

DOI: 10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2016.04.007

基于微结构网点的信息隐藏防伪技术研究

郭凌华, 任龙飞, 刘国栋, 王 峯, 王 鑫

(陕西科技大学 轻工科学与工程学院, 陕西省造纸技术及特种纸品开发重点实验室, 陕西 西安 710021)

摘要: 对基于阈值矩阵的加网方法中的阈值矩阵进行改进, 设计出具有微观防伪功能的艺术型网点, 利用半色调信息隐藏技术进行信息隐藏, 研究其在半色调信息隐藏技术中潜在的应用价值。实验结果表明, 将信息隐藏防伪和网点结构防伪结合, 可使信息隐藏达到更好的视觉保密效果, 在不增加成本的条件下提高了防伪技术水平和产品附加价值。

关键词: 阈值矩阵; 信息隐藏; 防伪; 微结构网点

中图分类号: TH853⁺.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2016)04-0416-05

Research on anti-counterfeiting of information hiding technology based on micro structure dot

GUO Linghua, REN Longfei, LIU Guodong, WANG Yin, WANG Xin

(College of Bioresources Chemical and Materials Engineering, Shaanxi Province Key Laboratory of Papermaking Technology and Specialty Paper, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: The improved screening method is proposed based on screening with threshold matrix and with the artistic dot with micro-structure anti-counterfeiting function designed, using the technology of dot hiding information hide information and investigating its potential application in information hiding. Test results show that the combination of dot security and the information hiding security could achieve better visual secret effect; under the condition of almost no increase in cost, the technical level of security and the added value of the product are improved.

Key words: threshold matrix; information hiding; anti-counterfeiting; artistic dot

随着印刷技术的快速进步, 高精度的印刷设备也越来越普及。技术的进步必将带来产品的革新, 但是印刷品的盗版侵权现象日益增加, 因此防伪技术在印刷中所起的作用日益重要。目前, 防伪技术已经发展成为一门集计算机、物理学、材料、生物学和光学等学科于一体的综合性技术。国内的印刷防伪目前主要借助特种油墨、特种纸张和相关的技术防伪, 虽然一度遏制了盗版现象的发生, 但都是依赖于材料和设备, 这对生产技术和设备提出了更高的要求, 且增加了企业的生产成本, 使防伪技术的推广和使用受到了限制。本文以最小阈值矩阵的加网原理为基础, 设计了区别于普通形状的特殊网点, 利用网点移动在图像中隐藏秘密信息, 并结合物理光栅的光学特性形成莫尔纹来提取隐藏信息。该技术不

依赖材料和设备, 技术性要求低, 检测方法简单, 信息的隐藏效果好, 防复制性能高, 生产成本低而且能够达到高效率防伪的目的^[1-3]。

1 基于调幅的阈值矩阵微结构加网技术

图像的半色调化技术, 也称为数字加网技术, 是利用人眼视觉的低通滤波性, 在多色二值设备或二值设备上将连续色调的图像离散为像素化的图案。在印刷中就是用网点来实现连续图像阶调层次的变化。半色调化过程就是将深度值较大的连续调图像转换成深度值较小的目标图像并且使目标图像在输出设备上的输出与原连续调图像在视觉上尽可能一致的过程。目前理论上较为成熟的半色调加网方式主要有调频加网技术、调幅加网技术和混合加网技

收稿日期: 2015-09-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51402180); 陕西省教育厅专项科研计划资助项目(15JK1071, 16JK1109); 陕西省工业科技攻关资助项目(2016GY-079, 2016GY-017); 陕西省协同创新计划资助项目(2015XT-64); 西安市科技计划资助项目(CXY1513(8))

作者简介: 郭凌华, 女, 博士, 副教授, 研究方向为防伪印刷及颜色科学。E-mail: guolinghua@sust.edu.cn

术。基于阈值矩阵的图像半色调处理技术属于调幅加网技术,调幅加网技术通过控制网点的大小和形状来再现连续调图像的层次阶调,网点是调幅加网中表现图像颜色和层次变化的最小单元。网点大小由记录栅格中记录点所占的面积大小来决定,网点的形状可以按照规定设计,一般记录点排列遵循一定的顺序,每个网点的形状都不会改变,只是随着像素值的变化灰度值不同,像素值越大网点的面积就越大,图像的灰度就越暗,与其他加网方式相比,调幅加网的网点对中间阶调的颜色层次能够很好地实现平稳过渡^[4-7],但是容易造成图像亮调和暗调层次的丢失^[8]。在众多的加网技术理论研究中,由于实际工作设备精密程度很难达到理论上的要求,加之印刷工艺的限制,使得调幅加网成为最主要的图像印刷半色调处理技术^[9],所以基于微结构处理的加网方法基于调幅加网的技术原理完成。

