

DM+: 一种融合数字编码的可扫描图像生成技术

于剑楠¹⁾ 李辉勇¹⁾ 李青锋¹⁾ 牛建伟¹⁾ 徐明亮²⁾ 曹 倩³⁾

¹⁾(北京航空航天大学计算机学院 北京 100191)

²⁾(郑州大学信息工程学院 郑州 450001)

³⁾(北京工商大学计算机与信息工程学院 北京 100048)

摘 要 二维码作为一种可扫描的图像信息载体被广泛应用于快速便捷地获取关键信息. 然而, 为了确保扫描的健壮性, 目前大部分二维码采用黑白块构成, 外观单调, 并且无法将二维码的外观信息及其承载的信息关联, 这从一定程度上给二维码的使用和推广带来了诸多不便. 该文提出一种融合数字编码的可扫描图像生成方案. 首先, 提出了一种基于局部自适应的图像亮度调整算法对图像进行预处理, 根据图像亮度分布情况进行自适应调整, 突出图像色彩, 为二维码融合奠定基础; 其次, 设计了一种基于高斯消元与图像显著性的二维码模块顺序调整算法, 通过提取图像的显著性区域获得显著性矩阵, 并依此调整二维码模块优先级, 使生成的二维码中间结果与待融合的输入图像具有更好的结构相似性; 最后, 在兼容传统 DM 码编码器基础上, 提出了一种基于权重矩阵的图像融合算法, 保证扫描健壮性的同时, 提高二维码视觉效果. 实验结果表明该方案生成 400 像素以下的二维码图片耗时小于 1 s, 并且保证扫描成功率大于 92% 的前提下, 比现有的艺术二维码具有更好的视觉效果, 较好解决了二维码美感和健壮性的冲突问题, 拓宽了二维码的应用场景.

关键词 Data Matrix 码; 图像融合; 高斯消元; 图像显著性; 视觉效果

中图法分类号 TP391 **DOI 号** 10.11897/SP.J.1016.2019.02035

DM+: A Scanning Image Generation Technique Based on Digital Coding

YU Jian-Nan¹⁾ LI Hui-Yong¹⁾ LI Qing-Feng¹⁾ NIU Jian-Wei¹⁾ XU Ming-Liang²⁾ CAO Qian³⁾

¹⁾(School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191)

²⁾(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001)

³⁾(School of Computer and Information Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract As a kind of information carrier which can be scanned, two-dimensional code is widely used to obtain key information quickly and conveniently. In daily life, we can see the two-dimensional code in many places. Such as advertising pages, promotional pages, product packaging and so on. However, at present, in order to ensure the scanning robustness of two-dimensional code, most of the two-dimensional codes are formed by black and white blocks, which are monotonous in appearance and can not relate the appearance information of the code to the carried information, which has brought a lot of inconvenience to the use and promotion of two-dimensional code. The reason for this is that the two-dimensional code encodes information in black and white. The larger the difference between black and white blocks, the easier it is to be identified when scanning. However, this means that the visual effect of the two-dimensional code will getting worse. In this paper, we proposed a scannable image fusion scheme based on digital coding. The information is

收稿日期: 2017-12-06; 在线出版日期: 2018-07-19. 本课题得到国家自然科学基金(61602024, 61702018)资助. 于剑楠, 硕士研究生, 主要研究方向为移动计算和计算机图像处理. E-mail: 13061044@buaa.edu.cn. 李辉勇, 博士, 实验师, 主要研究领域为嵌入式图像处理和智能计算. 李青锋, 硕士研究生, 主要研究方向为机器视觉、人工智能. 牛建伟, 博士, 教授, 中国计算机学会(CCF)高级会员, 主要研究领域为计算机图形图像处理. 徐明亮(通信作者), 博士, 教授, 研究方向为计算机图形图像处理. E-mail: iexumingliang@zzu.edu.cn. 曹倩, 博士, 副教授, 主要研究领域为图像处理和并行计算.

used to generate a two-dimensional code, and by combining any given picture with the generated two-dimensional code, a new two-dimensional code having the scanability of the two-dimensional code and the visual effect of the picture is generated. Firstly, we propose a local adaptive image brightness adjustment algorithm for image preprocessing. According to the image brightness distribution, adaptive adjustment is made to highlight the color of the image, Which lays a foundation for the integration of two-dimensional code. Besides, the adjustment of picture brightness can enhance the visual effect of the picture itself to a certain extent. Secondly, We use a two-dimensional code module sequence alignment algorithm that combines the Gaussian elimination method with the saliency of the image, the saliency matrix is obtained by extracting the salient regions of the image, and the priority of the two-dimensional code module is adjusted accordingly so that the intermediate result of the code has better structural similarity with any input image to be fused. This allows the resulting two-dimensional code image to be scanned correctly as much as possible with similar visual effects to the original input image. Finally, based on the compatibility with the traditional DM code scanner, an image fusion algorithm is proposed to ensure the scanning robustness and improve the visual effect of two-dimensional code. The two-dimensional code intermediate results generated are merged with the input images to be merged to generate the final artistic two-dimensional code. The generated two-dimensional code image has good visual effect, and can better integration with the background, not very unexpected, so as to give users better experience. The experimental results show that the proposed scheme can generate less than 400 pixels two-dimensional code images in less than one second. Compared with the artistic two-dimensional codes in related work, the two-dimensional code generated in this article has a better visual effect than the existing two-dimensional art codes with a guaranteed scanning success rate of 92%, which solves the conflict between aesthetics and robustness of two-dimensional code and broadens the application scenario of two-dimensional code. In addition, the generation of artistic two-dimensional codes facilitates the promotion and development of two-dimensional codes.

Keywords Data Matrix code; image fusion; Gauss elimination; image saliency; visual effect

1 引 言

在增强现实技术中,通常采用摄像头捕捉标记图像并展示对应的信息,实时将虚拟画面叠加在现实世界中,从而实现互动.在该过程中,标记图像的捕捉准确度和响应时间将直接影响用户体验^[1].然而,在当前技术水平下,直接对物体进行准确识别仍存在一定难度,通常采用辅助设置标记图案的方法来降低识别难度^[2],但是该方法会受到其视觉外观效果及信息容量大小的限制^[3-6].二维码作为一种可扫描的标记图案,目前一般采用某种特定的几何图形按一定规律分布并构成黑白相间的图形来记录数据^[7],使用者通过图像采集设备或光电扫描设备自动识读并快速还原原始信息^[1,8-10].在识别过程中,由于光线、拍摄设备、拍摄角度等因素影响无法保证全部识别成功,因此在二维码中需要加入

容错机制来保证扫码成功率.但是,在实际应用中,传统黑白二维码在一定程度上会影响应用场景的视觉效果,比如个人名片、平面广告等.因此美化二维码在保证携带有效信息的同时使其与背景完美融合显得尤为重要.然而对二维码外观的更改,将增大扫码器对二维码版本、颜色识别难度,进而影响识别准确率及扫描速度^[11],降低扫码健壮性.

鉴于上述问题,本文研究并改进现有二维码编码方案,将 DM(Data Matrix)码与任意一张图像融合,提出了一种融合数字编码的可扫描图像生成技术方案.该方案通过设计一种图像局部自适应亮度调整算法,并巧妙地利用里德所罗门码的性质对模块顺序进行调整,构建良好的结构特性.此外,还提出了基于权重矩阵的模块融合算法,在尽可能降低信息损失,保证在原始信息不受侵害的同时,有效地解决二维码视觉外观与扫描健壮性之间的冲突,从而获得一种兼顾良好视觉外观和扫描健壮性的数字

编码图案,不但解决了传统二维码视觉外观单调的问题,同时,将其作为增强现实技术标记图案,还能够方便携带大量数据信息,并与外部环境良好融合,可以为用户提供更好的沉浸式体验. 本文的贡献主要包括以下三点:

(1) 提出一种图像局部自适应亮度调整算法. 在图像预处理过程中,根据图像亮度分布情况进行自适应调整,从而突出图像色彩,为二维码融合奠定基础;

(2) 提出一种结合高斯消元方法与图像显著性的模块调整算法. 通过利用图像的显著性区域提取算法获得显著性矩阵,并依此调整二维码模块优先级,使生成的二维码中间结果与任意一张输入图像具有更好的结构相似性;

(3) 提出一种新型二维码扫描图像生成方案. 在兼容传统 DM 码扫码器的前提下,提出一种图像融合算法,不但保证了扫描健壮性,同时,提高二维码视觉效果.

