

一种快速有效的 QR 码定位方法

王景中, 贺 磊

(北方工业大学 信息工程学院, 北京 100144)

摘要:为解决在复杂背景下,由于 QR 码无法定位而导致的识别率较低的问题,提出了一种新的 QR 条码定位方法。考虑到 QR 码的结构特征,先对 QR 码进行轮廓定位,确定 QR 码可能所在的区域,然后对 QR 码进行精确定位。QR 码轮廓定位是用 Hough 变换检测近似正方形的区域,然后合并嵌套的正方形区域,最后进行区域调整。精确定位的过程利用了 KMP 算法的思想,提高了寻找满足特定比例线段的速度,从而提高了精确定位的速度。实验结果表明,相比于传统的 QR 码定位的方法,该方法可以准确快速地定位 QR 条码,整体的识别速度和识别率都有了较大的提高,同时具有很高的实用价值。

关键词:QR 码定位;Hough 变换;正方形检测;KMP 算法

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)08-0084-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.08.018

A Fast and Effective Localization Method of Quick Response Code

WANG Jing-zhong, HE Lei

(College of Information Engineering, North China University of Technology,
Beijing 100144, China)

Abstract: To solve the low recognition rate of QR code under complex background caused by the invalid localization, propose a new approach for QR code localization. Taking the structure of QR code into account, the first step is contour localization that determines the possible regions of QR code and the second step is accurate localization. Contour localization applies Hough transform to detect regions approximate to square, then merge those squares which are nested and made region adjustment at last. The thought of KMP algorithm is used in the process of accurate localization to enhance the speed of finding the special ratio line, improving the speed of localization. The results of experiments show that this method is able to locate the QR code fast and precisely and the speed of recognition as well as recognition rate are greatly improved compared with the conventional method and has high practical value as well.

Key words: QR code localization; Hough transform; square detection; KMP algorithm

0 引言

QR (Quick Response) 码^[1]是由日本 Denso 公司于 1994 年 9 月研制的一种矩阵式二维条码,不仅保持了一维条码及其他二维条码所具有的信息容量大、可靠性高之外,还具有可表示汉字及图像等多种文字信息、保密防伪性强等优点。QR 码有 40 个版本,4 个纠错等级,单个符号最大可以容纳 1 817 个字符,最高纠错等级可以纠错约 30% 的数据码字^[2]。特别是 QR 条码有汉字模式,用 13 bit 二进制表示一个汉字,比其他二维条码表示汉字的效率提高 20%。随着移动互联网的发展,QR 的应用更加广泛。QR 码已经应用到了手

机图书馆服务中^[3-4],极大地简化了图书的检索操作,同时也减轻了图书馆工作人员的负担。王维虎等^[5]对 QR 码技术应用到物联网领域进行了介绍。

QR 码的识别过程中包括许多关键问题,目前对于这些问题也进行了很多研究。文献[6]针对 QR 码预处理过程中的二值化问题,提出一种改进的自适应阈值法,取得了很好的二值化效果;文献[7]对模糊 QR 码图像的恢复进行了研究,可以有效地复原模糊图像;文献[8]为解决 QR 码的遮挡、破损等原因,提出了基于稀疏表示的 QR 码识别方法,一定程度上解决了该问题;文献[9]提出了基于相关匹配的 QR 码识别

收稿日期:2014-08-28

修回日期:2014-11-28

网络出版时间:2015-06-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61371142);北京市创新团队建设提升计划(HT20130502);北京市教委专项(PXM2013_014212_000026)

作者简介:王景中(1962-),男,教授,硕导,研究方向为图像处理与应用;贺磊(1990-),男,硕士研究生,研究方向为图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1031.029.html>

方法,该方法只针对背景简单情况下的识别,而实际应用中的背景要更加复杂;文献[10]提出了基于符号特征的QR码识别算法,该方法在识别率和速度方面都有一定提高,但基本思想还是基于QR码国标中的方法,因此改进的效果不是很明显。

在QR码的整个识别过程中,定位操作是最为关键的步骤,定位方法决定着识别率以及识别速度。文中研究了QR码的定位方法,在现有方法的基础上提出了一种新的QR码定位方法。根据QR码的整体结构特点,先检测近似的正方形区域,然后再进行精确的定位,在精确定位的过程中,利用了KMP算法的思想。