1.1 阈值矩阵加网的技术原理

阈值矩阵是网点的生成模型。阈值矩阵具体的有离散态阈值矩阵和聚集态阈值矩阵。聚集态阈值矩阵加网以网格中心元素为基础起始点,以逐渐旋转的形式从中心开始往外生长,相邻两网点的中心距不变,加网网点的空间位置固定不变,网点的像素排列遵循一定的规律,加网图像的灰度级别决定了网点大小,被用于调幅加网。阈值调幅加网技术所形成的网点,因最小栅格边缘的相互重叠,可以有效减小网点扩大效应而实现色彩阶调和层次的真实还原。所以调幅加网图像的中间调加网效果比较好,而且阶调过渡比较自然平滑温和,但是加网线数过高会造成亮调和暗调部分加网效果不理想,导致图像的细节层次丢失。基于阈值矩阵的点离散态加网,它的曝光点均匀地分散在加网网格内,被用于调频加网。

本文应用符合调幅加网技术原理要求的聚集态阈值矩阵完成图像的加网过程。图1所示是基于阈值矩阵的聚集态加网和离散态加网原理示意图。

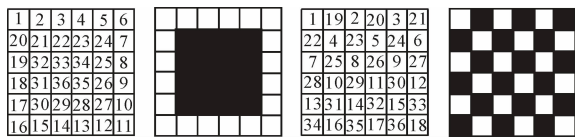


图1 阈值矩阵加网原理

Fig. 1 Screening principle of threshold matrix

图中聚集态网点的曝光面积大小代表的灰度为45%,离散态网点曝光的面积大小代表的灰度为50%。每个网点都是由很多小的栅格组成,只是曝光的位置有所不同,从而形成不同形态的网点,在二

值设备中如果网点栅格中的像素值大于图像的灰度值,就对其进行曝光,阈值大于灰度的点为黑色,表示曝光,阈值小于灰度的点为白色,表示未曝光。以此将连续图像处理成二值化的半色调图像^[10-11]。

1.2 隐藏阈值矩阵设计

网点的外形设计是调幅加网技术中一项重要的指标,可以借鉴微观艺术网点,将网点外形设计成与普通方形、菱形、圆形等有所区别的特殊形状,以达到利用网点形状来防伪的功能与效果,只需普通光学放大镜就可以通过网点形状来识别印刷品的真伪,成本低且使用方法简单。网点形状设计就是将阈值矩阵中的阈值重新排列获得新的曝光顺序,然后按照角度要求进行加网产生半色调图像。一般印刷工艺要求需要生成四个不同角度(0°、15°、45°和75°)的半色调单色图像,然后通过叠印来完成复制。但是隐藏信息加载到哪个角度的色版中才能达到更好的隐藏效果,这是确保印刷防伪信息视觉保密性的主要因素。

基于人眼视觉低通滤波特性的研究表明:在0°到90°的角度范围内人眼对45°角度上距离的变化视觉敏感度最差,从该角度向两边扩展,离45°越远视觉敏感度越大,0°和90°最敏感。所以相比其他角度印刷品的信息隐藏,在45°色版中的隐藏效果最佳,人眼最不易察觉。

按照基于最小阈值矩阵的加网算法,对45°加网矩阵重新设计,使网点的形状为呈现倾斜“N”的形状,以此为代表来研究艺术网点在半色调信息防伪中的应用效果。

45°加网角度时采用的阈值矩阵大小为128,8位深度颜色的256级灰度远大于阈值矩阵中的网格数量,因此要将色彩灰度值与阈值矩阵进行转化,建立的能够等比例映射的函数映射关系^[11-12]如式(1)所示:

$$F_a = \text{fix} \left[\frac{F_b}{255} \cdot Q_{\max} + 0.5 \right] \quad (1)$$

