

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2018.03.018

母版网角对潜像防伪效果的影响

韩雪莹, 杨 熙, 王 琪, 葛乃馨

(南京林业大学 轻工与食品学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 以光栅潜像防伪技术为研究背景, 探究母版加网角度与潜像防伪的相关性, 以获得潜像嵌入时的最适用网版角度, 提高防伪质量。针对单通道母版和双通道拼接母版角度对潜像隐藏性与提取显著性的影响进行实验设计、分析与评价。单母版变角度潜像实验中, C 通道作为防伪母版, 其加网角度依次设计为 0° 、 15° 、 45° 、 75° , 将防伪信息嵌至不同网角母版中, 设计对应光栅提取各角度母版中的潜像, 并进行防伪特性评价。双母版变角度拼接潜像实验中, C 和 M 组合成双通道, 分别形成六种角度组合母版, 将纵分且完全对称的“蝴蝶”形潜像两侧分别嵌入组合母版的左右两边, 对防伪特性进行评价。实验结果表明, 母版网角会对潜像防伪质量产生影响, 45° 单母版网角下的防伪效果最佳; 双母版网角组合为 0° 与 45° 时, 综合防伪特性好。研究获得了最适用的母版加网角度, 为母版网角的选择提供了理论依据, 完善了光栅防伪技术。

关键词: 防伪母版; 加网角度; 潜像; 隐蔽性; 提取性

中图分类号: TS853+.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2018)03-0354-05

Influence of master screening angle on hidden image anti-counterfeiting effect

HAN Xueying, YANG Xi, WANG Qi, GE Naixin

(College of Light Industry and Food Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: With the anti-counterfeiting technology of grating hidden image as a background, this paper explored the correlation between anti-counterfeiting master screening angle and hidden image to obtain the most suitable screening angle for hidden image embedding and improve anti-counterfeiting quality. Aiming at understanding the influence of the single master and double splicing master on the concealment and extraction for hidden image, and the experimental design, analysis and evaluation were carried out. The C master was selected as a single master, and its screening angle was designed to be 0° , 15° , 45° and 75° . Then hidden image information was embedded into the master of different angles. Designing the corresponding grating to extract the hidden image, and the security characteristics were evaluated. The C and M masters were combined into a double master, forming a combination of six angle master. The “butterfly” shape was embedded into the left and right sides of the combined master, and the security characteristics were evaluated. The experimental results showed that screen angle could affect the anti-counterfeiting quality of the hidden image. When the angle of the single master was 45° , the anti-counterfeiting effect was the best. The anti-counterfeiting characteristic was good when the angle combination was 0 and 45° . The most suitable master screening angle was obtained through research, providing a theoretical basis for the selection of the screening angle and improving the grating anti-counterfeiting technology.

Key words: anti-counterfeiting master; screening angle; hidden image; concealment; extraction

光栅防伪技术以半色调图像加网与光栅折射性 能为理论基础, 运用相位调制潜像法实现隐藏信息

收稿日期: 2018-01-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31270629); 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室开放基金资助项目(201513); 特殊形态网点设计与防伪应用研究资助项目(2017NFUSPITP352)

