

分类号: _____

单位代码: 10300

密 级: _____

学 号: 2009215473

南京信息工程大学

硕士学位论文



基于图像处理的红外隐形 QR 码识别及其应用研究

Infrared Invisible QR Code Recognition Based on Image
Processing and Its Application

申请人姓名: 张维祥

指 导 教 师: 顾韵华 教授

专 业 名 称: 计算机应用技术

研 究 方 向: 信息安全

所 在 学 院: 计算机与软件学院

二〇一二年 六 月

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。本论文除了文中特别加以标注和致谢的内容外,不包含其他人或其他机构已经发表或撰写过的研究成果,也不包含为获得南京信息工程大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。其他同志对本研究所做的贡献均已在论文中作了声明并表示谢意。

学位论文作者签名: 张维祥

签字日期: 2012.6.8

关于论文使用授权的说明

南京信息工程大学、国家图书馆、中国学术期刊(光盘版)杂志社、中国科学技术信息研究所的《中国学位论文全文数据库》有权保留本人所送交学位论文的复印件和电子文档,可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文,并通过网络向社会提供信息服务。本人电子文档的内容和纸质论文的内容相一致。除在保密期内的保密论文外,允许论文被查阅和借阅,可以公布(包括刊登)论文的全部或部分内容。论文的公布(包括刊登)授权南京信息工程大学研究生院办理。

☒ 公开 ☐ 保密 (____年 ____月) (保密的学位论文在解密后应遵守此协议)

学位论文作者签名: 张维祥

签字日期: 2012.6.8

指导教师签名: 张维祥

签字日期: 2012.6.8

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 普通光照 QR 码识别研究现状	3
1.2.2 隐形 QR 码识别研究现状	5
1.3 研究目的和意义	6
1.4 论文的主要工作	6
1.5 论文组织结构	7
第二章 隐形 QR 码识别概述	8
2.1 红外图像光学特性	8
2.2 QR 码图像处理算法流程	9
2.2.1 普通光照下 QR 码图像处理算法流程	9
2.2.2 红外光隐形 QR 码图像识别难点分析	10
2.2.3 红外光隐形 QR 码图像处理算法流程	10
2.3 QR 码特征及编码解码理论	12
2.3.1 QR 码符号结构	12
2.3.2 QR 码编码理论	13
2.3.3 QR 码译码理论	13
2.4 本章小结	14
第三章 红外隐形 QR 码图像预处理	15
3.1 基于单通道的灰度化研究	15
3.1.1 基于视觉特性的灰度化分析	15
3.1.2 图像平滑灰度算法	16
3.1.3 线性灰度映射算法	17
3.1.4 实验及结果分析	18
3.2 基于高斯加权算法的自适应二值化研究	19
3.2.1 图像二值化定义及分类	19
3.2.2 二值化算法	20
3.2.3 窗口折半查找策略	21
3.2.4 实验结果及其分析	22
3.3 本章小结	24
第四章 基于轮廓跟踪的定位与倾斜校正算法	25
4.1 基于符号特征的 QR 码定位与校正	25
4.1.1 QR 码定位、旋转角度与版本号确定	25
4.1.2 图像旋转算法	26
4.1.3 图像几何校正	28
4.1.4 红外 QR 码图像符号特征分析	30
4.2 相关知识	30
4.2.1 数学形态学	30
4.2.2 Canny 边缘检测	31
4.2.3 轮廓提取跟踪	32

4.3 红外图像 QR 码定位与倾斜校正.....	37
4.3.1 红外图像 QR 码定位.....	37
4.3.2 QR 码倾斜校正.....	39
4.3.3 版本确定.....	40
4.4 本章小结.....	42
第五章 基于自适应栅格的归一化算法.....	43
5.1 QR 码图像归一化.....	43
5.1.1 常用归一化方法.....	43
5.1.2 自适应栅格归一化算法.....	44
5.2 QR 码译码算法.....	47
5.3 实验结果与分析.....	50
5.4 本章小结.....	51
第六章 防伪识别信息系统.....	52
6.1 系统设计思想.....	52
6.2 系统总体设计.....	53
6.2.1 系统结构.....	53
6.2.2 系统功能.....	53
6.2.3 系统软硬件环境.....	55
6.3 数据库设计.....	55
6.4 系统主要模块设计与实现.....	59
6.4.1 客户端.....	59
6.4.2 查询终端.....	60
6.4.3 管理端.....	60
6.5 小结.....	61
第七章 总结及展望.....	62
7.1 总结.....	62
7.2 进一步工作.....	62
参考文献.....	64
致 谢.....	67
作者简介.....	68

摘 要

隐形 QR (Quick Response) 码是采用特殊材料进行印刷、需采用专门识读设备进行读取的特殊二维码,可应用于物流管理、产品防伪、身份鉴别等多个领域。红外隐形 QR 码是采用红外吸收油墨材料印制的 QR 码,它的印迹无色,不影响原件的外观效果。由于人眼无法直接观察到条形码,所以不易被仿冒,也不可复印或复制,可实现了良好的标识和防伪功能。然而红外光摄像头采集的隐形 QR 码图像模糊、亮度不均、存在大量噪声,采用普通 QR 码图像处理方法无法识别。本文以 QR 码识别为目的,在提出基于图像处理的红外隐形 QR 码识别流程的基础上,从图像灰度化、二值化、QR 码符号定位、校正和归一化等方面对红外隐形 QR 码图像进行了识别研究。论文的工作主要有:

(1) 基于图像处理的红外隐形 QR 码识别流程研究。通过分析红外隐形 QR 图像特征,提出了由图像采集、图像处理和译码等步骤组成的识别流程,其中图像处理包括灰度化、二值化、定位与倾斜校正和归一化等处理,并分析了红外隐形 QR 图像识别的特点与难点。

(2) 红外 QR 码图像预处理,包括灰度化和二值化。针对红外隐形 QR 码灰度图像噪声严重的问题,本文提出了单通道灰度化算法,有效地去除了红外 QR 图像中的散斑噪声,并且在效率上有了较大提高。二值化方面,通过分析红外灰度图像的特征,提出了以高斯自适应阈值算法为基础,基于窗口折半查找策略求解局部最优窗口值及校正常量参数的改进算法,实验表明算法降低了图像噪声,确保了符号信息完整性,达到了后续处理要求。

(3) QR 符号定位及校正处理。对二值 QR 图像的符号特征进行分析,针对基于位置探测图形比例定位方法失效的问题,提出了利用轮廓跟踪和多边形逼近进行 QR 码定位的方法,实验表明本文的方法较大幅度的提高了定位成功率。在定位成功的基础上进行图像倾角和版本号计算,处理速度得到提高。

(4) 图像归一化和 QR 译码。针对平均归一化算法无法准确划分 QR 码的模块从而导致无法正确译码的问题,本文提出了自适应栅格归一化算法,实现

了 QR 码的标准化。QR 图像经执行译码算法，识别率达到了 90.3%，基本达到了初步实用的程度。

(5) 防伪识别信息系统的应用。结合红外 QR 图像识别成果，分析了防伪识别信息系统的设计思想，给出了系统架构和主要功能实现。

关键词：红外隐形 QR 码，图像二值化，QR 码定位，倾斜校正，归一化

Abstract

Invisible QR (Quick Response) code is a special two-dimensional code that uses special materials to print and requires dedicated reader device to read. It can be applied to multiple areas such as logistics management, product security and authentication. Meanwhile, it is printed by the ink material that absorbs light at infrared, as a result, its imprint is colorless and does not affect the original appearance. Because the human eye can not directly observe in the bar code, it will not only be counterfeited, but also can not be copied or reproduced and can achieve a good logo and security features. However, the infrared QR Code image has problems of blurred images, uneven illumination, large noise and it can not be identified by using the ordinary QR code image processing method. In this paper, for the purpose of the QR code recognition and based on image processing of infrared invisible QR code recognition process, infrared stealth QR code image recognition algorithm such as image grayscale, binary, QR code symbol positioning, correction and normalization is studied. Of this paper includes the following aspects.

The first step is infrared invisible QR code recognition process based on image processing. By analyzing the characteristics of infrared invisible QR image and difficulties of infrared invisible QR code, a recognition process composed of the image acquisition, image processing and decoding steps is proposed including image processing, including gray, binarization, location and tilt correction and normalization.

The second step is image preprocessing, including image gray and binarization. To solve noise problem of infrared invisible QR grayscale image, this paper utilizes the single channels algorithms instead of gray image and the time efficiency have improved greatly. For binarization, by analyzing the infrared invisible QR code image information characteristics in the R, G, B channels, based on the Gaussian adaptive threshold algorithm, a binary search strategy is proposed to solve the local optimal window value and the correction constant parameters. Experimental results show that the proposed algorithm reduces image noise, ensures the integrity of the symbol information and satisfies the subsequent processing requirements.

The third step is QR symbol positioning and correction processing. To solve the failure of detection graphics-based positioning method, this paper analyzes the symbol of the binary QR image characteristics and proposes a positioning algorithm based on contour tracking algorithms and polygon approximation algorithm. Experiments show that the algorithm improves the positioning accuracy largely and the inclination angle of the QR code is easily calculated based on the positioning results and the

version number is calculated based on the QR code characteristics on a higher speed.

The forth step is image normalization and QR decoding. For the problem that the module can not be accurately divided in average normalization algorithm which is leading to uncorrectly decode QR code, this paper presents an adaptive grid normalization algorithm to achieve the standardization of the QR Code. After the implementation of decoding algorithm using preprocessed QR code image, the recognition rate has reached to 90.3% and basically satisfied the preliminary practical requirement.

The last one is application of security and identification information system. Combined with the results of infrared QR image recognition and analysis the design philosophy of security and identification information system, system architecture and main functions is designed and programmed.

Key words: Infrared invisible QR Code, Image binarization, QR code positioning, Tilt correction, Normalization

第一章 绪 论

1.1 研究背景

条码技术是一门包括编码、印刷、数据采集与处理等的综合性技术^[1]。条码技术主要采用图像采集设备和光电扫描进行条码符号的识读，即将采集到的图像信息转化为对应的二进制序列，根据国家规定的编码规则转换为码字，并且快速准确地将信息录入到计算机里面进行处理，从而达到自动化的目的^[1]。由于条码技术具有信息存储量大、采集便捷、价格低廉、纠错能力较高等优点，所以被广泛应用于各个领域。当前常用的条码分为一维条码和二维条码。一维条码虽然应用广泛，但是由于受信息容量的限制，只能标识“物体”，无法描述“物体”，其具体应用需要依赖于数据库。因此如果没有数据库和无法联网的情况下，一维条码的使用将受到较大限制。另外由于一维条码不能表达汉字，因此在国内的一些场合应用不方便。

二维条码解决了一维条码无法解决的问题。二维条码是采用某种特定的几何图形按照一定规律在平面上分布的黑白相间的图形进行数据符号信息的记录，在代码编制上对应采用“0”、“1”比特的内部逻辑，使用了若干个与二进制相对应的几何形体进行文字等信息的表示，通过图像输入或光电扫描设备来识读图像，从而达到信息自动处理的目的。根据二维条码实现的原理不同和结构形状上的差异可分为行排式和矩阵式二维条码^[1,2,3]。行排式二维条码主要有 PDF417、Code16K、Code49 等码制，矩阵式二维条码主要有 QR Code、Code one、Data Matrix 等码制^[2,3,4]。和一维条码相比，二维条码具有高密度、高可靠性等优点，能够表示数据文件（包括汉字文件）、图像文件等。另外二维条码在数据种类、数据修复能力和应用灵活性等方面优点也比较突出。

在 20 世纪 80 年代末国外就开始了二维条码技术的研究。在二维条码符号表示技术的研究方面，常见的码制有 PDF417, QR Code, Code One, Code 49, Code 16K 等^[1]。在 1993 年我国开始了对二维条码技术研究工作^[1,4]。我国翻译与制定了两个二维条码的国家标准：1997 年制定的 GB/T 17172-1997《四一七条码》^[5]和 2000 年制定的 GB/T 18284-2000《快速响应矩阵码》^[6]。近年来，我国也研制出自己的二维码标准，如龙贝二维码、汉信码^[7]、GM 码等，有力推动了二维条码在我国的物联网方面的应用。二维码技术目前已应用在我国国防、物流管理、通信、仓储管理、医疗保健、金融、海关、票务系统及政府管理等多个领域，已经成为人们生活中的一部分。如手机 QR 码^[8]可以通过手机内置摄像头将印刷在报纸、杂志、个人名片等多种载体上的二维码拍摄下来，利用解码软件进行解码，实现快速上网，了解商品信息、防伪查询等。手机 QR 码还可以实现电子票务功能，通过手机订购电影票，服务器以彩信方式传送附有二维条码的订位记录给订购者，这样只需在开场前向柜台出示手机中的 QR 码即可确定订位记录。另一个常见的应用是火车票二维码，现在在火车票的右下角增加了 QR 码标识，里面包含了持票人个人姓名、所乘车次、始发站以及

终点站等详细信息，为了防止不法分子获取信息印制火车票，QR 码中的信息经过加密，需要专门的设备进行解码，保证了火车票的正常流通。

快速响应矩阵码(Quick Response Code)即 QR 码是一种矩阵式二维条码。相比 PDF417、Data Matrix 等二维码，它除上面提及的二维码优点外还具有超高速响应、全方位识读、可离线应用的便携式数据库、能够更高效地表示数字字母、汉字、图像等特点^[2]。由于 QR 码比其它的二维条码表示汉字的效率提高了 20%，更加适合我国应用。QR 码与其他二维条码的比较见表 1-1^[3]。但是在实际应用中，由于 QR 码需要占用包装上的一块区域，破坏包装整体效果。并且针对于一些特殊事务，需要对 QR 码内含信息进行保密，因此出现了隐形 QR 码的应用。

表 1-1 QR 码与 Data Matrix 条码，PDF417 条码的比较

二维码制	QR Code	Data Matrix Code	PDF417 Code
符号			
结构分类	矩阵式		行排式
识读速率(字符/秒)	30	2~3	3
可识读方向	全方位 (360°)		±10°
识读方式	深色/浅色模块判别		条空宽度尺寸判别
汉字表示 (位/个)	13	16	16

隐形 QR 码是指将 QR 码以肉眼下不可见的形式藏于图片或者商标之中。这样既不影响商品的包装效果，又由于需要专门的识读设备进行识读，一般制假者难以仿造，从而达到防伪的目的。

根据隐形 QR 码的实现方式，可以分为用特定的膜或涂层实现的覆盖式隐形条码、用光学方法对可视条码处理的光化学处理隐形条码、隐形油墨印制的隐形条码和用发射出特定波长扫描器识读的纸质隐形条码^[9]。其中隐形油墨印制的隐形条码可以分为无色功能油墨印刷条码和有色功能油墨印刷条码，前者一般是用荧光油墨、热致变色油墨、磷光油墨等特种油墨来印刷的条形码，这种隐形条码在印刷时必须采用特定的油墨材料，在条形码识别时必须用相应的敏感光源，并且在普通光照下是隐形的。本文研究的对象是在条形码识别时采用红外光照射才能采集的由无色功能油墨印刷的隐形 QR 码。研究中承载 QR 码的载体是近红外吸收防伪油墨，它是在油墨中添加一种或多种吸收波长为 700-1100nm 的近红外吸收防伪材料，用该近红外吸收防伪油墨印刷的 QR 码图像接近无色，肉眼下隐形^[10]。

由于隐形油墨印制的隐形条码其抗老化能力比较弱，成本较高，并且采集的红外图像

由于受滤光片影响存在成像模糊，亮度不均匀，边缘部分存在噪声等缺点，特别是矩阵式的二维条码结构复杂，信息密度高，受到的干扰更为严重。因此如何快速准确地去除噪声，正确定位解译红外图像中的QR码符号是一个值得研究的领域，其识读的前期的条码图像处理，就显得尤为重要。

1.2 国内外研究现状

当前对于二维条码识别应用主要分为电子二维码和识读器识读的二维码。电子二维码由于通过网络传输，其QR码信息不受干扰，直接解码即可识别。需要识读器识读的二维码的识别分为两个部分的内容：条码图像的处理和条码的解码。它需要专门的识读设备如二维码扫描枪，CCD摄像头等进行扫描后进行识读，由于采集后的图像存在噪声、旋转、扭曲等问题，条码符号的密度与识别难度成正比，结构复杂，信息密度高，并且在很多的应用领域要求条码识读设备可以快速正确地识读条码，因此如何快速准确地识读二维条码成为一个研究性课题。根据肉眼下QR码是否可见，QR码识别分为普通光照下的QR码识别和隐形QR码识别，现在对二维码的识别研究多是在普通光照下进行的。

1.2.1 普通光照 QR 码识别研究现状

在普通光照下的二维码识别应用中，利用采集图像进行识别会遇到以下难点：

- 由于条码符号印制在商品或商品外包装上，同时还印制很多与条码无关的信息，导致条码图像的背景复杂。
- 条码应用的环境光照变化，导致图像明暗不均匀，增大了识别的难度。
- 采集的角度和距离不同，再加上图像采集装置引起的几何失真和平面失真，图像中的QR码会有旋转、放大和拉伸。

因此基于以上问题，针对低质量的QR码图像的识别研究主要集中在图像的二值化、QR码定位、QR码图像校正、QR码归一化以及码字纠错五个方面。

(1) 图像二值化

在均匀光照强度下，即对于具有单一背景的QR码图像，其直方图为典型的双峰状，此时一般采用全局阈值法处理，例如固定阈值的二值化、Dither矩阵算法、灰度期望算法^[11]，OTSU算法^[12]等。在多达20种全局阈值法中，OTSU法公认为是最有效的^[13]。

对于光照不均的QR码图像，Yu-Hsuanchang等^[14]采用自适应光照均衡技术，把图像的每一行分割成若干部分，计算出每一部分的平均灰度值，再采用自动增益控制对灰度进行补偿，实现灰度的均衡。该算法的分割效果较好，但该算法算法相对复杂，计算量较大。文献[13]提出通过计算条码灰度图像的直方图，对其进行中值滤波去除噪声干扰，分析直方图的峰值特性来判断光照强弱，光照均匀则采用OTSU全局阈值法，不均匀则采用Niblack算法，该方法是全局阈值法与局部阈值法的结合，但是文中并没有指出明显双峰的判断标准和局部阈值法的窗口值。文献[15]给出以一种全局导向评估的方法评价二值化效果，通

过比较11种局部阈值算法的比较指出Niblack法最佳。但是在Niblack法中很难设定一个合适的窗口大小，而且模块之间的影响很大，也比较耗时，并且此评价是在手写识别程序里面进行的，其结果依赖于上下处理步骤效果，对于其他识别并不能直接应用。文献[16]采用了一种SOM神经网络和Niblack算法相结合的分块阈值的方法来进行二值化处理，此方法需要进行无监督学习达到聚类效果，因此存在如网络结构固定、在没有训练时不能加入新的类别^[17]、对应用环境要求很大等缺点。文献[18]提出利用B样条对直方图进行拟合曲线，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，从而获取阈值。文献[19]提出将OTSU和Bernsen算法结合进行二值化计算，算法不但可以保留细节，还可以保留轮廓特征。文章指出当扩大边界为整体图像大小的16%~20%时，利用改进Ostu算法做二值化，结果没有边界分割效应，而二值化效果最好。文献[20]通过比较全局阈值法和局部阈值法，修改了Sauvola算法，其算法速度比原来提高了5倍，二值化效果也很好。

由上面的分析可知，对于图像的二值化，关键在于运算窗口大小选择和阈值的确定。针对不同的应用环境如图像光照明暗以及均匀程度可总结为两种处理方式。在均匀光照强度下，即对于具有单一背景的QR码图像，其直方图为典型的双峰状，此时一般采用全局阈值法处理，但是对于背景复杂的图像，其直方图没有明显的双峰特征，无法确定合适的全局阈值，因此全局阈值法不适用，需要采用局部阈值法。

(2) 图像定位校正

QR码图像校正分为旋转校正和几何校正两部分。一般情况下图像旋转校正和图像定位放在一起进行计算。

对QR码定位，一般的方法是根据位置探测图形深浅模块1:1:3:1:1的特定结构，标记图像中水平和垂直方向都符合该比例的部分，由于在QR码的生成中已经消除了其他位置有这种图形的可能性，可以用于确定QR码的位置^[13]。这类方法结合了QR码结构特征，算法较为简单，但该方法对位置探测图形处的噪声较敏感。对于位置探测图形发生污损的情形，文献[13]提出利用挖空算法即先将条码内部点挖空来减少计算量和得到边缘信息，采用过已知点的Hough变换检测条码顶点及斜率。此方法保留了图像的边缘特征，但是对于周围有干扰的情况下Hough算法会出现误差。文献[21]提出基于一维特征模板匹配的条码快速定位方法，该方法考虑位置探测图形的波形特征，因此该方法对于图像模糊比较严重的图像并不适用。文献[22]利用Hough变换、Sobel算子定位条码图像，并利用空间变换纠正图像失真。但QR码的边界不是一个连续的边界，采用Hough变换定位误差很大。文献[23]根据二维条码图像特征设置的约束条件，对计算得到的凸包顶点集合进行二次筛选，从而得到二维条码的定位图形，这种方法针对平面有限点集的处理对扭曲或倾斜的条码图像具有很强的适用性。文献[24]利用轮廓提取提取所有物体边缘，利用角点检测获取所有顶点，根据位置探测图形共线的方法来识别顶点，可以提取出一张图上多个QR码，但是时间耗费较大，而且此法针对QR码线性特征比较完整的情况下比较有效。

由上可知对于位置探测图形未发生污损的情况，可以按照比例特征快速定位和进行旋转校正，对于位置探测图形发生污损情形可以考虑Hough变换、轮廓提取等算法，由于应用环境的不同，其定位结果会产生误差。

(3) 图像几何校正

由于拍摄角度等问题会产生图像几何失真。几何失真会给QR码的识别带来很大误差，降低识别率。对于图像的几何矫正问题，文献[25,26]等提出了一种基于双线性变换和插值方法的几何失真矫正算法处理存在几何失真的图像。该方法需要找出QR码图像的四个顶点，但是在实际应用中，第四个顶点比较难以确定。文献[13]提出利用挖空算法，得到边缘信息，采用过已知点的Hough变换检测条码第4个顶点。由于QR码边界并不连续，Hough可能会产生误差。文章[27]提出由位置探测图形顶点和位置探测中心点与边界垂直相交的点构成两条直线，其交叉的位置即为第四点。该方法需要依赖于位置探测图像的定位结果。

(4) 图像归一化

经过几何变换后可得到正则图形的QR码图像。得到正则的QR码后，需要将其归一化，即将其按照模块为单位划分为栅格，对栅格中心进行采样，根据采样点信息用黑白两色进行栅格填充得到标准QR码。但是由于图像质量较差，许多应该处于同一个栅格内的模块信息发生了偏移，甚至跨越了1~2个栅格的位置，文献[4]利用灰度修补的策略进行归一化，即利用数学形态学中的腐蚀膨胀进行修补，但是此方法对于几何变换后QR码效果较差的处理后识别准确率较低。文献[5]提出的平均法划分QR码往往会造成切割误差。文献[28]通过对QR码的三个位置探测图形构建一个整体匹配模式。利用“团队进步算法”在图像中搜寻位置探测模块的最佳匹配位置，从而找到QR码所在区域。此法可以解决QR码的寻像模块遭到污染时的定位问题，但是对图像计算次数较高，时间复杂度较大。

