

基于网点形状的半色调全息防伪算法研究

郝发义, 邓开发

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 研究印刷条件下基于网点形状的半色调全息防伪算法, 该算法能够无失真地提取嵌入的防伪信息。 **方法** 首先对二值图像信息进行全息加密, 然后对拼接的全息数据进行二值化, 再把全息二值数据作为选择网点形状的判断条件, 把数字图像生成半色调图像。提取防伪信息时利用全息数据的全局特性, 只需任意裁切大于 32×32 网点大小半色调图像块, 就能解密出网点携带的防伪信息。 **结果** 提取的防伪信息与嵌入的防伪信息的相似度能够达到 100%; 半色调图像经过鲁棒性攻击, 相似度能够达到 90% 以上。 **结论** 该算法能够无损失地提取防伪信息, 有一定的鲁棒性及安全性。

关键词: 调幅加网; 全息; 网点形状; 防伪

中图分类号: TS865

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)09-0122-05

Halftone Holographic Anti-counterfeiting Algorithm Based on Dot Shape

HAO Fa-yi, DENG Kai-fa

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: **Objective** To extract the embedded information without distortion based on the theoretical analysis of AM screening technology and holographic theory, the halftone dot shape holographic anti-counterfeiting algorithm was proposed. **Methods** The binary image information was encrypted, then the holographic data was binarized by splicing, and halftone image was generated from the digital image. The global properties of holographic data were used for decryption. As long as the cropping size of holographic data was larger than 32×32 , the carried information of dot shape could be extracted. **Results** Simulation result showed that the values of NC could reach up to 100%, and after robustness attack, the NC values of the halftone image could still reach more than 90%. **Conclusion** The algorithm could extract the hidden information well, which has certain robustness and high level of security.

KEY WORDS: FM screening; holographic; dot shape; security

随着信息技术的发展和高品质图像输入/输出设备的普及,高精度扫描仪和彩色喷墨激光打印机的应用方便了人们的生活和工作,同时使各种纸质票据容易伪造,印刷品版权保护亟待解决,研究应用于印刷防伪技术具有重要的现实意义。利用调幅网点形状携带信息的防伪技术是一种全新的信息隐藏技术,能够使调幅网点形状携带防伪信息^[1-2],而且人眼无法

辨别输出后图像所隐藏的信息,只有通过特殊的设备才能检测,从而达到防伪的目的。

刘真提出了调幅加网的光栅防伪技术^[3],该技术能够起到防伪的目的,但是鲁棒性不强,图像稍微破损,用光栅片很难看到隐藏的防伪信息;衣旭梅提出的半色调加网防伪印刷信息隐藏技术^[4],只是改变了网点形状,没有让网点携带防伪信息,安全性不高;孟

收稿日期: 2014-01-07

基金项目: 新闻出版总署数字印刷工程研究中心数字传播重点实验室基金项目(10-00-309-000)

作者简介: 郝发义(1978—)男,河南人,上海理工大学讲师,主要研究方向为印前图像处理。

凡俊提出的基于伪随机信号调制的半色调加网防伪技术^[2],使用伪随机信号对网点形状进行调制,无法让网点形状隐藏防伪信息,一旦仿造,很难辨别印刷图像的真伪。基于网点形状的印刷防伪算法即数字图像在生成半色调图像的过程中对网点形状进行调制,使网点形状携带防伪信息。为了提高防伪的安全性和可靠性,及弥补防伪信息丢失和不能无失真提取防伪信息的问题,文中提出基于网点形状的全息防伪算法,经过印刷后网点形状不容易变形,结合全息技术^[5-8]赋予网点特殊的信息,裁切任意一块印刷图像都能无失真地提取出防伪认证信息,能够保证防伪的安全性和稳定性。

