

QR 码直接扩容技术

贾丹, 尤飞, 张庆立

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 针对黑白 QR 码信息嵌入能力不足以及大容量信息存储的需求, 提出一种 QR 码直接扩容技术。**方法** 黑白 QR 码只有 2 种颜色的编码模块, 每个编码模块存储 1 比特数据; 彩色 QR 码拥有 2^n 种颜色的编码模块, 每个编码模块存储 n 比特数据, 使 QR 码存储容量直接扩增 n 倍。基于 HSV 颜色空间模型, 采用三元组配色模型进行编码模块的配色, 以降低彩色编码模块间的混叠效应。采用图像对比度增强和 K-Means 聚类算法处理彩色编码模块的颜色偏离。**结果** 通过对拥有 16 种颜色编码模块的彩色 QR 码数据存储性能进行分析可知, 存储相同容量的数据信息, 彩色 QR 码比黑白 QR 码的版本更低, QR 码符号更小, 实现了 QR 码存储容量的直接扩增。**结论** 采用 QR 码直接扩容技术可实现存储容量的倍数扩增; 采用 K-Means 聚类算法可大幅度降低彩色 QR 码编码模块之间的混叠效应, 显著提高彩色 QR 码译码的正确率。

关键词: 彩色 QR 码; HSV 颜色空间; 三元组配色模型; K-Means 聚类算法

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)01-0190-06

Technology to Enlarge Storage Capacity of QR Code

JIA Dan, YOU Fei, ZHANG Qing-li

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

ABSTRACT: The work aims to propose a technology to enlarged storage capacity of QR code, with respect to the deficient information embedding ability of black and white QR code and the demand of large-capacity information storage. Black and white QR code only had two encoded modules which were black and white, and each module stored 1 bit of data. While color QR code had 2^n color encoded modules, and each encoded module could store N bits of data. In such case, the storage capacity of color QR code was directly expended by n times. Based on HSV color space model, three-tuple color matching model was applied in color matching of encoded modules to reduce the aliasing effect between color encoded modules. Image contrast enhancement algorithm and K-Means clustering algorithm were used to deal with color deviation of color encoded modules. The data storage performance of color QR code with 16 colors of encoded modules was analyzed. Based on the analysis, when a certain amount of data was stored, the version of color QR code was lower than that of the black and white QR code, and its symbol was smaller. By doing so, the storage capacity of QR code was directly expanded. With QR code direct expansion technology, the storage capacity multiplier can be achieved; with K-Means clustering algorithm, the aliasing effect between the encoded modules of QR code can be greatly reduced, and the decoding accuracy of color QR codes is significantly improved.

KEY WORDS: color QR code; HSV color model; three-tuple color matching model; K-Means clustering algorithm

随着移动互联网的快速发展, 许多国家已经将 二维码广泛应用于国防、银行、税务、商品、交通

收稿日期: 2017-04-07

基金项目: 上海理工大学博士启动基金 (1D-13-309-007)

作者简介: 贾丹 (1992—), 女, 上海理工大学硕士生, 主攻图文信息处理。

通讯作者: 尤飞 (1973—), 男, 博士后, 上海理工大学副教授, 主要研究方向为 CAD/CAM、印刷包装设备自动控制、图文信息处理。

运输等各个领域。美国、加拿大等将二维码应用到身份证、驾驶证、车辆年检、海关报关单等领域,国际民航组织也推行二维码在国际旅游证件(护照、签证等)方面的应用^[1]。英国推出了“二维码墓碑”的应用项目;很多闻名的欧洲风景区通过二维码向游客提供景点导航、风俗介绍等游览信息服务^[2]。二维码在国内市场的应用正在发生日新月异的变化,主要用于身份识别、产品溯源、电子票务、电子商务等方面^[3-4]。如南京金陵饭店推行了以二维码为媒介的“扫码取信誉”的电子商务活动^[5],河南省畜牧局运用二维码技术实现生鲜乳的监管和溯源等功能^[6]。