本文在第 2 节介绍现有二维码优化的相关工作;第 3 节提出一种新型二维码扫描图像生成方案,并阐述新型二维码 DM+ 的生成过程;第 4 节介绍相关实验并进行实验结果分析;第 5 节总结全文.

2 相关工作

目前,根据编解码方案是否兼容现有二维码标准,可以将二维码优化的研究分为两类:第一类是基于现有的某种二维码进行优化,生成的最终结果可以被现有扫码器正常扫描^[12-14];第二类是不再受现有标准限制,通过综合考量二维码视觉效果和扫描健壮性,提出新的编解码方案^[15-16].

对于第一类研究,2012 年 Cox^① 提出 Qart 生成方法,这是较早对 QR(Quick Response)码优化的研究. 该方法结合编码原理和里德-所罗门码特性,通过调整 QR 码的编码内容来匹配要融合的图案,从而达到美化 QR 码的目的. 然而该方案生成的 QR 码仅调整了二维码模块顺序,仍然保留了 QR 码的黑白块外观,所以,其美化效果仍然有待提升. 此外,由于其算法特性,使用场景被局限在了网址链接. 2013 年 Chu 等人^[12] 提出了一种 Halftone QR 码生成算法,该算法与 Qart 不同,其核心思想是结合一般扫码器的采样规则,将 QR 码的每个模块细分为多个 3×3 子模块,保持中间子模块与原二维码对应模块颜色一致,而剩下的 8 个子模块结合输入图

像的 Halftone 结果和模块扫描概率进行选择. 该算法生成的二维码在外观方面相对于传统二维码得到了明显的提升,但是,由于非线性 halftone 算法的使用,使二维码的生成效率被降低. Visualead 算法为保证扫码成功率,直接对原图进行亮度调整以区分黑白模块,视觉效果难以令人满意. Lin 等人^[13] 提出了一种结合显著性区域提取和模拟退火算法的二维码优化方法,该方法的原理主要是去除一些冗余信息,并将对应的模块颜色更改为输入图像的颜色,所以,生成的二维码的扫描健壮性容易受到影响. 并且该算法主要适用于高版本的二维码图像,对于日常生活中普遍使用的低版本二维码,美化效果仍需要改进. Lin 等人^[7] 采用的方案是先将 QR 码按照 Qart 算法进行编码调整,再将得到的新 QR 码与原图像进行融合,调整图像中间区域使其更加逼近于原图像色彩,以获得不错的视觉效果. 由于该算法专注于追求视觉效果,导致容易损害 QR 码的健壮性. 2015 年 Zhang 等人^[14] 提出一种基于两阶段图像混合技术的艺术 QR 码生成算法,通过 QR 码模块调整及模块中心亮度调整等一系列方法,设计了一种视觉效果优秀的艺术 QR 码生成算法. 该算法主要是基于经验模型,其扫描健壮不够稳定,对于部分图像可能会出现无法扫描的情况.

对于第二类的研究,在二维码的选取上突破了现有二维码的限制,通过设计一套新的编解码方案来达到生成艺术二维码的目的,如 Chen 等人提出的 PiCode^[15] 和 Yang 等人^[16] 提出的 ARTcode. 这类艺术二维码在设计编码方案时将二维码美观度作为一个重要方面考量,因此生成的结果往往具有良好的视觉效果,与原图有一定的相似性. 然而这类二维码面临的首要问题就是由于解码规则与现有解码器的解码算法不兼容,所以在扫描的时候必须使用其提供的专用扫码器,这给二维码的使用和推广带来了诸多不便. 此外,由于对视觉效果追求,这类二维码对像素颜色的准确度及区分度要求较高,在扫描时容易受环境影响,在某些扫描环境下扫描成功率和速度难以令人满意.

综上所述,现有二维码优化的研究在提高外观效果的同时带来了二维码扫描健壮性降低的问题. 鉴于此,本文提出一种兼具视觉效果和扫码健壮性的新型二维码 DM+ 生成方案. DM+ 码是一种基于 Data Matrix 码与任意一张输入图像融合生成,其主

① Qart codes, <http://research.swtch.com/qart> 2017, 11, 10

要优点包括:(1)DM+码的定位符只出现在码的四周,码内部没有定位符等信息,所以更加容易根据图像色彩调整模块排列顺序,避免融合结果在定位符区域的视觉冲突;(2)DM+码具有信息容量大、尺寸灵活等特点,能够很好满足实际应用需求;(3)DM+码完全兼容 Data Matrix 规范,可以直接利用 Data Matrix 码扫码器扫描并解析 DM+码所包含内容,在推广应用方面更容易被人们接受。

3 DM+方案设计

DM 码是一种常用的二维码,其将原始输入信息编码为里德所罗门码,并按照相关编码标准,进行黑白模块的排列分布。而 DM+码在兼容原有 DM 码的编码标准基础上,将其与任意一张输入图像相互融合,获得一种具有更佳视觉外观的可扫描数字

编码图案。图 1 所示为 DM+码生成流程图。

图像亮度的对比可以使其产生层次感,突出图像的关键部分^[17]。在 DM+码生成过程中,首先通过设计一种图像亮度的自适应调整算法,对输入的待融合图像进行亮度调整,将任意一张输入图像 I_o 进行处理并获得色彩更加鲜亮的图像 I_p 。之后,通过图像灰度化操作获取灰度图像 I_g ,进一步,提出一种模块化算法对 I_g 进行处理并获得图像 I_m 。同时,将待编码信息按照 Data Matrix 码的标准编码方案进行编码生成 DM。通过显著性提取算法,提取原输入图像 I_o 的视觉关键区域 I_s ,并依此结合高斯消元算法,调整 DM 的底层编码顺序,使其在整体视觉结构上更加拟合图像 I_m ,从而获得中间结果 DM_g 。最后,基于权重矩阵,结合图像显著性分布情况 I_s ,将图像 I_p 与中间结果 DM_g 进行融合,获得输出图像 DM+。

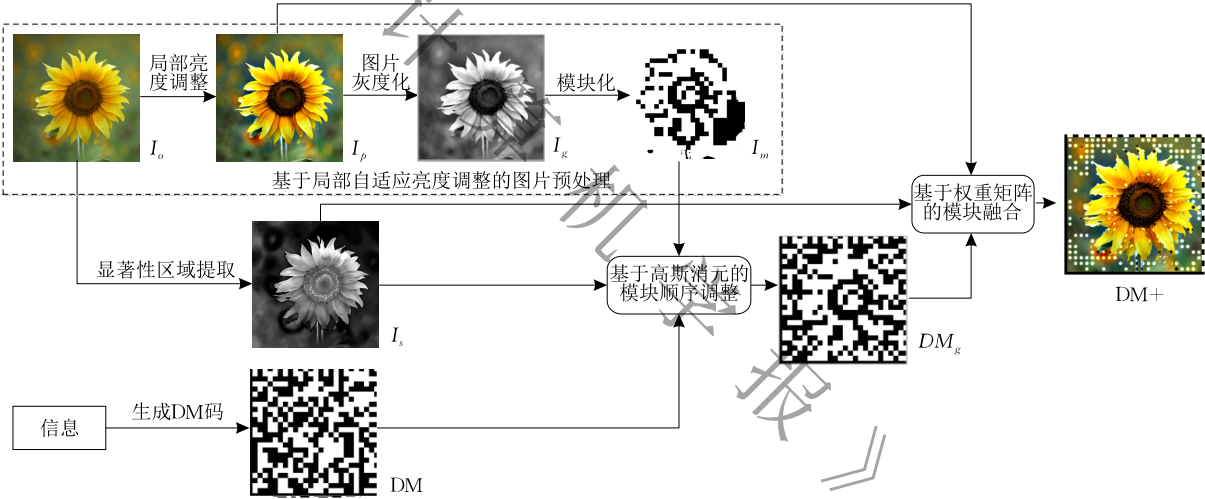


图 1 DM+生成流程图

3.1 基于局部自适应的亮度调整算法

图片与 Data Matrix 码融合之前,需要对其进行预处理,获得视觉效果和扫描健壮性良好的编码图案,有利于进行融合操作。在实际扫描过程中,摄像头拍摄所获得的图像可能受光照、角度、拍摄设备的影响,使其与原图的色彩有所差异。此外,目前扫码器在获得图像之后,均是彩色图像直接转换为二值图像,并在二值图像上进行数据的采样和解码,所以,阈值化的结果正确与否与二维码的扫描健壮性密切相关。

