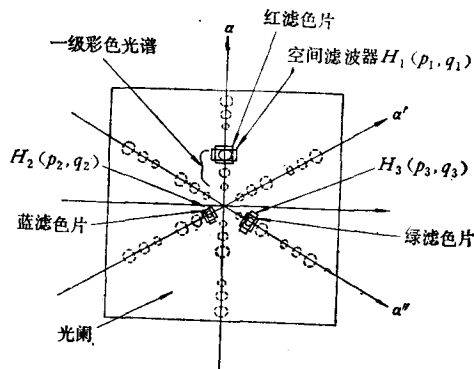


图4 多色复数空间滤波器

#### 四、多色信号检测

这里将看到，本文所讨论的方法可以应用于彩色信号检测。假定三个复数空间滤波

器分别对应于三种波长  $\lambda_1, \lambda_2$  及  $\lambda_3$  (即红、蓝、绿三色), 则相应的振幅透过率为

$$H_1(p_1, q_1) = k_1^2 + k_2^2 \tilde{T}_1^2(p_1 - \omega, q_1) + 2k_1 k_2 \tilde{T}_1(p_1 - \omega, q_1) \cos(x_0 p_1), \quad (6)$$

$$H_2(p_2, q_2) = k_1^2 + k_2^2 \tilde{T}_2^2\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) + 2k_1 k_2 \tilde{T}_2\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \cos(x_0 p_2) \quad (7)$$

及

$$H_3(p_3, q_3) = k_1^2 + k_2^2 \tilde{T}_3^2\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) + 2k_1 k_2 \tilde{T}_3\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \cos(x_0 p_3). \quad (8)$$

这里

$$p_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1 f} \alpha, \quad q_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1 f} \beta; \quad p_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2 f} \alpha, \\ q_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2 f} \beta; \quad p_3 = \frac{2\pi}{\lambda_3 f} \alpha, \quad q_3 = \frac{2\pi}{\lambda_3 f} \beta.$$

$x_0$  是在  $\alpha$  方向上的空间载波频率。可以看到,  $(p_1, q_1)$ ,  $(p_2, q_2)$  及  $(p_3, q_3)$  是在同一个坐标系统  $(\alpha, \beta)$  之中, 而复数滤波器可以用干涉方法来得到<sup>[2,3]</sup>。

如果将复数滤波器分别放在红、蓝、绿三个滤色片前, 并使其中心坐标分别为

$$\alpha = \frac{\lambda_1 f}{2\pi} \omega, \quad \alpha' = \frac{\lambda_2 f}{2\pi} \omega \quad \text{及} \quad \alpha'' = \frac{\lambda_3 f}{2\pi} \omega,$$

即在  $(\alpha, \beta)$  坐标系统中其坐标为

$$\left(\frac{\lambda_1 f}{2\pi} \omega, 0\right), \quad \left(-\frac{\lambda_2 f}{4\pi} \omega, -\frac{\sqrt{3} \lambda_2 f}{4\pi} \omega\right) \quad \text{及} \quad \left(-\frac{\lambda_3 f}{4\pi} \omega, \frac{\sqrt{3} \lambda_3 f}{4\pi} \omega\right).$$

这样, 在刚通过滤波器时的光场的复振幅分布为

$$E_1(p_1, q_1) = c \tilde{T}_1(p_1 - \omega, q_1) H_1(p_1, q_1), \quad (9)$$

$$E_2(p_2, q_2) = c \tilde{T}_2\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) H_2(p_2, q_2) \quad (10)$$

及

$$E_3(p_3, q_3) = c \tilde{T}_3\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) H_3(p_3, q_3), \quad (11)$$

式中  $c$  为常数因子。在多色相干处理系统输出平面上相应的复振幅分布为

$$g_1(x, y) = T_1(x, y) \exp(i\omega x) + T_1(x, y) \exp(i\omega x) \\ * T_1(x, y) \exp(i\omega x) * T_1(x, y) \exp(i\omega x) \\ + T_1(x, y) \exp(i\omega x) * T_1(x + x_0, y) \exp(i\omega x) \\ + T_1(x, y) \exp(i\omega x) * T_1(-x + x_0, -y) \exp(i\omega x), \quad (12)$$

$$g_2(x, y) = T_2(x, y) \exp(-i\omega x') + T_2(x, y) \exp(-i\omega x') \\ * T_2(x, y) \exp(-i\omega x') * T_2(x, y) \exp(-i\omega x') \\ + T_2(x, y) \exp(-i\omega x') * T_2(x + x_0, y) \exp(-i\omega x') \\ + T_2(x, y) \exp(-i\omega x') * T_2(-x + x_0, -y) \exp(-i\omega x') \quad (13)$$

