

# 一种多目标 QR 码图像快速校正方法

丁伟利<sup>1</sup>, 王明魁<sup>1\*</sup>, 谷 朝<sup>1</sup>, 王文锋<sup>2</sup>

<sup>1</sup>燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004;

<sup>2</sup>燕山大学车辆与能源学院, 河北 秦皇岛 066004

**摘要** 随着信息物联网的发展,快速响应(QR)码的应用越来越多样化。传统单个 QR 码的识别和应用已不能满足现有需求,因此提出一种多目标 QR 码的校正方法。对图像进行二值化,利用 QR 码自身符号特征进行定位,结合连通区域标记算法对图中的多个 QR 码进行分割。接着利用轮廓跟踪获得 QR 码探测图形边界,并利用几何关系获得探测图形上的 3 个顶点。根据探测点和 3 个顶点的关系,获得第 4 个顶点,最后用逆投影变换依次对每个 QR 码进行校正处理。使用 C++ 语言实现算法,并用 Zbar 对校正后的 QR 码进行识别测试。实验结果表明,所提算法能够实现对多目标 QR 码的快速校正,识别率高,且能克服不同光照、背景干扰影响,具有较好的稳健性。

**关键词** 图像处理; 快速响应码校正; 符号特征; 连通区域标记; 逆投影变换

中图分类号 TP391.4 文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201737.1010001

## A Fast Image Correction Method for Multi-Target QR Codes

Ding Weili<sup>1</sup>, Wang Mingkui<sup>1</sup>, Gu Zhao<sup>1</sup>, Wang Wenfeng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China;

<sup>2</sup>School of Vehicles and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China

**Abstract** With the development of information networking, the application of quick response (QR) codes is more and more diverse. The recognition and application of traditional single QR code cannot meet the current demands. Therefore, a correction algorithm for multi-target QR codes is proposed. The image is binarized and the code symbolic characteristics are used to locate the QR codes. The QR codes are segmented based on those characteristics and the connected components labeling algorithm. Then, contour tracing is used to obtain the boundaries of the QR codes detection pattern. Three vertices on the detection pattern are obtained by using the geometric relationship. The fourth vertex is obtained by the relationship between the probe point and the other vertices. Finally, the inverse perspective transformation is used to correct the code shape. The proposed algorithm is implemented by C++ programming language, and the corrected QR codes are tested by Zbar. Experimental results show that the proposed algorithm can carry out the correction of multi-target QR codes quickly with high recognition rate, and can overcome the influence of different illumination and background interference, showing good robustness.

**Key words** image processing; quick response codes correction; symbolic characteristics; connected components labeling; inverse perspective transformation

**OCIS codes** 100.4994; 100.2000; 100.5010; 110.2960

## 1 引 言

快速响应(QR)码<sup>[1]</sup>因其信息存储量大、抗损性强和识别快等特点,在各领域的管理系统中应用广泛。实际应用时,由于采集环境不固定,采集到的 QR 码图像会存在光照不均匀、几何失真等情况,降低了识别率。针对这些问题,学者们提出了许多解决方法。Belussi 等<sup>[2]</sup>采用 Viola-Jones 框架来检测图像中的 QR 码,检测精度较高,但是该框架本身较复杂。刘慧娟<sup>[3]</sup>提出一维特征模板匹配的定位方法,用霍夫变换获得条码的顶点;Sun 等<sup>[4]</sup>采用边缘检测定位 QR 码,利用逆透视投影重定位第 4 个顶点,但是这两种方法计算

收稿日期: 2017-04-20; 收到修改稿日期: 2017-05-12

基金项目: 河北省自然科学基金(F2016203211)、燕山大学基础研究专项课题青年课题(理工 A 类)(15LGA014)

作者简介: 丁伟利(1979—),女,博士,教授,主要从事计算机视觉方面的研究。E-mail: weiye51@ysu.edu.cn

\* 通信联系人。E-mail: wang\_mk@yeah.net

复杂。杨佳丽等<sup>[5]</sup>采用图像分块自适应法获得二值图,利用小波变换改进的边缘检测算法定位 QR 码。但是该法采用的二值化方法易出现分块痕迹明显的情况。孙明等<sup>[6]</sup>和李军<sup>[7]</sup>首先获得 QR 码的边界,利用霍夫变换计算 QR 码的 4 个顶点。但是若图像中存在噪点,查找到的顶点会存在一定误差,造成校正后的 QR 码仍存在一定的几何失真。陈威兵等<sup>[8]</sup>利用探测图形特征进行定位,采用仿射变换校正图像,搜索 QR 码的校正图形,对校正后的 QR 码进行采样处理。但是该算法不适用版本为 1 的 QR 码,同时计算量较大。Liu 等<sup>[9]</sup>根据 QR 码符号特征提出一种多 QR 码的处理方法,但是在图像存在严重的几何失真时,该方法存在误检的情况。Chang 等<sup>[10]</sup>提出一种新的图像扫描方法,获得 QR 码的轮廓,采用 8 条直线分别从图像的 8 个方向搜索 QR 码的 4 个顶点。Liu 等<sup>[11]</sup>提出的方法对存在几何失真情况的 QR 码识别效果不佳。龙清清等<sup>[12]</sup>提出的方法可以检测图像中最大连通区域以定位 QR 码,但对复杂背景下的 QR 码定位不准确。王雄华等<sup>[13]</sup>利用冗余点剔除以快速定位 QR 码的 4 个顶点,但是在复杂环境下该法效果不佳。