1 调幅加网阈值矩阵设计与加网原理

调幅加网技术是网点出现的频率不变而幅度变化的一种加网技术,它是在加网网点数目不变的情况下,通过网点的面积率来表达图像层次的深浅。调幅加网的主要特点:点中心具有固定的空间位置,它决定了加网线数和加网角度;每一网点与相邻网点的中心距离不变;网点的大小由图像的灰度等级调制,即每一网点从中心胞点增长的程度由图像的灰度等级控制。

在印刷中,网点即着墨点表现图文内容,而加网前的灰度图像通常以 0 表示“黑”,255 表示“白”。加网时,一般会把灰度值设为阈值,当像素值大于阈值时,记录栅格“涂白”,否则“涂黑”。网格构成以 12×12 为例,网格大小分别为 144,128,153,加网阈值的个数远小于 255。加网时需将灰度图像的像素值与加网阈值比较^[9],来建立两者之间的转换关系(映射),徐锦林采用的转换公式为:

$$F_{\text{转换后}} = \text{fix}\left(\frac{F_{\text{原}}}{255} \times Q_{\text{max}} + 0.5\right) \quad \text{或} \quad F_{\text{转换后}} = \text{fix}\left(\frac{F_{\text{原}}}{255} \times Q_{\text{max}}\right) \quad (1)$$

以印刷企业激光照排机采用较细 200 lpi 加网的网格(12×12)构成为例,采用徐锦林提出基于最小阈值矩阵原理进行调幅加网^[9],最小阈值矩阵 **A** 见图 1a;采用刘真在调幅加网技术在光栅防伪技术中的应用^[3]得到的最小阈值矩阵 **B** 见图 1c;采用 0° 加网为例设计加网算法,加网后的半色调图像见图 1b,d。

144	140	132	122	107	63	54	93	106	123	133	142
143	137	128	104	94	41	31	65	98	116	120	139
135	131	114	97	61	35	24	55	80	103	113	125
126	117	88	83	56	29	15	51	68	90	99	111
109	100	81	77	48	22	8	28	47	76	85	96
91	44	16	12	9	3	5	21	25	33	37	73
59	58	30	18	10	1	2	4	11	19	34	42
92	64	57	52	26	6	7	14	32	46	53	74
101	95	70	67	38	13	20	36	50	75	82	108
121	110	86	78	45	17	27	39	69	79	102	119
134	129	112	89	49	23	43	60	71	87	115	127
141	138	124	118	66	40	62	72	84	105	130	136

a 阈值矩阵**A**



b 0° 加网后图像

4	8	12	16	20	24	22	18	14	10	6	2
28	32	36	40	44	48	46	42	38	34	30	26
52	68	72	76	80	84	82	78	74	70	66	50
56	96	100	116	118	120	114	112	110	98	94	54
60	92	104	124	128	136	134	126	122	102	90	58
64	88	108	132	140	144	142	138	130	106	86	62
61	85	105	129	137	141	143	139	131	107	87	63
57	89	101	121	125	133	135	127	123	103	91	59
53	93	97	109	111	113	119	117	115	99	95	55
49	65	69	73	77	81	83	79	75	71	67	51
25	29	33	37	41	45	47	43	39	35	31	27
1	5	9	13	17	21	23	19	15	11	7	3

c 阈值矩阵**B**



d 0° 加网后图像

图 1 调幅加网仿真

Fig. 1 Simulating image of AM screening

2 傅里叶变换全息加密技术

2.1 傅里叶变换加密过程

傅里叶变换全息加密采用 Mach-Zehnder 干涉仪结构。待加密原始图像为 $f(x,y)$, 输入平面上随机加密相位模板为 $\alpha(x,y)$, $f(x,y)$ 和 $\alpha(x,y)$ 紧贴在输入面上,经傅里叶变换透镜进行傅里叶变换后,由放置在傅里叶变换透镜输出频谱面上的随机相位模板 $B(\xi,\eta)$ 进行调制,经过相位加密模板调制的物光与参考光进行叠加干涉,生成了傅里叶变换加密全息数据 $I_E(\xi,\eta)$ 。 $I_E(\xi,\eta)$ 通过计算去除参考光和通过相位加密模板调制的物光的功率谱,获得加密的全息数据^[10-13] 见公式:

$$I'_E(\xi,\eta) = \{ [F(\xi,\eta) \otimes A(\xi,\eta)] B(\xi,\eta) \} R^*(\xi,\eta) + \{ [F(\xi,\eta) \otimes A(\xi,\eta)] B(\xi,\eta) \}^* R(\xi,\eta) \quad (2)$$

