

基于周期无穷大纵向莫尔条纹的半色调防伪技术研究

王晓博¹, 王琪², 刘萧豪³

(南京林业大学 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室, 南京 210037)

摘要: **目的** 通过分析莫尔条纹的种类及产生原理,以纵向莫尔条纹效应和半色调加网图像的信息隐藏为理论基础,研究一种半色调图像防伪方法。**方法** 首先对周期无穷大的纵向莫尔条纹的特性及半色调加网图像的网点排列特性进行了分析,结合半色调图像加网参数,得到纵向莫尔条纹参数与数字加网参数之间的匹配关系;再根据各参数之间的关系对半色调加网图像的部分网点进行调整,实现了隐藏信息的嵌入;最后依据上面各参数关系制作数字光栅,对加入防伪信息的半色调图像进行检测,完成了防伪。**结果** 该防伪技术中隐藏信息的隐秘性好,隐藏信息检测再现清晰,防伪效果较好。**结论** 提出了一种半色调图像防伪新方法。

关键词: 纵向莫尔条纹; 半色调; 数字光栅; 防伪

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)01-0130-05

Halftone Anti-counterfeiting Technology Based on the Infinite Periodic Vertical Moiré

WANG Xiao-bo¹, WANG Qi², LIU Xiao-hao³

(Jiangsu Provincial Key Lab of Pulp and Paper Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

ABSTRACT: **Objective** Through the analysis of the types and principle of moiré, a method of halftone image anti-counterfeiting was put forward based on the effect of vertical moiré and the theory of half-tone image information hiding. **Methods** Firstly, the characteristics of infinite periodic vertical moiré image and the arrangement of halftone image were analyzed. Considering the screening parameters, the matching relationship between vertical moiré parameters and screening parameters was obtained. Secondly, the hidden information was embedded by adjusting parts of dots according to the relation of each parameter. Finally, the testing digital grating was designed according to the relationship between the parameters above. The designed grating was used to test the screened image which was embedded with the hidden information and the purpose of anti-counterfeiting was achieved. **Results** The secrecy of the hidden information in this anti-counterfeiting technology was good. The detection of the hidden information reproduced clearly and the anti-counterfeiting effectiveness was good. **Conclusion** A new halftone anti-counterfeiting technology is put forward.

KEY WORDS: halftone; vertical moiré; digital grating; anti-counterfeiting

目前与印刷品相关的防伪技术主要利用印刷材料、输出设备的特殊性以及取得难度来实现防伪,例如采用变色油墨、荧光油墨、同色异谱油墨、特殊纸张、凹版印刷机、激光全息技术、数字水印技术等^[1-3]。虽然这些方法也能够达到防伪的效果,但缺

点是对设备的依赖性较大,而且防伪的实现过程复杂,同时增加了印刷成本。近几年也有一些研究利用光栅折射原理进行防伪^[4-5],但是其防伪图案再现性欠佳,而且依赖于特殊软件和特殊材料,不能得到广泛推广。

笔者提出了一种新的数字半色调防伪技术,该技术将周期无穷大的纵向莫尔条纹的产生原理与半色调加网技术相结合,基于纵向莫尔现象,利用数字光栅检测隐藏信息,从而实现半色调防伪的目的。该方法防伪效果好,对防伪信息的检测过程比较简单,不仅可以实现数字半色调图像的防伪与检测,而且在实际生产中,对印刷复制工艺与设备要求较低,在不会额外增加印刷企业生产成本的前提下能实现很好的防伪效果。

1 基于周期无穷大的纵向莫尔条纹的半色调防伪技术原理

1.1 莫尔条纹的种类及特点

莫尔条纹在印刷行业中也叫做龟纹。在多色调幅加网印刷中,每个印刷色版都是由规则排列的黑度相等、相邻两点中心距离相等的网点组成的网目图像。将它们进行叠印时,只要出现很小的角度误差,就会在图像中出现难看的图案,这种在图像中对视觉产生干扰的图案称为“龟纹”。究其实质龟纹就是光学中的莫尔条纹现象,两者的原理在本质上是一样的。差别在于龟纹是由不连续的离散的点子(网点)组成的直线光栅相互干涉而产生的现象,而光学莫尔条纹则直接由直线光栅相干涉而产生^[6]。

