

上海交通大学

硕士学位论文

二维条码的编解码及系统实现

姓名：万菁

申请学位级别：硕士

专业：模式识别与智能系统

指导教师：施鹏飞

20070101

# 二维条码的编解码及系统实现

## 摘 要

随着信息科学技术的发展，自动识别技术得到了广泛的应用，大大提高了各行业的生产工作效率。条码识别是以计算机图像处理、模式识别、光电技术和通信技术为基础的综合性的技术，是信息数据自动输入、识别的重要方法，已经成为当今主要的自动识别技术之一。

条码可分为一维条码 (One Dimensional Bar Code) 和二维条码(Two Dimensional Bar Code)两大类。一维条码受到容量的限制,仅能标识商品，而不能描述商品。二维条码解决了一维条码面临的容量问题，具有信息量大、可靠性高、保密防伪等优点，并可以用来表示多种语言文字、图象数据等信息。与其他自动识别技术如磁卡技术、射频技术、光学字符识别技术相比，二维条码也具有抗干扰，识别速度快，成本低廉等优势。随着我国市场经济的不断完善和信息技术的迅速发展，国内对二维条码这一新技术的需求与日俱增。

本文在研究二维条码的码制标准的基础上，设计并实现了 Data Matrix 和 QR Code 两种二维条码的编解码系统，提出了针对不同二维条码的图像识别方法。

(1) 在编码方面，主要研究多种格式数据的压缩编码算法，提出最

优编码算法。

(2) 在解码方面，主要研究不同格式数据的解码和 Reed-Solomon 纠错算法在二维条码中的应用。

(3) 在条码图像识别方面，研究如何克服图像采集中的误差和条码流通中的受损以及在复杂背景下，准确、高速的识别不同种类的条码。运用图像校正、二值化、去噪、边缘检测、Hough 变换、图像旋转等多种图像处理方法实现条码图像的预处理、条码定位、条码分割和数据提取。

(4) 在实现方面，通过 VC++ 6.0 开发平台编写 DataMatrix、QRCode 两种二维条码的生成、识别和解码软件，并在用户和软件交互功能方面进行改进，从而改善了条码软件的操作性，提高了条码方案的通用性。

**关键词：**二维条码，QR Code，DataMatrix，Reed-Solomon，RS纠错，条码识别

# ENCODING AND DECODING SYSTEM OF TWO-DIMENSIONAL BAR CODE AND ITS REALIZATION

## **ABSTRACT**

With the development of information technologies, automatic recognition technologies have been widely used in various applications, and greatly improve work efficiency of industries. The bar code recognition technology, which is based on computer technologies, pattern recognition, image processing, photo-electricity technologies and communication technologies, is an important approach to automatic input and recognition. It now becomes one of the main computer automatic recognition technologies.

The bar code can be categorized into two classes. One class is the one-dimensional bar code, and the other class is the two-dimensional bar code. The one-dimensional bar code is limited by its capacity, and thus it can only identify merchandises and cannot describe merchandises. In contrast, the two-dimensional bar code solves the capacity problem. It has many advantages, such as large information capacity, good reliability, secrecy and anti-counterfeit. Besides, it can also be used to express text and image information. Compared with other automatic recognition technologies, such as

the magnetic card technology, the radio frequency (RF) technology and the optical character recognition technology, the two-dimensional bar code technology also has advantages in anti-interference ability, fast recognition speed, and low cost. Therefore, with the improvement of Chinese market economy and development of information technologies, the demand for the two-dimensional bar code technology is increasing.

Based on the research on international symbology specification of two-dimensional bar codes, the thesis designs and realizes the Data Matrix and the QR Code encoding and decoding systems of two-dimensional bar codes, and proposes image recognition methods for two-dimensional bar codes.

(1) In the aspect of encoding, the thesis researches on compress encoding algorithms for data with a few of formats, and proposes an optimal compress encoding algorithm.

(2) In the aspect of decoding, the thesis researches on decoding algorithms for data with a number of formats, and researches on the application of the Reed-Solomon Error Correction Algorithm to two-dimensional bar codes.

(3) In the aspect of bar code image recognition, the thesis researches on how to overcome the errors in bar code image sampling and the image destruction in bar code circulation, and how to accurately and quickly

recognize all kinds of bar codes. The thesis uses image correction, image binarization, image denoising, edge detection, Hough transform, and image rotation etc. to complete the preprocessing, localization, segmentation and data extraction of bar codes.

(4) In the aspect of software realization, based on VC++6.0 a software for generating, recognizing and decoding the DataMatrix and QRCode two-dimensional bar codes is developed. The user-software interface is further improved, and thus the software can be easily operated and the general adaptability of bar code scheme is enhanced.

KEY WORDS: Two-dimensional bar code, QR code, DataMatrix,

Reed-Solomon, RS error correction, Bar code recognition

# 上海交通大学

## 学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：万菁

日期： 2007 年 1 月 30 日

# 上海交通大学

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权上海交通大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

**保密**，在 年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

**不保密**。

（请在以上方框内打“ ”）

学位论文作者签名：万菁

指导教师签名：施鹏飞

日期：2007 年 1 月 30 日

日期：2007 年 1 月 30 日



# 第一章 绪论

## 1.1 概述

条形码是由美国的N. T. Woodland在 1949 年首先提出的,在十九世纪五十年代开始得到了应用,出现了商品标识一维条码<sup>[1]</sup>。条码是由不同宽度的浅色和深色的条组成的图形,代表数字、字母或标点符号。条码是一种十分有效的识别工具,它提供准确及时的信息支持不同的管理系统,节省开支并改进业务操作。自出现以来,条码受到各领域的广泛关注和应用,如交通运输业、商业贸易、生产制造业、医疗卫生、仓储业。

目前使用频率较高的几种一维条码码制是: EAN, UPC, 三九码和 EAN128 码(国内称为 Code 128 码), 库德巴码, 二五码, 九三码等。其中 UPC 条码主要用于北美地区, EAN 条码是一种全数字的国际通用符号体系, 主要用于商品标识[3]。在工业、药物和政府应用中最常见的是三九码。作为一种字母与数字混合符号法, 三九码除有数字另外, 还能够支持大写字母并支持八个标点符号, 并且具有自我检验功能, 能够提供不同的长度和较高的信息安全性。因此三九码被一些工业贸易组织和政府部门所接受, 如汽车工业活动组织(AIAG)、保健工业贸易通讯委员会(HIBCC)和美国国防部(DOD), 在我国的邮政系统的 EMS 单上也使用了三九码。与三九码相比, Code 128 码可以表示更多的字符, 它能够代表整个 ASCII 字母系列, 并具有高信息安全性能性, 有逐渐代替三九码之势。HIBCC 和统一编码委员会(UCC)已接受一种特殊版本的 128 码 (UCC/EAN-128) 用来进行送货箱的标记, 在 ANSI 的送货箱标记标准中也承认 UCC/EAN-128 码, 可将序号、批量号和其它有关信息输入到具有该码的产品标签上。另有一些码制主要是适应于某些特殊场合, 如库德巴码用于血库、图书馆、包裹等的跟踪管理, 二五码用于包装、运输和国际航空系统为机票进行顺序编号。还有类似三九码的九三码, 它的密度较高, 可代替三九码。

一维条码给人们的工作和生活带来巨大的变化。然而, 一维条码仅仅只是一种商品的标识, 它不包含对商品的任何描述, 人们只有通过后台的数据库, 提取相应的信息才能明白商品标识的具体含义。在没有数据库或联网不便的地方, 该商品标识变得毫无意义。例如, 有一 6901028072174 的条码标识, 从 690 可知它产于中国, 但还是不清楚是什么商品。只有当我们通过网络与数据库连接, 在数据库中找到其对应的信息后才知道是长城牌香烟。此外, 一维条码无法表示汉字和图像信息, 在

有些应用汉字和图像的场所，显得十分不便。随着商品种类的多样化和信息传输的高速要求，人们迫切希望能直接从条码中获得大量产品信息，而不需要从数据库中检索信息。

现代高新技术的发展，要求条码在有限的几何空间内表示更多的信息，二维条码正是为了解决这个问题而诞生的。在有限的几何空间内印刷大量的信息，这一问题的解决可用两种方法。一是在一维条码的基础上向二维条码方向发展，采用行排式结构，把几层一维条码叠在一起，如PDF417，Code 49 条码等。二是利用图像识别原理，采用新的几何图像和结构设计出二维条码码制<sup>[2][10]</sup>，如Maxicode、QR Code、Data Matrix等。

## 1.2 二维条码研究现状<sup>[12][23][25]</sup>

### 1.2.1 国外的研究状况

国外对二维条码技术的研究始于 20 世纪 80 年代末。在二维条码符号表示技术研究方面，已研制出多种码制，常见的有 PDF417、QR Code、Data Matrix、Aztec、Maxi code、Code 49、Code 16K、Code One、Veri code、Ul tracode、Philips Dot Code、Softstrip 等。这些二维条码的密度都比传统的一维条码有了较大的提高，在二维条码标准化研究方面，国际自动识别制造商协会（AIM）、美国标准化协会（ANSI）已完成了 PDF417，QR Code，Code 49，Code 16K，Code One 等码制的符号标准。国际标准化组织已制定了 QR Code 的国际标准（ISO/IEC 18004：2000《自动识别与数据采集技术——条码符号技术规范——QR 码），以及 PDF417，Data Matrix，Maxi code 等二维条码的 ISO/IEC 标准。

在二维条码设备开发方面，美国、日本等国的设备制造商生产的符号生成、识读设备，已广泛应用于各类二维条码应用系统。现已面世的二维条码的阅读设备按阅读原理的不同可分为：

- （1）线性 CCD 和线性图像式阅读器(Linear Imager)，可阅读一维条码和行排式二维条码(如 PDF417)。在阅读二维条码时需要沿条码的垂直方向扫过整个条码，被称为“扫动式阅读”。这类产品与其它二维阅读器比较，价格便宜，有较好的性价比。
- （2）带光栅的激光阅读器，可阅读一维条码和行排式二维码。阅读二维码时将光线对准条码，由光栅元件完成垂直扫描，不需要手工扫动。

(3) 图像式阅读器(Image Reader),采用摄像方式将条码图像摄取后进行分析和解码,可阅读一维条码和所有类型的二维条码,是一种高端设备。

美国 Symbol(讯宝)公司是世界上最大的条码阅读设备制造商之一,其带光栅的激光阅读器和光电扫描技术及译码技术一直领导着世界的潮流,最近它也着手开发具新概念的图像阅读(Image Reader)技术。美国韦林(Welch Allyn)公司也是主要的二维条码阅读设备制造商之一,其 CCD 技术、图像式阅读器(Image Reader)技术以及译码技术处于世界领先地位,最近它又提出了线性图像(Linear Imaging)技术的新概念,其主要产品包括 IT3800 和 IT4400 两大系列。

在应用方面,美国、德国、日本、墨西哥、埃及、哥伦比亚、巴西、新加坡、菲律宾、南非、加拿大等国,已将二维条码技术应用于公安、外交、军事等部门对各类证件的管理,海关、税务等部门对各类报表和票据的管理,商业、交通运输等部门对商品及货物运输的管理。

### 1.2.2 国内的研究状况

我国目前广泛应用的是一维条码技术,一维条码已应用于生活的各方面,如超市、图书馆,邮件快递等。在条码译码设备方面,我国也有众多的电子公司开发一维码阅读器,不过绝大部分是光电扫描装置。

我国对二维条码技术的研究开始于 1993 年,并已经充分意识到二维条码技术的重要性。中国物品编码中心对几种常用的二维条码 PDF417, QR Code, Data Matrix, Maxicode, Code 49, Code 16K, Code One 的技术规范进行了翻译和跟踪研究。“九五”期间,PDF417 二维条码标准的研制已被列为国家重点科技攻关项目。1999 年初,朱铭基总理亲自过问了二维条码的推广情况,李岚清副总理批文国家经贸委具体落实二维条码在各行业中的应用。另外,国家经贸委主持了多次二维条码工作会议。各行业、各部委办都对二维码技术表示出极大的热情,民航、铁路、中铁快运等部门的兴趣尤为强烈。中国物品编码中心在原国家质量技术监督局和国家有关部门的大力支持下,制定了两个二维条码的国家标准:GB/T 17172-1997《四一七条码》,GB/T 18284-2000《快速响应矩阵码》。

在二维条码设备研发方面<sup>[17][30]</sup>,国内有越来越多的公司投入开发研究,由最初做国外产品代理到自主开发条码的编码译码软硬件系统。做得较好的公司有上海先达条码技术有限公司,南开戈德信息技术公司,中科大讯飞信息科技有限公司等。

在应用方面,二维条码技术已在我国的汽车行业自动化生产线、医疗急救服务

卡、涉外专利案件收费、珠宝首饰饰品管理及银行汇票上得到了应用；1999 年 3 月在北京举行的全国人大第九届三次全体会议和全国政协第九届三次会议期间，在随行人员证件、记者证、旁听证上成功地应用了二维条码技术，引起了与会代表和新闻界的极大关注；我国香港特别行政区已将二维条码应用在特别行政区的护照上 [8][9]。

### 1.3 本文的组织结构

本文的研究内容包括研究二维条码的码制标准，设计并实现了 DataMatrix 和 QR Code 两种二维条码的编解码系统，并探讨了 Reed - Solomon 纠错技术在二维条码中的应用，提出了 DataMatrix 和 QR Code 条码图像的识别方法。

本文的组织结构如下：

第一章：绪论。介绍条码技术的起源、发展，和二维条码的国内外研究状况。

第二章：条形码的码制标准及其应用。简述几种常见的一维条码三九码、UPC 条码、EAN 条码、128 条码、库德巴码的码制标准，和二维条码 PDF417、Code 49、DataMatrix、QR Code 的码制标准。比较条形码技术和其他自动识别技术的区别。

第三章：Reed-Solomon 纠错在二维条码中的应用。介绍纠错码的产生原理、伽罗华域运算、RS 纠错编码和译码原理，并以 DataMatrix 中的一个 RS 编码译码实例来说明 RS 纠错的过程和具体应用。

第四章：DataMatrix 条码的编解码系统设计及实现。设计 DataMatrix 条码的编码系统和译码系统，研究 DataMatrix 条码图像识别技术，并介绍实现的 DataMatrix\_V2.0 软件系统。

第五章：QR Code 条码的编解码系统设计及实现。设计 QR Code 条码的编码系统和译码系统，研究 QR Code 条码图像识别方法，并介绍实现的 QRCode\_V2.0 软件系统。

第六章：总结和展望。对本文的主要工作进行总结，并展望了二维条码的发展前景和面对的新问题。

## 第二章 条形码的码制标准及其应用

### 2.1 一维条码

一维条码由一组规则排列的条、空和相应的字符组成。条码信息靠条和空的不同宽度和位置来传递，信息量的大小由条码的宽度和印刷的精度来决定。条码越宽，包含的条和空越多，信息量越大；条码印刷的精度越高，单位长度内可以容纳的条和空越多，传递的信息量也越大。这种条码技术只能在一个方向上通过“条”与“空”的排列组合来存储信息，所以叫它“一维条码”。

一个完整的一维条码通常都是由两侧的空白区，起始符、数据字符、校验符(可选)、结束符和供人识别字符组成的，如图 2-1 所示。一维条码符号中的数据字符和校验符是代表编码信息的字符，左右两侧的空白区、起始符、结束符都是不代表编码信息的辅助符号，仅供条码扫描定位识读时使用。



图 2-1 一维条码 EAN-8

Figure 2-1 1-D Bar EAN-8

这种用条、空组成的数据编码可以供机器识读，而且很容易译成二进制数和十进制数。这些条和空有各种不同的组合方法，从而构成不同的图形符号，也即各种不同的码制，适用于不同场合。一维条码的种类很多，已知的条码种类现在就有 250 种之多。目前使用频率最高的几种一维条码码制<sup>[3]</sup>有：三九码、EAN、UPC、交叉二五码和 EAN 128 码。

### 2.1.1 三九码

三九码是 Intermec 公司于 1975 年推出的一种条码，它可表示数字、英文字母以及“-”、“.”、“/”、“+”、“%”、“\$”、“ ”（空格）和“\*”共 44 个符号，其中“\*”仅作为起始符和终止符。三九码有编码规则简单、误码率低、表示字符个数多等特点，因此在各个领域有着极为广泛的应用。我国也制定了相应的国家标准(GB/T 12908-2002)。三九码仅有两种单元宽度——分别为宽单元和窄单元。宽单元这宽度为窄单元的 1 到 3 倍，一般多选用 2 倍、2.5 倍或 3 倍。三九码的每一个条码字符由九个单元组成，其中有三个宽单元，其余是窄单元，因此称为三九码，如图 2-2 所示。



图 2-2 三九码  
Figure 2-2 Code 39

### 2.1.2 UPC 条码

另一种码制 UPC 条码，主要用于北美地区（美国、加拿大）。1970 年美国超级市场委员会制定了通用商品代码 UPC 码，美国统一编码委员会（UCC）与 1973 年建立了 UPC 条码系统，并全面实现了该码制的标准化。它是定长的、连续型的四种单元宽度的一维条码，包括 UPC-A 码（如图 2-3 所示）和 UPC-E 码，只可用来表示数字 0~9。UPC 条码成功地应用于商业流通领域中，这对条码的应用和普及起到了极大的推动作用。



图 2-3 UPC-A 码和 UPC-E 码  
Figure 2-3 UPC-A code and UPC-E code

以 UPC-A 码为例，它的符号组成如图 2-4 所示：

左 空 白	起 始 码	系统码 1 位	左资料码 6 位	中 间 码	右资料码 5 位	校验码 1 位	结 束 码	右 空 白
		国别代码 3 位	厂商代码 4 位	产品代码 5 位				

图 2-4 UPC-A 码的符号组成

Figure 2-4 The symbol structure of UPC-A code

### 2.1.3 EAN 条码

EAN 条码也是一种定长的、连续型的四种单元宽度的一维条码，包括 EAN-13 码和 EAN-8 码两种（图 2-5），主要用于商品标识。EAN 码由前缀码、厂商识别码、商品项目代码和校验码组成，以 EAN-8 为例，其符号组成结构如图 2-6 所示。前缀码是国际 EAN 组织标识各会员组织的代码，我国为 690、691 和 692；厂商代码是 EAN 编码组织在前缀码的基础上分配给厂商的代码；商品项目代码由厂商自行编码；校验码是为了校验代码的正确性。在编制商品项目代码时，厂商对同一商品项目必须编制相同的商品项目代码，对不同的商品项目必须编制不同的商品项目代码，保证商品项目与其标识代码一一对应。如听装健力宝饮料的条码为 6901010101098，其中 690 代表我国 EAN 组织，1010 代表广东健力宝公司，10109 是听装饮料的商品代码。这样的编码方式就保证了无论在何时何地 6901010101098 就唯一对应该种商品。另外，图书和期刊作为特殊的商品也采用了 EAN13 表示 ISBN 和 ISSN。前缀 977 被用于期刊号 ISSN，图书号 ISBN 用 978 为前缀。



图 2-5 EAN-13 条码和 EAN-8 条码

Figure 2-5 EAN-13 code and EAN-8 code

左 空 白	起 始 码	系统码 1 位	左资料码 4 位	中 间 码	右资料码 3 位	校验位 1 位	结 束 码	右 空 白
		国别代码 2 位	产品代码 5 位					

图 2-6 EAN-8 的符号组成

Figure 2-6 The symbol structure of EAN-8 code

#### 2.1.4 128 条码

还有连续型、非定长的码制,如 EAN 128 条码(国内称为 128 条码或 Code 128),见图 2-7。它是由国际物品编码协会和美国统一代码委员会联合开发,共同采用的一种特定含义的条码符号,用以表示生产日期、批号、数量、规格、保质期、收货地等商品信息。该码可表示从 ASCII 0 到 ASCII 127 共 128 个字符,故称 128 码。128 码与三九码有很多的相似性,都广泛运用在企业内部管理、生产流程、物流控制系统方面。不同的在于 128 条码比三九码能表现更多的字符,单位长度里的编码密度更高,当编码字符数超出了三九码的限制时,就可选择 128 码来编码。所以 128 码比三九码更具灵活性。



图 2-7 128 条码

Figure 2-7 code 128

#### 2.1.5 库德巴码

另有一些码制主要是适应于某些特殊场合,如库德巴码(Codebar)用于血库、图书馆、包裹等的跟踪管理。库德巴码出现于 1972 年,是长度可变的离散性自校验数字式码制。它的字符为数字 0~9,特殊字符‘-’、‘\$’、‘:’、‘/’、‘.’、和‘+’,共 16 个字符。它还有四个不同的起始、终止字符 a、b、c、d。每个字符有四个条和



三个空，其中二个或三个单元是宽单元（用二进制“1”表示），其余是窄单元（用二进制“0”表示），见图 2-8。



图 2-8 库德巴码

Figure 2-8 Codebar bar code

## 2.2 二维条码

二维条码突破了一维条码的限制(它们的对比见表 2-1)，具有高密度、大容量、抗磨损等特点，拓宽了条码的应用领域，其特点如下<sup>[19]</sup>：

表 2-1 一维条码与二维条码的对比

	一维条码	二维条码
密度	低	高
容量	小	大
存储类别	数字	数字、字符、文字、图片
纠错	仅探测错误，不纠错	具备不同安全等级的纠错
安全	不具备加密功能	可加密
主要用途	标识物品	描述物品

### （1）高密度

二维条码通过利用垂直方向的尺寸来提高条码的信息密度，通常情况下其密度是一维条码的几十到几百倍。可以把产品信息存储在一个二维条码中，要查看产品信息，只要扫描二维条码即可，不需要事先建立数据库，实现了条码对物品的描述功能。

## (2) 具有纠错功能

如果没有纠错功能,当二维条码的某部分损坏时,该条码便变得毫无意义,因此二维条码引入错误纠正机制。这种纠错机制使得二维条码因污染、破坏引起局部损坏时,照样可以正确得到识读。二维条码的纠错算法与人造卫星和 VCD 等所用的 Reed-Solomon 纠错算法相同,这种纠错机制使得二维条码成为一种安全可靠的信息存储和识别的方法,这是一维条码无法相比的。