1 KMP算法简介

由于朴素的模式匹配算法复杂度较高,于是提出了一些复杂度较低而效率更高的算法,如BF算法、BM算法^[11]、RF算法和KMP算法等。其中效率最高的是KMP模式匹配算法^[12]。它充分利用了以前匹配不成功的信息而大大提高了匹配效率,其算法复杂度为 $T(n) = O(m + n)$ 。由D. E. Knuth、V. R. Pratt和J. H. Morris同时发现,因此人们称为克努特-莫里斯-普拉特操作(简称为KMP算法)。此算法可以在 $O(m + n)$ 的时间数量级上完成串的模式匹配操作。

算法基本思想是:在主串与模式串只有部分匹配的情况下,不需指针回溯,利用已知结果,引入next函数来确定重新匹配时不需要比较的字符,即模式串向右滑动尽可能远的一段距离后继续与主串比较,从而提高模式匹配的效率^[13]。

假设主串为‘ $S_1S_2\cdots S_n$ ’,模式串为‘ $P_1P_2\cdots P_m$ ’,当匹配过程中产生“失配”(即 $S_i \neq P_j$)时,则主串中的第 i 个字符应与模式中第 k (令 $\text{next}[j] = k, k < j$)个字符继续比较,由分析可知 $\text{next}[j]$ 函数分为三种情况,其定义为:

$$\text{next}[j] = \begin{cases} 0, & \text{当 } j = 0 \\ \text{Max}\{j \mid 1 < k < j \text{ 且 } 'P_1 \cdots P_{k-1}' = 'P_{j-k+1} \cdots P_{j-1}'\}, & \text{当此集合不空} \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

next的结果仅取决于模式串本身,而与主串无关,next函数值可用递推的方法求得,在此不再讨论。完整的匹配过程算法如下所述:

(1)若 S_i 与 P_j 相等,则 $i++$, $j++$,继续比较下一个字符;

(2)若 S_i 与 P_j 不等,则 i 不变,将 $\text{next}[j]$ 赋给 j ,比较当前字符;

(3)若 $\text{next}[j] = 0$,模式串和主串同时后移。

KMP模式匹配中确定next函数值的算法在某些特殊情况下仍存在不足。例如模式串‘dddddde’在和主串‘dddedddde’匹配时,当 $i = 5, j = 5$ 时, $S[5] \neq P[5]$,根据 $\text{next}[j]$ 还需要进行 $j = 3, j = 2, j = 1$ ($i = 4$)这3次比较,而模式串中第1、2、3个字符都和第4个字符相等因此不需要再比较。针对这种情况,对KMP算法中确定next函数值的方法进行了改进。

改进后确定next函数值的方法:令 $\text{next}[j] = k$,模式串中 $P_j = P_k$,则当 $S_j \neq P_j$ 时,不需要再和 P_k 比较,而是直接和 $P_{\text{next}[k]}$ 比较。

2 Hough变换原理简介

Hough变换的思想是基于点线的对偶性。图像空间中中共线的点对应于参数空间中相交的线,而参数空间中交于同一个点的所有直线在图像空间里都有共线的点与之对应。在图像空间 $x - y$ 的任意一直线都可以用极坐标的形式表示:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

Hough变换把图像空间中的直线检测问题转换到参数空间里对点的检测问题。 $A(\rho_i, \theta_j)$ 表示参数空间中一点,设置累加矩阵 $A_{m \times n}$ 对参数空间的点进行累加, $A(\rho_i, \theta_j)$ 对应于参数空间中的点 (ρ_i, θ_i) 。

令 θ 取遍其范围内的所有值,由公式(2)计算出对应的 ρ 值,对累加矩阵 $A_{m \times n}$ 的相应位置 $A(\rho_i, \theta_j)$ 进行累加,若累加矩阵中 $A_{m \times n}$ 的元素 $A(\rho_i, \theta_j)$ 达到了阈值,则该点 (ρ_i, θ_i) 可以确定图像空间 $x - y$ 中的一条直线。

3 QR码定位算法

3.1 算法流程

文中提出的QR定位算法主要包括:图像预处理、QR码轮廓定位和QR码的精确定位。QR码的预处理过程包括:二值化、边缘检测;QR码的轮廓定位过程是利用Hough变换检测正方形的方法去寻找QR码可能所在的区域,再对嵌套的区域进行合并,然后调整区域;最后在上一步得到的QR码的大致轮廓内,利用QR码探测图形的特征去寻找QR码的三个位置探测图形的中心去进行精确定位。算法的具体流程如图1所示。

