

# 印刷量子点点阵信息可靠性编解码算法

邱英英, 曹 鹏

北京印刷学院高端印刷装备信号与信息处理北京市重点实验室, 北京

收稿日期: 2023年2月23日; 录用日期: 2023年3月24日; 发布日期: 2023年3月31日

## 摘 要

针对解决以印刷量子点为载体的信息点阵图像在印刷与传输的过程中所导致的信息点丢失与泄露等问题, 设计了一种可靠性编解码算法。该算法采用hash标识 + 卷积码 + 交织编码 + 盲同步等多码合一的组合编码方式将得到的码流数据进行串并变换生成印刷量子点点阵图像, 并以半色调网点的方式植入到载体图像中。经实验测试, 该组合方式所得到的点阵图像相比较于BCH编码随机性更高, 具有更加突出的检纠错能力, 信息解码识读速率更高。该算法能够有效解决印刷量子点防伪图像因漏印、污损等产生的随机性错误和突发性错误, 提高信息传输的可靠性, 使其在信息防伪领域拥有广阔的发展前景。

## 关键词

半色调, 信息隐藏, 信息防伪, 点阵图像, 可靠性编码

# Reliable Encoding and Decoding Algorithm for Printed Quantum Dot Matrix Information

Yingying Qiu, Peng Cao

Beijing Key Laboratory of Signal and Information Processing for High-End Printing Equipment, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing

Received: Feb. 23<sup>rd</sup>, 2023; accepted: Mar. 24<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2023

## Abstract

A reliable coding and decoding algorithm is designed to solve the problem of information point loss and leakage caused by the information dot matrix image using printed quantum dots as carrier during printing and transmission. The algorithm uses a combination of hash identification,

convolution code, interlacing code and blind synchronization to serialize and transform the resulting code stream data to generate a printed quantum dot matrix image, which is embedded in the carrier image as a halftone dot. The experimental results show that the lattice image obtained by this combination method has higher randomness than BCH encoding, more prominent error detection and correction capabilities, and a higher rate of information decoding and reading. This algorithm can effectively solve random and unexpected errors caused by missing prints, contamination, etc., of printed quantum dot anti-counterfeiting images, improve the reliability of information transmission, and make it have broad development prospects in the field of anti-counterfeiting information.

## Keywords

Halftone, Information Hiding, Information Security, Dot Matrix Image, Reliability Coding

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在印刷信息防伪领域中, 印刷量子点[1] [2]是不可再分的最小印刷单元, 其印刷网点的大小通常为微米级。将图像、文本、标签等各类信息经数字规范化后生成伪随机分布的印刷量子点点阵并以半色调技术[3] [4] [5]记录在承印物上, 根据人眼的低通特性, 在一定距离下, 观察到的半色调图像局部平均灰度近似于原始图像的局部平均灰度值, 从而达到信息隐藏和抗复制防伪功能。

基于印刷量子点的防伪图像因载体图像背景与印刷、传输信道环境的复杂性, 接收端很难获得完备的印刷量子点点阵信息。因此, 利用通信系统中可靠性编解码技术来提高印刷量子点隐藏信息的识读可靠性成为印刷信息防伪领域的研究热点。Cheonshik Kim [6]等人利用汉明码来提高隐藏数据在半色调图像中的嵌入率, 实现了在满足可分离可逆数据隐藏在加密图像中使图像失真度较低。Kumar [7]等人将SHA-256 哈希加密算法和 BCH 码应用于图像信息加密, 在椒盐噪声攻击的情况下仍然可以恢复秘密数据和载体图像。Yuxia Sun [8]等人将图像的像素复制为两幅图像, 水印通过综合征编码改变每个块的一个像素后嵌入到第一封面图像中, 并通过位替换嵌入到第二封面图像中的基于矩阵嵌入的加密半色调图像方法, 该方法能够在低失真的情况下实现高嵌入容量。Xiaolin Yin [9]等人利用  $4 \times 4$  模式的统计特征和每个图像中的状态序列, 动态构建 DESG, 并根据其匹配最长的公共子序列对秘密消息进行编码, 状态序列由不同变化的状态模式之间的马尔可夫跃迁嵌入, 在相同数量的可嵌入像素或图案下提高了嵌入效率, 并且通过翻转较少的像素降低了视觉失真。Zhu 等[10]研究了一种基于 BCH 码与奇偶校验码结合的信息防伪与信息隐藏算法, 得到的图像是基于 3 像素  $\times$  3 像素的空域点阵防伪图像, 实现了较好的信息嵌入率, 但是信息隐藏的效果和检纠错能力稍差。Yujun Wang [11] [12]先后提出了基于二维奇偶校验码 + BCH 码 + 交织编码 + 帧同步组合方式与 DES 加密 + 二维奇偶校验编码 + TURBO 编码 + Arnold 伪随机置乱的印刷量子点信息防伪与隐藏算法, 其算法的信息识读速率和检纠错能力都有待进一步提升。