作者简介: 韩雪莹, 女, 硕士生, 研究方向为印刷与包装防伪技术。E-mail: hanxueyingxxsc@163.com

通讯作者: 王琪, 女, 副教授, 博士, 研究方向为印刷防伪技术、色彩管理与控制技术等。E-mail: wangqi@njfu.edu.cn

的嵌入,利用莫尔条纹原理完成防伪信息的提取^[1],即通过对半色调图像进行局部网点微量位移,形成肉眼不可察觉的潜藏图案,后叠加与母版信息匹配的解码光栅而使潜像视觉可见,从而达到防伪目的^[2-3]。该技术以加网后各单色通道作为潜像嵌入的基础母版,因此,依据数字加网理论所形成的网点特征参数会对防伪效果产生相应的影响,其中加网角度便是影响因素之一。在相关研究中,唐柱斌等^[4]提出一种变角度潜像防伪技术,先基于有理正切加网用 18.44° 代替 15° 、 71.57° 代替 75° ,将通道加网角度调整为 0° 、 18.44° 、 45° 和 71.57° ,后通过设置不同于原图的加网角度,将潜像以 21.14° 加网而实现信息隐藏;文献^[5]在探讨各色版对潜像防伪效果的影响时,为了减小潜像网点移动过程中的难度,直接将母版网角设为 0° ,在固定加网角度的前提下确定最适合做防伪母版的通道;郭凌华等^[6]研究微结构网点的信息隐藏时,根据人眼视觉的低通滤波特性,推测信息隐藏在 45° 色版中的隐藏效果最佳,以此对防伪母版使用 45° 阈值矩阵进行艺术网点加网。基于以上研究,本文通过单通道潜像和双通道拼接潜像两种方案,比较四种不同加网角度对潜像防伪效果带来的差异,探讨母版网角对光栅防伪效果的影响。

1 变角度母版的潜像防伪

1.1 单母版变角度潜像防伪

单母版指选定某一通道作为承载潜像的防伪母版。已有文献研究表明^[5],并非所有通道都适合作为潜像母版,黑(K)通道潜像隐藏性差,黄(Y)通道潜像提取效果不佳,故选择综合表现较好的青(C)或品红(M)通道作为单母版。在彩色印刷中,为了最大限度地避免龟纹,通常四色通道的加网角度设置为 0° 、 15° 、 45° 和 75° 。虽然在实际生产中,四色版的加网角度一般是固定的,但在有关光栅防伪研究中^[7-8],为了使实验步骤简单化,均将潜像所在母版角度设为 0° ,对其他角度的情况却少有探讨。本文基于相位调制潜像法,不局限于实际生产中的加网角度,将母版网角依次设为 0° 、 15° 、 45° 、 75° ,重点探讨在潜像属性相同的情况下,改变母版加网角度对防伪效果产生的影响。将相同潜像信息分别嵌入,再设计与宿主图像加网参数相匹配的解码光栅,将光栅叠加到含有潜像的防伪图像上提取防伪信息。

1.2 双母版变角度拼接潜像防伪

双母版指选择 CMYK 通道中的 C 和 M 通道共

同作为潜像母版^[9]。将一个完整潜像分成两部分,使之分别位于两个通道中,四色叠印时潜像形成无缝拼接,用光栅可提取出完整潜像。相比于单母版,这种防伪方法具有更高的抗复制性能。变角度是指调整拼接潜像所在双母版的角度,令其在 0° 、 15° 、 45° 和 75° 间进行变化形成加网角度的不同组合,研究角度变化与组合对拼接潜像防伪性能的影响。

调整 C 和 M 通道的加网角度,在保证双母版加网角度不同的前提下,双母版的构成有图 1 所示的 6 种组合方式(左侧为 C,右侧为 M)。以 $0^\circ+15^\circ$ 为例,表示双母版中 C 母版加网角度为 0° ,M 母版加网角度为 15° 。将图 2 的“蝴蝶”形态纵分成对称的左右两部分,分别嵌入到 6 种网角组合的 C 版和 M 版中。

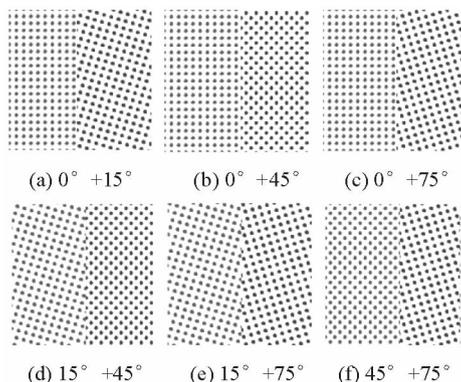


图 1 C 和 M 变角度组合母版

Fig. 1 Variable angle combination of C and M



图 2 隐藏信息分割

Fig. 2 Segmentation of hiding information

2 潜像防伪评价算法

潜像防伪效果的评价采用全参考图像质量评估法,传统评估算法有均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)等,由于这些算法只是从统计意义上对图像进行分析,逐个对比两张图像中的像素点,没有考虑到相邻像素之间的相关性,因此不具备较好的主客观一致性。