3.2 图像预处理

QR码的预处理过程包括:二值化以及边缘检测。

(1)由于从摄像头等图像采集设备所捕获的图像大多是彩色图像,数据量较大,不利于识别的快速性要求,也不利于数据处理,因此必须对原图进行二值化处理。

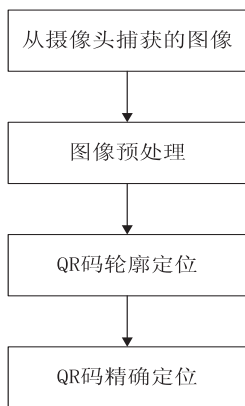


图1 QR码定位算法流程

二值化是非常关键的一个步骤,对于后续能否成功定位有很大影响。通常的基于全局阈值的二值化方法,例如 Ostu 方法,在图像有阴影的情况下效果较差;而局部阈值法,例如 Niblack 方法、Bersen 方法的计算时间代价太大,在图像较大的情况下这一缺陷就更为明显,所以不能达到实时性的要求。文中提出了一种自适应的二值化方法:

Step1:将整个图像分为4块,计算各自图像灰度的平均值, $\text{avg}[i] (i=1,2,3,4)$ 。

$$\begin{aligned}
 \text{avg}[1] &= \sum_{i=1}^{N/2} \sum_{j=1}^{M/2} I(i,j) / (M \cdot N/4) \\
 \text{avg}[2] &= \sum_{i=1}^{N/2} \sum_{j=M/2+1}^M I(i,j) / (M \cdot N/4) \\
 \text{avg}[3] &= \sum_{i=N/2+1}^N \sum_{j=1}^{M/2} I(i,j) / (M \cdot N/4) \\
 \text{avg}[4] &= \sum_{i=N/2+1}^N \sum_{j=M/2+1}^M I(i,j) / (M \cdot N/4)
 \end{aligned} \quad (3)$$

Step2:在每个区域内,将 $\text{avg}[i]$ 分别作为四个区域内的阈值进行二值化操作:

若 $I_i(m,n) > \text{avg}[i]$, 则 $I_i(m,n) = 255$; 否则 $I_i(m,n) = 0 (i=1,2,3,4)$ 。

不同二值化方法效果对比如图2所示。

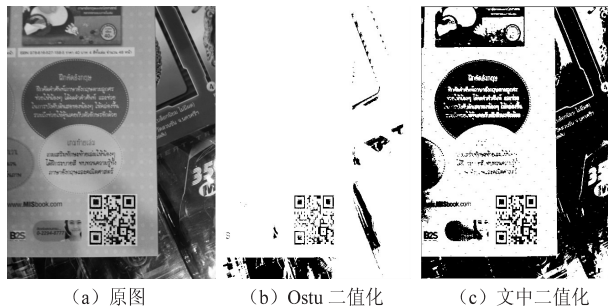


图2 不同二值化方法效果对比

(2) 在下一步的 QR 码轮廓定位中需要进行 Hough 变换,所以需要先在 QR 码的预处理过程中进行边缘检测,常用的边缘检测算子有 Sobel 算子、Laplace 算子、Canny 算子等。由于 Canny 算子对于边缘检测更加准确,所以文中采用 Canny 算子。

3.3 QR 码轮廓定位

文献[14]中的方法先对图像做膨胀运算后对图像做连通域标记,然后通过 Hough 变换确定 QR 码的四条边界的方法去获得 QR 码的大致轮廓,但由于图像中其他近似直线的干扰,往往不能直接获得 QR 码的边界。

文中通过 Hough 变换去检测正方形的方法获得 QR 码的边界,由于从摄像头获得的图形存在误差,这里检测近似的正方形区域,从而获得 QR 码所有可能的位置。

(1) 进行 Hough 变换。

首先需要把参数空间离散化成 $N_\rho \times N_\theta$ 的累加器矩阵,离散度 d_ρ 、 d_θ 的大小与输入图像的大小有关,分辨率大的图像离散度必须小。文中采用 Furukawa 和 Shinagawa^[15] 提出的确定离散度的方法,对于宽度为 W_0 、高度为 H_0 的输入图像, Hough 变换结果为图像宽度和高度分别为 $4W_0/3$ 和 $4H_0/3$,文中取 $W_0 = H_0 = D_{\max}$,由此得到的离散度如下:

$$d_\rho = \frac{3\pi}{4D_{\max}}, d_\theta = \frac{3}{4} \quad (4)$$

(2) 计算累加矩阵的峰值。

图像中直线的检测是通过上一步的 Hough 变换后,寻找累加矩阵中的峰值点。累加矩阵 $A(\rho_i, \theta_j)$ 表示满足直线方程 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 的像素点的个数,将所有满足条件 $A(\rho_i, \theta_j) \geq T_0$ 的点作为峰值点保留下来。 T_0 的设定与图像的大小以及二维码区域占整个图像的比例有关。根据实验测试,这里 $T_0 = \min(W_0, H_0)$,其中 W_0 和 H_0 分别为图像的宽度和高度。