由于二维码应用领域的迅速扩张,黑白 QR 码已经难以满足爆炸式信息传递的时代需求。黑白 QR 码存储的信息容量越大,其版本越高,QR 码符号的尺寸越大^[7]。这将导致信息传递的不方便,也大大地影响了用户体验,因此,QR 码存储容量的扩增技术,受到众多研究者的广泛关注。目前,QR 码存储容量的扩增技术包括网址链接、信息转换和直接扩容 3 种。QR 码的网址链接技术发展相当成熟,应用非常广泛。在信息转换技术的研究方面,Suppat 等^[8]提出运用数据隐藏技术增加 QR 码的存储容量。Hiren 等^[9]采用多路复用的技术增加 QR 码的存储容量。Nancy^[10]采用数据预压缩技术增加 QR 码的存储容量。在直接扩容技术的研究方面,牛红万等^[11]提出了一种彩色 QR 码的实现技术,使 QR 码信息密度更高,条码容量更大。李栋等^[12]提出了适应 logo 形状的彩色 QR 码,扩充了二维码的一些容量。以上的研究成果已经得到了一定的应用,但仍然存在着技术和应用方面的问题如下所述。

1) 网址链接属于一种间接的信息存储方式,并非真正意义上的、直接的信息存储方式。由于网络的速度、容量和覆盖场所的限制,导致这种间接的信息存储方式阻碍了 QR 码的应用效率和范围。

2) 信息转换技术属于间接扩容的存储方式且增加的数据容量有限,仍无法满足 QR 码的信息存储容量不断扩大的需求。

3) 直接扩容技术是采用彩色 QR 码的存储结构。现有的彩色 QR 码的存储容量较小且存在彩色编码模块之间产生混叠效应、识别困难等问题,导致译码错误率较高。

鉴于以上的分析,研究一种 QR 码的直接扩容技术。采用彩色编码模块进行数据信息的编码,以实现 QR 码存储容量的直接扩增。基于 HSV 空间的颜色特征参数 H, S, V 进行编码模块的颜色设置,采用 K-Means 聚类算法进行色彩分割,以降低彩色编码模块之间的混叠效应,从而提高 QR 码译码的正确率。

1 QR 码的直接扩容原理

QR 码符号是一个信息存储的正方形图形,由许多颜色模块组成,其符号的形成需要经过数据分析及编码、纠错码的生成、最终码字序列构造等步骤^[13]。数据分析及编码过程即将数据信息转化为二进制数据位流(二进制的字符串),并将其映射到相应的编码模块上。显然,单个编码模块所能表征的二进制数的位数决定了 QR 码的存储容量。黑白 QR 码的每个编码模块只能表征 1 位二进制数据,则有 2 种不同的组合,即“0”,“1”。通常采用白色模块表征“0”,黑色模块表征“1”。若每个编码模块表征 4 位二进制数据,则有 $2^4=16$ 种不同的组合(见图 1),这样 QR 码的存储容量将直接地扩增 4 倍。当然,QR 码的编码模块需要采用 16 种颜色来表征。

0000	0001	0010	0011
0100	0101	0110	0111
1000	1001	1010	1011
1100	1101	1110	1111

图 1 16 种二进制数据的排列组合
Fig.1 16 arrangements of binary data

以二进制位流“10101110101110010100”的存储信息为例,若采用黑白 QR 码,则需要映射出 20 个黑白编码模块;若采用 16 色的 QR 码,每 4 位二进制位流采用一个彩色编码模块表征,则只需映射出 5 个彩色编码模块,见图 2。由此可见,16 色 QR 码的数据容量为黑白 QR 码的 4 倍。随着编码模块的颜色数的增加,则可以实现 QR 码存储信息的大容量直接扩增,同时简化了 QR 码的符号结构。

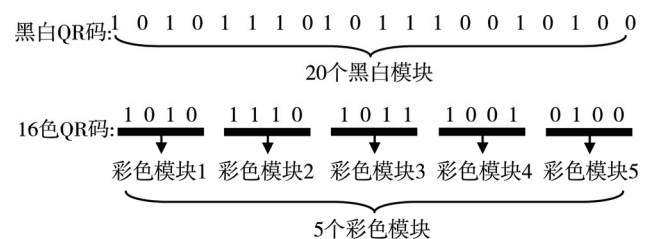


图 2 二进制位流与编码模块的映射关系
Fig.2 Mapping Relation between binary bit stream and encoded module

