

# 一种适用于柱镜光栅立体印刷图的柱形网点模型

史瑞芝, 安敬, 汶建龙, 曹朝辉, 孙东振  
(信息工程大学 测绘学院, 郑州 450052)

**摘要** 本文论述了柱镜光栅立体印刷图的构图方法与特点, 从微观结构上分析了该图种采用常规加网技术产生的图像清晰度低、立体感弱的内部机理, 提出了光栅立体图加网必须遵守“在每个光栅栅距内, 从每幅视图上获取的各列像素的灰度值应保持其相对独立性”的构图原则, 并给出了柱形网点结构模型。该网点模型是一个由 $m$ 行 $n$ 列像素组成的网点单元, 行数 $m$ 由输出设备分辨率和立体图的观看距离确定, 列数 $n$ 由光栅线数、设备的输出分辨率以及视图的数量确定, 网点生长大小由图像灰度值进行控制, 计算误差用误差扩散法进行补偿。考虑到各色版网点叠印的最佳状态, 对于不同色版采用不同的网点生长模式。该网点模型能够有效提高印品的清晰度和立体感, 具有较好的应用前景。

**关键词** 柱镜光栅立体; 柱形网点; 误差补偿

中图分类号 TS876

文献标识码 A

## A Kind of Columnar Halftone Dot Model Suitable for Lenticular Screen Stereo Press Image

SHI Ruizhi, AN Jing, WEN Jianlong, CAO Zhaohui, SUN Dongzhen

(Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract** This paper dissertates the making method of lenticular screen stereo presswork and its characteristics. On the basis of analyzing the inside mechanism of low definition and stereo sensitivity of the regular screening, the rule which the stereo screen presswork should obey, is putting forward. According to this rule, the pixel gray scale getting from each row of the image in each screen distance, should keep independence. And then the model of columnar dot structure is brought forward. This model is the dot units composed of  $m$  rows and  $n$  columns. The  $m$  is decided by the device's resolution and the apparent distance of the image. And the  $n$  is decided by screen resolution, output resolution of device and image amount. The size of the dot can be controlled by pixel gray scale of the image. The error of calculation can be compensated by the error-diffusion method. Considering the overprint state of each plate, we can use different dot making models. This dot model can efficiently improve the definition and stereo sensitivity of press production and has widely use prospect.

**Key words** Lenticular screen stereo; Columnar dot; Error compensation

## 0 前言

计算机图像处理技术和印刷技术的发展, 为柱镜光栅立体印刷技术的全面突破创造了有利条件, 最近

几年, 柱镜光栅立体印刷产品得到越来越多的推广和应用。由于光栅立体图像在视觉表现上具有特殊性, 若采用常规的调幅网点或调频网点印刷, 会大大降低图像的清晰度和立体感。本研究发现, 更适合于柱镜光栅立体印刷图的网点是柱形网点。

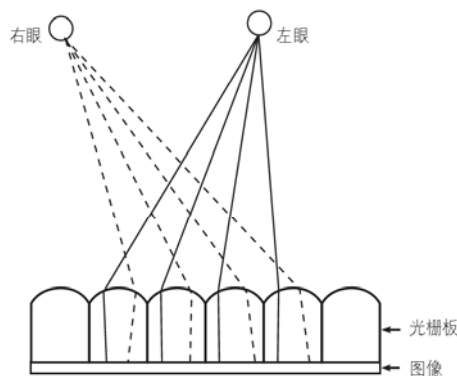


图1 柱镜光栅板成像原理示意图  
Fig.1 The sketch chart of lenticular screen imaging therapy

### 1 柱镜光栅立体印刷图的构图方法与特点

柱镜光栅立体印刷图采用柱透镜分像原理, 利用人的双眼视差和会聚所构成的深度感实现人意识中的立体感, 如图1所示<sup>[1]</sup>。

因此, 可利用在不同视点获取的二维影像来重建原空间物体的三维模型<sup>[2]</sup>。其构图方法是, 将有一定视差的一组图像, 经电脑按一定规则抽样合成为一幅图像 (即图像是以条纹状态记录在同一张图片上的), 再根据覆盖光栅的栅距大小, 对合成的立体图像进行缩放, 使得合成后的每一组图像条占满在一个栅距内, 经过柱镜光栅的折射分像, 画面中的物体在人的双眼中呈现出立体感效果。图2所表示的是将A、B、C三个视点获取的3幅视图按每幅图各取1列像素的排列规则排列在一个光栅栅距内<sup>[3]</sup>。