式中: $F(\xi,\eta)$ 和 $A(\xi,\eta)$ 分别为 $f(x,y)$ 和 $\alpha(x,y)$ 的傅里叶变换;符号 $\otimes$ 为卷积运算; (x,y) 为空域坐标; (ξ,η) 为频域坐标。

通过计算密钥 $B(\xi,\eta)$ 的全息数据 $K(\xi,\eta)$ 功率谱,去除常数项,获得解密密钥的全息数据 $K'(\xi,\eta)$:

$$K'(\xi,\eta) = B(\xi,\eta) R^*(\xi,\eta) + B^*(\xi,\eta) R(\xi,\eta) \quad (3)$$

2.2 傅里叶变换加密/解密过程

将傅里叶变换加密全息图式(2)与解密密钥全息

图式(3)相乘:

$$\begin{aligned} I'_E \times K'(\xi, \eta) = & \{ [F(\xi, \eta) \otimes A(\xi, \eta)] B(\xi, \eta) \} \\ & R^*(\xi, \eta) [B^*(\xi, \eta) R(\xi, \eta)] + \{ [F(\xi, \eta) \otimes A(\xi, \eta)] \\ & B(\xi, \eta) \}^* R(\xi, \eta) [B(\xi, \eta) R^*(\xi, \eta)] + \{ [F(\xi, \eta) \otimes \\ & A(\xi, \eta)] B(\xi, \eta) \} R^*(\xi, \eta) [B(\xi, \eta) R^*(\xi, \eta)] + \\ & \{ [F(\xi, \eta) \otimes A(\xi, \eta)] B(\xi, \eta) \}^* R(\xi, \eta) [B^*(\xi, \eta) \cdot \\ & R(\xi, \eta)] \end{aligned} \quad (4)$$

通过式(4)中的第 1 项和第 2 项的傅里叶变换,可直接解密提取出原始图像 $f(x, y)$ 和其原始图像的共轭图像 $f^*(x, y)$; 第 3 项和第 4 项为随机噪声信号。

2.3 全息图实验仿真

选择像素大小为 64×64 的二值图像作为网点形状要携带的信息,对该二值图像进行全息加密/解密仿真实验,实验结果见图 2,可以看出解密图像与原图像相似度很高。然后把 4 个图 2b 全息图拼接成大小为 128×128 的全息图,对拼接后的全息图像进行二值操作,然后进行解密。由于全息图的特性,从图 3a 裁剪任意 64×64 大小的图像数据,都能解密出原图像的信息并把图 3a 中的二值数据信息作为判断网点形状的依据。