目前几乎所有扫码器都是在开源库 Zxing^① 的基础上开发,均采用局部阈值化方法,即根据像素点周围像素亮度情况确定该点阈值,由此可知:(1)某像素周围的像素亮度分布情况会影响该像素阈值化

结果;(2)某像素与周围像素的整体亮度分布差异越大,该像素被阈值化正确的概率越大。因此,设计一种图像局部自适应亮度调整算法,通过改变局部亮度分布情况,提高像素被阈值化正确概率,从而间接保障生成二维码的扫描健壮性。

在实际亮度调整过程中,根据原始输入图像的亮度变化情况进行划分,对于图像局部亮度变化较大,其本身与周围像素具有较大差异的区域,仅进行细微调整,而对于局部亮度变化较小,其与周围像素色彩近似的区域,通过扩大其亮度分布差异,从而提高该区域在扫描时阈值化正确的概率。

首先,假定 $L(x,y)$ 为图像 I_o 中 (x,y) 点的亮度

① Zxing, <https://github.com/zxing/zxing> 2017,11,10

值,选定 $(2n+1) \times (2n+1)$ 的滤波窗口,则有

$$M_{L(x,y)} = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{i=x-n}^{x+n} \sum_{j=y-n}^{y+n} L(i,j) \quad (1)$$

然后,计算局部方差,则有:

$$S_{L(x,y)}^2 = \frac{1}{(2n+1)^2} \sum_{i=x-n}^{x+n} \sum_{j=y-n}^{y+n} [L(i,j) - M_{L(x,y)}]^2 \quad (2)$$

得到局部方差后,即可对像素点的亮度进行调整:

$$f(x,y) = M_{L(x,y)} + \frac{D}{S_{L(x,y)}^2} [L(x,y) - M_{L(x,y)}] \quad (3)$$

其中 $f(x,y)$ 为调整后 (x,y) 位置的亮度值; D 为常数,用于影响亮度调整幅度, D 过小导致图片亮度调整不明显,过大又会严重损伤图片视觉效果,通过实验对比,当 D 取5、15、30时,会对图片视觉效果产生不同影响,如图2所示。本文取 $D=15$ 。 $S_{L(x,y)}^2$ 保证了算法是自适应的,在图像的边缘以及变化剧烈的区域,局部方差比较大,算法对亮度的调整比较小,较好地保留了图片的视觉信息。而对于亮度差异较小的区域,较大的亮度调整可以保证模块阈值化准确性。

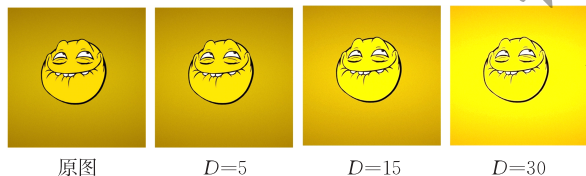


图2 不同 D 对亮度调整结果的影响

此外,该调整算法通过调整图像的亮度,有助于在图像融合阶段,很好地避免原始输入图像与二维码模块之间的视觉冲突,有利于提高DM+码的视觉效果。

3.2 图像模块化方法

为进行3.3节中的模块顺序调整,需要将灰度化的原图与相应的二维码模块一一对应,即模块化操作。传统的图像模块化方法将模块内的所有位置看作同等重要,通常是直接计算一个模块内所有像素灰度值的平均值,然后与给定的阈值比较得到模块化结果^[14]。然而根据目前常用的扫码器原理,在扫码器扫描识别二维码过程中,模块中间位置的像素采样结果决定了整个模块的二值化结果,然而在实际情况中受拍摄光线、拍摄角度以及拍摄抖动等因素影响扫码器往往无法准确定位模块中间位置,因此越靠近中间的位置的像素越容易被采样。鉴于此,本文提出的图像模块化方法采用二维高斯分布函数来表示模块内不同位置的权重值,在进行模块

化时根据模块内像素的灰度化结果加权和与固定阈值128的关系来决定模块化结果。这样使得在模块化的过程中更加重视中间位置像素的影响,从而在本文第3.4节基于权重矩阵的模块融合过程中,中间部分的像素整体调整幅度更小,同时可以提高扫码健壮性。具体处理过程如下:

在对图像进行模块顺序调整时,需要确定以模块为单位的图像亮度,因此要获得模块化图像 I_m 。首先对图像 I_p 进行灰度化获得图像 I_g ,之后将灰度图像 I_g 转变为模块化二值图像 I_m ,在该过程中, I_g 是以像素为基本单位,而 I_m 以二维码模块为基本单位,将图像 I_g 中的任意一点表示为 $I_g(x,y)$,而 I_m 中的任意一个模块表示为 $I_m(k)$,当像素点 (x,y) 的位置对应于第 k 个模块位置时,将其记为 $(x,y) \in I_m(k)$ 。对于第 k 个模块的整体亮度 $L_{I_g}^m(k)$ 可以表示为:

$$L_{I_g}^m(k) = \sum_{(x,y) \in I_m(k)} I_g(x,y) G(x,y) \quad (4)$$

其中 $G(x,y)$ 为点 (x,y) 处根据二维高斯分布获得的权重值,且满足:

$$\sum_{(x,y) \in I_m(k)} G(x,y) = 1 \quad (5)$$

进一步,可以通过阈值化操作获得第 k 个模块的阈值化结果 $I_m(k)$:

$$I_m(k) = \begin{cases} 0, & L_{I_g}^m(k) < 128 \\ 1, & L_{I_g}^m(k) \geq 128 \end{cases} \quad (6)$$

模块化结果样例见图3。

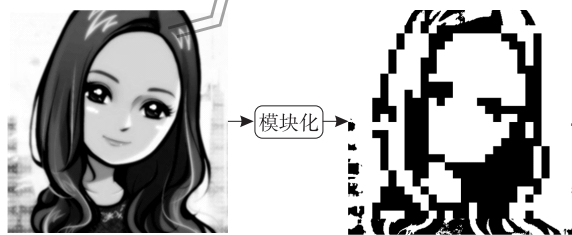


图3 模块化结果样例示意图

3.3 基于高斯消元与图像显著性的模块顺序调整算法

由于生成的DM+码必须保证原始输入信息不变,所以,在进行模块顺序调整过程中,必须使其满足里德所罗门的编码约束。由Qart^①可知,可以通过高斯消元方法选取部分模块进行调整。为保证生成二维码的健壮性,必须尽可能保障高斯消元后生成的二维码 DM_g 的编码模块信息序列完全满足里

① Qart codes, <http://research.swtch.com/qart> 2017, 11, 10

德所罗门码规则. 在进行高斯消元的过程中, 主要利用里德所罗门码的以下两个性质: (1) 里德所罗门码是定长码, 输入的数据将被处理成固定长度的输出, 且输出中依次为原始输入、填充码以及纠错码三部分对应的编码结果; (2) 里德所罗门编码是一种可以进行“异或”操作的编码, 即两个里德所罗门码进行异或操作, 得到的结果仍然是一个合法的里德所罗门码.

由于二维码在编码过程中, 所需要包含信息量的不同, 原码信息部分又可以被划分为原始数据部分和填充数据部分. 对于给定的某个二维码 DM 当中的某个里德所罗门序列 O , 其中左侧为原始数据部分, 中间部分为填充数据部分, 而最右侧为根据原始数据和填充数据生成的里德所罗门码纠错数据部分.

根据 O 的长度, 可以构造一组用于高斯消元的里德所罗门码, 称其为基向量. 所有基向量满足如下特征: (1) 原始数据部分全为 0; (2) 填充数据部分各不相同, 且只有一位为 1, 其余均为 0; (3) 满足里德所罗门规则, 即纠错数据部分由该基向量的原始数据部分和填充数据部分通过里德所罗门纠错算法生成.

不难发现, 可以用任何一个基向量与原始里德所罗门序列 O 进行异或, 其结果仍然能保证其包含的原始信息不受影响, 且完全满足里德所罗门码校验规则. 因此, 当需要将某一个模块(填充数据部分和纠错数据部分)对应的值从 0 变为 1, 或者从 1 变为 0 时, 只需要从基向量集合中找到一个对应位置为 1 的基向量将其与 O 进行异或, 即可获得预期的结果.