针对单幅图像中存在多个 QR 码以及光照不均匀等情况,本文提出一种单幅图像多目标 QR 码的快速校正方法,能快速地对图中的多个 QR 码进行定位、分割及校正,解决 QR 码实际应用中存在的问题。

## 2 QR 码符号特征

QR 码是一种矩阵式二维码<sup>[14]</sup>,由深色、浅色正方形模块按照一定规则排列而成,包括编码区域和功能区域。符号结构如图 1(a)所示。

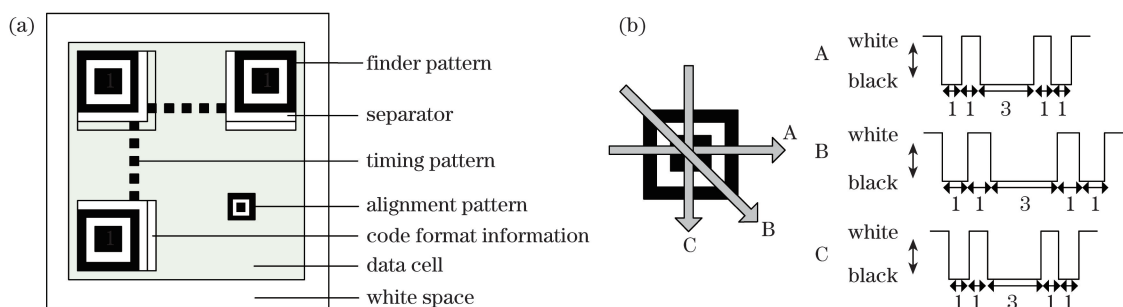


图 1 QR 码符号特征。(a)QR 码结构;(b)探测图形

Fig. 1 Symbolic characteristics of QR codes. (a) Structure of QR codes; (b) detection patterns

QR 码在设计时被赋予了多种独特的符号特征,这些特征使其与周围环境明显不同,保证了在对 QR 码进行识别的同时可以快速定位。

1) 特征 1:QR 码的每个探测图形都由深浅模块按照 1:1:3:1:1 的关系交错排列,如图 1(b)所示,且在水平、垂直和斜对角线方向上均具有该比例。因此通过搜寻探测图形,可以快速定位 QR 码区域。

2) 特征 2:QR 码的 4 周存在白色区域,使得 QR 码区域和图中其他区域能够有效地分开。在检测到 QR 码的 3 个探测点后,可以利用该特征判断它们的位置关系。

3) 特征 3:对于版本为  $V$  的 QR 码,每一行或列包括的深浅模块个数为  $N = 4V + 17$ 。版式最小为 1,每行模块 21 个,最大为 40,每行模块 177 个。

## 3 图像二值化

对图像进行二值化处理是对 QR 码预处理的首要步骤。二值化算法的好坏直接影响后续处理结果。由于 QR 码图像的采集环境不固定,采集到的图像存在光照不均匀的现象,此时如果采用全阈值的方法来处理,对于亮度不均匀的地方会产生误判。因此采用一种自适应阈值二值化算法<sup>[9]</sup>,该算法能够很好地应对光照不均匀的情况,快速分离出目标与背景。

该算法的主要思想是将图中的每个像素点的灰度值与其周围像素平均灰度值做比较,如果当前像素点的灰度值加上一定比例的平均灰度值小于等于平均值时,则将该点像素值置为 0,否则置为 255,即:

$$g(x, y) = \begin{cases} 0, & f(x, y) \leq A \frac{100-t}{100} \\ 255, & f(x, y) > A \frac{100-t}{100} \end{cases}, \quad (1)$$

式中  $f(x, y)$  为灰度图像中坐标  $(x, y)$  的灰度值,  $g(x, y)$  为经过阈值处理后二值图中的像素值,  $A$  为当前像素点周围像素平均灰度值,  $t$  为设定的阈值, 设为 20。

平均灰度值  $A$  可以表示为

$$A = \frac{s_{\text{sumR}}}{n_R}, \quad (2)$$

式中  $s_{\text{sumR}}$  是长和宽分别为  $s$  的矩形内所有像素点的灰度值之和, 且该矩形以  $(x, y)$  为中心坐标点,  $n_R$  是该矩形内像素点的个数。实验中矩形窗口宽度设为图像高度的 1/16。

同时利用积分图来计算矩形窗口上像素的灰度值之和。积分图  $I(x, y)$  计算如下:

$$I(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} f(x', y'), \quad (3)$$