结构相似度(SSIM)是将人眼视觉特性和图像结构信息相结合的一种图像质量评价方法,该方法从图像的亮度、对比度、结构三个方面综合评价^[10],评价结果更符合真实视觉效应。因此,本文选择与

人眼视觉特性相吻合的 SSIM 进行评价:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (1)$$

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; α, β, γ 为加权系数, 起到调整亮度、对比度和结构三个分量的作用。亮度比较函数、对比度比较函数和结构比较函数是相互独立的, 各自对应函数为:

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

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad C_2 = K_2L^2 \quad (3)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}, \quad C_3 = \frac{C_2}{2} \quad (4)$$

式中, x, y 分别为原始图像和处理图像; $\mu_x, \mu_y, \sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_{xy}$ 分别表示图像 x, y 的均值、方差和协方差; C_1, C_2, C_3 为非常小的正数, 避免分母为零而不稳定, 其中 $K_1 = 0.01, K_2 = 0.02, L$ 为像素值的动态范围^[11]。

为了确保评价结果的准确性, 除采用在时域中进行的 SSIM 算法外, 还采用从图像频谱出发提取图像底层特征(颜色、纹理和形状特征)的特征相似性(FSIM)算法^[12-13]。FSIM 以原始图像和处理图像的相位一致性和梯度强度为特征, 提取与图像相位保持高度一致性的纹理结构^[14], 表达式为:

$$FSIM = \frac{S_{PC}(x, y) \cdot S_G(x, y) \cdot PC_m(x, y)}{\sum_{x, y \in \Omega} PC_m(x, y)} \quad (5)$$

式中, Ω 表示整个空域; $PC_m(x, y) = \max(PC(x), PC(y))$ 用于对图像 x 和图像 y 的整体相似性进行加权; $S_{PC}(x, y), S_G(x, y)$ 分别表示图像 x, y 的特征相似性与梯度相似性, 其定义为:

$$S_{PC}(x, y) = \frac{2PC(x) \cdot PC(y) + T_1}{PC^2(x) + PC^2(y) + T_1} \quad (6)$$

$$S_G(x, y) = \frac{2G(x) \cdot G(y) + T_2}{G^2(x) + G^2(y) + T_2} \quad (7)$$

式中, $G(x)$ 与 $G(y)$ 表示两幅图像的梯度幅值, 包含图像各频率分量的强度信息; T_1, T_2 为正常数, 以避免分母为 0; $PC(x)$ 与 $PC(y)$ 用来表示图像的相位一致性信息^[15-16]。

相位一致性是对相位信息一致性的度量标准, 其基本原理是假定图像傅里叶分量最一致的点为特征点, 这样相位信息就能准确地检测到图像特征。这与人类视觉系统(HVS)对图像特征的认知相符, 具有对图像亮度和对比度的不变性, 可获得精确的特征定位和丰富的局部特征信息。

3 实验内容与评价

3.1 潜像防伪实现步骤

1) 单母版变角度潜像

设计宿主图像: 新建颜色模式为 CMYK 的宿主图像, 四色通道的网点面积率均设置为 20%。

加网: 以 C 通道作为防伪母版, 加网线数设置为 144 lpi, 网点形状设置为圆形, 加网角度分别设置为 $0^\circ, 15^\circ, 45^\circ$ 和 75° 生成对应的母版图像。

嵌入潜像: 在不同角度的 C 母版中嵌入隐藏标识, 合并四色通道, 得到含有潜像信息的四色防伪图像。

提取潜像: 制作解码光栅, 以特定角度叠加到四色图像上, 提取出防伪潜像。

单母版潜像隐藏与提取效果如图 3 所示。视觉观察可知, 75° 母版网角下的潜像隐藏效果较差; 比较不同加网角度下, 光栅提取潜像的显著性效果, 只能看出母版为 0° 网角时, 图像莫尔效应相对明显, 因此 0° 网角下潜像防伪效果不佳。

