

基于喷印工艺的彩色 QR 码生成参数优化研究

王晓红^{1,2}, 陈豪¹

(1.上海理工大学, 上海 200093; 2.国家新闻出版广电总局新闻出版业科技与标准重点实验室“柔版印刷绿色制版与标准化实验室”, 上海 200093)

摘要: **目的** 提高彩色 QR 码的喷印识别率。**方法** 选取嵌入信息量、纠错等级、颜色转换、码眼转换等 4 个 QR 码生成参数, 在不同打印尺寸和打印分辨率的喷印条件下进行实验, 计算彩色 QR 码的喷印识别率, 并提出优化方案。**结果** 研究了各种参数影响彩色 QR 码喷印识别率的大小, 打印尺寸、嵌入信息量、打印分辨率、纠错等级、颜色转换、码眼转换等 6 种参数对喷印识别率的影响依次递减。**结论** 通过选择合适的参数优化方案, 可提高彩色 QR 码的喷印识别率。

关键词: 彩色 QR 码; 喷印识别率; 生成参数; 打印参数

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)07-0199-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.07.036

Generation Parameter Optimization of Color QR Code Based on Jet Printing Technology

WANG Xiao-hong^{1,2}, CHEN Hao¹

(1.University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2.Laboratory of Flexo Green Plate Making and Printing Standardization, the Key Laboratory for Science and Technology of Press and Publication of the State Administration of Press, Publication, Radio, Film and Television, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the jet printing recognition rate of color QR code. The four QR code generation parameters, such as embedded information volume, error correction level, color conversion and code eye conversion were selected for the experiment under the jet printing conditions with different print sizes and print resolutions. The jet printing recognition rate of color QR code was calculated and the optimization plan was proposed. Varieties of parameters affecting the jet printing recognition rate of color QR code were studied. The influences of the six parameters, including print size, embedded information volume, print resolution, error correction level, color conversion and code eye conversion, on the jet printing recognition rate were successively decreasing. By selecting the appropriate parameter optimization scheme, the jet printing recognition rate of color QR code can be improved.

KEY WORDS: color QR Code; jet printing recognition rate; generation parameters; printing parameters

QR (Quick Response) 码具有高容量、高密度、高纠错能力等优点^[1], 已广泛应用于产品追溯、信息传递、物流运输、广告宣传、手机购物等方面, 而 QR 码的可读性是其发挥各种作用的重要前提, 因此, 提高并保证 QR 码的可读性具有重要的研究价值。

目前 QR 码的识别研究主要集中在 QR 码的图像处理方面。2003 年, 刘东等^[2]讨论了在各种噪声影响

下, QR 码数字图像的处理和识别软件的算法。2009 年, 针对全局阈值算法的缺点, 杨佳丽等^[3]提出了一种自适应阈值算法, 将 QR 码分四块处理, 减小全局阈值进行二值化而产生误判的可能性, 能够在较短的时间内分离出目标与背景。2010 年, 张民^[4]通过优化识别、定位以及条码码元信息提取的算法, 实现了 QR 码的有效识别。邹雄等^[5]研究了 QR 码图像预处理

收稿日期: 2017-06-24

基金项目: “柔版印刷绿色制版与标准化实验室” 招标课题 (ZBKT201709)