## (3) 可以表示多种语言文字和图像数据

多数二维条码都具有字节表示模式。不论何种语言文字,它们在计算机中存储时都以机内码的形式表现,而机内码都是字节码,这样我们就可以设法将各种语言文字信息转换成字节流,然后再将字节流用二维条码表示。另外,图像多以字节形式存储,因此二维条码也可以存储图像(如照片、指纹等)信息。

## (4) 可引入加密机制

我们用二维条码表示照片时,我们可以先用一定的加密算法将图像信息加密,然后再用二维条码表示。在识别二维条码时,再加以一定的解密算法,就可以恢复所表示的照片,这样便可以防止各种证件、卡片等的伪造。

### 2.2.1 二维条码的分类

与一维条码一样,二维条码也有许多不同的编码方法,称为码制。按这些码制的编码原理而言,通常可分为以下两种类型:

#### (1) 行排式二维条码<sup>[13][24]</sup>

行排式二维条码(堆积式二维条码、层叠式二维条码),其编码原理是建立在一维条码基础之上,按需要堆积成二行或多行。有代表性的行排式二维条码有:PDF417、Code 49、Code 16K、Codablock F 条码等。

#### (2) 矩阵式二维条码<sup>[5]</sup>

矩阵式二维条码是在一个矩形空间通过黑、白像素在矩阵中的不同分布进行编码。在矩阵相应元素位置上,用点(方点、圆点或其他形状)的出现表示二进制“1”,点的不出现在表示二进制的“0”,点的排列组合确定了矩阵式二维条码所代表的意义。具有代表性的矩阵式二维条码有:Code One、Maxi code、QR Code、Data Matrix

等。

除了这些常见的二维条码之外,还有 Veri code 条码、CP 条码、田字码、Ul tracode 条码, Aztec 条码及中国自主研制的龙贝码。

下面我们介绍几种常用的二维条码<sup>[3][26][29][33][34]</sup>。

## 2.2.2 PDF417 条码

### a. PDF417 码的结构

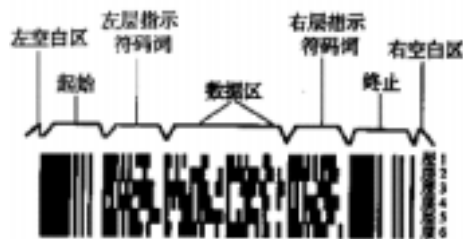


图 2-9 PDF417 条码的结构图

Figure 2-9 The symbol structure of PDF417 bar code

PDF 是取英文 Portable Data File 三个单词的首字母的缩写,意为“便携数据文件”。因为组成条码的每一符号字符都是由 4 个条和 4 个空共 17 个模块构成,所以称 417 码或 PDF417 码。其中每一层都包括下列五个部份:起始码,左标区,数据区,右标区,结束码。

除了起始码和结束码外,左标区、资料区和右标区的组成字元皆可称为字码 (Codeword),每一个字码由 17 个模块(Modules)所构成,每一个字码又可分成 4 线条(或黑线)及 4 空白(或白线),每个线条至多不能超过 6 个模组宽。

### b. PDF417 条码特点

#### (1) 信息容量大

PDF417 码除可以表示字母、数字、ASCII 字符外,还能表达二进制数。

#### (2) 错误纠正能力较高

PDF417 的一个重要特性是其自动纠正错误的能力较高,不过 PDF417 的错误纠正能力与每个条码可存放的资料量有关,PDF417 码将错误复原分为 9 个等级,其值从 0 到 8,级数愈高,错误纠正能力愈强,但可存放资料量就愈少,一般建议编入至少

10%的检查字码。

(3) 可用多种阅读设备阅读

PDF417 码可用带光栅的激光阅读器，线性及面扫描的图像式阅读器阅读。

c. PDF417 码符号的基本特性如表 2-2 所示：

表 2-2 PDF417 的基本特性

可编码字元	8 位二进制资料，多达 811800 种不同的字元集
编码格式	扩展的字母数字压缩格式，可容纳 1850 个字符
	二进制/ASCII 格式，可容纳 1108 个字符
	数字压缩格式，可容纳 2710 个字符
符号尺寸	高：3—9 层 宽：1—30 层
错误纠正码字	2—512 个
最大资料容量	安全等级为 0，每个符号可表示 1108 个位元

d. PDF417 条码的应用

目前，PDF417 条码已经广泛应用在国防、公共安全、交通运输、医疗保健、信息管理、工业商业等领域。例如在一个在图书馆中，我们可以建立一个用二维条形码存储图书名、作者、出版日期、摘要等信息的应用系统，如图 2-10 所示。

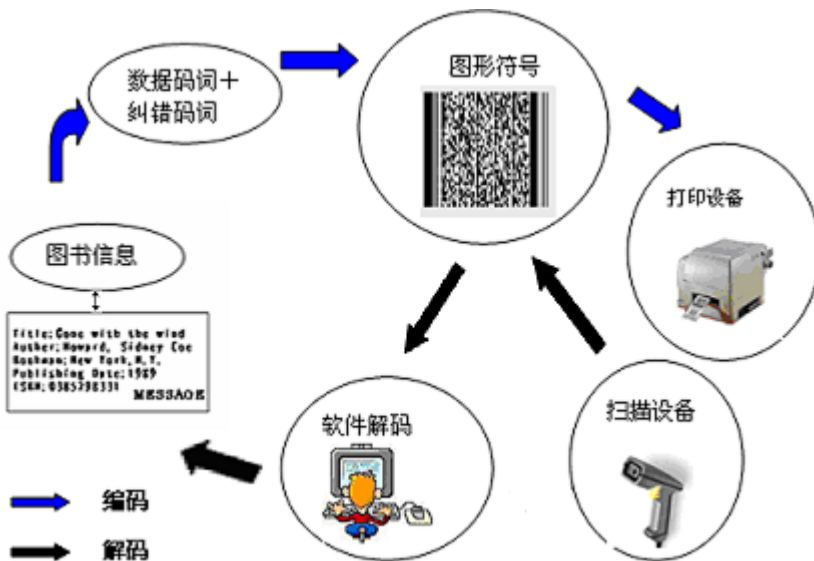


图 2-10 二维条形码 PDF417 应用于图书管理系统

Figure 2-10 The application of PDF417 bar code in library management system

由该系统流程可以看到，通过扫描系统和软件解码过程，即可得到图书的相关信息，而不需要借助于数据库或者联网信息。除了图书管理系统，其它信息管理也大致采用了图 2-10 所示的流程。

2.2.3 Code 49 条码

a. Code 49 条码结构



图 2-11 Code 49 条码  
Figure 2-11 Code 49 bar code

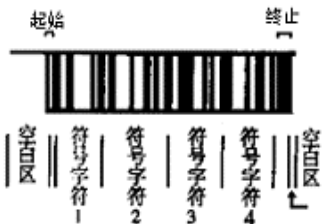


图 2-12 Code 49 的符号结构  
Figure 2-12 The symbol structure of Code 49

Code 49 是由 Intermec 公司于 1987 年研制的一种多层、连续的、可变长度的层排式二维条码。每个 Code 49 条码符号由 2 到 8 层组成，每层有 18 个条和 17 个空。层与层之间由一个层分隔条分开。每层包含有起始符和终止符作标识，起始符与终止符之间仅包含四个符号字符，每一个符号字符为 16 个模块宽，8 个单元（4 条，4 空）。

b. Code 49 符号的基本特性,见表 2-3。

表 2-3 Code 49 码符号基本特性

可编码字符集	全部 128 个 ASCII 字符
符号尺寸	宽度：81X（包括空白区） 高度：可变（2 - 8 层）
数据容量	2 层符号：9 个数字字母型字符或 15 个数字字符 8 层符号：49 个数字字母型字符或 81 个数字字符
校验功能	具有层自校验功能，2 个或 3 个符号校验字符，强制性

c. Code 49 码的应用

Code49 码是最早产生的二维条码之一，它非常适用于小型包装容器或物品。

#### 2.2.4 Data Matrix 条码

Data Matrix原名Data code，是一种矩阵式二维条码，在 1989 年由美国国际资料公司(International Data Matrix, 简称ID Matrix)发明。Data Matrix的尺寸可任意调整，最大可到 14 平方英寸，最小可到 0.0002 平方英寸，这个尺寸是目前所有条码中最小的。因此Data Matrix尤其适用于小零件的标识，以及直接印刷在实体上，如印在电路板的零组件上。

Data Matrix 又可分为 ECC000-140 与 ECC200 两种类型。ECC000-140 具有多种不同等级的错误纠正功能，而 ECC200 则通过 Reed-Solomon 演算法产生多项式计算出错误纠正码，其符号尺寸可以根据需求生成不同大小，但采用的错误纠正码应与尺寸配合。ECC200 由于其演算法容易，且尺寸有弹性，故较为普遍。



(a) ECC 140 (浅色背景黑色图) (b) ECC 200 (浅色背景黑色图案) (c) ECC200 (深色背景浅色图)  
(a) ECC 140 (dark on light) (b) ECC 200 (dark on light) (c) ECC 200 (light on dark)

图 2-13 Data Matrix ECC140 和 ECC200 条码

Figure 2-13 DataMatrix ECC 140(a) and ECC 200 (b & c)

##### a. Data Matrix 条码结构

Data Matrix 符号的数据区由规则排列的方形深浅模块构成。数据区的四周是探测图形(Finder Pattern)，探测图形外则是空白区，如图 2-13(b)所示。探测图形为一个模块宽度，是数据区的边界，其中两条邻边为暗实线，形成了一个 L 型边界，用于限定物理尺寸、定位和符号失真。另两条邻边由交替的深色模块和浅色模块组成，主要用于限定符号的单元结构，也能帮助确定物理尺寸及失真。

在识别上，ECC000-140 符号与 ECC200 符号的区别在于，ECC000-140 符号的右上角方格为深色，而 ECC200 符号的右上角方格为浅色。

##### b. Data Matrix 码的基本特性，见表 2-7。

表 2-7 Data Matrix 符号的特性

选 项	特 性
符号尺寸	ECC000-140 : $9 \times 9 \sim 49 \times 49$ , 仅为奇数 ECC200 : $10 \times 10 \sim 144 \times 144$ , 仅为偶数
可编码字符集	· 0 ~ 127, 全部 128 个 ASCII 字符 · 128 ~ 255, 扩展 ASCII 字符
数据类型与容量	· 数字数据 : 3116 个字符 · 文本字符 : 2335 个字符 · 8 位字节数据 : 1556 个字符
纠错能力	ECC000-140 : 四个等级的卷积纠错; ECC200 : Reed-Solomon 纠错
附加性能	反转映像: 深色背景上浅色图形或浅色背景上深色图形均可 (图 2-13) 扩充解释: 仅 ECC200 中可选, 使得符号进行针对性编码 结构化追加: 仅 ECC200 中可选, 允许一个数据文件以最多 16 个符号表示

### 2.2.5 QR Code 条码

QR Code (Quick Response Code), 称为快速响应矩阵码<sup>[4]</sup>, 是由日本Denso公司于 1994 年 9 月研制的一种矩阵式二维条码, 它除具有其它二维条码的共同特点信息容量大、可靠性高、可表示汉字及图像等多种格式信息之外, 还具有下列特点:

#### (1) 超高速识读

该特点是 QR Code 码区别于 PDF417、Data Matrix 等二维条码的主要特性。CCD 二维条码识读设备, 每秒可识读 30 个含有 100 个字符的 QR Code 条码符号; 对于含有相同数据信息的 PDF417 码, 每秒仅能识读 3 个条码符号; 对于 Data Matrix 矩阵码, 每秒仅能识读 2 ~ 3 个条码符号。QR Code 码的超高速识读特性使它能够广泛应用于工业自动化生产线管理等领域。

#### (2) 全方位识读

QR Code 的另一主要特点是可以全方位 ( $360^\circ$ ) 识读。这点对于行排式二维条码, 如 PDF417 很难做到, 其识读方位角仅为  $\pm 10^\circ$ 。

#### (3) 高效表示汉字

QR Code 用特定的数据压缩模式表示中国汉字和日本汉字, 它仅用 13bit 表示一个汉字, 而 PDF417、Data Matrix 等二维条码没有特定的汉字表示模式, 表示一个汉字需用 16bit (二个字节)。

## a. QR Code 条码结构

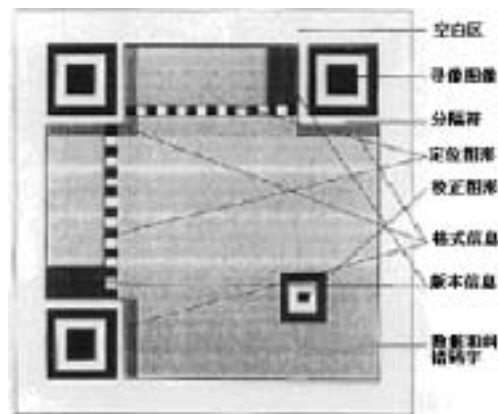


图 2-14 QR 码的结构图

Figure 2-14 The symbol structure of QR Code

每个 QR 码符号是由正方形模块组成的一个正方形阵列，它由编码区域和功能图形组成。功能图形是用于符号定位与特征识别的特定图形，不用于数据编码，它包括位置探测图形（寻像图形）、分隔符、定位图形和校正图形。符号的四周留有宽度至少为四个模块的空白区。图 2-14 为 QR 码某个版本的结构图。

## (1) 寻像图形

它包括三个相同的位置探测图形，分别位于符号的左上角、右上角和左下角，如图 2-14 所示。每个位置探测图形由三个同心的正方形组成，分别为  $7 \times 7$  个深色模块、 $5 \times 5$  个浅色模块、 $3 \times 3$  个深色模块。由于有掩模的作用，符号中其他地方遇到类似图形的可能性极小，所以寻像图形可以用来识别 QR 码符号，并可确定条码的位置和方向。

## (2) 定位图形

水平和垂直定位图形分别为一个模块宽的，由深色与浅色模块交替组成的一行和一列图形，它们的位置分别位于第 6 行与第 6 列。作用为确定符号的密度和版本，为模块坐标位置作参考。

## (3) 校正图形

每个校正图形可看作是三个同心的正方形，由  $5 \times 5$  深色模块， $3 \times 3$  浅色模块和一个中心深色模块构成。校正图形的数量视版本而定。

## b. QR Code 码的基本特性，见表 2-6



表 2-6 QR Code 码的基本特性

符号尺寸	21×21 模块（版本 1） - 177×177 模块（版本 40）
可编码字符集及容量	· 数字型数据： 7089 个字符 · 字母数字型数据： 4296 个字符 · 8 位字节型数据： 2953 个字符 · 中国汉字字符 及日本汉字字符：1817 个字符
数据表示方法	深色模块表示二进制“1”，浅色模块表示二进制“0”
纠错能力	采用 Reed-Solomon 纠错，纠错等级分为 L 级（纠错 7%）、M 级（纠错 15%）、Q 级（纠错 25%）、H 级（纠错 30%）
附加特性	结构链接：允许最多 16 个 QR 码在逻辑上连续表示一个数据文件 掩模：使得因相邻模块的排列造成译码困难的可能性降为最小 扩充解释：可以进行针对性编码

## 2.2.6 其他几种码制

### （1）Maxicode 条码

Maxicode 是一种中等容量、尺寸固定的矩阵式二维条码，它由紧密相连的六边形模组和位于符号中央位置的定位图形所组成。Maxicode 是特别为高速扫描而设计，主要应用于包裹搜寻和追踪上。

### （2）Vericode 条码

由 Vericode 公司研制的一种矩阵式二维条码。

### （3）CP 条码（CP bar code）

由日本的 CPTRON 公司研制的一种矩阵式二维条码。

### （4）田字码（Calra code）

由日本的 ALEC 公司研制的，其单元的形状类似于汉字“田”的一种矩阵式二维条码。

### （5）Ultracode 条码

由 Clive Hohberger 研制的一种线型矩阵式二维条码。

### （6）Aztec 条码

Aztec 是由美国韦林（Welch Allyn）公司推出的，最多可容纳 3832 个数字或 3067 个字母字符或 1914 个字节的数据。

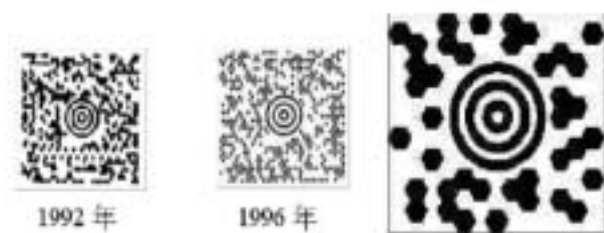


图 2-15 Maxi code 外观(1992 版和 1996 版)及中心放大图  
Figure 2-15 Maxicode bar codes in version-1992 and version-1996



图 2-16 Veri code 条码  
Figure 2-16 Vericode bar code

## 2.2.7 二维条码之间的比较

### (1) QR Code、Data Matrix 和 PDF417 的比较

QR Code、Data Matrix 和 PDF417 目前应用比较广的三种条码。我们把他们的识别效率进行比较，得到表 2-7。

表 2-7 QR Code 与 Data Matrix 和 PDF417 的比较

码制	QR Code	Data Matrix	PDF 417
研制公司	Denso Corp.	I.D. Matrix Inc.	Symbol Technologies Inc
	(日本)	(美国)	(美国)
码制分类	矩阵式		行排式
识读速度	30 个/每秒	2~3 个/秒	3 个/秒
识读方向	全方位 (360°)		$\pm 10^\circ$
识读方法	深色/浅色模块判别		条空宽度尺寸判别
汉字表示	13bit	16bit	16bit

### (2) 适用范围比较

二维条码的种类繁多，不同的应用对象和应用场合需要选择最适合的二维条码。我们把各种二维条码的适用范围做了比较，见表 2-8。

表 2-8 各种条码的适用范围

类型	条码名称	适用范围
行排式	Code 49	小型包装容器或物品
	PDF417	EDI/高品质运输/产品行销/设备管理/物品安全管制表
矩阵式	Data Matrix	小零件标识/电路板的零组件
	QR Code	工业自动化生产线管理/表示中日文字
	Maxicode	搜寻追踪/包裹的分拣和跟踪
	Vericode	航空/电子/自动化/制造业/医疗卫生
	田字码	预付款卡/ID 卡/程序卡/自动贩卖机的记录卡
	龙贝码	信息安全防伪/证照管理/物品管理

### 2.3 条码与其他自动识别技术的比较

自动识别技术近几十年在全球范围内得到了迅猛发展，初步形成了一个包括条码技术、磁条(卡)技术、光学字符识别、系统集成化、射频技术、声音识别及视觉识别等集计算机、光、机电、通信技术为一体的高新技术学科。当今信息社会离不开计算机，正是自动识别技术的崛起，提供了快速、准确地进行数据采集输入的有效手段，解决了由于计算机数据输入速度慢、错误率高等造成的“瓶颈”难题。

这里把条码与其它自动识别技术做个简单比较<sup>[54][55]</sup>。

条码、OCR(光学字符识别)和 MICR(磁性墨水)都是一种与印刷相关的自动识别技术。OCR 的优点是人眼可读、可扫描，但输入速度和可靠性不如条码，数据格式有限，通常要用接触式扫描器；MICR 是银行界用于支票的专用技术，在特定的领域中应用，成本高，而接触识读，可靠性高。

磁条技术是接触识读，它的优势在于：一是其数据可做部分读写操作，二是给定面积编码容量比条码大。但是其对于物品逐一标识成本比条码高，而且接触性识读最大缺点就是灵活性太差。

射频(RF)识别和条码一样是非接触式识别技术，由于无线电波能“扫描”数据，所以 RF 挂牌可做成隐形的，有些 RF 识别技术可读数公里外的标签，RF 标签可做成可读写的。RF 识别的缺点是标签成本相当高，而且一般不能随意扔掉，而多数条码扫描寿命结束时可扔掉。

另外，声音、视觉等识别技术目前不如条码技术成熟，其技术和应用的标准也还不够健全。

表 2-10 是条码技术与其他自动识别技术的一个简单的比较表。

表 2-10 条码与其他自动识别技术的比较

项目\名称	键盘	OCR	磁条(卡)	条码	射频
输入 12 位数据速度	6 秒	4 秒	0.3-2 秒	0.3-2 秒	0.3-0.5 秒
误读率	1/300	1/10000		1/15000-1/10000000	
印刷密度	——	10-12 字符/英寸	48 字符/英寸	最大 20 字符/英寸	4-8000 字符
印刷面积	——	2.5mm 高	6.4mm 高	长 15 × 宽 4mm	直径 4 × , 长 32mm 至纵 54 × , 横 86mm
基材价格	无	低	中	低	高
扫描器价格	无	高	中	低	高
非接触识读	——	不能	不能	接触 ~ 5m	接触 ~ 50m
优点	操作简单、可用眼阅读、键盘本身便宜	可用眼阅读	数据密度高、输入速度快	输入速度快、设备便宜、设备种类多、可非接触式识读	可在灰尘油污等情况下使用、可非接触式识读
缺点	识读率高、输入速度低、输入受个人因素影响	输入速度低、不能非接触式识读、设备价格高	不能直接用眼阅读、不能非接触式识读；数据可变更	数据的不可更改、不能用眼直接阅读	发射、接收装置价格昂贵；发射装置寿命短、数据可改写

通过比较，我们可以看出条码技术能在商品、工业、邮电业、医疗卫生、物资管理、安全检查、餐旅业、证卡管理、军事工程、办公室自动化等领域中得到广泛应用，主要是由于它具有以下特点：

- (1) 高速: 键盘输入 12 位数字需 6 秒钟，而用条码扫描器输入则只要 0.2 秒。
- (2) 准确: 条码的正确识读率达 99.9%。
- (3) 成本低: 条码标签成本低，识读设备价格便宜。
- (4) 灵活: 根据顾客或业务的需求，容易开发出新产品；识读方式多，有手动式、固定式、半固定式；输入、输出设备种类多，操作简单。
- (5) 可扩展: 目前在世界范围内得到广泛应用的 EAN 码是国际标准的商品编码系统，横向、纵向发展余地都很大，现已成为商品流通业，生产自动管理，特别是 EDI(电子数据交换)和国际贸易的一个重要基础，并将发挥巨大作用。