(5) QR码纠错

QR码采用Reed-Solomon (RS) 纠错码。RS码是一种非二进制的BCH码，具有同时纠突发错和随机错的能力，对突发性的错误干扰很有效。但是当纠错级数较大时，其运算复杂度也相应增加^[3]。文献[3]对QR码的RS、BCH纠错编码进行研究。提出如果接收码字计算伴随式若存在错误，则使用B-M迭代算法确定错误位置多项式，再使用chen搜索算法求解错误位置多项式的根，最后计算错误值，并纠错错误。文献[29]提出一种新的编码和解码算法，即编码时将二维码数据区域分成许多块，对包含有较高概率引起位错误的字节的块不进行编码，解码时跳过那些块，此法极大的提高了对隐形码解码的正确率。文献[30]在对输入数据进行汉字编码时发现国家标准 (GB/T 18284-2000) ^[6]中存在错误，生成的数据位流超出国标中规定的符号数据容量。提出了3种修订方法，修改了国标中汉字模式的数据容量。

1.2.2 隐形 QR 码识别研究现状

现在针对对隐形二维码的识别研究较少。隐形条码根据识别时采用的敏感光源不同，分为紫外光隐形二维码和红外光隐形二维码两种。目前已知文献对于隐形二维码的识别研究更是多针对紫外光二维码进行识别^[29,31]，其处理过程基本与普通光照下的图像处理步骤一致。与紫外光相比，红外光下的识读除具有普通光照下二维码识别的难点问题之外，还存在以下问题：

(1) 红外光成像比紫外光图像更模糊，亮度不均匀；

(2) 采集摄像头为支持正常和红外图片采集，对采集设备的滤光片进行了修正，获取的QR图像边缘会有大量干扰噪声和部分缺失，增加了用户提取图像QR码区域的难度^[31]。

若将普通QR图像预处理方法直接应用于红外隐形QR码图像，则效果非常不理想。根据我们对100多幅红外隐形QR码图象的实验，识别率仅为40%左右，完全不能实用。为解决红外隐形QR码得到识别问题，本文参考了基于普通光照下的QR码识别算法，对红外隐形QR码的识别进行研究。

1.3 研究目的和意义

针对红外隐形QR码识别中存在的问题，在参考现有论文的基础上，本文的目的是提出一个可行的解决方案并且加以实现。并且基于识别成果，设计实现一个防伪识别信息系统，能够应用于现实生产生活之中。

QR码早已经应用在物流管理、防伪应用、票务系统、身份鉴别与商务交易等众多领域，随着信息技术和物联网技术的高速发展，QR码的应用必将与人们的生活紧密结合。当前的QR码识别应用多是在普通光照下进行，而对于具有防伪、不占用包装空间等商业价值功能的隐形QR码识别研究较少。本文是对红外隐形QR码的识别研究，对于推动将来红外隐形QR码识别工作的发展具有一定意义。

1.4 论文的主要工作

以QR码识别为目的，在提出基于图像处理的红外隐形QR码识别流程的基础上，本文从图像灰度化、二值化、QR码符号定位、校正和归一化等方面对红外隐形QR码图像进行了识别研究。论文的工作主要有：

(1) 基于图像处理的红外隐形QR码识别流程研究。通过分析红外隐形QR图像特征，提出了由图像采集、图像处理和译码等步骤组成的识别流程，其中图像处理包括灰度化、二值化、定位与倾斜校正和归一化等处理，并分析了红外隐形QR图像识别的特点与难点。

(2) 红外图像预处理，包括灰度化和二值化的研究。对灰度化，针对红外隐形QR灰度图像噪声严重的问题，通过分析红外隐形QR码图像在R、G、B三个通道上的信息特征，采用单通道图像取代基于视觉的灰度算法；以图像信噪比和运算时间为评判标准得出了红外图像各通道最优系数即用B通道作为灰度图，有效去除了红外QR图像中的散斑噪声，并且在效率上有了较大提高；图像二值化方面，分析了红外灰度图像的特征，指出了全局阈值法的不适用性。以高斯自适应阈值算法为基础，提出了基于窗口折半查找策略求解局部最优窗口值及校正常量参数，实验表明提出的算法降低了图像噪声，确保了符号信息完整性，达到了后续处理要求。

(3) QR符号定位及校正处理。对二值QR图像的符号特征进行分析，针对基于位置探测图形比例定位方法失效的问题，提出了利用轮廓跟踪算法和多边形逼近算法来实现QR码

定位，实验表明算法提高了定位的准确率。基于定位结果行图像倾角和利用位置探测图形比例特征进行版本号计算，提高了处理速度。

(4) 图像归一化和QR译码。针对平均归一化算法无法准确划分QR码的模块从而导致无法正确译码的问题，提出了自适应栅格归一化算法，实现了QR码的标准化。预处理后的QR图像经执行译码算法，识别率达到了90.3%，基本达到了初步实用的程度。

(5) 防伪信息管理系统的应用。结合红外QR图像识别成果，分析了防伪信息管理系统的需求，给出了系统架构和主要功能实现。

1.5 论文组织结构

本文以红外隐形QR码图像为研究对象，结合开源视觉库OpenCV，在VS2010平台上利用C++语言研究并实现了基于图像处理的红外隐形QR码识别。本文的研究内容包括针对普通光照下的QR码图像识别算法的设计及实现，红外光隐形QR码图像识别算法的设计实现和防伪信息系统的设计实现。算法研究中关键的问题是隐形QR码图像的预处理、定位及归一化算法。

本文的组织结构如下：

第一章：绪论。首先介绍课题的背景、QR码和隐形QR码。其次讨论了QR码识别研究状况，并对前人的工作做了综述分析。最后阐述了本文的目的、意义和主要工作。

第二章：隐形QR码的识别概述。分析了红外光隐形QR码图像光学特点，以普通光照下的QR码的识别算法为基础，结合红外图像的难点分析，提出了红外QR码图像识别的算法流程。

第三章：红外隐形QR码图像预处理。主要研究了红外光隐形QR码识别的灰度化和二值化。针对红外图像的特性，提出了基于单通道的灰度化，针对局部二值化窗口值难以确定的问题，提出了窗口折半查找策略。

第四章：基于轮廓跟踪的定位与倾斜校正算法。本章主要研究了红外图像中QR码的定位算法和图像倾斜校正算法。针对符号特征失效的问题，提出了基于轮廓提取和多边形逼近的定位算法。

第五章：基于自适应栅格的归一化算法。针对平均法和投影峰值方法的不足，本章提出了一种红外二值图像的归一化算法。然后针对前面的识别结果结合QR码解码国家标准进行QR码译码，最后对前面几个章节各步骤的对比实验，并就其差异给出了分析。

第六章：防伪信息管理系统。基于红外QR图像识别成果，分析了防伪信息管理系统的设计思想，阐述了系统架构和设计实现主要功能模块。

第七章：总结及展望。对红外隐形QR码图像的识别算法进行总结，分析其不足和改进之处，并提出可行性建议。

第二章 隐形 QR 码识别概述

2.1 红外图像光学特性

可见光按波长从长到短排列，依次为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。其中红光的波长范围为 $0.62\mu\text{m}\sim 0.76\mu\text{m}$ ，紫光波长范围为 $0.38\mu\text{m}\sim 0.46\mu\text{m}$ ，波长大于 $0.76\mu\text{m}$ 的光为红外光，波长小于 $0.38\mu\text{m}$ 的光为紫外光^[32]，如图 2-1(A)所示。因此红外光或紫外光是肉眼状态下不可见光。由于隐形油墨具有可以在正常状态下隐形而在红外或紫外光源照射下呈现黄色的特性，因此在防伪行业具有广泛的应用。利用此特性，对条码用隐形油墨进行印刷处理，并采用专门的识读设备进行识别的过程，称为隐形 QR 码识别应用。识别系统采用近红外滤光片加普通摄像头对红外光隐形 QR 条码进行图像采集。

红外光隐形 QR 码采集过程如图 2-2 所示^[10]，成像如图 2-1(B)所示，滤光片是通过各种不同的光学现象如吸收，干涉，选择性反射，偏振和散射等来发挥其作用，让红外光光谱范围内的光能够通过，并且使其光透过率得到增强，同时阻止光谱范围外的光通过。但是在实际的应用中，受滤光片的带宽，透过率和波形系数影响，其红外能量的透过率和红外成像的能力仍有一定缺陷。从图 2-1(B)可以看出，红外 QR 图像存在成像模糊，亮度不均匀，在边缘部分存在噪声等，因此在实际图像识别应用中存在一定难度。

目前国内外对红外光隐形二维码的识别研究的文献很少，大部分研究集中于普通光照下的二维码识别，其研究工作趋近于成熟。因此本文以普通光照下二维码的识别工作为基础，以红外图像识别难点为突破口，探索研究红外光隐形二维条码的识别。

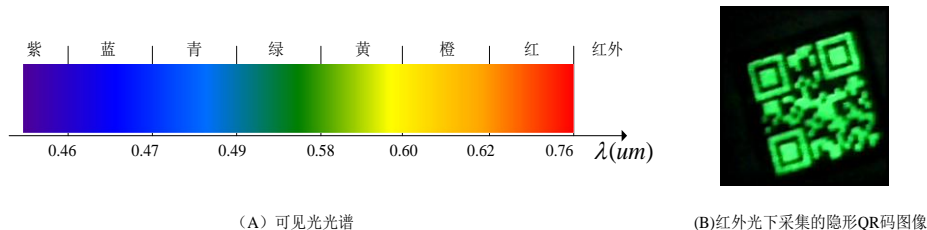


图2-1 可见光光谱图和红外光下采集的QR码图像

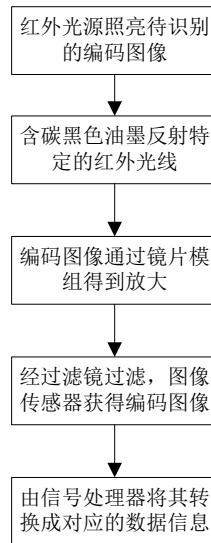


图2-2 红外图像采集过程

2.2 QR 码图像处理算法流程

2.2.1 普通光照下 QR 码图像处理算法流程

目前二维码图像的识别环境一般是在普通光照下进行。普通光照下的二维条码采集主要采用图像扫描器进行识读，图像扫描器一般包括手持式扫描仪、普通摄像头、手机摄像头等。由图像扫描器获取的二维条码图像经过 A/D 转换、线路传送后都会产生噪声污染、倾斜甚至严重扭曲等现象，给条码后续的译码工作带来一定的困难。为了将上述现象对译码产生的影响降到最低，提高二维条码的译码效率，这就要求在译码之前做好二维条码图像处理工作，提高图像的质量。

QR 码图像处理需要充分利用条码图像特征，提出相应的图像处理方案，并且通过大量的实验验证。同时，识别系统在使用过程中识读的速度应该满足用户要求。在普通光照下 QR 码的处理工作主要包括：QR 码图像的灰度处理、二值化、QR 图像定位和倾斜校正、几何校正、归一化等^[27]。普通光照下 QR 码图像处理研究主要步骤如图 2-3 所示。



图 2-3 QR 码图像处理基本步骤

由上可知，普通光照 QR 码的图像处理基本思路是：首先采用摄像头采集 QR 码图像，由于采集得到的 QR 码图像是彩色图像，数据量比较大，影响处理的速度，需要将其转化为灰度图像，以减少后续的图像处理计算量；为了降低计算量，需要对图像进行二值化，对于明暗均匀图像采用全局阈值法处理，对于不均匀图像采用局部阈值算法处理；然后根

据 QR 码位置探测图形的比例特征定位 QR 码位置, 根据位置探测图形中心所呈三角形的角度计算倾斜角; 对图像进行倾斜校正后, 通过算法得到 QR 码的四个顶点, 通过双线性变换或透视变换校正倾斜的 QR 码; 最后利用栅格划分方法并进行归一化处理, 使 QR 码图像尽可能恢复到标准 QR 码图形, 保证译码结果的准确性。最后采用国家标准译码算法译码, 得到准确的译码结果。

2.2.2 红外光隐形 QR 码图像识别难点分析

以上分析了普通光照下的基于图像处理的二维码识别方案, 由于红外光隐形 QR 码自身特点, 图 2-3 中采用的算法步骤在红外识别中不能全部适用。相对普通光照下的二维码图像识别, 红外光隐形 QR 码识别具有以下难点和特点:

(1) 在灰度化方面, 由于采集图像是红外图像, 图像质量模糊, 由基于视觉的灰度化公式^[4]处理所得灰度图噪声信息严重, 不能满足进一步的识别要求。

(2) 在二值化方面, 由于图像明暗不均匀, 全局二值化算法如 OTSU 算法不能满足要求, 因此需要采取局部阈值化算法, 但是窗口大小的取舍是主要问题。

(3) 在图像定位和旋转校正方面, 由于 QR 码边缘存在大量噪声, 因此基于符号特征定位的算法失效, 导致定位结果不准确和版本号无法计算, 需要采用其他定位算法及版本确定算法。

(4) 在几何校正方面, 红外摄像头为保证图像采集质量, 需要垂直贴近目标样本进行采集, 因此不会出现拉伸扭曲现象, 因此对红外图像可省略几何校正步骤。

(5) 在归一化方面, 由于图像模块发生偏移, 传统平均栅格划分和投影峰值方法无法将 QR 码正确地分割成识别模块, 因此需要采用一种有效的自适应栅格划分算法。

由上可知, 如果采取与普通光 QR 图像同样的处理策略, 其灰度化图像噪声严重, QR 码无法定位, 因此无法译码。因此需要对红外图像处理算法研究其特定的图像处理策略。本章从以上提出的难点出发, 对其逐步讨论解决, 提出红外 QR 码图像识别方案。

2.2.3 红外光隐形 QR 码图像处理算法流程

本章参考了普通光照下的 QR 码图像识别算法进行红外 QR 码图像的识别工作。在图 2-2 中的每个识别步骤中, 根据红外图像中 QR 码的特点分析并解决其识别难点, 旨在提高识别率和实时识别速度。以下是识别过程的总体分析, 其具体步骤将在后续章节详述。

在灰度化方面, 为了达到较好的去噪效果, 提出了两个方案。(1) 图像平滑灰度算法, 即先利用图像平滑算法对每个通道进行平滑去噪, 然后利用灰度化公式对其相加。(2) 采用线性灰度映射算法, 寻找各通道最优比例(采用 B 通道替代灰度图的方法进行灰度化), 旨在降低图像噪声信息大的图像通道权重, 达到合适的滤波目的。采用 540*540 像素图像进行实验检验, 以图像信噪比、归一化均方差作为去噪效果标准, 实验表明后者更适合红外隐形 QR 图像的灰度化处理。

在二值化方面, 由于图像明暗不均匀, 采取基于高斯加权的自适应阈值算法, 提出窗

口值折半查找策略快速确定局部阈值法最优窗口值。

在图像定位旋转校正方面，由于位置探测图形模块宽度比例失调，因此无法通过此比例进行 QR 码定位，进而无法确定 QR 码版本号。本文利用轮廓跟踪，多边形逼近算法对图像进行定位，版本号和倾斜角度的确定。

在归一化方面，提出利用自适应栅格算法进行图像归一化，通过精确定位 QR 码顶点位置，旨在提高图像模块划分的精确度，提高识别率。

根据以上提出的红外 QR 码图像识别的难点和解决方案，提出以下红外 QR 码图像的识别流程，如图 2-4 所示。在 CPU 为 1.60GHZ、内存 1G、操作系统为 Windows XP 计算机平台上，基于结合开源视觉库 OpenCV，在 VS2010 平台下利用 C++ 语言对各步骤的图像处理算法予以编程实现。在图像处理过后将得到标准的 QR 码图像，利用国家标准算法对其进行解码得到正确的 QR 码信息，从而完成整个识别工作。

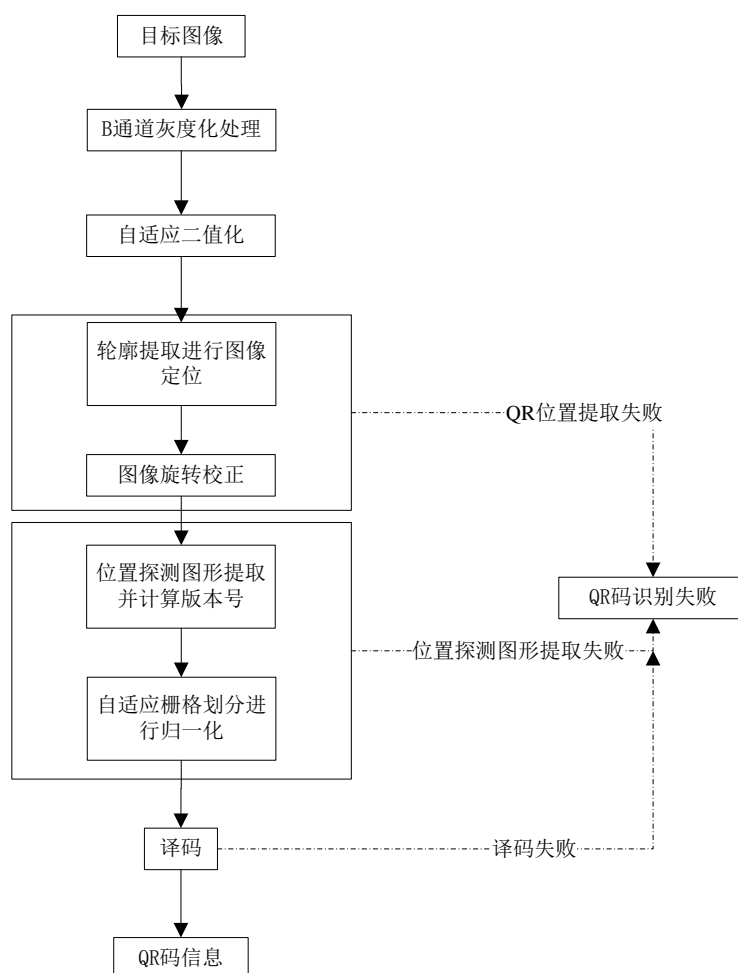


图 2-4 红外光下隐式 QR 码识别流程

2.3 QR 码特征及编码解码理论

2.3.1 QR 码符号结构

QR码是一种矩阵式二维码，外观上呈由深色和浅色的正方形模块组成阵列并且在左上角、左下角及右上角有个重叠的同心正方形组成的位置探测图形，符号特征明显。它可帮助确定符号的位置，尺寸和倾斜度，QR码的尺寸范围较大，并且提供4级纠错。其模块宽度由用户根据应用所需条件确定^[3,6,8]。图2-5是QR码符号的结构^[1]，符号特征在图中进行了标注，以下简介QR码识别中关键的两个概念：符号版本和规格、位置探测图形。

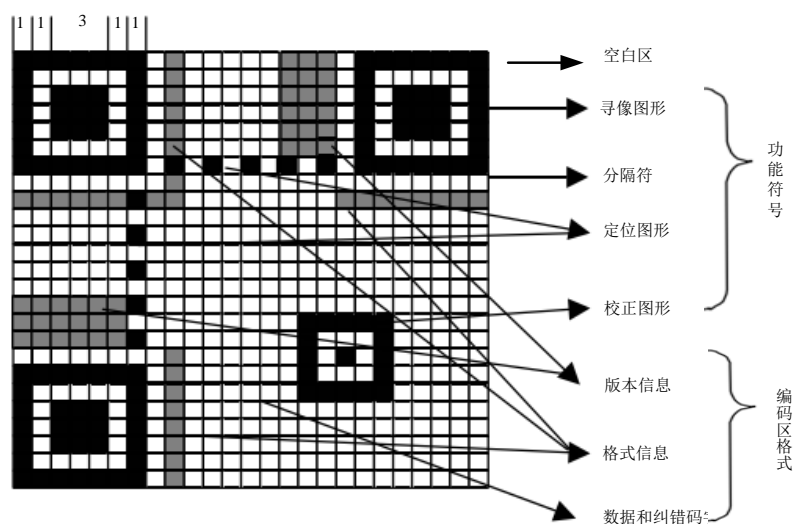


图 2-5 QR 码符号的结构

(1) 符号版本和规格^[3,6,8]

QR码符号共有40种规格，分别为版本1、版本2，……，版本40。版本1的规格为21模块×21模块，版本2的规格为25模块×25模块，依此类推，每一版本比前一版本每一边增加4个模块，直到版本40，其规格为177模块×177模块。不同的版本可以包含不同的信息量^[6]。

(2) 位置探测图形^[3,6,8]

位置探测图形也称寻像图形，包括三个相同的位置探测图形，分别位于符号的左上角、右上角、左下角，如图2.1所示。每个位置探测图形可以看作是由3个重叠的同心正方形组成，它们分别为7×7个深色模块、5×5个浅色模块、3×3个浅色模块。如图2-6所示，位置探测图形的模块宽度比为1:1:3:1:1。符号中其他地方遇到类似图形的可能性很小，因此可以在视场中迅速地识别可能的QR码符号。识别组成寻像图形的3个位置探测图形，从而明确地确定视场中条码符号的位置和旋转角度。

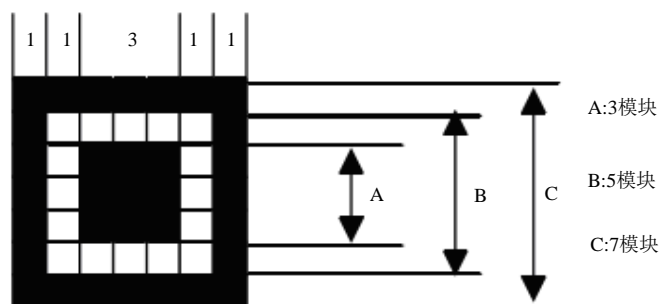


图 2-6 位置探测图形结构

2.3.2 QR 码编码理论

编码过程^[1]共分七步，分别为待编码信息分析、数据区域信息编码、纠错码字编码、构造最终信息、布置数据矩阵模块、添加掩膜图形、添加格式信息与版本信息。其流程图如图 2-7 所示。