根据两个网线的间距 d_1, d_2 和夹角 θ , 莫尔条纹可分为横向、纵向和斜向等 3 种类型^[7]。纵向莫尔条纹见图 1c, 当 $d_1 \approx d_2$ 且 $d_1 \neq d_2, \theta = 0$ 时, 得到纵向莫尔条纹。纵向莫尔条纹间距决定于 2 个网屏的网线间距之差, 当 d_1, d_2 相差越小, 莫尔条纹间距越大。反之亦然, 当 $d_1 = d_2$ 时, 纵向莫尔条纹间距无穷大, 即纵向莫尔条纹的周期变为无穷大, 重叠部分表现为一个连续的深色块, 与其他区域形成强烈的反差, 见图 1d。

基于周期无穷大的纵向莫尔条纹生成原理, 文中提出了一种新的半色调防伪技术。通过在加网后的半色调图像中加入隐藏信息, 再设计相应的数字光栅叠合在加入隐藏信息的半色调图像上, 从而使加入隐藏信息的区域与数字光栅作用出现周期无穷大的纵向莫尔条纹, 与其他区域形成强烈反差, 从而显示出隐藏信息, 实现半色调图像防伪。

1.2 隐藏信息的嵌入与数字光栅的设计

在印刷复制中, 网点是组成半色调印品的最小单

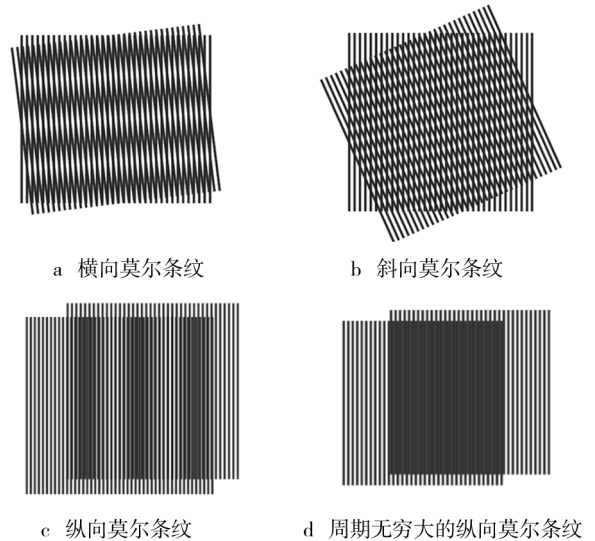


图1 不同种类莫尔条纹的视觉效果

Fig. 1 Visual effects for different kinds of moiré

位。基于人眼视觉的低通滤波特性, 在数字半色调图像中, 如果对半色调图像中的部分网点进行微量的位移, 是不会引起人眼视觉变化的。基于此, 根据要加入的隐藏信息图案或形状对加网后的半色调图像的部分网点进行统一调整, 从而完成隐藏信息的加入^[8-9], 同时不会引起视觉变化。对隐藏信息进行检测时, 用相应的数字光栅叠合在加入隐藏信息的半色调图像上, 就能显示出隐藏信息图案。

如果将半色调图像的一排排网点看作是一条条黑色的直线, 那么将其与相同周期和宽度的数字光栅叠合后就能形成周期无穷大的纵向莫尔条纹。这里所说的数字光栅就是在计算机上模拟黑白光栅光学特性而设计的一种数字光栅^[10]。黑白光栅由大量的非常细微的黑白相间的平行条纹组成。理想情况下黑条纹应保证完全不透光, 也就是透光率为 0, 白条纹也就是狭缝, 透光率为 100%。文中所用的数字光栅参数由半色调图像的加网线数和网点之间的距离确定。

加网角度为 45° 时, 对直线 ab 右上边的网点统一向左下边微量移动后的放大图见图 2a, 移动网点后再叠合相应的黑白光栅的放大图见图 2b。从图 2 中可以看出, 在对加网后图像的部分网点进行移动处理后, 不会引起明显的视觉感受, 但是在叠合相应的数字光栅以后, 直线 ab 两侧, 即未移动网点部分和移动后的网点部分(隐藏信息图案部分)就会出现明显的反差, 从而显示出隐藏信息图案。

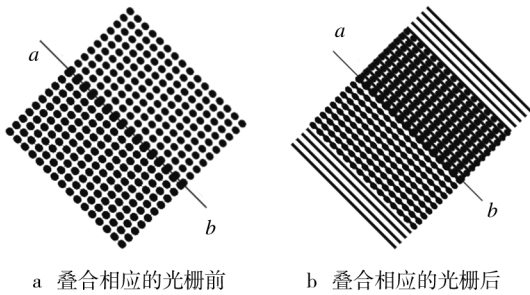


图2 半色调图像叠合光栅前后放大图

Fig. 2 Halftone images around superimposed grating

1.3 数字光栅参数的设定及隐藏信息网点的位移计算

基于周期无穷大的纵向莫尔条纹的半色调防伪技术,要实现数字光栅与半色调加网图像的正确叠合,必须使设计的数字光栅的相关参数与加网线数相匹配。这里用符号 $t(\text{mm})$ 代表数字光栅的最小周期,用符号 $L(\text{lpi})$ 代表加网线数, $D(\text{mm})$ 代表相邻2个网点之间的距离。在检测隐藏信息时,要生成周期无穷大的纵向莫尔条纹,显示出隐藏信息,必须满足:

$$t = D \tag{1}$$

由于 $1/L = D$, 由此推出数字光栅的最小周期和加网线数之间满足的匹配关系为:

$$t = \frac{25.4}{L} \tag{2}$$

在文中提出的半色调防伪技术中,通过对部分半色调图像的网点进行统一的位移设置,从而实现防伪信息的嵌入,见图3。

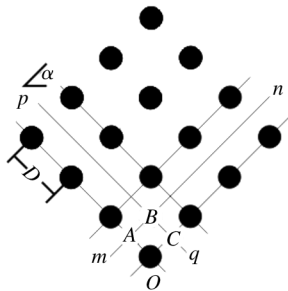


图3 网点位移设置

Fig. 3 Displacement setting of dots

图3中 D 表示相邻2个网点之间的距离, α 为加网角度, 直线 mn, pq 为相邻2条网线之间的中线, A, B, C, O 为4个相邻网点, 且满足 $AB = BC = CO = OA = D/2$ 。

嵌入防伪信息的半色调图像和检测用的数字光栅叠合时, 必须满足周期无穷大纵向莫尔条纹产生的位置关系, 才能检测到防伪信息。以网点 O 为例来说

明, 假设网点 O 为组成隐藏信息的网点。实验证明, 在进行网点位移设置的时候, 要想检测到防伪信息与其它区域反差最大, 防伪图案最明显, 则 O 点就应该移动至与相邻网点距离相等的位置(即直线 mn 或 pq 上)。防伪信息处网点的位移量越小越不容易引起人眼视觉感知, A, C 2点所在的位置相对于 O 点的移动量最小, 也就是位移的最优点。

网点的位移设置必须满足最优点原则, 只有组成防伪信息的网点位于最优点位置, 防伪信息在检测时的再现才最明显、清晰。下面对于网点的位移量进行计算, 网点位移计算见图4。

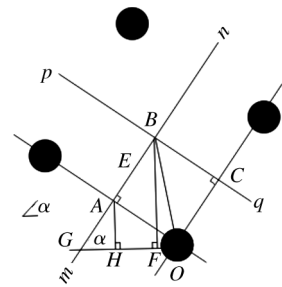


图4 网点位移计算

Fig. 4 Calculation of dots displacement

图4为图3的局部放大图, 相邻2个网点之间的距离为 D , α 为加网角度, 直线 mn, pq 为相邻2条网线之间的中线, A, B, C, O 为4个相邻网点, 且满足 $AB = BC = CO = OA = \frac{D}{2}$, 直线 mn 和 OG 交于点 G , AH 垂直于 OG 于点 H , BF 垂直于 OG 于点 F 。该实验中须将隐藏信息网点移动至最优点 A 或 B 或 C 点。当最优点为 B 点时, BF 就为其网点位移量。由于 BF 相对于 A, C 2个最优点的位移量较大, 在进行网点位移后会引起人眼视觉的感知, 使防伪信息隐秘性大大降低, 所以舍弃 B 点, 只将 A, C 2点作为位移最优点。

用 X, Y 分别表示横向和纵向位移量, 不论是 A 点或 C 点, y 轴位移量的大小是相同的, x 轴位移量也相同, 只是移动方向相反。以 A 点为例, 它的横向位移量为 OH , 纵向位移量为 AH , 由于加网角度为 α , 且 OA 垂直于 AB , 则可推得 $\angle AOH = (90^\circ - \alpha)$, 又 $AB = BC = CO = OA = D/2$, 则位移量公式为:

$$\begin{cases} X = \frac{D}{2} \cos(90^\circ - \alpha) \\ Y = \frac{D}{2} \sin(90^\circ - \alpha) \end{cases} \tag{3}$$

2 实验

2.1 实验过程

通过 photoshop 3 和 matlab 7.10 软件来模拟并进行实验验证,首先对数字图像进行分色和加网,然后将隐藏信息嵌入到半色调图像中,最后设计相应的数字光栅叠合在嵌入防伪信息的半色调图像上,完成防伪信息的检测。

