

# 密着网屏的新发展与应用

刘 华 光

(美国阿拉巴马大学电机系)

## 提 要

本文旨在论述密着网屏(contact screens)技术的最新发展及其在印刷术与光学图象处理方面的应用。文章对密着网屏的基本使用原理作了分析,并以数种实验结果解释网屏如何用在非线性光学图象处理上。文中也谈及新颖网屏对印刷术的改良与简化。此外,对如何计划以特制网屏对光学图象通信及电视广播作系统性的简化的探讨和展望。

## 一、导 言

印刷网屏(printing screens)是近代一般图象复制过程中一项不可缺少的要件。网屏应用在印刷方面的基本概念最初由英国物理学家塔布特(W. H. Fox Talbot)在1852年提出。塔布特原来以类似纱布之网屏,成功地将图象分为大小不同而密度均匀的网点。网点大小由不同的面积表现出图象光度的强弱。此一发明不仅在英国获得专利权<sup>[1]</sup>,也为图象复制技术开创了新纪元。早在公元二世纪由中国人发明而经一千余年后才传到西欧的印刷术,由于网屏的发明与应用,又向前迈进了一步。因为原先网屏的平均透射率约为1/2,故称为半色调网屏(halftone screens)。近百年来,半色调网屏不断有所改进<sup>[2,4]</sup>。其中尤以J. A. C. Yule在1946年所发明的密着网屏<sup>[5]</sup>最为重要。该类网屏具有排列整齐的网目(screen cell),各网目透射率之大小由网孔中心至网孔外围递增(或递减),看似朦胧。使用时,需将网屏与胶片紧密接触才能曝光,故称为密着网屏,以区别于其它使用时要与胶片维持一定距离的半色调网屏。事实上,密着网屏的平均透射率不一定等于1/2。然而,由于习惯的缘故,一般仍称各类密着网屏为半色调网屏或半色调密着网屏。

近二十年来,密着网屏已渐被印刷界广泛采用,并复印了大量的图片,得到相当满意的结果,只是使用过程较为复杂。本文将讨论如何以最新颖的密着网屏<sup>[6]</sup>,简化和改良黑白及彩色印刷的过程,并如何获得更完美的复制图象。

本文还将讨论密着网屏在光学图象处理方面的各种用途。最早报导以半色调网屏技术应用于光学图象处理的是Marquet(1959)<sup>[7]</sup>和Marquet与Tsujiuchi(1961)<sup>[8]</sup>。可是该技术在当时并未受人重视。十二年后Kato与Goodman<sup>[9]</sup>再度提出用密着网屏作非线性相干对数光学图象处理之后,使网屏技术在光学图象处理方面受到广泛注意。近年来与网屏有关的论述很多,其中具有代表性的文章分别列于参考文献[10~27]。从文献中可以看到网

屏技术在光学图象处理方面的重要性。今后研究重点,应是在如何使此技术更广泛地应用在实际系统中。在这一点上,本文也提出一些看法。

## 二、密着网屏在光学图象处理方面的应用原理和实验

密着网屏在光学图象处理方面最主要的用途是非线性图象处理,如对数滤波、调层分切(level slicing)、等调分层(equidensitometry)、假彩色化(pseudocoloring)和模数转换等。

### 1. 密着网屏技术的基本原理

密着曝光过程可简化如图1所示。在图1中,(A)代表原图象或通过放大机(enlarger)或照相机由原图象获得的再成象;(B)代表一片密着网屏;(C)代表一片高反差负胶片。在接受功率为 $P_0$ 的光源照射时,(A)、(B)、(C)三者应当极紧密附着,其间距最好是零。图2是以(A)、(B)、(C)的强度透射率来解释密着网屏技术的基本原理图。为了简化的缘故,我们仅考虑一维空间的情况。图2(a)是假定的原图象透射率 $T^p(x)$ 的空间变化;(b)代表密着网屏透射率 $T^s(x)$ 的空间变化;(c)则是(a)与(b)联合后的变化,以 $T^p(x)T^s(x)$ 表示。整个技术的关键在于选择一个临界(阈值)透射率 $T^{th}$ [26]。每种高反差负胶片均具有一特性,即在一定冲洗条件下,若该片任何部分感受曝光的总能,超过临界(阈值)能量 $I^{th}$ ,胶片便不透明(透射率为零)。当然,实际上胶片的反差系数并非无限大。在理想条件下 $T^{th}$ 可以定义为

$$T^{th} \equiv I^{th}/I_0, \quad (1)$$

其中 $I_0$ 代表曝光量,可视为 $P_0 t_0$ , $t_0$ 代表曝光时间。 $I^{th}$ 由胶片性能和冲洗条件而定,故

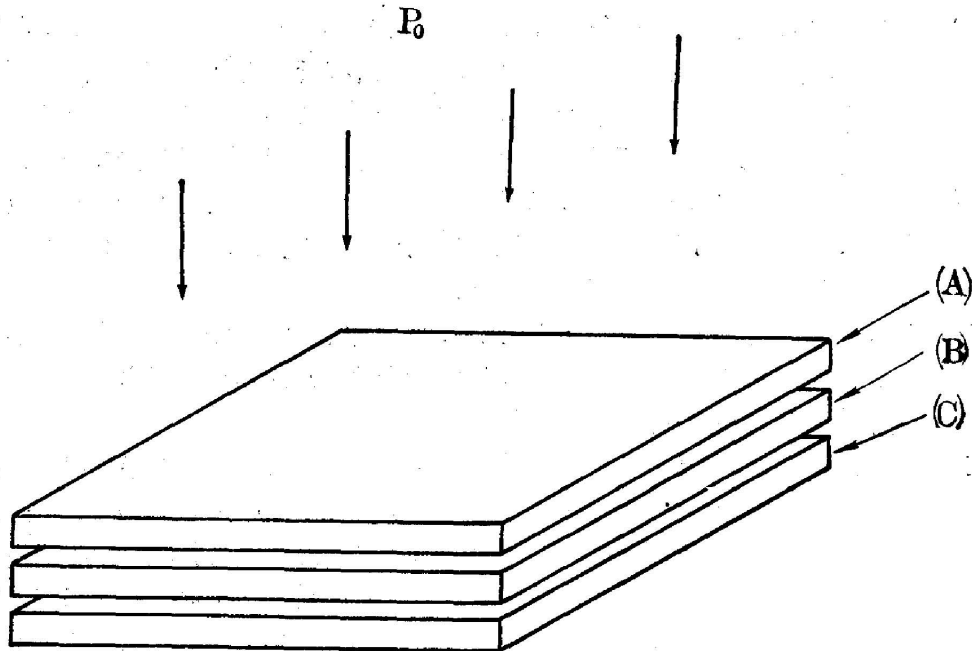


图1 密着曝光过程图解

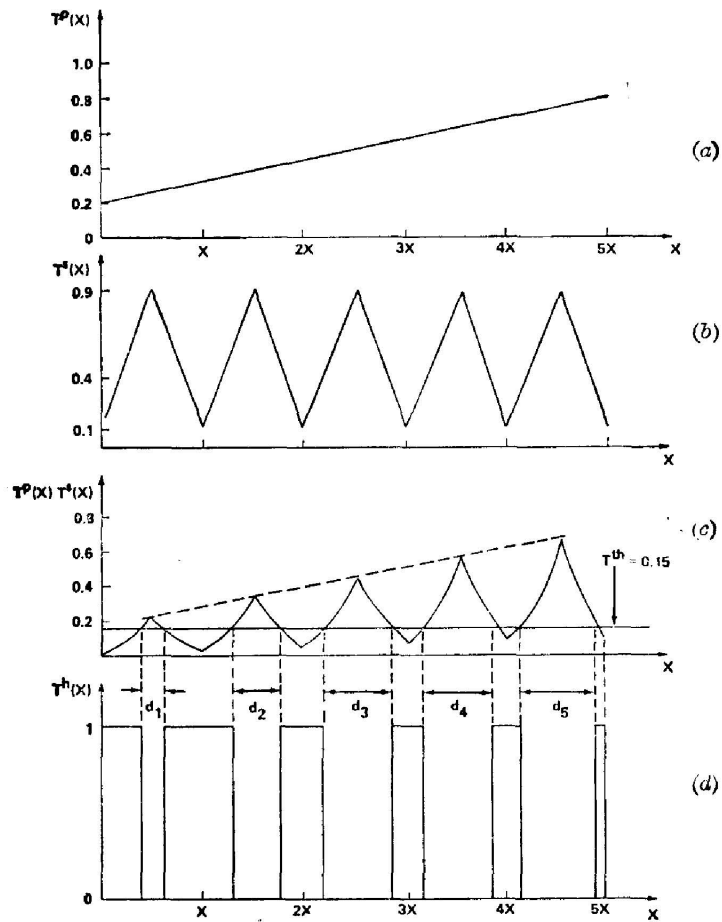


图 2

(a) 原图象连续变化的透射率  $T^p(x)$  (b) 密着网屏的透射率  $T^s(x)$   
 (c) 乘积  $T^p(x)T^s(x)$  的曝光阈值  $T^{th}$  (d) 高反差负片的透射率  $T^h(x)$

