

# 工业控制环境中 QR Code 的检测和识别算法

刘宁钟, 苏 军, 孙 涵

(南京航空航天大学信息学院, 江苏南京 210016)

**摘 要:** 以 QR Code 为例, 研究工业控制环境中的二维条码检测和识别技术. 首先针对光照不均, 利用 Retinex 理论, 处理光照校正. 然后根据 QR Code 条码的特征, 提出了基于边缘信息的二值分割算法, 并设计了一种快速定位算法. 接着分析了条码图像经过高斯函数模糊的数学模型, 求解高斯函数方差, 并给出了利用逆滤波对条码图像进行反模糊复原的算法. 实验结果表明文中提出的算法具有较好的稳定性和时间复杂度, 能在复杂的背景中有效地检测定位条码, 并显著地提高了条码的识别率, 满足了工业控制环境使用的要求.

**关键词:** 二维条码; QR 码; 工业控制; 检测; 识别; 逆滤波

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 10-2459-05

## QR Code Detection and Recognition Algorithm for Industrial Control

LIU Ning-zhong, SU Jun, SUN Han

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu 210016, China)

**Abstract:** Taking QR Code as an example, the detection and recognition technology of the two-dimensional bar code for industrial control is researched in this paper. First, Retinex theory is used for illumination correction of images captured under poor illumination. Then according to the character of QR Code, a segmentation algorithm based on edge information is proposed, and a fast bar code detection algorithm is designed. At last, the model of blurred bar code image caused by Gaussian function is analyzed. After the variance of Gaussian function is obtained, the algorithm based on Inverse filter is proposed to recover the image. The experimental results show that the algorithm proposed in this paper is promising in terms of both reliability and computational efficiency. It can locate the barcode in complicated background effectively, and achieve higher recognition rate, which suffices to the requirement of the practical use in industrial control.

**Key words:** two-dimensional bar code; QR code; industrial control; detection; recognition; inverse filter

## 1 引言

二维条码具有信息量大、可靠性高、使用成本低廉等优点<sup>[1,2]</sup>. 近年来, 二维条码技术广泛应用于工业控制领域. 很多工业零部件、电子芯片和产品外包装采用二维条码技术进行标识, 完成质量管理、产品溯源等功能. QR Code 是目前应用最为广泛的二维条码之一<sup>[2]</sup>. 本文以 QR Code 为例研究工业控制中二维条码的检测识别技术.

如图 1 所示, 每个 QR Code 符号是由黑白模块组成的一个正方形阵列. 符号有 3 个位置探测图形用于检测定位条码. 此外还有校正图形、分隔符等功能图形和编码区. 具体结构可参看 QR Code 国际标准<sup>[3]</sup>.

在工业控制环境中, 条码往往印制在其他图案中, 因此必须在背景中检测出条码的位置. Liu<sup>[4]</sup>通过寻找角点来定位条码. Leong<sup>[5]</sup>结合支持向量机和直线检测

方法进行二维条码的检测. Hu<sup>[6]</sup>通过分析图像中纹理方向, 定位二维条码. 本文根据二维条码的特性, 首先使用 Retinex 理论<sup>[7]</sup>进行光照校正, 接着提出基于结构分析的快速检测算法.

图像在采集过程中会受到对焦不准的影响, 使获得的图像模糊退化. 针对这一问题, Joseph<sup>[8]</sup>计算点扩展函数方差, 对模糊的条码信号进行校正. Esedoglu<sup>[9]</sup>采用了盲目反卷积方法处理模糊的条码信号. Kresic<sup>[10]</sup>针对不稳定的光斑 PSD 噪音设计了信号复原算法. 然而这些方法大都基于一维条码. 本文针对二维条码, 设计了一种方差估计和反模糊算法.

## 2 条码检测

无论频域还是空域检测方法<sup>[5,6]</sup>, 实时性较差, 检测正确率有限. 本文结合 QR Code 条码的结构, 设计基于结构分析的快速检测算法.