例如, 当我们想要改变 O 中间部分的倒数第二位(箭头标注的位置), 首先在基向量集合中找到一个这一位是“1”的基向量 B_2 , 然后用 B_2 与 O 进行异或操作得到 O' , 从而改变了这一位值. 然后, 在调整过程中, 需要注意的是, 有时候为了更改某一位的值, 可能会影响到之前已经更改过的值, 所以, 需要同时将选中的基向量与基向量集合中所有该位为“1”的基向量(包含自身)进行异或操作, 以用于将基向量集合中所有该位对应的列全部设置为“0”, 从而避免在后续操作中误更改之前已经更改过的值.

里德所罗门码的这一性质赋予了我们操控二维码具体某一个模块颜色的能力, 然而需要注意的是, 改变某一个模块的前提是能在基向量集合中找到一个满足条件的向量. 但是在进行模块顺序调整的过程中, 由于每次模块顺序调整之后, 基向量组中可用基向量的数目就会变少, 因此在某一个时刻将出现

无法继续调整模块顺序的情况. 考虑以上情况, 必须在有限的可调整模块数目下尽可能地达到最优调整, 因此引入显著性区域指导整体模块调整顺序, 使模块调整顺序具有更强的目的性, 调整后的结果整体具有更好的视觉效果, 引入显著性区域后的模块顺序调整算法流程图如图 4 所示.

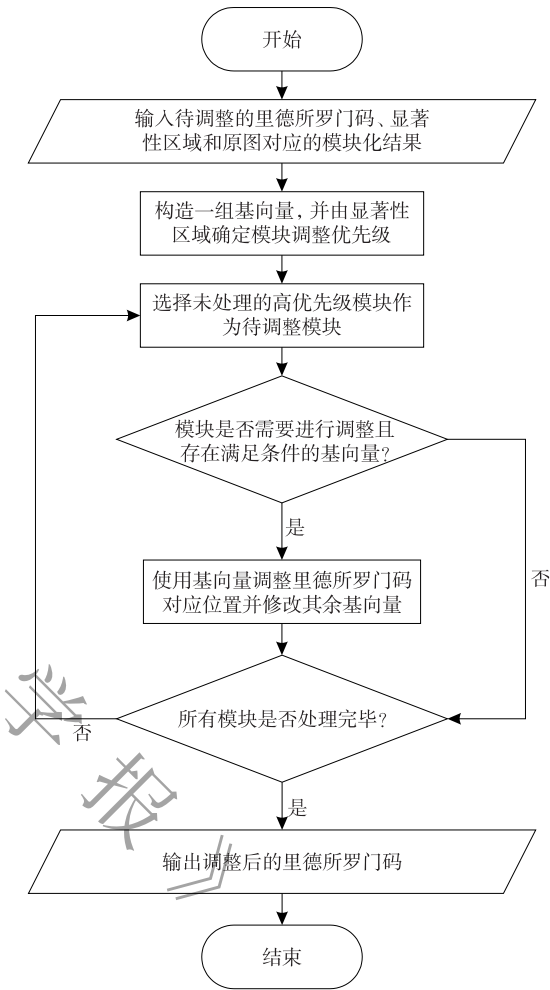


图 4 模块顺序调整算法流程图

为此, 需要确定一个模块处理优先级矩阵, 根据不同的优先级来决定操作顺序. 结合图片本身的显著性和二维码本身的中间区域携带数据的特点, 需要两个显著性算法的加权和来获得权重矩阵. 对于第 k 个模块的权重 $W(k)$ 有:

$$W(k) = aFre(k) + bHeu(k) \quad (7)$$

其中 $Fre(k)$ 为文献[18]中获得的显著性值, 而 $Heu(k)$ 为一种启发式规则, 其规定了越靠近图片中心的区域会获得越高的权重.

在确定系数 a, b 时, 显然原图的显著性占主要部分, 此外由于二维码其固有的特性, 人在看二维码的时候, 会自然地优先浏览中间区域, 故相对于周围

的功能性区域,中间部分天生具有更强的显著性.选取了四组系数(0.9,0.1;0.8,0.2;0.7,0.3和0.6,0.4)进行显著性区域提取,第二个参数越大意味着图片的中间区域会获得更高的显著性,如图5所示,通过对比提取效果选定 $a=0.7, b=0.3$ 作为最终的系数.

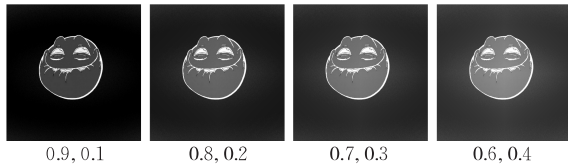


图5 不同系数对显著性区域提取结果的影响

在获得每个模块的权重 $W(k)$ 之后,即可通过比较确定模块调整的优先级,同时,利用高斯消元方法调整模块顺序.由于DM码的底层编码为里德所罗门编码,其具有一定的冗余性,在扫描过程中,扫码设备通过采样并获得每个模块所代表的0或者1,然后,通过里德所罗门校验方法进行信息校验,只要通过校验,即可被认为是能够正常扫描的二维码.

按照模块的优先级,即每个模块权重值的大小,在DM中不断尝试对不满足要求的模块,即与 I_m 中对应位置颜色不同的模块,尝试进行高斯消元操作直到无法继续为止,完成整个模块排布顺序的调整过程,从而获取中间结果.其生成的结果如图6所示,其中,图6(b)为待融合的DM码,图6(c)为原始输入图像,而图6(d)为获得的模块顺序调整结果,可以看出,在整体视觉结构上,其与原始输入图像具有一定的相似性.

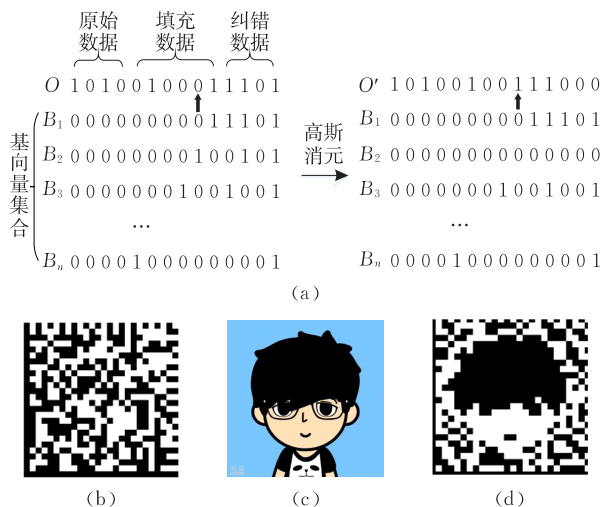


图6 高斯消元结果示意图

3.4 基于权重矩阵的模块融合算法

在得到模块调整结果 DM_g 和预处理图像 I_p

后,将它们基于模块进行融合即可以获得最终的新型二维码.如图7所示为模块的融合方法,其中图7(a)表示一个模块.根据二维码在扫描阶段的采样原理可知,越靠近模块中心位置的像素,被采样到的概率也就越大,而越偏离中心点位置的像素,被采样到的概率越小.因此,不妨假定模块内像素被采样到的概率满足二维高斯分布,并将整个图像中 (x, y) 位置对应的模块内高斯分布值记为 $G(x, y)$.

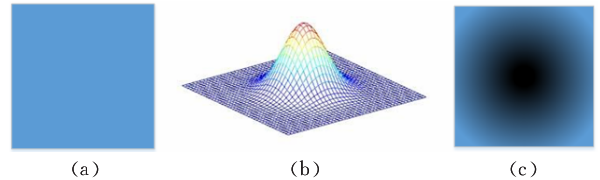


图7 模块融合示意图

在进行模块融合时,同样可以按照模块内二维高斯分布的权重(如图7(b)),优先调整模块中心区域亮度,使模块中心点及周围像素优先达到预期亮度,以便更加有效地提高该模块被采样正确的概率,调整后的结果如图7(c)所示.