式中 F_a 表示经等比例压缩转化后的像素值, F_b 表示压缩前的像素值, Q_{\max} 代表最大阈值,fix代表向下取整。角度15°、75°和90°采用普通圆形网点加网,经转换和改进后的45°阈值矩阵加网效果和加网排列方式如图2所示。

根据阈值矩阵加网原理的要求,45°加网时,彼此相邻两层的矩阵在排列时,下层矩阵相对上层矩阵向左移动8个格栅才能使形成的网点呈45°排列,以最大阈值为中心按照顺序依次曝光就可以识别出网点形状。

21	22	46	82	105	127	103	102	101	100	99	98	97	96	95	15
40	61	28	27	81	106	126	60	56	55	54	53	52	51	14	20
110	89	62	5	26	80	107	125	59	37	34	33	7	13	19	41
91	111	88	63	4	3	79	108	124	58	32	31	12	18	44	90
49	92	112	87	64	2	24	78	109	30	57	11	17	38	42	45
46	50	93	113	86	65	25	23	77	29	10	16	35	36	39	43
74	75	76	94	114	85	66	1	9	48	68	69	70	71	72	73
120	119	118	117	116	115	84	67	8	47	83	104	128	123	122	121

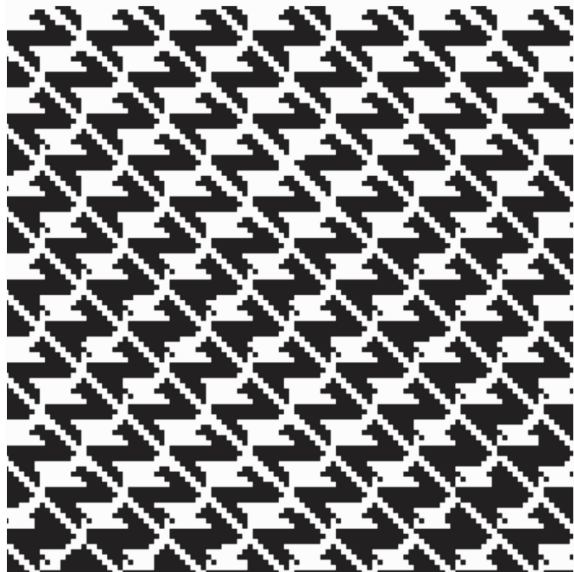


图2 45°加网阈值矩阵和加网效果放大图

Fig. 2 Threshold matrix for screening angle 45° and amplifying screening effect

2 实验

2.1 实验内容与评价

实验主要内容是比较普通网点加网和微观艺术结构网点加网在半色调信息隐藏技术中的实际应用效果,并通过人眼视觉观察和结构相似度指数^[13-15]评价,比较微结构网点和普通网点对信息的隐藏效果。

$$\begin{cases} S_{\text{ssim}} = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \\ Q_{\text{ssim}}(X, Y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M S_{\text{ssim}}(x_j, y_j) \end{cases} \quad (2)$$

结构相似度指数 Q_{ssim} 从图像组成的角度将结构信息定义为独立于亮度、对比度的反映场景中物体结构的属性。 S_{ssim} 表示两个像素信号 x 和 y 之间的结构相似度, $l(x, y)$ 、 $c(x, y)$ 和 $s(x, y)$ 分别代表两像素之间的亮度、对比度和结构度差异计算函数,各自对结构相似度的影响指数分别为 α 、 β 和 γ 。 Q_{ssim} 表示两幅图像整体的结构相似度,是整幅图像所有像素信号评价总和的平均值。 X 、 Y 分别代表参考图像和测试图像, x 、 y 是两幅图像对应的两个

像素信号, M 表示像素信号的总数。 Q_{ssim} 值越大代表经处理所得的图像与原始图像的相似度越高,差异越小,视觉效果越接近原始图像,结构相似度指数的最小值 0 和最大值 1 分别表示待评价的两幅图像完全不相似、完全没有区别。实验步骤详述如下。

1) 原稿处理。准备一幅数字彩色图像,分辨率为 P ,色彩模式为 CMYK,各色版的颜色灰度值都为 30%,对图像进行分色,得到 C、M、Y 和 K 四个通道,然后进行加网处理,加网线数都为 L ,加网角度分别为 15°、45°、75°和 90°,M 版使用设计好的 45° 阈值矩阵进行微结构半色调加网,其他三个色版使用普通圆形网点加网。加网结果放大效果如图 3 所示。