## 2.1 图像光照校正

工业控制应用中多在户外采集数据,环境光不可控.图2(a)所示的印刷电路板中,由于光照不均,使得局部区域对比度较低.

这里我们采用 Retinex 模型<sup>[7]</sup>处理光照校正.一幅图像  $f(x, y)$  可以认为是照射分量  $l(x, y)$  和反射分量  $r(x, y)$  的乘积<sup>[7]</sup>:

$$f(x, y) = l(x, y)r(x, y) \quad (1)$$

Retinex 理论就是从图像  $f(x, y)$  中获得物体的反射分量  $r(x, y)$  的信息.先对式(1)两边进行对数运算:

$$s(x, y) = \ln f(x, y) = \ln l(x, y) + \ln r(x, y) \quad (2)$$

再进行 Fourier 变换:

$$F(s(x, y)) = F[\ln l(x, y)] + F[\ln r(x, y)] \quad (3)$$

记为:

$$S(x, y) = L(x, y) + R(x, y) \quad (4)$$

采用 Butterworth 滤波器进行高通滤波:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [d_0/d(u, v)]^{2n}} \quad (5)$$

滤波后,可抑制低频的  $R(x, y)$ :

$$\begin{aligned} J(u, v) &= H(u, v)S(x, y) \\ &= H(u, v)L(x, y) + H(u, v)R(x, y) \end{aligned} \quad (6)$$

再进行 Fourier 反变换得  $j(x, y) = F^{-1}(J(u, v))$  并

对  $j(x, y)$  取指数,得到最终处理结果:

$$g(x, y) = \exp(s(x, y)) \quad (7)$$

光照校正后的效果如图2(b)所示.可见处理后,图像的对比度、细节都有明显提升.

## 2.2 二值化

由于工业控制中图像相对复杂,直接采用直方图的办法进行二值化处理,效果不理想.这里我们基于边缘信息进行二值化.具体步骤如下:

第一步:对图像  $f(x, y)$  做边缘检测:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

第二步:计算每个像素的边缘强度  $G(x, y) = \text{Max}(|G_x|, |G_y|)$ . 从左到右扫描图像每一行,滤除边缘强度小于阈值  $T$  的像素( $T$  可取 20~30),并将由暗变明的点记为 +1,由明变暗的点记为 -1.

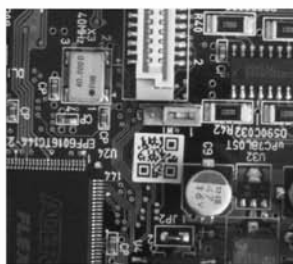
第三步:对于一行扫描线,合并连续出现的正点,保留最后一个正点.合并连续出现的负点,保留第一个负点.由于条码存在白色边界,先由亮变为暗.因此每条扫描线中,将负点到正点的部分二值化为黑,将正点到负点的部分二值化为白.二值化效果如图3所示.可以看到采用基于边缘的二值化可以获得较好的效果.



图1 QR Code 结构



(a) 原始图像



(b) 光照校正后图像

图2 运用Retinex理论进行光照校正

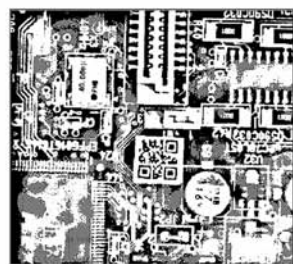


图3 二值化后图像

## 2.3 位置探测图形检测

对二值化后的图像进行链码跟踪和平滑.在这些链码跟踪出来的区域中,寻找正方形.在这里我们首先计算得到每个区域的最小外接矩形.再根据以下准则判断该区域是否为正方形:

(1) 区域面积与其最小外接矩形面积之比接近 1.

(2) 最小外接矩形的长宽比接近 1.

图4(a)为链码跟踪及平滑后的图像,图4(b)为正方形检测结果. QR Code 的每个位置探测图形由三个同心正方形组成.考虑噪音可能导致正方形的破损,若存在两个以上的同心正方形,则认为是一个位置探测图形.检测得到 QR Code 的位置探测图形后,不难获得条码的四个顶点,定位其位置.