及

$$\begin{aligned}
 g_3(x, y) = & T_3(x, y)\exp(i\omega x'') + T_3(x, y)\exp(i\omega x'') \\
 & * T_3(x, y)\exp(i\omega x'') * T_3(x, y)\exp(i\omega x'') \\
 & + T_3(x, y)\exp(i\omega x'') * T_3(x + x_0, y) \\
 & \cdot \exp(i\omega x'') + T_3(x, y)\exp(i\omega x'') \\
 & * T_3(-x + x_0, -y)\exp(i\omega x''). \quad (14)
 \end{aligned}$$

这里  $(x, y)$ ,  $(x', y')$  及  $(x'', y'')$  是相对于  $(\alpha, \beta)$ ,  $(\alpha', \beta')$  及  $(\alpha'', \beta'')$  的输出平面坐标, 而符号  $*$  表示卷积运算. 为简单起见, 在式中略去了常数比例因子  $K$ .

在上述方程中, 前两项是零级项, 它被衍射到光轴近旁; 而第三及第四项分别是卷积项及相关项, 它们分别被衍射到点  $(-x_0, 0)$  及  $(x_0, 0)$  的近旁, 如图 5 所示. 由于复振幅分布  $g_1(x, y)$ ,  $g_2(x, y)$  及  $g_3(x, y)$  (对应于红、蓝、绿三色) 相互间并不相干, 所以在输出平面上  $(x_0, 0)$  的附近可以得到多色的相关函数.

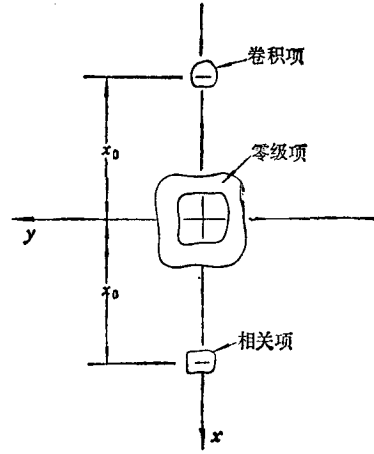


图 5 信号检测时的输出示意图

## 五、彩色模糊象的复原

为简单起见, 假定象模糊的原因是物体的线性运动. 而相应于红、蓝、绿三个波长的复滤波器用干涉法合成, 其振幅传递函数分别为

$$\begin{aligned}
 H_1(p_1, q_1) = & A(q_1)B(q_1) = \frac{1}{2} A(q_1) \\
 & + \frac{1}{4} [H(q_1)\exp(iy_0q_1) + H^*(q_1)\exp(-iy_0q_1)], \quad (15)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_2(p_2, q_2) = & A\left(q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) B\left(q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \\
 = & \frac{1}{2} A\left(q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) + \frac{1}{4} \left\{ H\left(q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \right. \\
 & \cdot \exp\left[iy_0\left(q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right)\right] + H^*\left(q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \\
 & \left. \cdot \exp\left[-iy_0\left(q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right)\right] \right\} \quad (16)
 \end{aligned}$$

及

$$\begin{aligned}
 H_3(p_3, q_3) = & A\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) B\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \\
 = & \frac{1}{2} A\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) + \frac{1}{4} \left\{ H\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \right.
 \end{aligned}$$

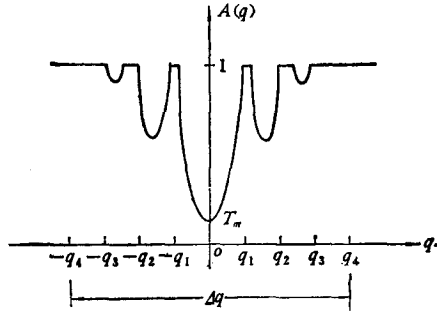


图 6 振幅滤波函数

复原的空间带宽为  $q_n = 2\pi n / \Delta y$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ); 复原谱的最大透射比为  $T_m$

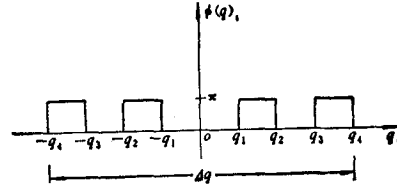


图 7 位相滤波函数

$$\begin{aligned} & \cdot \exp \left[ iy_0 \left( q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \right] + H^* \left( q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \\ & \cdot \exp \left[ -iy_0 \left( q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \right] \}, \end{aligned} \quad (17)$$

式中  $A(q)$  是如图 6 所示的振幅滤波器, 而

$$B(q) = \frac{1}{2} \{ 1 + \cos[\phi(q) + y_0 q] \}, \quad (18)$$

式中  $\phi(q)$  是位相滤波器(见图 7).  $H(q) = A(q) \exp[i\phi(q)]$  是复数去模糊函数, 在这里符号 \* 表示复数共轭. 该滤波器被放置在如图 3 中  $P_2$  平面的适当位置上.