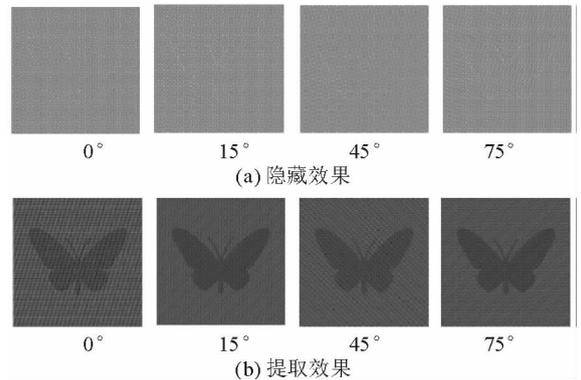


图 3 单母版潜像防伪效果图

Fig. 3 Anti-counterfeiting diagram of latent image on single master

2) 双母版变角度拼接潜像

根据 1.2 节中预设的角度组合对双母版 C 和 M 通道进行加网, 将对称“蝴蝶”潜像的左侧嵌入至 C 通道, 右侧嵌入至 M 通道, 保证潜像无缝拼接, 实现双母版拼接潜像的隐藏; 设计与双母版相匹配的拼接光栅, 光栅中线对准潜像纵分界线, 分别提取出 C 和 M 通道中的潜像, 从而使拼接潜像可视化。

双母版拼接潜像隐藏与提取效果如图 4 所示。观察发现, 组合角度中两角度差为 30° 或 60° , 即网角组合为 $15^\circ + 45^\circ, 15^\circ + 75^\circ, 45^\circ + 75^\circ$ 时, 潜像隐藏效果较差, 潜像轮廓可见且拼接区域存在露白现象; 在提取效果中, 以上三种网角组合的潜像左右异色不明显, 视觉感知不强烈。

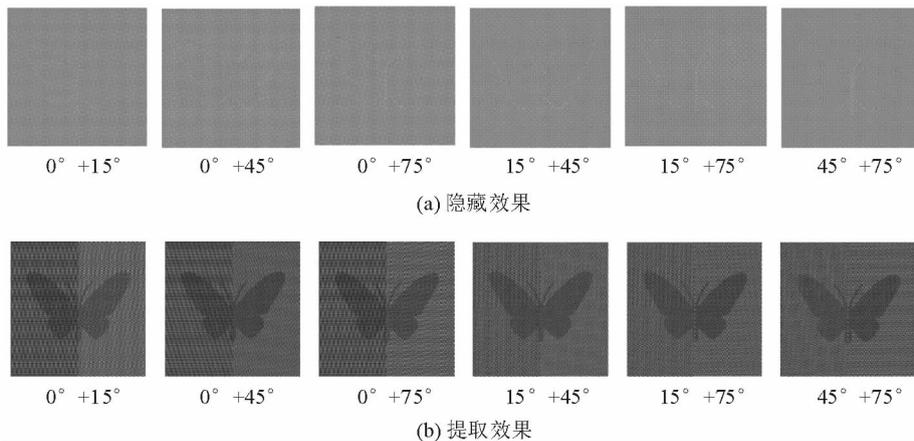


图4 双母版拼接潜像防伪效果图

Fig. 4 Anti-counterfeiting diagram of spliced latent image on double master

3.2 潜像防伪性评价

实验主要内容是比较不同母版网角下潜像的隐藏与提取差异,通过相对评价和图像质量评价评估不同加网角度对潜像防伪效果的影响。依据前述SSIM与FSIM算法的意义可知,其值越大,处理图像与原图结构越相似;反之,与原图差异较大。借助算法评价防伪标识的隐蔽性,数值越大,说明隐蔽性越好;评价隐藏信息的提取显著性时,其值越小,说明提取潜像越清晰。