2 直接扩容的关键技术

2.1 彩色编码模块的配色

彩色 QR 码设计时,必须考虑颜色空间模型对颜色的表征是否有利于编码模块的颜色选取,以有效地降低彩色编码模块之间的混叠效应,从而提高 QR 码的解码精度。对于多种颜色的识别环境,HSV 颜色空间下色彩的聚类效果优于 RGB, Lab 等颜色空间^[14]。

同时,在光照不足的情况下 HSV 颜色空间的色彩也表现相对稳定,因此,HSV 颜色空间模型更有利于彩色 QR 码图像的识别。

编码模块颜色的设置直接关系到彩色 QR 码的存储容量及解码精度。从 QR 码存储容量的角度考虑,编码模块的颜色数越多越好;从 QR 码的解码精度的角度考虑,编码模块的颜色数越少越好。鉴于彩色 QR 码的应用环境和媒介等诸多因素影响,在 HSV 颜色空间下设置编码模块的颜色时采用以下的三元组配色模型:

$$C_i = (V_i, S_i, H_i) \quad (1)$$

式中: C_i 为编码模块第 i 种颜色 ($i=0,1\dots n$); V_i 为第 i 种颜色的明度值,取值范围 $[0, 1]$; S_i 为第 i 种颜色的饱和度值,取值范围 $[0,1]$; H_i 为第 i 种颜色的色相值,取值范围 $[0^\circ, 360^\circ]$ 。

在 HSV 颜色空间里,色彩的饱和度值 S 对光照强度比较敏感,故在灰色区域设置较少的颜色数,并用明度值 V 进行分割。由于饱和度值 S 易受到天气、光照等外界环境的不利影响,但色调值 H 相对稳定,对不同光照条件具有不变性,故选取饱和度为 $S_i=1$,即纯色。同时,利用稳定的色调值 H 来设置颜色,以增强编码模块的辨识度,提高彩色 QR 码的解码精度。基于上述的三元组配色模型,若编码模块设置 2^n 种颜色,则配色规则见式 (2—3)。

$$\text{当 } 0 \leq i \leq 2^{n-2} - 1 \text{ 时, } C_i = \begin{cases} V_i = i \frac{1}{2^{n-2} - 1} \\ S_i = 0 \\ H_i = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{当 } 2^{n-2} - 1 < i \leq 2^n - 1 \text{ 时, } C_i = \begin{cases} V_i = 1 \\ S_i = 1 \\ H_i = \frac{360^\circ}{2^n - 2^{n-2}} (i - 2^{n-2}) \end{cases} \quad (3)$$

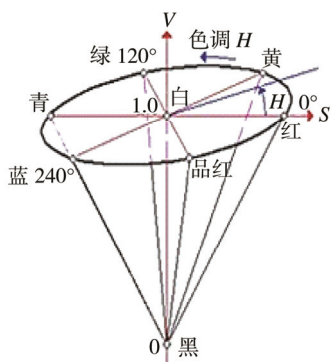


图3 HSV 颜色空间模型
Fig.3 HSV color space model

以编码模块设置 $2^n=16$ 种颜色为例,按照式 (2—3) 进行编码模块的配色,则 16 种颜色的属性

值见表 1,所有编码模块的颜色见图 4。

表 1 编码模块的 16 种颜色的属性值
Tab.1 The attribute value of 16 colors of encoded modules

参数	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	...	C_{13}	C_{14}	C_{15}
V_i	0	1/3	2/3	1	1	1	1	1	...	1	1	1
S_i	0	0	0	0	1	1	1	1	...	1	1	1
H_i	0°	0°	0°	0°	30°	60°	90°	...		270°	300°	330°



图4 16种颜色的编码模块
Fig.4 16 colors of encoded modules

2.2 编码模块的映射

根据 QR 码的编码规则可知,每种颜色的编码模块表征固定长度的二进制位流,且二者之间具有一一映射的关系。若编码模块设置 2^n 种颜色,则 1 个编码模块可以表征 n 个二进制位流且每种颜色的编码模块对应不同的二进制位流。设置 16 种颜色的编码模块,其与二进制位流的一一映射关系见图 5。

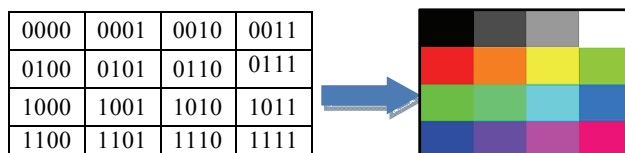


图5 二进制位流与编码模块映射关系
Fig.5 Mapping relation between binary bit stream and encoded module