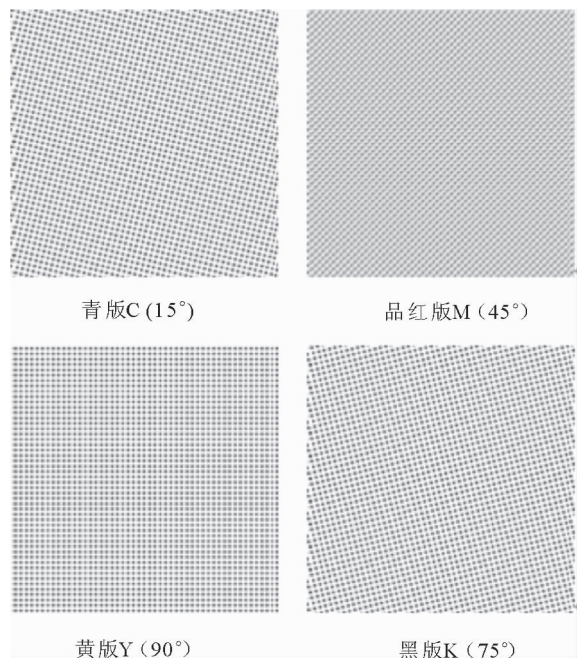


图3 CMYK 四色版加网效果

Fig. 3 Screening effect of 4 colors

2) 载入隐藏信息。首先在待隐藏信息的色版中加载待隐藏信息的轮廓,选取并复制轮廓内的网点信息,根据网点在不同角度色版中的排列方向要求计算网点的位移距离,将选中的网点信息移动到相邻四个网点几何中心的位置,计算方法如式(3)所示,式中 H 、 V 分别表示所选择信息沿水平和垂直方向的位移, θ 表示色版的加网角度。

$$\begin{cases} H = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{P}{L} \cdot \cos(\theta + 45^\circ) \\ V = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{P}{L} \cdot \sin(\theta + 45^\circ) \end{cases} \quad (3)$$

按照以上步骤将加密信息(“陕西科大”字样)分别加载到由微结构网点组成的品红色版和

普通网点加网后的品红色版中,主观视觉观察对比不同形状网点品红色版对信息隐藏的视觉保密效果。将加入隐藏信息的品红色版和 CMY 色版进行通道合并,比较加入隐藏信息的图像整体效果,见图 4。

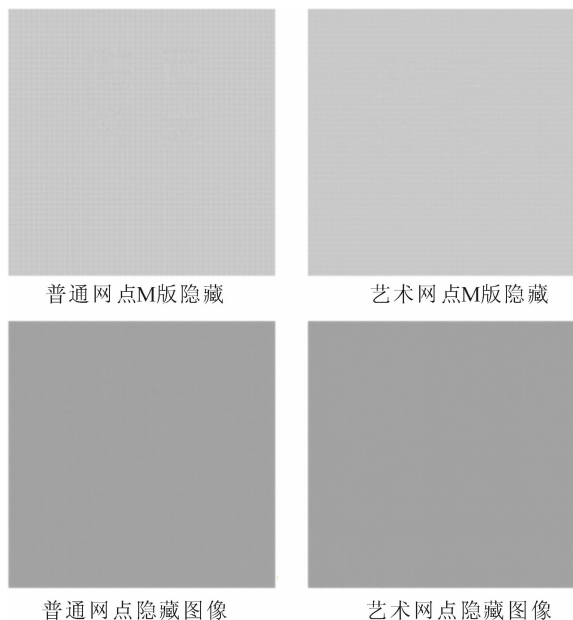


图 4 加入隐藏信息的图像效果对比

Fig. 4 Images effect of adding hidden information

3) 质量评价。首先,对加入隐藏信息的微结构网点和普通网点的品红版进行结构相似度指数评价;然后,对加入隐藏信息的各色版合并后图像与原始图像用结构相似度进行评价,信息隐藏效果的评价结果如表 1 所示。

表 1 加入隐藏信息图像的结构相似度指数(SSIM)