构图所用视图的数量直接影响立体图左右眼观看时的连续感, 视图数量越多, 连续感越强; 在每个光栅栅距内, 从每幅视图上获取的各列像素的灰度值应

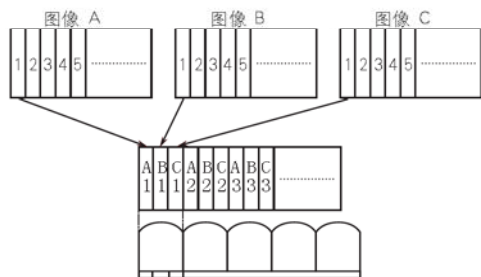


图2 由3幅视图合成立体图过程示意图  
Fig.2 The sketch chart of the process that three images compose a stereo image

保持其相对独立性, 若不同视图上的像素灰度值之间出现任何形式的混合运算, 都会降低图像的立体感和清晰度。

### 2 柱镜光栅立体印刷图微观分析

#### 2.1 调幅网点结构及特点

采用调幅网点制作柱镜光栅立体印刷图时, 各视图的图像分辨率与所用的光栅线数有关。

设光栅线数为 $f$  (单位为线/英寸), 视图数量为 $a$  (单位为幅, 整数), 要保证每个栅距内每幅视图都有1列像素, 则每幅视图的分辨率应与光栅线数相同, 而视图合成后的图像分辨率 $R$ 由公式(1)计算得到:

$$R = f \cdot a \quad (1)$$

设输出设备分辨率为 $r$  (单位为点/英寸), 加网线数为 $d$  (单位为线/英寸), 以网线角度为 $0^\circ$ 为例, 则每个网点单元包含的二值像素数量 $\sigma$ 由公式(2)给出:

$$\sigma = \left(\frac{r}{d}\right)^2 \quad (2)$$

表现在二值图像上, 每个网点单元由填充和非填充的像素组成, 填充后的像素组成网点, 填充像素的数量 $k$ 由原稿对应位置上像素的灰度值 $G$ 决定, 设原稿图像的位深度为 $b$ , 其关系由公式(3)给出:

$$k = \left\lceil \frac{G}{2^b - 1} \cdot n \right\rceil \quad (3)$$

设构成一个网点单元所对应的原稿像素数为 $q$ , 由公式(4)计算得到 (以网线角度为 $0^\circ$ 为例):

$$q = \left(\frac{R}{d}\right)^2 \quad (4)$$

正常情况下,  $R$ 大于 $d$ , 所以,  $q$ 值大于1。该结果说明, 在参与生成一个网点的计算过程中, 原稿的灰度值 $G$ 是由多个像素的灰度值取平均值得到的, 而参与求平均值计算的像素并不完全是同一幅视图中的像素, 而是相邻两幅视图甚至更多幅视图上的像素, 这就从根本上破坏了“在每个光栅栅距内, 从每幅视图上获取的各列像素的灰度值应保持其相对独立性”的构图原则, 从而影响了立体图的清晰度和立体感<sup>[4]</sup>。

#### 2.2 调频网点结构及特点

生成调频网点的计算方法有多种, 但不管是哪种

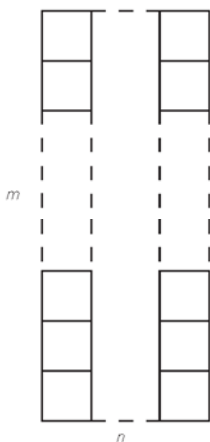


图3 柱形网点单元示意图

Fig. 3 The sketch chart of columnar halftone dot unit

算法, 都是采用抖动加网原理。抖动算法在表示图像阶调层次时, 采用了误差扩散算法, 该方法用于立体图加网, 会使误差在多幅视图之间进行扩散补偿, 使左右视图上像素的灰度值产生混合运算, 从而也会导致立体图的清晰度和立体感降低。

