

分通道拼接潜像光栅防伪方法

杨熙，王琪，高晴华，韩雪莹

(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 根据潜像信息嵌入的通道不同, 产生的隐藏和提取效果会存在差异的原理, 研究一种拼接潜像分通道嵌入的相位调制光栅防伪技术。方法 将蝴蝶形态的潜像分割成对称的左右 2 个部分, 在 CMYK 4 个通道两两成组分别嵌入潜像的左侧部分和右侧部分, 无缝对接形成完整的防伪信息; 对整体潜像隐藏性进行主客观评价, 证明 K 版的不适用性; 设计与不同加网线数宿主图像所对应的数字光栅, 提取隐藏信息, 潜像显著性好。结果 分通道拼接潜像法有良好的防伪效果, 其中潜像的两部分分别位于 C 版和 M 版时其隐蔽性与提取显著性均最佳, K 版不适合作为防伪信息的嵌入通道, 宿主图像的加网线数对拼接潜像的防伪效果无明显影响。结论 该研究成果实现了潜像的双通道参与, 提高了工艺的复杂性, 增强了防伪效果, 为相位调制潜像防伪技术提供了新的理论。

关键词: 相位调制法; 光栅防伪; 数字加网

中图分类号: TS801.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)21-0192-06

Sub-channel Grating Anti-counterfeiting Based on Splice Latent Image

YANG Xi, WANG Qi, GAO Qing-hua, HAN Xue-ying

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

ABSTRACT: The work aims to research the grating anti-counterfeiting technology of phase modulation based on splice latent images embedded into sub-channels according to the working principle of difference in hidden and extraction effects caused by different channels in which the latent image information was embedded. The butterfly-like latent image was divided into two symmetrical parts. As to the four channels of CMYK, two channels of them could form a group and be respectively embedded into both parts, so as to seamlessly splice and form the complete anti-counterfeit information. The concealment of the latent image as a whole was evaluated in subjective and objective methods to prove the non-applicability of channel K. Digital grating corresponding to the host image with different number of screening lines was designed to extract the hidden information. In such case, the conspicuousness of latent images was good. Sub-channel splice latent image method had good anti-counterfeiting effects. When both parts of the latent image were respectively located at channels C and M, their concealment and extraction conspicuousness were the best. Channel K was not suitable to be used as the embedded channel of anti-counterfeiting information. The number of screening lines of host image had no significant impact on the anti-counterfeiting effects of the splice latent image. In conclusion, this study provides a ref-

收稿日期: 2016-05-03

基金项目: 江苏省制浆造纸科学与技术重点实验室开放基金 (201513)

作者简介: 杨熙 (1992—), 女, 江苏连云港人, 南京林业大学硕士生, 主攻印刷与包装防伪技术。

通讯作者: 王琪 (1971—), 女, 河南上蔡人, 博士, 南京林业大学副教授, 主要研究方向为色彩管理与控制技术、印刷防伪技术等。

erence method for two channels. It can increase process complexity, strengthen the anti-counterfeiting effects and provide new theory for the latent image anti-counterfeiting technology of phase modulation.

KEY WORDS: phase modulation; grating anti-counterfeiting; digital screening

随着计算机信息处理技术和半色调数字加网技术的发展,基于半色调网点空间位置分布以及以网点形状为载体的光栅防伪技术成为研究热点^[1]。该技术通过图像处理方法将防伪信息嵌入半色调图像中,利用与之匹配的光栅提取隐藏信息,达到防伪的目的。在实际应用过程中,对设备依赖性小,对印刷复制工艺没有特殊要求^[2—3],生产方式灵活多变,不增加额外的加工成本,有难复制、抗扫描和加密性高等特点,保证防伪效果。将青(C)、品红(M)、黄(Y)、黑(K) 4 个通道分别作为母版,嵌入隐藏信息,会产生不同的防伪效果^[4—6]。文中的研究依据分通道相位调制潜像法防伪原理,将防伪信息进行分割,分别嵌入 2 个不同通道,最终形成无缝对接潜像。通过主客观相结合的方法确定潜像拼接法防伪技术的可行性,获得适用通道组,并验证其对不同品质图像的普遍适用性,增加嵌入形式复杂程度,以达到增强防伪效果的目的。