式中  $I(x, y)$  表示从  $f(x, y)$  到左上角的矩形窗口上的强度值之和。新的  $I(x, y)$  表示为

$$I(x, y) = f(x, y) + I(x-1, y) + I(x, y-1) - I(x-1, y-1). \quad (4)$$

当得到积分图后, 就可实时计算固定矩形区域内从左上角  $(x_1, y_1)$  到右下角  $(x_2, y_2)$  之间积分值之和, 即:

$$\sum_{x=x_1}^{x_2} \sum_{y=y_1}^{y_2} f(x, y) = I(x_2, y_2) - I(x_2, y_1 - 1) - I(x_1 - 1, y_2) + I(x_1 - 1, y_1 - 1). \quad (5)$$

QR 码图二值化结果对比如图 2 所示, 图 2(a) 为在弱光环境中采集的 QR 码图像; 图 2(b) 为直接用 Otsu 算法处理的二值化图; 图 2(c) 为本文采用自适应阈值后的二值化图。由图 2 可知, 采用全局阈值处理仍有部分 QR 码没能从背景中分割出来, 而本文算法能很好地将 QR 码与背景区分出来。

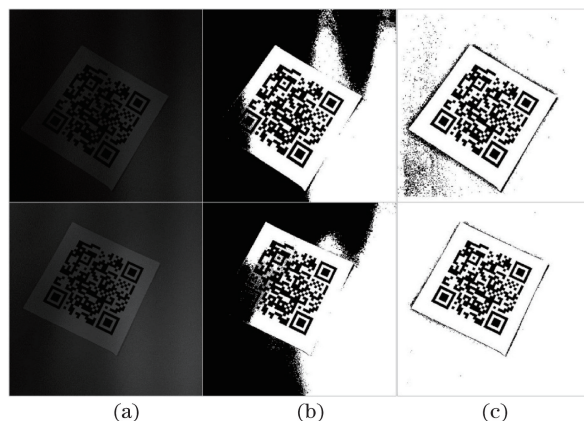


图 2 QR 码二值化结果对比。(a) QR 码原图; (b) Otsu 算法; (c) 本文算法

Fig. 2 Results comparison of QR codes binarization. (a) Original images of QR codes; (b) Otsu algorithm; (c) the proposed algorithm

#### 4 QR 码定位

采用探测图形特征方法来定位图中存在的 QR 码。QR 码的探测图形具有旋转不变性, 即无论从哪个方向进行遍历, 探测图形中深色和浅色块的宽度比例都满足 1:1:3:1:1 的关系。因此, 可根据这一特征对图像进行扫描, 找到 3 个探测图形的中心点, 对 QR 码进行大致定位。处理过程如下:

1) 定义一个大小为 5 初值为 0 的数组, 用于记录扫描到的 QR 码深浅模块的长度。对图像进行水平扫描, 当扫描到的像素点为深色时, 开始记录; 记录结束时, 判断数组中深浅模块长度是否近似满足 1:1:3:1:1 的关系, 允许有 0.5 的误差。

2) 若当前数组中深浅模块长度满足该比例关系,则将图像指针移到中间深色块的中心位置,并以该坐标点为起始点,向上和向下进行扫描,分别获取一个浅色块和一个深色块。再判断新的深浅模块长度是否满足1:1:3:1:1的关系。

3) 经以上判断,若深色浅色块宽度满足 1:1:3:1:1 的关系,则记录该数组中深浅模块的总长度,同时将图像指针移到中间深色块的中心位置。然后再以该点为起始点,向左和向右进行扫描,分别获取一个浅色块和一个深色块,并判断获得的新的深浅模块长度是否满足 1:1:3:1:1 的关系。若满足,则该点为其中的一个候选探测点,并记录该行深浅模块的总长度;若不满足,则继续进行扫描。

4) QR 码探测图形的特点是其宽度和高度相等,对角线长度是其宽度或高度的 $\sqrt{2}$ 倍,因此可以利用这一关系对得到的候选探测点再次进行判断。当候选探测点满足该探测图形的垂直宽度与水平宽度差的绝对值小于或等于两者中最小宽度时,将该点作为探测图形的中心点。扫描过程如图 3 所示。

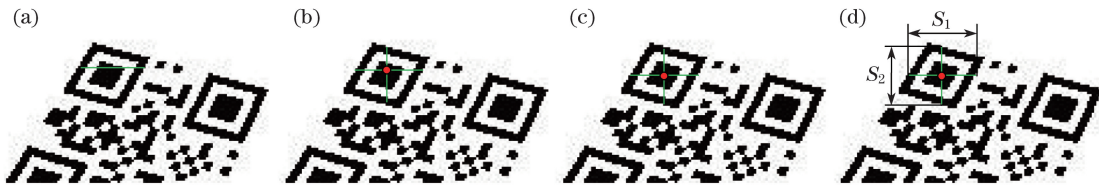


图 3 探测图形中心点查找。(a)行扫描;(b)列扫描;(c)调整到中心位置;(d)判断  $S_1$ 、 $S_2$  之间的关系

Fig. 3 Search the central point of detection pattern. (a) Line scan; (b) column scan; (c) adjust to the center position; (d) judge the relationship between  $S_1$  and  $S_2$

