

**基于 VC 的二维码软件开发**  
**THE QR CODE SOFTWARE**  
**DEVELOPMENT BASED ON VC**

专          业： 计算机科学与技术（信息处理）

姓          名： 陈 鹏 宇

指 导 教 师：

申请学位级别： 学 士

论文提交日期： 2013 年 5 月 29 日

学位授予单位： 天津科技大学

## 摘 要

近年来，随着移动互联以及智能终端的蓬勃发展，人们的经营活动范围变得更加宽泛，也因此更需要适时的进行信息的交互和分享。传统的一维条码已经逐渐满足不了实际的需求，随之产生的二维条码在继承了一维条码的多数优点的情况下，有效地跨越了一维条码所遇到的瓶颈。拓展了条码技术的应用领域。

QR 二维码作为二维条码的一种，同样是基于计算机图形图像处理技术、编码原理等理论的一种自动识别码制，也是目前市面上应用最广泛的二维码之一。QR 二维码不仅具备一维条码的所有优点，还具备了信息容量大、超高速全方位识读，保密防伪性强等优点，并且能够良好地与智能移动终端相结合，具有更好地应用前景。

本课题的研究目的是在对 QR 二维码的编码和解码规则和算法研究的基础上，利用 Microsoft 公司所提供的 Visual C++ 平台设计实现一个应用于影院票务中的 QR 二维码的编码和解码系统，设计的内容主要包括两部分：一是 QR 二维码的编码模块，对输入的姓名，联系电话等信息进行自动编码并生成 QR 二维码图像。二是 QR 二维码的解码模块，实现对读入的 QR 二维码图像进行解码，并显示解码后的信息。

在编码模块中，主要介绍了 QR 二维码的码制特征以及编码规则，不仅可以对数字进行编码，还可以对字母、日文汉字和中文汉字等信息进行编码。另外还针对实例进行分析，并对二进制位流的转换和码字布置以及掩模处理和版本格式信息进行了分析和设计。在解码模块中，对 QR 二维码图像的灰度化，去噪，二值化和图像旋转等图像预处理进行了研究，以及根据 QR 二维码的编码规则进行逆向处理，对其解码规则和算法进行了设计与实现。最后，介绍了基于 QR 二维码的影院票务系统的设计，并给出相应的打印票样。

关键词：二维条码；QR 二维码； 编码； 译码； 影院票务系统

## ABSTRACT

In recent years, with the rapid development of mobile Internet and intelligent terminals, people's business activities are becoming more and more widely, and therefore exchange and sharing information timely is in need greatly. The traditional one-dimensional bar code has gradually failed to meet actual needs, The resulting two-dimensional bar codes in the case of inherited a majority advantage of barcode, overcame the bottleneck of traditional bar code effectively. Expand the application field of the bar code technology.

QR codes as a kind of two-dimensional bar code, is an automatic identification system based on the theory of computer graphics, image processing technology, and encoding principle and is one of the most widely used of two-dimensional code on the market. QR codes not only has all the advantages of a one-dimensional bar codes, also had the large information capacity, high-speed read and confidential security, and can be well combined with intelligent mobile terminal, has better application prospects.

The purpose of this research is under the coding and decoding algorithm of QR code, on the basis of using Visual C++ platform provided by Microsoft to achieve a application of cinema ticketing system by using QR code. The design mainly includes two parts: one is the QR code encoding module, encoding the name, phone number and other information to a QR code and draw up a QR code image. The other one is decoding module, realize to read a QR code image and decoding, then display the decoded information.

In the encoding module, mainly introduced characteristics of the QR code as well as the encoding rules, can not only for digital encoding, but also for letters, Chinese characters and kanji information. Also analyzed and designed for Conversion of binary bit stream, mask processing and version format information. In the decoding module, introduced the image preprocessing, such as gray processing, denoising, binarization and rotation, and according to QR code encoding rules for reverse processing, designed and implemented the decoding rules and algorithm of QR code. Finally, the paper introduced the cinema ticketing system based on QR code, and gave the corresponding print sample.

**Key words:** Two-dimensional barcode, QR Code, Encode, Decode,

Cinema ticketing system

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 研究背景与意义 .....	1
第二节 研究现状与发展趋势 .....	1
第三节 本文研究的主要内容 .....	2
<b>第二章 条码技术概述与系统需求分析</b> .....	4
第一节 一维条码概述 .....	4
第二节 二维条码概述 .....	5
第三节 QR 二维码概述 .....	7
第四节 系统需求分析 .....	9
第五节 开发平台与相关技术介绍 .....	10
<b>第三章 QR 二维码影院票务系统总体设计</b> .....	13
第一节 总体设计概述 .....	13
第二节 编码模块设计 .....	14
第三节 解码模块设计 .....	14
<b>第四章 QR 二维码影院票务系统详细设计</b> .....	16
第一节 QR 二维码编码模块设计 .....	16
第二节 数据解码子模块设计 .....	31
<b>第五章 编码实现结果与分析</b> .....	38
第一节 数据编码模块结果与分析 .....	38
第二节 数据解码模块结果与分析 .....	39

第三节 实际应用中的示例 .....	41
第六章 结 论 .....	42
第一节 工作总结 .....	42
第二节 工作展望 .....	42
参考文献 .....	43
致 谢 .....	44

# 第一章 绪论

## 第一节 研究背景与意义

条形码技术是随着计算机技术和信息技术的发展与应用，而产生的集编码、印刷、识别、数据采集和处理于一体的新技术。条形码技术首先在二十世纪二十年代的 Westinghouse 实验室诞生。最初的目的是为了自动分检邮政系统中的各种单据。条形码上所标记的信息是收件人的地址等，就好比今天的邮政编码。在此之后，在多数科研人员的研究下，又诞生了很多种不同规格和功能的条形码。