1) 单母版变角度潜像防伪效果评价

单母版变角度潜像防伪评价数据如表1所示。隐蔽性评价数据中,0°对应的数值最大,其次为45°、15°和75°所对应的数值,说明母版网角为0°时隐藏效果最好,45°时较好,15°和75°时相对较差。这是由于0°和45°网角的网点稳定性相对较好,对视觉干扰作用较小;而15°和75°的网点较为呆板,即使网屏线数超过眼睛能分辨单个点子的极限,眼睛也能看到成行的点子或线型图案,所以15°和75°网角不利于信息隐藏。

表1 单母版潜像防伪评价数据

Tab. 1 Evaluation data on latent image on single master

母版网角	隐蔽性		提取性	
	SSIM	FSIM	SSIM	FSIM
0°	0.943 7	0.976 2	0.440 9	0.843 2
15°	0.937 7	0.967 1	0.440 5	0.842 6
45°	0.938 4	0.969 6	0.440 0	0.836 2
75°	0.937 6	0.966 9	0.440 3	0.840 9

潜像提取数据中,将数值从大到小排列,其所对应的网角依次为0°、15°、75°、45°,提取效果依次变佳,其中45°时潜像提取显著性最好,0°时潜像提取效果最差。产生该现象的原因是人眼视觉系统在

0°~90°范围内,对接近0°和90°方向上的信息最为敏感,光栅叠加到防伪图像上产生的干扰条纹明显,影响提取效果。因此,单母版网角设为45°时,潜像综合防伪表现效果最佳。

2) 双母版变角度拼接潜像防伪效果评价

双母版变角度拼接潜像防伪数据如表2所示。隐蔽性评价结果中,网角组合为0°+15°、0°+75°的数值较大,其次为0°+45°,而45°+75°、15°+75°、15°+45°所对应的三组数值较小,这说明母版网角差为15°和75°时,防伪信息的不可感知性最高;网角差为45°时,隐蔽性较好;30°或60°网角差的隐蔽性较差,因此网角组合15°+45°、15°+75°、45°+75°不适合作为组合母版角度。

表2 双母版拼接潜像防伪评价数据

Tab. 2 Evaluation data on spliced latent image on double master

网角组合	隐蔽性		提取性	
	SSIM	FSIM	SSIM	FSIM
0°+15°	0.939 6	0.970 8	0.534 6	0.852 5
0°+45°	0.937 3	0.966 4	0.484 0	0.842 7
0°+75°	0.938 2	0.968 4	0.527 4	0.849 3
15°+45°	0.935 8	0.958 4	0.487 5	0.846 8
15°+75°	0.936 4	0.960 6	0.538 3	0.852 7
45°+75°	0.936 6	0.962 1	0.510 3	0.848 7

对网角组合为0°+15°、0°+45°、0°+75°的潜像进行提取评价,将评价数值由大到小排列,其所对应的网角组合依次为0°+15°、0°+75°、0°+45°,即0°+45°网角组合的拼接潜像提取效果最佳,0°+15°和0°+75°组合下的提取效果相对较差。由此可见,母版网角的差异会对潜像防伪性产生不同的影响。潜像区域网点进行定量位移时,网点位移方向依循母版网角方向,不同的加网角度致使潜像网点空间

分布不同。除此之外,不同的网角组合直接导致拼接处网点密度不同,从而使得潜像防伪性出现差异。综合考虑, $0^{\circ}+45^{\circ}$ 是最适用的母版网角组合形式,不仅隐蔽性较好,且提取显著性最佳。

4 结 语

本文就母版网角对潜像防伪效果的影响进行研究,以期提供潜像嵌入的最适用网版角度,从而保障潜像的隐蔽性和提取显著性。通过单通道母版角度调整和双通道母版角度的排列组合,设计实验方案并进行分析,结果发现,母版加网角度对潜像的隐蔽性和提取效果均会产生一定影响。对于单母版而言,网角为 0° 时潜像的隐蔽性最好,其次为 45° ;在提取显著性方面, 45° 时最好, 0° 时最差。因此,单母版网角设为 45° 时,潜像的综合防伪效果最佳。双母版的实验结果表明,母版组合角度为 $0^{\circ}+15^{\circ}$ 、 $0^{\circ}+75^{\circ}$ 的拼接潜像隐蔽性最好, $0^{\circ}+45^{\circ}$ 次之;网角组合为 $0^{\circ}+45^{\circ}$ 的拼接潜像的提取显著性较好。综合考虑, $0^{\circ}+45^{\circ}$ 可作为双母版的最佳网角组合。该研究成果为光栅防伪相位调制法中母版网角的设定提供了有价值的理论依据。