为了比较容易地评估模块调整后的效果,本文将融合后获得的DM+码图像 (x, y) 位置的亮度值记为 $L_{DM+}(x, y)$,第 k 个模块的整体亮度值记作 $L_{DM+}^m(k)$,并令

$$L_{DM+}^m(k) = \sum_{(x,y) \in DM+(k)} L_{DM+}(x,y)G(x,y) \quad (8)$$

为了保证融合后生成二维码的视觉效果与扫描健壮性之间的平衡,首先根据模块 k 在整幅图像中的权重,规定模块亮度调整的预期值约束,即

$$\begin{cases} L_{DM+}^m(k) \geq t(k), & DM_g(k) = \text{White} \\ L_{DM+}^m(k) \leq t(k), & DM_g(k) = \text{Black} \end{cases} \quad (9)$$

其中, $t(k) =$

$$\begin{cases} 128 + T_{\max} - W(k)(T_{\max} - T_{\min}), & DM_g(k) = \text{White} \\ 128 - T_{\max} + W(k)(T_{\max} - T_{\min}), & DM_g(k) = \text{Black} \end{cases}$$

$T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 用于辅助表示第 k 个模块整体亮度值约束 $t(k)$ 的浮动范围,其取值为: $0 \leq T_{\min} \leq T_{\max} \leq 128$; $W(k)$ 为模块权重,其取值在 $a[0, 1]$ 区间.当融合后生成的DM+码第 k 个模块预期采样结果为白色时,该模块的预期整体亮度 $L_{DM+}^m(k)$ 必须大于或者等于约束值 $t(k)$,且该约束值在区间 $[128 + T_{\min}, 128 + T_{\max}]$,反之,当模块的预期采样结果为黑色时,该模块的预期整体亮度 $L_{DM+}^m(k)$ 必须小于或者等于约束值 $t(k)$,且该约束值在区间 $[128 - T_{\max}, 128 - T_{\min}]$.

为了方便融合,引入变量 $\phi(k)$,用于表示第 k 个模块调整的目标亮度值,则有

$$\phi(k) = \begin{cases} \max\{t(k), L_{DM+}^m(k)\}, & DM_g(k) = \text{White} \\ \min\{t(k), L_{DM+}^m(k)\}, & DM_g(k) = \text{Black} \end{cases} \quad (10)$$

为了满足约束,可以对模块内每个像素的亮度值进行调整,则有

$$L_{DM+}(x,y) \leftarrow L_{DM+}(x,y) + \frac{[\phi(k) - L_{DM+}^m(x,y)] \cdot G(x,y)}{\sum_{(x,y) \in DM+(k)} G(x,y) \cdot G(x,y)} \quad (11)$$

使调整后的模块整体亮度值 $L_{DM+}^m(x,y)$ 与 $\phi(k)$ 一致.

在实际亮度调整过程中,往往先将获得的图像 I_b 置为初始的 DM+ 码,并将其转换为灰度图,调整每个像素的灰度值,最后,再将其重新还原为彩色图像.由于颜色空间的限制,在灰度值调整过程中,可能会出现 $L_{DM+}(x,y)$ 大于颜色约束等问题,所以,通常需要经过反复多轮调整,以确保生成的 DM+ 码的每个模块整体亮度达到约束要求.如图 8 所示,为经过模块融合后生成的 DM+ 码示例,左侧为输入的原

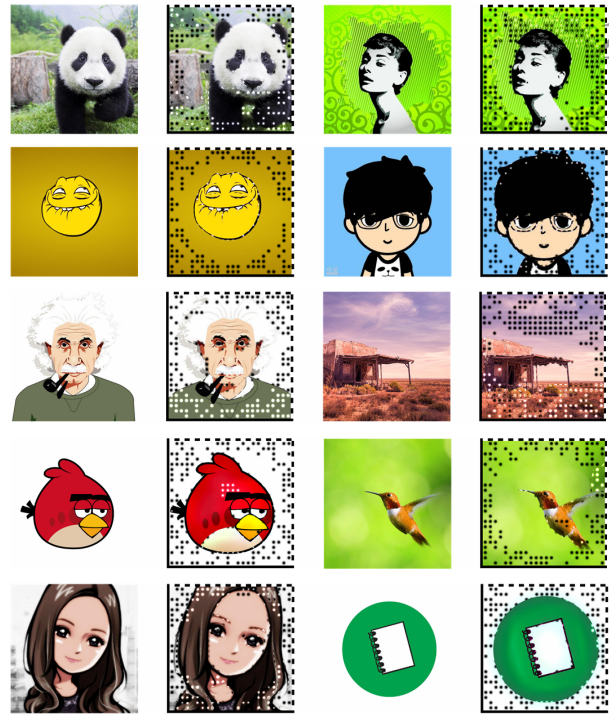


图 8 DM+ 生成效果

4 实验结果与分析

本小节对生成的新型二维码 DM+ 进行相关实验验证和讨论分析. 首先通过验证并分析了新型二

维码的生成速度;然后为了验证 DM+ 的视觉效果,邀请了 100 名志愿者对生成二维码进行主观评价;此外,为了验证新型二维码在实际使用时的扫描性能,测试了扫描成功率和扫描速度. 最后,针对二维码生成过程中选取参数的调整对最终生成二维码效果的影响情况进行了讨论.

4.1 DM+ 生成速度

二维码的生成速度会影响到用户使用体验和推广应用,本实验使用一台处理器为 Intel(R) Core (TM) I5-4590 CPU@3.30 GHz 3.30 GHz、内存为 8.00 GB 的计算机,编译平台为 Microsoft Visual Studio Community 2017,版本 15.5.1,选取了其它三种有代表性的二维码进行生成速度测试实验. 四种二维码编码的内容均为“beihang university”,每次生成的四种码尺寸大小相同,参数设置情况为 Data Matrix 码版本为 8,QR 码版本为 8,纠错等级为 M,生成时间如图 9 所示.

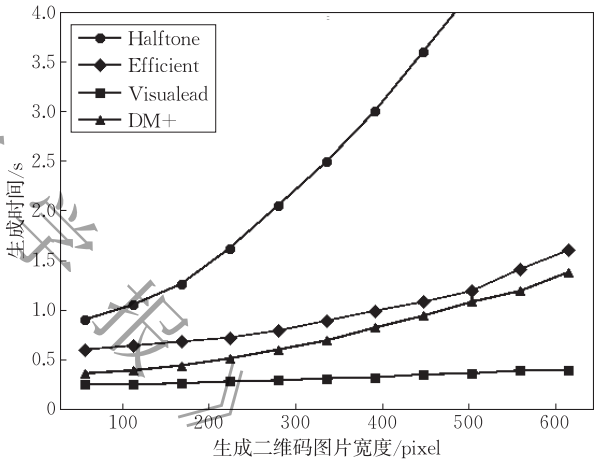


图 9 新型二维码生成时间

如图 9 所示,当生成的 DM+ 码宽度在 400 像素以下时,生成时间可以控制在 1 s 以内,可以满足二维码实时生成的需求. 在生成 DM+ 的过程中,对于模块亮度的调整和融合过程的操作均为对像素点的直接调整,因此随着生成的新型二维码 DM+ 尺寸增大,所需要的时间增长较为缓慢,与之类似,Efficient 的生成速度也可以接受,Visualead 由于采用了对图片亮度按照固定阈值进行直接调整的方案,在调整过程中,根据二维码情况以模块为单位直接进行亮度的提高或者降低使其满足给定的条件,从而使生成过程中计算量大大减少,生成速度较快,而 Halftone 生成过程中采用了非线性的生成算法,速度较慢.