首先新建一个大小为 6 cm×6 cm,颜色模式为 CMYK 的数字图像,CMYK 各色网点密度都设为 20。再对 CMYK 4 色通道进行调幅加网处理,加网参数统一设置为 96 lpi,输出分辨率为 1440 dpi,加网角度:C 为 45°,M 为 75°,Y 为 15°,K 为 0°,网点形状为圆形网点,加网后的半色调图像见图 5a。然后在 photoshop 3 实现隐藏信息的嵌入(嵌入的防伪信息图案为大写字母“T”),嵌入隐藏信息前后,半色调图像没有明显不同,不会引起人眼视觉的感知,见图 5b。

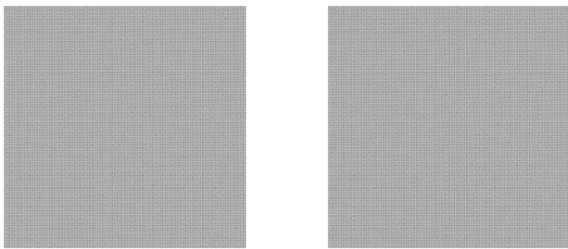


图 5 未嵌入隐藏信息的半色调图像 a 未嵌入隐藏信息的半色调图像 b 嵌入隐藏信息后的半色调图像

图 5 嵌入隐藏信息前后的半色调图像

Fig. 5 Halftone images before and after embedding hidden information

最后对加入隐藏信息的半色调图像的防伪效果进行检测,在 photoshop 中设计制作与加网参数相匹配的数字光栅^[11],再将制作好的数字光栅以正确的角度叠合在嵌入隐藏信息的图像上,就可以显示出隐藏信息,检测效果见图 6。从图 6 中可以很清晰地看到一个深色的大写字母“T”,这与之前设置的隐藏信息图案相吻合,即达到了很好的防伪效果。

2.2 结果分析与评价

为了更准确地对防伪信息隐秘性进行评价,文中采用分别计算加入防伪信息前后半色调图像峰值信噪比(PSNR)、加权信噪比(WSNR)以及结构相似度(SSIM)的方法,通过比较前后各值的差异对防伪信

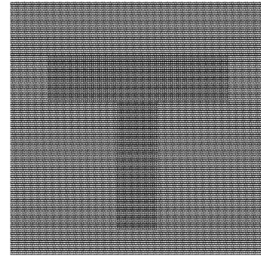


图 6 防伪信息检测效果

Fig. 6 Detection result of embedding hidden information

息隐秘性进行客观评价^[12-13]。

2.2.1 峰值信噪比

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{255^2 \times MN}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [f(i,j) - b(i,j)]^2} \quad (4)$$

式中: M 为影像的宽; N 为影像的高; $f(i,j)$, $b(i,j)$ 分别为标准图像和结果图像在对应像素点 (i,j) 处的灰度值。

2.2.2 加权信噪比

$$\text{WSNR} = 10 \lg \left[\frac{\sum_{0 \leq i < M} \sum_{0 \leq j < N} |X(i,j)C(i,j)|^2}{\sum_{0 \leq i < M} \sum_{0 \leq j < N} |[X(i,j) - Y(i,j)]C(i,j)|^2} \right] \quad (5)$$

式中: $X(i,j)$ 为原始图像; $Y(i,j)$ 为待测图像; $C(i,j)$ 为视觉敏感度函数的离散傅里叶变换; $M \times N$ 为图像的大小。WSNR 定义了平均信号能量与平均噪声能量之比。WSNR 值越大,原始图像与再现图像越接近。

2.2.3 结构相似度

$$\text{SSIM}(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma \quad (6)$$

式中: $l(x,y)$ 为亮度比较函数; $c(x,y)$ 为对比度比较函数; $s(x,y)$ 为结构比较函数。这 3 个函数是相对独立的,各函数定义为:

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad C_1 = (K_1L)^2 \quad (7)$$

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad C_2 = (K_2L)^2 \quad (8)$$

$$s(x,y) = \frac{2\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (9)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (10)$$

式中: L 为像素值的动态变化; $\mu_x, \mu_y \ll 1$; L_x, L_y 为亮度均值,作为亮度估计; σ_x, σ_y 为标准方差,作为

对比度估计。参数 $\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0$, 用来调整 3 个部分的相关重要性。文中令 $\alpha = \beta = \gamma = 1$ 来计算加网前后图像的结构相似度。

在 matlab 7.10 中编程实现各个参数的计算, 所得峰值信噪比 (PSNR)、加权信噪比 (WSNR) 以及结构相似度 (SSIM) 的结果见表 1。

表 1 加入防伪信息前后各评价指标计算结果
Tab.1 Results of evaluation indexes before and after embedding hidden information