Tab.1 Structure similarity index of hidden information image

图像	普通加网图像 隐藏 SSIM	特殊加网图像 隐藏 SSIM
隐藏信息品红版	0.986 6	0.986 8
隐藏信息合并图像	0.996 4	0.997 2

4) 制作显隐光栅。特殊网点的半色调隐藏信息显影光栅是与网点形状和灰度相匹配的特殊网点光栅。制作出与隐藏信息区域灰度相同的黑白图像,并采用微结构的加网方法对其进行半色调处理就可以获得电子光栅,通过印刷出菲林的方法即可得到显隐用的物理光栅。

5) 光栅显影。在计算机中使用电子光栅对加入隐藏信息的半色调图像进行模拟显隐操作,提取隐藏的秘密信息,显隐效果如图 5 所示。

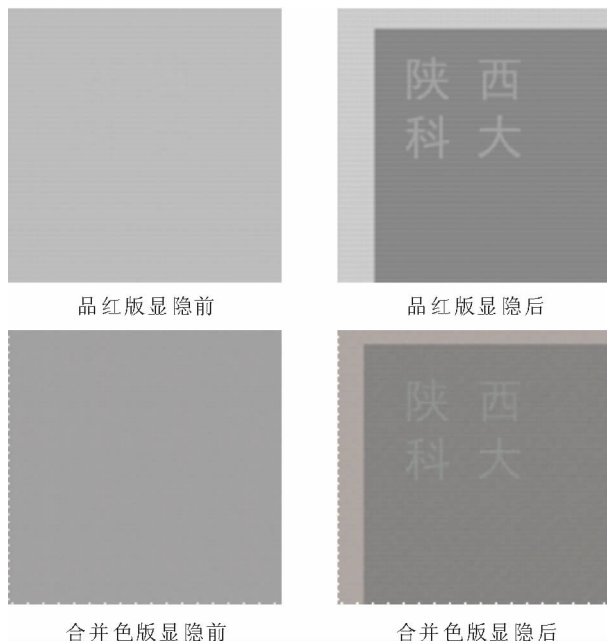


图 5 显隐效果

Fig. 5 Effects of showing hidden

6) 印刷检测。通过实际的印刷输出测试,信息的隐藏和提取效果如图 6 所示。检验结果表明,正常的印刷工艺条件下该印刷信息的隐藏防伪方法可实际应用于产品中而且不会影响实际印刷品的质量。

2.2 实验分析与结果

基于人眼视觉的低通滤波性特征,应用阈值矩阵设计独特结构型网点对图像加网,借助网点的微观艺术效果实现印刷品网点层次的防伪目的。结合信息隐藏技术在特殊网点组成的网版中加载保密信息。

人眼主观视觉的评价结果表明,无论是普通网点还是微结构网点,在单色版和合并版图像中对信息的隐藏效果都达到了较好的不可感知性,但是艺术网点的信息隐藏效果要明显好于普通圆形网点的隐藏效果,而普通网点实现的信息隐藏会因为网点移动而产生较明显的人工纹理。

结构相似度指数的计算结果表明,不论是在单个色版中还是在整体图像中,艺术网点对信息的隐藏效果比普通网点对信息的隐藏效果更佳。所以客观分析和主观分析的结果一致表明,微结构网点对信息的隐藏效果要优于普通网点。