针对如何提高算法的检纠错能力与信息点阵的嵌入率, 本文提出了一种基于卷积码的印刷量子点信息隐藏算法。该算法结合 hash 标识、交织编码、卷积码、伪随机信息置乱和信息调制实现用印刷量子点记录信息数据。

## 2. 算法设计

### 2.1. 印刷量子点信息隐藏算法

印刷量子点防伪图像在印刷和光学图像采集识读过程中存在点阵信息污损和误判问题, 为了解决由污损和误判而导致的高误码率问题和算法破译所存在的信息泄露问题, 需要对印刷量子点点阵图像的生成过程进行可靠性编码研究。这种可靠性编码方案包括如下:

#### 1) 信息预处理

对待隐藏数据进行预处理, 由于本研究算法可处理多种数据类型, 包括防伪标识、溯源服务信息、增值服务信息等不同格式的信息, 因此需要对该信息进行进制转换, 使之成为规范的二进制码流数据  $S1$ 。

#### 2) hash 签名

为了保证数据在传输过程中的有效性, 需对  $S1$  根据 hash 数字签名算法进行处理, 生成唯一的认证签名  $Q$ , 并将该签名以二进制码流数据形式排列于规范化编码数据后形成秘密信息  $S2 = [S2Q]$ 。

#### 3) 卷积码编码

卷积码[13]是美国麻省理工学院的埃里亚斯(P. Elias)最早提出的主要用来纠正随机错误的一种有记忆、非分组的信道编码技术。卷积码编码时输出码字不仅与本组输入信息有关, 还与前面若干组输入有关, 同时, 本组输入信息还影响其后若干码组的输出。为了提高数据在传输与接受时的可靠性, 将  $S2$  经过(217)卷积码编码器进行编码, 其编码器的结构如图 1 所示。

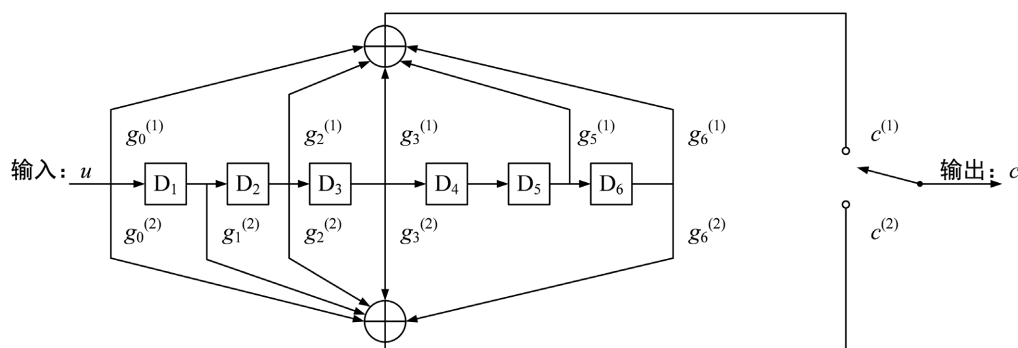


Figure 1. (217) Convolution encoder

图 1. (217)卷积编码器

当在某一个特定时刻  $k$  传输信息序列  $u(k)$  时, 对应移位寄存器  $D_i$  中保存的信息为时刻  $k-i$  传输的信息序列  $u(k-i)$ , 最终输出两个码组序列, 分别为  $c_k^{(1)}$  和  $c_k^{(2)}$ , 则其编码规则为:

$$\begin{aligned} c_k^{(1)} &= u_k + u_{k-2} + u_{k-3} + u_{k-5} + u_{k-6} \\ c_k^{(2)} &= u_k + u_{k-1} + u_{k-2} + u_{k-3} + u_{k-6} \end{aligned} \quad (1)$$