$T^{th}$  可以用人为方法加以控制。设图 2(c) 中,  $T^{th}$  为 0.15, 则感光胶片经冲洗后便产生了如图 2(d) 所示的相间透射率  $T^h(x)$ 。其中不透明部分的宽度为  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$  和  $d_5$ 。具有如图 2(d) 的透过率的胶片通称为半色调负片或半色调图片。图 2 说明各种不同宽度的不透明区可以在密着网屏的曝光过程中产生, 并使  $T^p(x)$  在空间长度  $5X$  中迅速变化。但是, 为了便于分析图象处理, 假定  $T^p(x)$  在许多倍周期的空间无变化; 亦即假定满足抽样定理。

2. 半色调图象在光学处理系统中成象的分析

根据上述理由, 设常数值  $T^p$  在胶片上产生如图 3 所示的等距不透明线, 其不透明部分的距离为  $d$ , 假定二维半色调图象透射率  $T^h(x, y)$  在空间  $x = \pm\infty, y = \pm\infty$  无限延伸, 其数学方程式为

$$T^h(x, y) = T^h(x) \cdot 1 = \text{rect}\left(\frac{x}{X-d}\right) \otimes \left[ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x-nX) \right], \quad (2)$$

其中<sup>[28]</sup>, “ $\otimes$ ”表示卷积符号,

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq 1/2, \\ 0, & |x| > 1/2, \end{cases} \quad (3)$$

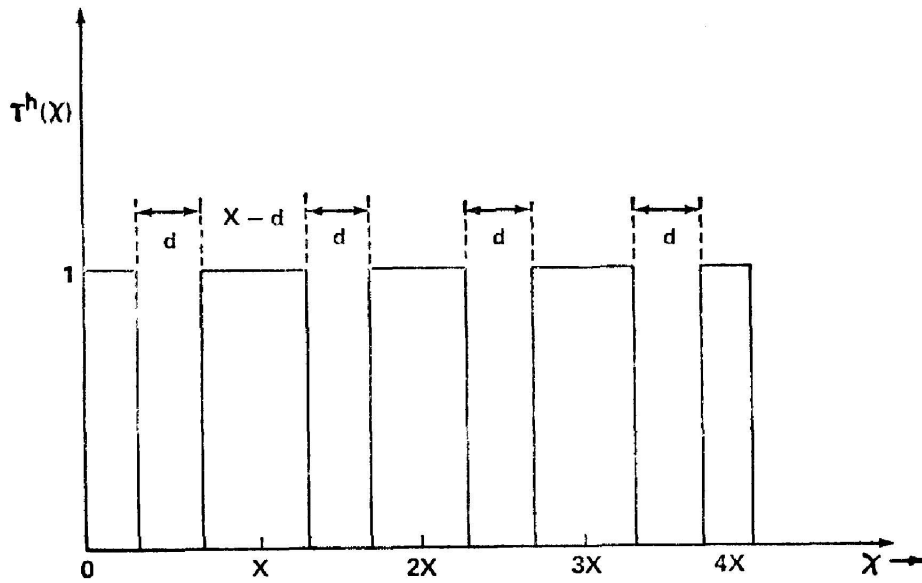


图3 半色调图片在一恒定光照下的透射率  
不透明线宽为  $d$ , 透明线宽度为  $X-d$ 。

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & x=0, \\ 0, & x \neq 0, \end{cases} \quad (4)$$

(2)式所代表的是强度透射率,若忽略胶片透明部分因厚度所产生的相位差,则亦可当作振幅透射率。若将(2)式的半色调图片置于相干光学图象处理系统(见图4)中凸透镜  $L_1$  后的焦距  $f_{L_1}$  处(即其焦点处),并以单色平面波垂直照射,则根据傅里叶光学在夫琅和费近似假定下,在焦距为  $f_{L_1}$  的凸透镜后焦点所成之象的振幅透射率应为(2)式经傅氏积分变换的结果<sup>[28]</sup>。

$$\begin{aligned} \mathcal{F}[T^h(x, y)] &= t^h(x_F, y_F) \\ &= \delta(f_y) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(\frac{x_F}{\lambda f_{L_1}} - \frac{n}{X}\right) \left\{ \frac{1}{i\lambda f_{L_1}} \exp(ikf_{L_1}) \exp\left[i\frac{k}{2f_{L_1}} x_F^2\right] \right. \\ &\quad \left. \times (X-d) \sin c\left[\frac{(X-d)x_F}{\lambda f_{L_1}}\right] \right\} \\ &= K_2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(\frac{x_F}{\lambda f_{L_1}} - \frac{n}{X}\right) \frac{1}{\lambda f_{L_1}} (X-d) \sin c\left[\frac{(X-d)x_F}{\lambda f_{L_1}}\right] \delta(f_y) \end{aligned} \quad (5)$$

其中,

$$K_2 = -i \exp(ikf_{L_1}) \exp\left[i\frac{k}{2f_{L_1}} x_F^2\right] \quad (6)$$

(5), (6)式中  $x_F, y_F$  为傅氏平面坐标值,  $n$  是整数,  $\lambda$  为激光波长, 而  $f_y = y_F/(\lambda f_{L_1})$ 。(5)式说明原图象所具有的信息经凸透镜  $L_2$  后,形成一系列空间频谱,其聚合处分别为

$$x_F = 0, \pm \frac{\lambda f_{L_2}}{X}, \pm \frac{2\lambda f_{L_2}}{X}, \dots \pm \frac{n\lambda f_{L_2}}{X}.$$

通常  $n$  值称为衍射级,由于各相邻级衍射项之间差  $\lambda f_{L_2}/X$ ,故周期值  $X$  越小,焦距  $f_{L_2}$  越大,激光波长  $\lambda$  越大,则任一级衍射项也越易被选择滤出。(5)式所代表的是相干光学的输



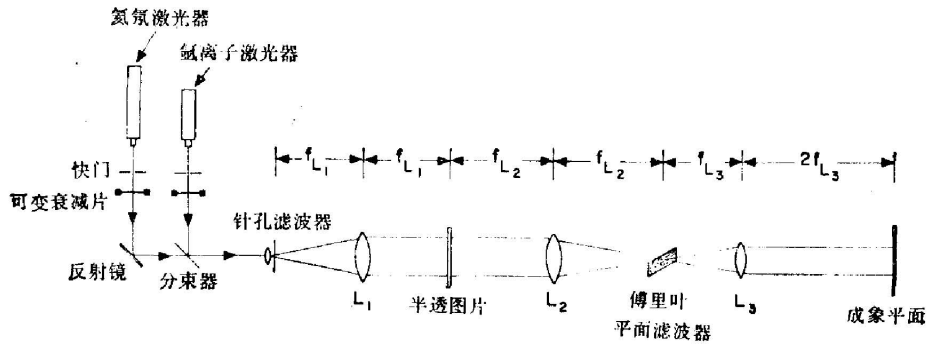


图4 相干光图象处理系统

入和输出平面之间光信号振幅间的关系，其中包括在复常数  $K_2$  [见式(5)] 中的相位值不可省略。

在图4中傅氏平面置一空间滤波器，例如  $y_F$  轴的狭缝，并使其宽度仅能通过一级衍射项，即可在  $x_F$  轴上自由移动而使任意一级衍射项通过。若此狭缝置于  $x_F=0$  处，使零级衍射项

$$[t^h(x_F, y_F)]_0 = K_2 \delta\left(\frac{x_F}{\lambda f_{L_1}}\right) \cdot \frac{1}{\lambda f_{L_1}} (X-d) \cdot \delta(f_y) \quad (7)$$