彩色 QR 码的编码过程中,先将存储信息的二进制数据位流分割成 m 组长度为 n 的二进制子位流,再将 m 个子位流一一映射到相应的编码模块上,然后添加上功能图形、版本信息和格式信息等编码,则生成彩色 QR 码的符号,见图 6。



图6 彩色 QR 码符号
Fig.6 Color QR code symbol

2.3 色彩偏离的处理

在彩色 QR 码的识别过程中, QR 码符号的图像预处理直接影响到系统的性能和译码的效率。其中, 彩色 QR 码图像的色彩偏离处理属于关键的技术。彩色 QR 码图像的识读会受到拍摄光线、角度等因素的影响, 使彩色编码模块出现色彩偏离的现象, 需要对图像进行偏色纠正, 从而检测出原始的颜色信息。针对彩色 QR 码图像识别中的色彩偏离问题, 先利用直方图均衡化的图像对比度增强算法来增强图像的对比度^[15]。再采用基于 HSV 颜色空间的 K-Means 聚类算法来进行彩色编码模块的色彩分割, 以提高彩色 QR 码译码的正确率。

将采集的彩色 QR 码图像转换成 png 格式, 以精确地识别每个颜色模块的 RGB 值。考虑到聚类的效果, 在 HSV 颜色空间下选择 K-Means 聚类算法进行处理, 即将 RGB 颜色空间的 QR 码图像转换成 HSV 颜色空间的图像, 转换公式:

$$\begin{cases} V = \frac{1}{\sqrt{3}}(R+G+B) \\ S = \frac{\sqrt{3}}{V} \min(R, G, B) \\ H_i = \begin{cases} \theta, & B \leq G \\ 2\pi - \theta, & B > G \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{式中: } \theta = \arccos \left[\frac{(R-G)+(R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \right]$$

先对颜色空间转换后的彩色 QR 码图像进行中值滤波处理, 再对 QR 码图像进行对比度增强处理, 以提取图像的像素特征, 然后, 采用 K-Means 聚类算法进行彩色编码模块的颜色分割, 从而完成色彩偏离的处理^[16]。

基于 HSV 颜色空间的 K-Means 算法步骤如下所述。

1) 给定像素个数为 n 的数据样本集 (图像中所有点的像素值) $D=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, 令迭代次数为 T 。从数据样本集中任取 k 个样本作为初始的聚类中心 $\mu_j(t)=\{\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_k\}$, 即将样本集分为 k 类数据集。其中, $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, k; t=1, 2, \dots, T$ 。

2) 计算所有样本 x_i 与初始聚类中心 $\mu_j(t)$ 的欧氏距离 $D(x_i, \mu_j(t))=(x_i-\mu_j(t))^2$; 如果满足 $D(x_i, \mu_j(t))=\min\{D(x_i, \mu_j(t))\}$, 则样本数据 x_i 属于第 j 类的第 t 次迭代数据集 $W_j(t)$, 即 $x_i \in W_j(t)$ 。

3) 当 $j=1, 2, \dots, k$ 时, 对 $W_j(t)$ 中所有的样本点重新计算新的聚类中心 $\mu_j(t+1)$, 计算公式见式 (5)。

$$\mu_j(t+1) = \frac{1}{|W_j|} \sum_{x_i \in W_j} x_i^{(j)} \quad (5)$$

式中: $|W_j|$ 为第 j 类数据集中样本的个数。

4) 如果计算出来的 k 个聚类中心不再发生变化,

即满足 $|E(t+1)-E(t)| < \varepsilon$ 则迭代终止, 得出相应的聚类中心坐标; 否则, 返回第 2) 步。其中, ε 为任意给定的正数, $E(t) = \sum_{i=1}^k \sum (W_j(t) - \mu_j(t))^2$ 。

2.4 彩色 QR 码的性能分析

彩色 QR 码的存储容量随编码模块的颜色数增加而直接扩增。若彩色 QR 码设置 16 种颜色的编码模块, 则其存储容量可以扩增 4 倍。黑白 QR 码和 16 色彩色 QR 码在数据容量方面的性能对比见表 2。