4.2 DM+视觉效果

在对比美化二维码的视觉效果时,由于部分论文中未给出源代码或二维码生成器,我们无法生成原图完全一致的一组对比图片,因此在对比时分别使用其它论文中的原图进行生成,对比效果图如图 10 所示。可以看见,本文生成的DM+美化二维码

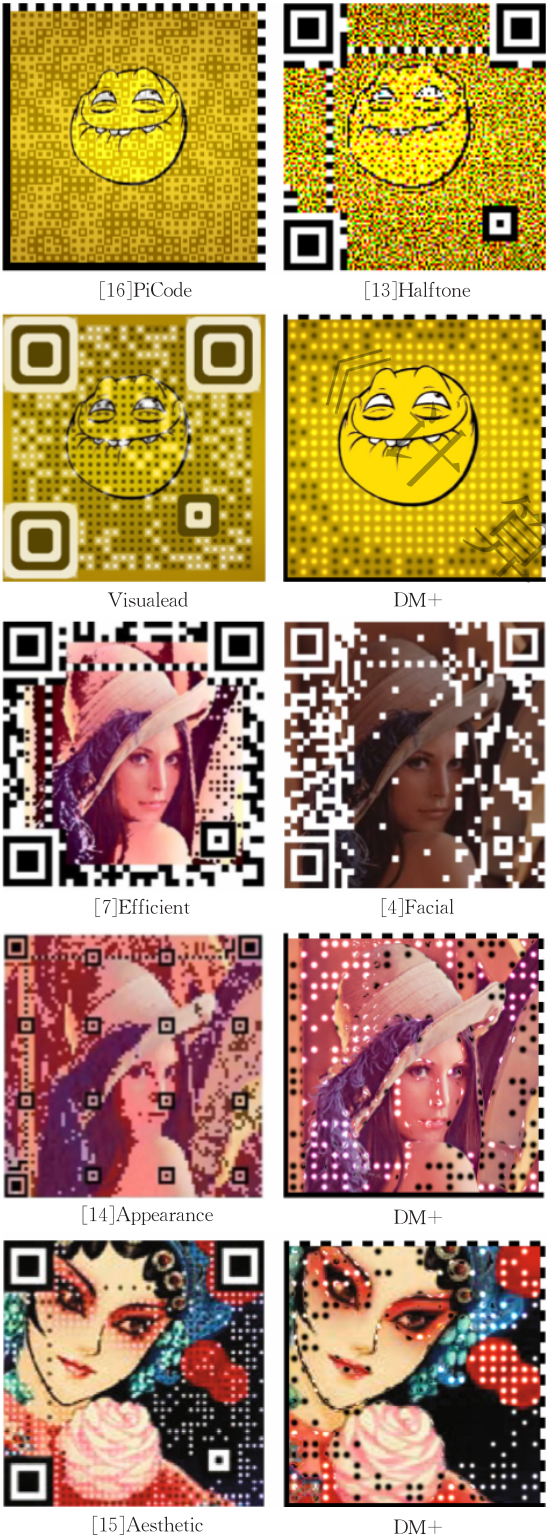


图 10 不同美化二维码视觉效果对比

由于消除了二维码四周对视觉效果损伤较大的定位符号及结合显著性的高斯消元算法的引入,整体效果相比于大部分算法有所提升,但相比于 Efficient^[7]算法稍有逊色,这是因为该算法在其生成阶段,靠近图片中心的区域使用原图来代替二维码模块从而取得了较好的视觉效果,但是这在一定程度上降低了二维码的健壮性。

为了更好地对比新型二维码的视觉效果,本文采用用户调查的方法进行主观分析。首先,实验随机选取了多种类型的图片进行新型二维码的生成,选取的图片包括人脸图片、卡通图片、动物图片、商标图片、建筑物图片、艺术图片等。对于每一张图片,本文采用了九种不同的艺术二维码生成方案,从而生成九种不同的二维码进行对比。

如图 11 所示为其中一组实验对比,文献中生成二维码的原图均选取了色彩连续性好、较为简单的卡通图片,且显著性区域主要集中在中部。由于无法进行自主选择原图生成二维码,导致实验不能使用完全一致的图片,为了尽可能弥补这种差异带来的影响,在同一对比组中,选择了色彩连续性好,但比文献原图更复杂的卡通图片用本文的方法生成二维码。九幅图依次为:中心嵌入图标的二维码、Appearance 码^[13]、Halftone 码^[12]、Aesthetic 码^[14]、Visualead 码^[7]、Facial 码^[4]、PiCode^[15]、Efficient 码^[7]和本方案生成的 DM+ 码。

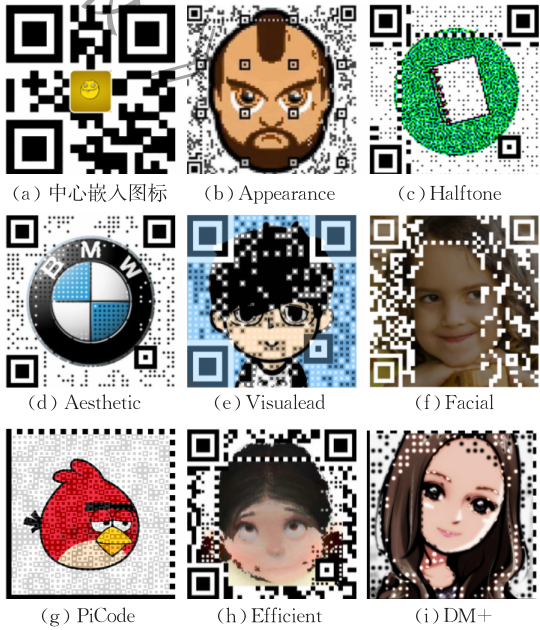


图 11 不同方法生成的二维码

① Visualead, <http://www.visualead.com/2017, 11, 10>

本实验随机选取 100 名志愿者进行了问卷调查,其中大部分为在校学生,年龄在 20 到 25 岁且男女比例基本相同.问卷中包含 30 道题目,每道题目向志愿者展示了一组由九种艺术二维码组成的图像,同一组中的艺术二维码由相似的输入图片生成,要求参加的志愿者根据自己的主观感受分别判断上述二维码的美观程度并对其进行评分,参考文献[19],我们制定了表 1 的评价标准.

表 1 艺术二维码主观评价尺度	
分数	评价尺度
5	融合图片无损伤
4	融合图片有轻微损伤,不易察觉
3	融合图片有损伤,不影响观看
2	融合图片严重损伤,勉强可以看清
1	融合图片严重损伤,几乎无法看清

分数从 1 到 5,代表二维码美观程度依次升高,计算每种艺术二维码所有对应图片得分的平均值作为该种艺术二维码的视觉效果得分.

实验统计结果如图 12 所示,本文方案生成的新型二维码得到了 3.67 分,在视觉效果上仅次于 Efficient 算法生成的二维码,高于 PiCode 的 3.53 分,远高于剩余几种方案,验证了新型 DM+二维码在视觉效果上具有不错的表现.

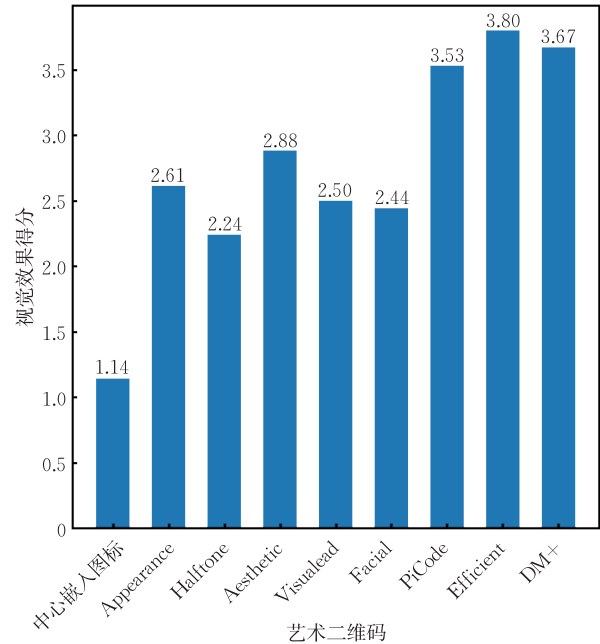


图 12 不同美化二维码视觉效果评分

同时从测试结果中观察到,不同种类的图片生成的二维码往往在视觉效果上得分差异较大.如图 13 为四种不同类型的图片对应的 DM+码,在视觉

效果评测阶段得分依次下降.对于卡通图片,由于色彩连续性较强,整体性更好,生成的 DM+ 往往与原图有较高的整体相似度,同时若图片本身含有较为明显的显著性区域(如图 13(a)),则生成的 DM+ 码将具有更好的视觉效果.而对于非卡通图片,尤其是人物照片类的图片,由于像素亮度分布情况复杂,模块的阈值化结果与原图冲突较大,生成 DM+ 码的视觉效果也会下降.