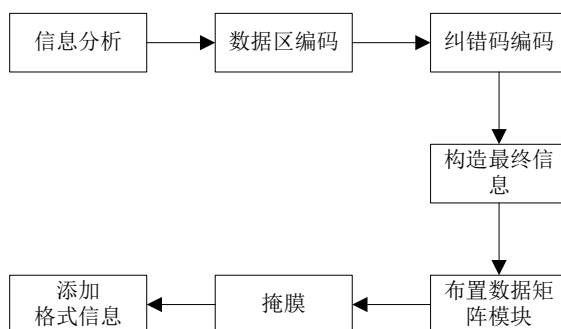


图 2-7 编码流程图

2.3.3 QR 码译码理论

输出数据字符的译码步骤是编码的逆过程，参考国际标准 GB/T 18284-2000《快速响应矩阵码》，译码流程如图 2-8 所示^[6]：

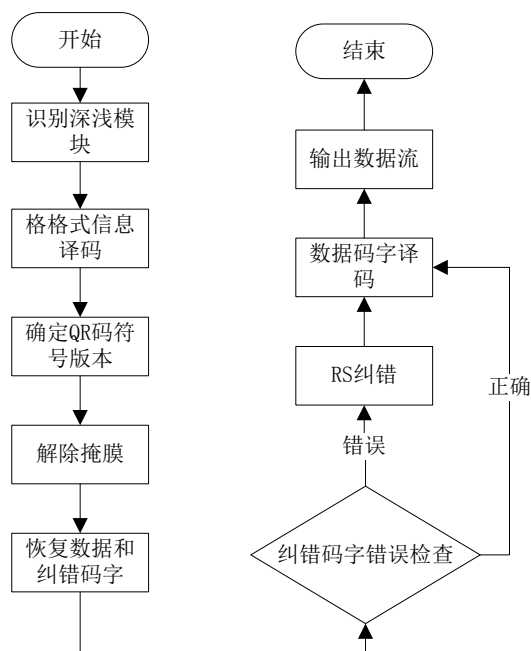


图 2-8 QR 码译码流程图

2.4 本章小结

本章主要提出了红外光隐形 QR 码图像处理算法流程，首先分析了红外 QR 码图像的光学特性及特点，以普通光照下的 QR 码的识别算法为基础，指出了红外图像在识别过程中的难点、对难点进行分析并提出解决思路。最后对 QR 码的图像特征和解码译码算法进行了简要描述。本章是第三至第六章的算法识别的总论。

第三章 红外隐形 QR 码图像预处理

图像预处理包括图像灰度化和二值化。为达到良好的去噪效果，提高图像质量，本章分别对两个算法进行了研究和改进：以图像去噪效果和处理速度为指标，提出单通道灰度化算法替代基于视觉特性的灰度化算法；在二值化方面，以去噪和保留 QR 码信息为指标，提出了窗口折半查找策略，快速准确地确定局部阈值化窗口值。

3.1 基于单通道的灰度化研究

3.1.1 基于视觉特性的灰度化分析

灰度化是将三维的彩色图像矩阵转化为二维矩阵，矩阵的每个元素表示对应位置像素的灰度值。在实际的摄像设备中，大多数设备采集到的是彩色图像，彩色图像存储占用大量的空间，因为彩色图像包含 RGB 三个分量信息，每个分量的数值范围是 0~255。灰度图是只有亮度信息而没有颜色信息的图像，即三个分量相同的一种特殊的彩色图像，灰度图像每个像素只需一个字节存放灰度值，灰度范围为 0~255，灰度图像的信息量比 RGB 彩色图像少。灰度化的目的是将彩色图像转化为灰度图像，从而大大地减少后续操作的运算时间，在实际 QR 码识别的过程中可以节省内存。

设 G 表示灰度的正整数集合，且 $G = \{0, 1, \dots, 255\}$ ，则彩色图像各分量值 $r, g, b \in G$ ，目前基于视觉特性的灰度值 $gray$ 的计算公式^[3,33]为：

$$gray = [0.299, 0.587, 0.114] \cdot [r, g, b]^T \quad (3-1)$$

利用此公式得到灰度图如图 3-1 所示，其中图 3-1(A)是普通光照下的灰度图像，3-1(B)是由图 2-1(B)红外图像灰度化后获取的图像。对在普通光照下采集的图像来讲，利用公式(3-1)能去的很好的灰度效果，但对图 3-1(B)来讲，其图像模糊，位置探测图形（右上角）附近存在噪声信息，较大地影响了识别率。因此采用公式(3-1)获得的灰度化图像质量不能满足要求。需要寻求一种合适的灰度计算公式得出较好的灰度图像。

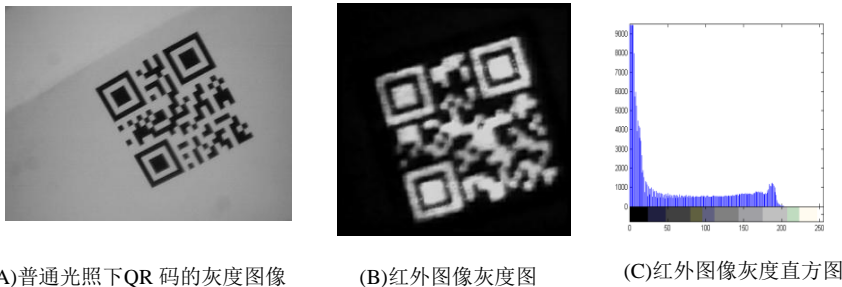


图 3-1 QR 码的灰度图像

图像三个通道及其对应统计直方图图像如图 3-2(A)~(F)所示。由图 3-1(B)(C)可以看出，红外图像灰度直方图像素分布均匀，背景与前景界限不清晰，且图像明暗不均匀，其灰度图清晰度不如 B 通道（图 3-2(C)），灰度效果不理想。观察 RGB 通道及其灰度直方图可知，图像背景为黑色，像素范围根据通道而不同，其他为有用信息和噪声信息。如图 3-2(B)(D)所示，RG 通道背景色与前景分离清楚，背景范围在 0~20 之间，有用信息分布在 20~150 之间。但是 R 通道背景比例太大，图像信息丢失严重（图 3-2(A)），B 通道有用信息集中（20~150），信息保存完整（图 3-2(C)）。如图 3-2(E)(F)所示，G 通道图像像素分布均匀，信息完整与噪声信息混和在一起，是导致灰度图像模糊和明暗不均匀的关键因素。G 通道灰度平均值为 68.59，其噪声灰度值分布在均值附近，因此噪声信息属于高斯噪声特征，可考虑先用高斯滤波器进行降噪处理。

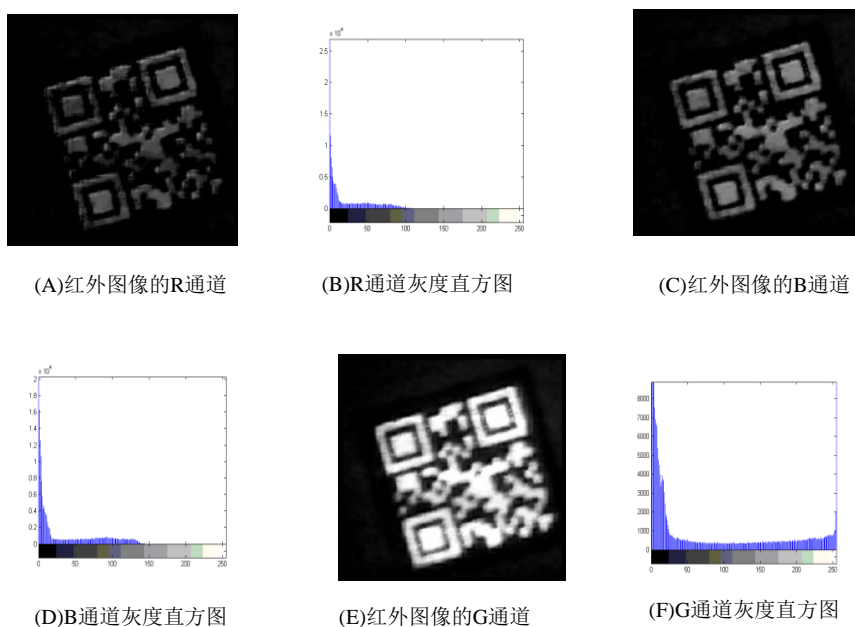


图 3-2 各通道灰度图及直方图

由上可知，红外图像灰度化的另一个目的是解决图像噪声干扰。因此本章提出了两个解决方案：（1）图像平滑灰度算法，即先利用图像平滑算法^[34]对每个通道进行平滑去噪，然后利用灰度化公式(3-1)对其相加。（2）线性灰度映射算法^[35]，通过对 RGB 三个通道的系数进行调整，降低图像噪声信息大的图像通道权重值，达到去噪目的。

3.1.2 图像平滑灰度算法

图像平滑能消除图像采集、传输以及处理过程中的噪声。图像平滑包括空域法和频域法两大类，在空间域中主要有邻域平均法，加权平均法，中值滤波法等；在频率域中主要利用各种形式的低通滤波来消除噪声^[32]。按照噪声产生的物理因素，红外图像的空间噪声

主要分为散斑噪声、电子噪声、光电子噪声和感光颗粒噪声等^[37]。其中散斑噪声是声波或者光波的相干作用而在图像中产生的噪声，是一种乘性噪声，并且是红外图像的主要噪声。由于线性滤波器会模糊图像细节（如边缘等）进而导致像线性特征的定位精度和特征的可抽取性降低，中值滤波对椒盐噪声有明显效果而对乘性噪声去噪效果不好，理想低通滤波器滤波时会带来振铃现象^[36]，因此以上方法不适用于红外图像去噪。由于高斯函数是平滑的，避免了以上问题，本章采用高斯加权平滑算法进行图像滤波。高斯平滑实质是利用一个给定像素点所对应场景点的周围点对该点的光亮贡献呈正态分布的特点选择具有正态分布，同时也具有最小带宽频率积的高斯平滑函数，按照它们离中心点的距离进行加权计算取得灰度值。对每个通道进行加权计算后，将各通道结果采用线性方式相加取得最终灰度图。

设 (r, g, b) 各通道图像函数为 $g_{(r, g, b)}$ ，本章采用窗口模板大小为 $N(N>1)$ ，则各通道图像平滑公式为^[39]：

$$Gauss_{r, g, b}(x, y) = \sum_{i=-N/2}^{N/2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} (G(i, j) * g_{r, g, b}(x+i, y+j)) \quad (3-2)$$

高斯平滑算子 $G(i, j)$ 为：

$$G(i, j) = e^{-(i^2 + j^2) / (2\sigma^2)} (\sigma > 0) \quad (3-3)$$

其中 σ 是高斯卷积核，其值为^[39]：

$$\sigma = (\frac{N}{2} - 1) * 0.3 + 0.8 \quad (3-4)$$

最后灰度化表达式为：

$$gray = [0.299, 0.587, 0.114] \cdot [Gauss_r(x, y), Gauss_g(x, y), Gauss_b(x, y)]^T \quad (3-5)$$

其中 $Gauss_r(x, y), Gauss_g(x, y), Gauss_b(x, y)$ 代表图像在 (x, y) 处对应 (r, g, b) 通道高斯平滑后灰度值。文献[39]指出采用公式(3-2)时 σ 值在采用 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7$ 窗口时比其他核具有更优的性能，因此对平滑窗口值分别采用 $N = 3, 5, 7$ 对各通道进行平滑实验，达到去噪目的。最后将各通道图像利用公式(3-5)进行灰度化。

3.1.3 线性灰度映射算法

线性映射灰度算法是指调整 (r, g, b) 通道在灰度化过程中的权重，设 (r, g, b) 分量各自的权重为 (c_1, c_2, c_3) ，可得线性灰度化公式

$$gray = [c_1, c_2, c_3] \cdot [r, g, b]^T \quad (3-6)$$

其中系数 $(c_1, c_2, c_3) \geq 0$ 且 $c_1 + c_2 + c_3 = 1$ 。前面的分析指出传统灰度化方法不能满足红外图像的识别要求，因此需要调整 (c_1, c_2, c_3) 的系数，使灰度化效果最优，达到较好的去噪效果。

3.1.4 实验及结果分析

本章从图像去噪效果和时间效率上分别对两个策略进行分析对比，求取最优灰度化方案。

(1) 从图像去噪效果上讲，为了衡量红外图像灰度化去噪效果，本章采用归一化均方误差(NMSE)和图像信噪比(SNR)来衡量图像灰度化去噪的质量^[32]：

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L [f(i, j) - g(i, j)]^2}{\sum_{i=1}^L f(i, j)^2} \quad (3-7)$$

$$SNR = 10 * \lg \frac{\sum_{i=1}^L f(i, j)^2}{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L [f(i, j) - g(i, j)]^2} \quad (3-8)$$

设图像长宽为 L ，其中 $f(i, j)$ 是原图像， $g(i, j)$ 为采用两种灰度化策略后的灰度图像。通常情况下， SNR 越高，归一化均方误差 $NMSE$ 越低，表明去噪效果越好。

对高斯加权平滑算法，采用窗口大小 N 为 3, 5, 7 进行实验，从表 3-1 可知，在不同窗口大小下去噪效果几乎相同。因此图像处理效果以 $N=3$ 为代表，如图 3-3 所示。

对于线性映射灰度算法，通过不断调整 (c_1, c_2, c_3) 的值来得到不同的灰度化图像，对每个参数在 $[0,1]$ 区间并且满足 $c_1 + c_2 + c_3 = 1$ 的条件下，以 0.1 为步长逐步得到若干灰度图像，对每幅图像然后采用公式(3-7)(3-8)两种客观评价指标计算 SNR 和 $NMSE$ 来求取最优系数值。实验样本采用尺寸为 $540*540$ 像素的红外图像进行实验，实验表明当 $c_1 = c_3 = 0, c_2 = 1$ 时即采用 B 通道图像作为灰度图时取得最优的去噪效果。不同系数组成的灰度图像的去噪指数如表 3-1 所示，表中横向表示采用的不同系数权重的灰度公式，选取 RGB 三个通道的图像及公式(3-1)的灰度图作为线性映射灰度算法代表。对应图像处理效果如图 3-2(A)(C)(E)以及图 3-3 所示，纵向分别为灰度处理后其图像归一化均方误差和图像信噪比的值以及图像处理时间。分析表 3-1 中数据可知，采用 B 通道作为灰度图取得的信噪比 SNR 高于传统灰度方法所得，归一化均方误差 $NMSE$ 低于传统灰度方法所得，图像去噪效果更好。与高斯加权平滑相比，采用 B 通道图像作为灰度图时，去噪指数相差不大。



图 3-3 高斯 ($N=3$) 去噪效果图

(2) 从算法时间效率上对比, 采用 540*540 像素的图像在 CPU 为 1.60GHZ, 内存 1G, 操作系统为 Windows XP 计算机平台上进行实验, 其运行时间如表 3-1 所示。从表中可以看出, 对于高斯加权灰度算法, 窗口值 N 越高, 其运算时间越大。线性映射灰度算法时间明显少于图像平滑灰度算法。采用 B 通道图像作为灰度图时算法时间耗费仅为图像平滑灰度算法的 0.06 倍。

表 3-1 灰度算法不同系数及高斯去噪效果指数比较

分类 指标	高斯平滑 ($N=3$)	高斯平滑 ($N=5$)	高斯平滑 ($N=7$)	R ($c_1=1,$ $c_2=0,$ $c_3=0$)	B (最优) ($c_1=0,$ $c_2=1,$ $c_3=0$)	G ($c_1=0,$ $c_2=0,$ $c_3=1$)	灰度公式 ($c_1=0.299,$ $c_2=0.587,$ $c_3=0.114$)
SNR	9.96	9.96	10.0	4.40	9.98	0.84	7.47
NMSE	0.10	0.10	0.998	0.36	0.10	0.82	0.18
运算时间 (us)	26804	34290	54667	1560	1560	1560	3990

综上, 本章从去噪效果和时间效率分别分析了灰度化方案 (1) 和方案 (2), 并求取了方案 (2) 线性映射灰度算法的最优系数。实验表明, 红外 QR 码图像采用 B 通道图像作为灰度图时会取得较好的去噪效果, 并且时间效率较高。

3.2 基于高斯加权算法的自适应二值化研究

红外光照下采集的 QR 码图像二值化的目的是为了减少图像存储空间和凸显出感兴趣的目标的轮廓, 加快后续图像处理速度。

3.2.1 图像二值化定义及分类

灰度化图像是一个多值图像, 把多值灰度图像转化成只有黑 (前景部分) 和白 (背景部分) 分布的二值图像的工作即图像二值化处理^[4]。图像二值化的目的是使图像变得简单, 数据量减小, 加快图像处理速度; 并且能有效的凸显出感兴趣的目标的轮廓、位置和大小, 从而为进一步的图像分析奠定基础。另外, 由于 QR 码本身就是一个二值图像, 因此对其的处理与分析, 需要把灰度图像二值化。

设 (x, y) 是灰度图像中某一像素的空间坐标, G 表示灰度的正整数集合, 且 $G = \{0, 1, \dots, 255\}$, (x, y) 处像素灰度值表示为 $g(x, y)$ 。将某灰度值为 $T (T \in G)$ 作为阈值, 利用其将原始图像的像素划分为两个部分: 大于阈值 T 的像素集合 M_1 和小于阈值 T 的像素集合 M_2 , 具体二值化表示为:

$$b(x, y) = \begin{cases} 1 & g(x, y) \geq T \\ 0 & g(x, y) < T \end{cases} \quad (3-9)$$

其中, $b(x, y)$ 是二值化后的像素值。灰度图像的阈值分割首先确定一个处于图像灰度取值范围之中的灰度阈值, 然后将图像中各像素的灰度值与这个阈值相比较。像素灰度值大于等于阈值 T , 则划分入 M_1 集合中, 在公式(3-9)中以 1 表示, 表示 M_1 集合二值化为白色; 像素灰度值小于阈值 T , 则划分入 M_2 集合中, 公式(3-9)中以 0 表示, 表示 M_2 集合二值化为黑色。这两类像素一般分属图像中的两类区域, 即前景色和背景色, 所以对像素根据阈值进行分类, 从而将目标从背景中分割出来。如果要把图像中各种灰度的像素分成多个不同的类, 那么需要选择一系列阈值以将每个像素分配到合适的类别。如果只用一个阈值分割称为单阈值分割法, 如果用多个阈值分割称为多阈值分割法^[38]。其中单阈值法是在整幅图像范围进行二值化, 又称为全局阈值算法, 多阈值分割方法需要将一幅图像分割为若干个窗口, 因此又称为局部阈值算法^[38]。

3.2.2 二值化算法

(1) OTSU 算法

全局阈值算法包含很多二值化算法, 如双峰直方图算法, 最大类间方差法 (OTSU 算法), 迭代阈值法等, 在多达 20 种全局阈值法中, OTSU 算法公认为是最有效的^[13]。因此本章以 OTSU 算法为全局阈值法代表来对红外图像进行二值化。

最大类间方差法的算法是将直方图在某一灰度值处分割成两组, 一组对应于背景部分, 一组对应于前景部分 (QR 码符号部分), 当被分成的两组的组内方差最小, 组间方差最大时, 此时的值即为阈值。图像灰度级别为 255, 设图像灰度值 $i(0 \leq i \leq 255)$ 在图像中的出

现的概率为 P_i , 即存在 $\sum_{i=0}^{255} P_i = 1$, 设全局阈值灰度为 t , 将图像分割成两类, 背景类

$A = [0, 1, \dots, t)$ 和前景类 $B = [t + 1, t + 2, \dots, 255]$ 。两类出现的概率分别为 P_A, P_B , AB 两类的灰度均值分别为^[33]:

$$\omega_A = \sum_{i=0}^t i * P_i / P_A, \omega_B = \sum_{i=t}^{255} i * P_i / P_B \quad (3-10)$$

图像总的灰度均值为:

$$\omega_0 = P_A * \omega_A + P_B * \omega_B = \sum_{i=0}^{255} i * P_i \quad (3-11)$$

由此可得 AB 区域的类间方差为:

$$\sigma^2 = P_A * (\omega_A - \omega_0)^2 + P_B * (\omega_B - \omega_0)^2 \quad (3-12)$$

将 t 从 0-255 进行遍历, 当公式(3-12)中 σ 取得最大值时 t 的值即为最佳阈值。这种方法适用于直方图中具有两个波峰的情况下, 并且在波谷处取得最优值。

(2) 高斯自适应加权阈值算法

局部阈值算法包含很多二值化算法, 如高斯自适应加权阈值算法, Niblack 算法, 加权平均自适应阈值算法等。从前面的分析知高斯函数更能保持 QR 码的线性特征, 本章采用

高斯自适应加权阈值算法对红外图像进行二值化。

设 (x, y) 为图像某处坐标, 以其为中心选定长宽为 N 的窗口, 因此 N 为大于 1 的奇数。 $g(x, y)$ 为在 (x, y) 处的灰度值, 设 (i, j) 是在窗口范围内的某坐标, (u, v) 是 (i, j) 与中心点 (x, y) 的向量距离, σ 是二维高斯函数的卷积核, c 为校正常量参数, 坐标 (x, y) 处的阈值 $T(x, y)$ ^[39] 为:

$$T(x, y) = \sum_{u=-N/2}^{N/2} \sum_{v=-N/2}^{N/2} (G(u, v) * g(x+u, y+v)) - c \quad (N = 2k+1, k = 1, 2, 3, \dots) \quad (3-13)$$

其中, 二维空间高斯函数为 $G(u, v)$ 及其高斯卷积核 σ 的值如公式(3-3)和公式(3-4)所示。由红外图像特性可知, 图像 QR 码信息部分为亮色, 灰度值大, 背景部分为暗色, 灰度值小。因此需要在二值化过程进行反转, 针对红外图像在 (x, y) 处的二值化公式为:

$$b(x, y) = \begin{cases} 0 & g(x, y) \geq T \\ 1 & g(x, y) < T \end{cases} \quad (3-14)$$

由公式(3-13)可知, 阈值公式的核心是高斯卷积函数, 此算法的实质是利用高斯函数在图像坐标 (x, y) 在邻域窗口范围内计算加权平均灰度值来作为该点的二值化阈值, 而窗口范围内像素点 (i, j) 的权值是随着该点与中心点 (x, y) 的距离单调递减的, 因此算法保留图像的局部特征, 有效地解决了亮度不均匀图像的二值化问题。由公式(3-4)知, 随着 N 值的减小, σ 变小, 高斯函数的频带就越窄, 图像边缘特征越明显, 表现为 QR 码图像缺失; 反之, 频带越宽, 则 (x, y) 处信息特征越不明显, 表现为 QR 码信息发生污损。因此, 需要确定合适的窗口 N 值, 使其二值化后 QR 码图像在不发生缺损的基础上噪声信息最少, 这是局部阈值法的难点。

3.2.3 窗口折半查找策略

对于高斯自适应加权阈值算法, 难点在于公式(3-11)局部窗口值 N 和 c 值大小的确定。本章提出以下算法。

(1) N 值的确定

由前面分析可知, N 值越小, 二值化 QR 码图像越缺损; 反之, 二值化图像越模糊, 噪声信息越严重。为了确定最优 N 值, 以二值化后的 QR 码图像是否发生污损或 QR 码数据是否缺失作为二值化效果判断标准, 并提出以下窗口值折半查找策略来确定合适的窗口值。

$$\textcircled{1} \text{ 设图像长宽为 } L, \text{ 初始化局部窗口值 } L_0 = \begin{cases} L & L = 2K+1, k = 1, 2, 3, \dots \\ L-1 & L = 2k, k = 1, 2, 3, \dots \end{cases}, \text{ 以后逐步}$$

降低窗口值, 设第 $i(i \geq 0)$ 次二值化采取的窗口大小为 L_i , 此时二值化 QR 码图像无缺损, 下次采取窗口大小为 L_{i+1} , 且

$$L_{i+1} = \begin{cases} L_i / 2 & L_i = 4K + 2, k = 1, 2, 3, \dots \\ L_i / 2 - 1 & L_i = 4k, k = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (3-15)$$

直至二值化图像中 QR 码产生缺损为止。

②若二值化图像出现缺损时，说明窗口值需增大，则下一步二值化窗口大小为

$$L_{i+2} = \begin{cases} (L_i + L_{i+1}) / 2 & L_i + L_{i+1} = 4K + 2, k = 1, 2, 3, \dots \\ (L_i + L_{i+1}) / 2 - 1 & L_i + L_{i+1} = 4k, k = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (3-16)$$