## 5 多目标 QR 码分割

由于图中存在多个 QR 码,显然不可能同时对它们进行识别,因此需要对图像中存在的 QR 码进行分割,使一个 QR 码对应 3 个探测点。从前面的步骤中,已经获得了 QR 码的探测点和每个探测点对应的探测图形的水平和垂直宽度。由此可以估计出 QR 码的单个模块宽度,即

$$W_{\text{size}} = \frac{(L_{\text{hor}} + L_{\text{ver}})/2}{7}, \quad (6)$$

式中  $W_{\text{size}}$  为 QR 码单个模块宽度,  $L_{\text{ver}}$  为探测图形垂直宽度,  $L_{\text{hor}}$  为探测图形水平宽度。

由获得的探测点和  $W_{\text{size}}$  可以对图像中的多个 QR 码进行分割。在捕获的图像中,QR 码之间会存在不同的位置关系,经过总结可以分为 3 类:

1) 当捕获图像中 QR 码之间存在明显的大小差异时,如图 4(a)所示,可根据 QR 码的单个模块宽度对得到的探测点进行分类,即属于同一个 QR 码的探测点具有大小近似的  $W_{\text{size}}$ ,使得每个 QR 码对应 3 个探测点,完成分割。

2) 第二类是 QR 码之间距离大于探测点之间距离且每个 QR 码大小差不多,如图 4(b)所示,即  $D_{AB} < D_{BC}$ ,式中  $D_{AB}$  为探测点之间的距离,  $D_{BC}$  为 QR 码之间的距离。这时,可以根据探测点之间的距离关系来对探测点进行分类。每个 QR 码的探测图形所占的模块数是固定的,由 QR 码的版式计算出探测点之间所占的模块数,记为  $M$ 。例如当版式为 1 时,QR 码每行所占模块为 21 个。因为探测图形所占模块数为 14 个,所以探测点之间的距离所占模块数为 14 个。因此 QR 码探测点之间所占模块数满足以下条件

$$M = N - 7. \quad (7)$$

由已得到的探测点计算 QR 码实际的单个模块宽度,即

$$W_{\text{calsize}} = \frac{D_{\text{finder}}}{M}, \quad (8)$$

式中  $W_{\text{calsize}}$  为由探测点间距离计算得到的单个模块宽度,  $D_{\text{finder}}$  为探测点间的距离。

将  $W_{\text{calsize}}$  与  $W_{\text{size}}$  做差,若其绝对值小于一定阈值,就认为这两个探测点属于同一个 QR 码。

$$F_{\text{lag}} = \begin{cases} 1, & |W_{\text{calsize}} - W_{\text{size}}| \leq T_{\text{size}} \\ 0, & |W_{\text{calsize}} - W_{\text{size}}| > T_{\text{size}} \end{cases}, \quad (9)$$

式中  $F_{lag}=1$  时表示这两个探测点在同一个 QR 码上, 否则这两个探测点不属于同一个 QR 码。  $T_{size}$  为阈值, 本文设为  $W_{size}$ 。

3) 当 QR 码之间距离非常近时,  $D_{AB} > D_{BC}$ 。上述两种方法是不能正确对探测点进行分类的, 因为相邻的两个 QR 码的探测点会被误检为一个 QR 码, 如图 4(b) 中的 B、C、D 3 点就会被误检为一个 QR 码。由于前面已求出每个 QR 码的单位模块大小, 因此可以根据该参数对图像做适当的形态学处理, 然后对图像做连通区域标记。这样属于同一个 QR 码的探测点会拥有相同的标记号, 由此完成对多个 QR 码的分割。



图 4 QR 码在图中的位置关系  
Fig. 4 Position relationship of QR codes in the image

## 6 QR 码倾斜校正

因为摄像头与 QR 码存在位置关系, 使得捕获到的 QR 码图像会存在不同程度的几何失真现象, 因此在对 QR 码识别前需要进行校正工作。首先获得 QR 码的 4 个控制点, 然后采用逆透视投影对 QR 码进行校正。

### 6.1 QR 码控制点的计算

针对 QR 码图像几何失真情况, 提出一种应对策略, 处理过程如下:

1) 对每个 QR 码探测点的位置关系进行判断。首先, 找到三角形的最小角, 如图 5(a) 所示, 然后分别做直线 AC、AB、CB 的平行线 ED、CD、AE, 同时这 3 条直线分别过点 B、C、A。此时, 直线 AE、CD 中必有一条属于 QR 码区域, 因此可以结合 QR 码前景点, 计算三角形内前景点占比大小, 占比较大的三角形对应的探测点即为 QR 码的左上角探测点。