在信息提取方面,特殊结构的光栅能够把视觉不可见的隐藏信息完整地通过莫尔纹的形式还原和再现。

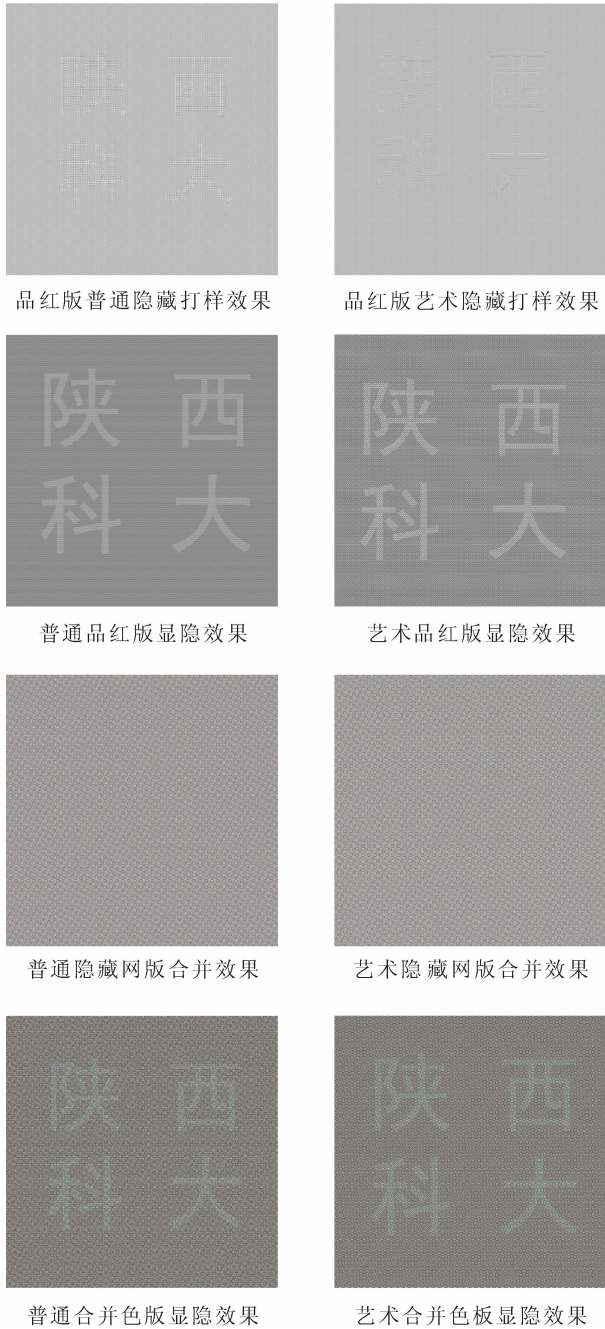


图6 打样效果
Fig.6 Effects of proofing

3 结 语

基于阈值矩阵加网方法,设计具有特殊外观形状的网点以区别于普通的网点形状,使印刷品能够达到网点层次的防伪。根据人眼视觉的低通滤波性,在艺术网点生成的网版中隐藏信息,在正常视觉下达到了不可见的效果,利用特殊参数的物理光栅显隐可以清晰地再现所隐藏的信息,同时实现了网点防伪和信息隐藏防伪,对印刷品起到了很好防复

制和安全保护效果。实验主观评价和结构相似度指数客观评价结果均表明,微观艺术效果的网点比普通网点实现了更好的隐藏和提取。不仅实现了艺术网点在光栅防伪技术中较好的应用,而且使光栅防伪技术达到了更好的防伪效果,为艺术网点应用的进一步研究提供了一定的理论基础,同时在不增加成本的情况下实现了多层防伪,对生产实践有一定的指导意义和广阔的实际应用价值与前景。

参考文献:

- [1] 姚海根. 数字印刷技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2010.
- [2] 周啸,史瑞芝,苏强,等. 一种基于艺术网点加网的图像防伪技术研究[J]. 测绘科学技术学报,2014,31(2):203-207.
ZHOU Xiao,SHI Ruizhi,SU Qiang,et al. A new image anti-counterfeiting technique based on artistic dot screening [J]. Journal of Geomatics Science and Technology,2014,31(2):203-207.
- [3] 龚晔,张逸新,王凯. 微结构加网防伪应用[J]. 包装工程,2008,29(3):62-68.
GONG Ye,ZHANG Yixin,WANG Kai. Anti-counterfeiting of micro-structure screens[J]. Packing Engineering,2008,29(3):62-68.
- [4] 徐锦林,徐咏驰. 调幅网加网因子研究[J]. 中国印刷与包装研究,2009,1(6):20-24.
XU Jinlin, XU Yongchi. Research of screening factor in amplitude modulation screening[J]. China Printing and Packaging Study,2009,1(6):20-24.
- [5] 万波. 打印设备 RIP 软件关键技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2008.
WAN Bo. Research on key technology of RIP software for printing equipment[D]. Xi'an:Xidian University,2008.
- [6] 徐国良. 彩色印刷图像混合半色调化关键技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2010.
XU Guoliang. Research on key technology of Image hybrid halftoning for color printing[D]. Changsha:National University of Defense Technology,2010.
- [7] KANG H R. Digital color halftoning[C] //SPIE/IEEE Series on Imaging Science & Engineering. New York: IEEE Press,1999:114-117.
- [8] 刘喆灿. 基于半色调的信息隐藏算法[D]. 北京:北京印刷学院,2014.
LIU Zhecan. Research on information hiding algorithm based on halftone screening[D]. Beijing:Beijing Institute of Graphic Communication,2014.