通过。若此狭缝置于

$$x_F = n\lambda f_{L_1} / X, \quad (8)$$

处，则  $n$  级衍射项

$$[t^h(x_F, y_F)]_n = K_2 \delta\left(\frac{x_F}{\lambda f_{L_1}} - \frac{n}{X}\right) \frac{1}{\lambda f_{L_1}} (X-d) \sin c\left[n\left(1 - \frac{d}{X}\right)\right] \delta(f_y) \quad (9)$$

通过。在各种实际应用系统中，对各级衍射项将有所选择。图4中的傅氏平面滤波器就是用来对各级衍射项作取舍的设施。经滤过的任何一级衍射项在另一焦距为  $f_{L_3}$  的凸镜  $L_3$  后焦点处产生，输出图象。理论上说，此图象是该被选择衍射项再经傅氏变换的结果。例如，对第零级衍射项傅氏转换而成的输出图象振幅透射率为

$$[\tau(x', y')]_0 = \mathcal{F}[t^h(x_F, y_F)]_0 = \frac{K_2 K_3}{\lambda^2 f_{L_1} f_{L_3}} (X-d), \quad (10)$$

其中，

$$K_3 = -i \exp(ikf_{L_3}) \exp\left(i\frac{k}{f_{L_3}} x'^2\right), \quad (11)$$

而  $x', y'$  为成像平面坐标值。同理， $n$  级衍射项所成的输出图象的振幅透射率为

$$\begin{aligned} [\tau(x', y')]_n &= \mathcal{F}[t^h(x_F, y_F)]_n \\ &= K_2 K_3 \exp - \frac{i2\pi n x'}{X} \frac{X}{\lambda^2 f_{L_1} f_{L_3}} \frac{1}{n\pi} \sin\left[n\pi\left(1 - \frac{d}{X}\right)\right], \end{aligned} \quad (12)$$

相位变化表现在指数部分  $\exp(-i2\pi n x'/X)$  中。显然，各衍射项的强度透射率为其振幅透射率绝对值的平方。若以  $\mathcal{T}_0(x', y')$  和  $\mathcal{T}_n(x', y')$  分别代表在输出平面即图4中成像平面的第零级和第  $n$  级的强度透射率，则从(11)、(12)式可得

$$\mathcal{T}_0(x', y') = |[\tau(x', y')]_0|^2 = (\lambda^2 f_{L_1} f_{L_3})^{-2} X^2 \left(1 - \frac{d}{X}\right)^2 \quad (13)$$

和

$$\mathcal{T}_n(x', y') = |[\tau(x', y')]_n|^2 = (\lambda^2 f_{L_1} f_{L_2})^{-2} X^2 (n\pi)^{-2} \sin^2 \left[ n\pi \left( 1 - \frac{d}{X} \right) \right]. \quad (14)$$

从表面看来, (13)式和(14)式的量纲是距离单位的负六次方, 但事实上, 该两式由于积分过程中所隐含的距离单位被消除, 故是无纲量的。由于在实测中, 激光波长、透镜焦距有不可忽视的影响, 故有必要全部保留。因此, 以上(10)、(12)、(13)、(14)诸式所得结果, 稍异于\*参考文献[16]的结果。

二维空间输入输出平面图象的关系可从以上结果类推, 在此略去。

### 3. 几种图象处理方面的实例

通常人眼所能观察到的是光的强度, 而不是振幅, 所以(3)和(4)式中的强度透射率具有

实际的物理意义。由于原图象的强度影响  $d$  值, 用(13)式表示零级透射率时, 输出平面强度随原图象强度呈非线性单调变化, (14)式则表示各种不同级的非线性、非单调变化。在此两式中,  $d$  值可由密着网屏设计决定。利用(13)式的非线性单调变化的半色调网屏技术可以作对数图象处理, 以去除原图象中各项相乘噪音; 也可以作调层分切用途。两者均在参考文献[10]及[16]中有详细报导, 本文仅在后面略加评论。在此将对(14)式所表示的非线性、非单调变化关系的实际应用及新密着网屏对印刷术的改良予以讨论。前者又分为图象等调分层, 假彩色化及模数转换。现分别叙述如下。

#### (a) 图象等调分层

若假定上节讨论的输入图象强度为单位强度, 则(14)式所代表的即为  $n$  级衍射项的强度。根据这一定义, (14)式可改写为归一化强度:

$$\begin{aligned} \bar{I}_n &= (\lambda^2 f_{L_1} f_{L_2})^2 X^{-2} (n\pi)^2 \mathcal{T}_n(x', y') \\ &= \sin^2 \left[ n\pi \left( 1 - \frac{d}{X} \right) \right]. \end{aligned} \quad (15)$$

(15)式代表各衍射项强度随输入图象强度  $d$  而变化。为了清晰起见, 将以图5作补充说明。该图表明第一至第五级衍射项随  $d$  的变

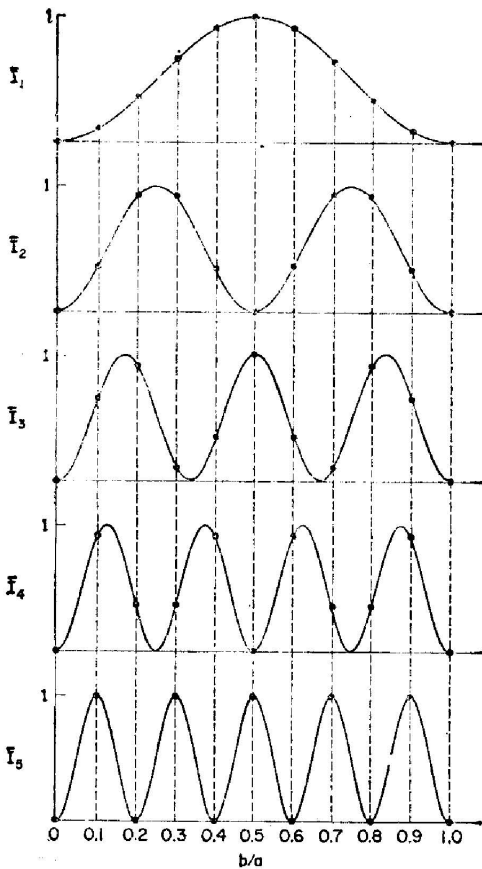


图5 第一至第五级衍射项之归一化输出  
图象强度随输入图象强度的变化

化。若原密着网屏为一维网目(单元), 经图2曝光处理过程后,  $d$  值被限制在  $d/X=1, 0.9, 0.8, \dots, 0.1, 0$ , 则各衍射项输出面上强度可由图5中各黑圆点代表。图5明确表示出输入图象归一化光强度由0到1的变化可在  $\bar{I}_1$  中产生六级不同的等调强度。以此类推, 在

\* 此处  $d$  相当于参考文献式(1)中的  $b$ ,  $X$  相当于式(2)中的  $a$ 。该文未说明理由而在式(2)中增加了  $\frac{1}{a}$ , 故其以后各式均受到影响, 并且该文省略了透镜焦距等距离函数。

$\bar{I}_5$  中产生 0 与 1 两种强度之等调强度。而  $\bar{I}_5$  之强弱对比较  $\bar{I}_1$  到  $\bar{I}_4$  各项为大, 并且在  $\bar{I}_5$  中, 光之强弱随输入强度而呈交替变化, 对原图象成功地进行了等调分层。

等调分层的详细实验过程可以在参考文献[13]中看到, 在此仅举一个应用在医学上的结果为例, 来说明其可能用途。图 6 的结果表示动脉管壁表皮似乎可以以等调分层技术显示出来。此技术加以改进后, 可以用来帮助观察放射线照片中的细微色调变化, 以利于诊断, 并可推广到其它工业用途上。