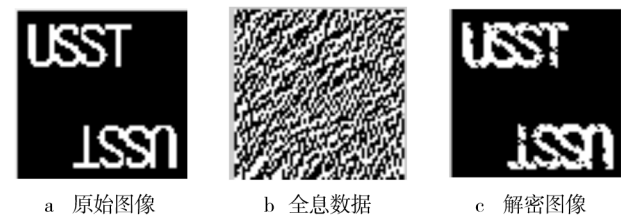


图 2 仿真全息图及解密
Fig. 2 Simulation hologram and decryption

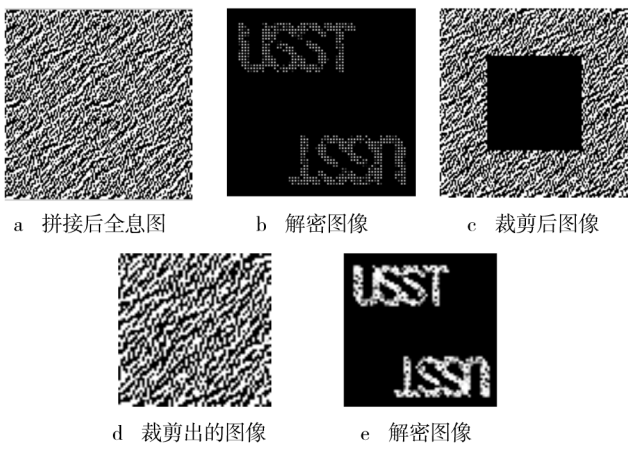


图 3 拼接和裁切的仿真图解密
Fig. 3 Stitching and cutting simulation image decryption

3 基于网点形状的全息防伪算法

3.1 网点形状加密流程

1) 采用最小阈值加网技术,通过最小阈值矩阵 A 和 B 的调幅加网,用 Matlab 软件把数字图像生成半色调图像^[14-15]。

2) 采用傅里叶加密的光全息技术,对二值图像(防伪信息)进行 2 次相位调制,最后生成傅里叶变换加密全息数据^[16-17]。然后对像素大小为 64×64 的全息图像进行拼接,拼接成像素大小为 128×128 的数据,再对该数据进行二值化,得到矩阵 H 。

3) 对半色调图像进行加网,如果 $H(i, j) = 0$, 则 $A(i, j) = B(i, j)$; 如果 $H(i, j) = 1$, 则 $A(i, j) = A(i, j)$, $A(i, j)$ 和 $B(i, j)$ 为网点单元。最后得到的加网图像见图 4, 半色调图像生成算法流程见图 5。



图 4 携带防伪信息的半色调图像
Fig. 4 Halftone image carrying security information

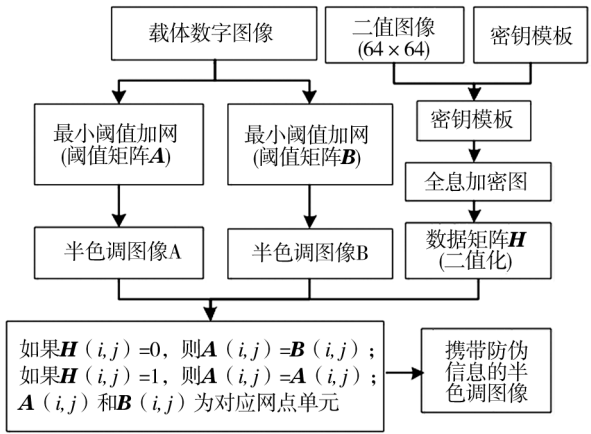


图 5 网点形状加密流程
Fig. 5 The flowchart of dot shape encryption

3.2 网点形状解密流程

1) 在图像经过印刷后,采集一块含有 64×64 个

网点单元的印刷图像,根据网点形状,判断防伪信息:如果为 **A** 阈值矩阵形状,提取数据为 1;如果为 **B** 阈值矩阵形状,提取数据为 0;最后组成矩阵 **G**;

