

基于 DM642 的手机 QR 码检测与识别^①

陈存弟, 刘金清, 施文灶, 邓淑敏, 周晓童, 吴庆祥

(福建师范大学 光电与信息工程学院 医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福州 350007)

通讯作者: 刘金清, E-mail: 1390272843@qq.com

摘要: 基于市场上二维条码设备的广泛需求, 研究了基于 DM642 的 QR 码的检测与识别技术. 本文针对嵌入式智能设备获取的 QR 码 (Quick Response Code, QR) 图像严重倾斜与高度畸变问题, 提出了基于位置探测图形的轮廓嵌套特性与轮廓之间面积比例关系来实现 QR 码定位的算法, 接着以直线逼近的方法精确定位 QR 码的 4 个角点, 然后运用逆透视变换与旋转校正的原理实现 QR 码的复原操作, 最后基于复原后的图像通过网格采样来获取整个二维码的“01”矩阵, 以便于后面的 QR 码解码. 最终将算法移植到 DM642 上运行, 能有效解决图像倾斜与畸变问题且解码效果良好.

关键词: DM642; 倾斜畸变; 轮廓嵌套; QR 码; 直线逼近; 网格采样

引用格式: 陈存弟, 刘金清, 施文灶, 邓淑敏, 周晓童, 吴庆祥. 基于 DM642 的手机 QR 码检测与识别. 计算机系统应用, 2018, 27(6): 202-208. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6387.html>

Detection and Recognition of Mobile QR-Code Based on DM642

CHEN Cun-Di, LIU Jin-Qing, SHI Wen-Zao, DENG Shu-Min, ZHOU Xiao-Tong, WU Qing-Xiang

(Key Laboratory of Optoelectronic Science and Technology for Medicine (Ministry of Education), College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: According to the extensive demand of two-dimensional (2D) bar code devices on the market, we studied the QR-code detection and recognition technology based on mobile DM642. This study proposes an algorithm based on position detection patterns, which have the nesting feature between the contour and the connection of area ratio. It locates the QR-code in order to solve the problem of skew and distortion of the image in embedded intelligent devices. Then, it precisely positions the four angular point coordinates of the QR-code by the method of linear approximation, and the QR-code is reconstructed by the principle of inverse perspective transformation and rotation correction. Finally, it obtains the whole 2D code “01” matrix by the grid sampling based on the reconstructed image, which is convenient for the decoding of QR-code. We transplanted the algorithm to the DM642 to run. It can effectively solve the image inclination and distortion problems and decoding effect is normal.

Key words: DM642; inclination and distortion; nesting contour feature; QR-code; linear approximation; grid sampling

条码扫描枪是一种嵌入式平台二维码识别系统^[1]产品, 整体主要由摄像头与 MCU 组成, 软件主要依靠图像处理技术与 QR 码解码标准来实现. QR 码解码的解码标准已经固定不变, 而由于摄像头获取的 QR 码图片,

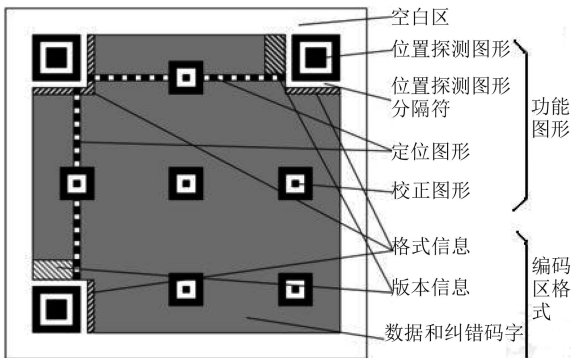
其周围环境复杂多变, 还受电子元器件的影响导致图片中含有椒盐噪声, 且倾斜角度与畸变程度的不确定性给 2D 条码的识别带来极大的挑战性, 因此图像处理的运用是解决该问题的关键技术, 同时这些关键技术

^① 基金项目: 国家自然科学基金 (61179011); 国家自然科学基金青年基金 (41701491); 福建省自然科学基金 (2017J01464); 福建教育厅项目 (JAS151254)
收稿时间: 2017-10-07; 修改时间: 2017-11-01; 采用时间: 2017-11-06; csa 在线出版时间: 2018-05-28