③若窗口为 L_{i+2} 时二值化图像出现缺损，则下一次二值化窗口大小为

$$L_{i+3} = \begin{cases} (L_i + L_{i+2}) / 2 & L_i + L_{i+2} = 4K + 2, k = 1, 2, 3, \dots \\ (L_i + L_{i+2}) / 2 - 1 & L_i + L_{i+2} = 4k, k = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (3-17)$$

否则，

$$L_{i+3} = \begin{cases} (L_{i+1} + L_{i+2}) / 2 & L_{i+1} + L_{i+2} = 4K + 2, k = 1, 2, 3, \dots \\ (L_{i+1} + L_{i+2}) / 2 - 1 & L_{i+1} + L_{i+2} = 4k, k = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (3-18)$$

④重复③，最终窗口值会收敛至某一奇数 L_M ($3 \leq L_M \leq L, M \geq 0$)， L_M 即为高斯自适应阈值算法的最优窗口值，即 $N = L_M$ 。

(2) c 值的确定

为防止高斯卷积求出的阈值发生偏差而引入校正参数 c 。由公式(3-11)可知，如果 c 取正值，则图像阈值 $T(x,y)$ 变小，因此图像的边缘区域经过高斯平滑后被二值化为 0，表现为边缘延伸，此时图像 QR 码的边缘为外边缘，即所有边缘上的点都处于 QR 码外部；如果取的是负值，图像中黑色区域将减小，二值化图像中 QR 码边缘就是内边缘。为了保证 QR 码信息的完整性， c 在此取正值。

3.2.4 实验结果及其分析

对于全局阈值法，本章利用 OTSU 算法对普通光照下采集的 QR 码图像和红外光照下采集的隐形 QR 码图像进行二值化实验。处理效果如图 3-4 所示，其中图 3-4(A)是对图像 3-1(A)的二值化效果，图 3-4(B)是对图 3-2(C)的二值化效果。从图中可知，OTSU 算法对于普通光照下采集的 QR 码能取得非常好的二值化效果，而对红外图像的二值化效果非常差，主要表现在红外图像的二值化图像左上部分边缘信息的缺失。以下从灰度直方图角度分析其原因。

灰度直方图是数字图像处理中的一种十分重要的图像分析工具，它描述了一幅图像的灰度级内容^[36]。灰度直方图是图像各灰度值统计特性与图像灰度值之间的函数，描述的是图像中各个灰度级出现的次数或者概率。从图形上讲，其横坐标是图像中各个像素点的灰度级，纵坐标是具有该灰度级的像素个数或出现这个灰度级的频率。图 3-4(C)是 3-1(A)的灰度直方图，图 3-4(D)是图 3-2(C)的灰度直方图。从图中可以看出，图 3-4(C)具有两个明显的双峰，说明图像前景和背景分离清楚，其 OTSU 算法得出的阈值为 96，位于双峰之间

的波谷。验证了 OTSU 对普通光照下图像二值化的有效性。

图 3-4(D)只有一个明显的单峰值在灰度值 0 附近, 其他部分灰度分布均匀, 说明图像模糊或者明暗不均。其 OTSU 算法得出的阈值为 48, 从灰度直方图看出, 该值并不能图像前后背景分离。由图 3-3(C)可知, 图像在左上角部分灰度值明显偏暗, 因此在二值化时该位置有些 QR 信息划入图像背景中, 导致二值化图像左上部分边缘信息的缺失。

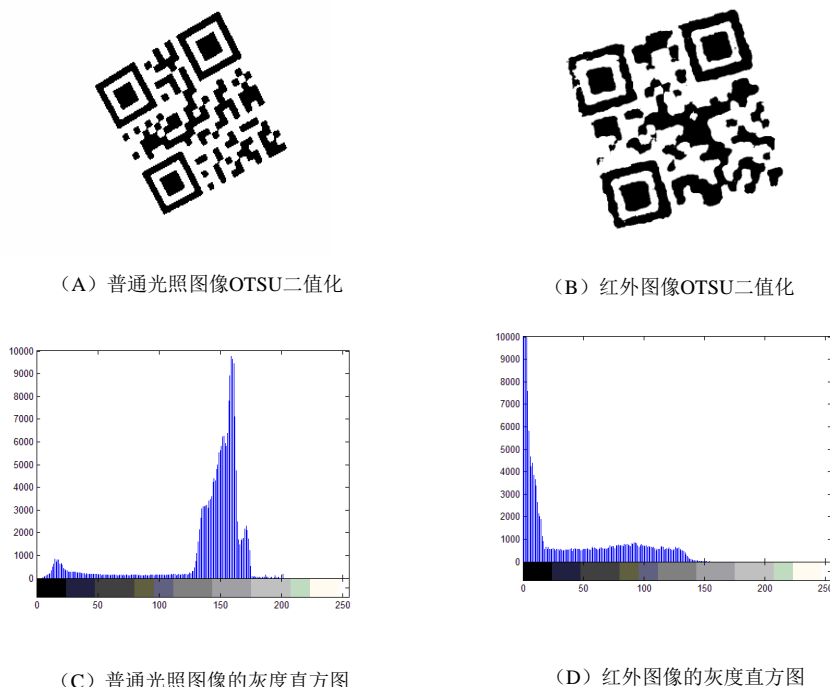


图 3-4 全局阈值法及灰度图的灰度直方图

全局阈值算法不能满足红外图像的二值化要求, 因此红外图像二值化的另一个目的是二值化时尽可能的保证图像 QR 码信息的完整性, 本章采用局部阈值法来达到这个目的。

本章利用窗口值折半查找策略对不同窗口值的局部二值化算法进行实验, 求取最优二值化结果。其运算参数如表 3-2 所示, 其横向为高斯自适应算法采取的不同的窗口值, 纵向为运算时间、是否为最优窗口值和 c 参数的值, 其对应不同窗口值所得二值化效果如图 3-5 所示, 从图中也可以看出, 噪声信息及图像运算时间随着图像窗口值的增大而增多, 但是当窗口值太小时, 二值化图像中的 QR 码信息发生缺损, 呈现出边缘提取的效果, 影响识别。经过实验验证, 当窗口值 $N = 3L/16$, $c = 7$ 时, 二值化图像效果最优, 如表 3-2 所示。实验样本图像采取大小为 540×540 像素, 其最优窗口值为 101 像素, 校正常量参数为 7。实验验证了窗口值折半查找策略的有效性。

表 3-2 各算法最优时各项参数及运行时间

分类 参数	高斯自适应阈值窗口值					
	L	L/2	L/4	3L/16	L/8	L/16
运算时间(ms)	1000	516	265	203	125	78
是否最优窗口	否	否	否	是	否	否
参数c	5	7	7	7	7	7



(A)高斯(L)



(B)高斯(L/2)



(C) 高斯(L/4)



(D) 高斯(3L/16)



(E) 高斯(L/8)



(F) 高斯(L/16)

图 3-5 高斯法不同窗口二值化效果对比

3.3 本章小结

本章主要研究了红外隐形 QR 码图像预处理：灰度化和二值化。

本章首先分析了传统灰度化公式对于红外 QR 码图像的不适用性，然后提出了两个策略：采用线性灰度映射算法和图像平滑灰度算法。对两个算法进行了实现，从图像去噪效果和时间效率上进行了对比，实验表明采用线性灰度映射算法，当 $c_1 = c_3 = 0, c_2 = 1$ 时即采用 B 通道图像作为灰度图时取得最理想的灰度化效果。

其次研究了图像二值化算法，对全局阈值法和局部阈值法进行了实验与分析，指出了全局阈值法对红外 QR 码图像的不适用性，利用窗口值折半查找策略求出了高斯自适应阈值法的最优二值化窗口值，实验表明当 $N = 3L/16, c = 7$ 时高斯自适应加权阈值算法取得最理想的二值化效果。

第四章 基于轮廓跟踪的定位与倾斜校正算法

当获取二值化图像后，需要对 QR 码图像符号进行定位。符号的定位是指利用 QR 码的图像特征如轮廓、QR 符号比例等寻找到 QR 码在图像中的位置坐标。符号的定位的目的首先是确定图像的偏转角度，方便图像校正，其次是依据 QR 码符号的局部特征如位置探测图形比例来确定 QR 码符号的版本号，为下一步的归一化建立采样网格打下基础。因此 QR 码定位在译码算法中有着至关重要的作用。

4.1 基于符号特征的 QR 码定位与校正

在普通光照下，主要是利用 QR 码位置探测图形特征进行定位。对 QR 码定位后还要根据其图像特征进行旋转角度的确定和版本号确定。

4.1.1 QR 码定位、旋转角度与版本号确定

由于 QR 码中包含 3 个大小和形状相同的位置探测图形 A、B、C，如图 4-1 所示。位置探测图形由 3 个重叠的同心正方形组成，其深浅模块宽度比例为 1:1:3:1:1^[13]。每一模块宽度的允许偏差为 0.5。根据 QR 码图像的大小和旋转具有不变性的特点，因此通过查找满足近似比例 1:1:3:1:1 的区域来迅速确定探测图形的位置^[13]。当查找到满足要求的位置探测图形大于 3 个时，此时根据位置探测图形 A、B、C 之间构成近似等腰直角三角形，如图 4-1 所示，从而最终确定位置探测图形。通过这一步，可以获取 QR 码图像的中心位置及 ABC 的中心坐标。在实际应用中，如果当 QR 码图像周围没有噪音信息时，为加速图像处理速度，可采用逐行列扫描的方法来确定 QR 码图像的中心及其四个顶点的坐标。



图4-1 位置探测图形特征

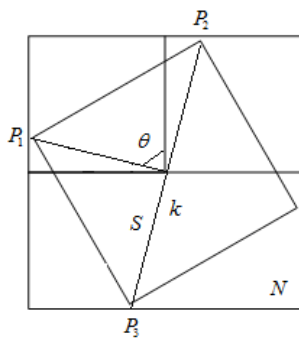


图4-2 旋转校正示意图

根据三个位置探测图形的位置特定给出以下旋转角度确定算法。

(1) 当 QR 中心坐标及特征点坐标确定后，需要确定旋转角度。如图 4-2 所示，其中 S 正方形区域为原 QR 码符号，N 正方形为原图像区域。 P_1, P_2, P_3 为三个特征点（探测图形

中心或者 QR 码顶点), 假设旋转角度为 θ 。求取 P_1, P_2, P_3 三点间的距离, 找出最长的那条直线, 假设为 P_2P_3 。

(2) 求出 P_2P_3 的斜率

$$k = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \quad (4-1)$$

(3) 如果 $-1 < k < 1$, 表示需要顺时针旋转, 此时

$$\theta = \arctan \frac{k-1}{k+1} \quad (4-2)$$

反之, 表示需要逆时针旋转, 此时

$$\theta = -\arctan \frac{k-1}{k+1} \quad (4-3)$$

QR 码符号共有 40 个版本号, 从版本 1 的 21 模块 \times 21 模块, 直到版本 40 的 177 模块 \times 177 模块, 不同的版本包含不同的信息量。因此版本号的确是为了下一步归一化的栅格划分做基础。由于位置探测图形的长宽一直占 7 个模块, 并不随版本号而变化。由定位算法可得位置探测图形长度, 进而可求出模块长度, 根据位置探测图形间的距离可求出该图像的模块数, 通过查找国家标准中的 QR 码各版本符号的数据容量表可以确定其版本号。

4.1.2 图像旋转算法

在图像旋转过程中需要利用到仿射变换。仿射变换是在几何上定义为两个向量空间之间的线性变换, 仿射最重要的性质是保持点的共线性(或共面性)以及保持直线的平行性, 其应用包括平移, 缩放, 反转, 旋转等。变换公式如下所示。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{00}x + m_{01}y + m_{02} \\ m_{10}x + m_{11}y + m_{12} \end{bmatrix} \quad (4-4)$$

上式中, 矩阵 $M = \begin{bmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} \end{bmatrix}$ 是映射矩阵, 设旋转校正前图像的宽高为 W 和

H , 对于图像旋转的映射矩阵 M 为:

$$M = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0.5 * W \\ \sin \theta & \cos \theta & 0.5 * H \end{bmatrix} \quad (4-5)$$

在图像的旋转过程中, 由于原始图像的像素坐标为整数坐标, 从公式(4-5)可知, 矩阵运算为浮点运算, 变换后的目标图像的坐标位置为浮点坐标。所以对于图像的旋转处理, 除了要进行几何运算, 还需要对目标图像的坐标进行插值处理。

图像插值运算中常用的插值方法有最近邻算法、双线性插值法和双三次插值法^[40,41]。设旋转运算后的坐标 (x', y') 存在以下关系:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + u \\ y + v \end{bmatrix} \quad (4-6)$$

其中 (x, y) 是 (x', y') 的整数部分, (u, v) 是 (x', y') 的小数部分, 即 $u, v \in [0, 1]$ 。

最近邻法比较简单, 通过计算旋转后的坐标 (x', y') 周围的 4 个坐标点, 将与 (x', y') 最近的整数坐标的灰度值作为 (x', y') 的灰度值^[40,41], 即

$$f(x', y') = f(x, y) \quad (4-7)$$

对于双线性插值法, (x', y') 处的灰度值可由原图中四个坐标点 $(x, y), (x+1, y), (x, y+1), (x+1, y+1)$ 所对应的灰度值确定, 设 $f(x, y)$ 代表原图像 (x, y) 处的像素值, 则坐标 (x', y') 的灰度值为:

$$f(x', y') = (1-u)(1-v) * f(x, y) + (1-u)v * f(x, y+1) + u(1-v) * f(x+1, y) + uv * f(x+1, y+1) \quad (4-8)$$

双三次插值法考虑到浮点坐标 (x', y') 的四邻域对它的影响, 而双三次插值法则考虑到该点周围 16 个邻点对它的影响^[40,41]。坐标 (x', y') 的灰度值计算如下:

$$f(x', y') = ABC \quad (4-9)$$

其中 A, B, C 均为矩阵。

$$A = [S(u-1) \ S(u) \ S(u+1) \ S(u+2)] \quad (4-10)$$

$$B = \begin{bmatrix} f(x-1, y-1) & f(x, y-1) & f(x+1, y-1) & f(x+2, y-1) \\ f(x-1, y) & f(x, y) & f(x+1, y) & f(x+2, y) \\ f(x-1, y+1) & f(x, y+1) & f(x+1, y+1) & f(x+2, y+1) \\ f(x-1, y+2) & f(x, y+2) & f(x+1, y+2) & f(x+2, y+2) \end{bmatrix} \quad (4-11)$$

$$C = [S(v+1) \ S(v) \ S(v-1) \ S(v-2)]^T \quad (4-6)$$

其中 S 是插值基函数, $S(x) = \sin(\pi x)/\pi x$ 可以近似的表示为多项式:

$$S(x) = \begin{cases} 1 - 2/x^2 + 1/x^3, (0 \leq x < 1) \\ 4 - 8/x + 5/x^2 - 1/x^3, (1 \leq x < 2) \\ 0, x \geq 2 \end{cases} \quad (4-12)$$

由公式(4-7) ~ (4-12)可以分析插值算法的性能^[40,41]。最近邻法运算简单, 其处理时间最短, 实时性好, 但目标图像质量较低, 在旋转的图像上面尤其是在边缘部分会产生锯齿状的边界。因此该算法适用于要求旋转实时性较高, 但对图像质量要求不高的应用。双三次插值法计算精度最高, 因此目标图像质量最优, 不会出现锯齿, 但是相对于双线性插值法需要处理浮点坐标周围的 4 个直接邻点, 双三次插值法需要处理该点周围 16 个邻点, 故三线性插值法计算量很大^[40,41]。双线性插值法得到的图像质量高, 纹理较清晰, 处理时间在两者之间。采用 5 幅 400*400 的普通光照下的 QR 码图像进行实验, 实验结果如图 4-3 所示。其对应的平均处理时间如表 4-1 所示。考虑到 QR 码识别对精度和时间都有一定要求, 所以图像旋转采用双线性插值法。



图4-3 三种插值算法效果比较

表4-1 三种插值算法运行时间比较

插值算法	最近邻法	双线性插值法	双三次插值法
运行时间			
平均处理时间(s)	0.286	0.364	0.589

4.1.3 图像几何校正

在普通光照下采集的图像由于拍摄角度等问题后会产生图像几何失真，主要表现为图像拉伸，扭曲等。几何失真会给 QR 码的识别带来很大误差，降低识别率。如图 4-3 所示，图像在旋转校正后其图像并不正则，因此需要进行几何校正。一般情况下，QR 码图像的失真为线性失真。因此，可以利用 QR 码为正方形的特性来校正。失真校正算法如下：

(1) 获取 QR 码图像的四个顶点：由于旋转过程已经将外部噪声信息排除，所以可以采用逐行逐列扫描的方式对 QR 码图像进行扫描，从条码区域的 8 个方向上利用直线对其进行行列扫描，当扫描直线与条码的黑色模块有两个以上的交点则停止扫描。8 个方向的扫描全部结束后，算法至少可以获得 16 个点的位置坐标；同时出现在两个方向上出现的点即为顶点。以上步骤完成后，会获得 3 个或 3 个以上的顶点，如图 4-4 所示， P_1, P_2, P_3 即为最终点。又因其中的 3 个顶点分别离各自的位置探测图形的中心点位置坐标最近，以此为判断条件即可得到 3 个顶点^[13]。

(2) 对第四顶点位置坐标的确定：文献[13]提出利用挖空算法，得到边缘信息，采用过已知点的 Hough 变换检测条码第 4 个顶点。本章提出一种新的检测算法。首先根据已知的 3 个顶点的位置关系，确定出第 4 个顶点位于条码的方位（左上、左下、右上、右下）。由此获得第 4 个顶点相邻的两条线所在的位置，沿着探测图形的中心点坐标进行扫描，当直线与条码的黑色模块有交点则停止，如图 4-4 所示， a, b 即为得到的交点。可得到这两条边界直线（ P_3b 和 P_2a ）的斜率 k_1, k_2 ，从而利用两条直线相交得到第 4 个顶点 P_4 。

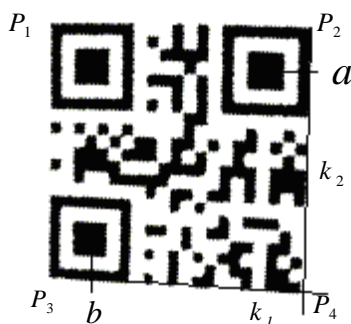


图4-4 确定第四点

(3) 如图 4-5(A)所示, P_1, P_2, P_3, P_4 为无失真 QR 码图像的四个顶点, P'_1, P'_2, P'_3, P'_4 为实际 QR 码图像的四个顶点。用 $f(x, y)$ 表示校正后图像在 (x, y) 处的灰度值, $f(x', y')$ 表示未校正图像在 (x', y') 处的灰度值。设 $P_i (1 \leq i \leq 4)$ 处的坐标为 (x_i, y_i) , $P'_i (1 \leq i \leq 4)$ 处的坐标为 (x'_i, y'_i) ,

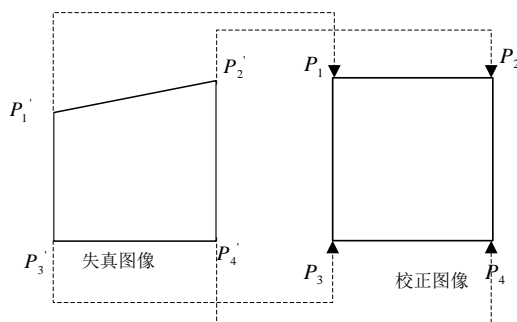
则存在如公式(4-13)的关系:

$$\begin{cases} x_i = ax'_i + by'_i + cx'_i y'_i + d, (1 \leq i \leq 4) \\ y_i = mx'_i + ny'_i + px'_i y'_i + q, (1 \leq i \leq 4) \end{cases} \quad (4-13)$$

通过雅克比迭代法可解出方程组中 a, b, c, d, m, n, p, q 这 8 个参数的值。从而实现由一般四边形到正方形的校正变换。

(4) 当 QR 码图像中几何变形后的点 (x', y') 经过双线性变换校正变为点 (x, y) 后, 可以采用双线性插值法确定灰度值 $f(x, y)$ 。利用公式(4-8)可求得点 (x, y) 处的灰度值 $f(x, y)$ 。

利用上面的算法, 对图 4-3(C)进行处理, 得到最终的校正的效果如图 4-5(B)所示。



(A)控制点变换原理



(B)几何校正图像

图4-5 图像几何校正

4.1.4 红外 QR 码图像符号特征分析

普通光照下采集的 QR 码图像可以利用位置探测图形的特征进行定位，而红外光照下的图像由于 QR 图像边缘存在干扰噪声和部分缺失，红外图像位置探测图形其深浅模块宽度比例不满足 1:1:3:1:1 的特征，因此无法利用基于符号特征的 QR 码定位算法。本章从 QR 码的轮廓特性进行研究，提出基于轮廓跟踪和多边形逼近的 QR 码定位算法。

从图 3-5(D)可以看出，二值化后的 QR 码符号其外部边缘部分呈现不连续的特性，另外 QR 码图像内部信息复杂，具有多个闭合边界的目标。因此直接利用轮廓跟踪算法并不可行，需要连接 QR 码符号外部边缘和消除 QR 码图像内部细节，减少图像的处理时间。在图像倾斜校正部分，普通光照图像利用的是基于位置探测图形的位置特征进行倾斜处理，本章提出从逼近多边形特征上进行倾斜校正。另外红外图像线性几何失真非常轻微，因此可以忽略。

4.2 相关知识

4.2.1 数学形态学

数学形态学 (Mathematical morphology) 是一门建立在格论和拓扑学基础之上的图像分析学科，它是数学形态学图像处理的基本理论。其基本的运算包括：二值图像腐蚀和膨胀、开闭运算、骨架抽取和极限腐蚀等^[33]。

图像腐蚀^[33]是指将一些图像或图像的区域 A 和核 B 进行卷积。核是一种结构元素。多数情况下，核是一个小的中间带有参考点的实心正方形或圆盘。B 对图像 A 的腐蚀表达式为：

$$A \ominus B = \{x / B[x] \subseteq A\} \quad (4-14)$$

其中 x 是集合平移的向量， \ominus 是腐蚀运算的运算符。从上式可知，腐蚀的含义是当在目标图像中找到一个与核相同的子图像时，就把该子图像中与核原点位置对应的那个像素坐标进行标注，所有被标注像素的即为腐蚀运算结果。因此图像腐蚀的实质是求最小值操作，目的是使得图像亮的区域被隔离并且缩小，腐蚀常用来消除图像的斑点噪声和边界点，并且确保图像内较大区域依然存在。在红外 QR 码图像识别应用中，利用腐蚀来消减 QR 码内部的信息。

图像膨胀^[33]是图像腐蚀的相反操作过程，设 A 为目标图像，B 为核，则目标图像 A 被核 B 膨胀的表达式为：

$$A \oplus B = \{x / (B^V[x] \cap A \neq \emptyset)\} \quad (4-15)$$

其中 \oplus 是膨胀运算的运算符。从上式可知，膨胀运算先对核 B 做关于原点的反射 B^V ，然后在目标图像 A 上将 B^V 平移 x 向量，则当 B^V 平移后与目标图像 A 至少有一个非零的像素相交时，目标图像上对应原点位置所组成的集合即为膨胀运算结果^[33]。膨胀目的是对