2) 由提取的数据信息 **G** 和随机加密相位模板全息图像相乘,再进行反傅里叶变换,就得到了原嵌入的防伪信息。网点形状解密流程见图 6d。

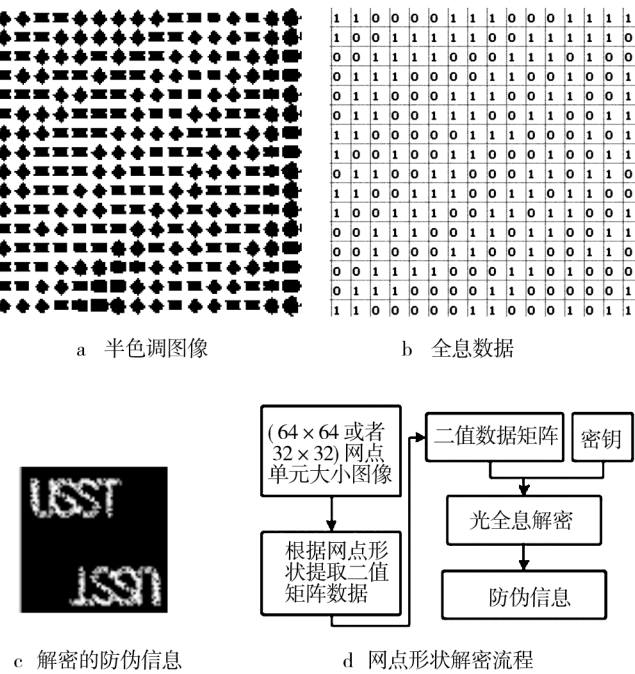


图 6 解密仿真图及解密流程

Fig.6 Decrypted simulation image and decryption flow chart

4 仿真及鲁棒性实验

该实验采用像素大小为 64×64 的二值图像作为原始防伪信息,对该防伪信息进行光全息加密预处理;采用像素大小为 128×128 的灰度图像作为要生成的半色调图像,用最小阈值矩阵原理对该图像进行加网。对携带防伪信息的加网图像任意选取网点大小为 32×32 的图像块(见图 7—8)和网点大小为 64×64 的图像块(见图 9)进行裁切,根据图像块中的网点单元,提取出防伪信息,然后对防伪信息进行解密处理,获得嵌入的防伪信息。

通过仿真实验表明:裁切网点大小为 32×32 和网点大小为 64×64 的图像块,然后对其提取防伪信息进行解密,网点大小为 32×32 的图像块能够提取到较清晰的防伪信息,网点大小为 64×64 图像块提取的防伪信息与原始防伪信息的相似度能够达到 100%,说明能够无失真地提取防伪信息;鲁棒性实验中,对提取