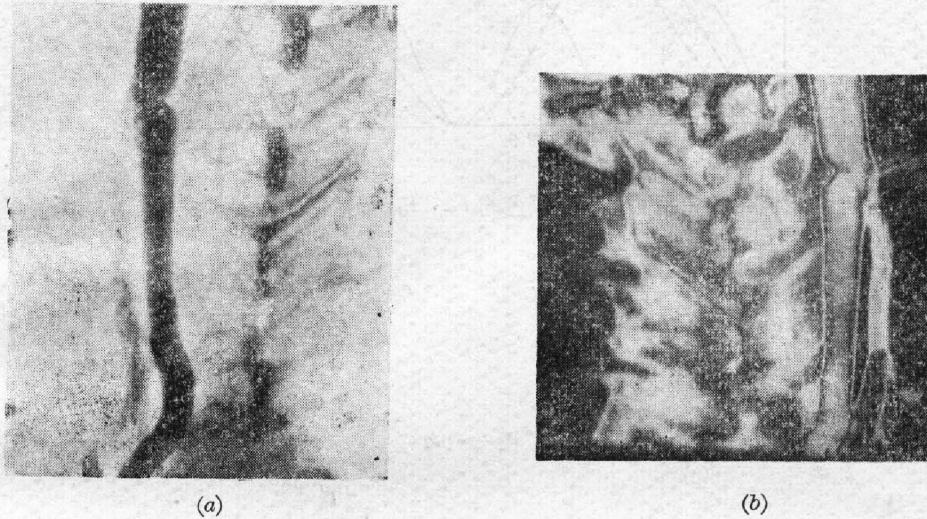


图 6

(a) 病人颈部的 X-光片, 其中左面粗黑线系经注射不透明物后显示的大动脉。

(b) 经等调分层后的结果。此仅系第二次衍射项的输出图。

注意: (a), (b) 在位置上是相对的。

### (b) 假彩色化

通常人类视觉所能分辨的黑白色调最多只有十五到二十层次, 而且对光的明暗差异的记忆更是有限<sup>[29]</sup>, 然而人类对彩色的不同层次的分辨力则是很大的。假彩色化就是以不同彩色来表示黑白色调的一种技术——或称假彩色编码。密着网屏技术对图片假彩色编码的理论也可由(14)式导出。假定入射光为单位强度的光情况下, 第  $n$  级衍射项的输出强度可写成

$$I_n = (\lambda^2 f_{L_s} f_{L_s})^{-2} X^2 (n\pi)^{-2} \sin^2 \left[ n\pi \left( 1 - \frac{d}{X} \right) \right], \quad (16)$$

其中光源的波长  $\lambda$  可以由图 4 中的不同激光波长决定。氦氖气体激光可供给  $\lambda_R = 6328 \text{ \AA}$  红色原色, 氩离子激光可供给  $\lambda_G = 5145 \text{ \AA}$  绿色原色和  $\lambda_B = 4880 \text{ \AA}$  蓝色原色光源。设若经快门及傅氏平面滤波选择, 而入射红、绿、蓝三原色光源强度分别为  $I_R$ ,  $I_G$  和  $I_B$ , 则输出面上第  $n$  级衍射项的红色图象强度, 第  $m$  级衍射项的绿色图象强度, 与第  $l$  级衍射项的蓝色图象强度分别可写成

$$I_{Rn} = (\lambda_R^2 f_{L_s} f_{L_s})^{-2} X^2 (n\pi)^{-2} \sin^2 \left[ n\pi \left( 1 - \frac{d}{X} \right) \right], \quad (17)$$

$$I_{Gm} = (\lambda_G^2 f_{L_s} f_{L_s})^{-2} X^2 (m\pi)^{-2} \sin^2 \left[ m\pi \left( 1 - \frac{d}{X} \right) \right], \quad (18)$$

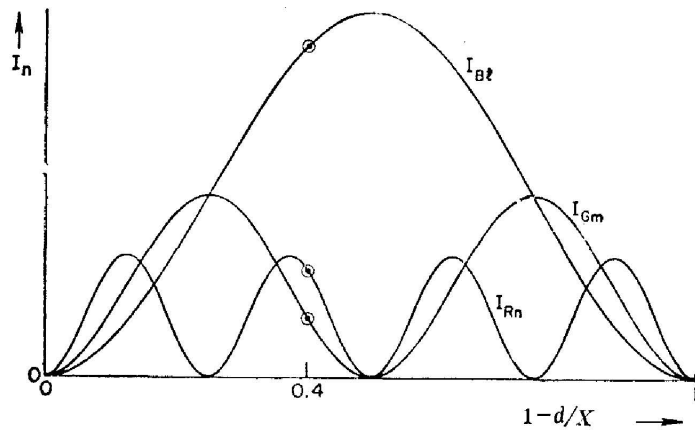


图 7 输出平面强度三原色的  $I_{Rn}$ ,  $I_{Gm}$  及  $I_{Bl}$  对  $d/X$  的变化

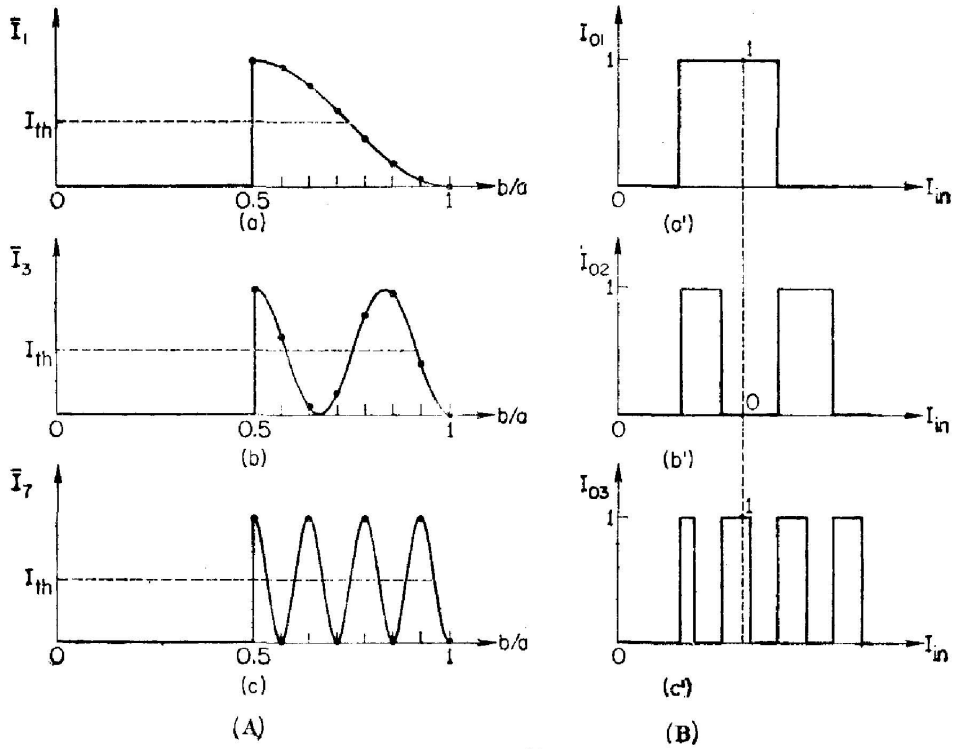


图 10 模数转换

(A) 输入强度; (B) 二进制输出强度

和

$$I_{Bl} = (\lambda_B^2 f_{L_s} f_{L_s})^{-2} X^2 (l\pi)^{-2} \sin^2 \left[ l\pi \left( 1 - \frac{d}{X} \right) \right]. \quad (19)$$

以上三式所表示的强度在  $n=4$ ,  $m=2$  及  $l=1$  的特例情形下, 可以用图 7 表示。如所选择衍射项以 (17), (18) 及 (19) 式代表, 则其总强度  $I_T$  应为

$$I_T = I_{Bl} + I_{Gm} + I_{Rn}, \quad (20)$$

而其彩色则须按国际色度图决定。图 7 中圆圈内的黑点代表在  $d/X=0.6$  时三色的相应衍射项所应具有强度。由以上各式可知, 多种假彩色完全可由衍射级次 ( $l, m, n$ ) 和光源强

度的变化而混合产生。此种以密着网屏技术为基础的假彩色编码处理方法,机动性很强。此法不但可以用相干光源实现,而且亦可用白色的非相干点光源经单色滤波后,配合各衍射级次在输出面上的光强度来进行<sup>[20~22]</sup>;而非相干光源不但较激光器便宜,也可避免图象上因激光所产生之斑点(散斑)。下面用图 8 和图 9 (见最后彩色插页)来说明假彩色化在医学上的可能用途。图 8 显示一维半色调图片经假彩色化后,将原来不甚清晰的恶性肿瘤位置(箭头所指)较清晰地显示出来。图 9 再次表明假彩色化后与原 X 光照片作比较,原图为一早产婴儿身体中部的 X 光照片。假彩色化图象处理的应用当然不止在医学方面,对自然资源图片的分析、无损检验等应当都具有应用的价值。