作者简介: 王晓红 (1971—), 女, 陕西人, 博士, 上海理工大学教授、硕导, 主要研究方向为数字图像处理、印刷质量在现、数字水印、色彩管理与再现。

理过程中的噪声滤除方法,提出了一种基于窗口系数的中值滤波算法。2011年,Belussi LF^[6]为解决光照不均影响QR码识别的问题,提出了改进的基于背景灰度估计的算法。2012年,路阳等^[7]引入改进的同态滤波来去除QR码图像光照不均匀的影响,再采用大津法对其实现二值化。2013年,赵群礼等^[8]利用双线性变换来消除几何形变的影响,快速的对QR码图像进行几何校正。2014年,张继荣等^[9]为消除光照不均对QR码识别的影响,提出基于背景灰度改进的二值化算法。2016年,梁盛辉^[10]通过对QR码进行预处理及定位解码技术的研究,实现了一款在Android系统上能清晰化解码的手机客户端APP应用软件。王惠华^[11]提出了一种畸变二维码校正算法,有效提高了QR码的识别率。2017年,杜菲等^[12]提出了一种基于强度和梯度先验的 L_0 正则化模糊QR码识别方法,并对原算法进行了优化和拓展应用。QR码的识别研究虽然在一定程度上可提高QR识别率,但这仅针对于本身可识别的QR码,属于后续处理,无法作用于本身不可识别的QR码。

印刷是QR码目前的主要再现方法。为减小QR码在印刷时存在的偏差,避免QR码在印刷过程中可能产生的品质不良现象,研究学者不仅在QR码的印刷生产过程中的进行质量控制,并且对纸张和喷头间的距离变换、材料变化时参数调整、后空不足问题、条空颜色组合错误^[13]等印刷方面提出了一些改进方法。QR码印刷过程的研究也是对QR码的后续处理,是通过改进印刷过程使QR码准确再现,也无法作用于本身不可识别的QR码。

大多数学者仅研究了QR码的印刷过程与扫描图像处理过程,很少有学者从QR码的生成参数方向进行研究,因此文中将基于彩色QR码的打印参数,研究生成参数对彩色QR码喷印识别的影响情况,从源头上提高彩色QR码的喷印识别率。

1 QR码的主要结构参数

QR码符号的具体表示形式是一个正方形的图形矩阵,分为功能图形与编码区格式2部分信息,见图1。功能图形中有位置探测图形、位置探测图形分隔符、定位图形和校正图形,其他空白区域为编码位置^[14]。其中,位置探测图形、校正图形、格式信息、数字和纠错码字区域与文中研究有关。

1) 位置探测图形即码眼,共有3个,分别位于图形的左上角、左下角和右上角,并且每个位置探测图形的形状都似一个“回”字。“回”字最外层的黑色正方形大小是 7×7 个模块,中间的白色正方形大小是 5×5 个模块,最内层的黑色正方形大小是 3×3 个模块,即位置探测图形在纵横方向上的颜色模块比例是 $1:1:3:1:1$ 。

2) 校正图形的形状和位置与探测图形相似,也似一个“回”字,只是较小。校正图形颜色模块比例是 $1:1:1:1:1$ 。校正图形的数目和QR码的版本成正比,QR码的版本越高,则校正图形数目越多,QR码的复杂度也就越高。

3) 格式信息分布在2个区域,均包含掩码图形和纠错等级等信息。2处的格式信息均占15位,前5位为格式数据位,第1,2位表示4个纠错等级,3,4,5位表示掩码图形参考^[15]。

4) 数字和纠错码字用于存储QR码实际保存的信息和纠错码字。

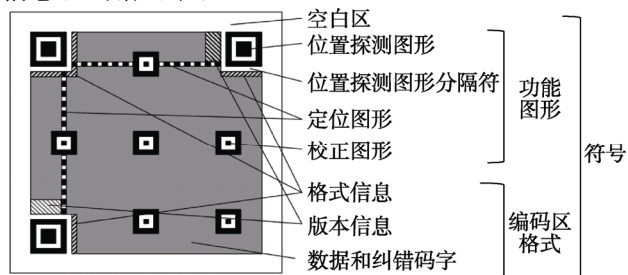


图1 QR码符号结构

Fig.1 QR Code symbol structure

2 彩色QR码喷印实验方案

2.1 实验器材

实验选用了二维码生成器、Photoshop软件、铜版纸、Epson Stylus Pro 4880C大幅面喷墨打印机、360奇酷手机旗舰版、360 Q5手机、华为P8手机、支付宝软件等。