当然，由于几种自动识别技术各有特点，在实际应用时，应具体情况具体分析，综合比较，全面考虑。

### 第三章 Reed-Solomon 纠错在二维条码中的应用

由于条码在使用过程中很容易受到穿孔、污渍、涂痕、撕损等各种形式的破坏，因此条码的检错和纠错能力对于条码的正确读取极为重要。一维条码主要依靠垂直方向的重复信息保证条码被正确读取，其校验信息一般只能用来检查是否出现错误，而不能纠正错误。当条码损坏较为严重时，一维条码只能采取拒绝读取的方式避免条码被错误读取。二维条码含有比一维条码更多的信息量，其信息也更容易受到损坏。要保证二维条码的信息能正确解码，需要有一定比例的信息作为冗余信息保存在条码中，在条码受到局部破坏时这些冗余信息可用来恢复原有信息，保证条码正确地识别。这样地冗余信息，我们称为纠错码字。

二维条码 PDF417、QR Code、DataMatrix、Maxicode 等之所以具有纠错能力强、译码可靠性高等优点，是由于它们都采用了目前世界上最先进的纠错码技术之一，Reed-Solomon(RS) 错误控制码。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，尤其对那些突发性的错误干扰更有效。RS 码具有卓越的性能，不过当纠错级数较大时，其运算复杂度也相应增加。所以了解 RS 纠错编码的原理，选择合适的纠错译码算法，是设计二维条码编解码系统的一个关键技术问题。

#### 3.1 预备知识<sup>[50]</sup>

从理论上说，纠错编码是建立在近世代数学基础上的，它是信息论的一个重要分支，从五十年代开始至今发展很快，许多内容已经建立起完整的、严密的理论体系。

在普通代数里，研究的对象是数，运算的方法就是对数做加、减、乘、除的计算。而近世代数所研究的对象已由数扩大到包括不是数的事物，其研究的内容是所谓代数系统，即在若干事物之间也可以象数那样，有一定的代数结构和运算规律。因此，近世代数是研究带有运算的集合，是研究代数结构性质的理论。近世代数在自然科学的许多部门里都有重要的应用，更是纠错编码技术的理论基础。在这里，

当然，由于几种自动识别技术各有特点，在实际应用时，应具体情况具体分析，综合比较，全面考虑。

### 第三章 Reed-Solomon 纠错在二维条码中的应用

由于条码在使用过程中很容易受到穿孔、污渍、涂痕、撕损等各种形式的破坏，因此条码的检错和纠错能力对于条码的正确读取极为重要。一维条码主要依靠垂直方向的重复信息保证条码被正确读取，其校验信息一般只能用来检查是否出现错误，而不能纠正错误。当条码损坏较为严重时，一维条码只能采取拒绝读取的方式避免条码被错误读取。二维条码含有比一维条码更多的信息量，其信息也更容易受到损坏。要保证二维条码的信息能正确解码，需要有一定比例的信息作为冗余信息保存在条码中，在条码受到局部破坏时这些冗余信息可用来恢复原有信息，保证条码正确地识别。这样地冗余信息，我们称为纠错码字。

二维条码 PDF417、QR Code、DataMatrix、Maxicode 等之所以具有纠错能力强、译码可靠性高等优点，是由于它们都采用了目前世界上最先进的纠错码技术之一，Reed-Solomon(RS) 错误控制码。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，尤其对那些突发性的错误干扰更有效。RS 码具有卓越的性能，不过当纠错级数较大时，其运算复杂度也相应增加。所以了解 RS 纠错编码的原理，选择合适的纠错译码算法，是设计二维条码编解码系统的一个关键技术问题。

#### 3.1 预备知识<sup>[50]</sup>

从理论上说，纠错编码是建立在近世代数学基础上的，它是信息论的一个重要分支，从五十年代开始至今发展很快，许多内容已经建立起完整的、严密的理论体系。

在普通代数里，研究的对象是数，运算的方法就是对数做加、减、乘、除的计算。而近世代数所研究的对象已由数扩大到包括不是数的事物，其研究的内容是所谓代数系统，即在若干事物之间也可以象数那样，有一定的代数结构和运算规律。因此，近世代数是研究带有运算的集合，是研究代数结构性质的理论。近世代数在自然科学的许多部门里都有重要的应用，更是纠错编码技术的理论基础。在这里，

我们仅对所需具备的数学知识做一个简单的介绍。

### 3.1.1 集合

若干固定事物的全体称作一个集合。组成一个集合的事物叫做这个集合的元素，简称元。

### 3.1.2 群 (G)

群是各种代数系统如环、域等的基础，也是学习纠错码的基础。

**定义 1** 令  $G$  是一组元素的集合，在该集合内定义了一种代数运算，并满足以下四条公理：

- (1) 封闭性。对任意元素  $a, b \in G$ ，恒有  $a \circ b \in G$ 。
- (2) 单位元。在  $G$  内含有一个单位元（或恒等元） $e$ ，对任何  $a \in G$ ，恒有
 
$$e \circ a = a \circ e = a。$$
- (3) 有逆元。对任何元素  $a \in G$ ，必有一个元素  $a^{-1} \in G$ ，使  $a \circ a^{-1} = a^{-1} \circ a = e$ ，称  $a^{-1}$  是  $a$  的逆元。
- (4) 结合律成立。对任何  $a, b \in G$ ，有  $a \circ (b \circ c) = (a \circ b) \circ c$ 。

则称该元素集合  $G$  是一个群。如果群  $G$  还满足交换律，即对任何元素  $a, b \in G$ ，在  $\circ$  运算下，满足  $a \circ b = b \circ a$ ，则称该群  $G$  是交换群或阿贝尔群。

**定义 2** 若两个整数  $a, b$  被同一正整数  $m$  除时，有相同的余数：

$$a = q_1 m + r \quad b = q_2 m + r$$

则称  $a, b$  关于模  $m$  同余，记为  $a \equiv b \pmod{m}$ 。可以验证，元素集合  $\{0, 1, 2, \dots, m-1\}$ ，在模  $m$  加运算下，也构成  $m$  阶的阿贝尔加群，称此群为剩余类群。

### 3.1.3 环

**定义 3** 非空元素集合  $R$  中，若定义了二种运算乘和加，且满足以下条件：

- (1) 对加法运算构成阿贝尔加群。

(2)对乘法运算封闭。即对任何  $a, b \in R$  , 恒有  $ab \in R$  。

(3)乘法结合律成立。即对任何  $a, b, c \in R$  , 恒有  $a(bc) = (ab)c$  。

(4)加法和乘法之间有分配律。即对任何  $a, b \in R$  , 有

$$a(b+c) = ab+ac , \quad (b+c)a = ba+ca$$

则称  $R$  是一个环。如果乘法运算还满足交换律, 则称为可换环。

例如, 集合  $\{0, 1, 2, \dots, m-1\}$  在模  $m$  运算下也构成一个可换环, 称这种环为模  $m$  的剩余类环。

**定义 4** 如同整数的欧几里德除法, 任何两个系数是实数德多项式  $f(x), g(x)$ , 一定可以表示成

$$f(x) = q(x)g(x) + r(x) \equiv r(x) \bmod g(x) , \quad 0 \leq a^0 r(x) < a^0 g(x) \quad (3-1)$$

式中  $a^0 r(x)$  表示  $r(x)$  的次数, 而  $f(x) \equiv r(x) \bmod g(x)$  表示  $f(x)$  用多项式  $g(x)$  除后余式为

$r(x)$ 。

#### 3.1.4 域

**定义 5** 非空元素集合  $F$ , 若在其中定义了加和乘两种运算, 且满足下述公理:

- (1)  $F$  关于加法构成阿贝尔群。其加法单位元记为  $0$ 。
- (2)  $F$  中的非零元素全体对乘法构成阿贝尔群, 其乘法单位元记为  $1$ 。
- (3) 加法和乘法间有如下分配律:

$$a(b+c) = ab+ac , \quad (b+c)a = ba+ca , \quad a, b, c \in F$$

则称  $F$  是一个域。

若域中元素的个数为有限, 则称为有限域, 也称伽罗华域。域中元素的个数  $q$ , 称为域的阶。  $q$  阶有限域用  $GF(q)$  表示。

若  $m$  次多项式  $f(x) = f_m x^m + f_{m-1} x^{m-1} + \dots + f_1 x + f_0$  的系数  $f_i (i = 0, 1, 2, \dots, m)$  仅取  $GF(p)$  中的元素, 则称  $f(x)$  是  $GF(p)$  上的多项式。



**定义 6** 以素数  $q$  为模的整数剩余类构成  $q$  阶有限域  $GF(q)$ 。在  $GF(q)$  中, 某一元素  $a$  满足  $a^{q-1} = 1$ , 则称  $a$  为  $GF(q)$  的本原域元素, 简称本原元。在任何  $GF(q)$  中都能找到一个本原元  $a$ , 能用它的幂次表示所有  $q-1$  个非零元素, 从而组成一个循环群  $G(a) : 1, a, \dots, a^{q-1}$ , 其中  $a^{q-1} = 1$ 。

### 3.2 线性分组码

要了解 RS 码, 我们先介绍线性分组码的概念<sup>[51]</sup>。

分组码编码器 (如图 3-1 所示) 是把信源输出的信息序列, 按  $k$  个相继码元分为一组 (信息组), 并按一定规则对每一信息末增加  $r = n - k$  个校验元, 组成长为  $n$  的  $n$  重码字。在二进制情况下, 长为  $k$  的信息组共有  $2^k$  组, 通过编码器后, 相应的码字也有  $2^k$  个, 称这  $2^k$  个码字集合为  $(n, k)$  分组码。

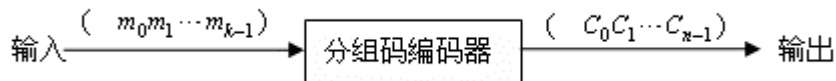


图 3-1 分组码编码器

Figure 3-1 Grouping encodor

线性分组码中的一个重要参数是码率  $R = \frac{k}{n}$ , 它说明在一个码字中信息位所占的比重。R 越大, 说明信息位占的比重越大, 码的传输信息的有效性越高。

#### (1) 汉明距离

除码率  $R$  外, 另两个重要的参数是码的汉明距离和汉明重量。

**定义 7** 两个  $n$  重  $C_1, C_2$  之间, 对应位取值不同的个数, 称为它们之间的汉明距离, 用  $d(C_1, C_2)$  表示, 简称距离。

如  $C_1 = (110100)$ ,  $C_2 = (101011)$ , 则  $d(C_1, C_2) = 5$ 。

#### (2) 汉明重量

**定义 8**  $n$  重  $C_i$  中非 0 码元的个数，称为  $n$  重的汉明重量，用  $w(C_i)$  表示之，简称重量。

如  $C_1 = (110100)$ ， $C_1$  的重量  $w(C_1) = 3$ 。

**定理 1** 任一个  $(n, k)$  线性分组码，若要在码字内

- (1) 检测  $e$  个随机错误，则要求码的最小距离  $d \geq e + 1$ 。
- (2) 纠正  $t$  个随机错误，则要求  $d \geq 2t + 1$ 。
- (3) 纠正  $t$  个随机错误同时检测  $e (\geq t)$  个错误，则要求  $d \geq t + e + 1$ 。
- (4) 纠正  $t$  个随机错误同时纠正  $e$  个错误，则要求  $d \geq 2t + e + 1$ 。

证明略。

该定理是纠错码理论中最重要的基本定理之一。它说明了码的  $d$  与纠错能力之间的关系。码的最小距离  $d$  直接确定了码的纠错能力，它是纠错码中另一个重要参数，因此也经常用  $(n, k, d)$  表示最小距离为  $d$ ，码长为  $n$ ，有  $k$  个信息位的线性分组码。

### 3.3 循环码

循环码是线性分组码中最重要的一个子类，它的结构完全建立在有限域基础上，具有以下两个特点：一是码的编码电路及伴随式计算电路简单，易于实现；二是循环码的代数结构具有很多有用的性质，易于找到有效的译码方法。

循环码中最重要的二类码是 BCH 码和 RS 码。

**定义 9** 任一个  $GF(q)$  上的  $n$  维线性空间  $V_n$  中，若  $V_{n,k}$  是  $V_n$  的一个  $k$  维子空间，对任何  $C_i = (c_{n-1}, c_{n-2}, \dots, c_0) \in V_{n,k}$ ，必有  $C_i = (c_{n-2}, c_{n-3}, \dots, c_0, c_{n-1}) \in V_{n,k}$ ，则称  $V_{n,k}$  是循环子空间或循环码。

#### 3.3.1 BCH 码

BCH 码是 1959 年由霍昆格姆 (Hocquenghem)，1960 年由博斯 (Bose) 和查德哈里 (Chandhari) 各自提出的纠多个随机错误的循环码，这是迄今为止发现的最好的线性分组码之一。

**定义 10** 以  $GF(2^m)$  中的本原元  $\alpha$  为根的， $GF(2)$  上的最小多项式  $P(x)$ ，称为本

原多项式。

**定义 11**  $q$  进制循环码的生成多项式  $g(x)$ ，若含有以下  $\delta - 1$  个连续根：

$$a^{m_0}, a^{m_0+1}, \dots, a^{m_0+\delta-2}$$

则由  $g(x)$  生成的  $(n, k)$  循环码称为  $q$  进制 BCH 码。

### 3.3.2 RS 码

RS 码是 BCH 码中最重要的一个子类。在  $q$  进制 BCH 码的码字中，每个码元的取值在  $GF(q)$  上，但  $g(x)$  的根却在  $GF(q)$  的扩域  $GF(q^m)$  中，即码元取值的域  $GF(q)$ ，与  $g(x)$  的根所在的域  $GF(q^m)$  并不相同。如果码元取值的域与码的  $g(x)$  的根所在的域相同，则称这类 BCH 码为 RS 码。

**定义 12**  $GF(p^m)$  ( $p^m \neq 2$ ) 上，以该域中元素为根的 BCH 码称为 RS 码。

例如， $\alpha \in GF(p^m)$  是本原元，求设计距离为  $d$  的 RS 码。

由定义 12 可知，码的生成多项式为：

$$g(x) = (x - a^{m_0})(x - a^{m_0+1}) \dots (x - a^{m_0+d-2}) \quad (3-2)$$

若  $m_0 = 0$ ，则码的生成多项式  $g(x) = (x-1)(x-a) \dots (x-a^{d-2})$ ，码长  $n = p^m - 1$ 。

若  $m_0 = 1$ ，则码的生成多项式  $g(x) = (x-a)(x-a^2) \dots (x-a^{d-1})$ ，码长  $n = p^m - 1$ 。

## 3.4 RS 码的编码电路

上节我们介绍了循环码，RS 码也是循环码的一种<sup>[52]</sup>。对于循环码来说，一旦生成多项式  $g(x)$  确定了，则码就完全确定了。循环码的每个码多项式  $C(x) = g(x)m(x)$ ，都是  $g(x)$  的倍式。对系统码来说，就是已知信息多项式  $m(x)$ ，求  $m(x)x^{n-k}$  被  $g(x)$  除以后的余式  $r(x)$ 。所以，循环码的编码器就是  $m(x)$  乘  $g(x)$  的乘法器，或者是  $g(x)$  的除法电路。

RS 编码电路如图 3-2 所示。

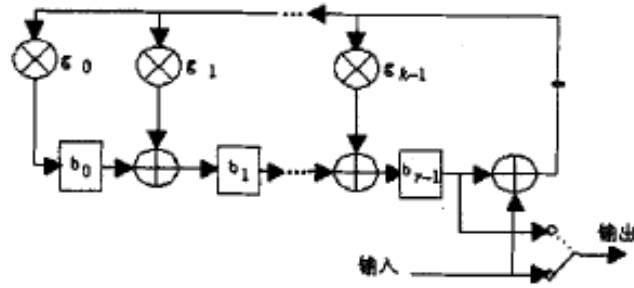


图 3-2 RS 编码电路

Figure 3-2 RS encoding circuits

其中  $g_0, g_1, \dots, g_{k-1}$  是生成多项式的系数 (已知), 当数据从输入端输入, 最后寄存器  $b_0, b_1, \dots, b_{p-1}$  所得值就是纠错码。电路中进行了乘法和加法运算, 这两种运算都是在伽罗华域  $GF(2^m)$  上进行的。

### 3.5 伽罗华域运算

$GF(2^m)$  中的元素有两种表示方法, 指数表示方法和二进制比特串表示方法 (即有些书上的多项式表示方法)。对于  $GF(2^m)$  上的运算, 加减法都是逐比特做异或运算, 得到的二进制序列就是结果。乘法和除法的实现较为复杂, 需要查特定的映射和反映射表。James S. Plank[5][6] 给出了对于不同  $m$ , 生成这两种表的软件实现方法, 生成这两个表需要用到本原多项式。由伽罗华域的性质可知, 若  $\alpha$  是  $GF(2^m)$  的本原域元素, 则  $GF(2^m)$  中每一元素都可表示成  $\alpha$  的幂。

二维条码 QR Code、DataMatrix、PDF417 和 Maxicode 码的 RS 纠错编码原理都相同, 不同的是它们采用不同的本原多项式, 不同的生成多项式, 因此编出的纠错码字也不同。例如 QR Code 是伽罗华域  $GF(2^8)$  以 100011101 表示本原多项式:

$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ 。Maxicode 码字为 6 个比特, 对应伽罗华域  $GF(2^6)$ , 其本原多项式:

$x^6 + x + 1$ 。

下面以一个较简单例子说明伽罗华域的构造。

构造  $GF(2^3)$  域的本原多项式  $P(x)$  假定为

$$P(x) = x^3 + x + 1 \quad (3.3)$$

$\alpha$  定义为  $P(x) = 0$  的根，即

$$\alpha^3 + \alpha + 1 = 0 \quad \text{或} \quad \alpha^3 = \alpha + 1 \quad (3.4)$$

$GF(2^3)$  中的元素可计算如下表 3 - 1：

表 3-1  $GF(2^3)$  域元素对照表

$GF(2^3)$ 域元素	指数表示方法	二进制比特 串
0	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = 0$	000
$\alpha^0$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^0 = 1$	001
$\alpha^1$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^1$	010
$\alpha^2$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^2$	100
$\alpha^3$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha + 1$	011
$\alpha^4$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^2 + \alpha$	110
$\alpha^5$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^2 + \alpha + 1$	111
$\alpha^6$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^2 + 1$	101
$\alpha^7$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^0$	001
$\alpha^8$	$\text{Mod}(\alpha^3 + \alpha + 1) = \alpha^1$	010
...	...	...