目前, 光栅立体印刷图很少采用调频网点的另一个原因, 就是调频网点具有非常规网点增大变化特性, 对制版及印刷技术的要求非常高, 普通条件下难以达到理想的印刷效果<sup>[5]</sup>。

### 2.3 柱形网点结构模型的提出

对上述两种网点的结构特点进行研究分析后, 我们认为, 要提高光栅立体图像的清晰度和立体感, 必须研究在网点生成时如何严格遵守“在每个光栅栅距内, 从每幅视图上获取的各列像素的灰度值应保持其相对独立性”的构图原则, 做到各视图之间的灰度值不能混合运算。在此原则指导下, 我们研制了一种适用于柱镜光栅立体印刷图的柱形网点模型。

## 3 柱形网点结构模型

柱形网点的网点单元形状不是正方形, 而是长方形, 上下长、左右窄(由此取名“柱形网点”)。图3表示一个由 $m$ 行 $n$ 列像素组成的柱形网点单元, 图中每个小正方形代表一个二值像素, 对应输出设备的激光点。

### 3.1 确定网点单元的大小

#### 3.1.1 确定网点单元的高度

网点单元的大小决定印刷品的视觉效果, 网点单

元越大, 网点间距就越大, 当网点间距超过一定的限度后, 印刷品就有一种粗糙感。本文根据人眼分辨物体能力的计算公式, 确定网点单元的高度。

设两个目标点之间的距离为 $L$ (单位为mm), 人眼观察目标点的距离为 $P$ (单位为mm), 则当 $L$ 和 $P$ 之间满足人眼分辨物体能力的计算公式(5)时, 人眼将不再分辨出它们为两个目标点, 而将其看做是一个目标点。

$$\frac{L}{P} \leq \frac{1}{1500} \quad (5)$$

在本研究中, 上式中 $L$ 的含义就是一个网点单元的高度, 在图3中由 $m$ 行二值像素组成。它们与输出设备分辨率 $r$ 之间的关系由公式(6)给出:

$$L = \frac{25.4}{r} \cdot m \quad (6)$$

将公式(6)代入(5)得:

$$m \leq \frac{r \cdot P}{1500 \times 25.4} \quad (7)$$

因此, 在输出设备分辨率 $r$ 一定的前提下, 网点单元像素的行数 $m$ 由观看距离 $P$ 决定, 观看距离越近, 组成网点单元像素的行数越少。如: 70线/英寸光栅制作的立体图, 其观察距离一般在300mm以上(即 $P \geq 300$ ), 若以 $P=300$ 代入公式(7)可计算出, 在输出设备分辨率 $r$ 为2540点/英寸时, 允许网点单元的高度最多由20行像素组成。

#### 3.1.2 确定网点单元的宽度

确定网点单元的宽度的目的是保证原稿在每个光栅栅距内, 由各视图上获取的像素灰度值所生成的网

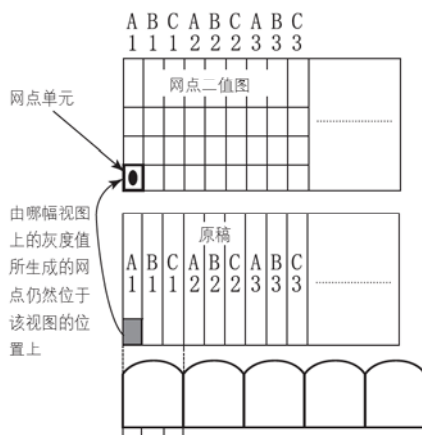


图4 原稿信息与网点生成位置的关系示意图

Fig. 4 The sketch chart of the relationship between original image information and the dot making position