条形码技术诞生之后，随即在商品物流领域得到了广泛的应用。条码具有输入速度快、效率高，可靠性高，采集信息量大，制作与使用成本低等特点。主要用于对零售商品、非零售商品及物流单元的条码标识。最早被打上条形码的产品是箭牌口香糖。可以实现快速、准确而可靠地采集数据、识别商品和自动读取商品相关信息。条码技术的应用，在商业、工业生产、仓储运输配送等物流领域，图书管理以及票证等各领域应用非常广泛。

尽管一维条码在生活经济的各个领域都得到了广泛的应用，但是信息容量有限，并且只能简单对物品进行标识，不能表示物品的详细信息，逐渐满足不了现实生活的需求，为了克服不足并满足市场的需求，二维条码技术应运而生。二维条码不仅具备一维条码的所有优点，还具备了信息容量大、超高速全方位识读，保密防伪性强等优点，并且能够良好地与智能移动终端相结合，具有更好地应用前景。

## 第二节 研究现状与发展趋势

二维码诞生于日本，起初是日本电装公司为了实现对汽车零部件的管理而设计的一种条码。与一维条形码所不同的是，二维码可以在水平和垂直方向的二维空间存储信息，进而克服了一维条形码数据容量小、空间利用率低等缺点。自 20 世纪 80 年代以后，逐渐研制出多种表示法的二维码符号，常见的二维码有 PDF417、QR Code、Data Matrix、Maxicode 等。

二维码除了具有货物和商品识别，仓库和运输跟踪等一维条码的功能外，还具有身份识别和票证应用。美国国防部已经在军人身份证件上印制了 PDF417 码。持卡人的姓名、部门等其他个人信息被编码成一个 PDF417 码并印制在各自的证件上，被用作出入重要场所以及医院社保服务管理上。我国香港特别行政区也将 PDF417 码应用到了居民身份证件上。其他的应用如营业执照、驾驶执照、护照、我国城市的流动人口暂住证等也都是很好的应用方向<sup>[1]</sup>。

二维码不仅在这些方面有所应用，而且在大多数领域中都有涉及。例如文档，

业务应用程序等应用以减少人工重复输入表单信息，避免人为错误，降低人力成本。在安全传输方面，应用在经济，军事和其他领域。二维码在电子商务方面的应用最为广泛，其为移动互联网和 O2O（Online to Offline）提供了关键的入口。随着越来越多的互动电子商务企业线下并行，二维码成为市场营销的一种重要载体的电子商务企业平台。在商业领域中广泛应用的二维码，结合 O2O 概念，给消费者带来更多方便快捷的消费体验，成为一种连接线上线下的新的渠道业务平台。在将来的应用中，也可应将二维码技术应用在食品及医药追溯管理上。从食品种植养殖及生产加工环节开始使用条码，实现全过程的跟踪和追溯，包括运输、包装、分装和销售等流转过程中的全部信息，都能通过条码在数据库中查到。食品追溯管理系统利用条码技术，加之于网络和数据库技术，对实用信息进行了融合、查询和监控。在生产和分配过程，可以针对每一件货物的安全性和食品成分追溯等阶段进行合理的控制与管理，实现食品安全预防机制<sup>[1]</sup>。

随着移动互联以及智能终端的蓬勃发展，在 2012 年，二维码进入加速普及期，仿佛瞬间占据了我们生活的各个领域。二维码名片、信息查询、网上购物都可以通过二维码来完成。在移动互联网的商业模式，人们的经营活动范围更加广泛，也因此更需要适时的进行信息的交互和分享。随着 3G/4G 移动网络环境的成熟发展和移动终端设备的普及，时空和硬件设备的局限将被克服。二维码可以存储丰富的网络信息，并通过手机等终端拍摄就可以连接起现实世界和网络世界，成为移动互联网的入口。

### 第三节 本文研究的主要内容

本课题是以 QR 二维码为研究对象，主要针对 QR 二维码的符号结构以及编解码算法进行了研究。本设计在 Window 7 系统下，使用 Microsoft 公司所提供的 Visual Studio 2008 开发平台下，使用 C++ 为开发语言，来实现对 QR 二维码的编码和解码程序的开发。实现 QR 二维码在影院票务系统中的应用。

本文结构如下：

第一章：绪论。给出课题的研究背景和意义，研究现状与趋势，提出论文的主要研究内容。

第二章：条码技术概述与系统需求分析。介绍当前一维条码和二维码的种类，引出并分析 QR 二维码的特性。并针对现状对影院票务系统进行需求分析。

第三章：QR 二维码影院票务系统总体设计。包括对数据编码子模块和数据解码子模块的总体设计。给出系统的总体架构以及功能模块构成。

第四章：QR 二维码影院票务系统详细设计。有对 QR 二维码编码模块的设计与实现。主要是对 QR 二维码的编码研究，对其编码流程，编码模式，掩模特性，纠错编码等进行研究与实现。以及对解码模块的设计与实现。主要是对 QR

二维码的解码研究，对其图像预处理，解码算法以及解码流程的研究与实现。

第五章：编码实现结果与分析。是基于上述的理论和设计，开发出影院票务二维码的生成与读取的程序，并进行相关的运行测试以及实际应用中的票样示例。

第六章：总结。对论文的总结以及相关技术的未来发展趋势。



## 第二章 条码技术概述与系统需求分析

### 第一节 一维条码概述

一维条码是由一系列规则排列的黑条、空白以及对应的字符组成的符号，这些组合组成的数据表达一定的信息，并可以经过识读转换成与计算机兼容的 2 进制或 10 进制信息。一般的一维条码在使用过程中仅用作信息的识别，它的意义是通过在提取存储在计算机系统的数据库中相应的信息而实现的<sup>[8]</sup>。