表 2 黑白 QR 码与彩色 QR 码版本 40-L 的数据容量对比
Tab.2 Comparing the data capacity of black and white QR code with color QR code in version of 40-L

编码模式	黑白QR码	彩色QR码
数字模式	7089	28 353
字母数字模式	4296	17 180
8位字节模式	2953	11 813
中国汉字模式	1817	7270

以 35 个汉字文本信息为例, “QR 码需要存储的信息容量越大, 所选择的版本越高, 则 QR 码符号的尺寸就越大”。采用黑白 QR 码存储此文本信息, 至少需要 4 版本 L 等级的 QR 码符号, 见图 7a。采用设置 16 色编码模块的彩色 QR 码存储此文本信息, 只需要 1 版本 L 等级 QR 码符号, 见图 7b。通过黑白 QR 码与彩色 QR 码存储性能的对比和分析可知, 存储相同容量的数据信息, 彩色 QR 码所需的版本较低, QR 码符号较小。显然, 彩色 QR 码更加有利于信息的传输和用户的体验。

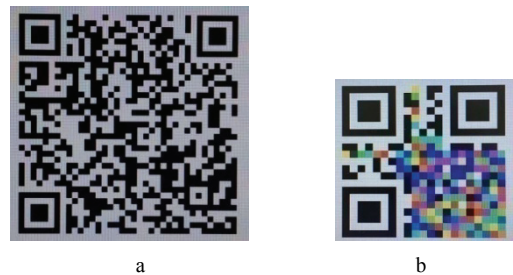


图 7 黑白和彩色 QR 码符号对比





Fig.7 Comparing black and white QR code with color QR code

针对黑白 QR 码和 16 色彩色 QR 码符号, 采用手机拍摄和编码程序自动生成 2 种方式进行图像的采集; 再通过不同的算法处理进行解码, 并计算解码的正确率。编码程序自动生成的黑白 QR 码和彩色 QR 码, 无论是否采用 K-Means 算法处理, 两者译码的正确率都是一样的, 为 100%, 见表 3。当采用手机拍摄进行黑白 QR 码的图像采集时, 无论是否采用 K-Means 算法处理, 其译码正确率都为 100%, 说明光照、天气等环境因素对黑白 QR 码译码几乎没有影响。当采用手机拍摄进行彩色 QR 码

的图像采集时,未采用 K-Means 算法处理的图像,其译码正确率只有 62%,说明光照、天气等环境因素对彩色 QR 码译码的影响较大。采用基于 HSV 颜色空间的 K-Means 算法处理图像后,其译码正确率提高到约 86%。由此可以看出,基于 HSV 颜色空间

采用三元组配色模型进行彩色编码模块的颜色设置,以及采用 K-Means 聚类算法进行彩色编码模块的色彩分割,可以大幅度地降低彩色 QR 码编码模块之间的混叠效应,显著地提高彩色 QR 码译码的正确率。

表 3 各种 QR 码译码的正确率
Tab.3 The decoding accuracy of different types of QR codes

名称	图像	来源	算法处理	正确率/%
黑白QR码		手机拍摄	未处理	100
黑白QR码		编码程序自动生成	K-Means算法	100
彩色QR码		手机拍摄	未处理	62
彩色QR码		编码程序自动生成	K-Means算法	100

3 结语

彩色 QR 码的信息存储容量比黑白 QR 码扩增了 n 倍,使其完全能够涵盖目前黑白 QR 码的所有应用领域,并且彩色 QR 码无需通过网址链接来读取信息,使其应用领域更加拓宽,信息传输效率大大地提高,用户体验的更加便捷舒适。彩色 QR 码的每个编码模块可以存储 n 位二进制位流,对于某一固定长度的二进制数据信息,其编解码的处理效率要远远高于黑白 QR 码。但是,彩色 QR 码解码时对光照和天气等不利因素比较敏感,导致其应用环境相对要求较高,其解码技术有待进一步改善。考虑到彩色 QR 码易受到天气、光照等外界环境的不利影响,采用基于 HSV 颜色空间的三元组配色模型进行彩色编码模块的颜色设置,降低了编码模块之间的混叠效应;采用基于 HSV 颜色空间的 K-Means 聚类算法,进行彩色编码模块的色彩分割,提高了彩色 QR 码译码的正确率。

参考文献:

[1] 陈钰. 面向手机的二维条码识别技术的研究与应用[D]. 沈阳: 东北大学, 2005.
CHEN Yu. Research and Application of 2D Barcode Recognition Technology for Mobile Phone[D]. Sheng-Yang: Northeastern University, 2005.