二值化边界点进行扩充，将与物体接触的所有背景点合并到该物体中，使边界向外部进行扩张的过程，如果物体之间距离比较近则膨胀运算会将两个物体联通到一起，主要用来填补物体空洞。在红外 QR 码图像中利用膨胀来连通 QR 码外部的边缘。

图像膨胀和图像腐蚀是形态学图像处理的两个基本运算，在此基础上还用到以下两个运算：开运算和闭运算^[33]。对一个图像先膨胀后腐蚀称为对图像的闭运算，对一个图像先腐蚀后膨胀的运算称为对图像的开运算。开运算能够消除孤立的噪点，毛刺和小的连通区域，去除小物体，平滑较大物体的边界，同时不明显改变其面积。而闭运算的功能是用来填充物体细小的空洞，连接邻近物体，平滑其边界，同时不明显改变其面积。

4.2.2 Canny 边缘检测

边缘是指在一幅图像的像素矩阵中，周围像素灰度发生如阶跃变化、屋顶变化或线性变化的像素集合，是图像最基本也是最重要的特征之一^[42,43]。边缘作为所要提取目标和背景的分界线能大大减少所要处理的信息但是又保留图像物体中的形状信息，这也是边缘提取的目的。边缘检测一般利用图像一阶导数的极值或者二阶导数的过零点信息来提取边缘。边缘检测方法有很多，可以归为三类^[44]：基于某种固定的局部运算方法如微分法、拟合法，代表 Prewitt 算子和 Sobel 算子，Canny 算子等；以能量最小化为准则的全局提取方法，从全局最优的观点提取边缘，如松弛法、神经网络法；以小波变换、数学形态学、分形理论等近年来发展起来的高新技术为代表的图像边缘提取方法。其中文献[4]利用小波变换进行边缘检测，但是其抗干扰能力较强，但是定位精度方面较差。

由于 Canny 算法对边缘的定位要准确，能有效地抑制噪声，对同一边缘要有低的响应次数，因此具有很好的边缘检测性能。Canny 算法通过寻找图像梯度的局部极大值，用高斯一阶微分来计算梯度。算法中通过双阈值来检测强边缘和弱边缘，当弱边缘与强边缘连接成轮廓边缘才输出。所以 Canny 算法不容易受噪声影响，能够在噪声和边缘检测间取得较好的平衡。Canny 边缘检测步骤如图 4-6 所示^[42,43]。



图 4-6 边缘检测步骤

(1) 用高斯滤波器平滑图像，相关公式与原理见 3.1.1 节。

(2) 使用一阶偏导的有限差分来计算梯度的幅值和方向。已平滑图像 $g(x,y)$ 的灰度可以使用 2×2 一阶有限差分近似式来计算 x 与 y 方向上的偏导数阵列 $f'_x(x,y)$ 和 $f'_y(x,y)$ ^[42,43]。

$$f'_x(x,y) \approx G_x = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(x,y) & f(x+1,y) \\ f(x,y+1) & f(x+1,y+1) \end{bmatrix} \quad (4-16)$$

$$f'_y(x, y) \approx G_y = \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(x, y) & f(x+1, y) \\ f(x, y+1) & f(x+1, y+1) \end{bmatrix} \quad (4-17)$$

求出偏导数后即可求出梯度的幅值 φ 和方向 θ ：

$$\varphi(x, y) = \sqrt{(G_x^2 + G_y^2)} \quad (4-18)$$

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x} \quad (4-19)$$

其中 φ 反映了图像的边缘强度， θ 反映了边缘方向^[42,43]。

(3) 对梯度幅值进行非极大值抑制。仅仅得到全局的梯度并不足以确定边缘，所以为确定边缘，必须保留局部梯度最大的点，而抑制非极大值。利用梯度角来解决这个问题。

将圆周离散为圆周的 4 个扇区，对应 3*3 邻域的 4 种可能性。对每个邻域的中心像素 $f(x, y)$ 与沿着梯度线的两个相邻灰度值相比。如果 M 的梯度值不比沿梯度线的两个相邻像素梯度值大，则令 $f(x, y)=0$ 。

(4) 用双阈值算法检测和连接边缘^[42,43]。

对非极大值抑制图像，选取两个阈值 $T1$ 和 $T2$ ， $T1: T2=1:2$ 到 $1:3$ 之间^[39]。把梯度值小于 $T1$ 的像素的灰度值设为 0，得到图像 A 。然后把梯度值小于 $T2$ 的像素的灰度值设为 0，得到图像 B 。由于图像 B 的阈值较高，去除大部分噪音，但同时也损失了有用的边缘信息。而图像 A 的阈值较低，保留了较多的信息，以图像 B 为基础，以图像 A 为补充来连结图像的边缘。具体步骤如下^[42,43]：

①对图像 B 进行扫描，当遇到一个非零灰度值 $f(x, y)$ 时，跟踪以 $f(x, y)$ 为开始点的轮廓线，直到轮廓线的终点 $q(x, y)$ 。

②考察图像 A 中与图像 B 中 $q(x, y)$ 点位置对应的点 $s(x, y)$ 的 8 邻近区域。如果在 $s(x, y)$ 点的 8 邻近区域中有非零像素存在，则将其包括到图像 B 中，作为 $r(x, y)$ 点。从 $r(x, y)$ 开始，重复①，直到我们在图像 A 和图像 B 中都无法继续为止。

③当完成对包含 $f(x, y)$ 的轮廓线的连结之后，将这条轮廓线标记为已经访问。回到第一步，寻找下一条轮廓线。

④重复步骤①，②，③，直到图像 2 中找不到新轮廓线为止。至此，完成 Canny 算子的边缘检测。

4.2.3 轮廓提取跟踪

轮廓提取的目的是获得图像的外部轮廓特征，这种特征对于图像形状分析、识别和理解等深层次处理有着十分重要的意义，图像的边缘可以用 Canny 算法得到。而轮廓跟踪是从边界一个点出发，根据某种探测原则搜索出目标物体轮廓上的点，直到回到起始边界位置，从而得到目标边界，利用 Freeman 链码^[33]来存储轮廓。

(1) Freeman 链码

在数字图像里，图像的轮廓实际上是一条折线。边界点(x,y)定义的相邻点在 8 连通区域有 8 个可能方向 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ ，为此定义 8 个方向链 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 分别表示着八个方向，如图 4-7 所示。从线段的端点或闭合曲线上某一点开始沿曲线遍历，一个像素点到其他邻点的线段用相应的方向链表示，于是一条曲线就由一串数码描述，这串数码称为链码的方向链，再加上一些标识符，即可构成 Freeman 链码。

Freeman 链码是一种非常重要的曲线描述方式，具有很强的数据压缩能力，方法简单并且节省空间。由 F 链可以求出曲线的导数、长度和闭区域的面积。

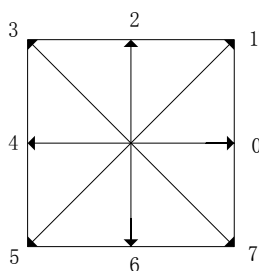


图 4-7 方向链定义

(2) 轮廓跟踪

轮廓跟踪^[33]是从一个起始点开始，按照四邻域或者八邻域的关系逐点跟踪轮廓，同时输出每一步的移动方向，搜索出目标物体轮廓上的其他像素点，直到回到起始边界为止，从而跟踪出目标边界。

对二值化后的红外图像，其背景是白色，目标为黑色，对于单一边界的跟踪过程如下：

①首先确定起始边界点，由于图像文件是按照从左到右，从下而上的顺序读取，因此从图像左下方顺序搜索到的第一个灰度值为 0 的像素作为起始边界点，并将其记录。

②由于一个像素点有 8 个跟踪方向，如图 4-7 所示。因此将起始点的跟踪方向设定为左上方 45° ，即 3 方向。然后判断该像素灰度值是否为 0：如果是 0，则利用 Freeman 链码保存原始点，将该点作为新的起始点，并在原来跟踪方向上逆时针旋转 90° （即 5 方向）作为新的跟踪方向；如果不是，则在原来跟踪方向上顺时针旋转 45° （即 2 方向），再判断此时像素灰度值是否为 0。

③从当前边界点开始，根据步骤 2 所述的跟踪原则进行边界跟踪，直到当前边界点回到起始边界点为止。

其跟踪过程如图 4-8(A)所示，最终输出的边界结果保存到 Freeman 链码中。此法具有一个比较明显的缺点，即当图像中存在毛刺时，会发生图像局部发生回路，导致错误的结果，如图 4-8(B)。而毛刺往往是在图像腐蚀过程中产生。因此在调用轮廓跟踪算法之前，需要对图像进行平滑处理操作。

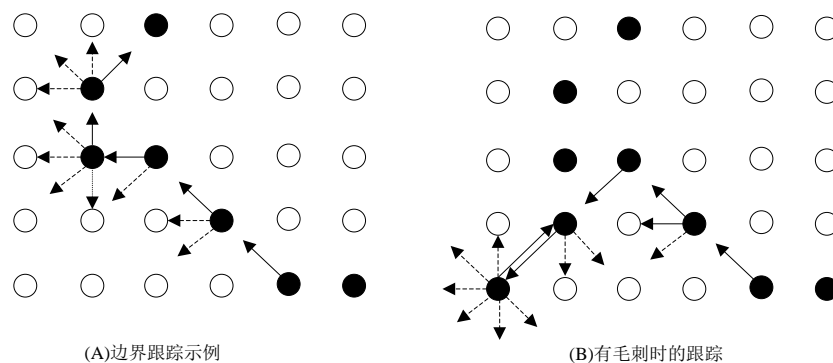


图 4-8 边界跟踪

由于 QR 码内部结构复杂，寻找出来的轮廓可能有很多个，干扰了 QR 码的定位。因此考虑从轮廓的边界特征进行干扰轮廓的排除。针对 QR 码图像，判断其是否为 QR 码外部轮廓最常用特征为轮廓的周长和面积。由于轮廓信息存放在 Freeman 链码中，因此可以利用 Freeman 链码特征进行求解。

轮廓的长度^[45]可以表示为

$$L = n_e + \sqrt{2} * n_o \quad (4-20)$$

其中 n_e 表示方向链中偶数码的个数， n_o 表示奇数码的个数。

设方向链为 $\{a_1 a_2 a_3 \cdots a_n\}$ ，定义方向码 a_i 在 X 轴上的分量为 a_{ix} ，在 Y 轴上的分量为 a_{iy} ，则 a_i 与 a_{ix}, a_{iy} 存在如表 4-2 的关系。

 表 4-2 a_i 与 a_{ix}, a_{iy} 的映射关系表

a_i	a_{ix}	a_{iy}
0	1	0
1	1	1
2	0	1
3	-1	1
4	-1	0
5	-1	-1
6	0	-1
7	1	-1

设 x_0 和 y_0 是起始坐标点，则链码所围成的区域面积^[45]为：

$$S = \sum_{i=1}^n a_{ix} (y_{i-1} + \frac{a_{iy}}{2}) \quad (4-21)$$

$$\text{其中 } y_i = \sum_{k=1}^i a_{ky} + y_0 \quad (4-22)$$

(3) 多边形逼近

数字边界边界可以用多边形以任意精度来近似。对于一条闭合边界，当多边形的边数等于边界上的点数时，这种近似会变得很精确，此时，每对相邻的点定义了多边形的一条边。多边形近似的目的是使用尽可能少的线段来获取给定边界的基本形状。在红外 QR 码中图像中，多边形逼近可以还原 QR 码图像特征，进而可以求出其倾斜角度，版本信息等。

多边形逼近算法有很多，如最小周长多边形(MPP)逼近算法^[33]，Douglas-Pucker(DP)逼近算法^[39]，聚合逼近算法等^[33]。其中 MPP 通过轮廓的凸凹顶点来近似多边形，因此能保留原始边界的所有主要特征并且可以平滑边界，但是时间复杂度相对较高。聚合技术是通过聚合边界直线的点，直到这些聚合点的直线的最小均方误差超过一定阈值为止来实现，但这种方法对于原始边界的形变如拐角对应较差。

DP 逼近算法是将线段不断地细分为两部分，直到满足规定的准则为止，即要求一条同一条边界线段到连接其两个端点的直线间的最大垂直距离不超过一个预定的阈值。如果满足准则，则与直线有着最大距离的点就成为一个顶点，初始线段也就分成了两个线段，这种方法在寻找变化显著的点时具有优势^[33]。变化明显的点如 QR 码的四个顶点，而要求将已知的 QR 的轮廓逼近为一个正方形，因此本章采用了时间效率较高并且最为合适的 DP 逼近算法。

其算法过程描述如图 4-9 所示。对于一条闭合边界，最好的起始点通常是边界上的两个最远点。图 4-9(A)显示了一个物体的轮廓。算法先从轮廓上找到线段距离最远的点 ab，如图 4-9(B)所示，其中双向箭头是离直线 ab 最远的距离，其一端指向直线 ab，另一端标记 c 点为轮廓上的点到直线 ab 的最远距离点，添加得到逼近后的新轮廓 m₁，如图 4-9(C)所示。同理，继续添加 d 点为轮廓上离 m₁ 的最远点，添加之后得到新轮廓 m₂，如图 4-9(D)所示。算法经过不断迭代，不断将最远的点添加到新的轮廓中。直到所有的点到多边形的最短距离小于一个指定的阈值 D 为止。

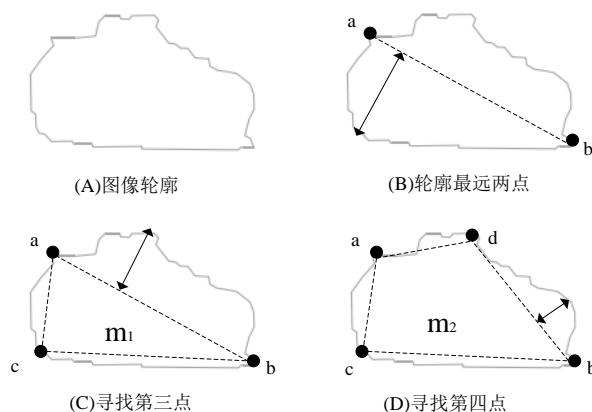


图 4-9 DP 逼近实现原理

DP 逼近算法的难点就是在于确定最远点。通过遍历我们在 Freeman 链码中保存的轮廓坐标虽然可以实现，但是时间耗费较大。由于多边形逼近算法需求的只是轮廓上的几个关键点。而寻找的关键点与曲线上的其他点相比，关键点包含的曲率比较大^[33]，即轮廓的角点。因此可以先检测出角点，然后再使用 DP 多边形逼近。轮廓角点检测方法有很多，如基于内角的轮廓角点检测^[46,47]，基于链码局部直方图的角点检测^[48]，基于曲率尺度空间(CSS)的角点检测^[49,50,51,52]，改进的多尺度角点检测方法^[53]等。其中基于内角的方法简单容易实现，算法时间较短，但是因为等步长取点，可能会漏掉一些关键点，适用于轮廓简单并且对检测精度要求不高的物体。而红外 QR 码其整体轮廓比较简单，要求只要能检测出其轮廓几个显著的角点即可，考虑到实时识别，因此对运算时间要求较高，采用 IPAN99 算法^[54]进行角点提取。

设沿轮廓上有 N 个有序采样点，这一系列的点以 $P_i (0 \leq i \leq N)$ 来表示。在某一处的采样点设为 p ，其前面的那个采样点设为 p^- ，后面的采样点设为 p^+ 。以序列 (p^-, p, p^+) 来表示。设 (p^-, p) 的向量为 \vec{a} ，设 (p, p^+) 的距离为 \vec{b} ，即 $|p - p^-| = |\vec{a}| = a$ ， $|p - p^+| = |\vec{b}| = b$ ， \vec{a} 与 \vec{b} 的夹角为 $\alpha \in [-\pi, \pi]$ 。如图 4-10(A)所示。

$$\text{则 } \alpha \text{ 的值为: } \alpha = \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

IPAN99 算法需要对轮廓采样点进行两次遍历运算，第一次遍历找出满足公式(4-23)所示条件的三角形：

$$\begin{cases} d_{\min} < a < d_{\max} \\ d_{\min} < b < d_{\max} \\ \alpha < \theta_{\max} \end{cases} \quad (4-23)$$

其中 d_{\min}, d_{\max} 为 IPAN99 算法允许的三角形边长最小值和最大值。 θ_{\max} 为 \vec{a} 与 \vec{b} 的夹角的最大值。

第二次遍历是在第一步取得若干三角形的基础上删除多余的三角形。因为轮廓选取的连续的几个三角形可能代表同一个凸特征。因此需要保留更尖锐的角度，即 α 值大的三角形保留。如图 4-10(B)所示， P_v 和 P 是满足条件的邻近点，其张角分别以 $\alpha(P_v)$ 和 $\alpha(P)$ 表示，如果 $\alpha(P_v) > \alpha(P)$ ，则 P_v 会被剔除。判断 P_v 和 P 是邻近点的条件一般是： $|P - P_v| < d_{\max}$ 。

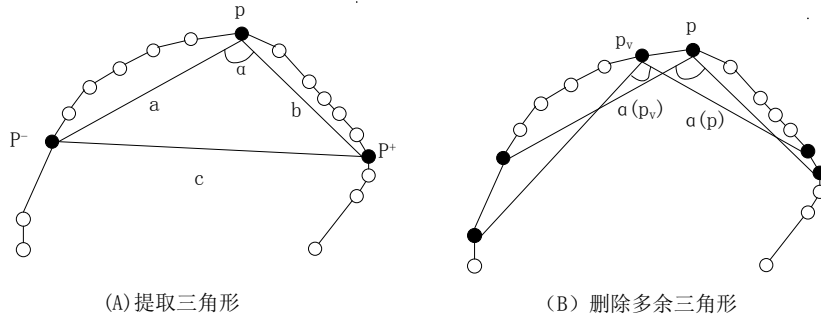


图 4-10 角点提取

4.3 红外图像 QR 码定位与倾斜校正

利用位置探测图形特征进行定位^[55,56,57,58]的方法并不适用于红外图像,因此提出了基于轮廓跟踪的定位算法进行定位,利用多边形逼近的算法进行倾斜角度确定和 QR 码版本号确定。

4.3.1 红外图像 QR 码定位

基于轮廓跟踪的定位算法其算法流程图如图 4-11 所示。

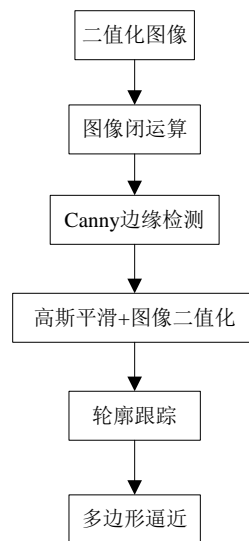


图 4-11 QR 码定位步骤

(1) 图像闭运算。由于 QR 码图像最外边界并不连续,无法跟踪 QR 码外部轮廓,而且 QR 码内部信息复杂,直接跟踪计算量庞大。因此图像闭运算的目的是连接 QR 码的外部边缘和消除内部细节信息。

(2) Canny 边缘检测。Canny 算法的目的是得到图像的边缘信息，为轮廓跟踪做准备。

(3) 高斯平滑滤波和二值化。高斯平滑滤波用来消除边缘信息的毛刺，提高轮廓跟踪的准确率。由于轮廓跟踪算法处理的是二值图像，需要对图像进行二值化。

(4) 轮廓跟踪。轮廓跟踪的目的是获取 QR 码内部和外部轮廓上的边界坐标。利用公式(4-20)和(4-21)的求取各轮廓的周长和面积。对 QR 码整体轮廓的周长和面积设定阈值，删除不满足条件的轮廓，考虑到红外 QR 码边缘部分存在噪声信息，保留面积最小的作为整体轮廓。

(5) 多边形逼近。多边形逼近的目的是取得整体轮廓的顶点坐标。得到图像轮廓坐标后，为减小计算量，利用 IPAN99 算法进行角点提取，然后用 Douglas-Peucker(DP)逼近算法进行多边形逼近。

本章采用图像长宽为 $L=540$ 像素的红外图像进行实验。算法各步骤采用的参数说明如下所示。

(1) 采用 3×3 的结构元素进行闭运算。为了尽可能填充物体细小的空洞，连接邻近边界模块，需要进行多次闭运算，实验表明，当闭运算次数为 8~9 次时能达到较好效果，如图 4-12(A)所示。

(2) 实验表明，Canny 边缘检测采取下限阈值和上限阈值 $T1T2$ 的值分别为 50，150 时取得较好效果，如图 4-12(B)所示。

(3) 采用窗口大小为 3 进行高斯滤波，为加快处理速度，采用 OTSU 算法进行二值化，如图 4-12(C)所示。

(4) 根据 QR 码在红外图像中所占比例，设定整体轮廓周长阈值区间为 $[0.24L, 0.36L]$ ，面积区间为 $[0.36L^2, 0.81L^2]$ 。对整体轮廓进行多边形逼近后如图 4-12(D)所示，图中的矩形框即为逼近后的矩形。最终得到的矩形顶点就是定位的 QR 码顶点。由图中可以看出，其定位的 QR 码顶点坐标并不精准，因此我们定位的目的不是精确定位 QR 码的位置，而是给出四个粗边界顶点，使之具有 QR 码的外部特征，便于下一步倾斜校正和版本号确定的处理。精确的 QR 码顶点坐标确定算法将在第五章图像归一化提出。

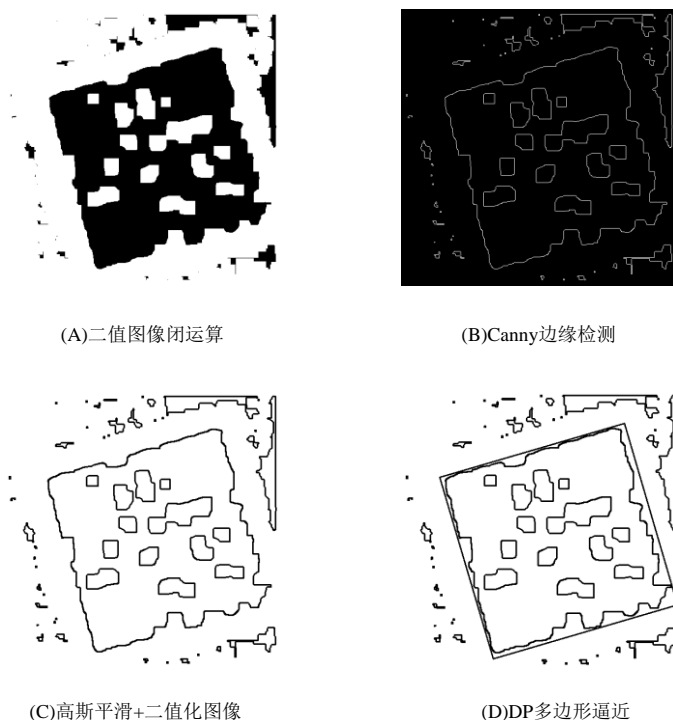


图 4-12 QR 码定位步骤结果图

4.3.2 QR 码倾斜校正

对于倾斜的 QR 码图像旋转，传统的处理方法是利用位置探测图形坐标和 Hough 变换进行角度检测^[8,11]。由于红外图像中无法采用基于符号特征的定位方法，从而无法获得位置探测图形的坐标。对于 Hough 变换^[59,60,61]，由于 QR 码的边界并不连续，红外图像中 QR 码边缘收到噪声污染，边缘的线性特征受到较大影响，因此采用 Hough 变换检测误差很大，另外 Hough 变换运算时间较大。两者均不适用于 QR 码倾斜角度的确定。