点仍处于所在视图的位置,以实现各视图信息在生成网点时位置的准确性,如图4所示。

图3所示的网点单元宽度由 $n$ 列像素组成,该值的确定比较复杂,它与光栅线数 $f$ 、设备的输出分辨率 $r$ 、视图的数量 $a$ 之间存在公式(8)所示的关系。

$$r \approx a \cdot n \cdot f \quad (8)$$

左右两边的值越接近,所生成的立体图像的清晰度就越高,立体感也越强。

如:用70线/英寸光栅、输出设备分辨率为2400点/英寸,采用公式(8),得到:

$$a \cdot n \approx \frac{2400}{70}$$

$$a \cdot n \approx 34$$

$$a \approx \frac{34}{n}$$

由以上计算可知:

用70线/英寸光栅、2400点/英寸输出设备输出,当视图数量为34幅时,每幅视图生成1列像素,即每个网点单元由1列像素组成( $n=1$ );当视图数量为17幅时,每个网点单元生成2列像素( $n=2$ ),即每个网点单元由2列像素组成。

### 3.2 确定网点生长模型

在确定了网点单元大小之后,还必须确定网点的填充方式,所要解决的问题是如何依据原稿灰度值来确定网点面积。

#### 3.2.1 建模原则

如何将由多幅视图合成的彩色图像原稿变成以网点形式表示的二值图呢?最关键的问题就是构建网点生长模型。

为了严格遵守左右视图间像素灰度值的相对独立性,同时考虑到对原稿阶调层次的正确再现,以及各色版之间的最佳叠印状态,研究制定了如下建模原则:

- 1) 网点单元的高度和宽度由公式(7)和公式(8)确定。
- 2) 不同视图上的像素之间不进行混合运算,保证各视图阶调信息的独立性。
- 3) 一个网点单元所包含的像素数不足以表现原稿阶调层次时,采用误差扩散法进行误差补偿,误差扩散在同一幅视图内进行。

4) 青、品红、黄、黑各色版网点模型不同,以保

证各色版之间以最佳状态叠印。

5) 采用聚集态网点,使图像在制版印刷过程中有良好的网点传递性能。

本研究采用“生长模型法”建立网点模型。

#### 3.2.2 网点生长模型

在遵守上述建模原则的前提下,我们设计了两种网点生长模型,分别由图5和图6给出,网点单元由 $m \times n$ 个像素组成,图中小方框表示网点生成时待填充的像素,方框中的数字是网点生长时的填充顺序,黑色版、青色版、品红色版、黄色版各自按一定的顺序填充像素,网点生长模型有两种。

模型1:如图5所示,针对 $m \times n$ 个像素,黑色版、青色版、品红色版、黄色版像素填充的起始位置不同,分别从第 $\frac{1}{4}m$ 行、 $\frac{2}{4}m$ 行、 $\frac{3}{4}m$ 行和第 $m$ 行开始(当 $m$ 取值为20时,分别从第5行、第10行、第15行、第20行像素开始),其填充顺序按从左至右,自下而上排列,上方填满后,再按顺序向下方填充,在同一幅图的制作中,4个色版的网点排列模型可以互换,但4个色版的模型不能相同。图7(a)是采用该填充顺序以 $20 \times 2$ 为一个网点单元绘制的网点生长模型。

模型2:如图6所示,针对 $m \times n$ 个像素,黑色版、青色版、品红色版、黄色版像素填充的起始位置不同,黑色版和青色版分别从第 $\frac{1}{4}m$ 行、 $\frac{2}{4}m$ 行像素开始(当 $m$ 值取20时,分别从第5行和第10行开始),从