1 分通道拼接潜像防伪方法的实现

1.1 通道分割与拼接潜像嵌入方式

分通道拼接潜像防伪方法是将 CMYK 4 个通道两两成组作为防伪母版,形成 C+M, C+Y, C+K, M+Y, M+K, Y+K 6 种通道组合形式。将作为防伪母版的 2 个通道分别分割为左右两部分,同一通道使用不同加网角度,保证嵌入潜像的 2 个通道区域的加网角度相同,以获得拼接潜像的无缝对接效果。以 C+M 为例,C 版中线左侧加网角度为 0,右侧为 15°;M 版中线左侧加网角度为 15°,右侧为 0;Y 版和 K 版加网角度分别为 45° 和 75°。文中采用对称的蝴蝶形态作为拼接潜像,在防伪母版的其中一个通道嵌入蝴蝶的左半部分,在另一个通道嵌入蝴蝶的右半部分,潜像网点的横、纵向位移量计算公式如式(1):

$$\begin{cases} X = \frac{d}{2} \cos(90^\circ - \alpha) \\ Y = \frac{d}{2} \sin(90^\circ - \alpha) \end{cases} \quad (1)$$

式中: d 为相邻 2 个网点之间距离; α 为加网

角度。根据式(1)完成隐藏信息的移动,形成拼接潜像。最后 CMYK 4 个通道叠合,得到嵌入防伪信息的半色调图像。

1.2 分通道潜像提取

解码数字光栅的设计必须满足以下 2 个条件:解码光栅的设置参数与宿主图像加网参数相匹配;解码光栅与宿主图像形成黑白互补,满足式(2)–(3)的关系。

$$T=d \quad (2)$$

式中: T 为解码光栅的最小周期; d 为相邻 2 个网点之间的距离。则可推出数字光栅的最小周期和加网线数 L 之间满足的匹配关系,如式(3):

$$T=\frac{254}{L} \quad (3)$$

王琪^[7]等学者提出,解码数字光栅的灰度与宿主图像的灰度具有相关性,其关系见式(4)–(6),其中 G 为宿主图像灰度, P₁, P₂, P₃ 分别表示加网线数为 72, 96, 144 lpi 时解码数字光栅灰度。设置与宿主图像相匹配的解码光栅灰度,使得隐藏信息与宿主图像反差大,获得最佳提取效果。

$$a_1 = (-2.2242e^{-0.6})G^3 + (3.243e^{-0.4})G^2 - 0.0197G + 0.9752 \quad (4)$$

$$a_2 = (-1.8046e^{-0.6})G^3 + (2.5985e^{-0.4})G^2 - 0.0177G + 0.9873 \quad (5)$$

$$a_3 = (-8.547e^{-0.7})G^3 + (1.2821e^{-0.4})G^2 - 0.0143G + 1.0035 \quad (6)$$

2 评价算法

2.1 潜像隐蔽性评价

对比度灵敏度函数(CSF)的表达是基于人类视觉系统(HVS)建立半色调算法模型的关键步骤。加权信噪比(WSNR)就是加权了 CSF 的一种图像质量评价算法,它表示平均加权信号功率和平均加权噪声功率的比值^[8]。由于 CSF 是角频率函数,在计算 WSNR 值时,需要加入观测距离和原稿大

小的影响因素。图像经过傅里叶变换(DFT)后, 得到的CSF为 $C(u, v)$, WSNR的值是使用 $C(u, v)$ 对某一特定频率下的图像分量进行加权后的结果, 其表达式:

$$\text{WSNR} = 10 \lg \left[\sum_{u,v} \frac{|X(u,v)C(u,v)|^2}{|(X(u,v)-Y(u,v))C(u,v)|^2} \right] \quad (7)$$

式中: $X(u, v)$, $Y(u, v)$ 分别为经过DFT后的宿主图像和嵌入潜像的半色调图像。WSNR值越大, 证明原稿和嵌入隐藏信息后的图像越接近, 即隐蔽性好。WSNR算法考虑到图像的观察距离、尺寸和分辨率等因素, 对潜像隐蔽性的评价更加准确。