2.2 实验内容

由于彩色QR码生成参数的设置会影响其喷印后的识别,实验将基于彩色QR码的打印参数,选取生成参数进行喷印测试,研究生成参数对QR码喷印识别的影响情况。

2.2.1 生成参数

1) 嵌入信息量。通过改变嵌入文本内容的长度表示不同的嵌入信息量,进行喷印测试。文中使用的嵌入文本内容共5种,分别为:A类“上理”,B类“上海理工大学”,C类“上海理工大学出版学院”,D类“上海理工大学出版印刷与艺术设计学院”,E类“上海市杨浦区军工路上海理工大学出版印刷与艺术设计学院”。

2) 纠错等级。根据QR码的标准文档说明,QR码的纠错等级共有4种,分别为:L级纠错率7%,M级纠错率15%,Q级纠错率25%,H级纠错率30%。选用不同的纠错等级进行喷印测试。

3) 颜色转换。不同的颜色转换会生成不同颜色分布的彩色QR码,彩色QR码进行多种颜色变换并进行喷印测试。实验研究使用的颜色变换方式为前景色水平渐变,颜色共变换5种,分别为红

(#ff0000)-蓝(#0000ff)、黄(#ffff00)-品(#ff00ff)、品(#ff00ff)-青(#00ffff)、黄(#ffff00)-绿(#00ff00)、黄(#ffff00)-青(#00ffff)。

4) 码眼变换。彩色 QR 码的码眼颜色可单独变换, 研究仅对码眼的内外框进行了相同的颜色变换。变换颜色共 3 种, 分别为红色、黄色、青色。将码眼颜色变换后的彩色 QR 码进行喷印测试。

2.2.2 打印参数

1) 打印尺寸。依据常用 QR 码大小, 选择不同的打印尺寸, 打印并检测彩色 QR 码。打印尺寸共 6 种, 分别为 1 cm×1 cm, 2 cm×2 cm, 3 cm×3 cm, 4 cm×4 cm, 5 cm×5 cm, 6 cm×6 cm。

2) 打印分辨率。选用常用的打印分辨率在不同的打印分辨率下打印并检测彩色 QR 码。打印分辨率共 6 种, 分别为 72, 180, 300, 400, 500, 600 PPI。

2.3 实验方法

在二维码生成器中设置相应的生成参数, 生成彩色 QR 码; 设置打印尺寸和打印分辨率的参数, 打印彩色 QR 码; 在相同的光照条件下, 分别使用 3 款智能手机中的支付宝软件扫描识别彩色 QR 码, 根据 10 s 内的识别情况判定彩色 QR 码的喷印识别是否成功; 重复试验, 每个彩色 QR 码打印 30 次, 并用 3 款智能手机扫描识别彩色 QR 码, 根据 3 款手机的平均识别成功数目计算该彩色 QR 码的喷印识别率。

3 实验结果与分析

该次实验中, 每个彩色 QR 码均打印了 30 次, 故每个彩色 QR 码的识别情况统计数据亦有 30 份, 根据这 30 份数据计算该彩色 QR 码的喷印识别率以表示该彩色 QR 码喷印的识别情况。识别率计算见式(1)。

$$R = \frac{a + b + c}{3N}$$
(1)

式中: R 为彩色 QR 码的喷印识别率; a 为 360 奇酷手机旗舰版识别成功的数目; b 为 360 Q5 手机识别成功的数目; c 为华为 P8 手机识别成功的数目; N 为该彩色 QR 码打印的总数目, 实验中 $N=30$ 。

该实验对各参数进行组合生成彩色 QR 码, 并进行了喷印测试, 文中后续将从所得数据中选取样例进行实验分析及说明。

3.1 嵌入信息量与识别率的关系

彩色 QR 码根据打印尺寸要求, 嵌入适当的信息量。彩色 QR 码的打印尺寸一定时, 嵌入信息量越大, 彩色 QR 码的复杂度越高, 彩色 QR 码的喷印识别率越低, 见表 1。在该次实验中, 当打印尺寸为 1 cm×1 cm 时, 嵌入信息量不要超过 B 类内容, 即不要超过 6 个汉字; 当打印尺寸为 2 cm×2 cm 时, 嵌入信息量不要超过 D 类内容长度, 即不要超过 17 个汉字。彩色 QR 码的打印分辨率越高, 其识别率越高, 见表 1。在该次实验中, 应尽量选择 400PPI 及以上的打印分辨率, 保证彩色 QR 码可识别。