### (c) 模数转换

根据(14)式,我们可以设计一种特别的密着网屏,而取不同的衍射项级次便能产生如图 10 所示秩序井然的二进制输出。图 10(A)中(a), (b), (c)三部分分别表示第一、二及第七级归一化输出强度,图 10(B)各部分代表二进制输出的三个位面(bit plane),输出的二进制数分别为(0, 0, 0), (0, 0, 1), (0, 1, 0), (0, 1, 1), (1, 0, 0), (1, 0, 1), (1, 1, 0), (1, 1, 1)八种。详细实验结果见参考文献[19]。模数转换对图片编码有直接应用价值,但是此种方法的位面选择并不容易,从而使其实用性受到影响。

## 三、最新密着网屏在黑白和彩色印刷方面的应用和改进

本节将讨论用一种十分独特的密着网屏<sup>[6]</sup>来简化及改进黑白和彩色图片的复印方法。

首先简略介绍过去密着网屏的种类及其使用方法<sup>[30, 31]</sup>。一般而言,密着网屏以其所产生的网目点的几何形状分为方、圆和椭圆形三种。由于原来各种网屏制造方法的限制<sup>[4]</sup>,以此类网屏按图 1 和图 2 的方法,并不能如实地将图片的色调强度传递到半色调图象上,一般重点放在原图片的明亮、中调和阴影三部分的复制上。为了缩减原图片(尤其是幻灯片)中强弱的反差以适合半色调图象之较短色调性,先做一个原图象的负片,称为掩模,再将此掩模复合在原图象上,然后制成半色调图象。不但如此,为了补足阴影部分的网点,要有一闪曝(flash)过程(即在不加原图象的情况下,只加网屏时进行预先曝光一次)。此外,为了补足明亮部分的网点,尚须进行一次碰曝(bump exposure)(即在不加网屏,而只加原图象及其掩模于胶片上,预先曝光一次)。通过这些手续,才能制成较理想的黑白半色调图片,并用以制版后即可供印刷使用。彩色图片的复制则更为复杂。它要对上述过程重复进行四次,每次用一个不同颜色的滤色片对光源滤色。最基本的三色为黄色、品红色和青蓝色,另加一灰色。在此分色过程中,还要使网屏旋转一定方向使其与横轴分别成如下角度:青蓝色 105°;品红色 45°;黄色 90°;灰色 75°。或者在每次换滤色片时,换用一片预先转好角度的网屏(这就需要四片网屏)。此两法都很烦琐,尤其是用四片网屏时,每片网目透射率大同小异,若损坏一片,再补制也不易使其与原来的三片配合。转换网屏方向的目的是为了避免产生莫尔条纹。但在印成的彩色图片中却存在如梅花形的玫瑰纹(rossette patterns),这种玫瑰纹不难在市场上所见的大部分彩色印刷图片中发现。

本节下面将说明只要把密着网屏加以精心研制,以上所述各种复杂过程大多是可以简

化的。我们将分三部分进行讨论。第一部分描述称为流明单屏\* (Lumin Mono-Screen)\*\* 的新颖网屏的网目设计, 其次讨论其用法和可预测的结果, 最后叙述其优越性。

### 1. 流明单屏的设计

#### (a) 一维网屏透射率

以  $X$  代表单位网目在水平  $x$  轴上的长度, 并令此网目透射率系由总数为  $N$  的不同值  $T_n^s$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ) 形成。将  $X$  分为  $N$  部分:  $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_N$  使其总和

$$\sum_{n=1}^N \Delta x_n = X. \quad (21)$$

若令  $\Delta x_0 = 0$ , 则此网屏的透射率可以用下式表示

$$T_X^s(x) = \sum_{n=1}^n T_n^s \left[ u \left( x - \sum_{k=1}^n \frac{1}{2} \Delta x_{k-1} \right) - u \left( x - \sum_{k=1}^n \frac{1}{2} \Delta x_k \right) + u \left( x + \sum_{k=1}^n \frac{1}{2} \Delta x_k \right) - u \left( x + \sum_{k=1}^n \frac{1}{2} \Delta x_{k-1} \right) \right], \quad (22)$$

其中  $u(\theta)$  定义为

$$u(\theta) = \begin{cases} 1, & \theta \geq 0 \\ 0, & \theta < 0. \end{cases} \quad (23)$$

此一维网屏透射率数学方程式(为了简单起见, 假定网屏面积无限大)可以写成

$$T^s(x) = T_X^s(x) \otimes \left[ \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta(x - iX), \right] \quad (24)$$

式中  $i$  系整数。

#### (b) 二维单屏透射率

要描述二维流明单屏透射率, 首先必须假定前述  $x$  轴方向的一维网屏透射率方程式保持不变, 而且用另一不同于  $x$  方向的透射率来表示。假设此一方向为  $y$  方向( $y$  轴并不要求对  $x$  轴垂直)。令此二维单位网目在  $y$  轴方向的长度为  $Y$ , 并将  $Y$  分为  $M$  部分  $\Delta y_1, \Delta y_2, \Delta y_3, \dots, \Delta y_M$ , 且

$$\sum_{m=1}^M \Delta y_m = Y. \quad (25)$$

如前, 令  $\Delta y_0 = 0$ , 若单位网目的透射率由  $T_m^s$  ( $m=1, 2, \dots, M$ ) 形成, 则其透射率方程式可写成

$$T_Y^s(y) = \sum_{m=1}^M T_m^s \left[ u \left( y - \sum_{k=1}^m \frac{1}{2} \Delta y_{k-1} \right) - u \left( y - \sum_{k=1}^m \frac{1}{2} \Delta y_k \right) + u \left( y + \sum_{k=1}^m \frac{1}{2} \Delta y_k \right) - u \left( y + \sum_{k=1}^m \frac{1}{2} \Delta y_{k-1} \right) \right], \quad (26)$$

而假定为无限大的网屏在  $y$  轴方向的透射率可以写成

$$T^s(y) = T_Y^s(y) \otimes \left[ \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta(y - jY), \right] \quad (27)$$

式中  $j$  为整数。

这样, 二维流明单屏的透射率  $T^s(x, y)$  可写成

\* Manufactured by Lumin Inc., P. O. Box 5620 Tuscaloosa, Al. U. S. A. 35405

\*\* Registered trade name; U. S. Patent Office



$$T^*(x, y) = T^*(x)T^*(y) \quad (28)$$

由 (28) 式可见流明单屏的特色是其中各单位网目的透射率系由不同分量化的透射率组成。这就为制造上提供了方便，对每一个不同的透射率均可预先人为地加以控制。这一点是与以前所有的密着网屏的制作理论大不相同的。

若不计较相位差，上式可以看作强度或振幅透射率均可。

(c) 流明单屏的特例

今举一特例对流明单屏作进一步说明。令(28)式中  $X=Y=L, M=N=20$ ，对每一  $i$  而言  $\Delta x_i = \Delta y_i = \Delta = L/20$ ，并令  $x$  轴与  $y$  轴垂直。若以  $k$  代表层次不同的透射率，则在理想而对称的情况下，此流明单屏的单位网目的透射率分布情况可用图 11 表示。根据此一特例而制成的网屏的显微象片示于图 12 中。虽然由于胶片本身动态范围的限制未能将所有不同的透射率表明，仍可由该图中看到参差分布的分量化的透射率。