目前正在使用的条码体系中，主要有 EAN 商品条码、93 码、128 码和 25 码等不同的码制。其中，EAN 条码是国际通用的条码符号体系，只能对数字信息进行编码，长度固定，主要在商品标识领域使用。128 码和 93 码是当今国内企业内部自行定义的编码模式，可以按实际应用来确定条码长度和信息内容，既可以编码数字，也可以编码字母，主要在工业生产线领域和图书管理领域有着广泛的应用。25 码：主要应用于包装印刷以及国际航空体系中的机票序列编号等领域。图 2-1 给出了不同码制下的一些一维条码使用示例。



图 2-1 常用的一维条码示例

#### 一、 EAN-13 条码介绍

EAN-13 是欧洲物品条码(European Article Number Bar Code)的英文缩写，主要是国际上对消费商品为使用对象的统一代码。任何国家使用统一的编码规则，只要使用相应的解码阅读器，即可得出此商品的名称，规格，国家，生产公司或厂商等一系列的相关信息。

EAN 码所编码成的每个数据字符分为两部分，分别是两个黑色线条和两个白色线条。此外，它还是一种多值符号码，即是在一个字符中有若干种相同或不同

宽度的线条和空白。在 EAN 码中，共有 10 种不同宽度的线条组成，只能表示 0-9 这十个阿拉伯数字，另外，每个数字字符可以有三种不同的编码形式，分为左侧数据符奇排列、左侧数据符偶排列以及右侧数据符偶排列三种。因此这十个数字总共可以有 30 种编码模式。

## 二、 Code93 条码介绍

Code 93 码是由 Intermec 公司于 1982 年设计产生的，它可以拥有更大的编码密度和数据安全性能。起初，Code93 主要是为加拿大邮政编码提供补充信息。它是一个长度可变，字母可选的代码体系。

Code93 码可以对 A-Z 这 26 个英文大写字母和 0-9 这 10 个数字字符和 '-'、'!'、'\$'、'/'、'+'、'%','Space'这 7 个特殊字符进行编码。除了这 43 个字符之外，Code93 码还定义了 5 个转义字符（包括启动/停止字符）。也可以与其他字符相组合来表示所有 128 个 ASCII 字符。

## 三、 Code128 条码介绍

Code128 条码在企业内部管理、物流控制系统方面等方面有着广泛的应用，它有着优良的特性并得以在管理信息系统设计中使用。它可以表示从 ASCII 0 到 ASCII 127 共 128 个字符，故称 128 码。其中包含了数字、字母和符号字符。

由于 Code128 条码可表示较全面的字符（数字、字母和符号），而且有着高密度的字符编码容量，条码自身长度与字符串实际长度无明显的关联，因此 Code128 条码便成为了企业内部管理系统中最广泛使用的条码码制。

## 四、 Code-2 of 5 Interleaved 条码介绍

Code-2 of 5 Interleaved 码即为交插二五码。它也是一种不定长的条码。每个字符由 5 个单元组成的。它是由美国的 Intermec 公司在 1972 年发明的。早期主要涉及仓库存储及重工业领域。从 1981 年开始将其用于运输包装领域。1987 年，日本引入交插二五条码，标准化后用于储运单元的识别与管理。

与其他条码不同的是，交插二五码的线条与空白均表示编码信息，没有字符间隔的连续型条码，因此提高了条码密度。由于交插二五条码容易产生因信息丢失引起的误读，所以经常采用保护框来防止不完全扫描而产生错误。

## 第二节 二维条码概述

随着社会生产活动的不断提升，传统的一维条码已经逐渐满足不了实际的需

求，随之产生的二维条码在继承了一维条码的多数优点的情况下，有效地跨越了一维条码所遇到的瓶颈。拓展了条码技术的应用领域。

二维条码共有几十种不同的编码规则，其中有 4、5 种广泛的应用中不同的领域。目前使用率最多的编码方式为堆叠式二维条码（2D Stacked Code）和矩阵式二维条码（2D Matrix Code）两种。其中 PDF417 码是典型的堆叠式二维条形码，常用的矩阵式二维条码有 Data Matrix 码和 QR 码两种。图 2-2 给出了这三种编码规则下对信息“www.tust.edu.cn”的编码结果。



图 2-2 常用的二维条码示例

在任何语言的编码信息或二进制流（例如数字签名，如图片）有所损坏的情况下，利用新的二维条形码，可以由用户恢复误差校正水平内的所有信息。

### 一、 Data Matrix 码介绍

Data Matrix 原名 Data code，是由美国国际资料公司(International Data Matrix, 简称 ID Matrix)于 1989 年发明的二维条码。其外观是一个由许多小型的方格模块所组成的矩形符号。其中编码信息储存在浅色与深色模块不同的排列组合之中，以二进制数字进行编码，因此计算机可以对其进行直接的信息读取。深色像素代表“1”，浅色像素代表“0”，再用相应的深浅模块连接成一个完整的矩阵，形成 Data Matrix 二维条码。

Data Matrix 二维条码的尺寸大小可以任意调整，条码模块范围介于  $10 \times 10 \sim 144 \times 144$  模块数。其编码字符集包括全部的 ASCII 字符以及扩充的 ASCII 共 256 个字符。编码容量为 2235 个文字汉字，1556 个 8 位字符，3116 个数字字符。此外，Data Matrix 二维条码采用 Reed-Solomon 算法产生多项式计算获得纠错码字，以保证条码的正确读取。