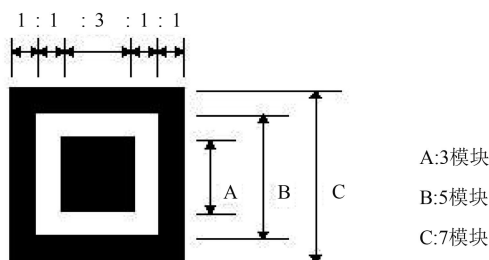
是国内外学者研究的热点。

1 QR 码的简介

QR(Quick Response) 码是由日本的 Denso-Wave 公司发明,能存储的信息容量大,编码生成的输出码面积小,能全方位识读且识读速度快,可表示图像及多种文字信息,如中国汉字和日本汉字. QR 码的结构如图 1 所示,主要由功能图形和编码区组成. 其中功能图形主要用于 QR 码的定位,而编码区主要用于存储编码数据和纠错信息. 位置探测图形由黑白黑三个矩形组成,横竖方向黑白间隔比例为 1:1:3:1:1,通常利用这个比例关系来定位 QR 码^[2,3];定位图形由黑白交替的小模块组成,始于深色模块且终于深色模块,通常用于 QR 码的采样;校正图形由三个黑白矩形镶嵌组成,类似于位置探测图形,但横竖黑白间隔比例为 1,通常用于 QR 码的定位与采样;编码区格式信息主要由格式信息、版本信息、数据和纠错码字组成,在解码前首先要获取格式信息和版本信息来确定 QR 码中存储的数据类型和纠错级别及其采用的掩膜图形,格式信息与版本信息均出现两次,因为这两块信息的正确获取是决定着解码正确的关键因素. QR 码编码过程如图 2 所示.



(a) QR 码符号



(b) 位置探测图形比例图

图 1 QR 码结构图

QR 码的解码过程即是编码流程的反向过程,由于解码过程中首先要获取格式信息和版本信息,而这两个信息又是基于 QR 采样得到的比特流来运算得到,故引入图像处理技术.

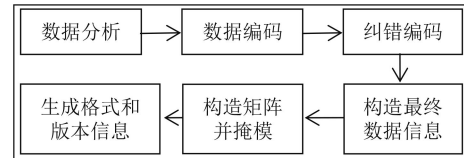
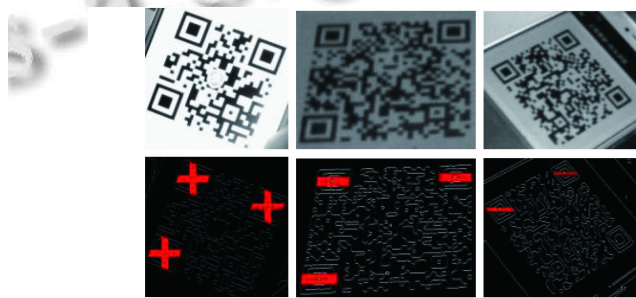


图 2 QR 码的编码流程图

2 QR 码定位

2.1 基于位置探测图形定位 QR 码

传统的定位方法通常是基于位置探测图形的 1:1:3:1:1 关系来定位 QR 码,如图 3(a) 所示,这是基于位置探测图形的比例关系定位完全正确的结果,该图形只是稍微倾斜且透视效果不明显,所以定位结果较好,而图 3(b), (c) 均无法定位,图 3(b) 在水平方向上定位良好,但由于垂直方向受摄像头成像的原因,由原先的 3D 立体图形经投影投射成 2D 平面图像上,之间在投射的过程由于摄像头与 QR 图片有倾斜角而产生了透视效果,所以在图像平面上的二维码呈现梯形,与摄像头距离大的两个位置探测图形上下行之间距离被慢慢压缩得很小,所以导致垂直方向的比例关系没能定位到位置探测图形. 图 3(c) 中的 QR 码倾斜趋近于 45 度且由于透视的原因导致定位失败.