表 1 喷印识别率-嵌入信息量
Tab.1 Jet printing recognition rate-embedded information volume

类型	打印尺寸/cm (H 级, 黄-品, 72 PPI)						打印分辨率/PPI (H 级, 黄-青, 2 cm×2 cm)					
	1×1	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6	72	180	300	400	500	600
A 类	100	100					100	100	100			
B 类	80	100					100	100	100			
C 类	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
D 类	0	100					100	100	100			
E 类	0	33.33					10	56.67	83.33			

3.2 纠错等级与识别率的关系

彩色 QR 码需根据嵌入信息量和打印尺寸选择合适的纠错等级。打印尺寸一定, 嵌入信息量较小, 复杂度不高时, 纠错等级越高, 彩色 QR 码的喷印识别率越高, 越容易识别, 见表 2。打印尺寸一定, 嵌入信息量较大, 复杂度较高时, 纠错等级越高, 彩色 QR 码的复杂度二次增幅越大, 影响彩色 QR 码的识别, 降低识别率, 使彩色 QR 码不易识别, 见表 2。故在该次实验中, 若嵌入信息量为 A 类, 打印尺寸为 1 cm×1 cm 时, 选择 H 级纠错等级; 若嵌入信息

量为 E 类, 打印尺寸为 2 cm×2 cm 时, 选择 M 级或 L 级纠错等级; 若要选择 H 级纠错等级, 则需扩大打印尺寸。彩色 QR 码的打印分辨率越高, 其识别率越高, 见表 2, 故在该次实验中, 应尽量选择 400 PPI 及以上的打印分辨率, 保证彩色 QR 码可识别。

3.3 颜色转换与识别率的关系

彩色 QR 码根据需求及美观选择合适的深色调作为颜色变换的主色调。彩色 QR 码的颜色越深, 喷印识别率越高, 彩色 QR 码的颜色越浅, 喷印识别率越低, 见表 3。

表 2 喷印识别率-纠错等级
Tab.2 Jet printing recognition rate- error correction level

等级	打印尺寸/cm						打印分辨率/PPI (E 类, 黄-青, 2 cm×2 cm)			
	(B 类, 黄-青, 72 PPI)			(E 类, 黄-青, 72 PPI)						
	1×1	2×2~6×6		1×1	2×2	3×3~6×6	72	180	300	400~600
H 级	76.67			0	10		10	56.67	83.33	
Q 级	63.33	100		0	30	100	30	73.33	90	100
M 级	60			0	100		100	100	100	
L 级	43.33			0	100		100	100	100	

表 3 喷印识别率-颜色转换
Tab.3 Jet printing recognition rate-color conversion

颜色	打印尺寸/cm (E 类, H 级, 72 PPI)						打印分辨率/PPI (B 类, L 级, 1 cm×1 cm)					
	1×1	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6	72	180	300	400	500	600
黑色	0	100					63.33	100	100			
红-蓝	0	100					60	100	100			
黄-品	0	33.33					53.33	90	100			
品-青	0	93.33	100	100	100	100	60	100	100	100	100	100
黄-绿	0	23.33					50	83.33	96.67			
黄-青	0	10					43.33	73.33	90			

彩色 QR 码各颜色变换的识别率高低情况如下：黑色≥红-蓝渐变≥品-青渐变≥黄-品渐变≥黄-绿渐变≥黄-青渐变。故在该次实验中，若无需美化 QR 码，则选择原始黑色。若需对 QR 码进行美化处理，则尽量选择较深的颜色为主色调，如红色和蓝色；尽量避免使用浅色为主色调，如黄色和青色。

