

# QR 码图像二值化的研究

杨佳丽,高美凤

YANG Jia-li,GAO Mei-feng

江南大学 通信与控制工程学院,江苏 无锡 214122

School of Communication and Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China

E-mail: jiali.yang@163.com

YANG Jia-li,GAO Mei-feng,Research on Binarization Algorithm for QR code.Computer Engineering and Applications, 2009,45(35):176-178.

**Abstract:** QR code obtained by camera is difficult to binarization because of uneven illumination. For the bottom histogram marked and uneven illuminative image, B-spline fitting and adaptive threshold methods to determine the image binarization threshold are proposed. The bilinear interpolation algorithm is used to correct the distorted QR code and then repair the image with morphology. Finally, the experiments show that the method in this paper is reliability.

**Key words:** Quick Response(QR) code; binarization; B-spline; adaptive threshold method

**摘要:** 由摄像式获取的 QR 码因为采集光照不均匀会给二值化带来困难。首先对于直方图有明显谷底和采集光照不均匀的图像,分别采用 B 样条拟合直方图和自适应阈值法进行二值化。然后通过双线性插值算法对发生倾斜的 QR 码进行纠正,并对结果修补。最后通过实验验证了算法的可靠性。

**关键词:** 快速响应矩阵码(QR); 二值化; B 样条; 自适应阈值

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.35.053 文章编号:1002-8331(2009)35-0176-03 文献标识码:A 中图分类号:TP391.4

## 1 引言

QR 码(快速响应矩阵码)1994 年由日本 Denso 公司研制,目前已经广泛应用在国内外各行各业的存储管理系统中<sup>[1]</sup>。目前 QR 码的二值化方法比较常用是 1979 年由 N.Otsu 提出的 Otsu 算法<sup>[2]</sup>,该方法利用目标与背景区域的方差来确定最佳阈值,因计算简单、稳定性高等特点得到广泛的应用。但这种方法有个局限性:对于直方图没有明显双峰的情况,处理效果不好<sup>[3]</sup>。因此,针对此情况许多学者提出了新算法以及改进的 Otsu 算法,文献[4]给出了一种 Stamp 算法,有效地解决了工业现场所采集图像以及车辆牌照自动识别的二值化问题。文献[5]首先对图像进行对比度增强处理,然后再使用 Otsu 算法进行二值化,有效地克服了光照不均匀对二值化的影响,效果较好,但运算速度较慢。

为了既保证算法的有效性又提高算法的运行速率,针对直方图有明显双峰的图像采用 B 样条对直方图进行拟合,再利用数学分析法求二值化阈值。针对复杂背景下提取 QR 码,给出了一种自适应阈值法进行二值化,经双线性插值变换和倾斜纠正后,通过译码算法验证了该算法的有效性与快速性。

## 2 QR 码二值化

为了识别的需要,将灰度图像转化为二值图像。二值化处

理就是选取适当的阈值将 256 个灰度的灰度级图像转化为黑白二值化图像的过程。

### 2.1 极小值法

一般极小值法利用二次曲线对双峰之间的直方图进行拟合。文献[6]给出了双峰法的原理及部分代码,通过比较直方图像素出现的大小获得极小值,当图像的前后景对比强烈时效果较好,否则较差。文献[7]用多项式拟合求取极小值,从而获得二值化阈值。考虑到多项式拟合随着阶数的增大,容易产生振荡现象,并且利用逼近阶的方式来描述逼近的好坏的这种评判标准出入较大<sup>[8]</sup>。B 样条拟合的曲线一般比较光滑,其一阶导数和二阶导数均为连续的<sup>[8]</sup>。为了防止振荡现象的产生,更好地逼近直方图,可以采用 B 样条对直方图进行拟合。

用数学来分析 B 样条曲线:待拟合样本的横坐标记为:

$$x_1=a \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_{n-1} \leq x_n=b \quad (1)$$