参考文献:

[1] 赵小梅,谢兵. 基于莫尔效应的半色调图像处理防伪方法[J]. 天津科技大学学报, 2012, 27(2): 66-69.
ZHAO Xiaomei, XIE Bing. Moiré effect based halftone image processing method of security [J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2012, 27(2): 66-69.

[2] WANG Q, WANG X B. Research on the relationship of grayscale between digital grating and the host image [J]. Applied Optics, 2014, 53(18): 4072-4078.

[3] 郭凌华,陈燕,刘国栋,等. 半色调图像的网点式光栅显隐防伪研究[J]. 西安理工大学学报, 2015, 31(3): 335-339.
GUO Linghua, CHEN Yan, LIU Guodong, et al. Research on halftone anti-counterfeiting technology based on dot grating [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2015, 31(3): 335-339.

[4] 唐柱斌,肖志坚. 光栅隐形潜像防伪技术研究[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 117-121.
TANG Zhubin, XIAO Zhijian. Grating anti-counterfeit technology for high-end printing [J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 117-121.

[5] 王天马,王琪,刘洪豪. 分通道相位调制潜像法防伪效果的评价[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 117-121.
WANG Tianma, WANG Qi, LIU Honghao. Evaluation of latent image anti-counterfeiting effect based on sub-channel phase adjustment [J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 117-121.

[6] 任龙飞,郭凌华,王崑,等. 微结构网点的半色调信息隐藏技术[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(8): 1004-1009.
REN Longfei, GUO Linghua, WANG Yin, et al. Half-tone information hiding technology of microstructure dot [J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(8): 1004-1009.

[7] 高晴华,樊松延,王琪,等. 算法数字防伪光栅的设计与评价[J]. 北京印刷学院学报, 2017, 25(2): 69-74.
GAO Qinghua, FAN Songyan, WANG Qi, et al. Fabrication and evaluation of digital raster extraction method [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2017, 25(2): 69-74.

[8] 王天马. 基于相位调制法的光栅防伪技术的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
WANG Tianma. Research on the grating anti-counterfeit technology based on the phase modulation method [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2016.

[9] 杨熙,王琪,高晴华,等. 分通道拼接潜像光栅防伪方法[J]. 包装工程, 2016, 37(21): 192-197.
YANG Xi, WANG Qi, GAO Qinghua, et al. Sub-channel grating anti-counterfeiting based on splice latent image [J]. Packaging Engineering, 2016, 37(21): 192-197.

[10] 朱欢,陈永利,王佳辉,等. 基于结构相似度的彩色图像质量评价算法[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 165-170.
ZHU Huan, CHEN Yongli, WANG Jiahui, et al. Color image quality assessment algorithm based on structure similarity [J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 165-170.

[11] 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.

[12] ZHANG L, ZHANG L, MOU X Q, et al. FSIM: a feature similarity index for image quality assessment [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(8): 2378-2386.

[13] GUO L, CHEN W L, LIAO Y, et al. Multi-scale structural image quality assessment based on two-stage low-level features [J]. Computers and Electrical Engineering, 2014, 40(4): 1101-1110.

[14] FU S J, RUAN Q Q, WANG W Q. A shock-diffusion equation with local coupling term for image sharpening [J]. Journal of Optoelectronics. Laser, 2007, 18(2): 245-248.

[15] 杨迪威,余绍权. 利用相位一致性的图像质量评价方法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(2): 16-20.
YANG Diwei, YU Shaoquan. Image quality assessment based on phase congruency [J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(2): 16-20.

[16] LIU Z, LAGANIERE R. Phase congruence measurement for image similarity assessment [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(1): 166-172.