编码输出为:

$$c_k = (c_k^{(1)}, c_k^{(2)}) \quad (2)$$

将  $S2$  送入该编码器可得到编码序列  $S3$ , 其长度为  $s$ 。

#### 4) 交织编码

交织编码是将数据序列中元素的位置进行重置得到交织序列的过程, 其逆过程就是在交织序列的基础上将元素恢复到原来的位置顺序上。设交织器  $I$  的输入为:

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_N) \tag{3}$$

其中,  $u_i \in \{0,1\}, i=1,2,\dots,N$ 。交织映射输出序列记为:

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_N) \tag{4}$$

其中,  $v_j \in \{0,1\}, j=1,2,\dots,N$ 。序列  $u$  与序列  $v$  仅仅是元素位置的顺序不同。如果把输入序列和交织输出序列看成是一对含有  $N$  个元素的集合, 则交织过程就是从集合  $u$  到集合  $v$  的一一映射过程, 即:

$$I: u_i \rightarrow v_j \tag{5}$$

将 S3 送入长度为  $s$  的交织编码器中, 得到交织序列 S'3, 其序列长度与 S3 一致。在 S'3 后加入特定的二进制数据作为帧同步编码数据, 得到最终数据, 将一其进行串并变换, 生成二维信息数据, 即印刷量子点点阵本原图像  $g$ , 如图 2 所示。



Figure 2. Original image of printed quantum dot matrix  
图 2. 印刷量子点点阵本原图

5) 信息伪随机置乱

在印刷量子点植入载体图像时, 为了与载体图像大小进行匹配, 需要对印刷量子点点阵本原图像复制拼接, 拼接后的图像  $G$  会有明显的干涉条纹, 容易引起信息安全漏洞, 因此为防止不法分子对其进行伪造、抄袭或非法拷贝, 对印刷量子点点阵本原图像  $g$  进行伪随机信息置乱, 得到加数字掩膜后的印刷量子点置乱图像。与参考文献 13 不同处在于, 该伪随机置乱是指采用不同的数学模型进行伪随机置乱, 不同数据模型生成的掩膜见表 1。

Table 1. Mask images generated by different data models  
表 1. 不同数据模型生成的掩膜图像

数学模型	掩膜图像	数学模型	掩膜图像	数学模型	掩膜图像
$\text{mod}(m+n, 2)$		$\text{mod}(m+n, 3) = 0$		$\text{mod}(n, 2) - 1 = 0$	
$\text{mod}\left(\frac{m}{2} + \frac{n}{2} + 1, 3\right) = 0$		$\text{mod}\left(\frac{m}{2} + \frac{n}{3}, 2\right) = 0$		$\text{mod}\left(m \times \frac{n}{2}, 3\right) = 0$	
$\text{mod}(m \times n, 2)$ $+ \text{mod}(m \times n, 3) = 0$		$\text{mod}\left(\left(\text{mod}(m \times n, 2)\right) + \text{mod}(m \times n, 3)\right), 2 = 0$		$\text{mod}\left(m \times \frac{n}{4} - 1, 3\right) = 0$	

除去同步信息与掩膜版本信息位置外的二进制数据与上述掩膜进行异或运算, 生成置乱点阵并使得

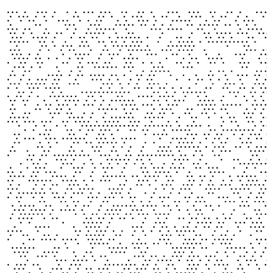
点阵的行、列及其自身的 0 位(或 1 位)的分布占比接近 50%, 且在二维空间分布上呈现随机化、均匀分布的二维点阵, 如图 3 所示。



**Figure 3.** Printing quantum dot digital mask shuffling dot matrix  
**图 3.** 印刷量子点数字掩膜置乱点阵图

#### 6) 信息调制

信息调制是指利用  $x \times y$  网格来映射印刷量子点置乱图像的每个像素块, 从而将置乱图像扩展成为具有稀疏特性的印刷量子点图像  $G'$ , 如图 4 所示。通过调制规则可以得到信息记录容量大、可靠性高的印刷量子点图像。



**Figure 4.** Printed quantum dot diagram  
**图 4.** 印刷量子点图

将上图像植入载体图像的蓝(B)通道中, 可得到印刷量子点防伪图像。

## 2.2. 印刷量子点信息识读算法

印刷量子点防伪图像存在点阵复制扩展性, 因此本研究采用截断式分块识读算法, 即对获取到的印刷量子点二进制点阵进行同步信息检测, 只要识别到同步信息就对其进行截断、分离出单个印刷量子点点阵进行解码识读, 提高印刷量子点信息识读速率。印刷量子点信息识读就是印刷量子点防伪图像生成的逆过程, 主要步骤如下所示:

#### 1) 信息解调与解置乱

首先将获取到的印刷量子点防伪图像进行信息解调, 提取出相对应的印刷量子点二进制矩阵  $G$ 。循环遍历  $G$  中所设定的同步信息, 相较于参考文献[13]中所设定的分块识读算法, 提高印刷量子点的信息识读速度。如果检测到同步信息, 根据所设置的数据掩膜版本信息, 对该完整的印刷量子点点阵进行解置乱, 可得到原始印刷量子点本原图像  $g'$ 。

#### 2) 译码

将得到的印刷量子点本原图像  $g'$ 进行并串变换, 去除同步信息以及冗余信息后将得到二进制码流序列并将其送入译码器中, 该译码器为解交织编码器与基于欧氏距离的软判决 Viterbi 算法的解码器组成。

设经过解交织后的码流序列为  $x$ , 通过计算时刻  $t$  输入与输出码流的欧氏距离的平方来得到该时刻的分支度量:

$$M(r_t|y_t) = \sum_{j=1}^n M(r_t^j|y_t^j) \tag{6}$$

其中,  $n$  为输出  $y$  的 4 种状态, 然后计算每个状态度量值与分支度量之和得到  $t$  时刻的部分路径度量:

$$M^t(r|y) = \sum_{i=0}^t M(r_i|y_i) \tag{7}$$

将  $t$  时刻的状态度量值设置为  $t$  时刻到达状态的最好部分路度量。如果有多个最好的部分路径度量, 可以选择其中任意一个。存储最好的部分路径度量及其相应的幸存路径和状态路径。当  $t \geq S+m-1$ , 读出幸存路径对应的标记为译码结果输出  $Y$ 。

### 3) 信息解密识读

将译码得到的二进制码流  $Y$ , 通过 hash 加密算法, 得到相应的签名, 与  $Y$  后的签名进行比对, 判断得到的二进制码流是否在传输过程中出现篡改, 如果签名不同, 则将该码流舍弃, 重新进行同步信息检测与译码过程; 若签名相同, 则表明该二进制码流所代表的信息在信息传输过程中未发生篡改, 对其进行反规范化处理, 即可得到原始隐藏信息。



## 3. 实验结果

实验环境采用 3.00 GHz AMD Ryzen 5 4600H with Radeon Graphics 处理器、16GB 内存、64 位 Windows11 操作系统和软件 MatlabR2021b。



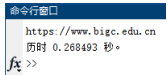


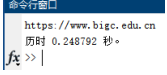


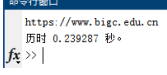


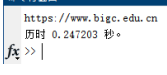


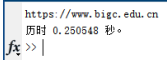
### 3.1. 检纠错功能验证

选择原始信息(<https://www.bigc.edu.cn>)对本研究算法进行测试, 为了验证文中算法的检纠错能力, 对得到的印刷量子点图像先后加入随机噪声和突发噪声, 送入译码器中进行实验。实验仿真所用的图像为印刷量子点随机截取的局部图像, 其尺寸为 80\*80。加入随机噪声的实验仿真结果见表 2 所示, 加入突发噪声的实验仿真结果见表 3 和表 4。









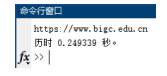


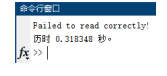
**Table 2.** Printed quantum dot matrix information reading results after adding different amounts of random noise  
**表 2.** 加入不同数量的随机噪声后印刷量子点阵信息识读结果

随机噪声数量	随机噪声掩膜图像	加噪后印刷量子点图像	提取二进制点阵	误码率	信息识读结果	解码正确率
500				6.72%		95.15%
800				10.97%		94.77%
1000				13.17%		1.67%

**Table 3.** Printed quantum dot matrix information reading results after burst noise is added at different locations  
**表 3.** 不同位置加入突发噪声后印刷量子点阵信息识读结果

突发噪声遮盖面积	位置	加噪后印刷量子点图像	提取二进制点阵	误码率	信息识读结果	解码正确率
20 × 20	左上			3.29%		97.86%
	右上			3.57%		98.24%
	居中			2.61%		98.55%
	右下			2.74%		99.01%
	左下			2.61%		98.67%