## 二、 PDF417 码介绍

PDF417 码是一种高密度、高信息含量的便携式数据条码。PDF 即 Portable Data File 的缩写，意为便携数据文件。构成条码的每一符号字符都是由 4 个线条和 4 个空白，并且总模块数为 17，所以称 417 码或 PDF417 码。

PDF417 码信息容量大，除了可以表示字母、数字、ASCII 字符外，还能表示二进制数。编码容量为 1850 个扩展的字母数字压缩格式字符，1108 个字节的二进制或 ASCII 格式，或者 2710 个数字压缩格式。

### 第三节 QR 二维码概述

QR 二维码，即 Quick Response Code，又称作快速响应码，是矩阵式二维条码的典型代表，也是目前市面上应用最广泛的二维码之一。在国内应用比较流行的有 Tencent 公司开发的即时通信软件——微信，是较早将 QR 二维码应用于智能移动终端的软件之一，可以利用智能终端通过扫描 QR 二维码对好友进行添加，除此之外，还可有其他形式的二维码编码内容的存在，可以携带网页链接，电子名片等信息。SINA 公司提供的微博服务也将 QR 二维码应用其中。目前国内铁路系统也使用 QR 二维码替代传统的以为条码作为火车票的识别认证防伪的主要途径。每一个 QR 二维码的编码符号是一个正方形矩阵，由 3 个位置探测图形，即寻像图形，0 个或多个校正图形、分割符、定位图形以及编码区域组成。QR 二维码版本 7 的符号结构如图 2-3 所示。其基本特性如表 2-1 所示。

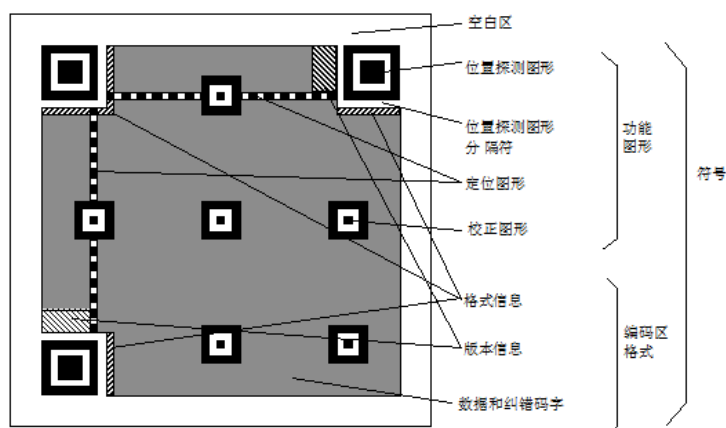


图 2-3 QR 二维码版本 7 的符号结构图

表 2-1 QR 二维码的基本特性

特 性	内 容
符号规格	从版本 1 (21×21 模块) 到版本 40 (177×177 模块)
数据类型及最大容量	数字数据: 7089 个字符
	字母数据: 4296 个字符
	8 位字节数据: 2953 个字符
	中国汉字、日本汉字数据: 1817 个字符
数据表示法	深色模块表示二进制“1”, 浅色模块表示二进制的“0”
纠错等级	L 级: 约可纠错 7% 的数据码字
	M 级: 约可纠错 15% 的数据码字
	Q 级: 约可纠错 25% 的数据码字
	H 级: 约可纠错 30% 的数据码字
结构链接	可用 1-16 个 QR 二维码符号表示一组信息
掩 模	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
扩充解释	使符号可以表示缺省字符集以外的数据(如阿拉伯字符、希腊字母等), 以及其他数据解释(如用一定的压缩方式表示的数据)或者对行业特点的需要进行编码

QR 二维码的符号一共有 40 个版本, 其中版本号  $n$  的规格是

$(4n + 17) \times (4n + 17)$  的矩形<sup>[2]</sup>。即当版本号为 1 时编码图形为 21×21 模块, 以此类推, 版本号 40 时为 177×177 模块, 即为 QR 二维码中最大的规格。图 2-4 为版本 1 的符号结构。