2. 流明单屏的使用原理

流明单屏的使用原理已经在图 1 和图 2 中加以说明。按图 1 和图 2 的原理，就上述特

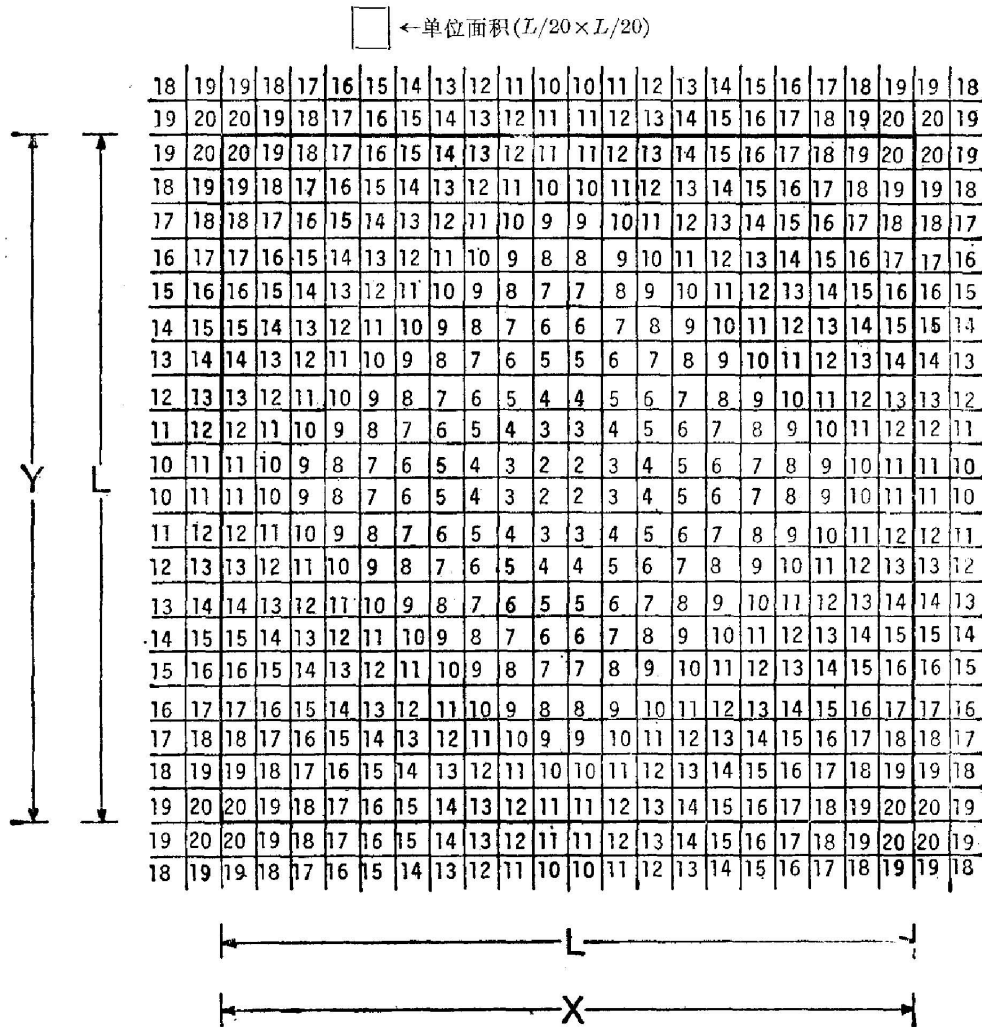
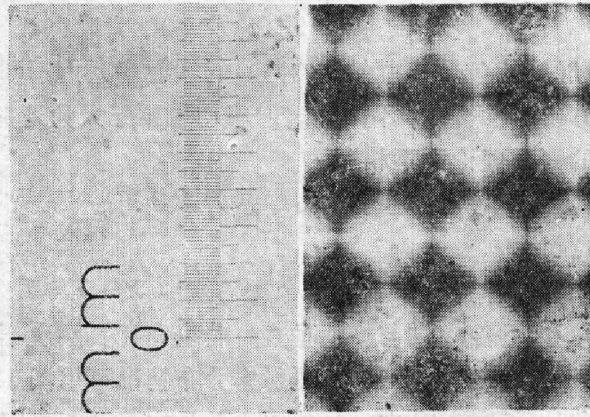


图 11 方框中所示为一特例中流明单屏的单位网目透射率分布图



尺 屏

图 12 一特例的流明单屏一部分的显微象片

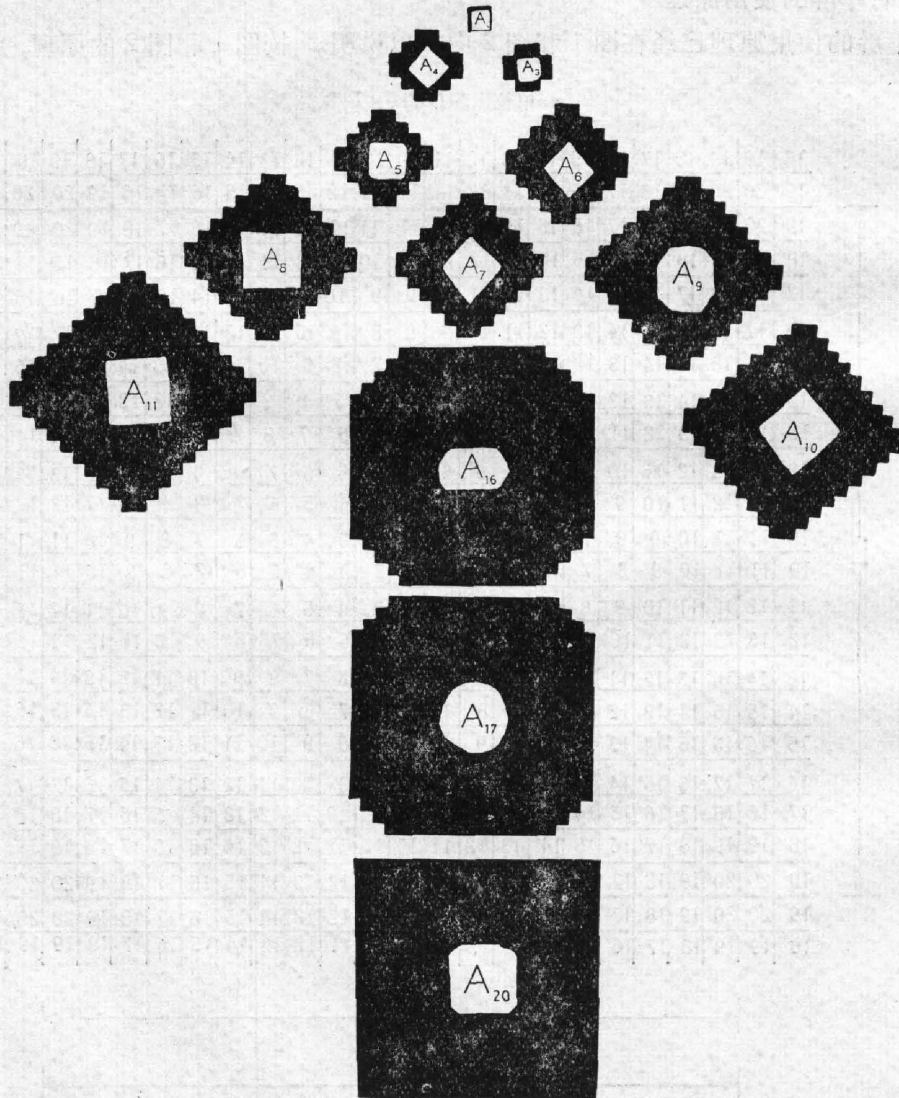


图 13 特例的流明网屏所能产生的网点或印刷版网点



例的二维网屏而言, 所能产生的半色调网点及其以后以半色调图片制版而成相反的印刷网点, 将不多于二十种几何图形  $A_1, A_2, \dots, A_{20}$ , 其中  $A_1=0$ 。各种网点图形示于图 13 中。它显示单屏与其它网屏(如方形、圆形、椭圆形等)的不同在于其产生的网点形状随面积的大小而变化, 既不是全方形, 也不是全圆形或是椭圆形的。有趣的是, 这类网点虽然看起来似乎简单, 但因其各种不同设计而产生的变化却是无穷尽的。图 14 进一步就此特例说明网点与网目透射率的关系, 其中  $U_k$  代表  $k$  级透射率所占单位网目中的微小单位面积(在此为  $\frac{L}{20} \times \frac{L}{20}$ );  $A_k$  代表可成网点的面积:

$$U_k = \sum_{i=1}^k A_k. \quad (29)$$

由此可见, 控制网目中各级透射率, 即可控制复制后图片的反射率。

在彩色图片分色过程中, 作者主张改变过去数十年印刷界习以为常的在分色时旋转网屏方向(或使用一组四张预先转好角度的网屏)的陈旧方法<sup>[32]</sup>。提出仅用一张流明单屏的新的方法, 它不需要转动角度进行分色。分色过程中除每次使用一个不同颜色滤色片外, 一切都按图 1 和图 2 的基本原理。各色所采用的角度都为  $45^\circ$ 。视觉上, 这一角度使图片中网点的存在最为显著。彩色图象的任何一个成图点, 可由图 15 和图 16 的情况决定。例如在图 15 中,  $A_3$  面积由青蓝色油墨占据;  $A_6$  由黄色油墨占据;  $A_8$  由品红色油墨占据。在理想情况下,  $A_3$  呈黑色,  $(A_6 - A_3)$  呈红色,  $(A_8 - A_6)$  仍呈品红色。任何点的颜色都可由此三色混合而决定。图 16 表示另一种可能的印刷图点。以此类推, 即就上面所举特例而言, 由于每一单色可以印成 20 种大小不同的印刷点(包括空白点), 三种原色即可产生  $(20)^3$  即八千种不同的混合色彩, 足以表达任何彩色原图。