(a) 定位正确 (b) 定位失败1 (c) 定位失败2

图 3 定位结果 (上: 灰度图, 下: 定位图)

2.2 基于轮廓提取的方法定位 QR 码

观察位置探测图形,可以发现是由 3 个镶嵌的并且宽度为一定比例的矩形组成,3 个矩形边宽由外向内的比例关系为 7:5:3;对 QR 码二值图取反后可以发现位置探测图形最外矩形框和最内的矩形框为深色,本

文的定位算法正是根据这两个深色块的轮廓关系和轮廓之间的面积比例为 49:9 关系来达到准确定位。

2.2.1 图像预处理

图像传感器获取的图片经常带有椒盐噪声,而中值滤波是滤除该噪声的关键技术.本文的轮廓提取是基于二值图来获取,故需对灰度图二值化处理.由于 QR 码的拍摄环境复杂多变且易受光照影响,使用单一的阈值难以达到良好的分割效果,观察整个 QR 码可以发现其整体是由浅色模块和深色模块组成,所以采用局部阈值代替全局阈值二值化能达到预期的效果.尽管文献[4]应用改进的 Niblack 局部二值化算法能消除光照不均的图片并获得较好的结果,但具有局限性,步骤复杂和分类不精确等缺点.本文同样是采用局部二值化的思想分割图像,首先对整幅图像分成多个小矩形,然后在每个小矩形中使用 Otsu 算法求出相应的阈值来分割图像.对分割后的图像取反处理,并进入轮廓提取步骤.

2.2.2 轮廓提取

目前轮廓提取^[5,6]的方法有基于连通域的方法,基于形态学的开闭运算方法,也有基于 Snake 的主动轮廓线模型 (Active Contour Model).本文轮廓提取有外轮廓和内轮廓的区分,并且将其组织成两层的层级,内轮廓也称为次轮廓.顶层是连通域区域的外围边界,而次轮廓是洞的内层边界.在 QR 码定位过程中,首先寻找具有两层轮廓关系的连通域 C_1 ,计算 C_1 的最小矩形左上角坐标 P_{tl1} 和右下角坐标 P_{br1} .再在这个连通域内寻找只有顶层而没有次层的连通域 C_2 ,计算 C_2 的最小矩形左上角坐标 P_{tl2} 和右下角坐标 P_{br2} ,且满足公式(1),则初步确定 C_1 和 C_2 两块区域组合成的镶嵌区域为位置探测图形,接着统计 C_1 和 C_2 两个轮廓区域内含有的坐标点数作为面积 A_1 和 A_2 ,且满足公式(2),则精确确定为位置探测图形.

$$\{P_{tl1}.x < P_{tl2}.x \cup P_{tl1}.y < P_{tl2}.y \cup P_{br1}.x > P_{br2}.x \cup P_{br1}.y > P_{br2}.y\} \quad (1)$$

$$\{A_1 : A_2 \approx 49 : 9\} \quad (2)$$

定位结果如图 4 所示,图 4(a)表示原图;图 4(b)是中值滤波后的结果,原图中的椒盐噪声,即是散布在图像表面的黑点,已经消除干净;图 4(c)是局部二值化后取反的结果,可以看出三个位置探测图形的黑白矩形与原来图形恰好相反,基于二值化取反后的图像获取

内外两个矩形轮廓的嵌套关系,再根据两个轮廓的面积比例关系定位 QR 码,得到图 4(d)的结果.

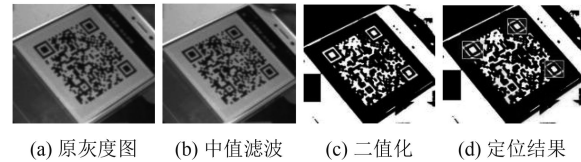


图 4 QR 码定位结果

3 QR 码校正

3.1 逼近 QR 码边界

QR 码校正是正确采样的关键步骤.本文获取的 QR 码的图片来自于扫码设备拍摄手机上的 QR 码,故得到的图片不存在扭曲的情况,而主要问题是图片产生倾斜与透视效果,解决这两个问题需要准确获取 QR 码的 4 个角点,通过逆透视算法和倾斜校正算法来校正二维码.通常校正二维码的方法主要基于形态学和 Hough 变换^[7]的方法,但是形态学与 Hough 变换方法需要运行时间过长且不好定性控制,也不利于嵌入式平台上的应用.本文寻找 QR 码的 4 个角点的方法是采用直线逼近四条边的方法,通过计算四条边的斜截式联立成方程组来求取 4 个角点.