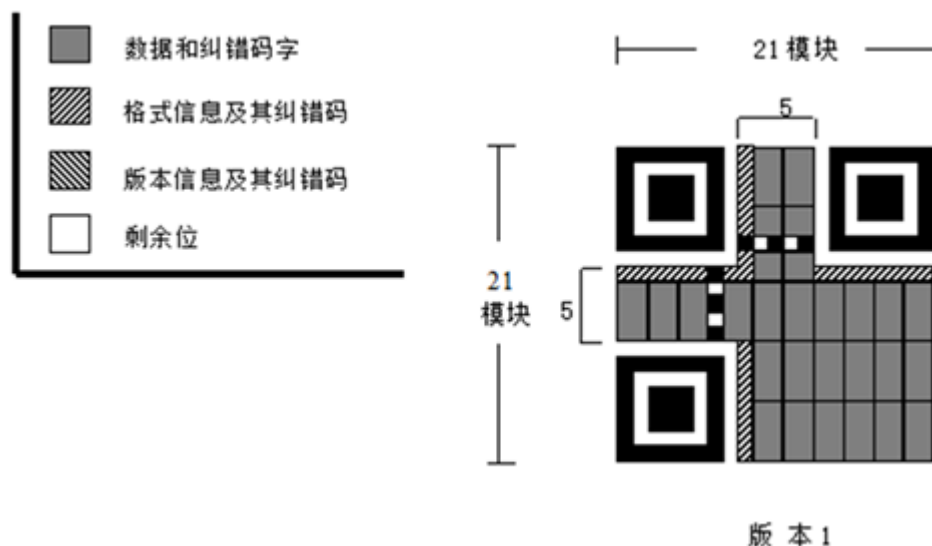


图 2-4 版本 1 的符号结构

在 QR 二维码的整个符号结构的左上方、右上方和左下方各有一个寻像图形, 如图 2-3 所示。每个寻像图形看作是近似的 3 个同心的正方形构成, 分别为 7×7

个黑色模块、5×5 个白色模块和 3×3 个黑色模块组成。如图 2-5 所示，寻像图形的模块宽度比为 1: 1: 3: 1: 1。由于在符号中其他区域出现与之相类似的图形的可能性极小，即可得以迅速地识别并确定二维码符号的位置和方向。在每个寻像图形和编码区域之间有宽度为 1 个模块的浅色区域是位置探测图形分隔符，用于区分寻像图形和编码区域。在左上角和右上角的寻像图形最下端有平行的一个模块的黑白相间的线性标志，称作定位图形。同样，在左上角和左下角的寻像图形直接也有一个同样的竖直的定位图形。用于确定符号版本，并且提供模块坐标的基准位置。

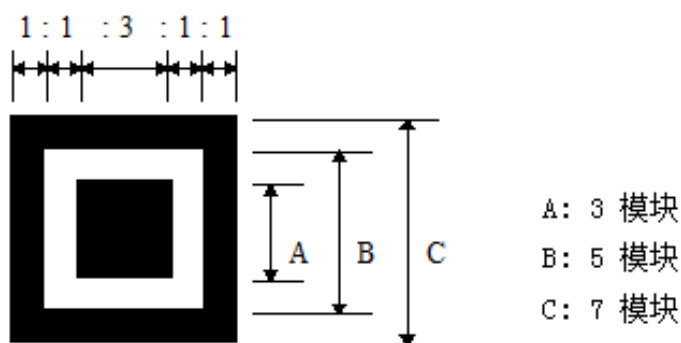


图 2-5 寻像图形

#### 第四节 系统需求分析

随着 IT 产业的迅速发展和移动互联的普及，二维条码技术已经应用到了生活中的很多领域。近几年，QR 二维码作为二维码家族中极为重要的成员之一，它的应用愈来愈广泛，成为新信息时代连接线上线下进行交互的新宠。基于上文对 QR 二维码编码和解码的研究，结合如今电影院线的实际需求，提出了将电影票务与 QR 二维码技术进行结合的影院票务系统。为顾客购票、消费等提供了很大的便利，很大程度上减轻了影院售票和检票人员的工作量，提高了工作效率。

在目前的多数影院票务销售体系中，传统的文字纸张的销售模式仍旧占据着社会主流，但传统的售票模式带来的漫长的排队等待。繁琐的票务验证等问题始终得不到有效的解决<sup>[12]</sup>。随着电子票务系统的出现，以及网络电商平台的发展与完善，将 QR 二维码应用到影院销售系统中，采用二维码进行票务的销售和检验，不仅能够提高通行效率，又能有效地防止伪票。即可让用户活动一系列完美的消费体验。

考虑到实际应用，终端机器除了将电影名称，放映时间，座位编号，电影场次以及会员编号等信息打印之外，还需要在票面上打印包含基本信息的 QR 二维码图像，以代替原来的一维条码。该二维码可以用于电子检票，以减轻检票员的工作。

## 第五节 开发平台与相关技术介绍

### 一、 Microsoft Visual Studio 2008 介绍

Visual Studio 是微软公司推出的集成开发环境，提供了一套完整的开发工具。目前已经开发到 9.0 版本，也就是 Visual Studio 2008。Visual Studio 2008 可以用来创建高性能的 Windows 应用程序、移动应用程序、网络应用程序、网络服务、智能设备应用程序和 Office 插件等。VS2008 引入了 250 多个新特性，整合了对对象、关系型数据、XML 的访问方式，语言更加简洁。使用 Visual Studio 2008 可以高效开发 Windows 应用程序。Visual Studio 2008 的优势在于它使开发人员创建程序更容易、更灵活。它提供了高级开发工具、调试功能、数据库功能和创新功能，帮助在各种平台上快速创建当前最先进的应用程序。任何规模的组织都可以使用 Visual Studio 2008 快速创建能够更安全、更易于管理并且更可靠的应用程序。此外，VS2008 可以高效开发 Web 应用，集成了 AJAX 1.0，包含 AJAX 项目模板，它还可以高效开发 Office 应用和 Mobile 应用。

与 Visual Studio 之前的其他版本相比较，Visual Studio 2008 在快速程序开发、突破性体验和高效的团队协作三个方面做出了重大改进。Visual Studio 2008 对编程语言以及数据结构功能有个很大的改进，比如语言集成查询 (LINQ)，所有的程序员更容易通过这些功能来建立和处理信息的分析解决方案。有助于程序编写人员迅速高效的创建优良的先端软件。使用 Visual Studio 2008 还可以让程序开发人员在相同的开发环境下创建面向多个不同版本的 .NET Framework 应用程序，这就意味着在相同的开发环境下可以兼容各种各样的项目。另外，Visual Studio 2008 开创了加快创建应用程序紧密联系在一起的新平台，为程序编写人员提供了一个新的平台，这些平台包括 Web、Windows Vista、Office 2007、SQL Server 2008 和 Windows Server 2008。对于 Web，ASP.NET 和，AJAX 以及其他新技术加快开发人员的创建效率、交互式更强和更个性化的新一代 Web 体验。还有，Visual Studio 2008 提供了帮助开发团队改进协作的扩展的和改进的服务项目，包括帮助将数据库专业人员和图形设计人员加入到开发流程的工具。