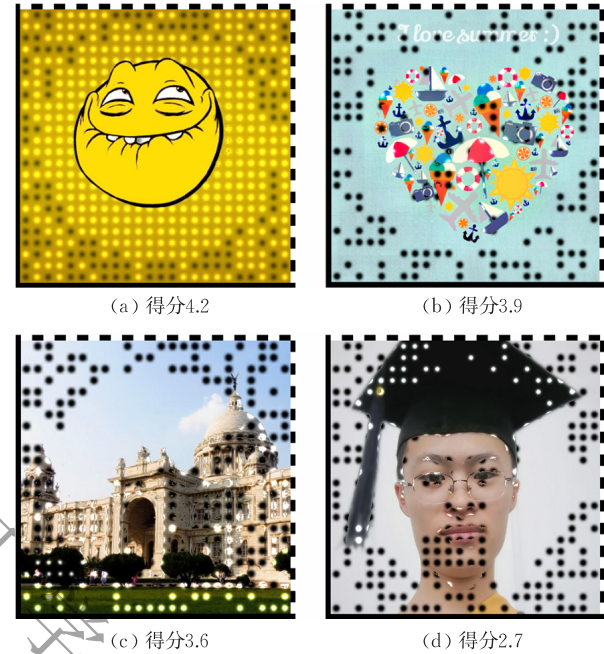


图 13 四种不同种类图片对应的 DM+码

4.3 DM+扫描健壮性

为了验证 DM+ 码的扫描健壮性,本文对上述提到的五种艺术二维码生成方案进行对比.利用手机 APP 扫描普通液晶屏幕上显示的图像进行测试.测试机型选用华为 P10 以及金立 GN708T,分别代表高分辨率摄像头、强计算性能与低分辨率摄像头、弱计算性能的手机,两款手机相关参数见表 2.

表 2 扫码手机相关配置参数				
参数	CPU 型号	CPU 频率 /GHz	摄像头类型	后置摄像头 /pixel
华为 P10	海思 Kirin 960	2.4	三摄像头 (后双)	2000 万+ 1200 万
金立 GN708T	联发科 MT6589	1.2	双摄像头 (前后)	800 万

实验过程中,将所有二维码放缩到同一尺寸,在室内正常光照条件下,保持手机摄像头正对图像显示位置,为便于衡量扫描速度,在表 3 中给出了扫描速度评价指标,通过对每种类型的不同艺术二维码进行 50 次扫描得到扫描结果,结果如表 4 所示.

表 3 二维码扫描速度评价指标

扫描速度指标	平均扫描成功时长/s
快	<1
中	1~3
慢	3~5
无法正常扫描	>5

表 4 不同美化二维码扫描情况

手机	二维码	APP	扫码成功率/%	平均扫描速度
华为 P10	中心嵌入	微信	100	快
		支付宝	100	快
	Appearance	微信	88	中
		支付宝	88	快
	Halftone	微信	94	慢
		支付宝	94	中
	Aesthetic	微信	90	快
		支付宝	94	快
	Visualead	微信	100	快
		支付宝	100	快
	Facial	微信	100	快
		支付宝	100	快
	PiCode	专用扫码器	98	快
	Efficient	微信	74	慢
		支付宝	80	中
金立 GN708T	DM+	微信	94	快
		支付宝	96	快
	中心嵌入	微信	100	快
		支付宝	100	快
	Appearance	微信	86	中
		支付宝	88	中
	Halftone	微信	84	慢
		支付宝	88	慢
	Aesthetic	微信	88	快
		支付宝	90	快
	Visualead	微信	100	快
		支付宝	100	快
	Facial	微信	100	快
		支付宝	100	快
	PiCode	专用扫码器	98	中
	Efficient	微信	72	慢
		支付宝	72	慢
	DM+	微信	92	中
		支付宝	96	快

从表 4 中可以看出,中心嵌入图标、Visualead 和 Facial 三种二维码在扫描测试中取得了最好的表现.其中,中心嵌入图标的二维码利用了二维码自身的纠错机制,几乎没有损伤二维码的健壮性. Visualead 和 Facial 两种方案尽管具有较好的扫码健壮性,但只是单纯的对图片亮度进行调整在一定程度上破坏原图的美观,因此视觉效果主观评价较差.对于 Aesthetic 和 PiCode 方案,虽然提升了视觉效果,但扫码健壮性明显下降.本文生成的新型二维码 DM+ 兼容现有编解码标准,由于进行了自适应的亮度调整和结合显著性区域的模块顺序调整算法的引入,在保证一定扫描健壮性的前提下可被快速扫描识

别. Halftone 算法生成的二维码识别成功率表现一般,但由于在在生成过程中引入较多噪声致使扫描速度受到影响,尤其是在配置较低的手机上更加明显. Efficient 二维码在所有九种二维码中具有最好的视觉效果,但与之对应扫描健壮性波动较大,扫描结果难以令人满意.

4.4 DM+抗污损性

二维码的健壮性体现在另一个方面就是抗污损性,即在被污损一部分的情况下是否仍能被正常扫描,本节展示了新型二维码 DM+ 和其它几种美化二维码在被污损情况下的扫描结果.一般对于二维码抗污损性的考量通常的做法是在其中随机地生成噪声,本文为进行对比,每一种二维码人为制造一个位置固定的方形污损区域,由于二维码在顺序排放模块时按照从右至左的顺序,即数据部分主要集中在码的右侧,因此将污损区域放置于二维码的右侧中部,污损区域的宽度为二维码模块长度的整数倍,如图 14 所示.污损区域分别为纯黑色和纯白色.使用微信对其进行扫描,扫描结果如表 5 所示,使用“○”表示黑色污损成功扫描,“⊙”表示白色污损成功扫描.

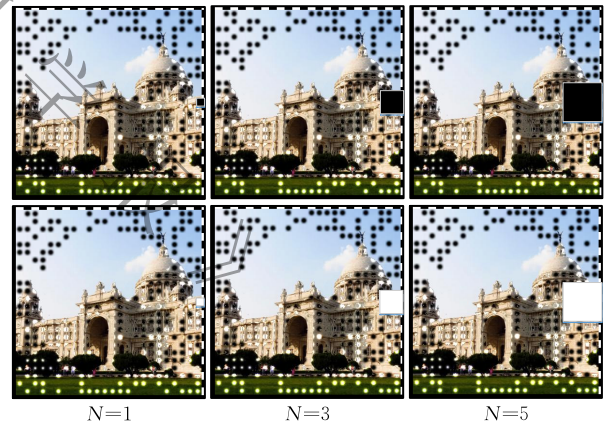


图 14 二维码污损示意图

如表 5 所示,由于编码数据较为简单且牺牲纠错区域来增加视觉效果, Efficient 码受污损对扫码健壮性影响最大,同样, Appearance 码、Facial 码也

表 5 污损美化二维码扫描结果

二维码	N=1	N=2	N=3	N=4	N=5
DM+	○○	○○	○○		
中心嵌入图标	○○	○○	○○	○○	○○
Appearance	○○	⊙			
Halftone	○○	○○	○○	⊙	
Aesthetic	○○	○○	○○	○○	
Visualead	○○	○○	○○	○○	○○
Facial	○○	○			
Efficient	○○	○○			

受到一定程度影响。Aesthetic 码在进行美化的过程中保留了部分纠错能力,接下来是 DM+码和 Half-tone 码,最后中心嵌入图标和 Visualead 码由于美化方案较为简单,基本完全保留了二维码的纠错能力。

4.5 DM+参数选取

在 DM+码的模块融合过程中,对于模块融合参数的调整,会影响到融合后结果的美观程度和扫描健壮性。本节主要围绕 $T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 参数的选取和对生成图像外观的影响展开讨论。如图 15 所示,共展示了 6 组不同的参数选取方案,其中当 $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 均为 0 时,融合后生成的 DM+与原始输入图像在视觉外观方面极为相似,此时,其获得了最佳的视觉效果,但是扫描健壮性很差。而随着 $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 参数的增大,生成图像中影响视觉外观的黑白点变得越来越显著,图像的整体视觉效果变得越来越差,而扫描健壮性则逐渐增强。当 $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 均取最大值,即 128 时,融合后生成的 DM+码获得了最好的扫描健壮性,而视觉效果也变得最差。因此, $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 的整体变化趋势与二维码扫描健壮性成正相关,与其视觉外观效果的好坏为负相关。