在基于轮廓跟踪的定位结果中 QR 码整体轮廓的顶点已知，可以直接根据顶点坐标的关系确定倾斜角。因此本章根据定位结果提出角度计算方法，速度快并且容易实现。

如图 4-13(A)所示，图像为多边形逼近后的 QR 码矩形边框，其中四边形的四个角坐标 $pt[0] - pt[3]$ 为 QR 码的粗边界顶点，可由其求得逼近后 QR 矩形边长为 W 。对于矩形四点坐标 $pt[0] - pt[3]$ 的约定从 QR 码右上角按逆时针标号。

设顶点坐标 $pt[2]$ 与 $pt[1]$ 之间夹角为 α ，则旋转角度 θ 的确定公式如下所示。

$$\alpha = \arctan \frac{pt[2].y - pt[1].y}{pt[2].x - pt[1].x} \quad (4-24)$$

$$\theta = \begin{cases} \frac{\pi}{2} + \alpha & \alpha < 0 \\ -\frac{\pi}{2} + \alpha & \alpha > 0 \end{cases} \quad (4-25)$$

角度确定后，利用仿射变换^[39]进行图像旋转。仿射变换的旋转以图像中心为轴进行，利用公式(4-4)进行旋转实现，其图像插值利用双线性插值实现。二值图像（图 3-5(D)）旋转后图像如图 4-13(B)所示。对图 3-5(D)经过计算，倾斜角度为 -16.4° 。

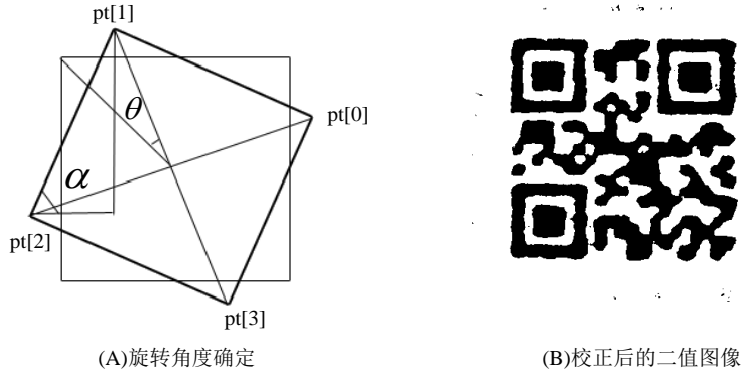


图 4-13 旋转校正

旋转后 QR 码的粗边界顶点可以由映射矩阵 M 确定，新图像的四个粗边界顶点 $pt[0]-pt'[3]$ 为：

$$pt'[i] = M \cdot pt[i] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0.5 * W \\ \sin \theta & \cos \theta & 0.5 * H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} pt[i].x \\ pt[i].y \end{bmatrix} \quad (0 \leq i \leq 3) \quad (4-26)$$

对 $pt[0]-pt'[3]$ 同样约定从 QR 码的右上角按逆时针标号。

4.3.3 版本确定

在普通二维码识别算法中对于版本的确定采取的方法是利用完整的位置探测图形比例特征，按照文献[6]中的计算公式进行计算取得。但是由于红外图像外部边缘存在干扰噪声，位置探测图形边缘发生污损，因此无法采用以上方法定位和计算版本号。但是考虑到位置探测图形中心位置的 3×3 黑色模块（简称位心模块）相对完整，而且其本身长宽占整个位置探测图形的 $3/7$ ，如图 4-14(A)所示。因此可以通过提取位心模块的轮廓，从而计算位置探测图形长度及其版本号。

(1) 利用轮廓跟踪算法和多边形逼近算法定位位心模块，设 QR 码的边长为 W ， W 可由上一步的顶点坐标 $pt[0]-pt'[3]$ 求出。因为 QR 码在版本 1 时位置探测图形在 QR 图像里的比例最大，此时位心模块边长为 $3/7 * W$ ，所以搜索周长小于等于 $12 * W/7$ 的轮廓并利用逼近算法得到一组满足条件的矩形集合，如图 4-14(B)所示。

(2) 根据旋转后新的顶点的位置坐标 $pt[0]-pt'[3]$ 将整个 QR 码图像平均分为四个区间（左上，右上，左下，右下），对已搜索到的矩形集合按照他们的空间位置坐标划分的位置区间进行归类，找出矩形数量最大的三个区间，即为三个位置探测图形所在的区间位置。选取每个区间面积最小的矩形即为位心模块。根据标准 QR 码的三个位置探测图形中心坐

标的相对位置与前面的三个区间进行对比，如果位置探测图形不在标准位置，根据坐标对应关系分别旋转 90°，180°，270°，最终获得正定的 QR 码图像。设内部黑色模块的边长为 $modeL, modeR$ 。顶部两个位置探测图形中心距离为 D ，如图 4-14(C)所示。其中位置探测图形中心距离为 D 可由两个位心模块的中心可以确定，对于 $modeL, modeR$ 的确定，如果用逼近的矩形长宽计算会造成较大的误差（根据公式(4-28)~(4-31)知 $modeL, modeR$ 偏大，导致最终版本号偏小），利用公式(4-21)求其两个对应的轮廓面积 S_L, S_R ，则可得两个位心模块的边长：

$$modeL = \sqrt{S_L}, \quad modeR = \sqrt{S_R} \quad (4-27)$$

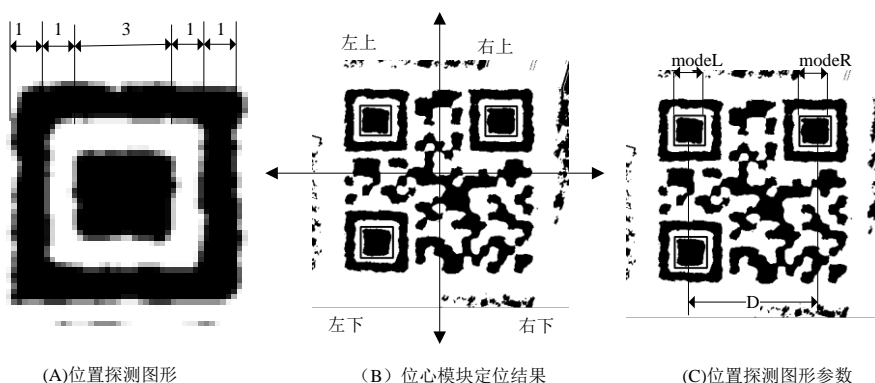


图 4-14 位置探测图形定位

(3) QR 码版本公式计算如下：首先计算两个位置探测图形的宽度 W_{UL} 和 W_{UR} ：

$$W_{UL} = \frac{7}{3} \times modeL \quad (4-28)$$

$$W_{UR} = \frac{7}{3} \times modeR \quad (4-29)$$

其次计算模块宽度尺寸 X ：

$$X = (W_{UL} + W_{UR}) / 14 \quad (4-30)$$

最后确定符号版本 V （四舍五入）：

$$V = \frac{D/X - 10}{4} \quad (4-31)$$

(4) 如果 $V \leq 6$ ，那么计算值 V 即为版本号。如果 $V \geq 7$ ，QR 码的边长为 W ，那么应按下列步骤确定版本号，每边的模块数量 Num 为 $\frac{W}{X}$ 。

(5) 在 2 个模块误差区间内将模块数参照 QR 码各版本符号的数据容量表^[6]可得版本号与实际每边的模块数量 N ，其真实模块宽度尺寸 $X' = \frac{W}{N}$ ，要达到可识别的效果，一般 X'

的值至少占 5 个像素。

利用 400*400 像素的图像进行版本确定，经过计算，图 4-11(B)的 $modeL, modeR$ 分别为 43, 44。其宽度 W_{UL} 和 W_{UR} 分别为 102, 105，位置探测图形中心距离为 D 为 193，模宽度尺寸 $X=14$ ，版本号为 1，通过查找数据容量表可知其真实模块数为 $21*21$ 。

4.4 本章小结

本章主要分析了红外图像中 QR 码的特点，提出了基于轮廓跟踪的定位与图像倾斜校正算法。对于普通光照下的位置探测图形定位算法，指出了红外 QR 码利用位置探测图形定位的不适用性，提出基于轮廓跟踪多边形逼近的算法来实现 QR 码定位。分析了图像形态学运算、Canny 边缘检测、轮廓跟踪、多边形逼近算法的原理，并指出其在红外图像中的目的。在定位的基础上利用逼近的多边形来进行图像倾角的计算，利用仿射变换、二次插值算法进行图像倾斜校正。利用位置探测图形内部的黑色模块及其比例特征结合轮廓查找算法进行版本号的计算。实验表明，基于轮廓跟踪的定位能提高定位准确率，利用逼近的多边形能快速确定顶点坐标，并且可以快速确定旋转校正和版本号。

第五章 基于自适应栅格的归一化算法

QR 码译码的第一步是识别 QR 码的模块,这要求待识别的 QR 码为一个图像模块划分标准的二值图像。对于在普通光照下采集的二维码图像和红外光照下隐形二维码图像而言,其图像经过二值化、定位、校正后得到的图像并不是一个标准的 QR 码图像,即每个模块可能大小不等,且对单个模块其内灰度值并不是全 0 或全 255,如图 4-5(B), 4-13(B)所示。因此需要对校正后的图像进行归一化处理,使之转化为一个标准的 QR 码图像。QR 码归一化过程包括 QR 码栅格划分和对栅格进行采样并重绘模块。因此归一化的过程可以看做是识别深浅模块的过程。针对红外图像的特点,文章提出基于自适应栅格的归一化算法,根据各模块间距动态的划分模块,实验表明该方法显著提高了 QR 码的识别率。

5.1 QR 码图像归一化

5.1.1 常用归一化方法

由于普通光照下的 QR 码的失真一般为线性失真,因此校正后的 QR 码模块能够较为规整,如图 4-5(B)所示。基于此一般采用以下策略进行归一化:

(1) 首先参照国标给出的参考译码算法,根据 QR 码的符号结构确认 QR 码的版本号。在位置探测图形定位时求出。

(2) 根据版本号利用平均法对二值化后的 QR 码划分个小栅格,其中模块数量由版本号确定。然后每个网格的中心进行采样,如果中心点是白色,则该模块全部为白色,反之全为黑色,从而得到归一化的 QR 码图像。但是由于计算机取整数为步长,平均法将会产生累计误差。刘宏伟等^[62]利用 Sobel 边缘算子分别对二值化图像进行水平方向和竖直方向上进行边缘检测然后在水平和竖直方向上做投影,分别求出水平边界和垂直边界峰点的集合,利用峰点对 QR 码的单元模块进行划分。

(3) 归一化后可得到标准的 QR 码图像,利用快速响应矩阵码国家标准算法[6]对处理后的 QR 码图像进行解码。

对比图 4-5(B)和 4-13(B),同普通光照下的二值化 QR 码图像相比,红外图像二值图像有如下两个特点:

(1) 普通光照下的 QR 码位置探测图形特征保存完整,利用比例进行定位后,其坐标非常精确,因此在归一化过程中直接根据坐标的起始点进行栅格划分即可。但是红外图像利用的是轮廓跟踪和多边形逼近算法实现的 QR 码定位,其定位结果比较粗略,无法直接进行栅格划分,需要再进一步确定 QR 的精确顶点坐标。

(2) 普通光照下的 QR 码图像引起的失真往往是线性失真,因此经过几何变换后其模

块基本呈正方形，因此在栅格化过程中，平均法或投影峰值法都能正确反映其模块的分布特性，正确的进行划分。但是红外图像由于受乘性噪声的干扰，其二值化后的图像边缘并不呈线性，因此平均法或者投影峰值法都有可能引起误差，降低识别率。

图 5-1(A)为利用平均法对红外二值化图像进行栅格化处理，图 5-1(B)为栅格化后对图像重采样得到的 QR 码。由图 5-1(A)中可以看出，栅格化时初始位置为粗定位的左上角顶点坐标，由于粗定位并不精确，图中的非边界部分被作为栅格化起始位置；属于一个黑色模块的部分被栅格线穿过，如左下位置探测图形的右下角部分黑色模块。因此平均法不适用于红外图像的归一化处理，因此得到的图 5-1(B)无法识别。基于以上难点，本章提出了自适应栅格归一化算法。

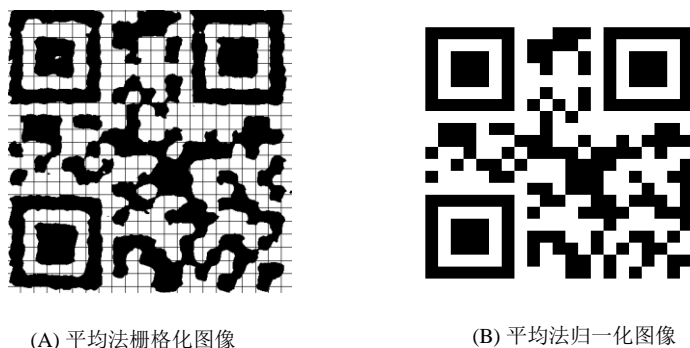


图 5-1 平均法归一化图像

5.1.2 自适应栅格归一化算法

在第四章中，我们在定位过程中获知 QR 码图像宽度 W ，每边的模块数量 N ，模块尺寸 X' 和 QR 码的版本号。通过校正处理后，其 QR 码图像整体呈矩形，需要将其按模块为单位划分为栅格，然后对栅格中心进行采样，根据采样点信息用黑白两色进行栅格填充得到标准 QR 码。自适应栅格归一化算法步骤如下所示。

(1) 对旋转校正后的二值图像进行 Canny 边缘检测，得到 QR 码图像的边缘信息，获取图像如图 5-2 所示。

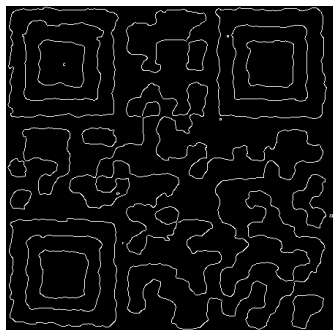


图 5-2 Canny 边缘检测图

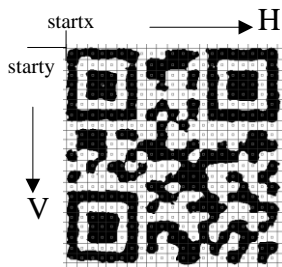


图 5-3 划分网格及图像采样点

(2) 在栅格划分前需要先精确定位 QR 码在图像中的起始坐标, 确定 QR 码左上角顶点初始值, 本章提出以下精确定位算法: 设 QR 码左上方顶点为(startx,starty), 从左到右的方向为 H 方向, 从上到下的方向为 V 方向, 如图 5-3 所示。在 $[pt'[1].y, pt'[2].y]$ 范围内, 自上往下以顶点坐标 $pt'[1]$ 的横坐标为起始点对图 5-2 按照沿 H 方向按行扫描, 到 $pt'[0]$ 的横坐标为止, 统计图像每行的白色像素 (灰度值为 255) 的个数, 当白色像素大于一定数值如 $W/8$ 时认为满足 QR 码的最上部边缘条件, 将此时扫描的纵坐标赋值给 $starty$; 在 $[pt'[1].x, pt'[0].x]$ 范围内, 从左到右沿 V 方向进行列扫描, 并统计每列的白色像素的个数, 当白色像素大于 $W/8$ 时认为满足 QR 码的最左部边缘条件, 将此时扫描的横坐标赋值给 $startx$ 。

(3) 下面开始沿着 H 方向和 V 方向上面的坐标集合进行栅格划分。

①以 H 方向上的栅格划分为例, 从 $startx$ 开始, 以步长为模块尺寸 X' 递增对图像 5-1 进行列扫描。设寻找第 i 个栅格时其扫描的值为 $x_i (0 \leq i < N)$, 初始栅格计数 c 为 0。

②设定偏移量 r 为 3, 对区间 $[x_i - r, x_i + r]$ 进行列扫描, 并统计白色像素的个数, 白色像素 (灰度值为 255) 数目最多的列为第 i 个栅格分割点坐标。将其存入堆栈 S 。

③栅格计数 $c = c + 1$, 当 $c < N$ 时, 转入第 (3) 步, 否则结束。最终保存的堆栈信息即为划分栅格的 H 方向上的横坐标集合。以获取横向 (H 方向) 上的栅格分割点集合 $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{N-1}\}$ 为例, 算法流程图如图 5-4 所示。其中为 P 堆栈, 存放横向栅格坐标集合; $temp$ 为临时关联值, 存放范围 $[x_i - r, x_i + r]$ 中白色统计像素最多的那一列的位置及其统计数; $cNZero(x)$ 是一个统计第 x 列白色像素数目的函数。纵向 (V 方向) 上的栅格分割点集合 $\{y_0, y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_{N-1}\}$ 同理可得。

④根据堆栈 P 中的已保存信息对二值化 QR 码图像进行栅格划分, 动态的获得模块间距, 对每个栅格中心点进行采样, 采样图如图 5-3 所示。

⑤重建一副 $N \times N \times X'$ 大小的图像, 根据二值化图像的采样值将该位置模块填充为黑色, 反之填充为白色。例如设 (x_i, y_j) 起始的栅格其中心采样点为黑色, 则在重建图像中以 $(X' \cdot i, X' \cdot j)$ 为左上角, 以 $(X' \cdot (i+1), X' \cdot (j+1))$ 为右下角的模块区间内填充为黑色。最终得

到标准的 QR 码图像，如图 5-5 所示。

⑥至此，红外 QR 码的图像处理工作结束，将取得的归一化结果利用位提取，纠错校验，译码后即可得 QR 码信息。

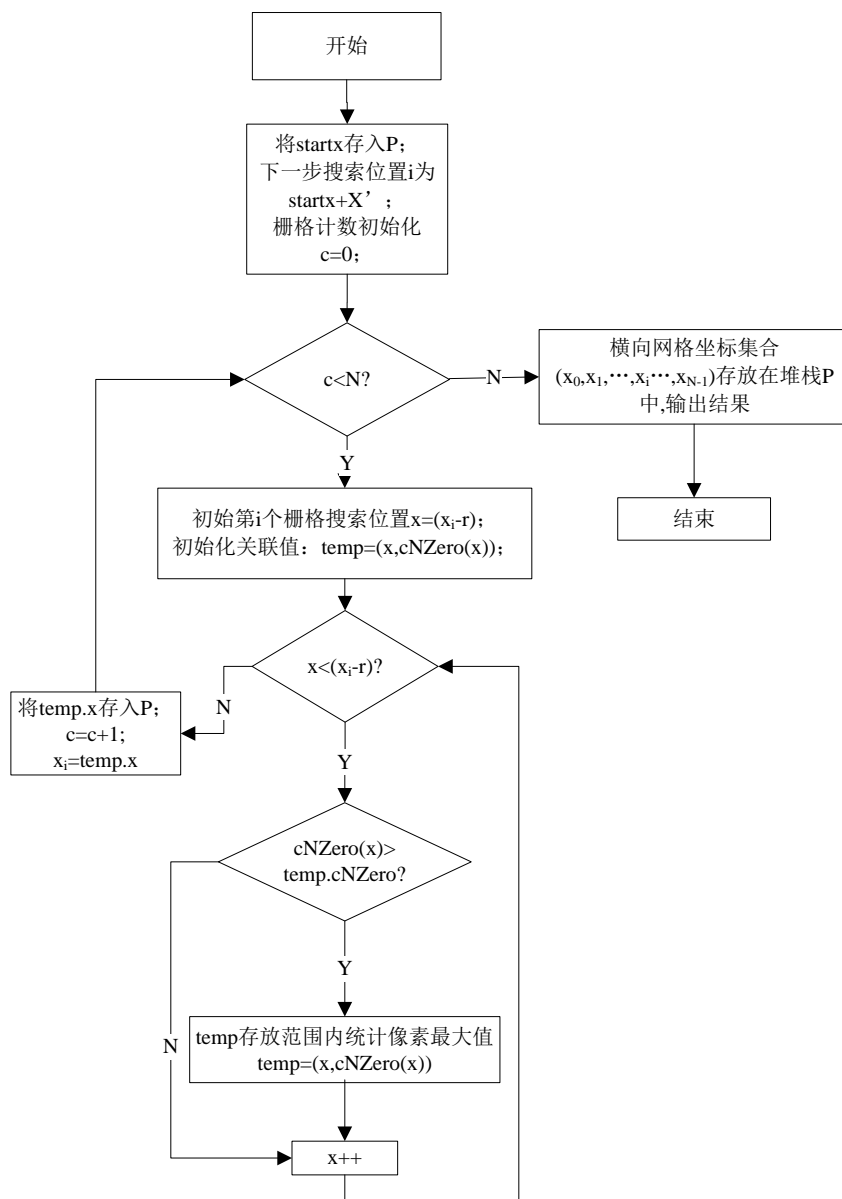


图 5-4 横向栅格分割点集合求取算法



图 5-5 图像归一化结果

5.2 QR 码译码算法

参照GB/T18284-2000标准^[6]，结合以上算法确定的信息，译码算法步骤主要如下：

(1) 在以上算法中确定了位置探测图形的中心坐标，左上角的位置探测图形中心与右上角的位置探测图形中心之间的距离 D ，模块尺寸 X ，QR码版本号。

(2) 建立取样网格^[3,6,8]。

当没有校正图形，需要按照以下步骤译码，比如版本1符号：

①重新确定位置定位图形中心，深浅模块的中心点的水平平均间距，确定垂直平均间距。

②建立这样一个取样网格：透过上部定位图形的水平线，并建立这样一组平行线，即以坐标 Y 值为垂直间距的水平线，并在其之上形成6条与之平行的水平线，不同符号版本，其水平线的数量不同。以左边定位图形的竖直线为基准，建立与之平行的以 X 值为间距的垂直线，在垂直参考线的左边形成6条垂直线，如图5-6所示。