**Table 4.** Printed quantum dot matrix information reading results after adding different area burst noise at the same location  
**表 4.** 同一位置加入不同面积突发噪声后印刷量子点阵信息识读结果

突发噪声遮盖面积	位置	加噪后印刷量子点图像	提取二进制点阵	误码率	信息识读结果	解码正确率
25 × 25	居中			4.39%		97.48%
30 × 30				5.76%		98.30%
35 × 35				8.29%		96.72%
40 × 40				10.84%		0.54%

由表 2、表 3 和表 4 可知, 对加入不同程度的噪声信息后的印刷量子点点阵的误码范围低于 11% 的情况下能够进行解码识读并提取出正确原始信息, 且器解码正确率达到 94% 以上。这表明文中所提出的

算法相交于参考文献 13 具有更高的检纠错能力, 能够有效应对印刷量子点防伪图像传输过程中出现的污损情况, 且算法识读速度提升了 3~4 倍。

### 3.2. 印刷量子点防伪图像隐藏性验证

印刷量子点防伪图像是将经过可靠性编码的印刷量子点点阵以最小印刷墨点的半色调网点置入到载体图像中, 使其具有抗复制等功能。本文利用蓝通道的低视觉敏感性[14], 将点阵信息隐藏于载体图像, 得到相应的印刷量子点防伪图像。为验证印刷量子点防伪图像的鲁棒性, 选取载体图像尺寸为 256\*256, 将印刷量子点点阵进行扩展拼接剪裁后尺寸为 256\*256, 分析防伪图像的隐藏性, 不同通道下印刷量子点点阵隐藏效果如图 5 所示。

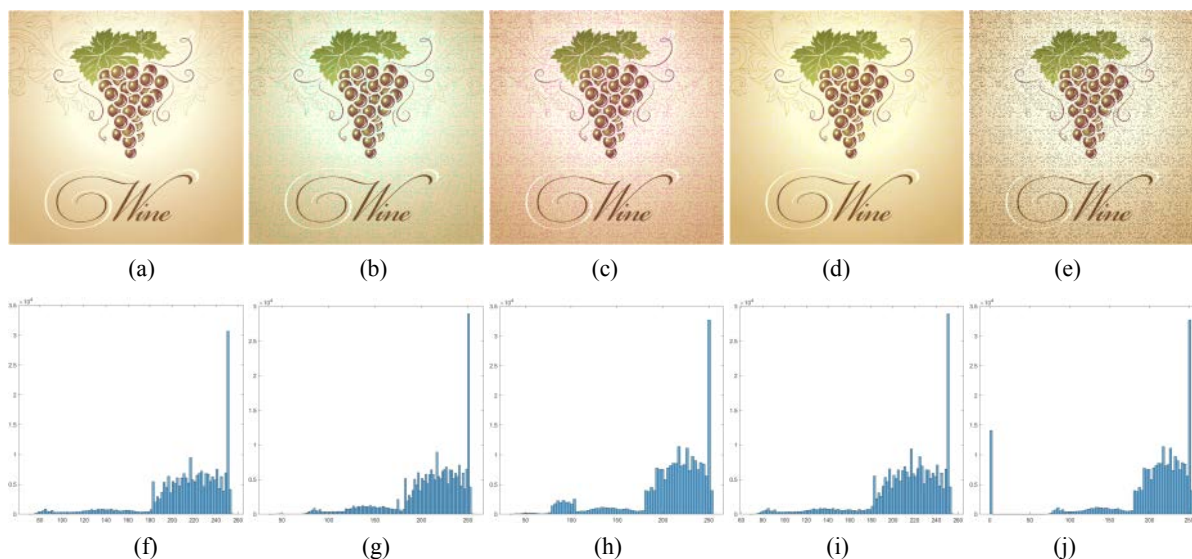


Figure 5. Hiding effect and histogram of printed quantum dot matrix in different channels

图 5. 不同通道下印刷量子点点阵隐藏效果与直方图

图中, (a)为原始载体图像, (f)为(a)所对应的灰度直方统计图, (b)、(c)、(d)和(e)分别为 R、G、B 和全通道下印刷量子点隐藏效果, (g)、(h)、(i)和(j)为对应的灰度直方图。从上图中可以对比看出, B 通道下进行点阵隐藏的效果较优于其它通道。