测试图像	参数		
	PSNR	WSNR	SSIM
未加入防伪信息的半色调图像	3.1816	14.0355	0.3266
加入防伪信息后的半色调图像	3.1823	14.0471	0.3265

从表 1 中各个评价指标来看, 加入防伪信息前后计算所得的各个参数评价结果都非常接近, 这充分说明该实验提出的半色调防伪技术在嵌入防伪信息后的信息隐秘性非常好, 这种嵌入防伪信息的方法基本不会引起人眼视觉感知。

3 结语

文中提出了一种基于周期无穷大的纵向莫尔条纹的半色调防伪新方法, 该方法通过加网后对半色调图像部分网点位置进行设定, 从而实现防伪信息的嵌入, 将嵌入防伪信息的半色调图像与相应的数字光栅进行正确叠合, 从而完成防伪信息的检测。结果表明, 加入防伪信息前后半色调图像没有明显变化, 防伪信息隐秘性好。检测时防伪信息图案再现清晰, 获得了较好的防伪效果。文中提出的防伪方法在整个防伪过程中不需要其他高新设备, 在一般企业内部就能够实现, 对设备要求低。在检测防伪信息时, 只需制作相应的数字光栅, 生产成本低, 且该方法防伪过程简单, 防伪效果好, 有很好的应用前景。

参考文献:

[1] BALOUKAS B, LAMARRE J M, MARTINU L. Active Metameric Security Device Using an Electrochromic Material [J]. Apple Opt, 2011, 50(9): 41—49.

[2] MALESHLIYSKI S, GUNTER R. Security Printing Techniques Based on Substrate and Print-process Individualities [C]//Proc Tech Assoc Graph Arts, 2010: 37—54.

[3] MALESHLIYSKI S, GUNTER R, BONEV S. Method for the Extraction of Print-process Error Signals from Matrix Codes and Its Application in Security Printing [C]//Proc IADIS

int Conf, 2010: 155—160.

- [4] 刘真, 任乐义. 基于加网复制的光栅防伪技术研究 [J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(S1): 153—156.
LIU Zhen, REN Le-yi. Study of Anti-counterfeit Printing with Cylindrical Lens Sheet Basic on Screening Copy [J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(s1): 153—156.
- [5] 石潇文, 赵秀萍. 莫尔效应在防伪印刷中的应用研究 [J]. 包装工程, 2010, 31(23): 99—101.
SHI Xiao-wen, ZHAO Xiu-ping. Research on Application of Moiré Effect in Security Printing [J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 99—101.
- [6] 刘全香, 朱元泓. 图像复制原理 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 98—99.
LIU Quan-xiang, ZHU Yuan-hong. Principle of Image Reproduction [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2006: 98—99.
- [7] 陈广学. 地图出版可视化中的数字加网技术研究 [D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2005.
CHEN Guang-xue. Digital Screening Technology Research in Map Publishing Visualization [D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2005.
- [8] ZHUGE X, NAKANO K. Halftoning Based Algorithms for Image Hiding [J]. Journal of Communication and Computer, 2009, 6(9): 39—45.
- [9] CHANG Y F, FENG J B, TSAI C S, et al. New Data Hiding Scheme Using Pixel Swapping for Halftone Images [J]. Imaging Science Journal, 2008, 56(5): 279—290.
- [10] 段风云, 刘聪, 张俊利. 黑白光栅成像的数字模型机实验验证 [J]. 实验室研究与探索, 2005, 24(5): 29—31.
DUAN Feng-yun, LIU Cong, ZHANG Jun-li. Mathematical Description and Experimental Verification about Black-white Grating [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2005, 24(5): 29—31.
- [11] 卢军, 田靓. 光栅立体印刷图像的处理方法 [J]. 数码印刷, 2008(1): 45—47.
LU Jun, TIAN Liang. How to Process the Raster Image to Print [J]. Digital Technology, 2008(1): 45—47.
- [12] 佟雨兵, 张其善, 祁云平. 基于 PSNR 与 SSIM 联合的图像质量评价模型 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(12): 1758—1762.
TONG Yu-bing, ZHANG Qi-han, QI Yun-ping. Image Quality Assessing by Combining PSNR with SSIM [J]. Journal Image and Graphics, 2006, 11(12): 1758—1762.
- [13] 姚莉. 数字半色调技术及其评价方法研究 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(3): 4—8.
YAO Li. Review on Digital Halftoning and Quality Assessment Schemes [J]. Computer Engineering and Application, 2010, 46(3): 4—8.