这样一来就建立了  $GF(2^3)$  域中的元素与 3 位二进制数之间的一一对应关系。用

同样的方法，有了本原多项式，就可建立  $GF(2^8)$  域中的 256 个元素与 8 位二进制数

之间的一一对应关系。在纠错编码运算过程中，加、减、乘和除的运算是在伽罗华域中进行。仍以  $GF(2^3)$  域中运算为例。

加法： $\alpha^0 + \alpha^3 = 001 + 011 = 010 = \alpha^1$

减法：伽罗华域中减法与加法相同，加法和减法相当于二进制数的按位异或运算。

乘法： $\alpha^5 \cdot \alpha^4 = \alpha^{(5+4) \bmod 7} = \alpha^2$

除法： $\alpha^5 / \alpha^3 = \alpha^2$ ， $\alpha^3 / \alpha^5 = \alpha^{-2} = \alpha^{-2+7} = \alpha^5$

对数： $\log(\alpha^5) = 5$

上述这些运算的结果仍然在  $GF(2^3)$  域中。

### 3.6 二维条码中 RS 编码实例

上两节介绍了 RS 编码电路和伽罗华域上的运算，这节我们以 DataMatrix 二维条码的 RS 编码为例，说明 RS 编码的具体运作方式<sup>[6]</sup>。

假设我们输入数据流 142, 164, 186 通过如图 3-2 的 RS 编码电路。由 DataMatrix 的标准，对数据长度为 3 的数据，其纠错码长度为 5，其多项式系数为：62, 111, 15, 48, 228，相当于电路中  $g_0=228$ ,  $g_1=48$ ,  $g_2=15$ ,  $g_3=111$ ,  $g_4=62$ 。但是因为是在伽罗华域上进行运算，所以多项式系数需要映射成伽罗华域上的值，所以映射后  $g_0=15$ ,  $g_1=244$ ,  $g_2=210$ ,  $g_3=207$ ,  $g_4=235$ 。同时数据流 142, 164, 186 也需要映射成伽罗华域上的值，映射后为 185, 80, 33。

第一次输入数据 ‘142’ (185)，括号中为对应的伽罗华域上的值，以下类似。

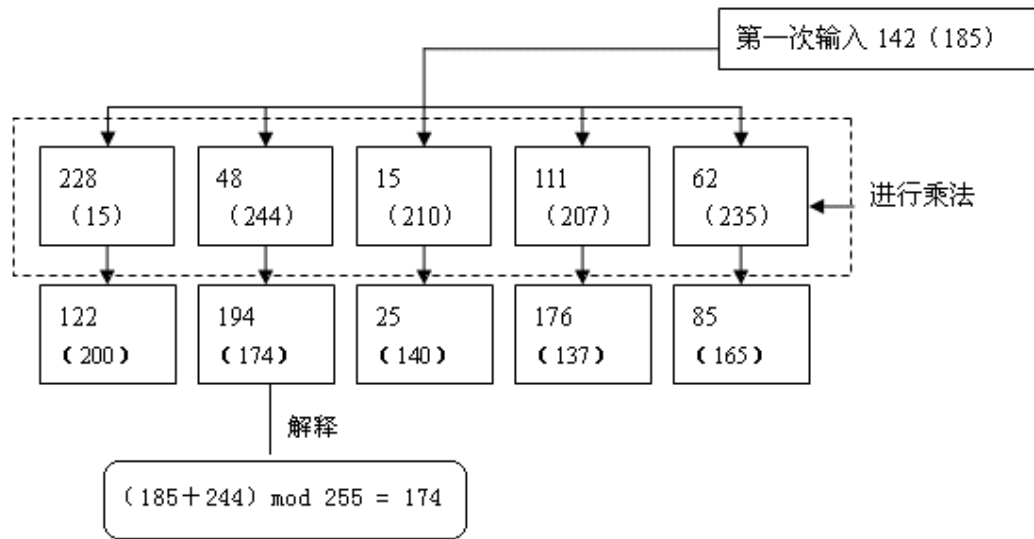


图 3-3 第一次运算流程图

Figure 3-3 The overflow of the first calculation

第二次输入数据 '164' (80), 流程图如下

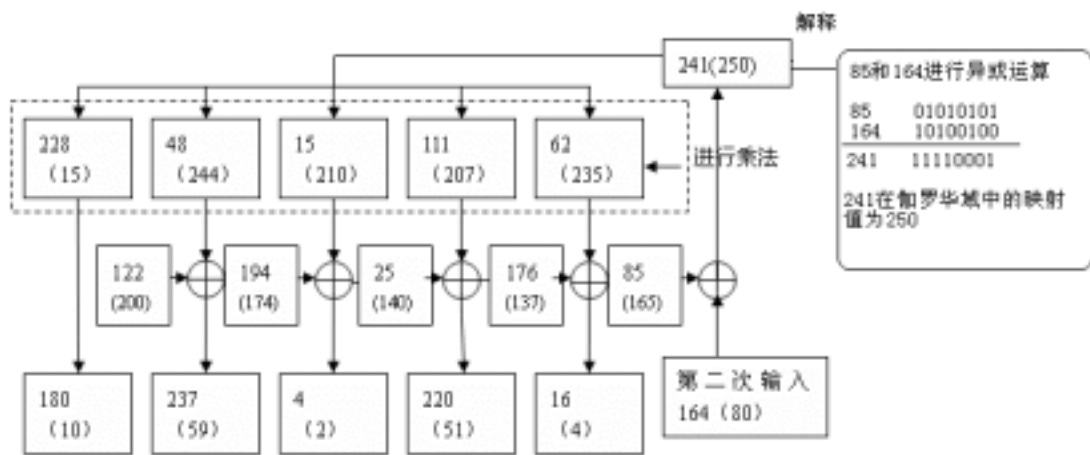


图 3-4 第二次运算流程图

Figure 3-4 The overflow of the second calculation

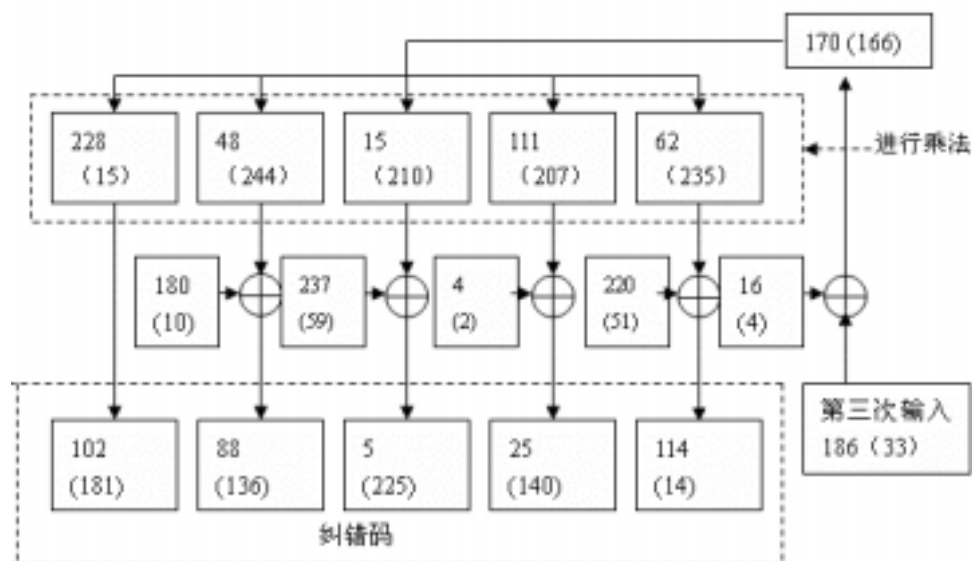


图 3 - 5 第三次运算流程图

Figure 3-5 The overflow of the third calculation

因此经过 RS 编码，最后的到的 114，25，5，88，102 即为纠错码，加上输入数据流，得到整个码流为：

142，164，186，114，25，5，88，102

该码流经 DataMatrix 编码系统，可生成条码如下：

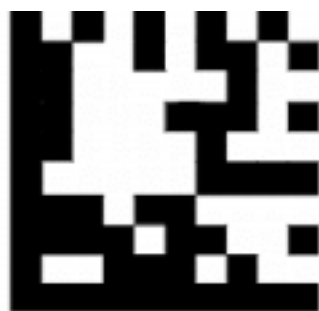


图 3-6 DataMatrix 条码（包含数据“142，164，186”）

Figure 3-6 DataMatrix bar code (includes data “142,164,186”)



### 3.7 RS 译码算法及实例

#### 3.7.1 译码原理

我们设计的 RS 译码过程有以下五个步骤:

- (1) 由接收码字计算伴随式, 用于判断是否存在错误, 如存在, 则继续下面的步骤;
- (2) 用 BM 迭代算法确定错误位置多项式;
- (3) 用陈氏搜索算法确定错误位置多项式的根, 其倒数为差错位置;
- (4) 用 Forney 算法计算错误值;
- (5) 接受多项式减错误位置多项式, 得到正确的码字。

假定发送码字为  $C(x)$

$$C(x) = C_{n-1}x^{n-1} + C_{n-2}x^{n-2} + \dots + C_1x + C_0 \quad (3.5)$$

接收码字为  $R(x)$

$$R(x) = R_{n-1}x^{n-1} + R_{n-2}x^{n-2} + \dots + R_1x + R_0 \quad (3.6)$$

以  $E(x) = E_{n-1}x^{n-1} + E_{n-2}x^{n-2} + \dots + E_1x + E_0$  表示含有  $e (e < t)$  个错误的错误图样, 则有  $R(x) = C(x) + E(x)$

步骤 1: 把  $j (j = 1, 2, \dots, 2t)$  代入多项式  $R(x)$ , 得

$$S_j = R(\alpha^j) = R_{n-1}(\alpha^j)^{n-1} + R_{n-2}(\alpha^j)^{n-2} + \dots + R_1\alpha^j + R_0 \quad (3.7)$$

如果  $S_j = 0$ , 则认为无误, 无需进行下面的步骤, 当  $S_j \neq 0$ , 则由  $S_j$  找出错误位置。

步骤 2: 按照纠错码的纠错能力定义错误位置多项式  $\Lambda(x)$  为

$$(x) = (1 - xX_i) = 1 + 1x + \dots + xt \quad (3.8)$$

如果第  $i$  个错误位置  $x = X_i - 1$ , 则  $(X_i - 1) = 0$ 。因此, 求错误位置就是求解错误位置多项式  $(x)$  的根。

为了求  $(x)$  我们列一张表, 填入部分初始值:

$u$	$(X)$	$d_u$	$l_u$	$u - l_u$
-1	1	1	0	-1
0	1	$S_1$	0	0
1	...			

当填满到第  $u$  行之内的所有行之后, 第  $(u+1)$  行的填法如下:

1. 如果  $d_u = 0$ , 则  $^{(u+1)}(X) = ^{(u)}(X)$  及  $l_{u+1} = l_u$ 。
2. 如果  $d_u \neq 0$ , 找出第  $u$  行之前的第一行, 比如说第  $j$  行, 使得表中最后一列的倒数  $-l_j$  具有最大值, 且  $d_j \neq 0$ , 那么:

$$^{(u+1)}(X) = ^{(u)}(X) + d_u d_j^{-1} X^{u-l_j} \dots ^{(j)}(X) \quad (3.9)$$

以及

$$l_{u+1} = \max[l_u, l_j + u - j] \quad (3.10)$$

无论哪种情况

$$d_{u+1} = S_{u+2} + \dots + ^{(u+1)}_{-1} S_{u+1} + \dots + ^{(u+1)}_{-l_{u+1}} S_{u+2} - l_{u+1} \quad (3.11)$$

式中,  $^{(u+1)}_{-j}$  是  $^{(u+1)}(X)$  的系数

$$^{(u+1)}(X) = 1 + ^{(u+1)}_{-1} X + ^{(u+1)}_{-2} X^2 + \dots + ^{(u+1)}_{-l_{u+1}} X^{l_{u+1}} \quad (3.12)$$

如果它的次数大于  $t$  ,则有  $t$  个以上的错误 ,并且一般不可能找出它的位置。

3 . 将  $1, \beta, \beta^2, \dots, \beta^{n-1}$  代入  $Z(x)$  ,如  $\beta^i$  使得  $Z(\beta^i)=0$  ,则为  $Z(x)$  的根 ,由其倒数可得到错误位置数。

4 . 对应于  $\beta^i$  位置上的错误值由下式给出 :

$$e_i = \frac{Z(\beta^{i-1})}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (1 + \beta^i \beta^{j-1})} \quad (3.13)$$

式中,  $Z(X) = 1 + (S_1 + \beta S_1)X + (S_2 + \beta S_1 + \beta^2 S_1)X^2 + \dots + (S_v + \beta S_{v-1} + \beta^2 S_{v-2} + \dots + \beta^v S_1)X^v$ 。

5 . 接受多项式减错误位置多项式 ,得到正确的码字。

特别说明的是 ,上述五个步骤中所有的运算均是在伽罗瓦域上进行。

### 3.7.2 RS 译码实例

我们以上节介绍的编码实例中的数据为例 ,假设正确的数据流为 142 ,164 ,186 , 114 , 25 , 5 , 88 , 102 , 条码如图 3 - 6 所示。现在条码受到了污染 ,污染后的条码如图 3-7 所示 ,读出后的条码的数据为 11 , 164 , 186 , 114 , 25 , 5 , 45 , 102



图 3-7 污染后的条码

Figure 3-7 A contaminated bar code

即  $C(x) = 11x^7 + 164x^6 + 186x^5 + 114x^4 + 25x^3 + 5x^2 + 45x + 102$  ;

步骤 1：代入 (2.1) 式求得：

$S_1 : 66$  ,  $S_2 : 181$  ,  $S_3 : 8$  ,  $S_4 : 106$  ,  $S_5 : 187$  ;

由于  $S_i \neq 0$  , 故存在错误

步骤 2：填写迭代表项

$u$	$(X)$	$d_u$	$l_u$	$u-l_u$
-1	1	1	0	-1
0	1	234	0	0
1	$1+66X$	59	1	0 (取 $=-1$ )
2	$1+134X$	166	1	1 (取 $=0$ )
3	$1+134X+111X^2$	194	2	1 (取 $=0$ )
4	$1+130X+45X^2$	0	2	2 (取 $=2$ )

即得到的错误多项式为  $1+130X+45X^2$  , 次数为  $2 < (5/2)$  , 因此, 可以进行纠错

步骤 3：计算多项式的根：

将  $1, 2, 4, \dots, 128$  代入,

依次得到： $174, 0, 167, 94, 187, 129, 61, 0$  ;

可以得到, 第 0 位和第 6 位发生错误

步骤 4：计算错误值：

计算错误值的方法即是套用公式 (3.13)。

步骤 5:

由  $C(x)=R(x)-E(x)$  , 得到正确数据流 142 , 164 , 186 , 114 , 25 , 5 , 88 , 102。

## 第四章 DataMatrix 条码的编解码系统设计及实现

在 2.2.4 节中介绍了 DataMatrix 二维条码,它是使用最为普遍的二维条码之一。它的最小尺寸是目前所有条码中最小的,而且由于 DataMatrix 条码只需要读取资料的 20%即可精确辨读,因此特别适用于印在暴露于高热、化学清洁剂、机械剥蚀等特殊环境的小零件的标识。

我们根据DataMatrix国际标准<sup>[27]</sup>,用Microsoft Visual C++6.0 开发出具有编码、解码以及DataMatrix条码图像识别功能的软件系统DataMatrix\_V2.0。

### 4.1 编码系统设计

#### 4.1.1 编码流程



图 4-1 DataMatrix 编码流程图

Figure 4-1 The flow chart of DataMatrix encoding

DataMatrix 按以下步骤对信息进行编码。

(1) 数据编码

首先分析要表示的信息，选取合适的编码方案，按所选方案将字符流转化为数据流。例如，如果用户选择了“ AUTO ”方案，则对字符流反复进行预测编码，可以得到最短的数据流。

(2) 初始化系统，分配空间

在得到了初步的码词流之后，根据数据流长度查附录 1，得到 DataMatrix 符号大小、数据流长度、纠错码长度等初始信息，接着选择合适的符号版本，分配数据空间。如果第一步中获得的数据流不足版本规定的数据流位数，加入必要的填充字符。

(3) 纠错码的生成

根据数据流和版本信息生成纠错码。DataMatrix 采用 Reed-Solomon 纠错电路进行纠错，纠错码长度，以及应当选择的纠错多项式在附录 1 中已经一一列出，详细的纠错原理在第三章也有说明和举例，在此就不赘述了。

(4) 放置模块，构建符号

按下列步骤构建 DataMatrix 符号：

第一步：将码词模块放置于映像矩阵中。每个符号字符应由 8 个正方形的模块表示，每个模块表示一个二进制位，8 个模块组合成一个符号字符图形，具体排列如图 4-2 所示；

第二步：如果符号矩阵块数大于 1，则须按要求将映像矩阵分解；

第三步：在符号的周围放置寻边符号。

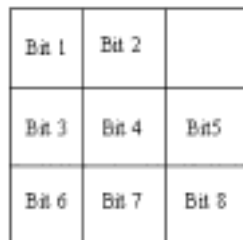


图 4-2 一个 8 位的符号字符排列

Figure 4-2 An 8-digit symbol array

### (5) 生成条码图案

将排列好的 1、0 矩阵，生成对应的黑白方块条码图形。

#### 4.1.2 数据编码方案

DataMatrix 共有 6 种编码方案，即六种代码集，如表 4-1 所示：

表 4-1 DataMatrix 编码字符集

编码方案	字符	位/数据
ASCII	双位（十进制）数字	4
	ASCII 值 0—127	8
	扩充 ASCII 值 128—255	16
C40	基本大写数字字母	5.33
Text	基本小写数字字母	5.33
X12	ANSI X12 EDI 数据集	5.33
EDIFACT	32—94	6
Base256	0—255	8

#### (1) ASCII 编码

ASCII 数据被编码为 1-128 (ASCII 值+1)。扩展 ASCII (ASCII 值 128—255) 使用高位移位符号控制字符 (235) 进行编码。数字对 00 - 99 是通过码词 130 - 229 (数字值+130) 进行编码的。

#### (2) C40 编码

C40 编码方案的起始字符为：230；结束字符为：254。

编码规则：每一对码词表示一个 16 位的值，其中第一个码词表示最高 8 位，三个 C40 值 (C1, C2, C3) 编码套用公式如下：

$$1600 * C1 + 40 * C2 + C3 + 1 \quad (5-1)$$

举例说明，假设输入三个数据字符 'AIM'，编码的过程如下：



表 4-2 C40 编码实例

(1) 输入数据字符	A I M
(2) 找到对应的 C40 值	14 , 22 , 26
(3) 计算 16 位值	$1600*14 + 40*22 + 26 + 1=23307$
(4) 第一个码词：16 位值 div 256	$23307 / 256 = 91$
(5) 第二个码词：16 位值 mod256	$23307 \% 256 = 11$
(6) 得到最终码词	91 , 11

## (3) Text 编码

Text 编码的起始字符为：239；结束字符为 254。

Text 编码规则与 C40 相同。

## (4) ANSI X12 编码

X12 编码的起始字符为：238；结束字符为 254。

X12 编码规则与 C40 相同。

## (5) EDIFACT 编码

EDIFACT 编码的起始字符为 240 结束字符为 EDIFACT 编码集中的字符 011111。

编码规则：EDIFACT 将 8 位二进制值去掉前两位变为 6 位二进制。这样四个 EDIFACT 字符被编码为三个码词。

例如，输入数据 ‘DATA’，这四个字符分别对应二进制：

D	A	T	A
00000100	00000001	00010100	00000001

每个 8 位二进制去掉前两位变为：

000100      000001      010100      000001

重新组合成三个 8 位字符：

00010000      00010101      00000001

得到码词：16，21，1

(6) Base 256 编码

Base256 起始字符位：231，当字符到达 Base 256 编码尾端，自动转换成 ASCII 编码。

编码规则：第一个或两个两个码词限定了数据字段的长度。之后使用 255 状态随机化。

#### 4.1.3 编码实例

现举一个 DataMatrix 的编码实例，来说明上述介绍的编码过程。

假设在“ AUTO ”模式下，输入字符“ 1040329049 ChenXi aoxue SJTU\_IPPR ”，字符串长度为 32，选择生成条码符号的形状为正方形。

则编码流程如下：

(1) 数据编码

由于选择“ AUTO ”模式，需要进行预测处理，预测结果如表 4-3 所示。

表 4-3 字符串在“ AUTO ”模式下的预测结果

预测处理次数	处理字符长度	预测结果	字符串
一	4	ASCII	<b>1040</b> 329049 ChenXiaoxue SJTU_IPPR
二	4	ASCII	<b>10403290</b> 49 ChenXiaoxue SJTU_IPPR
三	7	Text	<b>1040329049</b> ChenXiaoxue SJTU_IPPR
四	4	Text	<b>1040329049</b> ChenXiao <sub>x</sub> ue SJTU_IPPR
五	4	Text	<b>1040329049</b> ChenXiaoxue SJTU_IPPR
六	4	C40	<b>1040329049</b> ChenXiaoxue SJTU_IPPR
七	4	C40	<b>1040329049</b> ChenXiaoxue SJTU_IPPR
八	1	C40	<b>1040329049</b> ChenXiaoxue SJTU_IPPR

第一步：前两次预测了 8 个字符，结果是 ASCII 编码，因此对输入字符串：“10403290”进行 ASCII 编码。把每两个数字看成一个数，加上 130：

$$10 + 130 = 140, 40 + 130 = 170, 32 + 130 = 162, 90 + 130 = 220;$$

这样得到编码后的数据流 140, 170, 162, 220。

第二步：由于第三次的预测是 Text 编码，所以下面应切入 Text 编码模式，首先加上 Text 起始字符 239，第三、四、五次预测得到的字符串都是 Text 编码，所以对预测的这 15 个字符“49 ChenXi aoxue ”进行 Text 编码。对这个字符串按 5.1.2 节介绍的 Text 编码方法，将每三个字符编码成两个字符，得到数据流：52, 12, 13, 14, 116, 187, 153, 127, 180, 235。最后的“e”多余出来，将其放入下一次处理。编码结束后再加上结束字符 254。

第三步：对剩下的字符串“e SJTU\_IPPR”进行 C40 编码，方法参照 4.1.2 节介绍，得到数据流 13, 76, 203, 186, 212, 195, 142, 38；加上结束字符 254；最后的“R”多余出来，按 ASCII 编码方案放入下一次编码，编码为 83。

所以最终的数据流为“140, 170, 162, 220, 239, 52, 12, 13, 14, 116, 187, 153, 127, 180, 235, 254, 230, 13, 76, 203, 186, 212, 195, 142, 38, 254, 83”，数据长度为 26。

## (2) 初始化系统

编码后的数据长度为 26，查附录 1，在 (22, 30) 这个区间内。初始化为：数据矩阵长、宽为 20，填充后数据长度为 30，纠错码长度为 20，选择 Check\_20 纠错码多项式，数据块个数为 1，符号块个数为 1。

对不足 30 的数据位以填充字符 129 进行填充，加上三个 129，得到数据流为：“140, 170, 162, 220, 239, 52, 12, 13, 14, 116, 187, 153, 127, 180, 235, 254, 230, 13, 76, 203, 186, 212, 195, 142, 38, 254, 83, 129, 129, 129”，并为需要的数组分配相应的空间。

## (3) 计算纠错码

由初始化得到的纠错码多项式，按 Reed-Solomon 纠错算法对数据流进行纠错，生成 20 个纠错码字，加上前面的 30 个数据码字，最后得到长度为 50 的位流。纠错码的生成具体方法第三章有实例介绍。

## (4) 将模块放置至矩阵中

把十进制码流转换为二进制：即得到一个  $50 \times 8$  的只含 0、1 的矩阵。将矩阵放置在尺寸为  $20 \times 20$  的符号矩阵中。在这里，举一个简单的例子说明符号放置规则。

以码流：142, 164, 186, 114, 25, 5, 88, 102 为例，

将 8 个数据转换成二进制：

142 : 10001110      164 : 10100100      186 : 10111010

114 : 01110010      25 : 00011001      5 : 00000101

88 : 01011000      102 : 01100110

每一个数据模块的放置方法如图 4-2 所示。整个  $8 \times 8$  的数据矩阵排列如图 4-3 所示。

2.1	2.2	3.6	3.7	3.8	4.3	4.4	4.5
2.3	2.4	2.5	5.1	5.2	4.6	4.7	4.8
2.6	2.7	2.8	5.3	5.4	5.5	1.1	1.2
1.5	6.1	6.2	5.6	5.7	5.8	1.3	1.4
1.8	6.3	6.4	6.5	8.1	8.2	1.6	1.7
7.2	6.6	6.7	6.8	8.3	8.4	8.5	7.1
7.4	7.5	3.1	3.2	8.6	8.7	8.8	7.3
7.7	7.8	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	7.6