彩色 QR 码的打印尺寸越大，打印分辨率越高，其识别率越高，见表 3。故在该次实验中，尽量选择 3 cm×3 cm 及以上打印尺寸，400 PPI 及以上的打印分辨率来进行参数优化，保证彩色 QR 码可识别。

3.4 码眼变换与识别率的关系

彩色 QR 码根据需求及美观选择合适的码眼颜色变换，码眼颜色尽量与彩色 QR 码主色调接近或与其他区域颜色相似。码眼颜色与其他区域的颜色越接近，对喷印识别率的影响越小，彩色 QR 码越容易识别；码眼

颜色与其他区域的颜色差越大，对喷印识别率的影响越大，越不易识别，见表 4。故在该次实验中，若彩色 QR 码无需进一步美化处理，则不改变码眼颜色。若需对彩色 QR 码进行码眼变换，在不影响美观情况下，尽量选择与彩色 QR 码主色调接近或与其他区域颜色相似的颜色。彩色 QR 码的打印尺寸越大，打印分辨率越高，其识别率越高，见表 4。则在该次实验中，参数优化应尽量选择 3 cm×3 cm 及以上打印尺寸，400 PPI 及以上的打印分辨率，保证彩色 QR 码可识别。

3.5 参数优化总结

通过分析试验所得数据，总结得出彩色 QR 码喷印的最佳工艺参数，见表 5—6。按所得参数方案进行参数优化设置，可提高彩色 QR 码的喷印识别率，改善彩色 QR 码的识别情况。

表 4 喷印识别率-码眼变换
Tab.4 Jet printing recognition rate- code eye conversion

颜色	打印尺寸/cm (E 类, H 级, 黄-品, 72 PPI)						打印分辨率/PPI (E 类, H 级, 红-蓝, 2 cm×2 cm)					
	1×1	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6	72	180	300	400	500	600
原色	0	33.33					100	100	100	100	100	100
红色	0	30					100	100	100	100	100	100
黄色	0	36.67	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0
青色	0	10					26.67	53.33	80	100	100	100

表 5 最佳工艺参数-已知打印尺寸
Tab.5 The best technological parameters—known print size

打印尺寸	嵌入信息量	纠错等级	彩色 QR 码颜色	码眼颜色	打印分辨率
1 cm×1 cm	6 个汉字以内				
2 cm×2 cm	17 个汉字以内	H 级	黑色、红色、蓝色等深色	不变或相近色	400 PPI 以上
3 cm×3 cm	26 个汉字以内				

表 6 最佳工艺参数-已知嵌入信息量
Tab.6 The best technological parameters—known embedded information volume

嵌入信息量	打印尺寸	纠错等级	彩色 QR 码颜色	码眼颜色	打印分辨率
6 个汉字以内	1 cm×1 cm	H 级	黑色、红色、蓝色等深色	不变或相近色	400 PPI 以上
6—17 个汉字	2 cm×2 cm	H 级			
17—26 个汉字	2 cm×2 cm	M 级			
	3 cm×3 cm	H 级			

4 结语

基于彩色 QR 码的生成参数和打印参数 2 个方向，对彩色 QR 码进行了喷印测试及检测，研究了相关参数对彩色 QR 码喷印识别的影响情况。研究表明，彩色 QR 码的打印尺寸、嵌入信息量、打印分辨率、纠错等级、颜色转换、码眼转换这 6 种参数对彩色 QR 码的喷印识别率的影响依次递减。通过选择合适的参数方案，可提高彩色 QR 码的喷印识别率。文中所得结论与工艺参数可用于彩色 QR 码的实际印刷，具有一定的实用性，且研究方法可应用于其他印刷工艺，具有一定的参考价值和推广意义。

参考文献：

[1] 刘丽, 周亚建. 二维条码数字水印技术研究[J]. 信息网络安全, 2014(1): 56—60.
LIU Li, ZHOU Ya-jian. Research of Two Dimension Bar Code and Digital Watermarking Technology[J]. Netinfo Security, 2014(1): 56—60.