## 4. 结语

针对印刷量子点防伪图像在印刷信道以及图像传输信道中可能出现的噪声等污损, 设计了一种基于印刷量子点信息点阵的可靠性编码算法。将信息以印刷量子点的方式置入载体图像的蓝通道中, 不仅使信息得以隐藏, 具有抗复制性, 同时信息经过 hash 标识、卷积码编码、交织编码和盲同步编码等多码合一的组合编码方式, 在传输过程中能够检纠错并可判断信息是否被篡改。该算法检纠错能力较强、其点阵信息识读速率快。

卷积码编码只是信道编码中的一种编码方式, 不同的编码具有不同的特点。在未来工作中, 考虑到原始信息的种类以及编码方式, 可改变编码方式, 比如, 在原始信息经规范化后数据流较长, 此时可以考虑 LDPC 编码方式, 使检纠错更强、可靠性更高。

## 基金项目

国家自然科学基金面上项目(61972042)、北京市基金 - 市教委联合项目(KZ202010015023)、北京印刷学院



校级项目(21090123009)。

## 参考文献

- [1] 池稼轩, 曹鹏, 王明飞. 基于 PWM 占空比的印刷量子点图像信息识读[J]. 包装工程, 2022, 43(13): 282-295.
- [2] 朱建乐. 盲同步印刷量子点信息隐藏编解码技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京印刷学院, 2019: 12-38.
- [3] Sasan, G. (2022) A Comprehensive Halftone Image Quality Evaluation of First- and Second-Order FM Halftones. *Journal of Imaging Science and Technology*, **66**, Article ID: jist1100. <https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2022.66.1.010506>
- [4] Lu, W., Xue, Y.J., Yeung, Y., Liu, H.M., Huang, J.W. and Shi, Y. (2021) Secure Halftone Image Steganography Based on Pixel Density Transition. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, **18**, 1137-1149.
- [5] Sunpreet, S., Zou, J.J. and Gu, F. (2019) Recent Developments in Halftone Based Image Watermarking. 2019 *International Conference on Electrical Engineering Research and Practice (iCEERP)*, Sydney, 24-28 November 2019, 1-6.
- [6] Kim, C., Shin, D., Leng, L., et al. (2018) Separable Reversible Data Hiding in Encrypted Halftone Image. *Displays*, **55**, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2018.04.002>
- [7] Vinoth Kumar, C., Natarajan, V., Nirmala, K., Balasubramanian, T., Ramnarayan Rao, K. and Krishnan, S. (2019) Encrypted Separable Reversible Watermarking with Authentication and Error Correction. *Multimedia Tools and Applications*, **78**, 7005-7027. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6450-2>
- [8] Sun, Y.X., Li, Q., Yan, B., Pan, J.-S. and Yang, H.M. (2020) Reversible Data Hiding in Dual Encrypted Halftone Images Using Matrix Embedding. *Multimedia Tools and Applications*, **79**, 27659-27682. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-08626-x>
- [9] Yin, X.L., Lu, W., Liu, W.T., Guo, J.M., Huang, J.W. and Shi, Y.Q. (2021) Reversible Data Hiding in Halftone Images Based on Dynamic Embedding States Group. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, **31**, 2631-2645. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2020.3032685>
- [10] Zhu, J.L., Cao, P., Wang, X., et al. (2018) Research on Printing Quantum Dot Anti-Counterfeiting Image Generation and Recognition Technology. *Proceedings of the 4th International Conference on Communication and Information Processing*, Qingdao, 2-4 November 2018, 91-95. <https://doi.org/10.1145/3290420.3290469>
- [11] 王育军, 曹鹏. 基于印刷量子点的多重组合信息可靠性编解码算法[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 192-203.
- [12] 王育军, 曹鹏, 王明飞, 杨伟纯, 胡霄鹏. 基于 Turbo 码的印刷量子点信息隐藏算法研究[J]. 数字印刷, 2022, 219(4): 195-206.
- [13] Elias, P. (1955) Coding for Noisy Channels. *IRE Convention Record*, **3**, 37-46. [https://www.researchgate.net/publication/245682047\\_Coding\\_for\\_noisy\\_channels](https://www.researchgate.net/publication/245682047_Coding_for_noisy_channels)
- [14] Ulichney, R. and Gaubatz, M. (2020) Hiding Data in the Blue Channel. *18th Computational Imaging Conference, CI 2020* Burlingame, 26-30 January 2020, 198-1-198-6. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2020.15.COLOR-198>