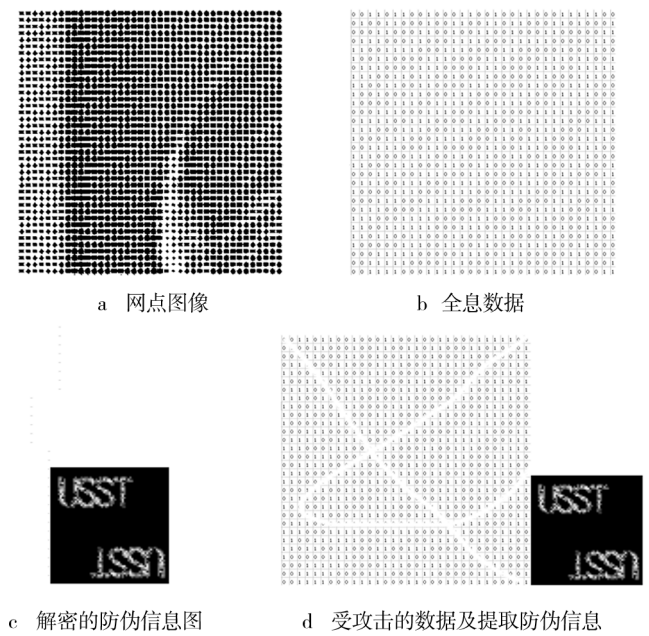


图 7 仿真解密图及攻击后解密

Fig.7 The decrypted image of simulating and attacking

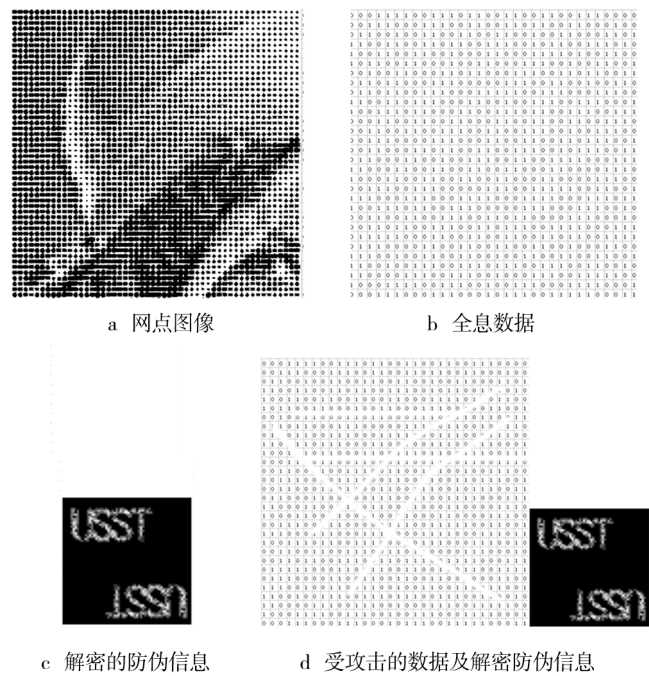


图 8 仿真解密图及攻击后解密

Fig.8 The decrypted image of simulating and attacking

出的防伪信息进行攻击,然后解密防伪信息,解密后的防伪信息与原始嵌入防伪信息的相似度能够达到 90% 以上,表明该算法有很强的抗攻击能力,在图像信息损坏的情况下仍能够解密出防伪信息,验证了该算法应用的可行性。