### 3. 新法的优点

- 不需要在制半色调图片前先制掩模, 因为在设计网目时已兼顾到, 节省了时间与胶片。
- 不需闪曝及碰曝。新式网屏可以在一次主要曝光下将各种明暗层次以各种面积网点表示出来, 这样可以节省时间及避免曝光控制方面的不确定性。
- 新法在多色印刷时, 单用一张网屏并不旋转角度, 可以完全消除所印成图片中的玫

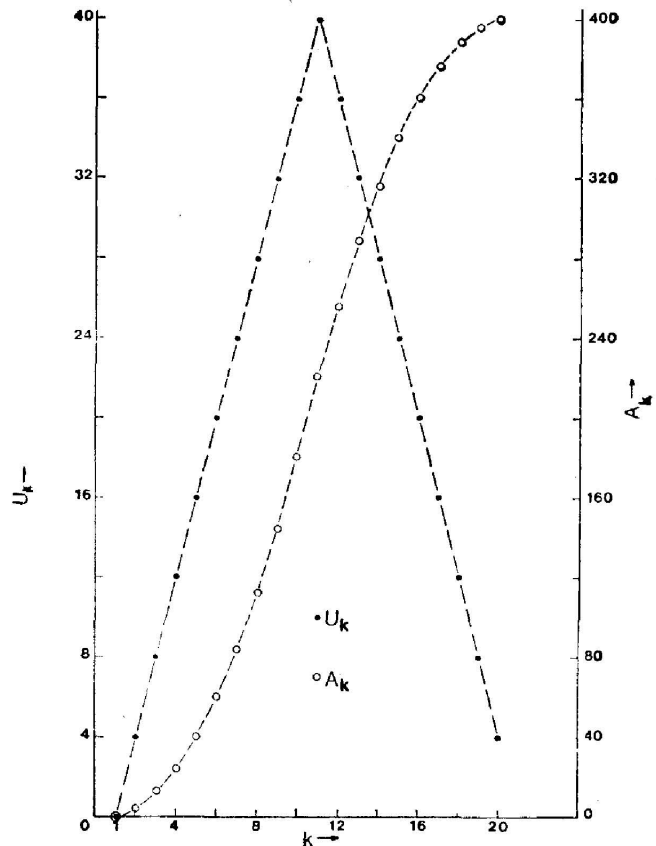


图 14 特例中各网点的面积  $A_k$  与网屏中各级透射率的关系

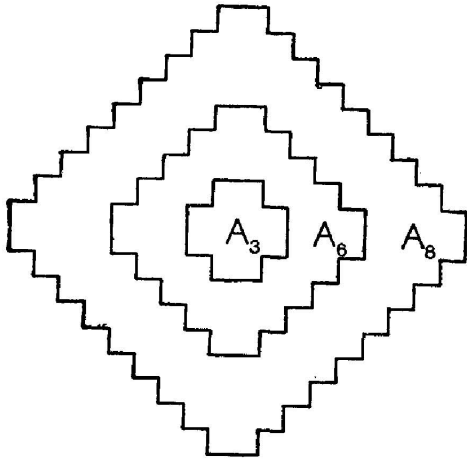


图 15 三色印刷图中决定颜色的图点分布

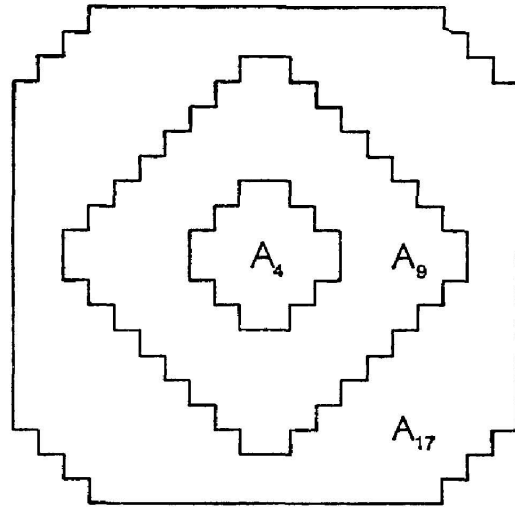


图 16 三色印刷图中的另一种可能的图点分布

瑰纹,使图片的界线较旧法更明确,物象更有立体感,对图片中较细微部分也表现得更为清楚。唯一必须注意的是要把各分色负片对正,使各印点尽量重迭,否则容易产生莫尔条纹。

新法不仅使分色过程大为简化,并使得最经济的直接分色法可以与昂贵的电子扫描机分色结果相媲美,而所费时间相当。

(d) 新法印刷点形状随其面积变化,具有形似圆形、椭圆形及方形的印刷点,复制能力上的优点,由其多变化而使画面柔和。

#### 4. 流明单屏彩色印刷实例

据实际应用所得经验,用流明单屏分色和直接分色法分色并以自动冲洗机冲洗,做一套四张分色负片所需时间仅十到十五分钟。

## 四、探讨与展望

首先探讨网屏设计在光学图象处理及印刷两方面进一步所能做的工作。前者的目的是要达到某种特别效果;后者的目的是要逼真地复制原象中的景物。

关于图象处理方面,我们已经成功地制成对数滤波所需要的网屏\*,也确知如何控制此网目中透射率的分布,并且由进一步的实验较仔细地比较了对数滤波与线性滤波在消除相乘性噪音方面的优劣。我们发现,对高频噪音而言,两种滤波法全都可达到良好的效果,然而对数滤波后的图象透射率是原透射率的对数,要经指数化处理后始能还原。由此看来,线性滤波较为优良。但是,对极低频率噪音,对数滤波仍能消除大部分噪音,而线性滤波则几乎无能为力。此外,我们对如何直接应用密着网屏于 X 光照片以及各种非线性图片处理<sup>[3,3]</sup>,也正在进行研究,并已得到初步结果。

关于印刷网屏方面,我们正在研究比较各种网屏网目的透射率对原象和复制象的传真性能的差异。我们已经用最基本的原理,分析了各种不同形状但具有线性分布透射率的网目

\* 参考文献[10]中的对数网屏是碰巧由所购买之商业网屏翻印而成,并且是二维的。

在印刷图片时所能达到的最高传真程度以及达到该程度所需的各种条件<sup>[26, 27]</sup>，并导出最佳传真网屏非线性分布的网目透射率曲线。上述最新发展，限于篇幅，将另撰文详述。

下面简述以特制网屏对光学图象通信及电视广播作系统性简化与改进。

过去的图片数字化技术，必须先对原图片每点顺序扫描，测量其透射(或反射)强度。每一点所得结果，经模拟值转换为数字计算机应用的二进制数字值，即模数转换过程。这一过程是图象编码所必需的<sup>[34]</sup>。此类模数转换方法不但严重地受到速率上的限制，而且在决定二进制值的换算上，其理论与实际均相当复杂，对传真度更难作有效控制。可是图片数字化却是改进图象通信及电视转播效率所需要的。