2.2 提取显著性评价

彩色图像相似指数(CISI)是一种基于结构相似度(SSIM)模型提出的彩色图像质量评价算法^[9-11]。该算法综合了色彩三要素和视觉空间关联性等影响因素, 弥补SSIM在评价彩色图像时没有考虑色度通道及亮度通道对视觉感知的影响。CISI首先获得提取出隐藏信息的图像和宿主图像的饱和度、色相、亮度三维信息, 从中比较其相似度, 再考察对于色彩三要素的视觉敏感性, 得到饱和度、色相及亮度对整体彩色图像相似性贡献的权重值。CISI的计算公式如式(8):

$$\text{CISI}(X, Y) = (\text{M-SSIM}(X, Y)_L)^{w_1} \cdot (\text{M-SSIM}(X, Y)_C)^{w_2} \cdot (\text{M-SSIM}(X, Y)_H)^{w_3} \quad (8)$$

$$\text{M-SSIM}(X, Y)_L = \prod_{j=1}^n \left(C_L^j S_L^j L_L^j \right)^{\alpha_j} \quad (9)$$

$$\text{M-SSIM}(X, Y)_C = \prod_{j=1}^n \left(C_C^j S_C^j L_C^j \right)^{\alpha_j} \quad (10)$$

$$\text{M-SSIM}(X, Y)_H = \prod_{j=1}^n \left(C_H^j S_H^j L_H^j \right)^{\alpha_j} \quad (11)$$

式中: w_1 , w_2 及 w_3 为权重系数, 分别由视觉对色彩三要素三维信息的敏感度决定; C_L , C_C , C_H 分别为提取出隐藏信息的图像和宿主图像在亮度、饱和度、色相3个方面对比度的比较值; S_L , S_C , S_H 分别为2幅图像在色彩三要素纹理结构的比较值; L_L , L_C , L_H 分别为2幅图像在色彩三要素亮度的比较值; n 为M-SSIM算法^[12]尺度数, 这里

$n=3$; α_j 表示M-SSIM算法各尺度的权重, 且满足 $\sum \alpha_j = 1^{[13-15]}$ 。

3 实验

3.1 过程

1) 设计宿主图像。新建一个 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 的数字图像作为宿主图像, 分离四色通道, CMYK的灰度均为20。

2) 调幅加网。将作为防伪母版的2个通道分割成左右2个部分加网, 分别使用2种加网角度, 嵌入潜像的部分设置加网角度为0, 另外一半设置为 15° , 不作为防伪母版的2个通道设置加网角度为 45° 和 75° , 保证4通道叠合后, 各部分均是常规角度叠加。加网线数为72 lpi。

3) 潜像的嵌入。将蝴蝶图案分切为左右2个部分, 形成分别嵌入2个通道的图层。选中蝴蝶左部分的图案, 隐藏信息分切线对准参考线移至其中一个通道。根据位移量移动网点, 完成潜像的嵌入。使用相同实验步骤, 将隐藏信息的右边部分嵌入另一个通道中, 最后合并4个通道, 实现分通道拼接潜像的嵌入。

4) 设计解码数字光栅。新建一个 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 的数字图像, 根据式(3)计算得出数字光栅的最小周期; 由于加网线数为72 lpi, 选用式(4)计算得出数字光栅的灰度为70%; 按照这2个参数制作解码数字光栅。

5) 提取防伪信息。将制作好的数字光栅叠加到嵌入防伪信息的半色调图像上, 提取隐藏的防伪信息。

将步骤(2)中的加网线数改为96和144 lpi, 并重复上述实验步骤, 获得实验效果图。

3.2 结果分析与评价

3.2.1 隐蔽性评价

加网线数分别为72, 96, 144 lpi时, 嵌入防伪信息后潜像的隐藏效果相似。以96 lpi的隐蔽性效果图为例, 见图1, 可以观察到防伪母版中有黑通道参与的图像隐蔽性相对较差, 因此主观上认为黑通道不适合作为防伪信息的嵌入通道。