QR 码的 3 个位置探测图形定位正确后,根据公式(3)分别计算 3 个位置探测图形的中心坐标.通过欧拉公式计算每两个中心坐标的距离,并找出距离之差的绝对值最小的两条线所相交的中心确定为 QR 码左上角位置探测图形,设该图形的中心坐标为交叉点 I_1 ,剩下的两个中心点 I_2 和 I_3 分别是左下角和右上角位置探测图形的中心坐标,根据公式(4)计算 I_2 与 I_1 , I_3 与 I_1 的斜截式.

$$P_c = \left\{ P_{c.x} = \frac{P_{tl.x} + P_{br.x}}{2}, P_{c.y} = \frac{P_{tl.y} + P_{br.y}}{2} \right\} \quad (3)$$

$$L_{li}(k, b) = \begin{cases} L_{li.k} = \frac{I_1.y - I_i.y}{I_1.x - I_i.x}, \\ L_{li.b} = I_1.y - L_{li.k} * I_1.x; i = 2, 3 \end{cases} \quad (4)$$

因为 QR 码在拍摄时可能产生 360 度旋转角,所以原来标准正向 QR 码的 3 个位置探测图形被不定向的旋转,本文规定中心坐标为 I_2 的位置探测图形与 I_1 的位置探测图形为同一竖向关系,规定中心坐标为 I_3 的位置探测图形与 I_1 的位置探测图形为同一横向关系.如

图 5(a) 所示, 可以用斜截式表示的直线来区分这个关系, 若斜率 $L_{12}.k < 0$, 则说明 I_1 与 I_2 是同一竖向关系, 若斜率 $L_{13}.k \geq 0$, 则说明 I_1 与 I_3 属于横向关系, 然后对 L_{12} 平移到 I_3 点并求出经过 I_3 的斜截式 $L_3(k, b)$, 对 L_{13} 平移到 I_2 点并求出经过 I_2 的斜截式 $L_2(k, b)$. 如图 5(a) 所示, 根据公式 (5), (6) 计算二值化图像 F_{bw} 的水平差分图 F_h 和垂直差分图 F_v . 依据 L_{13} 向左和向右遍历 F_h 找到位置探测图形 I_1 和 I_3 的最外部轮廓的左右点, 分别用 $P_{1l}, P_{1r}, P_{3l}, P_{3r}$ 表示遍历到的端点坐标; 再依据 L_2 遍历 F_h 找到位置探测图形 I_2 的左右端点 P_{2l} 和 P_{2r} , 同样的依据 L_{12} 和 L_3 遍历 F_v 位置探测图形 I_1, I_2 和 I_3 的上下端点, 分别用 $P_{1u}, P_{1d}, P_{2u}, P_{2d}, P_{3u}$ 和 P_{3d} 表示. 如图 5(b) 所示, 接着用具有竖向关系的左端点求取经过左端点和右端点的直线, 同样的具有横向关系的端点求取经过上端点和下端点的直线. 至此, QR 码的两条边界已经得到.

$$F_h = \{F_{bw}(x+1, y) - F_{bw}(x, y); \\ x = 0, \dots, H, y = 0, \dots, W - 1\} \quad (5)$$

$$F_v = \{F_{bw}(x, y+1) - F_{bw}(x, y); \\ x = 0, \dots, H - 1, y = 0, \dots, W\} \quad (6)$$

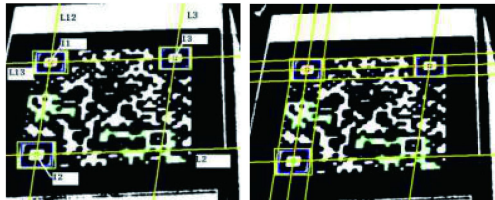


图 5 位置探测图形边界端点连接图

上面的步骤处理完毕后, 只要再找到 QR 码其余的两条边, 便可以求解出四条边的相交点作为 QR 码的第四个角点. 而 QR 码只有 3 个位置探测图形, 所以无法再根据位置探测图形找到另外的两条边界线, 本文采用直线逼近的方法来找到其余两条边界, 基本思想是 QR 码在编码生成过程中, 其周围会多出浅色的空白区, 在二值化且取反后的图像中呈现黑色, 而 QR 码二值化取反后 F_{bw} 凸显的白色块与黑色空白区有明显的边界, 正是依据这个明显的边界, 不断调整斜截式直线来逼近边界. 具体过程如下, 以图 6 所示的 QR 码为例, 说明逼近过程, 在代码实现过程中还应考虑不同角度拍摄下的 QR 码来做出相应的处理:

(1) 首先求得经过 I_1 位置探测图形的 QR 码对角线

L_c . 根据前面求得的上下和左右直线可以求得交叉位置探测图形的四个角点, 再判断 I_2 与 I_3 连成的直线和 I_1 位置探测图形的对角线的交点是否在 QR 码图形区域内来确定最终的 QR 码对角线.