## 3 条码反模糊处理

反模糊处理是识别的关键技术.现有方法大都基

于信号增强的策略<sup>[8~10]</sup>.这里我们采用图像复原的策略,先估计点扩展函数方差,然后进行逆滤波复原.

模糊后图像  $g(x, y)$  是原始图像  $f(x, y)$  与退化函数  $h(x, y)$  的卷积<sup>[11]</sup>:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) \quad (9)$$

常见的退化函数为高斯函数<sup>[8,9]</sup>:

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right] \quad (10)$$

## 3.1 方差估计

由于高斯函数是可分离的,故可将二维高斯退化模型简化为一维模型来估计方差.考虑用一条直线水平扫过图像中的某行条码可以得到一个方波,如图5所示.设这行条码有  $n$  个黑白交界,并将这些交界处的横坐标记为  $e_i (i = 0, 1, \dots, n-1)$ .我们可用函数  $b(x)$  来描述此行信号:

$$b(x) = \sum_{i=0}^{n-1} [(-1)^i U(x - e_i)] \quad (11)$$

其中  $U(x)$  为阶跃函数<sup>[8]</sup>. 经过退化函数的卷积作用后, 边缘表现为一种渐变的变化:

$$w(x) = h(x) * b(x) = \sum_{i=0}^{n-1} [(-1)^i h(x) * U(x - e_i)] \quad (12)$$

$h(x)$  为分离后的一维高斯降晰函数:

$$h(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \quad (13)$$

不难得到  $h(x)$  一阶导数为:

$$h'(x) = -\frac{x}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}) \quad (14)$$

可对  $h(x)$  和  $h'(x)$  作如下近似:

$$h(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}), & |x| \leq T \\ 0, & |x| > T \end{cases} \quad (15)$$

$$h'(x) = \begin{cases} -\frac{x}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}), & |x| \leq T \\ 0, & |x| > T \end{cases} \quad (16)$$

$T$  为阈值, 为  $3\sigma$ . 可证明  $w(x)$  一阶导数和二阶导数为<sup>[8]</sup>:

$$w'(x) = \sum_{i=0}^{i \leq n} [(-1)^i h'(x - e_i)] \quad (17)$$

$$w''(x) = \sum_{i=0}^{i \leq n} [(-1)^i h''(x - e_i)] \quad (18)$$

如果某个边界  $e_i$  和最邻近边界的距离大于  $T$ , 我们称之为独立边界. 考虑一个独立边界  $e_j$ , 由式(17)可知  $w(x)$  在  $e_j$  处一阶导数:

$$|w'(e_j)| = \left| \sum_{i=0}^{i \leq n} [(-1)^i h'(e_j - e_i)] \right| \quad (19)$$

因为  $e_j$  为独立边界, 故  $|e_i - e_j| > T, \forall i \neq j$ , 由式(15)可知,  $h(e_j - e_i) = 0, \forall i \neq j$ , 故:

$$|w'(e_j)| = |h(0)| = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \quad (20)$$

即:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi} |w'(e_j)|} \quad (21)$$

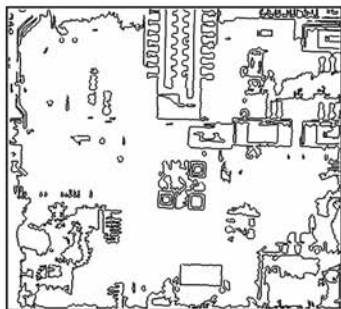
由式(18)可知,  $w(x)$  在  $e_j$  处二阶导数为:

$$w''(e_j) = \sum_{i=0}^{i \leq n} [(-1)^i h''(e_j - e_i)] \quad (22)$$

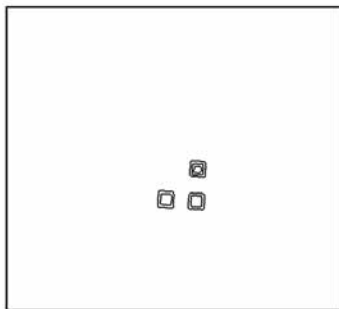
因为  $e_j$  为独立边界, 故  $|e_i - e_j| > T, \forall i \neq j$ . 由式(16)可知,  $h'(e_j - e_i) = 0, \forall i \neq j$ , 故:

$$w''(e_j) = (-1)^i h''(0) = 0 \quad (23)$$

即对于一个独立边界, 其二阶导数为零. 按照这个准则, 找到这个独立边界的位置, 然后由式(21)便可计算得到  $\sigma$ .



(a) 条码跟踪及平滑



(b) 正方形检测结果

图4 条码检测

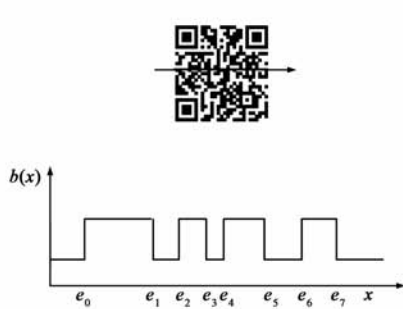


图5 原始条码信号

### 3.2 逆滤波复原

得到了  $\sigma$  后, 我们采用逆滤波对退化图像进行复原. 对式(9)两边做 Fourier 变换:

$$G(u, v) = F(u, v) H(u, v) \quad (24)$$

则:

$$F(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} \quad (25)$$

两边再做 Fourier 逆变换:

$$f(x, y) = F^{-1} \left[ \frac{G(u, v)}{H(u, v)} \right] \quad (26)$$

便可得到复原后的图像. 但是由于噪音  $n(x, y)$  的影响, 式(9)变为:

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y) \quad (27)$$

两边做 Fourier 变换:

$$G(u, v) = F(u, v) H(u, v) + N(u, v) \quad (28)$$

进步得到:

$$f(x, y) = F^{-1} \left[ \frac{G(u, v)}{H(u, v)} - \frac{N(u, v)}{H(u, v)} \right] \quad (29)$$

在  $H(u, v)$  值接近 0 处, 此时噪音的影响会变得非常显著, 噪音引起的 ill-posed(病态)问题<sup>[11]</sup>使得复原的图像效果较差. 由于高斯函数的 Fourier 变换仍然为实数, 我们计算  $H(u, v)$  的峰值, 记为  $H_{\max}(u, v)$ . 我们按照  $H_{\max}(u, v)$  的比例来截断  $H(u, v)$ .

图 6(a) 为模糊的图像, 图 6(b) 为截断  $H(u, v)$  小于  $H_{\max}(u, v)/100$  获得的结果, 由于噪音的扰动, 图像和原始图像偏差较大. 图 6(c) 为截断  $H(u, v)$  小于

$H_{\max}(u, v)/10$  获得的复原结果,我们可以看出此时在抑制噪音引起的扰动问题的同时,可以获得较好的反模糊效果.图 6(d)为截断  $H(u, v)$  小于  $H_{\max}(u, v)/5$  获

得的复原结果,我们可以看出此时由于截断的范围过大,复原效果不彻底,导致图像依旧模糊.一般我们可以将截断阈值设为  $H_{\max}(u, v)/10$  左右.