(3) 检测近似正方形。

由于标准的 QR 码是正方形,即使通过摄像头获得的 QR 码存在一定的形变,但仍可以看作近似的正方形,这样排除了大部分干扰图形。在上一步寻找累加矩阵峰值的过程中获得的所有峰值点为 $H_i = (\rho_i, \theta_i) (i=1,2,\dots,m \text{ 为峰值点的个数})$ 。这一步要在 m 个点中筛选出满足一定条件的顶点。

首先扫描所有峰值点,将满足下列条件的 H_i 和 H_j 进行配对,这一步可以获得近似平行的直线对:

$$\Delta\theta = |\theta_i - \theta_j| < T_\theta$$

$$\Delta\rho = |\rho_i - \rho_j| < T_\rho$$

$$|A(\rho_i, \theta_i) - A(\rho_j, \theta_j)| < T_L \frac{|A(\rho_i, \theta_i) + A(\rho_j, \theta_j)|}{2} \quad (5)$$

其中, T_θ 是角度阈值(判断 $\theta_i \approx \theta_j$); T_ρ 是距离阈值(判断 $\rho_i \approx \rho_j$); T_L 是标准阈值(判断 $A(\rho_i, \theta_i) \approx A(\rho_j, \theta_j)$)。

用一个新的值 $P_k(\alpha_k, \xi_k)$ 来表示满足公式(5)的

峰值 H_i 和 H_j , 其中:

$$\alpha_k = \frac{1}{2}(\theta_i + \theta_j), \xi_k = |\rho_i - \rho_j| \quad (6)$$

从上一步得到的所有 P_k 中找到满足公式(4)的 P_i 和 P_j , 这样可以获得正交的平行直线对:

$$\Delta\alpha = ||\alpha_i - \alpha_j| - 90^\circ| < T_\alpha$$

$$\Delta\xi = |\xi_i - \xi_j| < T_\xi \quad (7)$$

其中, T_α 是用于判断直线对是否正交的阈值; T_ξ 是用于判断直线边长是否相等的阈值。最后可以通过边的交点去获得正方形的四个顶点。

(4) 合并嵌套正方形。

由于QR二维码具有三个位置探测图形这一特点, 实际检测到的矩形往往会包含嵌套的矩形, 因此需要合并嵌套的矩形。由于实际情况中得到的矩形存在误差, 因此不可能完全属于嵌套关系。文中用判断两个矩形 R_i 和 R_j 相交的比例去代替, 具体的判断方法如下:

首先计算嵌套正方形的宽度 S_w 和高度 S_h :

$$S_w = \min(R_i, \text{right}, R_j, \text{right}) - \max(R_i, \text{left}, R_j, \text{left}) \quad (8)$$

$$S_h = \min(R_i, \text{bottom}, R_j, \text{bottom}) - \max(R_i, \text{top}, R_j, \text{top}) \quad (9)$$

如果满足公式(10), 则正方形 R_i 和 R_j 属于嵌套关系, 需要把嵌套的正方形从前面的步骤中得到的矩形删除, 公式(10)如下:

$$\omega = S_w S_h / \min(A_i, A_j) > T_a \quad (10)$$

其中, A_i 、 A_j 代表正方形 R_i 和 R_j 的面积; T_a 是面积比例阈值, 根据实验测试, 这里取 0.9。

(5) 进行区域调整。

通常情况下获得的正方形区域存在一定误差, 为了不会对下一步的精确定位造成影响, 需要扩大已经得到的正方形区域, 调整的方法如下:

$$R_{\text{left}} = R_{\text{left}} - k \times R_{\text{left}}$$

$$R_{\text{top}} = R_{\text{top}} - k \times R_{\text{top}}$$

$$R_{\text{right}} = R_{\text{right}} + k \times R_{\text{right}} \quad (11)$$

$$R_{\text{bottom}} = R_{\text{bottom}} + k \times R_{\text{bottom}}$$

其中, k 为比例系数, 根据实验测试, 取 0.05。

3.4 QR码精确定位

QR码国家标准中给出的定位参考方法是根据位于三个边角的三个位置探测图形, 其形状是三个嵌套的正方形, 深浅模块的宽度满足 1:1:3:1:1 的比例。而由于噪声以及其他图案的干扰等因素, 直接寻找这一区域进而精确定位三个位置探测中心的方法有时会失败, 文中通过在上一步的轮廓定位中获取的QR码的可能区域中进行定位, 不但可以提高定位的成功率

而且在时间效率方面也有很大提高。

现有的方法对于寻找满足 1:1:3:1:1 的线段的效率很低且用时较长。而寻找满足 1:1:3:1:1 的线段所用时间占QR码总体识别时间的比重很大, 现有方法在失配时, 需要回溯, 效率很低, 不能满足要求。

因为KMP算法原本是用字符串的模式匹配, 而QR码的定位过程所要解决的是寻找满足一定比例的图形的位置, 因此文中针对QR码的定位对原有的KMP算法进行了改进。由于所要寻找的部分的黑色像素段和白色像素段交叉, 当当前失配的像素段为黑色时, 下一像素段一定为白色, 此时可以跳过下一白色像素段, 直接与其后面的第一段黑色像素段进行比较。

文中提出的算法将KMP模式匹配算法应用于在定位位置探测图形过程中寻找满足 1:1:3:1:1 比例的线段, 并针对QR码的特征对算法进行了改进, 具体步骤如下:

Step1: 获取QR码图像的二值图像, 先从水平方向扫描图像, 以行为单位。Buffer[5]用于保存像素段的宽度。

Step2: 从左向右扫描, 若当前像素颜色同前一个像素颜色相同, 则 Buffer[index] 加 1, 若不同则 index 加 1。当扫描到白色像素时, 检查 Buffer 中数据是否满足 1:1:3:1:1。

Step3: 将 1:1:3:1:1 看作模式串, 每行像素看作主串, 这样就将所要解决的问题转化为字符串的模式匹配问题。但所要比较的是主串中像素段的比例, 需要对KMP算法进行调整。由KMP算法可以得出模式串对应的 next[5] = {-1, -1, 1, -1, -1}, 模式串的比例为 scale[5] = {1, 1, 3, 1, 1}, 下标从 0 开始。

Step4: QR码国家标准中规定的每个元素宽度的允许误差为 0.5, 即单个模块的方块尺寸允许范围为 0.5 ~ 1.5, 3 个模块宽度的方块尺寸允许范围为 2.5 ~ 3.5。用 begin 记录起始位置。

计算单位宽度:

$$\text{unitWidth} = \sum_{i=0}^4 \text{Buffer}[i] / 7 \quad (12)$$

计算单位宽度的下界:

$$\text{wl}[i] = \text{unitWidth} * \text{scale}[i] - \text{unitWidth} / 2 \quad (13)$$

计算单位宽度的上界:

$$\text{wr}[i] = \text{unitWidth} * \text{scale}[i] + \text{unitWidth} / 2 \quad (14)$$

Step5: 若 $\text{Buffer}[i] \geq \text{wl}[i]$ 且 $\text{Buffer}[i] \leq \text{wr}[i]$, 则继续比较下一个, $\text{Buffer}[\text{begin}] = 0$, $\text{begin} = (\text{begin} + 1) \% 5$, 当 Buffer 中数据全部满足时则找到了一组满足比例的线段; 否则, 按下面的规则移动

主串。

规则 1: $i = 0, \text{begin} = (\text{begin} + 2) \text{ MOD } 5$;

规则 2: $i = 1, \text{begin} = (\text{begin} + 1) \text{ MOD } 5$;

规则 3: $i = 2$, 若 $\text{Buffer}[i] \neq \text{Buffer}[i + 1]$, 则 $\text{begin} = (\text{begin} + 2) \text{ MOD } 5$;

规则 4: $i = 3, \text{begin} = (\text{begin} + 1) \text{ MOD } 5$;