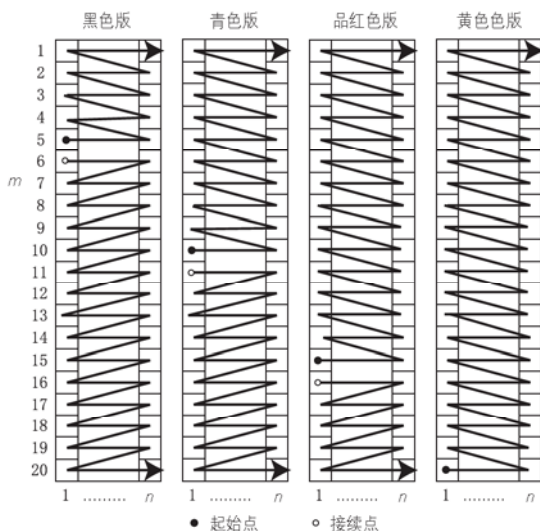


图5 网点生长模型1

Fig. 5 Halftone dot making model 1

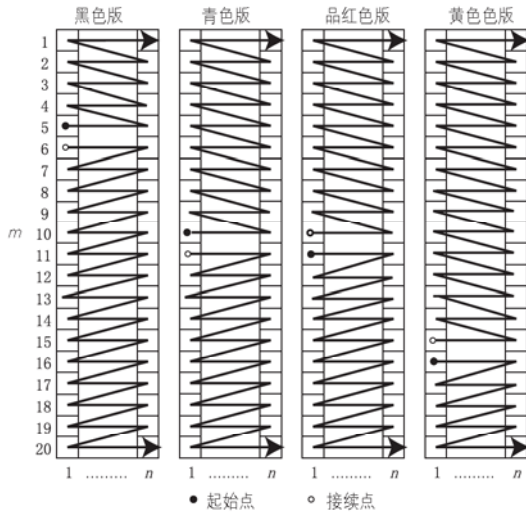


图6 网点生长模型2

Fig.6 Halftone dot making model 2

至右，自下而上填充，上方填满后，再按顺序向下方填充；品红色和黄色版分别从第  $\frac{2}{4}m+1$  行和第  $\frac{3}{4}m+1$  行开始填充（当  $m$  值取为20时，分别从第11行和第16行开始），按从左到右，自上而下顺序填充，下方填满后，再按顺序向上方填充。在同一幅图的制作中，4个色版的网点排列模型可以互换，但4个色版的模型不能相同。图7(b)是采用该填充顺序以  $20 \times 2$  为一个网点单元绘制的网点生长模型。

### 3.2.3 彩色图向二值图的转换

视图合成后的彩色原稿是由黑、青、品红、黄4个通道记录信息的，每个通道按灰度图原理进行处理，在向二值图转换过程中，关键在于正确规范化图像的灰度级，使之与加网模型相匹配。

#### 1) 求原稿像素灰度平均值

根据原稿的分辨率，确定一个网点单元对应的原稿像素的个数，并对像素灰度求平均值。

设原稿的分辨率为  $R$ （单位为点/英寸），输出设备分辨率为  $r$ （单位为点/英寸）， $m$  为一个网点单元高度上二值像素的个数，则一个网点单元对应的原稿像素的个数  $\lambda$  由公式(9)给出。

$$\lambda = \frac{R}{r} \cdot m \quad (9)$$

从原稿左上方开始，纵向取每  $\lambda$  个像素进行灰度值平均，设其中任意一个像素的灰度值为  $G_i$ ，由公式(10)求得平均灰度值  $\bar{G}$ ，该值决定在网点生成时应填充的

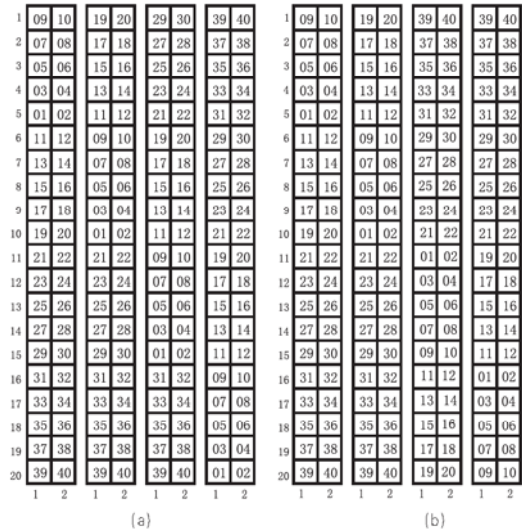


图7 网点生长模型实例

Fig.7 The instance of half tone dot making model

位置。

$$\bar{G} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{\lambda} G_i \quad (10)$$