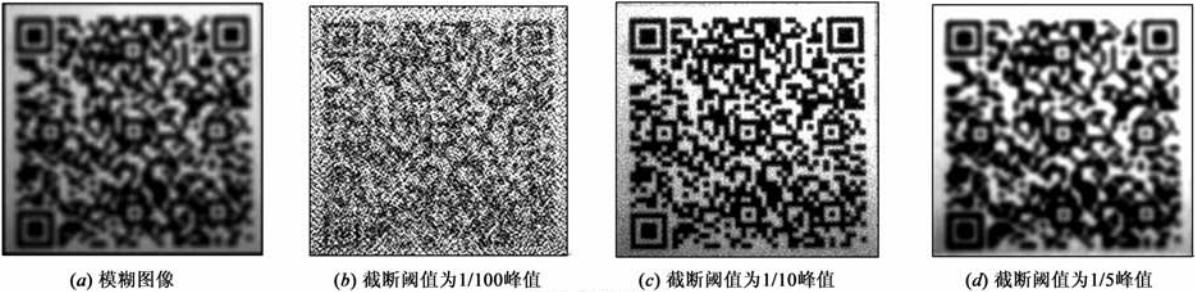


图6 复原效果

3.3 数据识别

至此我们完成了条码的检测和反模糊处理,继续针对透视畸变做反透视纠正<sup>[4]</sup>,然后二值化获得二维条码的黑白模块值,最后纠错和解码<sup>[3]</sup>,便可得到条码里所包含的数据.这些后继的识别步骤为现有算法和标准流程,具体细节本文不再详细描述,可参看相关文献.

4 实验和分析

实验中我们采用 ARM11 内核的 S3C6410 处理器,配置 128M 内存.摄像头采用 130 万像素的 OV9650.软件平台为 WinCE60.实验数据为工业控制中不同模块宽度和版本<sup>[3]</sup>的 QR Code 条码 400 幅.利用本文提出的条码检测算法、反模糊算法对条码进行检测和识别实验.

4.1 检测性能实验

这里图像分别为 320 × 240、640 × 480 和 1280 × 960.对于光照不均的图像,首先采用 Retinex 理论进行光照校正.然后我们比较基于按行列扫描探测图形的检测方法<sup>[3]</sup>、Hough 变换检测边界的算法<sup>[4]</sup>、本文检测算法的性能,结果如表 1 所示.

表 1 条码检测算法性能比较

图像大小	扫描探测图形检测率	Hough 变换检测率	本文算法检测率
320 × 240	99.5%	99%	100%
640 × 480	88.5%	83%	96%
1280 × 960	75%	72%	95.5%

可以看出,随着采样窗口的增大,基于 Hough 变换检测边界算法的性能急剧下降.因为随着采样窗口的增大,图像的背景更加复杂,此时一些类似方形的图案,会严重干扰 Hough 变换的检测性能,如方形的电子芯片,外包装的方形图案.同样采用按行列扫描探测图形的检测方法也会随着背景的复杂化,性能剧烈下降.而本文提出的算法充分利用条码的结构特征,有很好的抗干扰能力,适合工业控制环境中,背景比较复杂的应用场景.并且我们首先采用 Retinex 模型进行校正,能

很好的解决光照不均给检测带来的影响.

4.2 检测速度实验

实验中我们采用 650nm 的光源进行均匀光照,故而此实验中不进行光照校正.在条码检测中,我们分别采样 320 × 240、640 × 480 和 1280 × 960 三种图像大小.我们比较基于按行列扫描探测图形的检测方法<sup>[3]</sup>、Hough 变换检测边界的算法<sup>[4]</sup>、本文检测算法的耗时,结果如表 2 所示.

表 2 条码检测算法耗时比较(单位:ms)

图像大小	扫描探测图形	Hough 变换	本文算法
320 × 240	90	280	95
640 × 480	220	650	255
1280 × 960	365	2280	395

可以看出,随着图像的增大,由于 Hough 变换是一种穷举式的搜索算法,实时性较差.本文算法根据条码的特征进行检测,克服了这个缺点,获得了比较好的效率.同时和按行列扫描探测图形的算法相比,耗时相当,但由表 1 可知,本文算法的检测率要远优于按行列扫描探测图形的算法.可见本文算法兼顾检测正确率和耗时.

4.3 反模糊性能实验

图像模糊时,标准方差是一个关键的参数.实验中我们采用 650nm 的光源进行均匀光照,我们调节摄像头和条码的距离,以获得不同的方差.分别当方差和条码模块宽度<sup>[3]</sup>比为 0.2、0.5、0.8、1.2 时,用本文的算法进行反模糊处理后,再采用标准流程识别<sup>[3]</sup>,结果如表 3 所示.