### 二、 C++面向对象编程技术

#### (一) C++编程语言

20 世纪 70 年代，美国贝尔实验室的计算机科学家基于 BCPL 和 B 语言开发研制了 C 语言，面向过程的 C 语言是 20 世纪以来最为经典的编程语言之一，它具有可移植性，广泛应用于操作系统、嵌入式软件、科学计算。著名的 UNIX 操作系统就是由 C 编写而成的。C++是一种支持面向对象编程的高级计算机语言，



诞生于 20 世纪 80 年代，广泛应用于商业界、工业界。它是 C 的向上扩展，完全具备并支持 C 语言特性。此外，还提供了面向对象编程的封装、继承、多态等特性。

C++ 程序由一系列类（Class）和函数（Function）构成<sup>[6]</sup>。并且大多数程序的运行需要提供支持其运行的类和函数，例如输入/输出函数。C++ 有它自己的标准库，标准库主要由国际标准化组织指定，不同的编译器开发商可以在各自的开发环境下对 C++ 标准库进行扩充。C++ 语言广泛应用于游戏开发、科学计算、操作系统、网络通信应用、设备驱动程序和嵌入式系统等多个领域。

## （二）面向对象技术

在客观世界的问题域中，软件开发过程中的客观实物即是面向对象技术中所强调的，类似于人类对客观世界的认识思考中普遍使用的思维方式，直观形象的表述一切客观世界中的相关事物。抽象性、封装性、继承性和多态性是面向对象技术中最基本的特性。

抽象（Abstract）即是忽略事物中无用的特征，保留并充分侧重于当前的本质特征，按照事物的特性，找出共同点，而进行类别划分。由此衍生出一个抽象的概念。

封装（Encapsulation）即是一个包含了实体对象属性和方法相结合的独立单元，并且在最大程度上对对象的内部细节进行隐藏。通过封装机制，可以很好的将程序对象的开发者和使用者分隔开来，只有开发者知道对象属性和方法的内部实现细节，而使用者则并不需要关心这些细节，他们只需要使用开发者所给出的外部程序接口即可。封装机制的实质是隐藏了代码的复杂性，提高了代码的重用性，因而使得软件开发变得更为简便。

继承（Inheritance）即是一种连接类与类的关联层次模型。类似于自然界中的继承现象，子类具有父类的一般的属性和方法。而在实际的程序开发流程中，软件模块的独立性和可重用性都可以通过继承性得以实现，因而可以加快程序开发的效率，减短了程序开发周期。此外，当需要对对象进行添加或修改某些属性和方法时，不必对所有类都进行修改，而仅仅在相应的父类中修改即可，它的派生类中也同样会自动隐性的改变，因此可以使得程序的修改和维护变得简便。

多态性（Polymorphism）即是多个功能相似的函数共用一个相同的函数名，它们可能拥有不同的参数数据类型或不同的参数个数。在程序开发过程中，可以通过同样的调用方式来使用这些功能不同但又相似的同名函数。另外，结合多态性和继承性，通过继承性可以让多个对象共享对象特征，通过多态性可以让不同对象拥有各自的独特特性。两者结合即可以得到一系列独一无二的类似的对象。

与传统的面向过程的结构化程序编程方法相比，面向对象程序设计方法可以



更好的利用抽象性、封装性、继承性和多态性等特性，可以在代码重用和编写效率上满足程序设计的多种需求。继而得以广泛的应用，逐渐成为当今最为主流的程序设计方法<sup>[6]</sup>。

### 第三章 QR 二维码影院票务系统总体设计

#### 第一节 总体设计概述

在影院观看影片时，所持电影票应包含电影名称，放映时间，座位编号，电影场次以及会员编号等信息，在实际应用中，有编码就应该有相应的解码。在本软件的开发过程中，应具备对上述信息的正确编码，生成相应的 QR 二维码图像，作为电子消费凭证，或者将其印刷在纸质的电影票上。图 3-1 给出了 QR 二维码编码、译码系统的整体结构。

系统向下分为销售系统和票务验证系统。售票系统是要对相应的电影和个人信息等进行编码，包括对电影名称，放映时间，座位编号，电影场次以及会员编号等信息连接成统一的字符串，选择恰当的编码模式，进行编码处理，然后 QR 二维码图像，可以进行存储和打印等操作。票务验证系统是对相应的携有编码信息的 QR 二维码图像进行解码，识别图像的版本信息和纠错级别等信息，在得到全部解码信息后即可进行票务验证等后续操作。