图 4-3  $8 \times 8$  的数据矩阵排列

Figure 4-3 Matrix of  $8 \times 8$  data

把 8 个 8bit 的数据填入数据矩阵（1 为黑色，0 为白色），并加上寻边符号，则得到最终条码图案，如图 4-4 所示：



图 4-4 DataMatrix 条码图案生成

Figure 4-4 Generation of the DataMatrix bar code

## 4.2 译码系统设计

### 4.2.1 DataMatrix 条码图像识别

当得到一幅非标准的 DataMatrix 图像（有旋转、污损、背景和噪声干扰）时，必须首先将 DataMatrix 条码符号提取出来，才能正确地进行译码。

在本文中提出的 DataMatrix 条码图像识别流程主要包含预处理、初定位和精确定位，流程如图 4-5 所示：

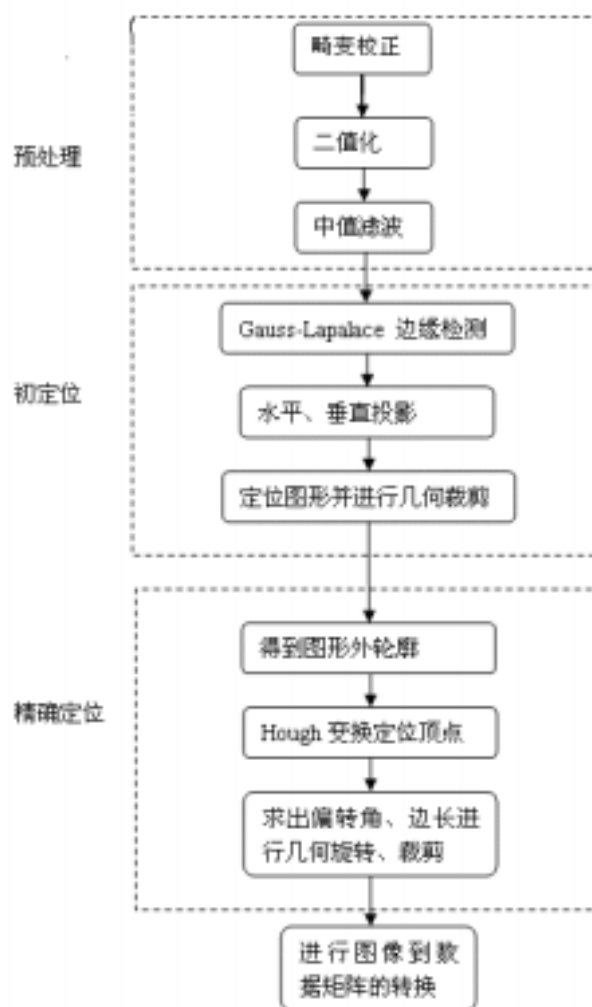


图 4-5 DataMatrix 条码图像识别流程图

Figure 4-5 The flow chart of image recognition process of DataMatrix code bar

### (1) 图像预处理

图像预处理包括图像的畸变校正、二值化和图像去噪<sup>[49][43][44][45][46]</sup>。

Datamatrix 符号仅使用 0、1 来表示信息，在图像中，表现为深色与浅色区域。通常，先将图像二值化处理为由白色背景下的黑色图像表示一个 Datamatrix 符号。

完成二值化处理之后，可使用中值滤波去除细小噪声对后续处理的干扰。中值滤波一般采用一个含有奇数个点的滑动窗口，将窗口中各点灰度值的中值来代替指定点（一般是窗口的中心点）的灰度值。对于奇数个元素，中值是指按大小排序后，中间的数值；而对于偶数个元素，中值是指排序后中间两个元素灰度值的平均值。本文中使用的中值滤波器是  $3 \times 3$  模板，用中值代替中心点的值。

图像预处理的效果举例见图 4-6。

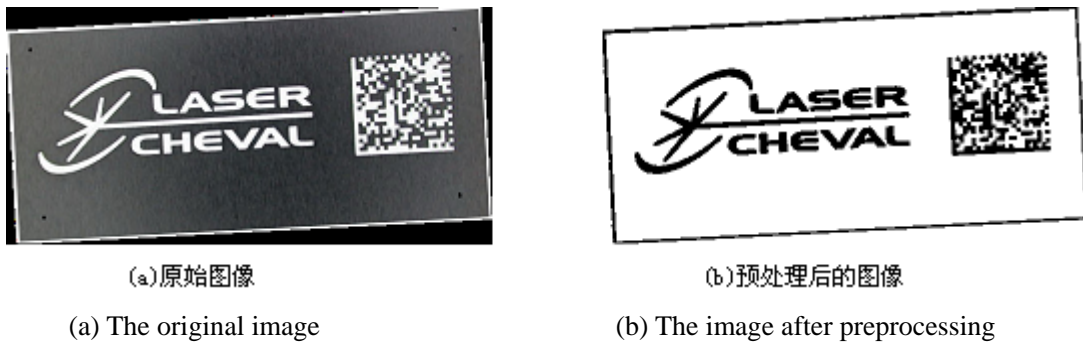


图 4-6 预处理的效果图

Figure 4-6 The effect of the preprocessing

### (2) 条码符号初定位<sup>[28][35][36][37]</sup>

Datamatrix 符号的外形特征是由小方块构成的四边形，这一特征将它与其它图形区别开来。对整幅图像进行边缘检测，可以观察得出，Datamatrix 符号区域的边缘信息丰富，与其它仅具有简单边缘的图形大不相同。

常用的边缘检测算子有 Roberts 边缘检测算子、Sobel 边缘算子、Prewitt 边缘算子、Krisch 边缘算子和高斯 - 拉普拉斯算子。其中，高斯 - 拉普拉斯算子是效果较好的边缘检测器，它把高斯平滑滤波器和拉普拉斯锐化滤波器结合起来，先平滑掉噪声，再进行边缘检测。

经实验， $5 \times 5$  的高斯拉普拉斯算子对条码的边缘检测效果比较好，该算子模块如下：

-2	-4	-4	-4	-2
-4	0	8	0	-4
-4	8	24	8	-4
-4	0	8	0	-4
-2	-4	-4	-4	-2

举例说明，如图 4-7(a)所示的条码图像，其背景有其他图形干扰，经过高斯拉普拉斯边缘检测后，得到图 4-7(b)所示的边缘图像，可以看出，条码图像的内部包含较多边缘信息，接着我们可以利用这一特点对边缘图像进行水平、垂直投影，找出边缘信息丰富的区域，也即条码区域。

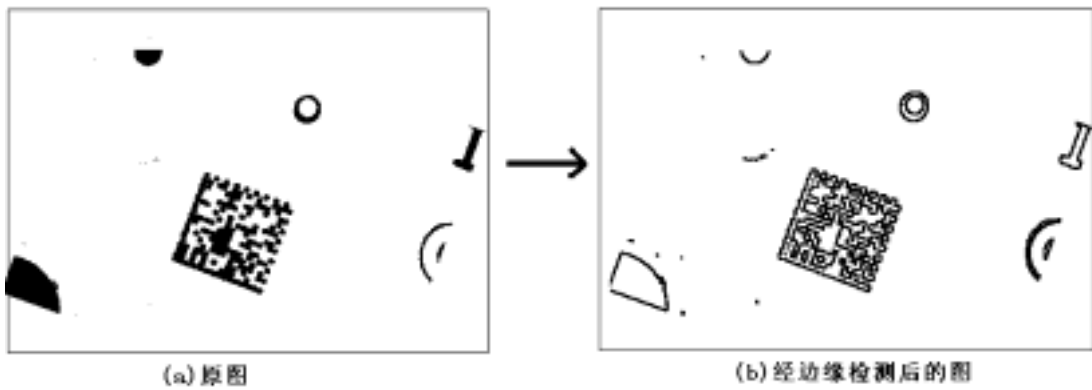


图 4-7 边缘检测的效果图

Figure 4-7 The effect of edge detection

对边缘图像（二值化后的图）进行水平和垂直方向上的投影<sup>[16][22]</sup>，即分别统计第 $i$ 行，第 $j$ 列上的像素值，令统计值分别为 $V_i$ ， $V_j$ 。由于Datamatrix 图像有复杂的边缘曲线，在一定坐标范围内（ $i_1 < i < i_2$ ， $j_1 < j < j_2$ ）的表现出较大的投影值，这个区域区域 $[(i_1, j_1), (i_1, j_2), (i_2, j_1), (i_2, j_2)]$ 便是边缘信息丰富的区域，也即可以初步确定Datamatrix图像在整个图像中的大致位置，为了避免计算误差，可以考虑在区域两端留出一定裕量。对得到的区域进行几何裁剪，将Datamatrix图像提取出来。这个过程如图 4-8 所示。

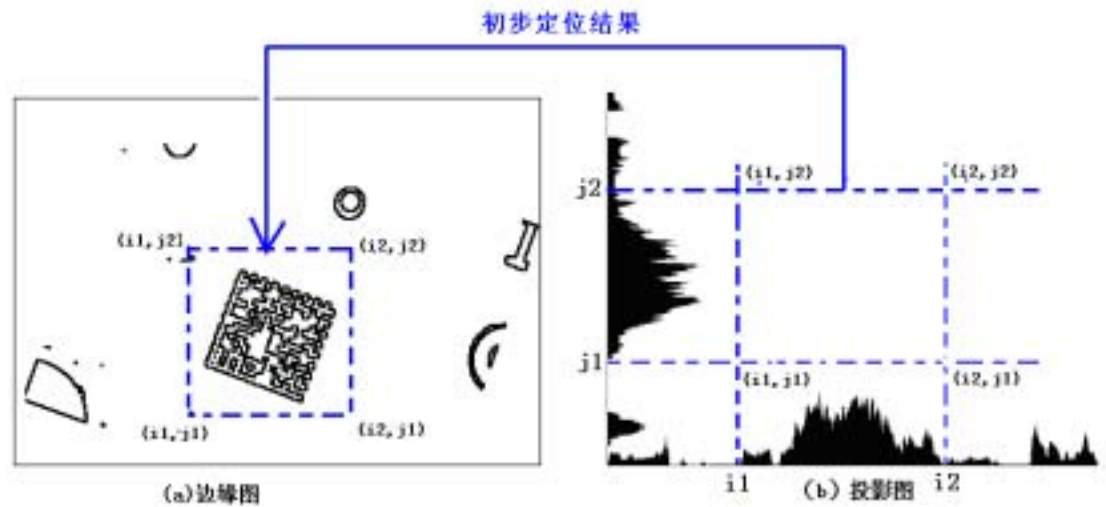


图 4-8 投影定位效果图

Figure 4-8 The effect of projection location

(3) 精确定位<sup>[56]</sup>

要精确定位 Datamatrix 符号，首先找到它的“L”形的定位图形，获得“L”形的顶点坐标与两边的长度。定位“L”图形，需要检测图像中的直线，为了避开 Datamatrix 符号内部的直线，仅检测裁减后符号图形的外边缘。

本文利用 Hough 变换进行直线检测。先简单介绍下 Hough 变换的原理。

对于直线  $y=mx+b$  可用极坐标表示为

$$=x\cos(\theta)+y\sin(\theta) \tag{5-2}$$

其中， $(\rho, \theta)$  定义了一个从原点到线上最近点的向量，这个向量与该直线垂直，即  $\rho$  表示原点到直线的距离，考虑一个以参数  $\rho$  和  $\theta$  定义的一个二维空间。 $x, y$  平面的任意一直线对应了该空间的一个点。因此， $x, y$  平面的任意直线的 Hough 变换是  $(\rho, \theta)$  空间中的一个点。

如果考虑  $x, y$  平面的一个特定的点  $(x_0, y_0)$ ，代入 (5-2) 式，令  $\theta$  取  $0\text{—}180^\circ$ ，则得到  $(\rho, \theta)$  平面上的一条曲线。假设存在  $(x, y)$  平面上的两个点  $P_1(x_0, y_0)$ 、 $P_2(x_1, y_1)$ ，对应于  $(\rho, \theta)$  平面上，则是两条曲线  $M_1, M_2$ ，如果  $P_1, P_2$  在同一直线  $L$  上，即在  $(\rho, \theta)$  平面中有相同的  $\rho$  和  $\theta$  值，也就是说， $M_1, M_2$  存在一个交点  $(\rho, \theta)$ 。

根据 Hough 变换的基本原理，将裁剪后的条码边缘图上的每一点转换到  $(\rho, \theta)$  平面上，对每一个黑点  $P_i$ ， $\theta$  取  $0\text{—}180^\circ$ ，得到相应的  $\rho$  值，则在  $(\rho, \theta)$  平面上得到 180 个点。设  $(\rho_i, \theta_i)$  处的值为  $N_i$ ，表示该点有  $N_i$  条直线通过。如



果  $(i_0, j_0)$  的值为  $N_{\max}$  ( $N_{\max} > N_i$ ), 则判断该点对应了  $(x, y)$  平面中的一条直线, 该直线上的点最多。这样, 当  $(i, j)$  平面上最大的四个值分别为  $N_{\max 1}$ ,  $N_{\max 2}$ ,  $N_{\max 3}$ ,  $N_{\max 4}$  时,  $N_{\max 1}$  和  $N_{\max 2}$  对应了轮廓图中的两条实线边; 而  $N_{\max 3}$ ,  $N_{\max 4}$  则对应轮廓图中的两条虚线边。

采用这种直线检测的优点是, 可适用于不同的 Datamatrix 符号印制方式, 如果为圆型打点方式时, 也同样具有正确的检测效果。

如果  $N_{\max 3}$  对应的直线, 与  $N_{\max 1}$  或  $N_{\max 2}$  平行而垂直于  $N_{\max 4}$ , 则认为该区域内存在 Datamatrix 符号图形。由于不能直接确定  $N_{\max 1}$ 、 $N_{\max 2}$  对应的直线分别为“L”形的哪一条边, 通过确定对角线来得到 Datamatrix 的旋转角度。同时, 由对角线长度求出 Datamatrix 的边长, 对图形进行最后的旋转和几何裁剪。

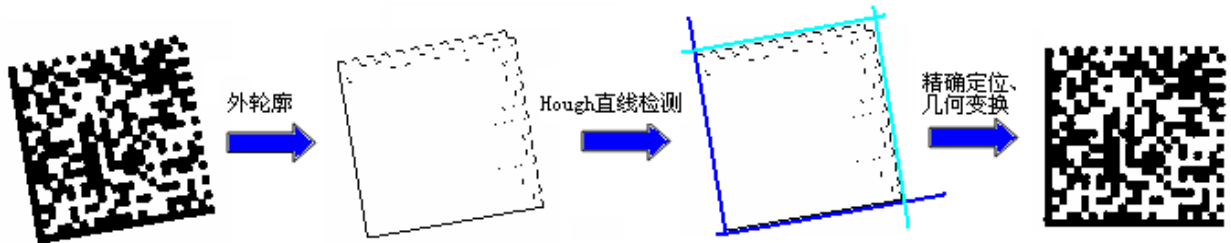


图 4-9 DataMatrix 精确定位效果图

Figure 4-9 The effect of accurate location of DataMatrix

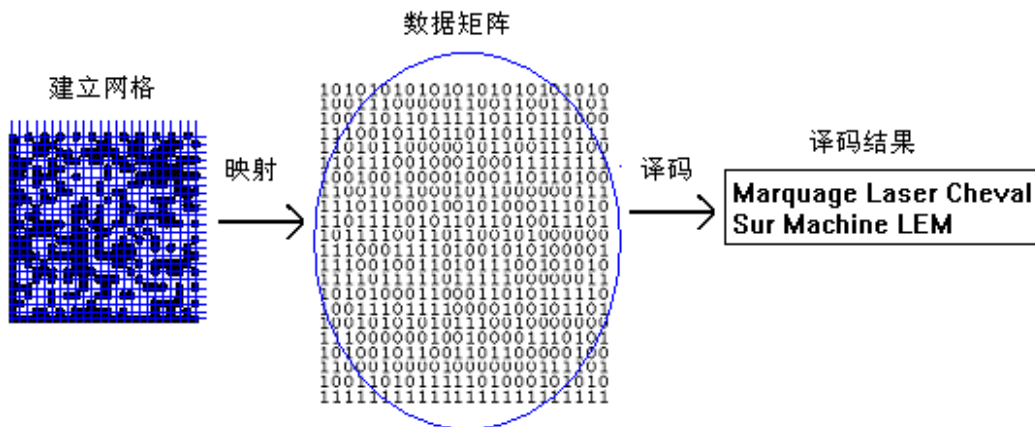


图 4-10 图像到数据的转换

Figure 4-10 The transform from an image to data matrix

#### (4) 图像到数据矩阵的转换

对精确定位得到的 DataMatrix 符号建立网络结构,如图 4-10 所示,网络节点处的像素映射为矩阵中对应行、列的值,从而得到 0、1 数据矩阵。

#### 4.2.2 数据译码

通过上节介绍的 DataMatrix 条码图像识别方法,译出条码符号的数据矩阵,再按以下步骤进行解码:

##### (1) 系统初始化

通过读图形得到符号的行列数目,查附录 1 可获得码流长度,数据码的个数,纠错码的个数,以及纠错码多项式。

##### (2) 码字提取

从数据矩阵中,按照数据符号的排列方式(如图 4-3 所示),将 0、1 数据提取出来,得到数据码字流和纠错码字流。

##### (3) 数据纠错

通过纠错码字流,检查数据码字流是否有错,如果有错,对其进行纠错运算,纠错原理及方法参见第三章。

##### (4) 数据解码

数据解码步骤与 4.1.1 节中介绍的数据编码步骤正好相反,这里就不再赘述了。

### 4.3 系统实现

DataMatrix\_V2.0 是用于二维条形码编码、解码以及二位条形码识别的综合软件。本软件采用了 Visual C++ 的单文档界面编写,主界面如图 4-11 所示。

#### 4.3.1 菜单栏

##### a. ‘文件’选项

- (1) 新建(DataMatrix): 新建一个 DataMatrix 符号,将自动弹出对话框供用户进行相关选择与设置。
- (2) 打开: 可打开的文件类型包括 .bmp 图形文件和自定义的 .dm 型 DataMatrix 矩阵文件。当选择打开图形文件时,系统自动识别其中的 DataMatrix 符号,只显示 DataMatrix 符号图形。

- (3) 保存：与“打开”菜单相类似，保存菜单提供了两种文件类型可供保存，.bmp 图像文件与.dm 型 DataMatrix 矩阵文件，当选择存储类型为 bmp 位图时，自动默认为 24 位位图文件。

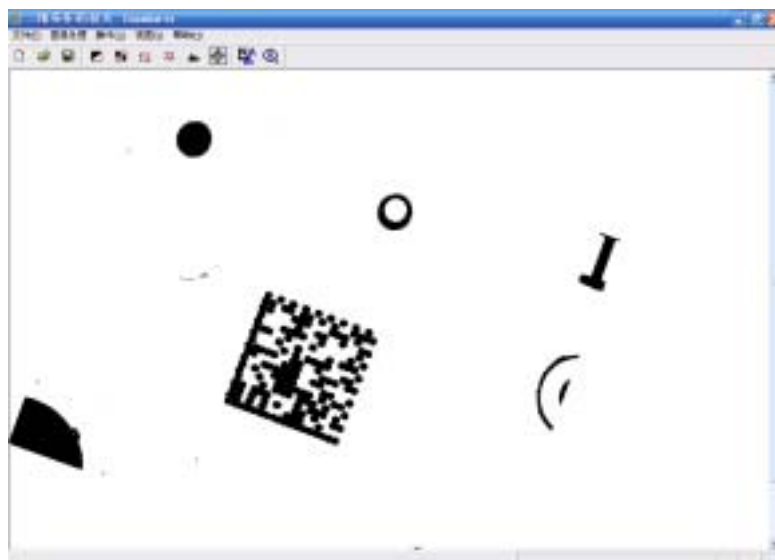


图 4-11 DataMatrix\_V2.0 主界面

Figure 4-11 The main interface of DataMatrix\_V2.0

b. ‘图像处理’选项

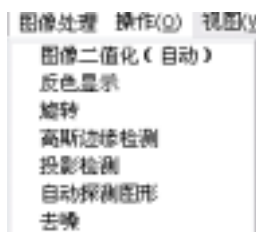


图 4-12 ‘图像处理’菜单栏

Figure 4-12 “image processing” menu

- (1) 图像二值化(自动): 自动选择域值对图像进行二值化处理，如果输入图像为 24 位，在此将其转换成 8 位处理。
- (2) 反色显示：对图像进行黑白反色显示。
- (3) 旋转：弹出对话框，可根据用户输入将图像旋转 0-360 度角。
- (4) 高斯边缘检测：用 Gauss-Laplace 模板检测图像边缘。

(5) 投影检测：将二值化图像在水平和垂直方向上投影，并同时显示出来。

(6) 自动探测图形：自动从背景中提取 DataMatrix 符号图形。

(7) 去噪：使用腐蚀—膨胀方法对图像进行去噪处理。

c. ‘操作’选项

(1) 解码：对初步提取的区域进行精确定位，并进行解码，解码结果弹出对话框显示。

(2) 查看解码：在完成解码操作后，要再次查看解码结果。

### 4.3.2 对话框

a. DataMatrix 编码框



图 4-13 DataMatrix 编码框

Figure 4-13 The frame of DataMatrix encoding

(1) 编码方案选择：目前提供了 ASCII（可编码中日文字符）、C40（基本 ASCII 集）、Text（基本 ASCII 码集）、X12（大写字母和数字空格）、EDIFACT（大写字母、数字及部分字符集，ASCII 码 32 - 94）、AUTO（可根据输入字符自动选择编码方案，得到最小的编码）等几种编码方案

- (2) 符号形状选择 : 提供了正方形和矩形两种形状 , 目前使用较多的是正方形。
- (3) 子模块大小 : 选择每个模块的输出象素大小 ( 2—16 )

b. DataMatrix 解码框

显示解码结果, 有三种(字符串、十六进制、十进制)形式显示。



图 4-14 DataMatrix 解码框

Figure 4-14 The frame of DataMatrix decoding

c. 状态栏

显示当前 DataMatrix 的参数 : 行、列、模块大小, 如图 4-15 所示。

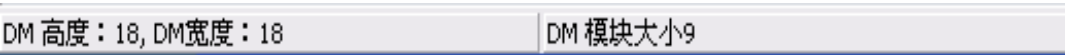


图 4-15 状态栏

Figure 4-15 Status bar

## d. 工具栏



图 4-16 工具栏

Figure 4-16 Tool bar

工具栏的按钮使操作更加简单，不需要每次点击菜单。

如图 4-16，从左到右实现的操作依次为：新建、打开、保存、二值化、图像反色、旋转、边缘检测、投影、自动检测 DataMatrix、解码、查看解码。如果不知道每个按钮的作用，只需鼠标移至相应工具处，稍作停留便出现提示。

