

# 改进二值化算法在 QR 码识别中的应用<sup>①</sup>

闫三虎, 胡卫东, 罗小平

(西南石油大学 计算机科学学院, 成都 610500)

**摘要:** 研究了 QR 码图像二值化技术, 针对光照不均的 QR 图像提出了一种改进的基于背景灰度估计的校正算法。该算法首先根据原图像大小进行分块处理, 在此基础上利用改进的灰度估计公式计算分块的灰度值, 然后利用双线性内插法设置区块灰度值为估计值, 最后用原图像减去估计背景图像得到校正图像, 以此克服了光照不均对二值化阈值选取的影响。实验证明, 该算法能够对灰度变换范围较大、光照不均的 QR 码图像进行有效的校正, 得到良好的二值化图像。

**关键词:** QR 码; 二值化; 背景灰度估计

## Improved Binarization Algorithm for QR Code Recognition

YAN San-Hu, HU Wei-Dong, LUO Xiao-Ping

(College of Computer Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

**Abstract:** This paper studies the binarization technique of QR code image and proposes an improved background gray-level based algorithm for uneven illumination QR code image. Firstly, it cuts the QR image as several blocks based on the size of original image, then evaluates the gray-value of each block and set block's gray-value with the bilinear interpolation method. Thirdly, it subtracts the estimated background image from original uneven illumination image get the corrected image, and with this method to eliminate the bad affection for binarization from nonuniform illumination. Experiments show that the algorithm can get a better QR binary image effectively for QR code image which has widespread gray-level and especially for uneven illuminated QR code image.

**Keywords:** QR code; binarization; background gray scale estimate

## 1 引言

快速响应矩阵码 (QR 码) 是由日本的 Denso 公司于 1994 年研制的一种矩阵式二维条码, 于 2001 年被认定为中国国家标准“GB/T 18284-2000”<sup>[1]</sup>。由于它具有信息容量大、可靠性高、超高速识读、高效汉字表示等优点被广泛的应用于商品标识、安全防伪、电子商务等众多领域。

QR 码图像二值化是 QR 码图像识别系统的一个关键步骤, 直接影响着 QR 识别的准确性, 由于复杂光照 (不均匀光线、光异常反射等) 的影响导致 QR 图像质量下降, 实际应用中的二值化结果往往不能令人满意, 影响后续的认识过程。本文在其他学者研究的

基础上<sup>[2-9]</sup>提出了一种改进的 QR 码图像自适应二值化算法, 该算法给出了不同光照下二值化最佳阈值的选取方法, 对于受不均匀光照影响的 QR 码图像, 首先使用改进的基于背景灰度估计的光照不均匀校正算法进行灰度不均匀校正, 然后利用 Otsu 算法对校正的图像进行二值化, 可得到良好的二值化的图像。最后通过 QR 识别算法验证了该算法的有效性与可行性。

## 2 QR 码二值化算法介绍与分析

QR 图像二值化的关键在于选取合适的阈值将 QR 码目标与背景分开, 既要尽可能保存图像的信息, 又要尽可能减少背景和噪声的干扰。现有的阈值选取技

① 基金项目: 四川省科技厅应用基础研究计划(2008JY0114-1)

收稿时间: 2010-10-06; 收到修改稿时间: 2010-11-26

术可以分为全局阈值法和局部阈值法。全局阈值法是根据整幅图像确定一个阈值；局部阈值法即将图像划分为若干子图像，根据子图像确定阈值。常用的全局阈值法包括直方图阈值分割法、均值灰度法以及最大类间方差法<sup>[2]</sup>。直方图阈值分割法利用直方图存在明显双峰时选择双峰中间的谷底作为阈值。均值灰度法利用整个图像的各个像素数灰度值之和除以像素总数平均值作为阈值。最大类间方差法<sup>[3]</sup>(Otsu 算法)将图像分为背景和前景两组，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。但上述方法在实际应用中存在一定的局限性：图像光照要求均匀或者直方图存在明显的双峰。因此对于图像的背景不均匀或是目标灰度变化率比较大的情况，一般采用局部阈值法。文献[4]根据局部平均值(Local Mean)和局部标准差(Local Standard Deviation)在图像中变动阈值。Niblack 方法在文档识别中应用比较广泛，并且取得了良好的效果，但存在产生连续大块的非目标黑色区域问题，需要通过后续处理操作将其去除。