$$\begin{aligned}\Gamma_{33}^{\alpha} &= g^{\alpha l} \Gamma_{33,l} = \\ &g^{\alpha\tau} \Gamma_{33,\tau} + g^{\alpha 3} \Gamma_{33,3} = 0 \\ \Gamma_{a3}^3 &= \Gamma_{3a}^3 = g^{3l} \Gamma_{a3,l} = \\ &g^{3\tau} \Gamma_{a3,\tau} + g^{33} \Gamma_{a3,3} = \Gamma_{a3,3} = 0 \\ \Gamma_{33}^3 &= g^{3l} \Gamma_{33,l} = \\ &g^{3\tau} \Gamma_{33,\tau} + g^{33} \Gamma_{33,3} = \Gamma_{33,3} = 0\end{aligned}$$

因此,式(14)能够容易地从定理 2 和定理 3 而得到。

证毕。

参考文献:

- [1] CIARLET P G. An introduction to differential geometry with applications to elasticity [M]. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- [2] CIARLET P G. Mathematical Elasticity, Vol. III: Theory of Shells[M]. North-Holland, 2000.
- [3] KOITER W T. A consistent first approximation in the

general theory of thin elastic shells[C]//IUTAM Symposium on the Theory of Thin Elastic Shells, Amsterdam, August 1959.

- [4] KOITER W T. On the foundations of the linear theory of thin elastic shells [J]. Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch, 1970, B73: 169-195.
- [5] LI Kaitai, SHEN Xiaoqin. A dimensional splitting method for linearly elastic shell[J]. International Journal of Computer Mathematics, 2007, 84(6): 807-824.
- [6] SHEN Xiaoqin, LI Kaitai, MING Yang. Asymptotic expansions of stress tensor for linearly elastic shell[J]. Applied Mathematical Modelling, 2013, 37(16-17): 7964-7972.
- [7] XIAO Liming. Justification of two-dimensional nonlinear dynamic shell equations of Koiter's type[J]. Nonlinear Analysis, 2005, 62(3): 383-395.

(责任编辑 王绪迪,王卫勋)

(上接第 420 页)

- [9] 刘真,任乐义,杨晟炜. 调幅加网技术在光栅防伪中的应用[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 90-93.
LIU Zhen, REN Leyi, YANG Shengwei. Application of AM screening in grating anti-counterfeit technology[J]. Packing Engineering, 2011, 32(11): 90-93.
- [10] PUNEET G, MADHUR G, CARL S, et al. Clustered-dot halftoning with direct binary search[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2013, 22(2): 473-487.
- [11] 郭凌华,任龙飞,张雯雯,等. 基于调幅加网的微观防伪网点算法研究[J]. 包装工程, 2016, 37(5): 151-155.
GUO Linghua, REN Longfei, ZHANG Wenwen, et al. Algorithm of micro anti-counterfeiting dot based on AM screening[J]. Packing Engineering, 2016, 37(5): 151-155.
- [12] XU Jinlin, YAN Xiaofan, CHEN Suming. A rational tangent halftoning algorithm with a single threshold matrix[R]. International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008.
- [13] 刘文霞,陈永利,于宏敏,等. 聚集态阈值矩阵生成方

法及潜在应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(15): 101-104.

- LIU Wenxia, CHEN Yongli, YU Hongmin, et al. Building Method of clustered dot threshold matrixes and its potential applications[J]. Packing Engineering, 2014, 35(15): 101-104.
- [14] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [15] 胡媛媛,牛夏牧. 基于视觉阈值的结构相似度图像质量评价算法[J]. 深圳大学学报(理工版), 2010, 27(2): 185-190.
HU Yuanyuan, NIU Xiamu. Image quality assessment based on human visibility threshold theory and structural similarity[J]. Journal of Shenzhen University(Science and Engineering), 2010, 27(2): 185-190.
- (责任编辑 王卫勋)