采用WSNR客观评价隐藏信息的隐蔽性, WSNR值越大, 防伪信息嵌入后的图像越接近于宿

主图像，即隐蔽性更好。借助 Matlab 平台，使用 WSNR 算法测试不同加网线数下半色调图像的隐蔽性，评价结果见表 1。

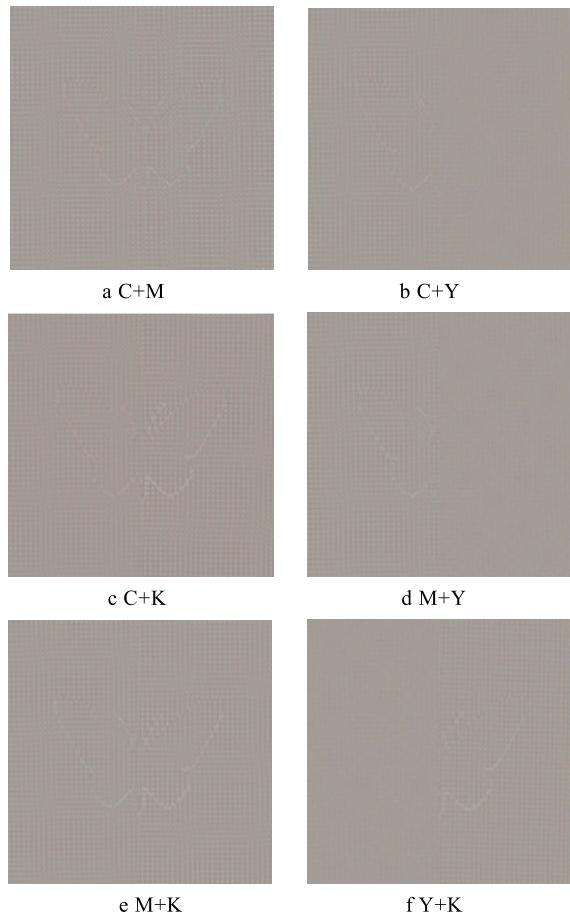


图 1 隐蔽性效果比较
Fig.1 Comparison of concealment

表 1 嵌入潜像的图像 WSNR 值

Tab.1 WSNR values of Halftone image embedded hidden information

加网 线数/lpi	通道组合形式					
	C+M	C+Y	C+K	M+Y	M+K	Y+K
72	17.564	16.674	11.376	16.779	11.657	11.818
96	17.884	16.893	11.723	16.934	11.872	11.993
144	17.673	16.722	11.654	16.884	11.792	11.884

从表 1 可以看出，含有黑通道组合的嵌入形式，WSNR 值远远小于其他组合的形式，隐蔽性较差，不适合与其他通道组合作为防伪母版。该现象产生的原因是人眼对黑色识别较为敏感，黑通道不利于隐藏防伪信息。后续的提取实验中，将不再考虑黑版参与的情况。由于青、品红、黄墨透明度高，人眼对它们的识别能力弱，适合组合作为防伪母版，

其中青通道与品红通道组合时的 WSNR 值最大，隐蔽性最好，利于隐藏防伪信息。

3.2.2 显著性评价

加网线数为 72, 96, 144 lpi 时，提取的防伪信息效果见图 2—4，可以直观地看出，不同的加网线数下，都能提取出防伪信息。其中青通道与品红通道组合作为防伪母版相较于其他组合形式提取防伪信息反差更大，更为清晰。