另外，一些学者提出了新算法或改进的算法，如文献[5]中在对 QR 码图像进行光照不均校正时，先对背景图像进行提取，然后再对图像进行减运算除去光照不均的影响。然而在进行背景提取时该算法是通过提取区域的最小值作为背景灰度估计值，对于一幅受到噪声污染的图像，在一个区域内的最小值最有可能表现为污染点，其亮度并不能够代表背景的实际亮度。文献[6]算法在 QR 码图像处理时，其亮度值取为最亮的几个点，会导致图像的过度增强，将图像的黑色区域变为高亮区域而产生二值化误差。文献[7]提出了针对 QR 码的自适应阈值法，但是并没有给出光照不均情况下采用局部阈值法时具体的最佳阈值选取方法。

### 3 改进的QR码二值化算法

对于灰度 QR 码图像，为了去除噪声影响，首先使用中值滤波算法去除噪声，然后计算其直方图，根据其直方图特性的不同而采用不同的阈值计算方法，避免对光照均匀的图像采用复杂的阈值算法而带来时间和空间消耗，以使算法的实时性、鲁棒性更强。算法具体步骤如下：

1)对灰度化的图像进行中值滤波，排除噪声干扰，并计算其直方图。

2)分析图像的直方图特性：如果直方图中具有两座明显的山峰(分别对应图像的背景和目标)，那么可以选择双峰之间的谷底作为阈值 T (如图 1)所示：

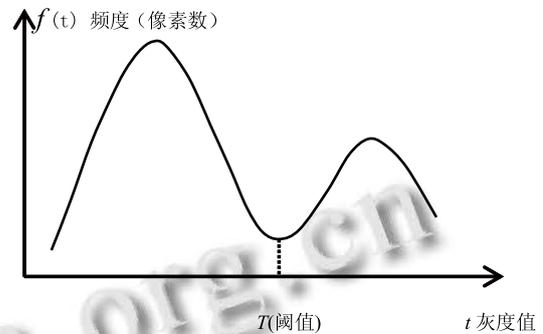


图 1 具有明显双峰阈值选择

3)如果直方图中有两座变化不明显双峰，说明图像处于弱光照或者强光照下，使用平均灰度法计算图像各个像素的灰度总和除以像素总数得到灰度平均值 T'作为阈值对图像进行二值化，如公式(1)。

$$T' = \frac{\sum_{g=0}^{255} f(t) \times t}{\sum_{g=0}^{255} f(t)} \quad (1)$$

其中，t为图像中各个像素点的灰度级(有0到255个灰度级别)，f(t)为对应的灰度级出现的频率，T'为图像的平均灰度值。

4)如果直方图呈现两个以上的峰，说明图像处于复杂背景或者不均匀光照条件下。将图像的灰度矩阵分成 m×n 大小的矩阵，得到灰度矩阵的分块矩阵 B，如公式(2)，块的大小既要能够保存细节又要能够抑制噪声，根据实验一般选取 l=1/16。其中，M 与 N 分别为源图像的宽与高，l 为图像分块后的块数。

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{i1} & \dots & b_{ij} \end{pmatrix} \quad i = \lceil \frac{M}{m} \rceil \quad j = \lceil \frac{N}{n} \rceil \quad l = i \times j \quad (2)$$

按照公式(3)计算每块的背景灰度估计值。公式中的 u 为源图像的平均灰度值，u' 和 σ 分别为每个图像块的灰度平均值和标准差，t 为每个分块的灰度估计值。

$$t = u' - u + k\sigma \quad (3)$$

最后由每个分块的背景灰度估计值得到大小为 i×j 的灰度估计矩阵 R，k 为调整系数<sup>[9]</sup>，取值在 0 到 1

之间, 经过实验分析,  $k=0.3$  最合适。

$$R = \begin{pmatrix} t_{11} & \cdots & t_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{ni} & \cdots & t_{nj} \end{pmatrix} \quad (4)$$