2) 对平均灰度值的数值区间进行调整以确定填充位置

设原稿图像每个颜色通道的位深度为  $b$ ，图像的灰度级数为  $2^b$ ，即  $0 \leq \bar{G} \leq 2^b - 1$ ，由于一个网点单元所包含的像素数为  $m \times n$  个，只能表示  $m \times n$  个灰度级，所以，按灰度级填充网点时，必须将  $0$  至  $(2^b - 1)$  数值区间表示的平均灰度值调整到  $1$  至  $m \times n$  数值区间表示，在灰度转换的过程中，要同时考虑激光照排机的输出线性化关系（对于直接制版输出，要同时考虑设备的线性化关系和反补偿曲线）。用  $\bar{G}$  表示调整后的灰度值，用  $\Psi$  表示输出线性化关系矩阵，则由公式(11)计算得出：

$$\bar{G}' = \frac{\bar{G}}{2^b - 1} \cdot m \cdot n \cdot \Psi \quad (1 \leq \bar{G}' \leq m \cdot n) \quad (11)$$

$\bar{G}'$  按四舍五入取整数，并在网点生成模型中找出与该值相同的填充序号，小于等于该值的序号位置填充，而大于该值的序号位置不填充。

#### 3) 网点误差补偿

由公式(11)得到的平均灰度值  $\bar{G}'$  按四舍五入取整，存在一定的误差，为了弥补该误差，在计算时，采用网点误差补偿模型进行补偿。按误差扩散关系的不同，我们研制了两种网点误差补偿算法：a模型和b模型，如图8所示。

a模型是将误差值分别补偿到“该网点右侧和下方的4个网点”上，其方法是：如果计算中舍掉了某一值，则让其周围的4个网点分别加上该值的1/4，反之，如果计算中多算了某一值，则让其周围的4个网点分别减去该值的1/4。

b模型是将误差值分别补偿到该网点右侧1个和下方2个（共3个）网点上，其方法是：如果计算中舍掉了某一值，则让右侧的网点加上该值的1/2，下方的两个网点分别加上该值的1/4，如果计算中多算了某一值，则让其周围的3个网点分别减去相应的值。

所说的“该网点右侧和下方的4个网点”是指与目标网点处于同一个视图上的相邻网点；“该网点右侧1个和下方2个（共3个）网点”也是指与目标网点处于同一个视图上的相邻网点。即“误差扩散”限制在同一幅视图的相邻像素之间进行。

### 4 模型应用实例

用70线/英寸光栅、2400点/英寸输出设备输出。通过公式(7)计算得出，一个网点单元纵向由20行像素



图8 误差扩散补偿模型

Fig.8 Error-diffusion compensation model

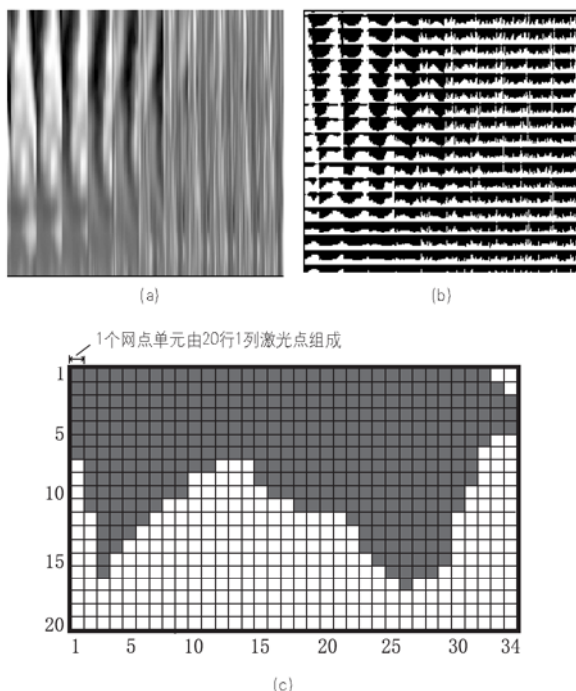


图9 网点模型示例图

Fig.9 The sketch chart of dot model

组成，即 $m=20$ ；同时由公式(8)计算得出，当每幅视图生成1列像素 ( $n=1$ ) 时，所需制作的立体视图数量为34幅；当每幅视图生成2列像素 ( $n=2$ ) 时，所需制作的立体视图数量为17幅，本实例中，取 $n=1$ ，即1个网点单元由1列像素组成。由此确定，图像的制作参数是：采用34幅视图、网点单元由20行1列像素组成。