2) 求 QR 码探测图形上的 3 个顶点。以探测点为起始点, 对图像进行向上搜索, 查找探测图形最外层深色区域顶部的点, 如图 5(b) 中的  $P_0$ 、 $P_1$ 、 $P_2$  点。然后以这 3 点为起始点对探测图形最外层边界进行跟踪, 获得探测图形外层深色区域最外层轮廓, 如图 5(c) 所示。最后求  $A_0$  对应的轮廓到直线  $B_0C_0$  距离最远的点  $A_1$ ,  $B_0$ 、 $C_0$  对应的轮廓到直线  $A_0F$  ( $F$  为线段  $B_0C_0$  的中点) 距离最远的点  $B_1$ 、 $C_1$ , 这 3 点就是 QR 码探测图形上的 3 个顶点。

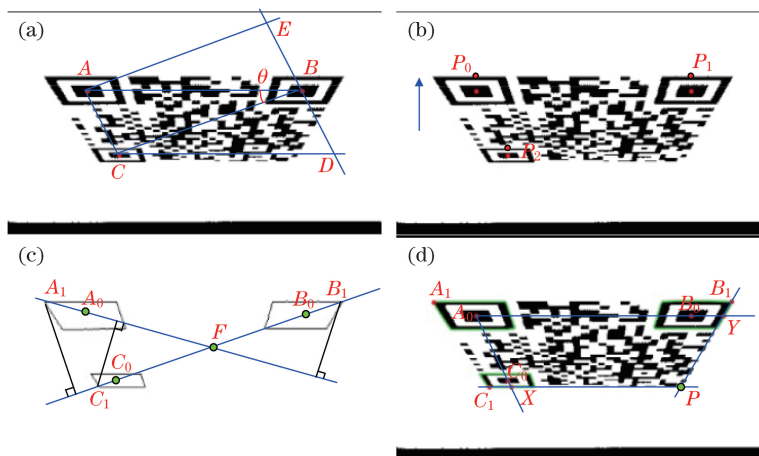


图 5 QR 码顶点查找。(a)探测点位置分析;(b)轮廓跟踪起始点;(c)探测图形上的顶点;(d)第 4 个顶点  
Fig. 5 Search of QR codes vertices. (a) Position analysis of detection pattern points; (b) contour tracing start point; (c) vertices of detection patterns; (d) the fourth vertex

3) 由于二值化后的 QR 码深色区域边缘存在锯齿状况,为了使获得的第 4 个顶点更准确,需要对轮廓做凸包处理,如图 5(d)中绿色线条。若已知探测点  $A_0$  位于 QR 码的左上角,则分别做射线  $A_0C_0$ 、 $A_0B_0$ ,然后求这两条射线与对应轮廓的交点,记为  $X$ 、 $Y$ 。最后求直线  $C_1X$  与  $B_1Y$  的交点,即点  $P$  为 QR 码的第 4 个顶点,如图 5(d)所示。由此求得 4 个顶点,对 QR 码做逆投影变换,实现校正。

## 6.2 逆投影变换

逆投影变换就是将图片投影到一个新的视平面,也称作投影映射。可利用该变换将不规则四边形变换到正四边形。如图 6 所示。

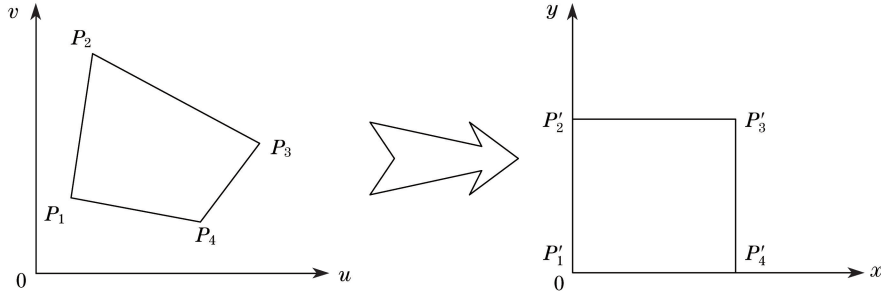


图 6 逆透视投影

Fig. 6 Inverse perspective transformation

变换公式为

$$\begin{cases} x = \frac{a_{11}u + a_{21}v + a_{31}}{a_{13}u + a_{23}v + 1} \\ y = \frac{a_{12}u + a_{22}v + a_{32}}{a_{13}u + a_{23}v + 1} \end{cases}, \quad (10)$$

式中  $(u, v)$ 、 $(x, y)$  分别为转换前后的图像坐标,  $a_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) 为等式系数。由等式可知,存在 8 个未知参数,因此至少需要 4 组坐标点。将已求得的 QR 码 4 个控制点坐标代入公式,就可以求得参数解,也就得到了转换矩阵  $\mathbf{M}$ ,即:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}. \quad (11)$$