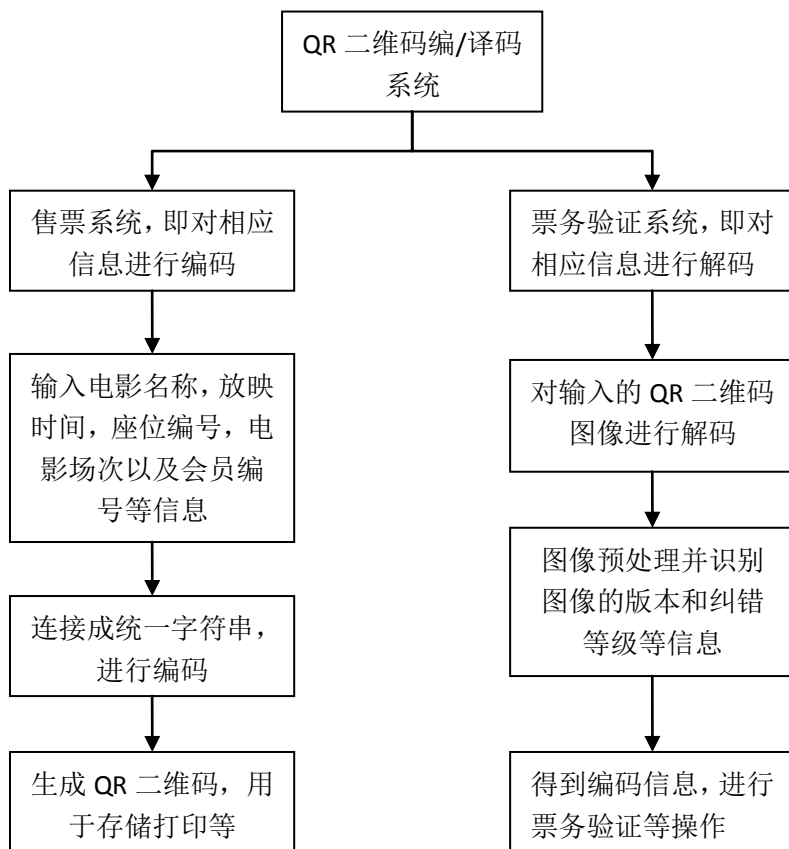


图 3-1 QR 二维码编/译码系统

## 第二节 编码模块设计

首先按照第二章中对 QR 二维码数据编码算法与流程的介绍，对需要编码的电影名称，放映时间，座位编号，电影场次以及会员编号等信息数据进行分析 and 连接，然后进行对数据编码，纠错编码，掩模处理等子模块的调用，共同完成对数据的编码与生产相应的 QR 二维码图像。QR 二维码编码模块的结构图如图 3-2 所示。

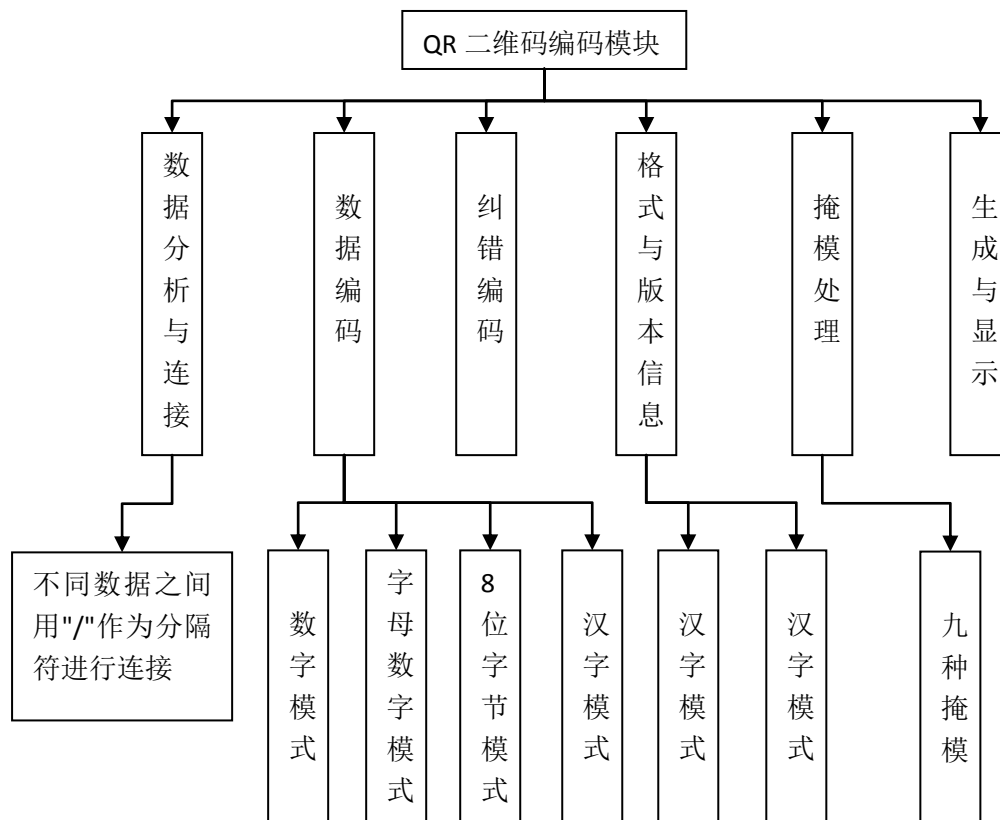


图 3-2 QR 二维码编码模块

QR 二维码数据编码模块是对一系列不同含义的编码信息进行分析并连接成统一的规格数据，以便于接下来对数据的编码以及二维码图像的生产。

## 第三节 解码模块设计

对 QR 二维码的解码，即将读入的一幅携有特定信息的 QR 二维码图像进行处理，解码，得到其原始信息。然后将一系列的数据信息重新配属给其原有的部分，回归原有含义，显示电影名称，放映时间，座位编号，电影场次以及会员编号等信息，对电影信息、持票人信息已经票证真伪等进行验证。QR 二维码解码