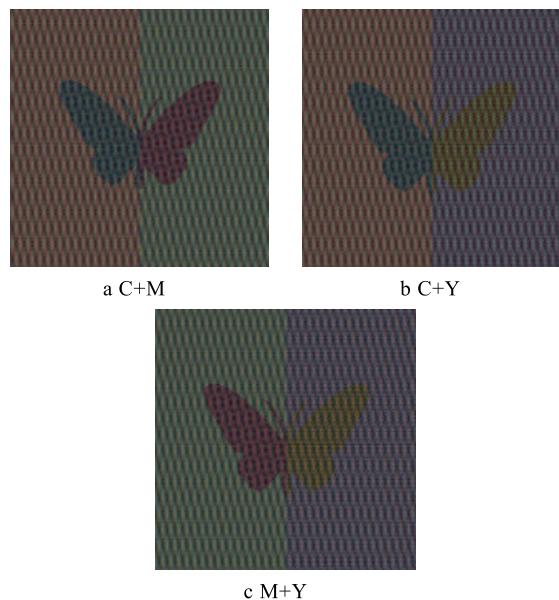


图 2 加网线数为 72 lpi 时的提取显著性比较
Fig.2 Comparison of extraction with 72 lpi

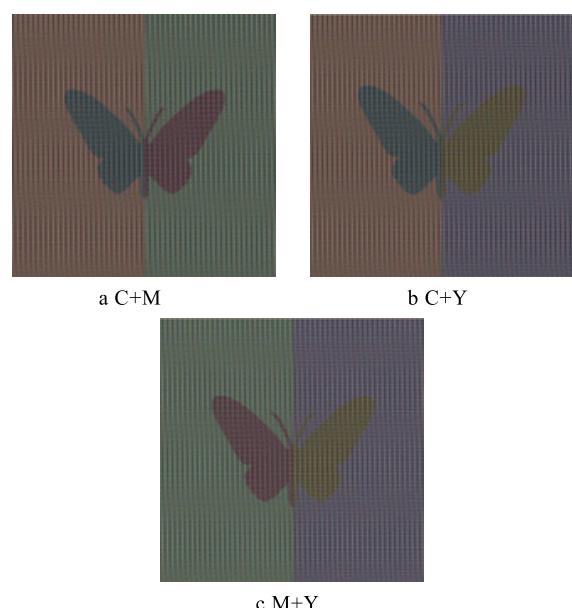


图 3 加网线数为 96 lpi 时的提取显著性比较
Fig.3 Comparison of extraction with 96 lpi

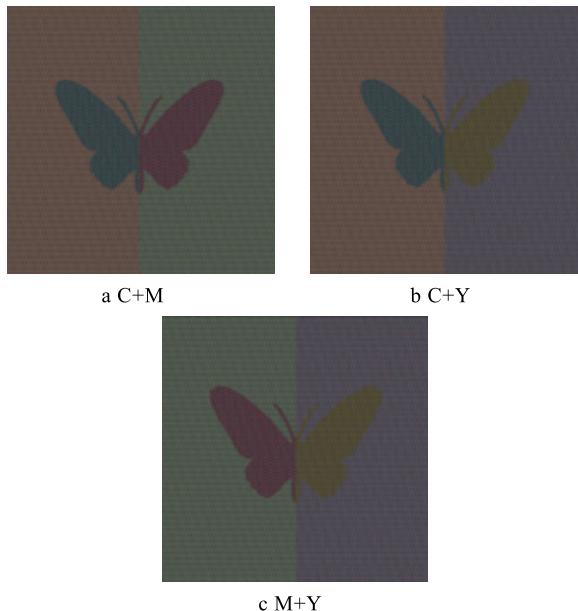


图4 加网线数为144 lpi时的提取显著性比较

Fig.4 Comparison of extraction with 144 lpi

采用 CISI 算法评价提取效果的显著性, CISI 值越小, 与宿主图像结构的反差越大, 提取效果显著性越高^[14—15]。防伪信息提取后的 CISI 值见表 2。分析表 2 中数据可知, 有 Y 通道参与的防伪母版, CISI 值普遍较大, 潜像的提取显著性差。C 通道与 M 通道组合作为防伪母版的 CISI 值在不同加网线数下均为最小, 提取的防伪信息最清晰, 显著性高。C 通道与 M 通道组合嵌入拼接潜像是最适用的成组形式, 不仅隐蔽性好, 而且提取质量高; 且被提取出的防伪信息左右两边异色, 反差大, 提取图像更为明显, 视觉更容易分辨。

表2 提取防伪信息图像的 CISI 值

Tab.2 CISI values of anti-counterfeiting image extraction

加网 线数/lpi	通道组合形式		
	C+M	C+Y	M+Y
72	0.0377	0.0451	0.0459
96	0.0263	0.0409	0.0398
144	0.0127	0.0384	0.0371

4 结语

为了获得更优的光栅防伪效果, 文中提出了一种分通道嵌入拼接潜像的防伪方法。在同一通道中使用 2 种不同加网角度, 将分割后的两部分潜像嵌入加网角度为 0 的不同通道中, 形成无缝对接的完整隐藏信息。结果表明, 黑通道中防伪信息的隐藏