如果将模糊的彩色图象放置在输入平面  $P_1$  上, 其线性运动所引起的模糊长度为  $\Delta y$ , 则刚通过去模糊滤波器后光场的复振幅分布为

$$\begin{aligned} E_1(p_1, q_1) &= F(q_1)H(q_1) = \frac{1}{2} F(q_1)A(q_1) \\ &+ \frac{1}{4} [F(q_1)H(q_1) \exp(iy_0 q_1) + H^*(q_1) \exp(-iy_0 q_1)], \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} E_2(p_2, q_2) &= F \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) H_2(q_2) \\ &= \frac{1}{2} F \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) A \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \\ &+ \frac{1}{4} \left\{ F \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) H \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \right. \\ &\cdot \exp \left[ iy_0 \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \right] + F \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) H^* \\ &\cdot \left. \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \exp \left[ -iy_0 \left( q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2} \omega \right) \right] \right\} \end{aligned} \quad (20)$$

及

及

$$\begin{aligned}
 E_3(p_3, q_3) &= F\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) H_3(q_3) \\
 &= \frac{1}{2} F\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) A\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \\
 &\quad + \frac{1}{4} \left\{ F\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) H\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \right. \\
 &\quad \cdot \exp\left[iy_0\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right)\right] + F\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) H^* \\
 &\quad \left. \cdot \left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp\left[-iy_0\left(q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right)\right] \right\}. \quad (21)
 \end{aligned}$$

这里

$$F(q) = \Delta y \frac{\sin(q\Delta y/2)}{q\Delta y/2} \quad (22)$$

是点象分布的傅里叶变换。

从上面的方程中可以看到, 第一项表示复原象的傅里叶谱, 在输出平面上它被衍射到光轴近旁; 第二及第三项也表示复原象的谱, 但是它在输出平面上被衍射到光轴外面, 而其中心坐标分别为  $(0, y_0)$  及  $(0, -y_0)$ 。由于在复振幅分布  $E_1(p_1, q_1)$ ,  $E_2(p_2, q_2)$  及  $E_3(p_3, q_3)$  之间是非相干的, 所以在输出平面上可以得到两个分别位于  $(0, y_0)$  及  $(0, -y_0)$  附近的复原的彩色象, 如图 8 所示。

应该指出, 对于离焦引起的模糊, 可利用类似于图 6 及图 7 的圆对称空间滤波器进行去模糊。

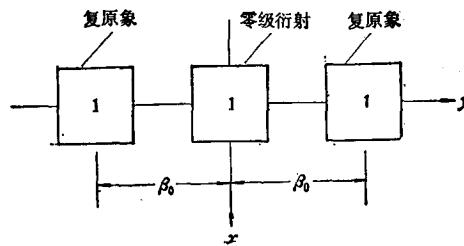


图 8 去模糊处理时的输出示意图

## 六、彩色图象的相加及相减

本节讨论用多色处理方法亦可用于彩色图象的相加及相减。我们仍然假定, 相应于红、蓝、绿波长的三个衍射光栅为

$$H_1(q_1) = \frac{1}{2} [1 + \cos(\beta_0 q_1)], \quad (23)$$

$$H_2(q_2) = \frac{1}{2} [1 + \cos(\beta_0 q_2)] \quad (24)$$

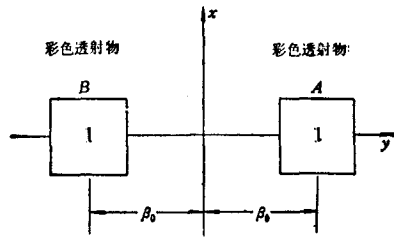


图 9 作为输入讯号的编码后的透射物

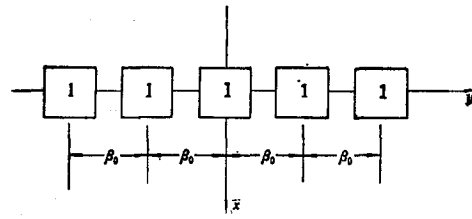


图 10 相加及相减处理时的输出示意图

及

$$H_3(q_3) = \frac{1}{2} [1 + \cos(\beta_0 q_3)], \quad (25)$$

他们被放置在频率面  $p_2$  的适当位置上(图 3).