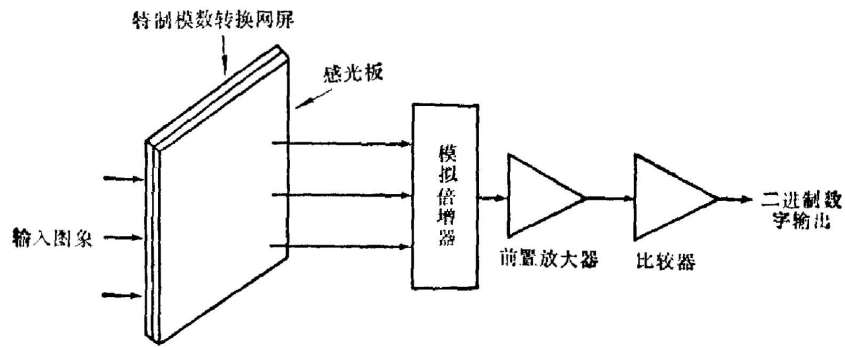


图 17 光电混合实时模数转换的图片编码系统示意图

图 17 所示，即我们计划中所要研究的光电混合实时模数转换的图片编码系统。此系统的

特点在于使用一片特制的模数转换网屏(这是一种特别设计的密着网屏)。我们在图 18 中展示一最简单的(并非实际的)网目的透射率图以利说明。该图中的  $T_1, T_2, T_3$  及  $T_4$  代表层次不同的透射率。若光源照射在此一网目部分的强度  $I_m$  是均匀的，则不同部分的透射率可使不同强度的光量通过。若在每一部分后放置一个能感光的固体电子装置如电荷耦合器件或一个太阳能电池之类，则光能即可转变成电压。此电压是模拟量，故有必要加上图 17 中的电子装置。每一个电压值要先经过放大，再通过一个比较器(通常为运算放大器)。所得结果即为 1 或 0 的二进制输出。比较器的作用相当于高反差的负胶片，但是其反差系数近似无限大，而且是实时的。本系统的其它优点是：(1) 电子扫描速度十分高，比光源扫描时图片编码快速得多；(2) 充分利用了光电两种装置的优点，即平行输入的高速度与二进制运算的机动性；(3) 对编码程序有直接就图论码的简易性；(4) 以相似而相反的过程来重现被编码图象，能达到高度传真的效果。因此，图 17 新系统在研制成功后，对光学图象处理及传真电视等方面有高度应用价值。初步实验结果已显示其可行性，详情将另文叙述。

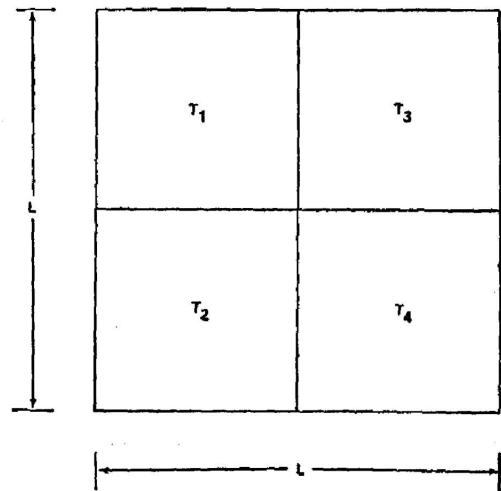


图 18 模数转换系统的一个可能网目(单元)的透射率分布图

## 五、结 论

本文就密着网屏在图象处理和印刷技术方面的应用与最新发展,作了综合性的介绍与剖析,也讨论了一些在未来的研究方向。我们相信在不久的将来,密着网屏技术对图片编码与传播及再成象系统的改良,将会有突破性的进展。

### 参 考 文 献

- [1] J. W. Wesner; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 7 (Jul), 1703.
- [2] «Encyclopedia Britannica», 1974, **14**, 1052.
- [3] Earlier contributions are A. J. Berthold (received a patent in Paris, 1857), Frederick E. Ives (Philadelphia, 1885), and Max Levy (Philadelphia, 1886).
- [4] Later patents are listed as follows:  
 U. S. P. No. 3249437, May 3, 1966.  
 U. S. P. No. 3493381, Feb 3, 1970.  
 U. S. P. No. 3647471, Mar 7, 1972.  
 U. S. P. No. 3664843, May 23, 1972.  
 U. S. P. No. 3666479, May 30, 1972.  
 U. S. P. No. 3746540, Jul 17, 1973.  
 U. S. P. No. 345953, Mar 31, 1953.  
 U. S. P. No. 3834905, Sep 10, 1974.
- [5] J. A. C. Yule; U. S. P. No. 670734 and U. S. P. No. 670735, May 18, 1946.
- [6] H. K. Liu; U. S. P. No. 4188225, Feb 12, 1980.
- [7] M. Marquet; *Opt. Acta*, 1959, **6**, No. 4 (Oct), 404.
- [8] M. Marquet, J. Tsujiuchi; *Opt. Acta*, 1961, **8**, No. 3 (Jul), 267.
- [9] H. Kato, J. W. Goodman; *Opt. Commun.*, 1973, **8**, No. 3 (Jul), 378.  
 H. Kato, J. W. Goodman; *J. O. S. A.*, 1973, **63**, No. 10 (Oct), 1360. A.
- [10] H. Kato, J. W. Goodman; *Appl. Opt.*, 1975, **14**, No. 8 (Aug), 1813.
- [11] T. C. Strand; *Opt. Commun.*, 1975, **15**, No. 1 (Jan), 60
- [12] A. W. Lohmann, T. C. Strand; *J. O. S. A.*, 1976, **66**, No. 2 (Feb), 170.
- [13] H. K. Liu, J. W. Goodman *et al.*; *Appl. Opt.*, 1976, **15**, No. 10 (Oct), 2394.
- [14] S. R. Dashiell, A. A. Sawchuk; *Opt. Commun.*, 1975, **15**, No. 1 (Jan), 66.
- [15] H. K. Liu, J. W. Goodman; *Nouv. Rev. Opt.*, 1976, **7**, No. 5 (Sep-Oct), 285.
- [16] S. R. Dashiell, A. A. Sawchuk; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 4 (Apr), 1009.
- [17] S. R. Dashiell, A. A. Sawchuk; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 7 (Jul), 1936.
- [18] S. R. Dashiell, A. A. Sawchuk; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 8 (Aug), 2279.
- [19] H. K. Liu; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 14 (15 Jul), 2181.
- [20] A. Tai, F. T. S. Yu *et al.*; *Opt. Lett.*, 1978, **3**, No. 5 (Nov), 190.
- [21] G. Indebetouw; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 7 (Jul), 1951.
- [22] G. Indebetouw; *J. Opt.*, 1978, **9**, No. 1 (Jan-Feb), 1.
- [23] G. Indebetouw; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 24 (15 Dec), 4206.
- [24] O. Bryngdahl; *J. O. S. A.*, 1978, **68** No. 3 (Mar), 416.
- [25] S. V. Pappu, C. A. Kumar *et al.*; *Curr. Sci. (India)*, 1978, **47**, 1.
- [26] H. K. Liu, M. A. Karim; *Opt. Lett.*, 1979, **4**, No. 12 (Dec), 408.
- [27] M. A. Karim, H. K. Liu; *Opt. Lett.*, 1980, **5**, No. 3 (Mar), 132.
- [28] J. W. Goodman; «*Introduction to Fourier Optics*», (McGraw-Hill, New York, 1968).
- [29] J. J. Sheppard; *Arch. Amer. Acad. Optometr.*, 1969, **46**, 735.
- [30] M. Southworth; «*Color Separation Techniques*», 2nd Edition, Graphic Arts Publishing, Livonia, N. Y., U. S. A., 14487 (1979).
- [31] «*Halftone Methods for the Graphic Arts*», Kodak Publication Q-3, (1968).
- [32] M. Levy; Penrose's Picture Annual-The Process Yearbook, XI, 135 (1905~1906).
- [33] I. Glaser, H. H. Barrett; *Appl. Opt.*, 1979, **18**, No. 13 (1 Jul), 2294.
- [34] A. N. Netravali, J. O. Limb; *Proc. IEEE*, 1980, **68**, No. 3 (Mar), 366.

## Recent development and applications of contact screens

HUA-KUANG LIU

*(Department of Electrical Engineering, University of Alabama)*

(Received 20 May 1980)

### Abstract

Recent development of the technique of contact screens and its applications to printing and optical image processing are discussed. The basic principle of the use of the contact screens is analyzed with some experimental results illustrating applications of the technique to non-linear image processing. In addition, the paper also describes how the newly invented contact screens can be applied to improve and simplify the picture printing process. We also describe our research plans on the employment of specifically designed contact screens to systematically simplify optical image communication and television broadcasting.