效果较差, 不宜作为隐藏母版; 宿主图像的加网线数对拼接潜像的防伪效果无明显影响, 因此, 该方法对不同加网线数图像均有良好适用性; 分通道拼接潜像法在 C 和 M 的组合通道中隐藏性与提取显著性均最好, 实现了最优的防伪效果。该研究实现了潜像的双通道参与, 提取的防伪信息左右异色, 辨识度高; 潜像分割及拼接工艺提高了操作的复杂性, 增强了仿伪功能。研究成果为相位调制潜像防伪技术提供了新的方法和理论依据。

参考文献:

- [1] 方华. 图像半色调技术及水印的研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2006.
FANG Hua. Research on Digital Halftoning and Watermarking Techniques of Images[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2006.
- [2] 刘真, 任乐义. 调幅加网技术在光栅防伪技术中的应用[J]. 包装工程, 2011, 32(21): 90—93.
LIU Zhen, REN Le-yi. Application of AM Screening in Grating Anti-counterfeit Technology[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21): 90—93.
- [3] 王晓博, 王琪, 刘萧豪. 基于周期无穷大纵向莫尔条纹的半色调防伪技术研究[J]. 包装工程, 2014, 35(1): 130—135.
WANG Xiao-bo, WANG Qi, LIU Xiao-hao. Research of Halftone Anti-Counterfeiting Technology Based on the Infinite Periodic Vertical Moiré[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(1): 130—135.
- [4] 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 Xiao-mei, XIE Bing. Moiré Effect Based Half-tone Image Processing Method of Security[J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2012, 27(2): 66—69.
- [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 Tian-ma, WANG Qi, LIU Hong-hao. Evaluation of Latent Image Anti-counterfeiting Effect Based on Sub-channel Phase Adjustment[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 117—121.
- [6] 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 Zhu-bin, XIAO Zhi-jian. Grating Anti-counterfeit Technology for High-end Printing[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 117—121.
- [7] 王琪, 王晓博. Reaserch on the Relationship of Grayscale between Digital Grating and the Host Image[J]. Applied Optics, 2014, 53(18): 72—80.
- [8] KITE T D, EVANS B L, BOVIK A C. Modeling and Quality Assessment of Halftoning by Error Diffusion [J]. IEEE Trans Image Processing, 2000, 9(5): 909—

- 922.
- [9] 赵秀芝, 谢德红, 潘康俊. 彩色视觉相似性图像评价方法[J]. 计算机应用, 2013, 33(6): 1715—1718.
ZHAO Xiu-zhi, XIE De-hong, PAN Kang-jun. Color Image Quality Assessment Algorithm Based on Color Structural Similarity[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(6): 1715—1718.
- [10] MI Z Z. Image Quality Assessment in Multiband DCT Domain Based on SSIM[J]. International Journal for Light and Electron Optics, 2014(1): 70—73.
- [11] RUSSO F, ANGELIS A, CARBONE P. A Vector Approach to Quality Assessment of Color Images[C]// Piscataway: Proceedings of the 2008 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2008.
- [12] WANG Z, SIMONCELLI E P, BOVIK A C. Multi-scale Structural Similarity for Image Quality Assessment[C]// Washington DC: Proceedings of the the 37th Asilomar Conference on Signals, System & Computers, 2003.
- [13] NES F L V, BOUMAN M A. Spatial Modulation Transfer in the Human Eye[J]. Journal of Optical Society of America, 1967, 57(3): 401—406.
- [14] 孙娜娜, 刘鑫. 图像显著性检测方法解析[J]. 现代电子技术, 2014, 37(22): 1—5.
SUN Na-na, LIU Xin. Analysis for Method of Image Saliency Detection[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(22): 1—5.
- [15] 景慧昀, 韩琦, 牛夏牧. 显著区域检测算法综述[J]. 智能计算机与应用, 2014, 4(1): 38—44.
JING Hui-yun, HAN Qi, NIU Xia-mu. Survey of Saliency Region Detection Algorithms[J]. Intelligent Computer and Applications, 2014, 4(1): 38—44.