如果区块为弱光照或者背景区, 则  $u$  值或  $\sigma$  值较小, 背景估计值  $t$  较小; 反之, 若区块光照强度较大或者处于光照与背景的过渡区, 则  $u$  或  $\sigma$  值较大, 背景估计值  $t$  较大。

5) 对于上一步获取的灰度估计矩阵  $R$ , 其中的每个元素的值为对应的分块估计值, 对其进行灰度扩展, 使扩展后的灰度矩阵与源图像灰度矩阵大小相同, 并以扩展后的矩阵作为源图像的背景估计矩阵。灰度矩阵扩展的过程采用灰度插值的方法将矩阵  $R$  扩展为大小为  $M \times N$  的灰度矩阵。常用的插值算法包括最邻近插值法、双线性内插法、三次卷积法。最邻近插值法虽然简单, 但不够准确, 利用公式求取灰度的灰度值有明显的不连续效应, 像质损失较大。双线性插值法放大后的图像不会存在像素值不连续的问题, 程序计算量较最邻近插值法计算量大, 时间复杂度稍高。高阶插值法虽然精确程度更好, 但运行时间与双线性插值法更长, 实时性差。综合考虑三种算法对图片放大的效果与性能开销, 以及 QR 码识别实时性的要求, 本文采用双线性内插法将背景估计矩阵  $R$  放大为  $M \times N$  大小, 得到背景灰度估计矩阵  $I_g$ 。该算法利用像素点周围的四个邻近点的灰度值在两个方向上作线性内插以得到采样点的灰度值, 即根据待采样点与相邻点的距离确定相应的权值, 计算出待采样点的灰度值<sup>[10]</sup>, 其数学表达式如公式 (5):

$$\begin{aligned} f(i+u, j+v) &= (1-u)(1-v)f(i, j) + u(1-v)f(i+1, j) \\ &+ v(1-u)f(i, j+1) + uvf(i+1, j+1) \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $x, y$  表示像素的位置,  $f(*, *)$  表示像素的灰度值, 其他参数见<sup>[11]</sup>。

6) 利用源图像的灰度矩阵  $I_s$  减去步骤 5) 中得到的背景灰度扩展矩阵  $I_g$ , 得到校正的 QR 码图像灰度矩阵  $I_r$ , 然后调整图像灰度, 校正由于图像减运算引起的图像整体过暗现象。最后利用 Otsu (大津法) 对校正后的图像  $I_r$  进行二值化。公式中,  $I_s$  为源 QR 码图像灰度矩阵,  $I_g$  为背景灰度估计矩阵,  $I_r$  为灰度校正后的图像灰度矩阵。

$$I_r = I_s - I_g \quad (6)$$

## 4 实例分析

此处不通过专用的条码识别设备采集图像, 而使用配备有 50 万像素摄像头的手机作为采集设备, 以使该算法研究具有实用价值。试验中采集了不同光照条件下分辨率为  $640 \times 480$  的图片 150 幅, 包括: 弱光照、强光照、不均匀光照条件下的图片各 50 幅作为实验的样本, 分别对采集的样本用 Otsu 法、Niblack 算法、基于 Top-hat 的灰度校正的算法以及本文的算法进行比较。随机选取一份样本图像 (如图 2 所示), 通过以上算法的处理, 结果如下 (图 3-图 8)。