最后将原图像坐标与转换矩阵相乘,就可以得到校正后的 QR 码,即:

$$f(x, y) = g(u, v) \cdot \mathbf{M} = g\left(\frac{a_{11}u + a_{21}v + a_{31}}{a_{13}u + a_{23}v + 1}, \frac{a_{12}u + a_{22}v + a_{32}}{a_{13}u + a_{23}v + 1}\right). \quad (12)$$

由于逆投影变换后的坐标一般不是整数,所以需要对转换后的 QR 码做插值处理。采用双线性插值对图像进行处理,计算如下:

$$w(x, y) = (1 - m)[(1 - n)f(x, y) + nf(x, y + 1)] + m[(1 - n)f(x + 1, y) + nf(x + 1, y + 1)]. \quad (13)$$

## 7 实验结果与分析

为验证本文算法性能,利用 AMD AthlonII X2 260 Processor、3.2 GHz 计算机,使用 C++ 语言在 Microsoft Visual Studio2010 软件上实现本文算法,并对程序运算速度和识别率进行测试。使用 Zbar 解码库对校正后的 QR 码进行译码。

使用 USB 摄像头采集 240 幅 QR 码图片,图片尺寸设定为  $640 \times 480$ ,其中 90 幅为多 QR 码图片,150 幅为单 QR 码图片,拍摄距离为 10 ~ 30 cm,摄像头与水平面的夹角为  $30^\circ \sim 90^\circ$ ,校正后的 QR 码尺寸设定为  $100 \times 100$ 。为了验证本文算法的稳健性,所有图片采集于不同环境。将图片分为 3 组,每组各 80 张,其中 30 张为多 QR 码图像,50 张为单 QR 码图像。第 1 组采集于光照充足的环境,第 2 组采集于弱光环境,第

3组采集于复杂背景环境。多QR码图像每组都包括第5节所讨论的3种情况,然后进行校正处理。由图7可知,本文算法能成功地对弱光和复杂背景环境下的QR码图像进行校正。为验证本文算法对模糊QR码图像的处理能力,拍摄了15张存在模糊情况的QR码图像。测试过程中发现,对模糊情况较轻的QR码图像有较好的校正结果,但对严重模糊的图片的处理能力一般,测试样张如图8所示。

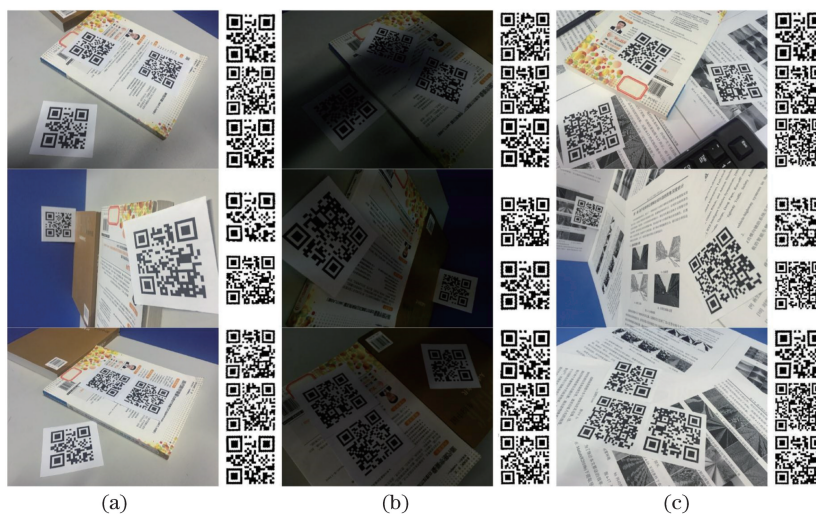


图7 不同环境下的校正结果。(a)正常光照;(b)弱光环境;(c)复杂背景

Fig. 7 Correction results in different environments. (a) Normal illumination; (b) low light environment; (c) complex background environment

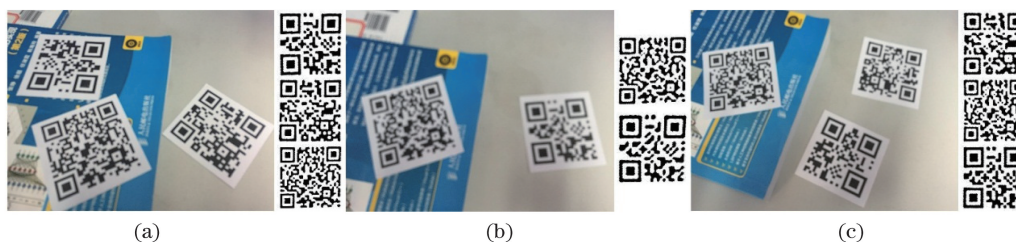


图8 模糊图像的校正结果。(a)轻微模糊;(b)(c)模糊

Fig. 8 Correction results of fuzzy image. (a) Light fuzzy; (b)(c) fuzzy

针对90幅存在多个QR码的3组图像,表1给出了文献[9]算法与本文算法对其在运算时间及识别率方面的对比结果。在测试中发现,当存在严重的几何失真时,文献[9]算法对多QR码存在误检情况,识别率较低。但是当图像只存在旋转或几何失真情况轻微时,识别率较高。原因在于文献[9]算法对图中多目标QR码的判断条件要求较高,当QR码存在严重的几何失真时,该条件不能满足,因此识别率较低。