表 3 反模糊算法性能

方差/模块宽度	传统算法识别率	本文算法识别率
0.2	99%	99%
0.5	91%	95%
0.8	70%	88.5%
1.2	35%	80.5%

可以看出随着方差  $\sigma$  的增加,由于点扩展函数的

影响,未处理模糊的传统识别算法性能急剧下降.而本文的识别算法随方差的增加,性能比较稳定,能够很好去除点扩展函数的影响,复原出原始信号.可见本文的识别算法有效地改进了图像模糊对条码识别的影响.

## 5 结论

本文以 QR Code 二维条码为例,对工业控制环境的二维条码检测和识别算法进行研究.文中首先采用同态滤波处理光照不均.接着采用边缘信息进行二值分割,并提出了一种基于链码跟踪和方形检测的快速条码检测算法.最后设计了估计方差和反模糊算法.通过实验和分析可知,本文设计的算法快速有效,能满足工业控制应用的需求.

## 参考文献

- [1] 刘宁钟,杨静宇.三维条码的编码理论和设计[J].计算机学报,2007,30(4):686-692.  
Liu N Z, Yang J Y. Encoding theory and design of three-dimensional bar code[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(4):686-692. (in Chinese)
- [2] Villan R, Voloshynovskiy S, Koval O, Pun T. Multilevel 2d bar codes: towards high capacity storage modules for multimedia security and management [J]. IEEE Trans on Information Forensics and Security, 2006, 1(4):405-420.
- [3] ISO/IEC 18004-2006, Information technology-Automatic identification and data capture techniques-QR Code 2005 bar code symbology specification[S].
- [4] Liu Xu, Doermann David. Vcode-pervasive data transfer using video barcode [J]. IEEE Trans on Multimedia, 2008, 10(3):361-371.
- [5] Leong L K, Wang Y. Extraction of 2D barcode using keypoint selection and line detection[A]. Processing of the 10th Pacific Rim Conference on Multimedia [C]. Bangkok, Thailand: Springer, 2009. 826-835.
- [6] Hu Huaqiao, Xu Wenhuan, Huang Qiang. A 2D barcode extraction method based on texture direction analysis[A]. Proceedings of the 5th International Conference on Image and Graphics

[C]. Xian, China, 2009. 759-762.

- [7] 汪荣贵,朱静,杨万挺.基于照度分割的局部多尺度 Retinex 算法[J].电子学报,2010,38(5):1181-1186.  
WANG Rong-gui, ZHU Jing. An improved local multi-scale Retinex algorithm based on illuminance image segmentation [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(5):1181-1186. (in Chinese)
- [8] Joseph E, Pavlidis T. Bar code waveform recognition using peak locations[J]. IEEE Trans. on PAMI, 1994, 16(6):630-640.
- [9] Esedoglu S. Blind deconvolution of bar code signals[J]. Inverse Problem, 2004, 20(1):121-135.
- [10] Kresic-Juric S. Edge detection in bar code signals corrupted by integrated time-varying speckle[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(12):2483-2493.
- [11] 刘明亮,高剑.基于改进的迭代增量频域反卷积滤波器的图像复原[J].电子学报,2004,32(12):2017-2019.  
LIU Ming-liang, GAO Jian. The Modified Iterative frequency-Domain deconvolution filter based image restoration[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12):2017-2019. (in Chinese)

## 作者简介



刘宁钟 男,1975年10月出生于四川成都.1998年于南京理工大学获计算机应用学士学位,2003年于南京理工大学获模式识别与智能系统博士学位.现为南京航空航天大学信息学院副教授、硕士生导师,主要从事数字图像处理、机器视觉、嵌入式软件开发等领域的研究.  
E-mail: liunz@163.com



苏 军 男,1986年3月出生于山东省泰安.2005年于山东理工大学获工学学士学位.现为南京航空航天大学信息学院硕士研究生,从事数字图像处理、多媒体技术、模式识别研究.  
E-mail: xiazhiyesujun@163.com