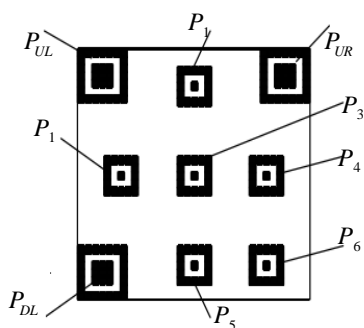


图 5-6 位置探测图形与校正图形

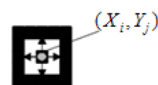


图 5-7 校正图形的中心坐标

版本2以及更高版本的符号的译码要求由参考文献[6]附录E中定义的每一校正图形的中心坐标来确定取样网格（见图5-7）。

①用7除左上角位置探测图形的宽度尺寸 W_{UL} ，可以得到模块尺寸 CP_{UL} 。

$$CP_{UL} = W_{UL} / 7 \quad (5-1)$$

②根据左上角位置探测图形 P_{UL} 的中心坐标和模块尺寸，初步确定校正图形 P_1 和 P_2 的中心坐标。

③从初定的中心坐标的象素开始，扫描校正图形 P_1 和 P_2 中的空白方块的轮廓，确定实际的中心坐标 X_i 和 Y_j ，如图5-7所示。

④根据左上角位置探测图形 P_{UL} 的中心坐标和在（3）中得到的校正图形 P_1 和 P_2 的实际中心坐标值，估计校正图形 P_3 的初步中心坐标。

⑤按照③中同样的步骤找到校正图形 P_3 的实际中心坐标。

⑥确定 L_X 和 L_Y ， L_X 是指校正图形 P_2 和 P_3 中心之间的距离，如图5-8所示， L_Y 是指校正图形 P_1 和 P_3 中心之间的距离。用校正图形中心的模块间距除 L_X 和 L_Y ，得到位于符号左上角区域下边的模块节距 CP_X 和右边的模块节距 CP_Y 的值，如下所示。

$$\begin{aligned} CP_X &= L_X / AP \\ CP_Y &= L_Y / AP \end{aligned} \quad (5-2)$$

其中， AP 是校正图形的中心模块长宽。

以同样方式，找到 L_X' 和 L_Y' ，如图5-8(A) L_X' 是左上部位置探测图形 P_{UL} 与校正图形 P_1 的中心坐标之间的水平距离。 L_Y' 是左上部位置探测图形 P_{UL} 的中心坐标与校正图形 P_2 的中心坐标之间的垂直距离。由下面给出的公式计算符号左上角区域中上边的模块节距 CP_X' 和左边的节距 CP_Y' 值。

$$CP_X' = L_X' / (\text{校正图形 } P_1 \text{ 的中心模块的列坐标} - \text{左上部位置探测图形 } P_{UL} \text{ 的中心模块的列坐标}) \quad (5-3)$$

$$CP_Y' = L_Y' / (\text{校正图形 } P_2 \text{ 的中心模块的列坐标} - \text{左上部位置探测图形 } P_{UL} \text{ 的中心模块的列坐标}) \quad (5-4)$$

⑦根据代表符号左上区每一边模块的节距值 CP_X 和 CP_X' ， CP_Y 和 CP_Y' ，确定覆盖符号的左上区的采样网格。

⑧在同样方式下，确定符号右上区（被右上角位置探测图形 P_{UR} ，校正图形 P_1 ， P_3 ， P_4 所覆盖）和符号左下方（被左下角位置探测图形 P_{DL} ，校正图形 P_2 ， P_3 ， P_5 所覆盖）的采样网络。

⑨对校正图形6，如图5-8(B)，由校正图形 P_3 、 P_4 和 P_5 之间的间距，利用校正图形 P_3 和 P_4 ， P_3 和 P_5 的中心直线以及这些图形的中心坐标值求得模块间距 CP_X' 和 CP_Y' 值，从而估计出它的初步的中心坐标。

⑩重复步骤⑤～⑧，确定符号右下区的采样网格。并用同样原则确定符号未覆盖区的

采样网格。

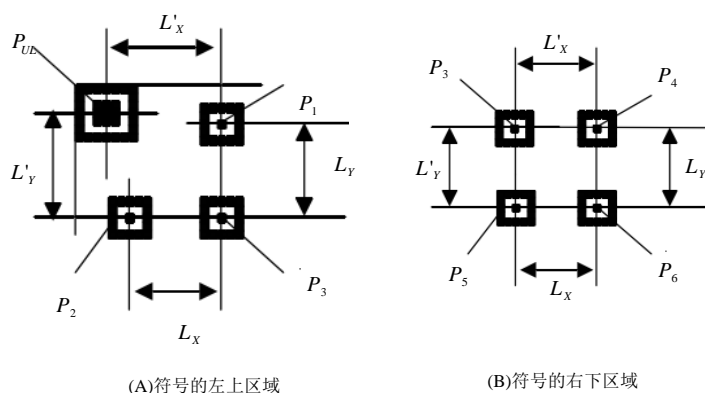


图 5-8 符号的左上和右下区域

(3) 读取数据并解码^[3,6,8]。具体步骤如下：

①对网格的每一栅格中心像素值取样，并根据阈值判断深浅模块，构造一个位图，用二进制的“1”表示深色的像素，用二进制的“0”表示浅色的像素。

②对与左上区位置探测图形相邻的格式信息译码，得到纠错等级和用于符号的掩模图形。如果检测出错误超过格式信息的纠错容量，那么，采用同样的程序对与右上部和左下部位置探测图形相邻的格式信息进行译码。

③用掩模图形对符号编码区域进行异或（XOR）处理，解除掩模并恢复表示数据和纠错码字的符号字符。这与编码程序中采用的掩模处理过程的作用正好相反。

④根据QR码符号字符的布置的规定中的排列规则确定符号码字。

⑤根据符号版本和纠错等级需求，用在构造信息的最终码字序列规定的交替处理的逆过程，重新将码字序列按块排列。

⑥按照QR规范的错误检测与纠错译码程序，纠正替代错误与拒读错误，直到符号版本和纠错等级所规定的最大纠错容量。

⑦通过重新组配数据块序列，恢复原是信息的位流。

⑧将数据位流分成若干段，每一段由模式指示符开始，段的长度由在模式指示符后的字符计数指示符确定。

⑨根据采用的模式的规则，对每一段进行译码。

译码结果如图5-9所示。



图 5-9 红外图像译码结果

5.3 实验结果与分析

在 Windows XP 操作系统上，以 VS2010 为开发平台，使用 C++语言结合计算机视觉库 OpenCV 进行编程实现，图像的编码与解码均采用 QR[S]国家标准中提出的方法。实验利用带红外带通滤光片的摄像头进行隐形二维码的采集，采用了 114 张红外图像采集样本，其中 25 张为各种倾斜状态，每张大小为 120*120 像素。最后对每一步进行了对比实验，其处理结果如表 5-1 所示。横向表示图像定位、旋转校正，归一化采用的不同算法。纵向表示采用对应算法能成功的张数及对应成功率。例如 Hough 变换在 114 个样本中能准确检测到倾斜角的图像为 95 张，其对应成功率为 83.33%。

表 5-1 不同算法实验结果比较

算法 结果	图像定位		图像旋转校正		图像归一化		总结
	基于 符号 特征	轮廓跟 踪	Hough	本文方 法	平均法	自适应栅 格	
成功样 本数	84	111	95	111	47	103	利用普通摄 像头下识别 算法识别率 为 41.23%， 本文为 90.35%。
成功率 (%)	73.68	97.37	83.33	97.37	41.23	90.35	

分析结果如下：图像定位部分，传统的基于符号特征的定位算法其定位成功率比基于轮廓跟踪的定位算法低 23.29%，产生差距的原因是约 30 张图片里面位置探测图形部分边缘噪声较为严重，不能满足 1:1:3:1:1 的比例特性，因而符号定位无法成功；图像旋转校正部分，由于 QR 码图像边缘不是连续的，并且红外图像边缘线性特征收到一定污损，采用 Hough 算法计算角度会产生误差。基于轮廓的多边形逼近算法是基于轮廓跟踪的定位结果，

只要定位准确，校正率可达 100%；图像归一化部分，平均法结果较低的原因是栅格内的模块发生偏移。综上，采用本文的算法，大大提高了识别率，其中可识别 103 张，识别率为 90.3%，可满足实际应用需求。

5.4 本章小结

本章主要提出了基于自适应栅格的归一化算法和在此基础上进行译码。首先结合常用归一化算法，指出红外图像与普通光照图像中 QR 码符号的差异和常规方法的不足，提出了一种自适应栅格归一化算法。其次，结合已获取的 QR 码信息和国家标准算法对 QR 码图像进行译码。最后给出了定位、倾斜校正和归一化步骤的实验结果，并就其算法结果的差异进行分析，实验结果表明提出的红外隐形 QR 码图像识别方案的有效性，对比普通光照下的算法，提出的算法提高了 QR 码的识别率。

第六章 防伪识别信息系统

本章基于红外隐形 QR 码的识别成果，设计了防伪识别信息系统。防伪识别信息系统是集客户端企业商品条码申请、管理部门管理和查询端识别于一体的信息管理系统。

6.1 系统设计思想

防伪识别信息系统是一个具有防伪信息管理和识别功能的 B/S 模式网站系统。其设计思想如下：

首先，防伪识别信息系统包括数据录入、查询、审核、统计等主要功能，并将红外隐形 QR 码图像识别引入了系统。客户端申请的 QR 码主要应用在各类产品的包装印刷和打印上。查询端利用特殊摄像头获取图像并识别，从而输出系统数据库中保存的各数据。由于红外图像质量较差，为降低 QR 码的复杂性，在该系统中二维码信息是产品信息的批号，通过数据库查询具体信息。

其次，由于特殊的红外摄像头采集图像的清晰度有限，同时受隐形图像印刷质量的限制，因此需要进行图像处理。为提高系统识别实时性及不可复制性，系统将红外 QR 码图像识别功能封装成 DLL 并嵌入到系统之中。

第三，系统结合当前红外 QR 码图像识别及应用的实际情况进行开发。防伪识别信息系统管理图像内容具有标准的编码规则，保证在实际的使用过程中不会出错和重复；管理规范。系统业务结构严谨。

以系统主要业务流程防伪信息表的申请审批流程为例。系统以 0~4 标识申请表状态的转化。0 表示信息保存，此时用户填写的申请表仅用户可见，1 表示信息已经提交（未受理），管理端可以进行查看审批，2 表示管理端审批后其申请未通过并需要修改，3 表示受理通过，用户可以进行二维码生成，4 表示通过后用户已生成二维码图像。其业务逻辑转化过程如下。

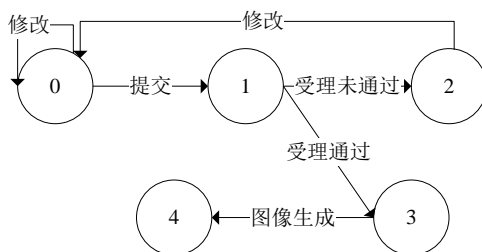


图 6-1 业务逻辑转化

经过对防伪识别信息系统的业务流程分析，分别从客户端、查询端、管理端 3 个部分进行业务涉及实现。结合实际的应用流程，对 QR 码编码和红外图像译码算法实现业务的规范化管理，从而提高了系统的安全性。在当前防伪识别系统较少的情况下，本章给出了

一个比较完整的管理流程。防伪识别信息系统不仅在防伪方面有良好表现，在社会化生产管理和物流管理方面更有广泛的应用前景。信息时代的发展要求每个物品都要有身份识别编码和与之对应的识别系统及数据库管理系统，在未来几年，防伪识别信息系统将成为物联网发展的助推器。

6.2 系统总体设计

6.2.1 系统结构

防伪识别信息系统主要由客户端、查询终端、管理端组成。如图 6-2 所示。

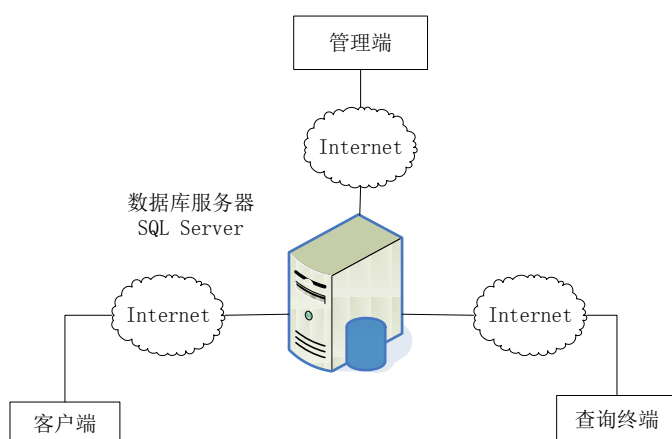


图 6-2 防伪识别信息系统组成

每个工作端对应的职能不同，其中客户端应用于企业客户，主要实现二维码申请、生成图像下载等功能；管理端应用于条码管理，如工商管理部门等，主要实现申请请求处理，条码信息管理等功能；查询端应用于各个识别场所，如商场、超市等，提供查询服务功能。

6.2.2 系统功能

系统功能框架如图 6-3 所示，基于角色进行管理，不同的角色操作权限不同，其中客户端用户和查询端用户通过用户注册方式可以获得。客户端主要功能包括个人信息管理、消息管理、防伪码申请、已提交信息管理、已审批信息管理和费用信息统计。查询端功能包括个人信息管理、消息管理、图片上传查询、已查询信息管理和费用统计。管理端功能包括个人信息管理、费率设定、系统通知、用户管理和用户费用统计。系统主要功能是实现二维条码的申请与处理，红外隐形条码的识别及产品编码的查询功能。

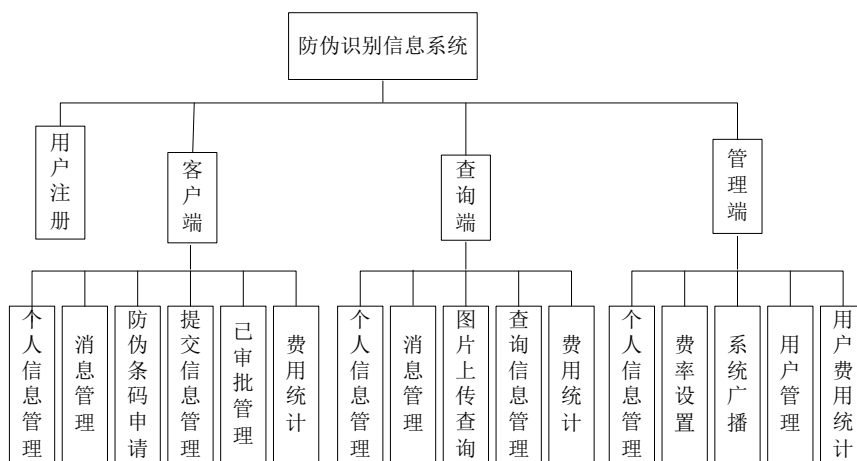


图 6-3 系统功能模块

图 6-4 是二维条码的申请与处理的用例图。其中客户端处理新增申请和维护申请事件，管理员处理二维码审批事件。其中二维码信息保存、提交、修改删除等事件包含于维护申请事件，生成 QR 码图像是对维护申请事件的扩展，生成 QR 码后可以下载。具体操作流程如下：客户端填写防伪编码申请表，并将信息保存到数据库，最后统一提交至服务器，管理员对申请进行审批。通过后客户端从服务器进行 QR 码图像下载并分配给产品使用。

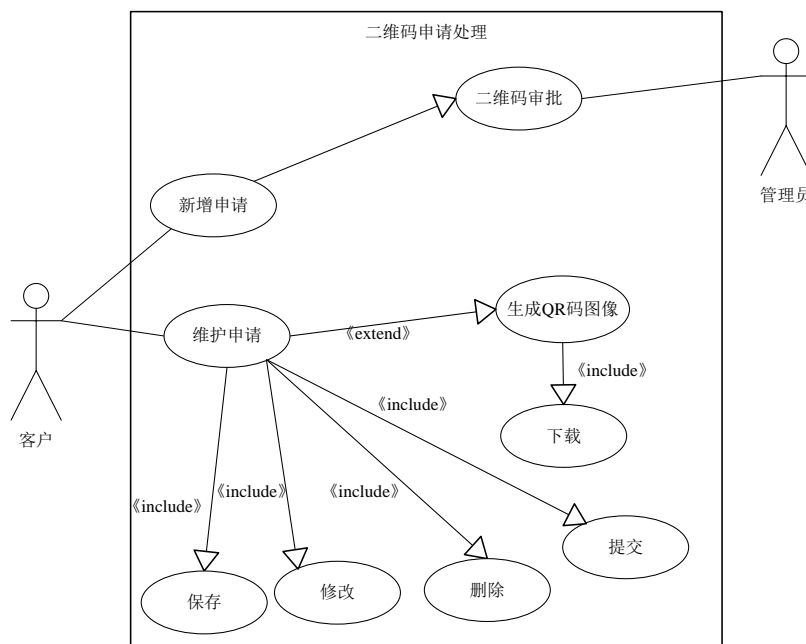


图 6-4 二维码申请与处理用例图

图 6-5 是产品编码查询功能的流程图，其主要步骤如下：用户使用红外摄像头进行图像采集，用户将扫描图像上传至服务器，服务器端调用红外 QR 码识别算法进行识别并将

结果返回至查询端。红外图像的识别查询是系统的核心功能。

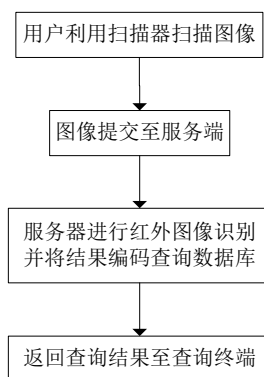


图 6-5 产品编码查询过程

6.2.3 系统软硬件环境

(1) 软件环境

基于 Windows XP 的操作系统和 Visual Studio 2010 平台，系统使用 Asp.Net 进行网站项目部分的建设，使用 SQL2005 平台进行数据库设计与实现。

利用 OpenCV 视觉库，使用 C++ 语言实现红外图像译码算法并将其封装成 DLL。其中 OpenCV 是一个基于 BSD 许可证授权（开源）发行的跨平台计算机视觉库，实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。

系统采用还采用了一些 DLL 插件。如 Interop.Excel.dll 进行 Excel 表格导出接口的开发，QrCodeNet.dll 进行 QR 码图像生成；另外为了提高用户体验，系统还使用日期插件 jquery.datepick.js、校验插件 jquery.validator.js 和自动填充插件 jquery.autocomplete.js 等，以上插件均是开源免费的。

(2) 硬件环境

系统开发采用的硬件环境为内存为 1G，硬盘为 160G，CPU 主频为 1.6GHZ。

6.3 数据库设计

系统所涉及主要实体的逻辑关系如下：

人员信息（编号，登录名，密码，角色，区域编号，公司名称，公司地址，公司电话，公司网址，公司电子邮箱，用户可用金额，账号状态，注册时间）

二维码申请（编号，用户名，图像大小，二维码编号，产品名称，产品日期，质检人，产品性能，产品批号，本次生产总量，发往销售地目的地名称，接收单位，存储地点，质保内容，备注，申请时间，申请状态标识，单次批量标识，是否付款）

费率设置（编号，本次单枚图像申请生成费率，本次批量图像申请生成费率，本次查

询费率, 修改日期)

用户费用 (编号, 客户名, 类别, 单次生成次数, 批量生成次数, 需付金额, 实付金额, 欠费, 月份, 备注, 操作时间)

信息广播 (编号, 信息名称, 信息内容, 广播时间, 发布对象, 访问量, 评论开关)

上传查询 (编号, 用户名, 上传文件名, 识别保存图像名, 条码内容, 版本号, 纠错等级, 操作日期)

用户评论 (编号, 评论信息编号, 评论人, 时间, 内容)

在上述数据表中, 人员信息表保存的是客户基本信息, 二维码申请表存放产品申请信息以及若干标识, 费率设置表是管理端设置的费率数额, 用户费用表是保存客户端和查询端的用户费用, 信息广播表存放消息信息, 上传查询表保存查询端用户的查询记录, 用户评论表是对消息的评论。

其数据关系图如图 6-6 所示。

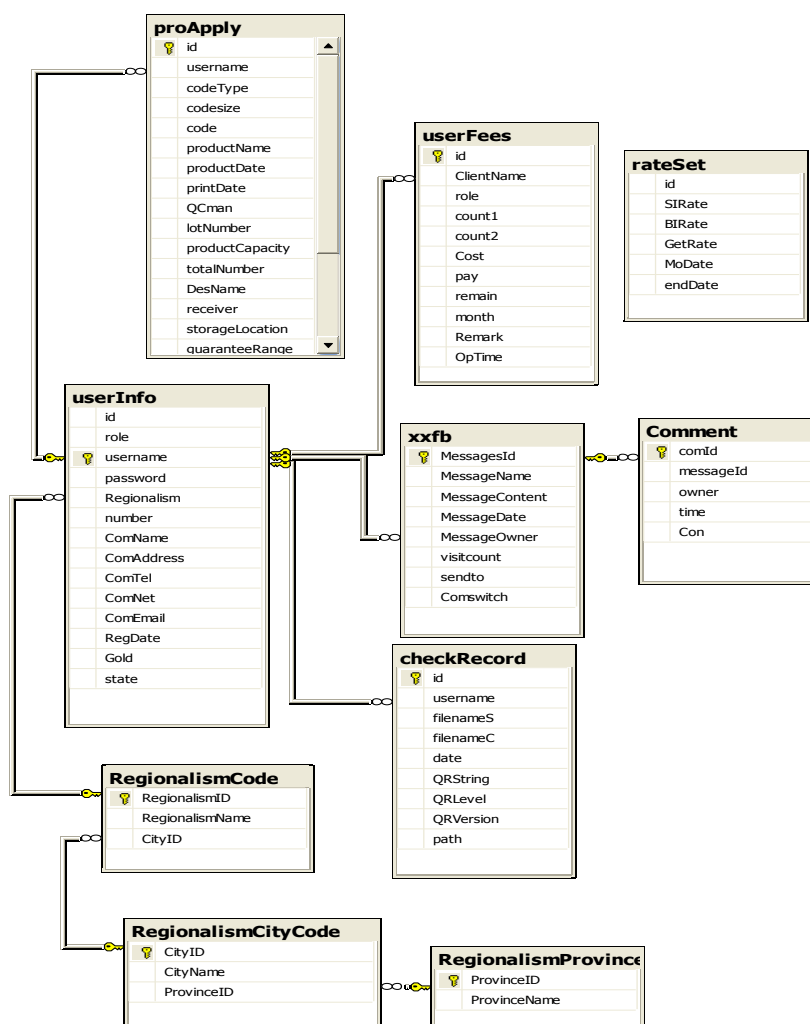


图 6-6 数据库关系图

各表详细信息如下：

表 6.1 人员信息表 (userInfo)

字段名	字段类型	允许空	注释
id	int	N	编号
Role	varchar(50)	N	权限：管理员-管理端，查询-查询段，客户-客户端
Username	varchar(50)	N	账户名
Password	varchar(20)	N	密码
Regionalism	varchar(6)	N	注册地区编号
Number	int	N	本地区编号
ComName	varchar(20)	Y	公司名称
ComAddress	varchar(50)	Y	公司地址
ComTel	varchar(20)	Y	公司电话，默认值：未知
ComNet	varchar(20)	Y	公司网址，默认值：未知
ComEmail	varchar(20)	Y	公司电子邮箱，默认值：未知
Gold	float	Y	用户金额，默认:0
State	varchar(2)	N	用户账号状态：激活（默认），禁用
RegDate	varchar(20)	N	注册时间

表 6.2 二维码申请表 (ProApply)

字段名	字段类型	允许空	注释
id	int	N	编号
Username	varchar(50)	N	用户名称
codeType	varchar(50)	N	图像类型
Codesize	varchar(50)	N	图像大小
Code	varchar(50)	N	二维码编号
productName	varchar(50)	N	产品名称
productDate	varchar(50)	N	产品日期
printDate	varchar(50)	N	打印日期
QCman	varchar(50)	Y	质检人
lotNumber	varchar(50)	Y	产品批号
productCapacity	text	Y	产品性能
totalNumber	varchar(50)	Y	产品数量
DesName	varchar(50)	Y	发往目的地名称
Receiver	varchar(50)	Y	接收单位
storageLocation	varchar(50)	Y	存储地点
guaranteeRange	text	Y	质保内容
Remark	text	Y	备注
Applydate	varchar(50)	N	申请日期
AllocFlag	int	N	申请标识，1-4，默认:0
PayFlag	int	N	是否付过 1：有，0-没有
PLFlag	int	N	是否批量生成，0（默认）：单次，1-批量