由表1可知,本文算法的平均运算时间约是文献[9]算法的1/3。对存在几何失真的多QR码图像,本文算法有着较强的校正能力。

表1 多QR码校正算法运算时间及识别率对比

Table 1 Comparison of computational time and recognition rate of multi QR codes correction algorithms

Algorithm	Average execution time / ms			Recognition rate / %		
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 1	Group 2	Group 3
Ref. [9] algorithm	96.879	63.776	79.216	85	78	77
Proposed algorithm	32.497	22.328	27.164	92	90	88

对比传统单QR码校正方法,表2给出了文献[5]、文献[8]、文献[13]算法与本文算法在3组图像上的运算时间和识别率对比结果。在最后校正部分,文献[5]、文献[13]算法和本文算法采用opencv逆投影函数进行校正,文献[8]算法采用opencv仿射变换函数进行校正。

表 2 单 QR 码校正算法运算时间及识别率对比

Table 2 Comparison of calculation time and recognition rate of single QR code correction algorithms

Algorithm	Average execution time /ms			Recognition rate /%		
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 1	Group 2	Group 3
Ref. [5] algorithm	37.623	36.879	38.264	70	61	43
Ref. [8] algorithm	34.423	32.667	37.213	82	76	64
Ref. [13] algorithm	29.414	27.016	28.864	84	78	51
Proposed algorithm	11.213	10.464	11.625	93	91	89

从表 2 可以看出,本文算法无论是在运算时间和识别率方面都有较大的优势,特别是在弱光环境和复杂背景下,识别率比其他算法高出很多。分析文献[5]、文献[8]、文献[13]算法,发现在暗光和复杂环境下识别率低有以下原因:

1) 二值化方法。一个好的二值化方法对后续的处理有着很大的影响,文献[5]、文献[13]算法在弱光环境下,对某些图像不能将 QR 码与背景完全区分开,这样就会影响后续的步骤。文献[8]算法采用迭代方法来选取最佳二值化阈值,这样会消耗较多的时间,经测试该二值化方法与其他文献中采用的二值化方法相比,耗时最长。

2) 文献[5]、文献[13]算法都是在前景只有 QR 码的情况下进行顶点定位,在摄像头离 QR 码较近,且环境较理想的情况下才能提取到前景只有 QR 码的图像。文献[5]算法在对图像做形态学运算后,采用 QR 码上的点到对角线最小距离的方法来检测顶点,这样当图像经过旋转后,离对角线最近的点并不一定是顶点,同时该法检测到的第 4 个顶点误差较大。如图 8(a)所示,由该文献扫描方法可知,从图像的右下角由外向内进行扫描,会发现 QR 码边界上有较多的像素点到直线  $L_3$  的距离相等,因此无法找到对应的顶点。 $P_2$  为扫描得到的第 4 个顶点, $P_1$  为直线  $L_1$  与  $L_2$  的交点,是第 4 个顶点实际位置,可以看出两点间存在一定的误差。文献[13]算法采用直线逼近的方法来定位顶点,分别从图像的 7 个方向对前景进行扫描,若图像中干扰像素没有被清除,将会影响检测的准确性。如图 8(b)所示,直线  $L$  从左向右进行扫描,因为有干扰区域的存在,因此扫描到的点并不一定是顶点。文献[8]算法在对 QR 码做过仿射变换后,对其进行校正图形定位,由于校正图形一般与数据区相连,这样会增加扫描的难度,容易出现定位失败情况。即使找到校正图形点,该文献利用计算出的 QR 码模块宽度来估计第 4 个顶点,第 4 个点与实际位置易产生较大偏差,如图 8(c)所示。点  $A$  为扫描到的校正图形的点,根据 QR 码图像的模块宽度,利用文献[8]算法进行第 4 个点估计,得到  $C$  点。但是该点实际位置在  $B$  点,故经过仿射变换后存在失真的 QR 码不能正确估计出失真程度。同时该法不适用于版式 1 的 QR 码。因此文献[5]、文献[8]、文献[13]算法在弱光环境和复杂环境中识别率较低。