对应的纵坐标记为  $y(x_i)$ ,利用 B 样条拟合产生的曲线记为  $s(x)$ ,其相邻型值点之间为三次多项式,有 4 个待定系数  $A_i, B_i, C_i, D_i$ 。

$$s(t)=[x(t) \cdot y(t)] \quad (2)$$

其中  $x(t)$  和  $y(t)$  分别是  $x$  和  $y$  两个坐标分量的参数方程。考虑到 B 样条拟合的速度问题,采用文献[9]所提出的快速拟合法,在拟合精度不变的情况下,提高了 B 样条拟合的速度。重新定义后的坐标分量为:

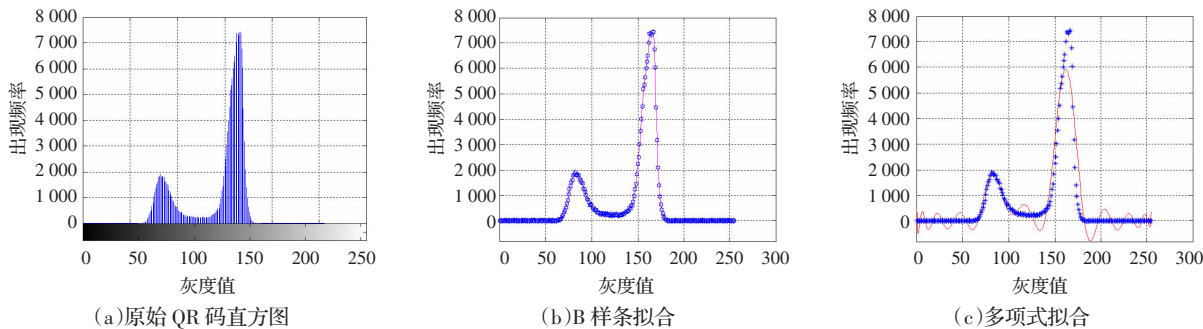


图1 曲线拟合结果

$$\begin{cases} x(t)=A_x \cdot t^3+B_x \cdot t^2+C \cdot t+D_x \\ y(t)=A_y \cdot t^3+B_y \cdot t^2+C \cdot t+D_y \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} A_x=-\frac{1}{6}x_{i-1}+\frac{1}{2}x_i-\frac{1}{2}x_{i+1}+\frac{1}{6}x_{i+2} \\ B_x=\frac{1}{2}x_{i-1}-x_i+\frac{1}{2}x_{i+1} \\ C_x=-\frac{1}{2}x_{i-1}+\frac{1}{2}x_{i+1} \\ D_x=\frac{1}{6}x_{i-1}+\frac{2}{3}x_i+\frac{1}{6}x_{i+1} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} A_y=-\frac{1}{6}y_{i-1}+\frac{1}{2}y_i-\frac{1}{2}y_{i+1}+\frac{1}{6}y_{i+2} \\ B_y=\frac{1}{2}y_{i-1}-y_i+\frac{1}{2}y_{i+1} \\ C_y=-\frac{1}{2}y_{i-1}+\frac{1}{2}y_{i+1} \\ D_y=\frac{1}{6}y_{i-1}+\frac{2}{3}y_i+\frac{1}{6}y_{i+1} \end{cases} \quad (5)$$

而多项式拟合函数为<sup>[7]</sup>:

$$f_n(x)=p(1)*x^n+p(2)*x^{(n-1)}+\dots+p(n)*x+p(n+1)$$

考虑到计算复杂度,由误差函数得到多项式拟合的最佳次数一般选取为 21~23。对拟合后的曲线求极小值,即一阶导数为零并且二阶导数大于零的值,从而获取二值化阈值。从图 1 看出:B 样条拟合效果优于多项式拟合,没有振荡现象产生。

### 2.2 自适应阈值法

由于 QR 码的采集环境不固定,难免会发生光照不均匀的现象,单一的阈值不能兼顾到图像各个像素的实际情况,这时传统的全局阈值算法,对于亮度不均匀的区域难免会发生误判现象。针对全局阈值的这一缺点,根据文献[10]给出的一种采用模板产生一个动态阈值对 PDF417 码进行二值化的思想,结合 QR 码的特点,将 QR 码分为 4 个子块分别处理,这样每一子块内的灰度值变化较小,有效地减小对整幅图像采用同一阈值进行二值化产生误判的可能性,且能够在较短时间内有效地分离目标与背景。算法具体步骤如下:

(1)将采集到的 QR 码图像记为  $A(i, j)$ ,大小为  $M \times N$ ,首先进行灰度处理后,分为 4 个子块图像,子块记为  $p_i, i=1, 2, 3, 4$ 。

$$\begin{cases} p_1=\{A(i, j)|1 \leq i \leq N/2, 1 \leq j \leq M/2\} \\ p_2=\{A(i, j)|(N/2+1) \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M/2\} \\ p_3=\{A(i, j)|1 \leq i \leq N/2, (M/2+1) \leq j \leq M\} \\ p_4=\{A(i, j)|(N/2+1) \leq i \leq N, (M/2+1) \leq j \leq M\} \end{cases}$$

(2)计算每一子块的像素平均值  $ave[i], i=1, 2, 3, 4$ 。

$$\begin{cases} ave[1]=\sum_{i=1}^{N/2} \sum_{j=1}^{M/2} A(i, j)/(M \cdot N/4) \\ ave[2]=\sum_{i=(N/2+1)}^N \sum_{j=1}^{M/2} A(i, j)/(M \cdot N/4) \\ ave[3]=\sum_{i=1}^{N/2} \sum_{j=(M/2+1)}^M A(i, j)/(M \cdot N/4) \\ ave[4]=\sum_{i=(N/2+1)}^N \sum_{j=(M/2+1)}^M A(i, j)/(M \cdot N/4) \end{cases}$$

(3)对每个子块图像计算局部阈值  $T_i$ 。

$$T_i=\frac{ave[i]}{255} \times k, \quad i=1, 2, 3, 4$$

并分别进行二值化处理,再利用 horzcat 和 vertcat 函数将每个子块二值化处理后的结果合并为一幅图像。其中  $k$  为补偿因子,调节每一子块灰度值之间的差异,通过多次实验,  $k \approx 0.69 \sim 0.82$ 。对于偏亮的子块,一般  $k$  值较小,对于偏暗的子块,  $k$  值较大。

自适应阈值法由于采用了分块处理,各子块图像像素存在不连续性,容易产生块效应,当块数较大时,不但增加了运算的复杂度,块效应也比较明显,经过实验,一般选 4 块为最佳,从图 2(b), (c)可以看出,当块数增加时,块效应也相应地增加。

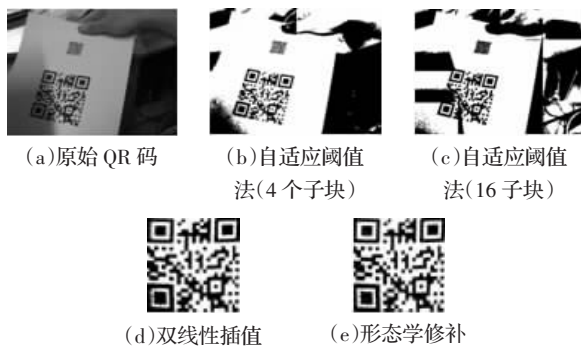


图2 QR 码倾斜纠正及修补结果

### 3 QR 码倾斜纠正及修补

QR 码在采集过程中由于人为操作及识读速度的要求,摄像式采集的角度会发生一定偏转导致 QR 码出现几何畸变或倾斜。利用双线性插值变换<sup>[8]</sup>对发生扭曲的条码进行恢复,需要建立失真图像与校正后的图像像素点的对应关系。

在双线性插值中,变换后的像素值由原图像位置在其附近的 4 个邻近像素值通过加权平均计算得到的。如式(6)所示。

$$f(i+u, j+v)=(1-u) \cdot (1-v) \cdot f(i, j)+(1-u) \cdot v \cdot f(i, j+1)+u \cdot (1-v) \cdot f(i+1, j)+u \cdot v \cdot f(i+1, j+1) \quad (6)$$



图3 QR码二值化结果

其中,  $f(i, j)$  是失真图像的像素值,  $f(x+u, y+v)$  是纠正后图像的像素值。

设失真图像上 4 个顶点的坐标为  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$  同时考虑到 QR 码的正方形特性, 定义变换后所得正则的矩形四个顶点的坐标为:  $(0, 0), (width, 0), (0, height), (width, height)$ , 其中:  $width=height=\max(|x_2-x_1|, |x_4-x_3|, |y_2-y_1|, |y_4-y_3|)$ 。