(2) 求竖直方向经过点 P_{3r} 且与 L_3 平行的直线 L_4 . 平移 L_3 直线, 使其经过 P_{3r} 点.

(3) 计算 L_c 与 L_4 的交点 P_{c4} , 并统计在 F_{bw} 中 P_{c4} 到 P_{3r} 线段的白像素个数.

① 如果统计到的白像素个数少于设定的阈值 T_{min} , 则判断为 L_4 向外偏离 QR 码的边界, 此时应该向 QR 码的内部区域重新调整交点, 直到白像素个数少于 T_{min} 则停止调整并记下交点坐标 P_{lr} .

② 如果统计到的白像素个数多于设定的阈值 T_{max} , 则判断为 L_4 往内偏, 此时应该向 QR 码的空白区域重新调整交点, 直到白像素个数首次多于设定的 T_{max} 则停止调整并记下交点坐标 P_{lr} .

求横向经过点 P_{2d} 且与 L_2 平行的直线 L_5 .

(4) 平移 L_2 直线, 使其经过 P_{2d} 点.

(5) 计算 L_c 与 L_5 的交点 P_{c5} , 并统计在 F_{bw} 中 P_{c5} 到 P_{2d} 线段的白像素个数. 类似于 (3).

(6) 计算 QR 码四条外边界相交的四个角点. 首先计算点 P_{lr} 和 P_{3r} 的斜截式, 再计算 P_{ud} 和 P_{2d} 的斜截式, 以此作为逼近 QR 码的另外两条边界线. 联系前面找到的横向边界线和竖向边界线, 对找到的四条 QR 码边界线联立方程组计算出相应的角点. 设计算得到的四个角点为 $\{P_{tl}, P_{tr}, P_{bl}, P_{br}\}$.

本文设置的外偏阈值为 40 个像素, 即一旦检测到斜截式经过的白色点数少于 40, 则说明该直线往外偏. 内偏阈值为 50 个像素, 即一旦斜截式经过的白点大于 50 则说明该直线是内偏. 如图 6 所示, 图 6(a) 显示的是步骤 (1) 找到 QR 码对角线的结果; 图 6(b) 显示的是步骤 (2) 和 (4) 的结果, 红线表示偏离 QR 码边界线的情况, 一条往内偏, 一条往外偏; 图 6(c) 显示的是步骤 (3) 和 (5) 的结果, 图 6(d) 显示的是 4 条边逼近结果图, 并标出了 QR 码的 4 个角点.

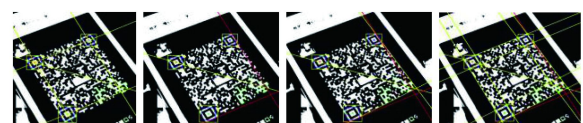


图 6 边界逼近与角点运算结果

3.2 逆透视变换与倾斜校正

在 QR 码识别中, 图像处理技术的最终目标是正确采样 QR 码的深浅模块, 分别用‘1’和‘0’表示. 而在采样之前, 扫描枪获取 QR 码图片总会出现不定程度的透视结果和倾斜结果, 这就要求在采样前必须进行逆透视变换和倾斜校正处理.

3.2.1 逆透视变换

逆透视变换^[6,8]实际上是将原来图像上的坐标映射到另一个图像的坐标上, 同时原来坐标上的像素值也映射到另一个图像对应的坐标上.