表 6.3 费率设置表 (rateSet)

字段名	字段类型	允许空	注释
ID	interger	N	编号
SIRate	float	N	本次单枚图像申请生成费率
BIRate	float	N	本次批量图像申请生成费率
GetRate	float	N	本次查询费率
MoDate	varchar(50)	N	修改日期

表 6.4 用户费用表 (userFees)

字段名	字段类型	允许空	注释
ID	interger	N	编号
ClientName	varchar(20)	N	客户名
Role	nchar(10)	N	角色
count1	int	N	单次生成次数或查询次数
count2	int	N	批量生成次数
Cost	float	N	本月消费
Pay	float	N	实付金额
Remain	float	N	需付金额
Month	nchar(15)	N	月份
OpTime	varchar(20)	N	操作时间
Remark	varchar(20)	N	备注

表 6.5 信息广播表 (xxfb)

字段名	字段类型	允许空	注释
MessagesId	int	N	编号
MessageContent	text	N	消息内容
MessageName	nvarchar(50)	N	标题
MessageDate	nvarchar(30)	N	发布时间
MessageOwner	varchar(50)	N	发布者
Visitcount	int	N	访问量
Sendto	varchar(50)	N	发布对象
Comswitch	int	N	评论开关, 默认: 开

表 6.6 上传查询表 (checkRecord)

字段名	字段类型	允许空	注释
Id	int	N	编号
Username	varchar(50)	N	用户名
filenames	nchar(40)	N	上传文件名称
filename	nchar(40)	N	识别保存图像名
QRString	nchar(24)	N	识别内容
QRLevel	nchar(2)	N	纠错等级
QRVersion	int	N	版本号
Path	nchar(80)	N	文件保存路径
Date	datetime	N	时间

表 6.7 用户评论表 (Comment)

字段名	字段类型	允许空	注释
comId	int	N	编号
messageId	int	N	评论消息编号
Owner	nchar(40)	N	评论人
Con	datetime	N	识别保存图像名
Time	nvarchar(500)	N	时间

客户端应用于产品生产企业，实现二维码信息申请与下载，数据保存在服务器。其下载所获得的 QR 码图像保存于本地。用户在使用时需要先注册使用。客户端模块的主要功能为个人信息管理、消息管理、防伪码申请、提交信息管理、已通过审批管理和费用查询。

消息管理是指查看系统管理员发送给用户的各类消息，包括管理端发送的针对全部用户、客户端的信息公告和发送给登录用户的个人信息。当评论开放时，用户可以对消息添加评论。

防伪码申请是客户端的主要功能之一。用户需要填写申请表格。系统会根据用户需求自动生成新编码或原有条码，用户填写的与 QR 码相关联的信息分为必填和选填项目，必填项包括产品名称、尺寸、生产日期等，选填项包括质检人、接收单位、产品性能等。其中必填内容尺寸的范围为 5*5mm 至 12*12mm 之间，允许用户自定义选择。用户根据提交类型可为单次提交或者批量提交。

提交信息管理功能管理审批状态为 0,1,2 的申请信息，即保存、提交状态下的申请信息或者审批不通过的信息，可以对其进行查看，修改和删除操作，其中提交状态下的信息需要由管理员进行审批，无法修改。状态 0 和 2 的申请表可以进行修改，修改后信息状态均设定为 0。

用户费用查询功能是指客户端用户可以查看自己每月的消费统计信息,包括统计月份、用户名、单次生成数、批量生成数、应付金额、实付金额、未结算、更新日期等信息。对查询信息提供报表下载功能。



图 6-7 状态为 3 和 4 的二维码信息显示

已通过审批管理功能管理审批状态为 3,4 的申请信息，即审批通过的信息和通过后用户已生成 OR 码图像的信息。状态为 3 的申请信息，其页面下方有生成图像按钮，当前状

态为受理通过，如图 6-7(A)所示。点击按钮后系统会在服务器端调用 QR 码编码算法生成图像并保存在服务器，同时将申请信息状态更改为 4，页面下方显示下载按钮，同时在页面上显示生成的图像，点击后即可下载图像到本地。如图 6-7(B)所示。

6.4.2 查询终端

查询终端主要应用于如商场、超市等需要查询产品防伪信息的地方，主要功能为接受用户的查询请求并返回识别的图像内容以及对应的产品信息。查询端模块的主要功能为个人信息管理、消息管理、图像上传查询、已查询信息管理和费用查询。其中个人信息管理、消息管理、费用查询与客户端对应功能类似，均是管理自己的信息，消息和费用。已上传图片查询管理的是该查询用户以往的查询记录。

图像上传查询是查询端的主要功能。图片上传查询界面如图 6-8 所示。采集图像后，用户点击浏览选择红外图像路径，点击上传按钮则将红外摄像头采集的红外 QR 码图像上传至服务器并显示在左侧默认图片部分，同时服务器端调用红外图像识别算法对图像进行识别。

识别成功后，系统累加本月查询次数，对识别出的标准图像进行保存并显示在右侧默认图片部分。系统根据识别的文本在数据库中查询对应申请信息表中的产品编号，如果得到结果点击查看相关数据按钮则将产品具体信息显示在页面下方。

当查询结果对应的申请信息有多个时，用户可点击提示链接进入搜索结果页面获取该产品编号下所有的产品信息。



图 6-8 红外图像识别结果

6.4.3 管理端

管理端应用于管理部门，主要审批客户端的防伪码申请信息。管理端模块的主要功能为个人信息管理、费率设置、申请审批、用户费用统计查询、系统广播和用户管理。其中

个人信息管理与客户端对应功能类似。

费率设置：包括单次生成费率、批量生成费率和单次查询费率的设定，每次设定后保存前次设定的费率和操作日期。

申请审批：管理员对客户端用户提交的申请表（状态 1）进行审批。如果通过审批则将信息表审批状态设定为 3，表示客户端可以生成 QR 图像，并根据信息的提交状态（单次或批次）进行次数统计；不通过将审批状态设定为 2，表示还需要客户端修改，不计入申请费用。

用户费用统计查询：管理和统计查询端和客户端的申请或查询次数，统计计费并对用户发送缴费证明。

系统广播：管理端向客户端和查询端发送的信息。管理员可以发布信息并对发布的信息进行查看，更新和删除。信息发布需要填写标题、发布对象、内容和是否允许评论。其中发布对象包括全部用户、客户端用户、查询端用户和特定用户。对象为全部用户表示该信息全部成员都可见，为客户端用户仅能客户端用户可见，为查询端用户仅查询端可见，为特定用户表示发送给某个特定的用户成员。当选择特定用户时需要输入发布对象用户名。

用户管理：对用户账户状态进行操作，例如用户长期欠费时可以将账户暂时停用。

6.5 小结

本章设计与实现了基于红外图像识别的防伪识别信息系统。首先分析了系统的设计思想；然后分析了系统总体设计，阐述了系统结构、系统主要功能和软硬件环境；最后对系统的主要模块进行实现。设计的系统体现了红外隐形 QR 码识别应用的可行性。

第七章 总结及展望

7.1 总结

在现有的普通光照下 QR 码识别算法基础上, 结合 QR[S]国家标准, 针对红外光照下的识别难点如图像噪声严重, 位置探测图形比例失效等问题, 提出了红外隐形 QR 码图像的识别方案。结合开源视觉库 OpenCV, 在 VS2010 平台下利用 C++ 语言予以编程实现, 实验表明本文提出的解决方案在识别率方面有了很大的提高, 可以应用于实际环境。论文主要完成的工作有以下几个方面:

(1) 对于图像灰度化首先分析了传统灰度化公式对于红外 QR 码图像的不适用性, 然后提出了两个策略: 采用线性灰度映射算法和图像平滑灰度算法。对两个算法进行实验分析, 分别从图像去噪效果和时间效率上进行对比, 实验表明采用线性灰度映射算法, 参数值为 ($c_1 = c_3 = 0, c_2 = 1$) 时即采用 B 通道图像作为灰度图时取得最理想的灰度化效果。对于图像二值化算法, 首先对全局阈值法和局部阈值法进行了实验与分析, 指出了全局阈值法对红外 QR 码图像的不适用性, 利用窗口值折半查找策略求出了高斯自适应阈值法的最优二值化窗口值。

(2) 对于 QR 符号定位和倾斜校正, 通过分析红外图像特点指出普通光照下位置探测图形定位算法的不适用性, 提出利用轮廓跟踪算法和多边形逼近的算法来实现 QR 码定位。在定位的基础上利用逼近的多边形来进行图像倾角的计算, 利用仿射变换, 图像二次插值算法进行图像倾斜校正。最后利用位置探测图形内部的黑色模块长宽及其比例特征结合轮廓查找算法进行版本号计算。

(3) 在图像归一化方面, 结合传统归一化算法, 比较红外图像与普通光照图像中 QR 码符号中模块形状的差异, 并提出了一种自适应栅格归一化算法。

(4) 根据提出的红外隐形 QR 码识别方案, 根据 QR[S]国家标准, 结合图像视觉库 OpenCV 在 VS2010 平台下实现了对红外 QR 码图像的识别。实验表明提出的解决方案能够提高红外 QR 码图像的识别率。根据红外图像的识别成果, 设计实现了防伪识别信息系统。

7.2 进一步工作

本文在 VS2010 平台下完成了对红外隐形 QR 码图像的识别, 满足了识别率要求。但是工作到现在还存在着一些问题和改进, 需要做进一步的研究。今后研究工作的主要内容和几点说明主要包括如下几个方面。

(1) QR 码图像的识别要求有两点, 即识别率和识别速度。本文把识别率放在首要位置, 为追求较好的处理效果采用了一些算法如高斯自适应阈值算法, Canny 边缘检测, 其处理效果较好, 但运算时间相比其他同类算法要长。作者参考了许多文献, 获得了很多思路,

但目前应用实验多集中于经典的图像处理算法，还有其他一些已提出的算法未实现。因此下一步工作是从均衡识别率和算法速度上考虑，在庞大的图像处理算法库中选取合适的算法。

(2) 本文提出的算法是针对所有版本号的红外 QR 码的识别。由于版本号越高，其图像内部越复杂，因此在实际应用中，对于高版本红外图像识别需要作进一步的研究。基于轮廓跟踪和多边形逼近算法部分时间耗费相对较长，其主要应用目的是为了确定版本号，因此在实际开发应用中，若知道图像版本号可大大简化这一过程，提高处理速度。

(3) 对于 QR 码应用，其防伪功能包括但不限于红外光隐藏。现在 QR 码已经广泛应用于火车票、公安系统等方面，其内容可能包含一些隐私信息，因此在 QR 码应用中引入加密解密算法，信息隐藏^[63,64]，数字水印^[65]等实现 QR 码的两重或者多重防伪，可以作为下一步研究的方向。

参考文献

- [1] 中国物品编码中心. 二维条码技术与应用[M]. 北京: 中国计量出版社, 2007.
- [2] 张成海, 张铎, 赵守香. 条码技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010: 292-294.
- [3] 祁晓莉. 矩阵式二维条码的生成与解码技术的研究及应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.4: 1-10.
- [4] 杨佳丽. QR码识别算法的研究[D]. 江苏: 江南大学, 2011.3: 1-10.
- [5] 国家质量技术监督局. GB/T 17172-1997.四一七条码[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [6] 国家质量技术监督局. GB/T 18284-2000.快速响应矩阵码国家标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [7] 国家质量技术监督局. GB/T 21049-2007.汉信码[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [8] 唐宇希. 基于DSP的QR码图像识别研究与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.6: 1-5.
- [9] 中国物品编码中心网站. 商品防伪包装中条码防伪的技术现状. <http://www.ancc.org.cn/News/article.aspx?id=5317>, 2012年4月访问.
- [10] 孟援国, 马健. 近红外吸收防伪方法: 中国, 200910119007.4[P], 2010.9.22.
- [11] 高永英, 张利, 吴国威. 一种基于灰度期望值的图象二值化算法[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(6): 524-528.
- [12] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [13] 孙明, 傅隆生, 杨信廷, 张树槐. 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): 122-125.
- [14] Chang Y H, Chu C H, Chen M S. A General Scheme for Extracting QR Code from a No-nuniform Background in Camera Phones and Applications[C]. Ninth IEEE International Symposium on Multimedia, 2007.12: 123-130.
- [15] Trier O D, Jain A K. Goal-Directed Evaluation of Binarization Methods [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1995, 17(12): 1191-1201.
- [16] 张然, 朱虹, 张瞳, 沈恤. 一种低质量QR Code二维码图像的预处理方法[J]. 计算机科学, 2008, 35(4): 146-148.
- [17] 杨占华, 杨燕. SOM神经网络算法的研究与进展[J]. 计算机工程, 2006.8, 32(16): 201-202.
- [18] 刘纪红, 王铖媛. 一种基于自适应阈值的图像二值化算法[J]. 2009 Chinese Control and Decision Conference, 2009: 3958-3962.
- [19] Li J, Xiao P, Li J P. Improved Infrared Image Binarization By Using A Combination OfGlobal Method and Local Method[C]. 2010 International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis (ICACIA), 2010: 290-293.
- [20] Zhou J J, Liu Y F, Li P. Research on Binarization of QR Code Image[C]. 2010 International Conference on Multimedia Technology (ICMT), 2010: 1-4.
- [21] 刘慧娟. 快速响应码图像的全方位识别[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(4): 376-379.
- [22] 刘宏伟, 严研. 快速响应码的识别和解码[J]. 计算机工程和设计, 2005, 26(6): 1560-1562.
- [23] 蔡文婷, 刘志. 基于凸包算法的二维条码定位[J]. 浙江工业大学学报, 2008, 36(6): 669-672.
- [24] Liu Q L, Li X C, Zou M, Zhou J. The Multi-QR Codes Extraction Method in Illegible Image

- Based on Contour Tracing [C]. 2011 IEEE International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID), 2011: 51-56.
- [25] 肖翔, 刘晓明, 王云珂. QR码图像的矫正与定位方法研究[J]. 计算机科学, 2007.34(11): 217-219.
- [26] 张民, 郑建立. 基于符号特征的QR码识别算法[J]. 计算机工程, 2011.2, 37(4): 278-280.
- [27] Gu Y H, Zhang W X. QR code Recognition Based on Image Processing[C]. 2011 International Conference on Information Science and Technology, 2011: 733-736.
- [28] 高美凤. 基于图像处理的二维条码识别研究[D]. 江苏: 江南大学, 2009.6: 35-45.
- [29] Koichi K, Noboru K, Zhang G. Invisible Barcode With Optimized Error Correction[C]. 15th IEEE International Conference on Image Processing, 2008(ICIP 2008), 2008: 2036-2039.
- [30] 刘悦, 刘明业. QR code二维条码数据编码的研究[J]. 北京理工大学学报, 2005.4, 25(4): 352-355.
- [31] Koichi K, Noboru K, Masaharu S. Electronic Clipping System with Invisible barcodes[J], MULTIMEDIA'06 Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia, 2006: 753-762.
- [32] 黄兴耕. 14~16 μ m红外带通滤光片及其主要工艺技术[J]. 激光与红外, 1991, 21(5): 25-28.
- [33] Rafael C G, Richard E W. Digital Image Processing, Third Edition [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [34] 张瑾. 基于小波变换的红外图像处理应用研究[D]. 西南交通大学, 2006.2.
- [35] 周金和, 彭福堂. 一种有选择的图像灰度化方法[J]. 计算机工程, 2006, 32(20): 198-200.
- [36] 刘海波, 沈晶, 郭耸. Visual C++数字图像处理技术详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.6.
- [37] 唐海波. 光学相干层析图像散斑噪声处理与边缘特征提取[D]. 暨南大学, 2010.6.
- [38] 徐福泽. 二维条码识别系统的图像处理[D]. 烟台大学, 2008.4.
- [39] Bradski G, Kaebler A. Learning OpenCV[M], O'Reilly Media, Inc, 2008: 165-290.
- [40] 王会鹏, 周利莉, 张杰. 一种基于区域的双三次图像插值算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(19): 216-218.
- [41] 袁凤刚, 刘建成. 不同插值方法实现数字图像旋转研究[J]. 软件导刊, 2010.4, 9(4): 187-188.
- [42] 陈初侠. 图像滤波及边缘检测与增强技术研究[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2009.
- [43] 何阳清, 葛元, 王林泉. 应用几何矩和边缘检测的手势识别算法[J]. 计算机工程, 2005.8, 31(15): 165-167.
- [44] 雷丽珍. 数字图像边缘检测方法的探讨[J]. 测绘通报, 2006, 3: 40-42.
- [45] 欧珊瑚, 王倩丽. Visual C++.Net数字图像处理技术与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [46] Sun J D, Wu X S. An Effective Approach towards Contour-Shape Retrieval[C]. 2007 International Conference on Computational Intelligence and Security, 2007: 335-338.
- [47] Wu X S, Sun J D. Shape Retrieval of Irregular Objects[J]. 2008 Proceeding of Information Technology and Enviromental System Science, Volume 3: 319-322.
- [48] Bandera A, Camacho P, Sandoval F. Corner Detection by Local Histograms of Contour Chain code[J]. Electronics Letters, 1997, 3(21): 1769-1711.
- [49] Mokhtarian F, Suomela R. Robust Image Corner Detection through Curvature Scale Space[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(12): 1376-1381.

- [50] Mokhtarian F, Mohanna F. Enhancing The Curvature Scale Space Corner Detector[C]. Proceedings of Candinavian conference on Image Analysis, Norway: Bergen, 2001: 145-152.
- [51] He X C. Curvature Scale Space Corner Detector with Adaptive Threshold and Dynamic Region of Support[C]. Pattern Recognition, 2004, Proceedings of the 17th International Conference on, 2004, Vol.2: 791-794.
- [52] 张小洪, 雷明, 杨丹. 基于多尺度曲率乘积的鲁棒图像角点检测[J]. 中国图像图形学报, 2007, 7 (12): 1270-1275.
- [53] 孙君顶, 赵珊. 图像低层特征提取与检索技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [54] Dmitry C, Zsolt S. A Simple and Efficient Algorithm for Detection of High Curvature Points in Planar Curves[J]. Proceedings of the 23rd Workshop of the Austrian Pattern Recognition Group, 1999: 175-184.
- [55] Chen W B. New Iterative Algorithm for QR Detection[C]. Communications and Networking in China, 2009. ChinaCOM 2009. Fourth International Conference on, 2009.8: 1-4.
- [56] Liao Z L, Huang T L, Wang R, Zhou X Y. A Method of Image Analysis for QR code Recognition[C]. Intelligent Computing and Integrated Systems(ICISS), 2010 International Conference on, 2010.8: 250-253.
- [57] Sun M. Identification of QR Codes Based on Pattern Recognition[C]. World Automation Congress(WAC), 2010.9: 397-401.
- [58] Deguchi D, Takahashi T, Ide I, Murase H. Low Resolution QR-Code Recognition by Applying Super-Resolution Using the Property of QR-Codes[C]. Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2011 International Conference on, 2011.9: 992-996.
- [59] Belussi L F F, Hirata N S T. Fast QR Code Detection in Arbitrarily Acquired Images[C]. Graphics, Patterns and Images (Sibgrapi), 2011 24th SIBGRAPI Conference on, 2011.8: 281-288.
- [60] 张云港, 杨金华. 基于反透视变换和Hough变换的车道线检测[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2009, 31(S1): 104-108.
- [61] 郑河荣, 熊丽荣等. 基于Hough曲变换的二维条码图像矫正[J]. 浙江工业大学学报, 2003, 31(2): 169-172.
- [62] 刘宏伟, 严妍. 快速响应码的识别和解码[J]. 计算机工程与设计, 2005.6, 2(6): 1560-1562.
- [63] Rouillard J. Contextual QR Codes[C]. Computing in The Global Information Technology, 2008. ICCGI'08. The Third International Multi-Conference on, 2008.8: 50-55.
- [64] Chung C H. Image Hidden Technique Using QR-Barcode[C]. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2009.IIH-MSP'09. Fifth International Conference on, 2009.9: 522-525.
- [65] Chang F C, Fang W C. Reversible data hiding with histogram-based difference expansion for QR code applicationsp[J]. Consumer Electronics, IEEE Transactions on, 2011.5, 57(2): 779-787.

致 谢

论文能够顺利完成首先要感谢导师顾韵华教授，从最开始的论文选题到最终的写作定稿，倾注了顾老师大量的心血。在我攻读硕士研究生期间，我深深受益于顾老师的关心、爱护和谆谆教导。在我遇到瓶颈时顾老师点拨迷津，让我茅塞顿开；在论文的写作过程中，顾老师悉心指导，认真审阅；在我生活上遇到困难时，顾老师关怀备至。顾老师治学严谨，为人正直，当我取得成果时不吝夸奖，在我犯错误时严厉指出。能师从顾老师，我为自己感到庆幸。在此谨向顾老师表示我最诚挚的敬意和感谢！

特别感谢南京华博创意产业有限公司的副总李彦君，职员王航，姚钧等同事，在华博实习过程中他们对我的工作、学习和生活给出了不少宝贵的意见。

由衷感谢我身边的同学和老师，感谢实验室的师兄师姐，他们在我进入研究生阶段时给予了细心的指导和帮助；感谢师弟吴晓彦，师妹陈培培等，在整个研究过程，我们经常一起进行课题讨论，形成良好的学习氛围，在生活中大家互相帮助，亲如一家；感谢宿舍舍友朱海峰，何文庭，樊彦博，我们三年来相处融洽；感谢班级的每一位同学，他们经常在学术交流中提出一些建设性的意见。

最后衷心的感谢我的父母和其他亲朋好友对我的关心、支持和理解，没有他们对我的关心、鼓励和支持，我无法完成现在的硕士学业。

谨将本文献给所有关心帮助过我的人。

作者简介

张维祥（1987.3-），男，山东临沂人。2005 年 9 月-2009 年 6 月，就读于南京信息工程大学计算机科学与技术专业获工学学士学位。2009 年 9 月-2012 年 6 月，就读于南京信息工程大学计算机与软件学院计算机应用技术专业，学习课程 21 门，总学分 41，学位课程学分 21。

硕士期间发表的学术论文：

Gu Yunhua, Zhang Weixiang. QR code recognition based on image processing. 2011 International Conference on Information Science and Technology (EI: 20112314027319, 2011: 733-736.)

硕士期间参与项目：

（1）2011/12-2012/04 “防伪识别信息系统”项目 公司项目，负责网站设计与实现，红外 QR 码识别算法的设计与实现

（2）2011/09-2011/10 “印章管理系统”项目 公司项目，负责查询端的设计与实现。

（3）2011/06—2011/07 “Kinect 指尖识别系统”项目 公司项目，基于 OpenNI + Nite（Kinect SDK）负责设计，实现，优化识别算法。

（4）2011/03—2011/05 “小小工作室”项目 公司项目，负责识别模块图像的具体设计，编写图像实现算法和实物的识别算法。