这样保证了倾斜纠正后的 QR 码符合正方形的特性, 不会发生形变。然后利用二值形态学的膨胀与腐蚀对图像进行修补, 去除二值化后的小孔与缝隙。

#### 4 实验与结论

对不同光照情况下采集的 40 幅大小为  $640 \times 480$  的 QR 码图像进行二值化实验。为了验证算法有效性及实时性, 将 40 幅图像分为 4 组: 第一组是在光照较暗环境下; 第二组是在光照明暗不均环境下; 第三组是在高亮光照环境下; 第四组是普通均匀光照环境下, 在 Pentium4 2.93G 主频的计算机上, 使用 MATLAB7.1 分别对采集的 QR 码采用文献[5]算法、自适应阈值法、极小值法, 包括文献[7]算法以及 B 样条拟合进行二值化。分别对各算法的译码成功率和运算时间及速度进行了测试和分析, 实验结果如表 1, 表 2 和如图 3 所示。

表1 四种方法的平均译码率比较

|      | B 样条拟合 | 文献[7]算法 | 文献[5]算法 | 自适应阈值 |
|------|--------|---------|---------|-------|
| 光照较暗 | 50%    | 40%     | 90%     | 100%  |
| 光照不均 | 20%    | 20%     | 80%     | 90%   |
| 高亮光照 | 30%    | 30%     | 90%     | 80%   |
| 均匀光照 | 70%    | 60%     | 90%     | 100%  |
| 译码率  | 42.5%  | 37.5%   | 87.5%   | 92.5% |

表2 四种方法的运算速率比较

|           | B 样条拟合 | 文献[7]算法 | 文献[5]算法 | 自适应阈值 |
|-----------|--------|---------|---------|-------|
| 平均运算时间/ms | 2 535  | 3 485   | 146 000 | 252   |

表 1 给出了在不同光照情况下, 分别采用文献[5]中改进的 Otsu 算法, 自适应阈值算法, B 样条拟合直方图以及文献[7]采

用的多项式拟合直方图进行二值化, 并通过译码程序对采集的 QR 码进行译码, 进一步验证各种算法的有效性。从结果可以看出, 相比多项式拟合的方法来说, 对于直方图呈现双峰—谷状的图像, 采用 B 样条拟合直方图进行二值化的效果更好。而对于直方图双峰不明显或者没有谷底的图像, 自适应阈值法在平均译码率和运算速率方面效果都优于改进的 Otsu 算法和极小值法。在运算速度方面, 自适应阈值法具有明显优势, 虽然比文献[5]的成功译码率仅提高 5%, 但是运算速率仅是文献[5]算法平均处理时间的 0.17%。

图 3 列出了各种算法进行二值化处理效果图。

对于直方图有明显谷底的情况, 采用了 B 样条拟合直方图进行二值化处理; 而对于采集光照不均匀的图像, 给出了一种自适应阈值法进行二值化。实验证明: 所给出的自适应阈值法能够快速有效地对复杂背景下的图像进行二值化, 从而具有更广泛的实际应用价值。

#### 参考文献:

- [1] 国家技术监督局.GB/T18284-2000 中华人民共和国国家标准[S].2000.
- [2] Otsu N.A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [3] 汪海洋, 潘德炉, 夏德深. 二维 Otsu 自适应阈值选取算法的快速实现[J]. 自动化学报, 2007, 33(9): 968-971.
- [4] 王纪川, 刘宇, 齐勇, 等. 一种摄像机采集图像的二值化算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(30): 202-205.
- [5] Hsia S C, Chen M H, Chen Y M.A cost-effective line-based light-balancing technique using adaptive processing[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(9): 2719-2729.
- [6] 王强. 图像分割中阈值的选取研究及算法实现[J]. 计算机与现代化, 2006, 13(10): 54-56.
- [7] 李忠海. 图像直方图局部极值算法及其在边界检测中的应用[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2003, 21(5): 89-91.