## 4.3.3 手动操作



图 4-17 手动操作图

Figure 4-17 Manually operation

在背景图像过于复杂的情况下，不能直接由程序进行目标定位，可以实现用户手动选择区域，将检测范围缩小，再进行定位和目标提取。

## 第五章 QR Code 条码的编解码系统设计与实现

在 2.2.5 节中介绍了 QR Code 码，它是一种矩阵型二维条码符号，具有存储信息容量大、可靠性高、超高速全方位识读的特点，可表示汉字、图像等多种类型信息，并由于其用特定的数据压缩模式表示中国汉字和日本汉字，在亚洲地区如日本、中国、韩国，应用得最为广泛。

为了使 QR Code 码的应用在中国标准化，中国物品编码中心制定了快速响应矩阵码国家标准 GB/T 18284 - 2000，neq ISO/IEC 18004:2000。该标准是对 ISO/IEC 18004 标准进行了取舍和补充完善。如，用中国汉字数据表示模式代替了 ISO/IEC 18004 中日本汉字表示模式的内容。

我们根据 GB/T 18284-2000 标准，用 Microsoft Visual C++6.0 开发出具有 QR Code 编码、解码以及 QR Code 条码图像识别功能的软件系统 QRCode\_V2.0。

### 5.1 编码系统设计

#### 5.1.1 符号基本特征

a. QR 码共有四种编码字符集，分别为：

(1) 数字型，编码范围：数字 0 - 9

(2) 字母数字型，编码范围：数字 0 ~ 9；大写字母 A ~ Z；9 个其他字符：space, \$, %, \*, +, -, ., /, :

(3) 8 位字节型，编码范围：ASCII 字符集

(4) 中国汉字字符，编码范围：GB 2312《信息交换用汉字编码字符集 基本集》对应的汉字和非汉字字符，范围：0xA1A1 — 0xFAFE。（注：日本汉字的范围为：0x8140 - 0xEBFC）

b. 数据表示法

符号中，通常深色模块表示二进制“1”，浅色模块表示二进制“0”。

c. 符号规格（不包括空白区）

21×21 模块（版本 1）-177×177 模块（版本 40）

每一规格符号每边增加 4 个模块

d. 数据类型与最大容量

(1) 数字数据：7,089 个字符

(2) 字母数据：4,296 个字符

(3) 8 位字节数据：2,953 个字符

(4) 中国汉字、日本汉字数据: 1,817 个字符

e. 纠错类型

- (1) L 级: 约可纠错 7% 的数据码字
- (2) M 级: 约可纠错 15% 的数据码字
- (3) Q 级: 约可纠错 25% 的数据码字
- (4) H 级: 约可纠错 30% 的数据码字

f. 掩模

QR Code 有八种掩模, 掩模的加入可以使符号中深色与浅色模块的比例接近 1 : 1, 使因相邻模块的排列造成译码困难的可能性降为最小。

### 5.1.2 编码流程<sup>[7]</sup>



图 5-1 QR Code 编码流程图

Figure 5-1 The flow chart of QR Code encoding

(1) 得到用户输入数据, 进行数据分析

分析输入的数据流, 确定要进行编码的字符类型。确定用户选择的纠错等级 (如果没有则选择默认等级), 根据纠错等级和数据容量, 选择与数据相适应的最小编码版本。

(2) 数据编码



按照所选择模式的编码标准，将数据字符转换为位流。在数据位流前加上模式指示符，在数据位流之后加上终止符，将产生的位流分为每 8 位一个码字，必要时加入填充字符以填满按照版本所要求的数据字数。

(3) 纠错编码

按标准要求将码字序列分块，以便生成相应的纠错码字。分段后的数据通过 RS 纠错电路，生成相应的纠错码字，并加入到相应的数据码字序列的后面。

(4) 构造最终信息

按标准的数据排列方式构建最终排列信息，必要时加入剩余位。

(5) 在矩阵中标志功能模块

不同的版本因要嵌入不同数量的校正图形，因此对应不同的矩阵排列。矩阵中要加入功能图形，因此首先要标志功能图形的位置，并在对应位置加入功能图形中的寻像图形、分隔符、定位图形、校正图形。

(6) 在矩阵中布置数据模块

按排列标准，将数据码字模块放入矩阵中的对应位置。

(7) 加入掩模

用 8 种掩模图形依次对符号的编码区域的位图进行掩模处理，评价所得到的 8 种结果，选择最优的一种。

(8) 加入格式和版本信息

生成版本信息（版本 7 以上）和格式信息，构成符号。加入矩阵对应位置。

(9) 生成条码图形

根据上面步骤得到的 1、0 矩阵，生成对应的黑白方块条码图形。

### 5.1.3 数据分析及编码

输入数据，根据用户选择的编码模式检验数据是否符合编码模式。若符合，则进入下一步，准备编码；否则提示用户数据类型与编码模式不一致。分析输入数据的长度选择合适的版本，以能容纳的最小版本为宜。

数据根据所选择的模式编码。编码模式有数字模式、字母数字模式、8 位字节模式、汉字模式等。

数据编码的格式为：先放 4 位模式指示符，再放字符计数指示符，接着放编码后的数据，最后放结束符。

模式指示符为编码模式所对应的四位信息，以代表所选择的是那个模式。例如：数字模式 0001，中国汉字模式 1101。

字符计数指示符为以该模式编码的字符数据的个数。不同的版本字符计数指示符的位数不同，例如：版本 1~9，数字模式的字符计数指示符的位数为 10；版本 10~26，数字模式的字符计数指示符位数为 12。

结束符为 0000 表示，当符号数据位流不足 4 位时，将被截短。

每个模式段的位流需要按顺序连接在一起，最后添加终止符，除非数据位流正好填满符号容量。所得的数据位流将被分为一个个码字。所有的码字长度为 8，位流长

度最后一个码字不足 8 位，则用 0 填充至 8 位。然后按标准所定义的版本和纠错等级交替添加填充码字 11101100 和 00010001，以填满符号的数据容量。所得的数据码字序列在下一步还要加入纠错码字。

#### a. 数字模式编码

将输入的数据每三位分为一组，将每组数据转换为 10 位二进制数。如果所输入的数据位数不是 3 的整数倍，所余的 1 位或 2 位数字分别转换为 4 位或 7 位二进制数。

例：在符号版本 1、纠错等级 H 的情况下，输入的数据为：01234567，分为 3 位一组：012 345 67

每组转换为二进制：

012	0000001100
345	01010011001
67	1000011

连接为一个序列：0000001100 01010011001 1000011

将字符计数指示符转换为二进制，查标准得知字符计数指示符的位数为 10，则字符数：8 0000001000，再加入模式指示符 0001 以及字符计数指示符的二进制数据，得序列为：0001 0000001100 01010011001 1000011

#### b. 字母数字模式

将输入的数据分为两个字符一组，用 11 位二进制表示。将前面字符的值乘以 45 与第二个字符的值相加，所得的结果转换为 11 位二进制数。如果输入的数据字符数不是 2 的整数倍，将最后一个字符编码为 6 位二进制数。

例：在符号版本 1、纠错等级 H 的情况下，输入的数据：AC - 42

(a) 查标准得字符对应的值：(AC - 42) : (10 12 41 4 2)

(b) 2 个分为一组：(10 12)(41 4)(2)

(c) 每组转换为二进制：

(10 12):	$10 \times 45 + 12 = 462$	00111001110
(41 4):	$41 \times 45 + 4 = 1849$	11100111001
(2):	2	000010

连接为一个序列：00111001110 11100111001 000010

将字符计数指示符转换为二进制，查标准得知字符计数指示符的位数为 9。字符数：5 000000101，再加入模式指示符 0010 以及字符计数指示符的二进制数据，得序列为：0010 000000101 00111001110 11100111001 000010

#### c. 8 位字节模式

在本模式中，一个 8 位码字直接表示一个输入数据字符的 ASCII 字符值。

例：在符号版本 1、纠错等级 H 的情况下，输入数据：AB1，查 ASCII 表，得 AB1：65 66 49 01000001 01000010 00110001，连接为一个序列：01000001 01000010 00110001

将字符计数指示符转换为二进制，查标准得知字符计数指示符的位数为 8。字符数：3 00000011，最后加入模式指示符 0100 以及字符计数指示符的二进制数据，得序列为：0100 00000011 01000001 01000010 00110001

d. 中国汉字模式

GB2312 规定得字符由两个字节表示。将输入数据字符转换为 13 位二进制数。转换规则为：

(a) 对于第一字节在 0x A1 到 0x AA 范围，第二字节在 0x A1 到 0x FE 范围得字符；

- 1) 第一字节值减去 0x A1；
- 2) 将上一步的结果乘以 0x 60；
- 3) 第二字节值减去 0x A1；
- 4) 将 2) 的结果加上 3) 的结果；
- 5) 将结果转换为 13 位二进制串

(b) 对于第二字节在 0x B0 到 0x FA 范围，第二字节在 0x A1 到 0x FE 范围得字符；

- 1) 第一字节值减去 0x A6；
- 2) 将上一步的结果乘以 0x 60；
- 3) 第二字节值减去 0x A1；
- 4) 将 2) 的结果加上 3) 的结果；
- 5) 将结果转换为 13 位二进制串

最后在转换后得到的 13 位二进制串前加上模式指示符 (1101)，中国汉字子集指示符 (0001) 和字符计数指示符的二进制表示。

e. 混合模式

为表示不同类型数据，可以采用混合模式，从一种模式转换到另一种模式，混合模式数据格式如表 5-1 所示。不过，转换的规则比较复杂，涉及到数据编码模式选择的最优化问题。

表 5-1 混合模式数据格式

段 1			段 2			.....	段 n		
模式指示符 1	字符计数指示符	数据	模式指示符 2	字符计数指示符	数据	.....	模式指示符 n	字符计数指示符	数据

5.1.4 模式选择最优化

对一组特定的数据串，QR 码提供多种不同编码模式，但每一种模式表示一已知数据串所需的编码字节数量是不相同的。由于各模式的字符集有重叠的部分，例如数字 9 可以以数字、字母数字以及 8 位字节三种模式进行编码，字母 A 可以以字母数字和 8 位字节模式进行编码，因此在混合模式中符号生成软件要自动选择最佳的模式，对可用多于一种模式表示的数据字符进行编码。

在数据流的开始必须进行模式的选择，在数据流当中也可以进行模式的选择。因此编码算法不仅需要考虑当前字符序列，而且也要考虑下一个数据序列以及模式转换所需要的开销。

对一个给定的数据串，最佳方案不一定是表示每一数据字符的位数最小的一个。如果需要更高度的压缩，需考虑改变模式所需要的附加位，也即增加的模式指示符和字符计数指示符。

形成最优模式选择的规则如下，其中在方括号中的字符数如[5, 7, 9]分别用于版本 1-9, 10-26 和版本 27-40。

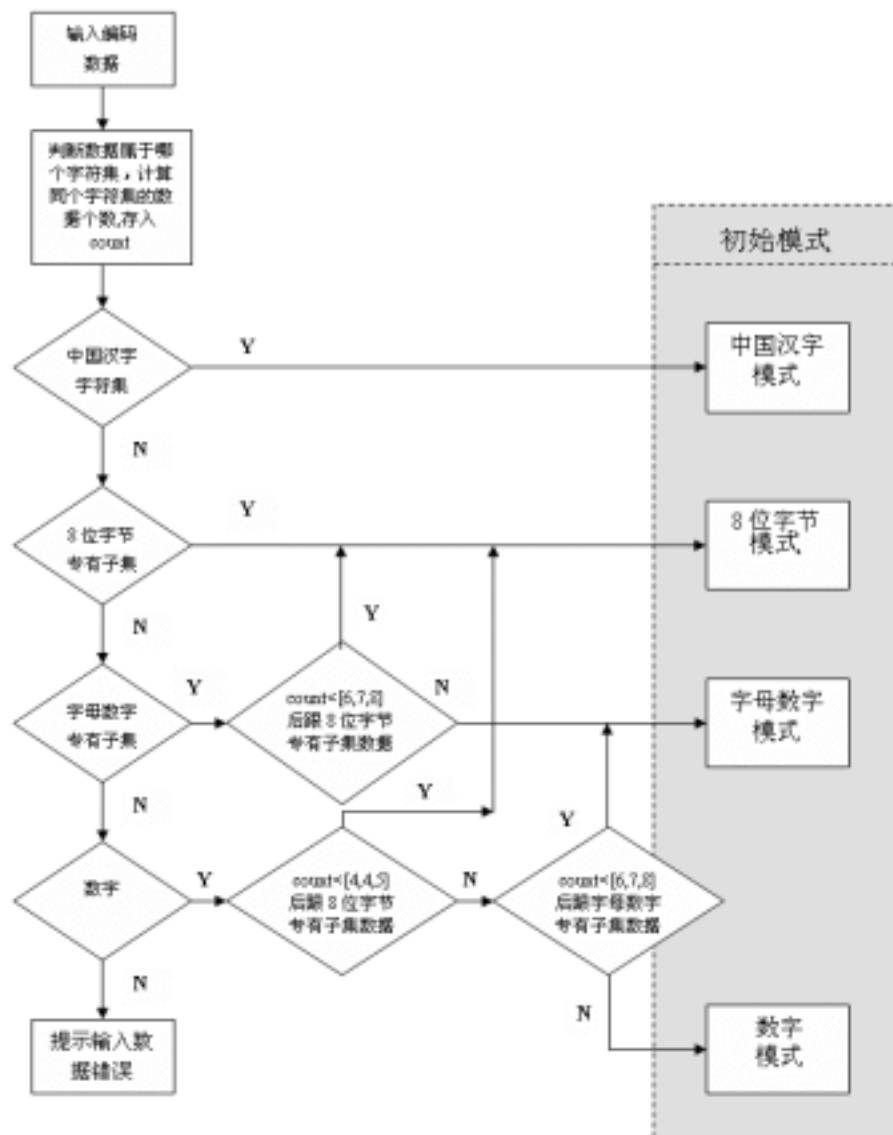


图 5-2 初始模式选择的流程图

Figure 5-2 The flow chart of the selection of initial model

a. 选择初始模式，流程如图 5-2 所示。

(1) 如果初始输入数据是在中国汉字字符集中，不包括其他字符，选择中国汉字模式；

(2) 如果初始输入数据是在 8 位字节的二进制字符的专有子集中，选择 8 位字节模式；

(3) 如果初始输入数据是在字母数字字符集的专有子集中，并且如果字符个数少于[6, 7, 8]，其后紧跟 8 位字节专有子集中的数据，那么选择 8 位字节模式，否则选择字母数字模式；

(4) 如果初始数据是数字，并且如果数字个数少于[4, 4, 5]，其后紧跟 8 位字节字符集专有子集中的数据，那么选择 8 位字节模式，否则如果少于[6, 7, 8]，其后跟着字母数字字符集的专有子集中的数据，那么选择字母数字模式，否则选择数字模式。

b. 在 8 位字节模式中

(1) 如果有一个或多个中国汉字字符出现，转至中国汉字模式；

(2) 如果有不少于[6, 8, 9]的数字字符序列出现在来自 8 位字节二进制字符集的专有子集的多个数据前，那么转至数字模式。

(3) 如果有字母数字字符集的专有子集的不少于[11, 15, 16]的字符序列出现在来自 8 位字节二进制字符集的专有子集的数据前，那么转至字母数字模式。

c. 在字母数字模式中

(1) 如果有一个或多个中国汉字字符出现，转至中国汉字模式；

(2) 如果有 8 位字节字符集的专有子集的一个或多个字符出现，转至 8 位字节模式；

(3) 如果有不少于[13, 15, 17]的数字字符数据序列在来自字母数字字符集的专有子集的数据前出现，转至数字模式。

d. 在数字模式中

(1) 如果有一个或多个中国汉字字符出现，转至中国汉字模式；

(2) 如果有一个或多个来自 8 位字节的专有子集中的字符出现，转至 8 位字节模式；

(3) 如果有一个或多个字母数字的专有子集中的字符出现，转至字母数字模式。

### 5.1.5 纠错码的生成

QR 码采用 Reed-Solomon(RS)纠错算法按段生成纠错码字，添加在数据码字序列后，使得符号可以在遇到损坏时可以纠正错误数据。纠错共有 4 个等级，分别为 L, M, Q, H。

RS 纠错是一种复杂的编码译码机制，

纠错码字可以纠正两种错误，拒读错误（错误码字的位置已知）和替代错误（错误码字位置未知）。可纠正的替代和拒读错误的数量由以下公式给出：

$$e + 2t \leq d - p \quad (5.1)$$

其中：e 为据读错误数，t 为替代错误数，d 纠错码字数，p 错误检测码字数。

例如：版本 6、纠错等级 H 的符号中共有 172 个码字，其中 112 个纠错码字（其余 60 个为数据码字）。这 112 个纠错码字可纠正 56 个替代错误或 112 个拒读错误，即纠错容量为  $56/172 = 32.6\%$ 。

QR 码的纠错是按段进行的，根据版本和纠错等级，将数据码字序列分为 1 个或多个段，对每段分别进行纠错运算，分段规则可查标准。根据版本和纠错等级将数据码字序列分为 n 块。对每一块，按照纠错码字编码电路计算相应块的纠错码字。

QR 码的多项式算法用模 2 算法和字节的模 100011101 算法。这是加罗瓦域  $2^8$  上以 100011101 表示主模块多项式： $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ 。

数据码字为多项式各项的系数，第一个数据码字为最高次项的系数，第一个纠错码字前的最后一个数据码字是最低次项的系数。纠错码字是数据码字被纠错多项式  $g(x)$  除得的余数。余数的最高次项系数为第一个纠错码字，最低次项系数为最后一个纠错码字。不同的纠错码字数对应不同的纠错多项式  $g(x)$ ， $g(x)$  的具体系数可以参照标准。纠错码的生成原理在前一章介绍过了，这里就不再赘述了。

#### 5.1.6 构造信息的最终码字序列

依次将每一块的数据和纠错码字装配成最终序列。排列标准为：数据块 1 的码字 1 (8bit)，数据块 2 的码字 1，数据块 3 的码字 1.....数据块 n 的码字 1，数据块 1 的码字 2，数据块 2 的码字 2.....数据块 n - 1 的最后一个码字，数据块 n 的最后一个码字，纠错块 1 的码字 1，纠错块 2 的码字 1.....纠错块 n - 1 的最后一个码字，纠错块 n 的最后一个码字。

例如：版本 5 - H 符号的码字序列如下安排：

表 5-2 码字序列排列

块	数据码字					纠错码字			
块 1	D1	D2	.....	D11		E1	E2	.....	E22
块 2	D12	D13	.....	D22		E23	E24	.....	E44
块 3	D23	D24	.....	D33	D34	E45	E46	.....	E66
块 4	D35	D36	.....	D45	D46	E67	E68	.....	E88

最终码字序列为：

D1,D12,D23,D35,D2,D13.....D11,D22,D33,D45,D34,D46,E1,E23.....E66,E88。

#### 5.1.7 标志模块

在矩阵符号中标志功能模块。分别放入寻像图形，分隔符、定位图形、校正图形。

格式信息和版本信息的模块位置暂时空置，以后放入。

在 QR 码符号的编码区域中，符号字符以 2 个模块宽的纵列从符号的右下角开始布置，并自右向左，交替地从下向上然后从上向下安排。碰到功能符号绕开。图 5-3 列出了三种方向的符号字符位的放置，更多地见标准。

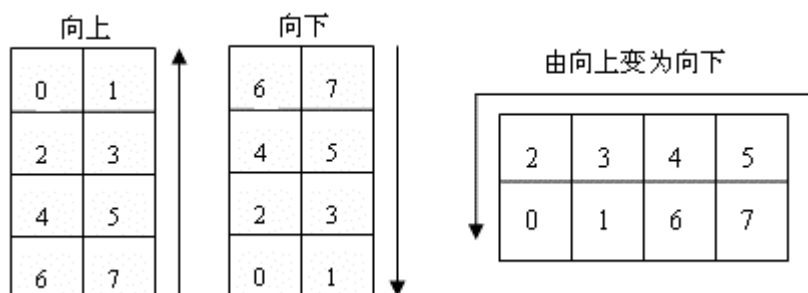


图 5-3 三种方向的符号字符位的放置

Figure 5-3 Three kinds of placement directions of symbols

### 5.1.8 加入掩模和格式版本信息

为了 QR 码阅读的可靠性，最好均衡地安排深浅色模块。并尽可能地避免位置探测图形地位图 1011101 出现在符号其他区域。

掩模不用于功能图形。用掩模图形对编码区域图形（除格式信息和版本信息）进行 XOR 异或操作。

掩模图形一共有 8 种，如果用户选定其中一种，则按用户选择的进行掩模添加。如果用户不特定选择掩模，则需要自动选择合适的掩模。选择依据为对 8 种掩模添加后的结果图形进行评分，选择得分最低的图形，也就是评分标准认为的深浅色模块最均衡图形。掩模图形的生成见表 5-3，掩模结果的评分见标准。

表 5-3 掩模图形的生成条件

掩模图形参考	生成条件
000	$(i+j) \bmod 2 = 0$
001	$i \bmod 2 = 0$
010	$j \bmod 3 = 0$
011	$(i+j) \bmod 3 = 0$
100	$((i \div 2) + (j \div 3)) \bmod 2 = 0$
101	$(i \bmod 2) + (j \bmod 3) = 0$
110	$((i \bmod 2) + (j \bmod 3)) \bmod 2 = 0$
111	$((i \bmod 3) + (i+j) \bmod 2) \bmod 2 = 0$

随后加入经 BCH(15, 5)编码得到的格式信息。格式信息的前两位为纠错等级，后三位为掩模图形号，这五个数据位经 BCH ( 15 , 5 ) 计算生成 BCH 码字符串。最后用 101010000010010 对位串进行异或运算得到。