[2] 刘东, 高西全. QR 码图像处理及识别算法的研究[J]. 电子科技, 2003, 28(1): 42—44.
LIU Dong, GAO Xi-quan. Research on QR Code Image Processing and Recognition Algorithm[J]. It Age, 2003, 28(1): 42—44.

[3] 杨佳丽, 高美凤. QR 码图像二值化的研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(35): 176—178.
YANG Jia-li, GAO Mei-feng. Research on Binarization Algorithm for QR Code[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(35): 176—178.

[4] 张民. QR 码识别算法研究及其在嵌入式系统上的实现[D]. 上海: 东华大学, 2010.
ZHANG Ming. Research on Recognition Algorithm of QR Code and the Implementation in Embedded System[D]. Shanghai: Donghua University, 2010.

[5] 邹雄, 何翠群, 刘国栋, 等. 一种快速响应码的图像二值化方法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(9): 1277—1280.
ZOU Xiong, HE Cui-qun, LIU Guo-dong, et al. A Binarization Method of Quick Response Code Image[J]. Chinese Journal of Sensors And Actuators, 2010, 23(9): 1277—1280.

[6] BELUSSI L F, HIRATA N S. Fast QR Code Detection in Arbitrarily Acquired Images[J]. Graphics, Patterns and Images(Sibgrapi), 2011: 281—288.

[7] 路阳, 高慧敏. 光照不均 QR 码图像二值化研究[J].

太原科技大学学报, 2012, 33(5): 396—400.
LU Yang, GAO Hui-min. Study on QR-Coded Image Binarization Method under Non-uniformed Illumination[J]. Journal of Taiyuan University of Science and Technology, 2012, 33(5): 396—400.

[8] 赵群礼, 周秋平, 史君华. QR 二维码的图像识别技术探讨[J]. 合肥师范学院学报, 2013, 31(3): 24—26.
ZHAO Qun-li, ZHOU Qiu-ping, SHI Jun-hua. A Discussion on Image Recognition Technology about QR Code[J]. Journal of Hefei Normal University, 2013, 31(3): 24—26.

[9] 张继荣, 王利军. 一种改进的 QR 码图像二值化算法[J]. 现代电子技术, 2014, 37(7): 56—58.
ZHANG Ji-rong, WANG Li-jun. Improved Binaryzation Algorithm of Modified QR Code Image[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(7): 56—58.

[10] 梁盛辉. 复杂环境下手持设备 QR 码清晰化解码技术的研究与应用[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
LIANG Sheng-hui. Research and Application on the Clarity of QR Code Decoding Technology of Handheld Devices in Complex Environment[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2016.

[11] 王惠华. 畸变二维码校正算法研究与实现[D]. 北京: 北京印刷学院, 2016.
WANG Hui-hua. The Research and Implementation of Correction Algorithm for Distorted QR Code[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2016.

[12] 杜菲, 曾台英. 基于强度和梯度先验的 L_0 正则化模糊 QR 码识别[J]. 包装工程, 2017, 38(3): 150—154.
DU Fei, ZENG Tai-ying. Recognition of Fuzzy L_0 -Regularized QR Code Based on Intensity and Gradient Priori[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(3): 150—154.

[13] 王春华. 二维码印刷生产过程中的质量控制[J]. 今日印刷, 2017(3): 68—69.
WANG Chun-hua. Quality Control in the Production of Two-dimensional Code Printing[J]. Print Today, 2017 (3): 68—69.

[14] 许波涛. 二维码的研究及应用[D]. 镇江: 江苏大学, 2013.
XU Bo-tao. Research and Application of Two-dimensional Code[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2013.

[15] 刘晓东. 基于 J2ME 的 QR Code 条码识别技术研究及实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
LIU Xiao-dong. Research and Implementation of QR Code Recognition Technology Based on J2ME[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.