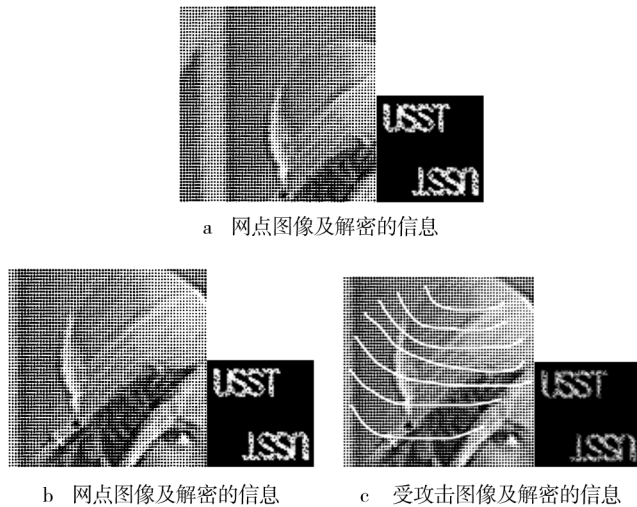


图9 仿真解密图及攻击后解密

Fig. 9 The decrypted image of simulating and attacking

5 结语

在理论分析傅里叶变换加密全息技术的基础上,对得到的全息图进行拼接,然后结合印刷加网技术,通过 Matlab 软件对防伪信息的嵌入与提取解密进行计算机仿真模拟实验,验证了该算法能够无失真地提取防伪信息。对获得的二值防伪信息进行鲁棒性攻击实验,仍能提取到较清晰的防伪信息,说明了基于网点形状的全息防伪算法有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 问双双. 基于数字加网的防伪技术的研究[D]. 广州:华南理工大学,2012.
WEN Shuang-shuang. Anti-counterfeit Technology Based on Digital Screening[D]. Guangzhou:South China University of Technology,2012.
- [2] 孟凡俊. 基于防伪随机信号调制的半色调加网防伪技术研究[D]. 北京:北京印刷学院,2011.
MENG Fan-jun. Study on the Anti-counterfeit Technique Based on the Screening Modulated by Pseudo Random Signal[D]. Beijing:Beijing Institute of Graphic Communication,2011.
- [3] 刘真,任乐义,杨晟炜. 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,YANG Sheng-wei. Application of AM Screening in Grating Anti-counterfeit Technology[J]. Packaging Engineering,2011,32(21):90—93.
- [4] 衣旭梅. 基于半色调加网防伪印刷的信息隐藏技术的研究[D]. 北京:北京印刷学院,2011.
YI Xu-mei. Study on Information Hiding Technology Based on Halftone Screening Anti-counterfeit Printing[D]. Beijing:Beijing Institute of Graphic Communication,2011.
- [5] NISHCHAL N K,JOSEPH J, SINGH K. Fully Phase Encryption Using Digital Holography[J]. Opt Eng,2004,43(12):2959—2966.
- [6] XU L,PENG X, GUO Z, et al. Imaging Analysis of Digital Holography[J]. Opt Express,2005,13(7):2444—2452.
- [7] 孙刘杰,庄松林. 加密同轴全息数字水印[J]. 光学精密工程,2007,15(1):428—431.
SUN Liu-jie,ZHUANG Song-lin. Digital Watermarking of Encrypted Inline Holography[J]. Optics and Precision Engineering,2007,15(1):428—431.
- [8] 孙刘杰,庄松林. 双随机相位加密同轴傅里叶全息水印防伪技术[J]. 光学学报,2007,27(4):225—229.
SUN Liu-jie,ZHUANG Song-lin. Forgery Prevention Based on In-line Fourier Holographic Watermark with Double Random Phase Encryption[J]. Opt,2007,27(4):225—229.
- [9] 徐锦林,陈素明. 调幅加网阈值矩阵设计方法与加网原理[J]. 中国印刷与包装研究,2009,1(3):38—42.
XU Jin-lin,CHEN Su-ming. The Design Method of Threshold Matrix and Principle for AM Screening[J]. China Printing and Packaging Study,2009,1(3):38—42.
- [10] 李孟涛,孙刘杰,李晨璐,等. 基于小波变换的傅里叶加密印刷水印算法研究[J]. 包装工程,2012,33(1):108—112.
LI Meng-tao,SUN Liu-jie,LI Chen-lu. Research on Fourier Encryption Printing Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform[J]. Packaging Engineering,2012,33(1):108—112.
- [11] 孙刘杰,李孟涛. 基于 CMYK 颜色空间的光全息水印算法研究[J]. 包装工程,2012,33(9):27—32.
SUN Liu-jie,LI Meng-tao. Study on Light Holographic Watermarking Algorithm Based on CMYK Color Space[J]. Packaging Engineering,2012,33(9):27—32.
- [12] 李孟涛,孙刘杰,刘真. 变换域加密全息水印算法[J]. 包装工程,2011,32(15):22—24.
LI Meng-tao,SUN Liu-jie,LIU Zhen. Encrypted Holographic Watermarking Algorithm Based on Transform Domain[J]. Packaging Engineering,2011,32(15):22—24.
- [13] JAVIDI B,NOMURA T. Securing Information by Use of Digital Holography[J]. Opt Lett,2000,25(1):28—30.
- [14] 周涛,钟云飞,付声静. 加网参数和类型不确定的小波变换逆半色调研究[J]. 包装工程,2012,33(23):101—104.

参考文献:

- [1] 孙丰鑫. 基于虚拟现实的集装箱岸吊仿真培训系统的集成与研究[D]. 北京:清华大学,2010.
SUN Feng-Xin. Integration and Research of Quay Crane Simulator Training System Based on Virtual Reality[D]. Beijing:Tsinghua University,2010.
- [2] 司占军,李煜. 基于 Virtools 的虚拟印刷流程展示平台的设计与研究[J]. 包装工程,2013,34(7):101—104.
SI Zhan-jun, LI Yu. Design and Study of Virtual Printing Process Display Platform Based on Virtools[J]. Packaging Engineering,2013,34(7):101—104.
- [3] 贺兵. 基于虚拟样机技术的包装机械系统仿真研究[J]. 包装工程,2008,29(2):47—49.
HE Bing. Simulation Study of Packaging Machine Based on Virtual Prototyping[J]. Packaging Engineering,2008,29(2):47—49.
- [4] 李小东,朱新莲. 印刷设备[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2002.
LI Xiao-dong, ZHU Xin-lian. Printing Equipment[M]. Changsha:National University of Defense Technology Press,2002.
- [5] 徐世垣. 无侧拉规的输纸系统[J]. 今日印刷,2005(3):72.
XU Shi-yuan. No Side Pull Gauge Feeding System[J]. Print Today,2005(3):72.
- [6] 肖巨煌,潘杰. 虚拟式侧规工作原理与特点[J]. 印刷工程,2007(2):32—33.
XIAO Shi-huang, PAN Jie. Work Principle and Characteristics of Virtual Side Gauge[J]. Printing Engineering,2007(2):32—33.
- [7] 张斌. 基于虚拟现实技术的印刷机拆装训练系统[D]. 北京:北京印刷学院,2010.
ZHANG Bin. The Dismounting Training System of Printing Machine Based on Virtual Reality[D]. Beijing:Beijing Institute of Graphic Communication,2010.
- [8] 刘怡,张洪定,崔欣. 虚拟现实 VRML 程序设计[M]. 天津:南开大学出版社,2010.
LIU Yi, ZHANG Hong-ding, CUI Xin. Design of Virtual Reality VRML Program[M]. Tianjin:Nankai University press,2010.
- [9] http://www.beirengf.com/products/products_she_2_05a.asp[EB/OL].
- [10] 朱春耕,杨雨图,蒋洪奎,等. 气瓶焊接设备的虚拟设计与改装[J]. 计算机工程与科学,2007,29(7):125—133.
ZHU Chun-geng, YANG Yu-tu, JIANG Hong-kui, et al. Virtual Design and Refitting of the Steel Cylinder Welding Equipment[J]. Computer Engineering & Science,2007,29(7):125—133.
- [11] 严嘉元. J2205、J2108 胶印机规矩部件对纸张的定位工作[J]. 广东印刷,1996(2):19—20.
YAN Jia-yuan. J2205, J2108 Offset Press Rules Component Positioning on Paper[J]. Guangdong Printing,1996(2):19—20.
- [12] 赵鸿雁,钱若曦,李东,等. 印刷机模拟操作软件研究[J]. 包装工程,2011,32(11):103—107.
ZHAO Hong-yan, QIAN Ruo-xi, LI Dong, et al. Research on Simulated Operation Software of Printing Machine[J]. Packaging Engineering,2011,32(11):103—107.
- [13] KALLMANN M. Object Interaction in Real-time Virtual Environment[D]. Switzerland:Swiss Federal Institute of Technology,2001.
- [14] CHOW Shu-kam, CHAN Kwok-leung. Reconstruction of Photorealistic 3D Model of Ceramic Artefacts for Interactive Virtual Exhibition[J]. Journal of Cultural Heritage,2009,10(2):161—173.
- [15] 刘宏芹,李小雷,高一帆. Solidworks2010 从入门到精通[M]. 北京:中国铁道出版社,2011.
LIU Hong-qin, LI Xiao-Lei, GAO Yi-fan. Solidworks2010 from Entry to Master[M]. Beijing:China Railway Publishing House,2011.
- [16] 刘怡,张洪定,崔欣. 虚拟现实 VRML 程序设计[M]. 天津:南开大学出版社,2010.
LIU Yi, ZHANG Hong-ding, CUI Xin. Design of Virtual Reality VRML Program[M]. Tianjin:Nankai University press,2010.
- [15] 王进,张逸新. 基于喷墨印刷网点扩大的加网算法研究[J]. 包装工程,2011,32(7):103—121.
WANG Jin, ZHANG Yi-xin. Study of Halftone Algorithm Based on Dot Gain in Inkjet Printing[J]. Packaging Engineering,2011,32(7):103—121.
- [16] HYUN K, YEON L. Optimal Watermarking of Digital Hologram of 3-D object[J]. Optics Express,2005,13(8):2881—2886.
- [17] TAKAI N, MIFUNE Y. Digital Watermarking by a Holographic Technique[J]. Appl Opt,2002,41(5):865—873.

(上接第126页)