再加入经 BCH(18,6)编码得到的版本信息。版本信息的前 6 位为版本号，经 BCH ( 18 , 6 ) 计算生成 BCH 码字符串。

### 5.1.9 生成条码图案

把二维矩阵数据以图形的形式显示出来。矩阵中数据 1 代表深色方块，数据 0 代表浅色方块。



图 5-4 QR Code 条码 (存的内容为“QR Code 编码系统设计”)

Figure5-4 QR Code code bar (with the content “QR Code 编码系统设计”)

## 5.2 译码系统的设计

本译码系统的文件读入有两种方式，一种是直接从图像文件 (. bmp ) 读入，找到条码图像，进行译码；另一种是从 QR Code 的数据文件 (. qr ) 读入条码信息，进行译码。这里介绍读入图象文件，进行译码。

### 5.2.1 QR Code 条码图像识别

将图像文件读入，由于采集到的条码图像通常存在畸变、污染等，因此在定位条码前需要进行图像的处理，包括图像畸变校正、噪声去除，二值化，图像旋转等操作<sup>[35][40] [47][48]</sup>。

QRCode 条码图像识别过程与上章介绍的 DataMatrix 识别类似，具体流程如图



5-5 所示：

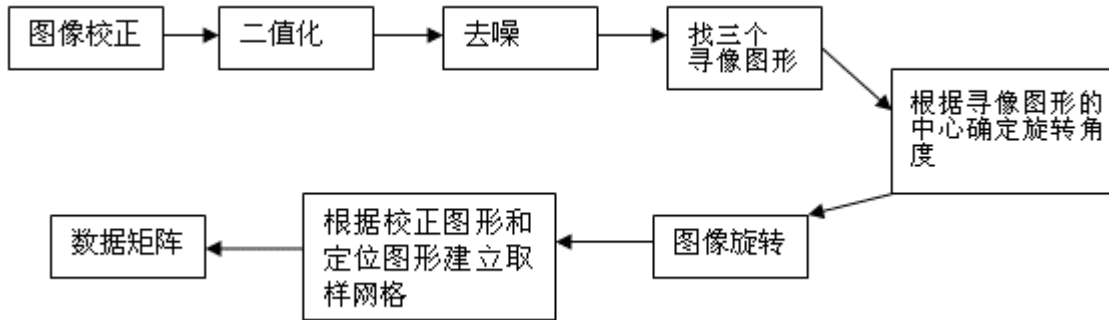


图 5-5 QRCode 条码图像识别流程图

Figure5-5 The flow chart of image recognition process of a QRCode code bar

第一步：图像校正，采用三次 B 样条插值校正，把畸变的图像校正到正常。

第二步：图像二值化，采用全局阈值和局部阈值选取相结合，逐步选取合适的阈值，把条码图像二值化，通常二值化为白底黑色条码。

第三步：噪声去除，采用了先腐蚀<sup>[38]</sup>，然后进行膨胀的方法，可以有效的去除面积较小的点噪声和细长的线形噪声。

第四步：QR Code 具有三个寻像图形（位置探测图形），分别位于条码的左上、右上和左下角。寻像图形如图 5-6 所示，其图形特征是黑白条比例为：

黑：白：黑：白：黑 = 1：1：3：1：1



图 5-6 定位图形

Figure 5-6 The position detection image

由于寻像图形具有特殊的比例，同时在掩模作用下，在 QR Code 条码的其他位置不可能出现这样比例的图形，所以我们可以找到三个寻像图形来定位条码。通过三个寻像图形的中心坐标来确定条码是否需要旋转以及旋转的角度。如果图像不标准，则旋转图像至标准位置，如图 5 - 7 所示。

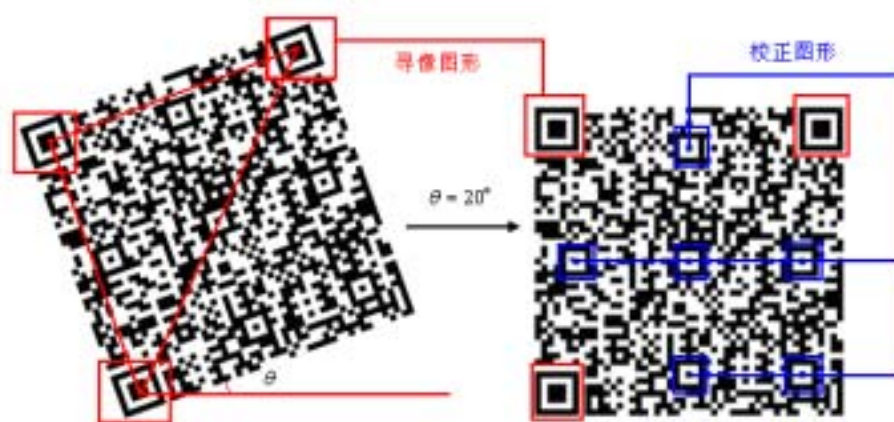


图 5-7 通过寻像图形进行图像旋转

Figure 5-7 Image rotation by finding three position detection patterns

第五步：QRCode 的另一个特色是还具有多个校正图形和定位图形，可以根据定位图形和校正图形的中心坐标建立取样网格。

第六步：根据取样网格，采样数据，把图像转换为数据矩阵，以进行下一步的数据解码（其中 1 代表网格上的深色图形，0 代表网格上的浅色图形）。

### 5.2.2 数据解码

数据解码的步骤和数据编码正好相反。

步骤为：(a) 提取格式信息，版本信息。

(b) 去掩模

(c) 抽取数据信息和纠错信息

(d) RS 纠错

(e) 对纠错后的数据信息进行解码

解码与编码的不同在于解码加入了纠错步骤。有了纠错，图像的部分污染也能正确解出码来，大大提高了 QR Code 码的可识读性。解码步骤在上一章有具体介绍，本节就不赘述了。

## 5.3 系统实现

QRCode\_V2.0 是集 QR code 二维条形码编码、解码以及条码图像识别的综合软件。本软件采用了 Visual C++ 对话框界面编写，主界面如下：



图 5-7 系统主界面

Figure 5-7 The main interface of the system

### 5.3.1 界面介绍

#### a. 编码选择栏 (Encoding Selection)

编码选择栏在 QRCode 参数设定窗口里。用于编码时用户的一些设定。

- (1) **Encoding Mode** : 选择编码模式。可选择的有 Mixed (混合模式), Numeric (数字模式), AlphaNumeric (字母数字模式), 8Bit (8 位字节模式), Chinese (汉字模式)。
- (2) **Error-Corrected Level** : 选择纠错等级。可选择的有 ECC\_L (纠错等级 L), ECC\_M (纠错等级 M), ECC\_H (纠错等级 H), ECC\_Q (纠错等级 Q)。
- (3) **Mask Type** : Automatic (自动模式, 自动选择最适合的掩模), 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (分别代表了八种掩模)。
- (4) **Show Magnify** : 显示编码图形时的放大或缩小。可选择的有 1 (1 倍显示), 2 (2 倍显示), 1/2 (缩小 1/2), 1/4 (缩小 1/4)。

b. 控制按钮组 (Control Button)

- (1) **Generate Code** : 根据编辑框的输入产生条码图像, 条码图像显示在“图形显示窗口”。
- (2) **Save** : 保存条码信息。存放格式为 .qr 或 .bmp。 .qr 文件为 QRCode 的数据文件, .bmp 文件为 24 位的 bmp 文件。
- (3) **Open** : 打开条码文件。可以打开的文件类型有 .qr 和 .bmp。 .bmp 只能是 24 位的 bmp 文件。
- (4) **Decode** : 解码。根据打开的 .qr 或 .bmp 文件对二维条码 QRCode 完成解码功能。
- (5) **EXIT** : 退出, 关闭程序。

c. 数据编辑及显示框 (Code Data)

编码时在该编辑框输入待编码的数据。

解码时在该编辑框显示解码后得到的数据。

d. 解码信息显示栏 (Decoding Information)

解码信息显示栏里有解码后得到的 QRCode 码相关信息。

- (1) **Confidence** : 置信度, 置信度=1 表示条码正确解码, 置信度=0 表示错误大于 RS 纠错码所能纠正的错误, 解码失败。
- (2) **EC Level** : 显示条码采用的纠错等级
- (3) **Mask Type** : 显示条码采用的掩模类型。
- (4) **Version** : 显示条码的版本号。
- (5) **Mode** : 显示条码的编码模式

### 5.3.2 编解码实例

(1) 编码实例

现编码信息“QR Code 编码实例, 选择合适的编码方案。”, 首先要选择合适的编码模式, 分析这个信息流, 有大写英文字母也有中文汉字, 只能选择混合模式编码, 如果选择中文汉字模式编码, 则会出现如图 5-8 的报错提示。

然后选择所需要的纠错等级, 这里选择纠错等级: ECC\_L; 掩模类型: 自动; 放大模式: 1。最后按‘Generate Code’按钮, 可得到如图 5-9 的条码图案。

如果我们选择纠错等级: ECC\_M; 掩模类型: 5; 放大模式: 1/2, 则得到如图 5-10 的条码图案。

生成条码后，把条码数据保存起来，本软件有两种保存模式，一种是把条码图像保存在‘.bmp’格式的图像文件里，另一种是把条码数据保存在.qr 文件格式里。

例如，把如图 5-9 的条码保存为‘.bmp’文件，按‘Save’按钮，出现如图 5-11 的保存框。



图 5-8 编码模式选择报错提示

Figure 5-8 error notification of false choice of encoding mode



图 5-9 QR Code 编码实例 1

Figure 5-9 Instance 1 of QR Code encoding

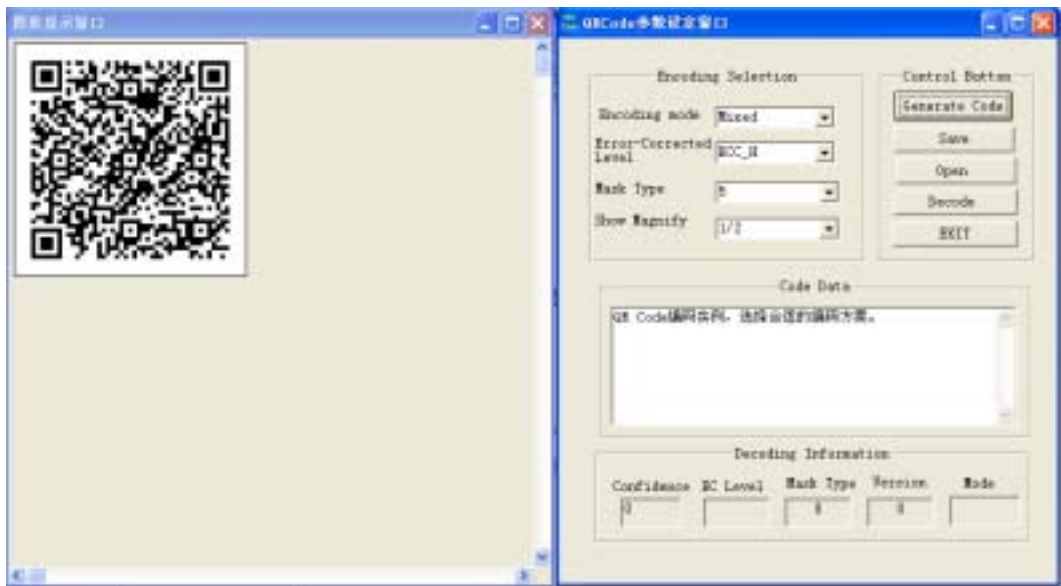


图 5-10 QR Code 编码实例 2

Figure 5-10 Instance 2 of QR Code encoding

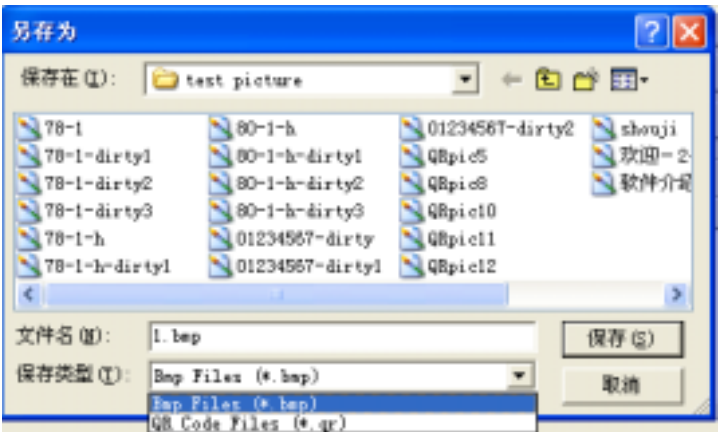


图 5-11 QR Code 条码图像保存框

Figure 5-11 Save frame of QR Code code bar

(2) 解码实例

打开条码数据进行解码，本软件支持两种文件格式，一种是“.bmp”文件格式的条码图像，另一种是保存条码数据格式的“.qr”文件。

例 1，我们把上例保存的 1.bmp 图像进行解码，得到如图 5-12 的解码信息，解码结果在‘Code Data’框中显示，结果为：

QR Code 编码实例，选择合适的编码方案。

条码的其他信息在‘Decoding Information’栏中显示，可知该条码的纠错等

级为 H 级，条码的版本为第 7 版本，采用的编码模式为 Mixed(混合)模式，掩模类型为 5，置信度为 1，表示正确解码。

例 2，解码一个混有文字图案的 QR Code 条码图像( 图像从网上下载 )，如图 5-13 所示，解码结果在 ‘ Code Data ’ 框中显示，结果为：

Kyle Barrow  
kyle@pukupi.com  
<http://pukupi.com>

条码的其他信息在 ‘ Decoding Information ’ 栏中显示，可知该条码的纠错等级为 M 级，条码的版本为第 4 版本，采用的编码模式为 8Bit 模式，掩模类型为 7，置信度为 1，表示正确解码。

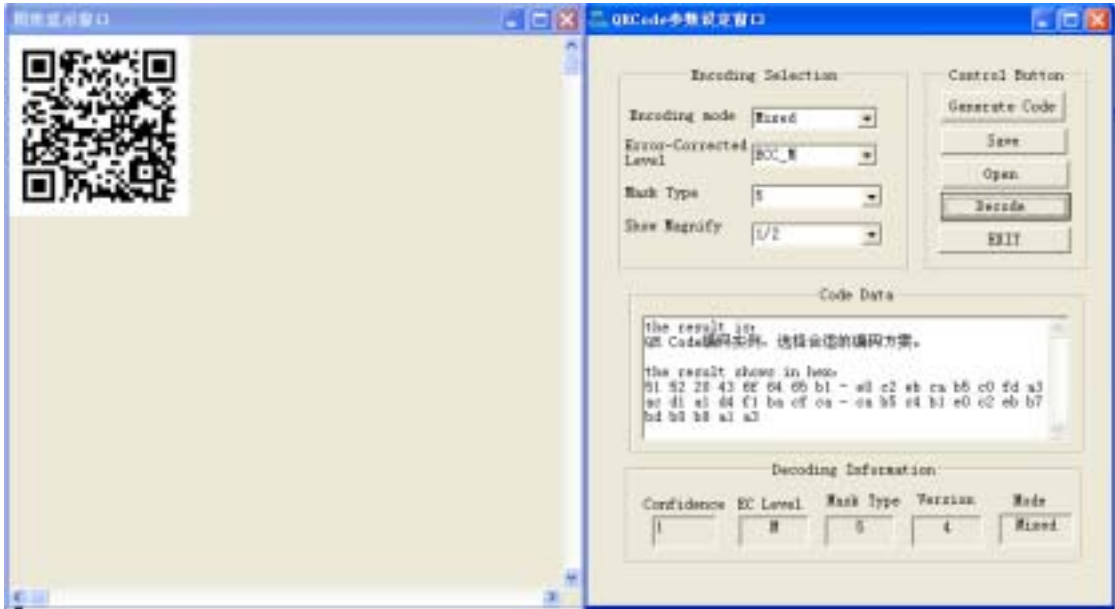


图 5-12 QR Code 解码实例 1

Figure 5-12 Instance 1 of QR Code decoding



图 5-13 条码译码界面

Figure 5-13 The frame of decoding of bar codes



## 第六章 总结和展望

### 6.1 工作总结

本文对二维条码的码制原理，编解码过程和条码图像识别技术进行了研究和实现，主要工作如下：

（1）以 QR Code 和 Data Matrix 为例，构建这两种二维条码的条码生成系统，研究比较不同格式数据的压缩编码，提出最优的混合编码算法。

（2）研究 RS 纠错算法及其在二维条码纠错上的应用，提出通用的 RS 编码和译码算法。

（3）以 QR Code 和 Data Matrix 为例，构建这两种二维条码的译码系统，并实现 QR Code、DataMatrix 图像到数据的解码，加入 RS 数据纠错功能，提高了条码的数据恢复能力。

（4）研究条码图像的识别技术。条码的识别包括条码图像的预处理、条码定位检测、条码分割、数据提取等方面。具体研究图像校正、二值化、去噪、边缘检测、Hough 变换、图像旋转等多种图像处理方法在二维条码识别上的应用，提出针对不同条码特性的条码识读方法，具有较好的识别效果。

### 6.2 展望

二维条码由于具有高密度、大容量、纠错能力强、可表示文字图像等信息、可加密等优点，已广泛应用于传统的工业自动化生产线、医疗服务、收费系统、商品管理系统及信息查询系统等各个领域<sup>[60]</sup>。而且随着当今信息技术的发展和网络的普及，二维条码将有更大的商机和更广阔的发展前景。

在 3G 移动电话较为发达的日本，新生产的手机当中，有五成具有辨识 QR Code 的能力。具有条码识别能力的手机，除了可以用来扫描名片，管理个人联络电话能力之外，还可以拿来网络购物。手机一旦具有了条码识别功能，将会产生巨大的商机。比如可以把音乐资料存入二维条码 QR Code，一个 QR Code 容纳约 200byte 的音乐资料，使用者只需以手机读取 QR Code 便可以直接下载音乐。又如可以把一本杂志的资料嵌入二维条码，手机只要拍下二维条码，解码后就可以在手机中看杂志。

如果把网址嵌入二维条码内，就可以实现手机的自动上网，还可以实现结帐时的数据处理，又或者是以 QR Code 代替入场券等等。

二维条码作为载体，还可以结合生物识别技术，在个人身份防伪<sup>[11][53][60]</sup>上发挥重要作用。生物特征识别技术包括指纹、虹膜、人脸、掌纹、耳形等识别技术。二维条码可加密存储大容量信息，因此可以把指纹、虹膜、掌纹等个人身份特征信息加入到二维条码中，印在个人证件上<sup>[21]</sup>。验证时，通过二维条码解码出证件上的个人特征信息，比对现场采集的个人生理信息（如采集虹膜、指纹），就可做到校验个人身份的真伪。

二维条码的广泛应用必将带来条码识别技术的新要求和新问题。比如需要在图像采集失真，图像背景更复杂，图像形变严重等情况下还能很好的识别并解码二维条码。这些对研究二维条码技术的广大科研人员既是挑战也是动力。

## 参考文献

- [1] 中国物品编码中心. 条码技术与应用. 北京: 清华大学出版社. 2003
- [2] 矫云起, 张成海. 二维条码技术. 北京: 中国物价出版社. 1996
- [3] 中国标准出版社. 条码国家标准汇编. 中国标准出版社. 2004
- [4] 冯宇梁. 高速二维条码识别算法、研究, 苏州大学硕士论文. 2004
- [5] 刘宁钟. 高维条码识别技术和编码理论的研究. 南京理工大学硕士论文. 2003
- [6] 戴扬. 二维条形码编译码原理与应用研究. 西北工业大学硕士论文. 2004
- [7] 刘悦, 刘明业. QR code 二维条码数据编码的研究. 北京理工大学学报. 2005 (4)
- [8] 陈哲, 张永林. 基于二维条码技术的证件管理系统. 计算机应用与软件. 2005 (4)
- [9] 肖建芳, 林东岱. 二维条码和数字签名技术及其在毕业证书中的应用. 计算机工程与应用. 2005 (4)
- [10] 徐杰民, 肖云. 二维条码技术现状及发展前景. 计算机与现代化. 2004 (12)
- [11] 崔鸿富. 二维条码证件防伪系统. 条码与信息系统. 2004 (4)
- [12] Pavlidis T. and Swartz J., Fundamentals of bar code information theory, IEEE Computer, 1990, 23(4):p74-p86
- [13] Vangils W. J., Two-dimensional dot code for product identification, IEEE Trans. Information Theory, 1987 (9): p620-p631
- [14] 刘宏伟, 苗东. 二维条码的识别方法. 微计算机信息. 2004 (4)
- [15] 刘东, 高西全. QR 码图像处理及识别算法的研究. 信息技术 (哈尔滨). 2004 (1)
- [16] 刘宁钟, 杨静宇. 基于傅立叶变换的二维条码识别. 中国图象图形学报 :A 辑. 2003 (8)
- [17] Marom E., Bergstein L. and Kresic-Juric S, Analysis of speckle noise in bar-code scanning systems, Optics and Image Science, 2001, 18 (4):888-901
- [18] Okofnishnikova L. V., Polynomial algorithm for recognition of bar codes, Pattern recognition and image analysis, 2001, 11(2):361-364