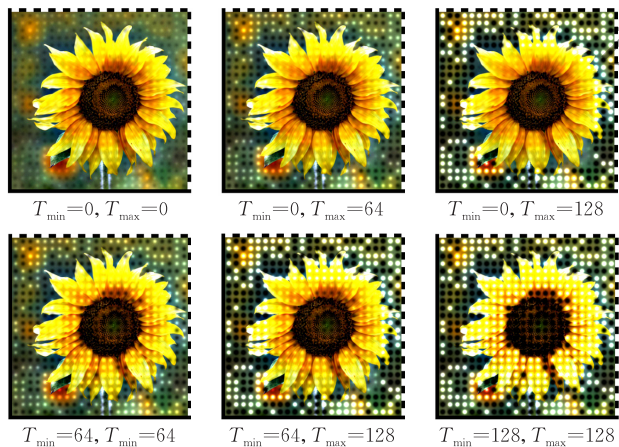


图 15 不同 $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 时生成的 DM+码效果

当 $T_{\min}$ 取值为 0, $T_{\max}$ 分别取 0、64、128 时,图像显著性区域(前景)的视觉外观几乎变化不大,而非显著性区域(背景)的黑白点则在逐渐变得更加明显。我们也可以在 $T_{\min}$ 为 64 时观察到, $T_{\max}$ 为 128 相比其为 64 时,显著性区域的视觉效果基本相似,而非显著性区域则差别较大。相反,当 $T_{\max}$ 取值为 128, $T_{\min}$ 分别取 0、64、128 时, $T_{\min}$ 的增大对非显著性区域的影响比较有限,却使显著性区域的黑白点逐渐变得更加明显,严重影响到生成图像的整体视觉效果。

综上所述, $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 的增大,均可以提高融合

后图像的扫描健壮性,但减弱了图像的整体视觉美观程度。但是 $T_{\min}$ 对显著性区域的影响要高于其对非显著性区域的影响,而 $T_{\max}$ 对非显著性的影响要高于显著性区域。在实际应用过程中,可以将 $T_{\min}$ 固定为一个较为适宜的值,例如 60,通过调整 $T_{\max}$,在保持整体视觉外观影响不大的同时,尽可能提高 DM+码的扫描健壮性。

5 总结与展望

本文提出了一种融合数字编码的可扫描图像生成技术方案,该方案通过指定任意一张背景图像,将其与 Data Matrix 码相互融合,获得一种具有良好视觉效果和高扫描健壮性的 DM+码。该方案首先对输入的背景图片完成亮度调整预处理过程,生成视觉效果好、编码特征强的待融合图案;然后结合高斯消元法和特征区域提取方法,将原始 Data Matrix 码转化为一种在整体结构上与待融合图案相互匹配的中间结果;最后,通过设计一种二维码模块与图像融合方法,完成中间结果与待融合图案的融合操作,生成新型二维码。实验结果表明,该 DM+码可以满足日常使用的生成速度要求,同时,其在视觉效果方面相对于传统艺术二维码具有明显优势,并且可以通过调整融合参数,使其在外观视觉效果和扫描健壮性之间保持良好平衡,从而获得令人较为满意的可扫描图像,使二维码在使用时可以更好地与其所处环境相协调。同时,本文生成的二维码在扫描健壮性上还未能达到完美的效果,这也是我们下一步研究的方向,进一步考量二维码视觉效果与健壮性的平衡关系,取得更好的结果。

致谢 在此,我们全体作者向所有对本文工作提出宝贵意见和建议的专家们表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] Gutiérrez F, Abud M A, Vera F, et al. Application of contextual QR codes to augmented reality technologies//Proceedings of the International Conference on Electronics, Communications and Computing. Cholula, Mexico, 2013: 264-269
- [2] Bunma D, Vongpradhip S. Using augment reality to increase capacity in QR code//Proceedings of the 4th International Conference on Digital Information and Communication Technology and It's Applications. Bangkok, Thailand, 2014: 440-443

[3] Han P, Kim T, Park J. [DEMO] QubeAR: Cube style QR code AR interaction//Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Munich, Germany, 2014: 363-364

[4] Jiang B, Liu X. QR code embellishment with background facial image embedding//Proceedings of the SIGGRAPH Asia. Shenzhen, China, 2014: 31

[5] Szentandrás I, Herout A, Dubská M. Fast detection and recognition of QR codes in high-resolution images//Proceedings of the Spring Conference on Computer Graphics. Budmerice, Slovakia, 2013: 129-136

[6] Tkachenko I, Puech W, Strauss O, et al. Centrality bias measure for high density QR code module recognition. Signal Processing Image Communication, 2016, 41(C): 46-60

[7] Lin Shih-Syun, Hu Min-Chun, Lee Chien-Han, et al. Efficient qr code beautification with high quality visual content. IEEE Transactions on Multimedia, 2015, 17(9): 1515-1524

[8] Tkachenko I, Puech W, Strauss O, et al. Improving the module recognition rate of high density QR codes (Version 40) by using centrality bias//Proceedings of the International Conference on Image Processing Theory, TOOLS and Applications. Paris, France, 2014: 1-6.

[9] Bui T V, Vu N K, Nguyen T T P, et al. Robust message hiding for QR code//Proceedings of the Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Kitakyushu, Japan, 2014: 520-523

[10] Garateguy G J, Arce G R, Lau D L, et al. QR images: Optimized image embedding in QR codes. IEEE Transactions on Image Processing, 2014, 23(7): 2842-2853

[11] Bui T V, Vu N K, Nguyen T T P, et al. Robust message hiding for QR code//Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. Kitakyushu, Japan, 2014: 520-523

[12] Chu Hung-Kuo, Chang Chia-Sheng, Lee Ruen-Rone, et al. Halftone qr codes. ACM Transactions on Graphics, 2013, 32(6): 217

[13] Lin Yu-Hsun, Chang Yu-Pei, Wu Ja-Ling. Appearance-based QR code beautifier. IEEE Transactions on Multimedia, 2013, 15(8): 2198-2207

[14] Zhang Yong-Tai, Deng Shi-Hong, Liu Zhi-Hong, et al. Aesthetic QR codes based on two-stage image blending//Proceedings of the MultiMedia Modeling. Sydney, Australia, 2015: 183-194

[15] Chen C, Huang W, Zhou B, et al. PiCode: A new picture-embedding 2D barcode. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 5(8): 3444-3458

[16] Yang Zhe, Bao Yu-Ting, Luo Chu-Hao, et al. ARTcode: Preserve art and code in any image//Proceedings of the Pervasive and Ubiquitous. Heidelberg, Germany, 2016: 904-915

[17] Yu Wang-Sheng, Tian Xiao-Hua, Hou Zhi-Qiang. A new image feature descriptor based on region edge statistical. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(6): 1398-1410(in Chinese)
(余旺盛,田孝华,侯志强. 基于区域边缘统计的图像特征描述新方法. 计算机学报, 2014, 37(6): 1398-1410)

[18] Achanta R, Hemami S S, Estrada F J, et al. Frequency-tuned salient region detection//Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition. Alaska, USA, 2009: 1597-1604

[19] Horita Y, Sato M, Kawayoke Y, et al. Quality evaluation model using local features of still picture//Proceedings of the Signal Processing Conference. Florence, Italy, 2006: 1-5



LI Hui-Yong, Ph. D., experimentalist. His main research interests include embedded image processing and intelligent computing.

Background

Two-dimensional code has been widely used in people’s daily life, and with the development of VR and AR technologies, two-dimensional codes are often used as a carrier for

LI Qing-Feng, M. S. candidate. His main research interests include machine vision and artificial intelligence.

NIU Jian-Wei, Ph. D., professor. His main research interests include computer graphics image processing.

XU Ming-Liang, Ph. D., professor. His main research interest is computer graphics image processing.

CAO Qian, Ph. D., associate professor. Her main research interests include image processing and parallel computing.

carrying information. However, its appearance can not be changed due to its own coding scheme. Two-dimensional code appearance often annoy users, For example, when two-

dimensional code is used in advertising printing or branding, its appearance will be inconsistent with the scene. Therefore, people hope that the appearance of the two-dimensional code can be more harmonious with the surrounding environment, so that it will not appear more unexpected. At this stage, there are already many schemes for beautifying the two-dimensional code at home and abroad, however, the final result is hardly satisfactory. Some two-dimensional code have unsatisfactory appearance and some other codes present some problems during scanning. As the appearance of the two-dimensional code must meet the corresponding coding requirements, otherwise it will not be correctly identified by the codec when scanning. Therefore, when we try to beautify

the two-dimensional code, we must consider the conflict of appearance and scan success rate.

Based on the above considerations, we generate a two-dimensional code that not only has a good appearance but also has a high success rate of scanning. At the same time, the two-dimensional code we generated in this paper can be compatible with the original two-dimensional code scanning standard, with better promotion potential. There is no doubt that our results will greatly facilitate the development and progress of two-dimensional code and related industries.

This research is supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61602024, 61702018).