规则 5: 其他, 当前像素段作为第一个像素段继续比较。

Step6: 在垂直方向扫描, 垂直方向的定位方法同水平方向类似。

Step7: 确定穿过三个位置探测图形中心的线段。

Step8: 确定三个位置探测图形的中心。

下面给出了一个根据文中算法寻找满足 1:1:3:1:1 线段的例子。图像中一段像素的宽度为: {10, 10, 20, 20, 60, 10, 10, 30, 10, 10}。匹配过程如图 3 所示。

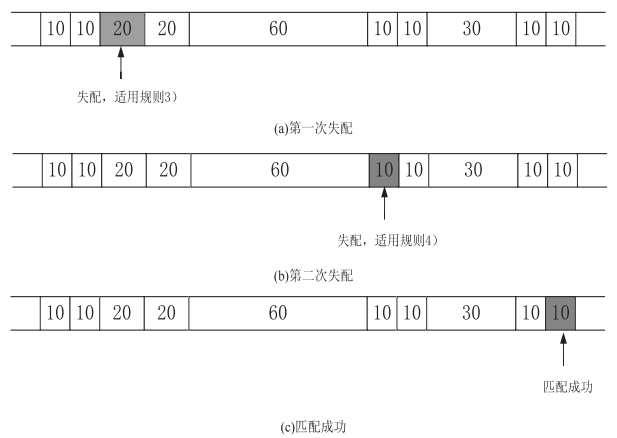


图 3 匹配过程

4 实验结果及分析

本算法在 Microsoft Visual Studio 2005 环境下采用 C++ 语言编程实现, 硬件环境为: Intel (R) Core (TM) i5-2410 CPU, 内存 2 GB, 操作系统为 Win7, 摄像头分辨率为 96dpi。

图 4(a) 是通过摄像头拍摄的图像经过灰度化后的图像; 图 4(b) 是经过文中提出的通过 Hough 变换检测近似正方形的算法得到的结果, 图中的黑色标记表示检测到的近似矩形, 可以从图中看出 QR 码的整个外边框被检测到, 同时由于 QR 码的三个探测图形也是正方形, 大部分情况下, 这些位置也会检测到正方形, 所以需要排除这些位置的影响; 图 4(c) 是经过合并嵌套正方形的步骤后所得到的结果, 内部的探测图形的位置所检测到的正方形以及 QR 码的外边框位置所检测到的正方形满足合并的条件, 所以会将这些位置合并成一个正方形; 图 4(d) 是经过区域调整后的结果, 由于得到的 QR 码外轮廓存在一定误差, 可能没有完全将 QR 码包括在内, 所以需要对外轮廓进行区域

调整, 向四周扩大一定的比例。



图 4 QR 的轮廓定位结果

为验证算法的识别率, 选取了不同尺寸、不同类型的二维码图片, 共 100 个测试样例, 涵盖了文字较多的情况、图案较多的情况以及背景单一的情况。表 1 对比了文中方法与二维码的国家标准中的方法。

表 1 识别率对比

图像编号	图片大小 /像素	国标中的 方法/%	文中方 法/%
1	1 200 * 1 600	81	94
2	1 460 * 1 785	76	95
3	1 574 * 1 857	73	92

可以看到, 各种不同尺寸的测试样张下, 识别率都有了很大提高。由于 QR 码定位的准确性对于后续的识别有决定性的影响, QR 码国家标准中是直接在整个图像区域寻找探测图形, 当图像比较复杂时, 定位很可能会失败; 而文中算法先缩小了定位的区域, 再去精确定位, 所以定位的准确性有了较大提高, 因此识别率也会相应提高。

由于 QR 识别的时间主要集中在定位的时间, 定位的效率决定了整体识别的效率。表 2 将文中方法与 QR 码的国家标准中的方法在识别时间方面作了对比。

表 2 识别耗时对比

图像编号	图片大小 /像素	国标中的 方法/ms	文中方 法/ms	提高倍数
1	1 200 * 1 600	480	112	3.3
2	1 460 * 1 785	648	160	3.0
3	2 592 * 1 944	1 118	293	2.8

经过实验分析, 文中方法对于识别的速度有了很大提高, 比 QR 码国标中单纯通过位置探测图形进行定位的方法提高了 2.8 ~ 3.3 倍, 平均提高约 3 倍。

5 结束语

文中充分考虑到QR码特有的结构特征,采用了分步定位的方法,先获得QR码可能所在的区域,然后在该区域内进行精确定位。由于QR码整体呈正方形,文中利用了QR码的这一特征,运用Hough变换去检测正方形区域从而获得QR码的大致轮廓,再进行精确的定位,这样比直接在整个图像中寻找探测图形提高了成功率。QR码的精确定位过程中,寻找满足1:1:3:1:1的线段是整个精确定位过程中最耗时的部分。文中借鉴了KMP算法的思想,克服了原有方法当匹配过程中失配时需要回溯的缺点。经过实验测试,文中方法可以有效地提高QR码的识别率和识别速度,对于传统方法中在比较复杂背景下识别率低的问题有了较大改善。