如果在输入平面上有两个相距为  $2\beta_0$  的彩色图象  $A(x, y - \beta_0)$  及  $B(x, y + \beta_0)$ , 如图 9 所示, 则刚通过光栅时光场的复振幅分布为

$$\begin{aligned} E_1(p_1, q_1) = & A(p_1 - \omega, q_1) \exp(-i\beta_0 q_1) + B(p_1 - \omega, q_1) \exp(i\beta_0 q_1) \\ & + A(p_1 - \omega, q_1) \exp(-i2\beta_0 q_1) + A(p_1 - \omega, q_1) \\ & + B(p_1 - \omega, q_1) + B(p_1 - \omega, q_1) \exp(i2\beta_0 q_1), \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} E_2(p_2, q_2) = & A\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(-i\beta_0 q_2) \\ & + B\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(i\beta_0 q_2) \\ & + A\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(-i2\beta_0 q_2) + A\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \\ & + B\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) + B\left(p_2 + \frac{1}{2}\omega, q_2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(i2\beta_0 q_2) \end{aligned} \quad (27)$$

及

$$\begin{aligned} E_3(p_3, q_3) = & A\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(-i\beta_0 q_3) \\ & + B\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(i\beta_0 q_3) \\ & + A\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(-i2\beta_0 q_3) + A\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 + \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \\ & + B\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \\ & + B\left(p_3 + \frac{1}{2}\omega, q_3 - \frac{\sqrt{3}}{2}\omega\right) \exp(i2\beta_0 q_3). \end{aligned} \quad (28)$$

在输出平面上相应的复振幅分布为

$$g_n(x, y) = \exp(i\omega x) \{A(x, y - \beta_0) + B(x, y + \beta_0)\}$$



$$+ \frac{1}{2} [A(x, y - 2\beta_0) + A(x, y) + B(x, y) + B(x, y + 2\beta_0)] \} \\ n = 1, 2, 3. \quad (29)$$

由于  $g_n(x, y)$  中各项相互之间并不相干, 所以在输出平面上将得到两个输入彩色图象相加后的输出, 如图 10 所示. 同样, 如果三个衍射光栅相应地各自位移四分之一周期, 即

$$H_n(q_n) = \frac{1}{2} [1 + \sin(\beta_0 q_n)] \quad n = 1, 2, 3, \quad (30)$$

则此时, 在输出平面上的光轴近旁将得到两个彩色图象相减后的输出.

## 七、结 论

我们已经得到了为进行多色相干处理, 在黑白透射介质上进行彩色编码的方法. 即沿着三个不同的方向, 用三种原色将彩色图象编码在黑白底片上. 我们指出, 这种方法可以用于彩色信号的检测、彩色模糊象的复原及彩色图象的相加与相减. 这种方法不仅可用来作多色相干处理, 它还可以用来对某些具有灰度变化的图象进行处理. 虽然这还不是一种实时处理方法, 但我们相信, 对处理系统进行某些特殊的设计及对多重编码光栅的进一步研究, 很可能得到新的实时处理系统.

## 参 考 文 献

- [1] F. T. S. Yu, *Appl. Opt.*, (待发表).
- [2] F. T. S. Yu, "Introduction to Diffraction, Information Processing and Holography", MIT Press, Cambridge Mass, (1973).
- [3] A. Vander Lugt, *IEEE IT*, 10(1964), 139.

## A POLYCHROMATIC PROCESSING TECHNIQUE FOR COLOR IMAGE TRANSPARENCIES

F. T. S. YU S. L. ZHUANG T. H. CHAO

(Electrical Engineering Department, Pennsylvania State University Detroit, Michigan 48202)

### ABSTRACT

A technique of spatial encoding color photographic image in a black and white transparency for coherent polychromatic processing is presented. The applications of this technique to color image signal detection, restoration of color blurred images, and color image addition and subtraction are provided. We note that this polychromatic processing technique is capable of processing color images similar to monochromatic coherent processing technique. Although there is a disadvantage of this technique, it requires an encoding step for image processing, however this technique may open a new dimension in color image processing. We also note that the application of this technique is not restricted only to color images, it may apply to some problems in gray level transparencies.