透视变换过程中需要知道四个坐标点, 经过联立方程组, 求解出方程组中的系数, 同样的逆透视变换也要求出方程组中的系数. 原图像中 QR 码的四个角点坐标为 $\{(x_i, y_i), i = 1, 2, 3, 4\} = \{P_{tl}, P_{tr}, P_{bl}, P_{br}\}$, 要将这四个角点坐标映射到宽为 $width$, 高为 $height$ 的视平面上, 而 QR 码是一个宽和高相等的正方形, 所以 QR 码角点对应在视平面上的坐标为:

$$(u_i, v_i) = \{(0, 0), (width, 0), (0, height), (width, height)\};$$

$$i = 1, 2, 3, 4;$$

本文对二值化后的图像 I_{bw} 做逆透视变换, 映射到视平面图像为 I_p . 根据公式 (7) 计算出映射的相关系数 $c_i(i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)$.

$$u_i = \frac{c_0 \times x_i + c_1 \times y_i + c_2}{c_0 \times x_i + c_1 \times y_i + 1}, v_i = \frac{c_3 \times x_i + c_4 \times y_i + c_5}{c_6 \times x_i + c_7 \times y_i + 1} \quad (7)$$

展开 (7) 式得到 8 个线性方程组成的方程组, 转换方程组为矩阵表达式 (8), 此时求解系数 c_i 即是求出 (8) 式的未知解, 本文使用列主元高斯消去法求解该线性方程组.

$$\begin{vmatrix} x_0 & y_0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_0 \times u_0 & -y_0 \times u_0 \\ x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1 \times u_1 & -y_1 \times u_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2 \times u_2 & -y_2 \times u_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3 \times u_3 & -y_3 \times u_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_0 & y_0 & 0 & -x_0 \times v_0 & -y_0 \times v_0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 0 & -x_1 \times v_1 & -y_1 \times v_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 0 & -x_2 \times v_2 & -y_2 \times v_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 0 & -x_3 \times v_3 & -y_3 \times v_3 \end{vmatrix} \bullet = \begin{vmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \\ c_7 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} u_0 \\ u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ v_0 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{vmatrix} \quad (8)$$

求解得到 c_i 系数后, 说明可以根据这些系数建立原图和目标图的坐标映射关系, 即是目标图的每个坐标映射到原图像的坐标中, 并复制原图像的像素值在目标图像中. 所以还需要根据式 (9)(10) 计算目标图坐标映射到原图的坐标, 像素值的对应采用双线性插值法.

$$x_i = \frac{(u_i - c_2)(c_4 - c_7 \times v_i) - (v_i - c_5)(c_1 - c_7 \times u_i)}{(c_0 - c_6 \times u_i)(c_4 - c_7 \times v_i) - (c_3 - c_6 \times v_i)(c_1 - c_7 \times u_i)} \quad (9)$$

$$y_i = \frac{(u_i - c_2)(c_4 - c_7 \times v_i) - (v_i - c_5)(c_3 - c_6 \times v_i)}{(c_1 - c_7 \times u_i)(c_4 - c_7 \times v_i) - (c_3 - c_6 \times v_i)(c_1 - c_7 \times u_i)} \quad (10)$$

逆透视变换后得到一个宽和高相等的图像, 但是三个位置探测图形有可能不总分布在左上角, 左下角, 右上角, 所以逆透视变换后的图像还需要进行旋转, 旋转的角度有 90 度, 180 度和 270 度三种情况. 逆透视变换和旋转校正的结果如图 7 所示: 图 7(a) 是逼近 QR 码四条边的结果, 通过四条边的斜截式计算出 QR 码在原图上的角点坐标; 图 7(b) 是灰度图逆透视变换到另一个视平面上的灰度图像; 图 7(c) 是对逆透视变换后的图像顺时针旋转 180 度校正后的图像.



(a) 直线逼近图 (b) 逆透视映射 (c) 旋转

图 7 逆透视变换与旋转校正图

4 QR 码采样

QR 码图像采样是图像处理最后的步骤. 一个完整的 QR 码图像由两种正方形的小模块组成, 一种是代表‘1’的深色小模块, 一种是代表‘0’的浅色小模块, 而图像采样的实际意义是读取 QR 码上的深浅色小模块的‘10’值保存在一个二维数组中, 以便于后面的解码.

本文的采样方法主要依据 QR 码中定位图形的深浅小模块交替变化特性来建立采样网络, 对得到的网络求每个小格的中心 3×3 个像素均值, 如果阈值大于 140, 说明该网格对应的小模块是浅色模块, 对应的值用‘0’表示; 如果阈值小于 140, 说明该网格对应的小模块是深色模块, 对应的值用‘1’表示. 本文的采样步骤如下:

(1) 二值化旋转后的灰度图像. 为了避免光照亮度不均匀的情况, 二值化依然是采用局部二值化的方法, 对 QR 码图像划分成 2×2 的四个子图, 再对每个子图采用大津法二值化得到图像 I_{bw} .