图 2 光照不均 QR 图像



图 3 Niblack 算法



图 4 OTSU 算法



图 5 Top-hat 灰度校正效果



图 6 Top-hat 二值化效果



图 7 本文算法校正效果



图 8 本文算法二值化

通过实验对比发现, Niblack 算法、Otsu 算法在处理光照均匀的图像时能够获得理想的二值化效果, 如

果图像受光照不均匀影响较大时, Niblack 算法会过分夸大图像细节部分, Otsu 算法会因为受到强光照影响产生二值化误差。文中算法能够消除光照不均对 QR 码图像二值化阈值选取的影响, 对于不均匀光照的图像二值化时由于增加了均匀校正的处理过程而带来了一些时间上的开销, 经过试验验证能够满足 QR 识别实时性需求, 且二值化效果较好。

## 5 结语

本文提出的改进的 QR 图像自适应二值化算法, 具有兼顾均匀光照与不均匀光照下 QR 码图像二值化阈值选取的特点, 能够适应灰度变化范围比较大、以及光照不均匀的 QR 码图像, 实用性更加广泛, 对后续的 QR 码识别提供了可靠保证。

### 参考文献

- 1 中国物品编码中心. GB/T 18284-2000 中华人民共和国国家标准快速响应矩阵码. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- 2 Sahoo PK, Soltani S, Wong AKC, Chen YC. Survey of thresholding techniques. *Computer Graphics, Vision and Image Processing*, 1988(41):233-260.
- 3 Otsu N. A threshold selection method from gray-level

(上接第 199 页)

iris 数据集和矿石图像进行特征筛选的实验, 特征选择结果与主成分分析的结果一致, 分类结果表面特征筛选并加权后分类器的性能明显提高。

### 参考文献

- 1 卜东波, 白硕, 李国杰. 聚类/分类中的粒度原理. *计算机学报*, 2002, 25(8):810-816.
- 2 宋远骏, 李德毅, 杨孝宗. 电子产品可靠性云模型评价方法. *电子学报*, 2000, 28(12):74-76.
- 3 扬朝辉, 李德毅. 二维云模型及其在预测中的应用. *计算机学报*, 1998, 21(11):962-968.
- 4 邸凯昌, 李德毅, 李德仁. 理论及其在集合数据挖掘和知识发现中的应用. *中国图象图形学报*, 1999, 4(A)(11):930-935.
- 5 李德毅, 孟海军, 史雪梅. 隶属云和隶属云发生器. *计算机研*

究与发展, 1995, 2(6):16-21.

- 4 Niblack W. *An Introduction to Digital Image Processing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1986(25):115-116.
- 5 Jackway PT. Improved morphological Top-Hat. *IEEE Electronics Letters*, 2000, 36(14):1194-1195.
- 6 Hsia SC, Chen MH, Chen TM. A cost-effective line-based light-balancing technique using adaptive processing. *Proc. of IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, 15(9):2719-2729.
- 7 刘悦, 刘明业, 刘明军. 快速响应矩阵码自动识别算法的设计. *计算机系统应用*, 2006, 15(6):51-54.
- 8 孙忠贵. 数字图像光照不均匀校正及 Matlab 实现. *微计算机信息*, 2008, 24(4-3):313-314.
- 9 Zhu KH, Qi FH, Jaing RJ. Automatic character detection and segmentation in natural scene images. *Journal of Zhejiang University Science A*, 2007, 8(1):63-71.
- 10 尤玉虎, 周孝宽. 数字图像最佳插值算法研究. *中国空间科学技术*, 2005, (3):14-18.
- 11 沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别. 北京: 理工大学出版社, 1998. 56-58.

究与发展, 1995, 2(6):16-21.

- 6 Li DY. Soft inference mechanism based on cloud models. *Proc. of the Joint Int'l Conf and Symposium on Logic Programming*. Martin, Germany, 1996. 38-63.1.
- 7 邸凯昌. 集合数据挖掘与知识发现. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.
- 8 陆建江, 钱祖平, 宋自林. 正态云关联规则在预测中的应用. *计算机研究与发展*, 2000, 37(11):1317-1320.
- 9 范建华. 基于云理论的数据开采技术及其在指挥自动化系统中的应用. 南京: 解放军理工大学, 1999..
- 10 Kennedy J, Eberhart RC. Particle Swarm Optimization. *Proc. IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995:1942-1948.