运用3.2.3中所述的彩色图向二值图的转换方法，得到以柱形网点表示的二值图像，图9是一幅图的网点生成实例，其中，a图是原稿；b图是由a图生成的二值网点图；c图是b图的局部放大图，表示在一个光栅栅距内由34幅视图的34个网点聚集后的网点效果，c图中的小方格代表二值像素（其中带填充的小方格组成了图文的着墨面积）。

### 5 结论

柱形网点模型是专门为柱镜光栅立体印刷图研制的，为了验证该模型的正确性和有效性，我们研制开发了柱镜立体图像光栅化处理软件（3D-RIP），实现了图像加网处理，并进行了印刷实验，取得了较理想的效果。

与常规调幅网点相比,该网点的最大特点是提高了图像的清晰度和立体感,同时,由于4个色版网点按最大限度错开位置的方式排列,使图像颜色的鲜艳度明显提高。但由于该网点模型严格遵守了“在每个光栅栅距内,从每幅视图上获取的各列像素的灰度值应保持其相对独立性”的原则,在与光栅线垂直方向上的相邻网点单元间颜色独立性较强,导致在该方向上对印刷套准精度的要求更高,否则前后样张的颜色会出现明显差别。

由于柱形网点是聚集态网点,与调频网点相比,对印刷条件的要求相对较低,能够在常规印刷技术条件下完成印刷,便于推广应用。

### 参考文献

- [1] Borner Reinhard, Duckstein Bernd, Machui Oliver, et al. A Family of Single-User Autostereoscopic Displays with Head-Tracking Capabilities[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, (10): 234-243.
- [2] Adelson Edward H, Wang John Y A. Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, (14): 99-106.
- [3] 董永贵,沈立,冯冠平,等.一种基于柱透镜光栅的计算机辅助彩色立体图片合成方法[J].光学技术,1999,(3):66-68.
- [4] 刘真,史瑞芝,魏斌,等.数字印前原理与技术[M].北京:解放军出版社,2005:158-170.
- [5] 姚海根.数字加网技术[M].北京:印刷工业出版社,2008:276-277.

### 主要作者



史瑞芝(1962年-),博士,教授,博士生导师;主要研究方向:图文信息处理、一体化出版技术。

Dr./Prof. SHI Ruizhi, born in 1962. She is a Ph.D. supervisor. Her main research interests includes image processing and graphic communication

integration technology.

## 书 讯

### 《印刷数字化与JDF技术》

本书的编写围绕印刷企业数字化和JDF技术两大主题展开论述,主要内容包括:CIMS与印刷制造系统、印刷企业联网与信息集成、印刷工业中的页面描述语言、作业定义格式、兼容JDF的产品和相关服务、CIPPI奖中的JDF集成案例、可扩展置标语言、作业定义格式剖析、基于JDF的生产系统的联网结构、利用JDF实施生产的示例、DOM接口技术、SAX接口、JDF的开发实例、围绕JDF组建印刷生产系统。本书可作为高等学校印刷工程专业相关课程的参考教材,也可供印刷工程技术人员参考。

作者:周世生 罗如柏 赵金娟等 开本:16开 印张:15.25 出版日期:2008年10月

ISBN:978-7-80000-778-1 定价:36.00元

### 《产品包装系统设计与实施》

本书通过产品包装系统方案设计与实施的红线,把内容庞大的包装工程的各个环节相连接,为有序解决产品包装中遇到的各种问题提供解决方案。主要阐述了包装的服务性、包装的系统性以及系统下的包装架构和经济核算方法,并对包装工艺和包装机械的服务功能进行了论述。本书可用作高等院校包装工程专业的教科书,也适合包装企业的管理、销售和采购人员、涉及产品包装的艺术设计人员、工艺设计人员、物流运输人员阅读参考。

作者:吴龙奇 开本:16开 印张:16.75 出版日期:2008年12月

ISBN:978-7-80000-787-3 定价:39.00元

出版单位:印刷工业出版社 联系电话:010-88275707 联系人:鲁桂花