(2) 根据第 3 节找出的 QR 码位置探测图形的角点, 计算 I_{bw} 中三个位置探测图形的平均宽度, 并除以 7, 得到每个小模块的平均宽度 p_w .

(3) 遍历横向网格线.

① 首先定位到左上角位置探测图形的中间行并向右遍历有深浅跳变的边界则划竖线, 中间比例宽度为3的正方形根据平均宽度划上3条竖线, 直到扫描到这个位置探测图形的最右边界线, 转向寻找位置探测图形右下角点向上的 $p_w/2$ 行作为遍历起点.

② 从这点开始, 向右扫描每列遇到的深浅边界或者浅深边界, 则在该列划上竖直线, 直到遍历到右上角位置探测图形的边界, 则转向①, 直到 I_{bw} 的右边界.

(4) 遍历竖向网格线.

① 首先定位到左上角位置探测图形的中间列并向右遍历有深浅跳变的边界则划横线, 中间比例宽度为3的正方形则根据 p_w 划上3条横线, 直到扫描到这个位置探测图形的最下边界线, 转向寻找位置探测图形右下角点向左的 $p_w/2$ 列作为遍历起点.

② 从这点开始, 向下扫描每行遇到的深浅边界或者浅深边界, 则在该行划上横线, 直到遍历到左下角位置探测图形的边界, 则转向①, 直到 I_{bw} 的下边界.

(5) 统计每个小网格的深浅值. 由上到下, 左到右遍历整个网格, 计算 I_{bw} 每个网格中心 3×3 个像素的均值, 如果阈值大于140, 则定义该网格值为‘0’; 如果阈值小于140, 则定义该网格值为‘1’, 遍历完成后得到整个QR码的二维矩阵.

结果如图8所示. 左上角位置探测图形的右下角两个红点分别表示右下角向上 $p_w/2$ 行的右遍历起点和向左 $p_w/2$ 列的下遍历起点, 右上角和左下角红点表示由该点开始向位置探测图形的中间点向右或向下遍历边界. QR码总共有40个版本, 图8(a)(b)(c)分别是版本2, 4和6.



(a) 版本 2 采样图 (b) 版本 4 采样图 (c) 版本 6 采样图

图 8 采样网格

5 基于 DM642 的 QR 码识别系统的设计

5.1 系统构成

硬件平台选用以 DM642^[9]为核心处理器的开发

板, 主要用到开发板外围器件有4路视频端口, 256 M SDRAM 能存储多达32帧图像, 8-32位Flash, 10-100 M以太网口, 板上 JTAG 仿真接口. DM642 是 TI 公司 C6000 系列高性能数字媒体处理器, 时钟频率高达 720 MHz, 本文设置时钟频率为 600 MHz, 处理能力为 4800 MIPS. 开发环境是 CCS2.2, 编程语言是 C/C++.

5.2 硬件系统的设计

(1) 如图9所示, 硬件系统框架设计

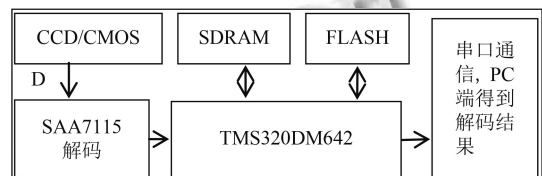


图 9 硬件系统框架

(2) 如图10所示, 基于 BIOS/DSP 的系统软件框图

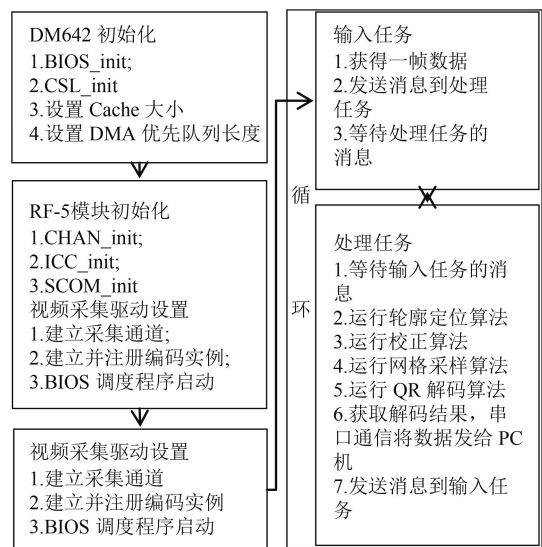


图 10 软件系统框图

如图9所示, 本系统硬件以 DM642 为核心, 辅以视频解码外设芯片. 图像采集由摄像头采集大小为 720×576 的视频信号, 经视频解码器 A/D 转换为 YUV 信号, 由 EDMA 搬运 QR 图像交予 DM642 进行相应的解码处理, 处理后得到的识别数据存在 SDRAM 中, 最后将识别结果用串口传上 PC 端显示.