- [19] Pavlidis T., Swartz, J. and Wang Y P., Information encoding with two-dimensional bar codes, IEEE Computer, 1992, 25(6):18-28
- [20] 刘东, 高西全. QR 码图像处理及识别算法的研究. 电子科技. 2003. 22
- [21] 刘磊, 袁国桃. 基于二维条码的身份证防伪认证系统. 西安理工大学学报. 2003 (3)
- [22] 刘宁钟, 杨静宇. 基于投影算法的二维条码识别. 计算机工程. 2002 (9)
- [23] Wang Y P., Pavlidis T. and Swartz J., High density two dimensional bar code, Proceedings of SPIE , Vol.1384, 1991:169-175
- [24] Longacre A. J , Stacked bar code symbologies, Identification Journal, 1989, 11(1):12-14
- [25] Hiramoto J., Past&present future of 2-dimension code technique, Monthly Barcode, 1996 (3):p35-p39
- [26] Kurosawa Y., Application Status of 2-dimension symbol in Europe and US, Monthly Barcode, 1996, Dec: 42-47
- [27] ISO/IEC 16022:2000, Data matrix. 2004
- [28] Jain A. K. and Chen Y, Bar code localization using texture analysis, Proceedings of the 2<sup>nd</sup>. International Conference on Document Analysis and Recognition, 1993(Oct):41-44
- [29] 陈军须. 二维条码技术及其在邮政的应用前景. 中国邮政. 2001 年 8 期
- [30] Chang I. F., Chu S. J. and Liu, S. T., Bar code scanning information entry technology and application, International Journal on Policy and Information, 1983, 7(2):165-180
- [31] Lo Chih-Chung and Chang C. Alec, Neural networks for bar code positioning in automated material handling, Proceedings of the 1995 International IEEE/IAS Conference on Industrial Automation and Control, 1995:485-491
- [32] Chang C. Alec, Lo Chih-Chung and Hsieh Kuang-Han, Neural networks and Fourier descriptors for part positioning using bar code features in material handling systems, Computers&Industrial Engineering, 1997, 32(2):467-476
- [33] 岳小利. 邮政专用二维条码 (上). 图象识别与自动化. 2000 年 2 期
- [34] 岳小利. 邮政专用二维条码 (下). 图象识别与自动化. 2001 年 1 期
- [35] Howlett R. J., Berthier S. and Awcock G. J., Determining the location of industrial bar codes using neural networks, IEE Conference Publication, n 443 pt

- 2, 1997: 511-515
- [36] Viard-Gaudin C., Normand N. and Barba D., Bar code location algorithm using a two-dimensional approach, Proceedings of the 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition, 1993(Oct):45-48
- [37] Joseph E. and Pavlidis T., Bar code waveform recognition using peak locations, IEEE Trans.PAMI, 1994, 16(6):630-640
- [38] Arnould S., Awcock G J., and Thomas R., Remote bar-code localization using mathematical morphology, IEE Conference Publication, v 2, n 465, 1999:642-646
- [39] Kuroki Mikio, Yoneoka Takayuki, Satou Tetsuo, Takagi Yoichi, Kitamura Tadaaki and Kayamori Noriaki, Bar-code recognition system using image processing, IEEE Symposium on Emerging Technologies&Factory Automation, 1997:568-572
- [40] E. Ottaviani A., Pavan M., Bottazzi E., Brunelli F. and Caselli M. Guerrero, A common image processing framework for 2D bar code reading, The Seventh International Conference on Image Processing and its Applications, 1999:652-655.
- [41] Normand N. and Viard-Guadin C., Two dimensional bar code reader. Proceedings of SPIE, v2181, 1994: 125-132
- [42] 张成海. 二维条码技术. 条码与信息系统. 1993 年 4 期
- [43] Shellhammer S. J., Goren David P. and Pavlidis, T., Novel signal-processing techniques in barcode scanning, IEEE Robotics and Automation Magazine, 1999, 6(1):57-65
- [44] Shellhammer S. J., Goren D. P., Pavlidis T., Selective sampling and edge enhancement in bar code laser scanning, SPIE Document Recognition, v 2660, 1996:354-366
- [45] Liao Hong Yuan, Liu Shu-Jen, Chen Liang-Hua and Tyan Hsiao-Rong, Bar-code recognition system using backpropagation neural networks, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1995, 8(1):81-90
- [46] Turin W. and Boie R. A., Bar code recovery via the EM algorithm, IEEE Trans. on Signal Processing, 1998, 46(2): 354-363
- [47] Turin W., Boie R. A., Minimum discrimination information bar code decoding,

- Proceedings of the 1996 19th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, 1996:255-258
- [48] Boie, R.A., Turin W., Noise-limited reading of bar codes, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 1997,44(6):816-824
- [49] 何斌, 马天予, 王运坚. Visual C++数字图象处理. 人民邮电出版社. 2002
- [50] 王新梅. 纠错码与差错控制. 人民邮电出版社. 1989
- [51] 陈宗杰, 左孝彪. 纠错编码技术. 人民邮电出版社. 1987
- [52] S.林. 纠错编码入门. 人民邮电出版社. 1976
- [53] 杨琼敏, 张永林. 基于二维条码和掌纹识别技术的证件防伪系统的研究.暨南大学硕士论文, 2001
- [54] 周健, 朱虹. 自然环境下的二维条码自动识读技术的研究. 西安理工大学硕士论文, 2003
- [55] 陈飞雄, 朱虹. 通用设备采集的二维条码自动识读技术的研究. 西安理工大学硕士论文, 2005
- [56] 陈媛媛, 施鹏飞. 二维条形码识别及应用.测控技术.北京.2006.12(25)12-17.
- [57] Canny J., A computational approach to edge detection, IEEE Trans. PAMI, 1986
- [58] Marr D., Hildreth E., Theory of edge detection, Proce. Royal Soc. London, 1980
- [59] Clark J., Authenticating edges produced by zero-crossing algorithm, IEEE Trans. PAMI, 1998,11(1):43-57
- [60] Hu Q., Yang J., Zhang Q., Liu K., An automatic seal imprint verification approach, Pattern Recognition, 1995(28):1251-1266

附录 1 DataMatrix 基本属性表

符号尺寸 <sup>1</sup> 行列		数据区 尺寸个数		映像 矩阵 尺寸	码词总数 数据 错误		Reed - Solomon 块 数据 错误		交 插 块	数据容量 数字 字母 字节			错误纠 正非数 据符	最多可 纠正的 码词
10	10	8x8	1	8x8	3	5	3	5	1	6	3	1	62.5	2/+
12	12	10x10	1	10x10	5	7	5	7	1	10	6	3	58.3	3/+
14	14	12x12	1	12x12	8	10	8	10	1	16	10	6	55.6	5/7
16	16	14x14	1	14x14	12	12	12	12	1	24	16	10	50	6/9
18	18	16x16	1	16x16	18	14	18	14	1	36	25	16	43.8	7/11
20	20	18x18	1	18x18	22	18	30	20	1	60	43	28	40	10/17
22	22	20x20	1	20x20	30	20	30	20	1	60	43	28	40	10/17
24	24	22x22	1	22x22	36	24	36	24	1	72	52	34	40	12/21
26	26	24x24	1	24x24	44	28	44	28	1	88	64	42	38.9	14/25
32	32	14x14	4	28x28	62	36	62	36	1	124	91	60	36.7	18/33
36	36	16x16	4	21x21	86	42	86	42	1	172	127	84	32.8	21/39
40	40	18x18	4	36x36	114	48	114	48	1	228	169	112	29.6	24/45
44	44	20x20	4	40x40	144	56	144	56	1	288	214	142	28	28/53
48	48	22x22	4	44x44	174	68	174	68	1	348	259	172	28.1	34/65
52	52	24x24	4	48x48	204	84	102	42	2	408	304	202	29.2	42/78
64	64	14x14	16	56x56	280	112	140	56	2	560	418	278	28.6	56/106
72	72	16x16	16	64x64	368	144	92	36	4	736	550	366	28.1	72/132
80	80	18x18	16	72x72	456	192	114	48	4	912	682	454	29.6	96/180
88	88	20x20	16	80x80	576	224	144	56	4	1152	862	574	28	112/212
96	96	22x22	16	88x88	696	272	174	68	4	1392	1042	694	28.1	136/260
104	104	24x24	16	96x96	816	336	136	56	6	1632	1222	814	29.2	168/318
120	120	18x18	36	108x108	1050	408	175	68	6	2100	1573	1048	28	204/390
132	132	20x20	36	120x120	1304	496	163	62	8	2608	1954	1302	27.6	248/472
144	144	22x22	36	132x132	1558	620	156	62	8*	3116	2335	1556	28.5	310/590
							156	62	2*					
长方形符号														
8	18	6x16	1	6x16	5	7	5	7	1	10	6	3	58.3	3/+
8	32	6x14	2	6x28	10	11	10	11	1	20	13	8	52.4	5/+
12	26	10x24	1	10x24	16	14	16	14	1	32	22	14	46.7	7/11
12	36	10x16	2	10x32	22	18	22	18	1	44	31	20	45.0	9/15
16	36	14x16	2	14x32	32	24	32	24	1	64	46	30	42.9	12/21
16	48	14x22	2	14x44	49	28	49	28	1	98	72	47	36.4	14/25
注 1: 符号尺寸不包括空白区。														
注*: 在最大的符号(144*144)中, 8 个块中的第一个块共有 218 个码词(其中 156 个数据码词), 最后一块共有 217 个码词(其中 155 个数据码词), 所有各块都有 62 个错误纠正码词。														
注+: 不使用														

## 致 谢

在论文完成之际，我真心感谢所有给予我关怀和帮助的人。

首先要感谢的是我的导师施鹏飞教授。施老师对学生言传身教，是我遇到的最好的老师之一。两年半来，施老师不仅在学业上给我精心指导，而且在生活上对我们处处关心，把学生当成自己的子女来培养，在此向施老师致以最深的敬意和由衷的感谢。

感谢刘允才、杨新、杨杰、赵群飞、严京旗、方涛、胡福乔、万卫兵等图像所所有的老师。通过各位老师的课程传授和专业教导，我顺利完成了专业课程的学习，为论文的研究写作打下了基础。

感谢佳能公司和周煦潼博士的支持与合作，给我提供了项目资助和各种资料信息。

感谢同实验室的师兄师姐们和与我同届的陈媛媛、肖睿、钟锦敏、沈冯怡。在课题研究过程中，与你们的探讨交流，使我受益匪浅。

感谢我的好友樊弦、朱巍巍、周丽琴。有你们的友谊，我快乐地度过了研究生生活。

特别感谢我的男友张智林，谢谢你对我的支持和帮助，让我能够顺利地度过各个难关。

最后感谢我的爸爸妈妈，你们是我的精神支柱，再多的言语也无法表达对你们的爱。希望论文的顺利完成能让你们多些欣慰，祝你们永远健康幸福！



## 攻读学位期间发表的学术论文目录

- [1] 万菁, 陈媛媛, 施鹏飞, 二维条码及其应用 (之一), 微电脑应用, 卷 11 (22), pp. 26-28, 2006
- [2] 陈媛媛, 万菁, 施鹏飞, 二维条码及其应用 (之二), 微电脑应用, 已录用
- [3] Yalan Ye, **Jing Wan**, Zhi-Lin Zhang, Jia Chen, Lei Wu, A Flexible Fully-multiplicative Orthogonal-group Based ICA Algorithm, Proc. of 2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB 2007), Hawaii, Accepted.

# 二维条码的编解码及系统实现

作者： 万菁  
学位授予单位： 上海交通大学

## 相似文献(9条)

### 1. 期刊论文 尚振宏, 袁梅宇, 刘辉, SHANG Zhen-hong, YUAN Mei-yu, LIU Hui 二维条码中RS纠错译码算法的优化实现 - 计算机工程与应用

2007, 43 (25)

利用Beriekamp Massey迭代算法、钱搜索算法以及Forney算法改进并实现了Data Matrix、QR Code和MaxiCode二维条码ISO标准中的Reed-Solomon纠错译码算法(简称RS算法),降低了三种二维条码码制中RS纠错译码算法的计算复杂度。在此基础上,利用RS缩短系统码的特点对译码过程作进一步简化。实验结果表明,通过简化译码过程再次提高了RS纠错译码的速度。

### 2. 学位论文 张旭 汉信码识读技术研究 2007

二维条码是建立在计算机图像处理技术、组合编码原理等基础上的一种图形符号。与其他自动识别技术相比,二维条码本身具有高容量、高密度、纠错能力强、安全强度高、价格低廉等特点,使得二维条码作为信息的载体在信息自动采集领域发挥着越来越重要的作用。二维条码的信息密度比较高,其识别技术比一维条码的识别更为复杂,需要进行图像处理、纠错译码、信息译码等技术处理,才能还原原始编码信息。因此二维条码的有效快速的识别技术成为当前重要的研究领域。 本文主要对国家标准二维条码“汉信码”进行研究,重点研究了其识读和译码算法,以及在Visual C++平台上实现二维条码的识读。首先介绍了汉信码的主要特点和编码规则;由于汉信码采用RS纠错算法来增强抗污损能力,本文介绍了RS纠错译码算法;在识别系统中主要包括三部分的内容,分别是汉信码图像预处理、汉信码的识别和汉信码的信息译码,汉信码属于矩阵式二维条码,因此在汉信码的识别过程中采用数字图像处理的方法;此外,本文给出了汉信码的译码设计实现。 研究表明,本文采用的汉信码识别算法能够快速、准确的识别汉信码。

### 3. 学位论文 李晋华 二维条码识别中若干问题的研究 2006

二维条码相比传统的一维条码具有高密度、可纠错、可表示多种文字信息、可表示图像、可引入加密机制等优点,成为现代物流环节中不可或缺的关键技术之一。 本课题主要研究二维条码图像识别的问题,对两种典型的二维条码PDF417和DataMatrix条码的图像识别算法进行了深入的探讨,针对两种条码不同的应用环境下的条码图像的识别,提出了不同的解决方案,其中对DataMatrix条码的识别,还单独探讨了在金属表面打印的条码图像识别。在图像的识别算法中,对条码行的分割,设计了基于行差异的投影处理方法。在保证识别正确性的前提下,针对实时性要求对相关算法在性能上进行了优化。试验表明,该算法是有效而且高效的。 二维条码PDF417和DataMatrix条码中都包含RS纠错码,本课题对RS纠错码的译码算法进行了探讨并给出了优化实现。 在PDF417条码符号的解码上,本文实现了超长数900进制与10进制之间相互转换的专用算法,而避免了通过算法在性能上的不足。

### 4. 学位论文 李文东 数字签名技术在二维条码中的应用 2007

本论文的主要目的是综合利用PDF417条码的编码原理、RSA公钥密码体制,给出了一个在二维条码基础上的数字签名方案。研究主要内容可分为四个部分: 首先研究了数字签名技术;对其消息摘要算法MD5和RSA公钥机制进行了较深入的讨论,采用基于RSA公钥密码体制建立一个数字签名方案,并实现了相关的程序编写和软件设计。 接下来研究了PDF417条码的编码原理及相关实现方法。根据PDF417条码编码压缩规则,实现条码信息的压缩,生成对应的二维条形码;给出了相关条码生成的系统。 第三部分讨论了Reed-Solomon纠错码、图像简单情况下的识别和相关译码步骤。这部分具体实现借助Symbol公司的软件识别系统来完成。 最后将数字签名系统和条码生成系统、识别系统进行配合,进行一个简单的实验,完成二维条码识别与验证。 通过本文的详细讨论,为PDF417条码的应用提出一个实际应用可能——即完成条码生成和识别的同时加入签名验证功能。这是很有实际应用价值的,应该能对实际开发起借鉴作用。

### 5. 学位论文 戴扬 二维条形码编译码原理与应用研究 2004

该文简要介绍了二维条形码的特点和编码规则,详细阐述用计算机实现其编码的原理和方法,采用具体实例介绍设计步骤,并给出可同时实现中英文编码的程序设计方法。另外,二维条形码具有一维条码不具备的纠错功能。该文简要介绍了Reed-Solomon纠错码(RS码)原理,重点分析研究它在PDF417二维条形码中的应用方法,并详尽地推导了在迦罗华域GF(929)域内RS码的编译码方法。同时提出一种适用于PDF417纠错编码和译码的查表方法,可以简单确定任意数码在GF(929)内所对应的本原元的幂次。运用该方法可以快速而准确地计算出纠错码生成多项式的系数列以及差错伴随式。显著提高纠错效率。在译码方面该文探讨了一种采用CCD整图读取条码图像的方法,用计算机进行图像分析,特征提取,完成译码的实现方法。还给出了一种基于PDF417二维条码结构特性的算法,该方法设计滤波器滤除噪声部分,再采用点搜索法进一步去除不符合条码边界特点的孤立的点和容易与边界混淆的竖直划痕,最后对条码图像进行复原。实验证明可以有效去除滤波对有效条码边缘的影响,同时保证图像可靠恢复。对于恢复后的条码图像采用改进的边缘检测投影方法译码,降低了对条码纠错等级的要求,大大提高了译码的效率和准确率。

### 6. 学位论文 周利红 在通用设备上开发QR二维条码的研究 2008

QR Code二维条码是建立在计算机图像处理技术、组合编码原理等基础上的一种图形符号自动识读码制。由于其具有高效的汉字表达能力和超高速识读能力,使得其在中国具有广泛的市场应用前景。然而,昂贵的专用设备严重阻碍了其深入的普及和发展。因此,通用设备环境下的QR码研究具有重要的现实意义。 本文着重分析和研究了快速响应矩阵码QR Code的编码和解码技术,并在通用设备上成功实现了QR码的编码和译码。首先,从QR码的编码原理出发,在深入研究RS纠错码原理的基础上,实现了QR码符号的生成,完成对数据信息的QR码编码,并利用专用的条码识别设备DT-10XM30RC来验证编码系统的正确性。其次,在QR码解码方面,采用了图像处理技术,对QR码符号进行图像预处理,并结合QR码符号的特点,提出了改进的图像预处理算法。然后再对处理后的QR码图像进行定位、识别和解码,恢复条码所含的数据信息。最后,通过对各种情况下的QR码图像进行识别,对结果进行统计和分析,指出了本系统的优势和存在的不足,为QR码系统的进一步改进和完善指明方向。

### 7. 学位论文 花蓓 PDF417条码编译算法的研究与实现 2007

现代包装中通常使用的条码都是一维条码,但是一维条码的诸多缺陷已经无法满足包装在运输、存储和表达信息方面的要求。二维条码的诞生解决了一维条码所不能解决的问题,它能够在横向和纵向两个方位同时表达信息,不仅能够很小的面积内表达大量的信息,使条码脱离数据库成为独立的信息载体,而且能够表达汉字和图像信息;同时二维条码采用现在世界上最先进的纠错控制码之一的RS码,大大提高了条码信息的读取能力。将二维条码大量的运用到产品包装中将是今后包装行业的一个趋势。近些年来二维条码在我国某些领域进行了尝试性的应用,但往往都是基于国外的一些软件公司的应用软件平台之上进行应用的,导致相关研究受到很大的限制。本课题针对二维条码中具有代表性的排式二维条码-PDF417条码,基于VC++6.0设计平台,设计相关的算法,生成条码编译系统的雏形。 本课题首先研究PDF417条码的编码规则并设计相关的计算机编码算法使其程序化,完成系统软件的编码部分;其次,简要介绍Reed-Solomon纠错控制码(RS码)的编码与译码原理,在伽罗瓦域GF(929)内根据其编译码的原理重点分析与研究其在本课题中的实际应用;然后根据条码的编码原则对PDF417条码的译码过程进行详细的分析与研究,并设计出相应的实现方法,利用具体实例对设计方法进行理论方面的实践同时将设计方法程序化完成系统软件的译码部分;最后利用Julia集分形图形的不可重复性和随机性的特点对系统软件在图像信息方面的实际应用进行了验证。

### 8. 学位论文 严妍 二维条码编码和解码技术的研究与应用 2005

二维条码本身所具有的高容量、高密度、纠错能力强、安全强度高等特点使得二维条码作为信息的载体在信息自动化领域发挥着越来越重要的作用。作为二维条码的一种,矩阵式的二维条码是建立在计算机图像处理技术、组合编码原理等基础上的一种图形符号自动识读处理码制。由于二维条码的信息密度比较高,其识别技术比一维条码的识别更为复杂,尤其对于矩阵式二维条码,因此二维条码的有效快速的识别成为当前重要的研究领域。本文研究了二维条码之一快速响应码(QR Code)的编码技术和译码技术。首先探讨了QR码编码系统的设计,并对RS纠错码编码算法进行了深入的研究,同时分析了打印设备与条码标签的关系。然后讨论了基于数字图像处理技术的条码图像预处理和条码识别技术,在条码图像预处理中,利用Hough变换、Sobel边缘检测算法定位条码图像,并利用空间变换方法纠正采集图像出现的失真现象,同时提出了一种适合嵌入式系统的计算二值化阈值的算法;在条码图像识别中,通过分析经过光学系统的条码图像的噪声模型,利用投影算法、高斯滤波,经过差分处理后自适应地选取阈值去除噪声导致的无效边界,从而得到了条码的基本模块,最后探讨了QR码解码的相关理论。在Visual C++平台上的研究结果表明,条码的编码系统能够正确地打印出条码,条码的识别系统能够准确的识读出QR条码,证明了上述算法的可行性和稳定性。将Visual C++代码移植到Blackfin ADSP-BF533嵌入式平台上。经过大量的测试,表明本文提出的条码识读算法可以有效地应用于嵌入式系统,条码的识读时间完全可以满足应用领域的要求。

### 9. 学位论文 许晓辉 移动端二维条码识别系统的研究 2007

本文在研究现有的二维条码识别技术和Symbian操作系统智能终端的特点的基础上,系统的研究了移动端二维条码的识别技术,提出了适合手机端二维条码识别的图像处理的优化算法。本文的主要工作如下: 首先调用手机的摄像头拍摄条码,将条码图案显示在Symbian操作系统的智能终端。根据手机拍摄的条码图像存在光照不均匀、污损、扭曲、倾斜的缺点,使用一种适合手机端的新的灰度化处理公式来代替标准的灰度化公式。然后采用快速自适应阈值分割方法对手机条码图片进行二值分割。同时使用顺序区域标记的算法对二值条码图像连通区域进行标记并且提出了3种规则来筛选出正确的条码图案的区域。在初步定出条码图案区域后,根据Data Matrix条码图像的特点,提出使用凸包算法来对条码进行精确的定位。最后提出一种新的条码图案倾斜校正的算法来得到标准的条码图案后使用RS纠错码进行译码。 最后本文在Symbian Series60 3.0平台上完成了移动端二维条码识别系统的开发。实验证明,该系统具有较高的识别率,可以满足在移动端的使用。