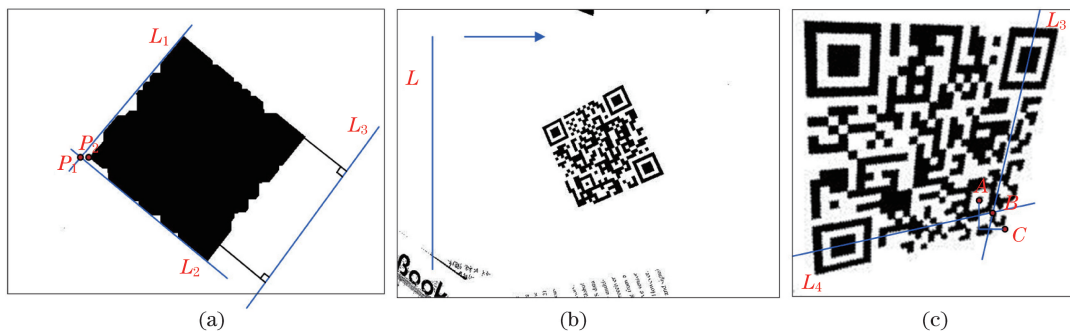


图 9 不同算法分析。(a)文献[5]算法;(b)文献[13]算法;(c)文献[8]算法

Fig. 9 Analysis of different algorithms. (a) Ref. [5] algorithm; (b) Ref. [13] algorithm; (c) Ref. [8] algorithm

## 8 结 论

针对摄像头采集的图像中存在多个 QR 码、光照不均匀及几何失真现象,提出一种多目标 QR 码校正方法,能够快速有效地对单幅图像中多个 QR 码进行校正。对 QR 码在单幅图中存在的位置关系进行分



析,针对不同情况提出不同的处理方法,实现多个 QR 码的快速校正,提高识别率。由测试结果可知,本文算法具有较强的环境适应性和较快的校正率,满足 QR 码识读应用对实用性和实时性的需求,可应用到嵌入式等设备上。

## 参 考 文 献

- [1] State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB/T 18284—2000 Quick response code national standards[S]. Beijing: Standards Press of China, 2000.  
国家质量技术监督局. GB/T 18284—2000 快速响应矩阵码国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [2] Belussi L F F, Hirata N S T. Fast QR code detection in arbitrarily acquired images[C]. Proceedings of the 2011 24th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images, 2011: 281-288.
- [3] Liu Huijuan. Omnidirectional recognition of quick response code image[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(4): 376-379.  
刘慧娟. 快速响应码图像的全方位识别[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(4): 376-379.
- [4] Sun A D, Sun Y, Liu C X, *et al.* The QR-code reorganization in illegible snapshots taken by mobile phones[C]. Proceedings of International Conference on Computational Science and ITS Applications, 2007: 532-538.
- [5] Yang Jiali, Gao Meifeng. Pretreatment method of quick response code[J]. Computer Engineering, 2011, 37(2): 218-220.  
杨佳丽, 高美凤. 一种 QR 码的预处理方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(2): 218-220.
- [6] Sun Ming, Fu Longsheng, Yang Xinting, *et al.* Image analysis method for QR code's automatic recognition[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology, 2009, 38(6): 1017-1020.  
孙明, 傅隆生, 杨信廷, 等. 用于 QR 码自动识读的图像分析方法[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(6): 1017-1020.
- [7] Li Jun. Research and implementation of the technology of image restoration and identification of QR code[D]. Suzhou: Soochow University, 2010.  
李军. QR 码的图像恢复和识别技术研究是实现[D]. 苏州: 苏州大学, 2010.
- [8] Chen Weibing, Yang Gaobo, Feng Lu. A low-complexity image preprocessing for quick response barcode recognition[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2012, 39(10): 93-97.  
陈威兵, 杨高波, 冯璐. 一种 QR 码识别的低复杂度图像预处理方法[J]. 湖南大学学报: 自科科学版, 2012, 39(10): 93-97.
- [9] Liu Q L, Li X C, Zou M, *et al.* The multi-QR codes extraction method in illegible image based on contour tracing[C]. Proceedings of the 2011 International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification, 2011: 51-56.
- [10] Chang Y H, Chu C H, Chen M S. A general scheme for extracting QR code from a non-uniform background in camera phones and applications[C]. Proceedings of 2007 9th IEEE International Symposium on Multimedia, 2007: 123-130.
- [11] Liu Y, Yang J, Liu M J. Recognition of QR code with mobile phones[C]. Proceedings of 20th Chinese Control and Decision Conference, 2008: 203-206.
- [12] Long Qingqing, Song Fuhua. QR code extraction and correction method based on maximum connected area[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(12): 162-165.  
龙清清, 宋夫华. 基于最大连通区域的 QR 码提取和校正方法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(12): 162-165.
- [13] Wang Xionghua, Zhang Xin, Zhu Tonglin, *et al.* QR code correction method by real-time location[J]. Computer Engineering and Design, 2015(8): 2185-2190.  
王雄华, 张昕, 朱同林, 等. 快速定位的 QR 码校正方法[J]. 计算机工程与设计, 2015(8): 2185-2190.
- [14] Zhang Min, Zheng Jianli. Recognition algorithm of QR code based on symbol characteristic[J]. Computer Engineering, 2011, 37(4): 278-280.  
张民, 郑建立. 基于符号特征的 QR 码识别算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(4): 278-280.