5.3 系统代码移植

本文算法先在 PC 环境下调用计算机视觉 Opencv 函数库在 VS 下仿真, 实验效果达到预期的要求后再移植到 DSP. 代码的移植可以分为 QR 图像处理和

QR 解码两大部分. 针对图像处理的移植, EMCV 是一个适合 DM64x 系列 DSP 上运行的计算机视觉库, 提供了与 Opencv 完全一致的函数接口, 移植 EMCV 能够把 Opencv 中少量的算法移植到 DSP, EMCV 中与图像相关的数据结构 (IplImage) 和轮廓提取算法 (cvFindContours) 是本文的移植重点, 而透视变换算法, 旋转算法和网格采样算法均转成 C 代码直接移植到 DSP, 还有 EMCV 中与 QR 识别不相关的代码则裁剪掉. 针对 QR 解码算法, 引用 libdecodeqr 解码库, 将其转成纯 C 代码后再移植到 DSP 中处理, 因为转成 C 代码后移植在 DSP 嵌入式平台上运行能极大提高运行速度, 且能确保与图像处理的代码一致是 C 代码, 易于代码管理, 同时裁剪 EMCV 能使整个系统的软件更加简介, 还减少程序存储空间的负担.

6 总结

本文基于 DM642 嵌入式平台实现了 RQ 码的识别过程. 首先基于位置探测图形的轮廓嵌套特性实现 QR 码的定位, 接着以直线逼近的方法计算 QR 码 4 条边的斜截式, 根据 4 条斜截式计算出 QR 码的 4 个角点并做逆透视变换和倾斜校正处理, 进而对倾斜校正后的 QR 图片基于定位图形来划分网格得到每个小模块, 然后计算出每个小模块代表的深浅值来生成要解码用的二维矩阵. 本文算法的模拟环境是微软的 visual studio 2010 平台, 采集的样本类型是 1280×720 的图像, 总共 200 张不同倾斜角度和透视畸变的样本, 样本类型如图 11 所示. 本文定义的识别正确率为 QR 解码后成功解码的张数, 引用 libdecodeqr 解码库, 测试了所有不同版本的样本, 识别率为 92.5%.



图 11 手机 QR 码样本图

参考文献

- 1 于俊伟, 刘楠. 基于嵌入式 Linux 的二维码识别系统. 计算机光盘软件与应用, 2012, (17): 99-100.
- 2 张民, 郑建立. 基于符号特征的 QR 码识别算法. 计算机工程, 2011, 37(4): 278-280.
- 3 Chen CS, Kot AC, Yang HJ. A two-stage quality measure for mobile phone captured 2D barcode images. Pattern Recognition, 2013, 46(9): 2588-2598. [doi: 10.1016/j.patcog.2013.01.031]
- 4 黄宏博, 穆志纯. 基于图像处理的复杂条件下手机二维码识别. 北京信息科技大学学报, 2011, 26(5): 40-44.
- 5 Suzuki S, Abe K. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, 30(1): 32-46. [doi: 10.1016/0734-189X(85)90016-7]
- 6 Sun AD, Sun Y, Liu CX. The QR-code reorganization in illegible snapshots taken by mobile phone. Proceedings of the 5th International Conference on Computational Science and its Applications. Kuala Lumpur, Malaysia. 2007. 532-538.
- 7 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. 电脑与信息技术, 2010, 18(6): 32-35.
- 8 熊用, 汪鲁才, 艾琼龙. 基于相关匹配的 QR 码识别方法. 仪器仪表学报, 2011, 32(3): 571-576.
- 9 Texas Instruments. TMS320DM642 video/imaging fixed-point digital signal processor. Texas: Texas Instruments, 2005.