由于文中方法用到了Hough变换去检测正方形,耗时虽然有一定的提高但还可以考虑其他的检测方法,进一步提升时间效率。

参考文献:

[1] ISO/IEC18004: 2006. QR code 2005 bar code symbology specification[S]. Switzerland:ISO,2006.

[2] 国家质量技术监督局. 中华人民共和国国家标准—快速响应矩阵码(QRCode)[S]. 北京:中国标准出版社,2000.

[3] 朱雯晶,夏翠娟. 二维码在图书馆移动服务中的应用—以上海图书馆为例[J]. 现代图书情报技术,2012,28(7):115-120.

[4] 王世慧,杜伟. 手机QR码在图书馆的应用探析[J]. 现

代情报,2011,31(6):151-154.

[5] 王维虎,刘延申. 基于二维码的物流管理及应用[J]. 物联网技术,2012,2(12):36-38.

[6] 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] 李人哲,许刚. 模糊QR码图像的恢复[J]. 计算机应用与软件,2013,30(6):258-261.

[8] 孙道达,赵健,王瑞,等. 基于稀疏表示的QR码识别[J]. 计算机应用,2013,33(1):179-181.

[9] 熊用,汪鲁才,艾琼龙. 基于相关匹配的QR码识别方法[J]. 仪器仪表学报,2011,32(3):571-576.

[10] 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.

[11] 孙文静,钱华. 改进BM算法及其在网络入侵检测中的应用[J]. 计算机科学,2013,40(12):174-176.

[12] 鲁宏伟,魏凯,孔华锋. 一种改进的KMP高效模式匹配算法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2006,34(10):41-43.

[13] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构[M]. C语言版. 北京:清华大学出版社,1997:80-82.

[14] 卫晋伟,戴曙光,穆平安. 基于形态学和Hough变换的QR码校正与定位方法[J]. 电脑与信息技术,2010,18(6):32-35.

[15] Furukawa Y, Shinagawa Y. Accurate and robust line segment extraction by analyzing distribution around peaks in hough space[J]. Computer Vision and Image Understanding,2003,92(1):1-25.

+++++

(上接第83页)

[7] Julier S J, Uhlmann J K. Unscented filtering and nonlinear estimation[J]. Proceedings of the IEEE, 2004, 92(3):401-422.

[8] Julier S J, Uhlmann J K. Reduced sigma point filters for the propagation of means and covariances through nonlinear transformations[C]//Proceedings of the American control conference. [s. l.]:IEEE,2002:887-892.

[9] Han Pengxin, Mu Rongjun. Effective fault diagnosis based on strong tracking UKF[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2011, 83(5):275-282.

[10] 唐苗苗. 车载组合导航系统自适应无迹卡尔曼滤波算法研

究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2013

[11] Song Q, Han J D. An adaptive UKF algorithm for the state and parameter estimation of a mobile robot[J]. Acta Automatica Sinica, 2008, 34(1):72-79.


[12] 胡炜. 交互多模型目标跟踪算法的研究[D]. 沈阳:东北大学,2010.

[13] 孔金生,翟弦. 车辆导航中的交互多模卡尔曼滤波跟踪方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(14):198-200.

[14] 韩兴斌,胡卫东,杨世海. 应用交互多模(IMM)算法跟踪低空目标[J]. 火力与指挥控制,2003,28(5):48-51.

[15] 肖宁,王玫,雷延锋. 基于交互多模卡尔曼滤波器的定位算法[J]. 无线电通信技术,2013,39(1):80-83.

一种快速有效的QR码定位方法

作者：[王景中](#)，[贺磊](#)，[WANG Jing-zhong](#)，[HE Lei](#)
作者单位：[北方工业大学 信息工程学院, 北京, 100144](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(8)

引用本文格式：[王景中](#), [贺磊](#), [WANG Jing-zhong](#), [HE Lei](#) 一种快速有效的QR码定位方法[期刊论文]-[计算机技术与发](#)
[展](#) 2015(8)