[2] 二维码北京码上世界. 试论二维码在啤酒营销中的应用(上)[EB/OL]. [2016-11-18]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_1365c59300102wdey.html.

Beijing World Code. The Application of Two Dimensional Code in Beer Marketing (Upper) [EB/OL]. [2016-11-18]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_1365c59300102wdey.html.

[3] 苏园园. 手机二维码应用中的若干关键问题研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2015.
SU Yuan-yuan. Research on Some Key Problems in the Application of Mobile Phone Two-dimensional Code [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Railway University, 2015.

[4] 孟猛, 孙继华, 邓志声. 基于二维码技术的热带水果质量安全追溯系统设计及实现[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 13—20.
MENG Meng, SUN Ji-hua, DENG Zhi-sheng. Design and Implementation of Tropical Fruit Quality and Safety Traceability System Based on Two Dimensional Code Technology[J]. Packaging engineering, 2014, 35(5): 13—20.

[5] 二维码北京码上世界. 试论二维码在啤酒营销中的应用(下)[EB/OL]. [2016-11-18]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_1365c59300102wdey.html.
Beijing World Code. The Application of Two Dimensional Code in Beer Marketing (Lower)[EB/OL]. [2016-11-18]. http://blog.sina.com.cn/s/blog_1365c59300102wdey.html.

[6] 中国乳业编辑部. 河南在全国率先试行奶站信息化管理 运用二维码监管[J]. 中国乳业, 2015(8): 74.
Editorial Department of China Dairy. Henan in the Country to Take the Lead in the Trial of Milk Station Information Management Using Two-dimensional Code Supervision[J]. China Dairy, 2015(8): 74.

[7] 李晓玮. 基于二维码的智能超市应用系统的设计与

- 实现[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- LI Xiao-wei. Design and Implementation of Intelligent Supermarket Application System Based on Two Dimensional Code[D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [8] SUPPAT R, MAHASAK K, et al. Data Hiding Method for QR Code Based on Watermark by Compare DCT with DFT Domain[C]// International Conference on Computer and Communication Technologies, Phuket : Planetary Scientific Research Center, 2012: 144—148.
- [9] HIREN J, GALIYAWALA, KINJAL H P. To Increase Data Capacity of QR Code Using Multiplexing with Color Coding: An Example of Embedding Speech Signal in QR Code[C]// IEEE India Conference (INDICON), Pune: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2015: 1—6.
- [10] NANCY V. Enhancing the Data Capacity of QR Codes by Compressing the Data before Generation[J]. International Journal of Computer Applications, 2012, 60(2): 17—21.
- [11] 牛万红, 颜惠琴, 葛永斌. 一种彩色 QR 码的设计原理及编解码实现[J]. 北京理工大学学报, 2015, 35(10): 1067—1073.
- NIU Wan-hong, YAN Hui-qin, GE Yong-bin. Design Principle and Coding and Decoding of a Color QR Code[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2015, 35(10): 1067—1073.
- [12] 李栋, 冯立杰, 苏航. 适应 logo 形状的彩色 QR 码的设计[J]. 电子世界, 2016(17): 167—170.
- LI Dong, FENG Li-jie, SU Hang. Design of Color QR Code Adapted to Logo Shape[J]. Electronic World, 2016(17): 167—170.
- [13] 于英政. QR 二维码相关技术的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- YU Ying-zheng. Research on QR Two-dimensional Code Correlation Technology[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [14] 贾骥. 道路交通标志检测与识别算法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- JIA Ji. Research on Road Traffic Sign Detection and Recognition Algorithm[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.
- [15] 吕宗伟. 子图像加权的彩色图像对比度增强算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(8): 1057—1064.
- LYU Zong-wei. Color Image Contrast Enhancement Algorithm Based on Sub Image Weighting[J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 2012, 24(8): 1057—1064.
- [16] 陈抒璐. 基于特征提取和色彩分割的偏色检测[D]. 南京: 南京大学, 2014.
- CHEN Shu-rong. Partial Color Detection Based on Feature Extraction and Color Segmentation[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014.