模块的结构图如图 3-3 所示。

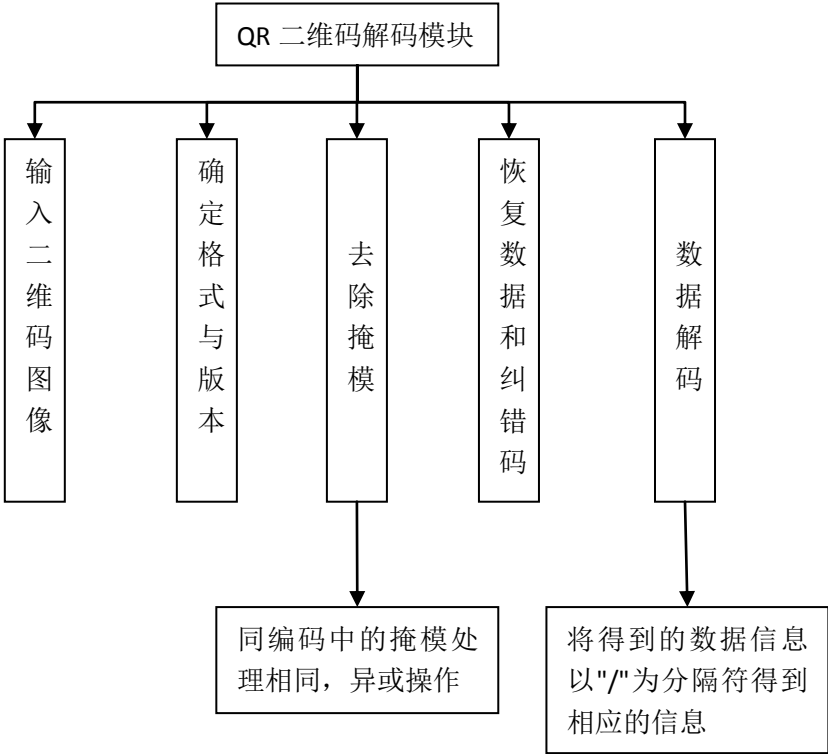


图 3-3 QR 二维码解码模块

QR 二维码解码模块即是对已知的二维码图像进行处理分析并得出编码数据的过程。此过程可被看作是其编码模块的逆过程，将统一的编码信息进行解码并赋予相应的实际含义，使得多数据得以分割。可作为对编码信息中各个不同的信息内容进行确认和核对。

## 第四章 QR 二维码影院票务系统详细设计

### 第一节 QR 二维码编码模块设计

QR 二维码编码即是将所输入的数据按一定的映射规则转换成相应的二进制数，并按照相应的规则有规律的排列起来。其编码步骤如下：

首先分析将要编码的数据流，以确定编码数据不同的字符类型。选择适合的编码模式。然后按照相应的编码规则对数据进行编码，转换为二进制位流。然后，按照需求对数据码字进行分块，计算出每个数据块相对应的纠错码字并加在数据码字之后，可适当加入剩余位。待得到数据码字和纠错码字位的二进制位流后，将寻像图形、定位图形和主体编码等模块填充到矩阵中。随后，再对编码区域进行掩模处理，选择效果最佳的掩模图形。最后再加入版本信息和格式信息形成最终的 QR 二维码符号。

QR 二维码的编码步骤按照图 4-1 所示的步骤进行。

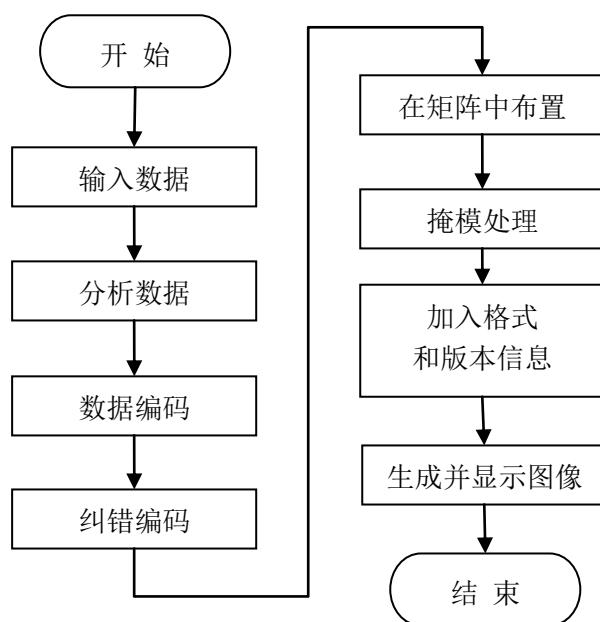


图 4-1 QR 二维码编码步骤

#### 一、 编码模式模块

QR 二维码共支持九种编码模式，其中主要有扩充解释（ECI）模式、数字模式、字母数字模式、8 位字节模式和中国汉字模式<sup>[1]</sup>。

表 4-1 定义了不同模式的模式指示符。

表 4-1 模式指示符

模 式	指示符	模 式	指示符
ECI	0111	中国汉字	1101
数字	0001	结构链接	0011
字母数字	0010	FNC1	0101 (第一位置)
8 位字节	0100		1001 (第二位置)
日本汉字	1000	终止符 (信息结尾)	0000

表 4-2 定义了不同模式和符号版本的字符计数指示符的位数

表 4-2 字符计数指示符的位数

版 本	数字模式	字母数字模式	8 位字节模式	中国汉字模式
1~9	10	9	8	8
10~26	12	11	16	10
27~40	14	13	16	12

整个符号以终止符（4 位，0000）表示结尾，当数据位流之后的剩余容量不够 4 位时，则需要适当的截短终止符。需要注意的是，终止符自身不属于模式指示符。

#### （一） 扩充解释（ECI）模式

对数据进行编码时，要将所输入的数据转换为一个二进制位流。如果最开始的 ECI 不是缺省的 ECI，应在其前面加入 ECI 标头，后面是一个或者多个不同模式的段，反之，位流的开头是第一个模式的指示符。

ECI 标头包括：ECI 模式指示符（4 位），ECI 指定符（与 ECI 任务号相关，8、16 或 24 位）。位流的其余部分包括：模式指示符（4 位），字符计数指示符和数据位流。

#### （二） 数字模式

数字模式编码是将要编码的数据分为每三个一组，然后将各组数据转换为相应的二进制数（每组 10 位）。如果将要编码的数据的总个数不是 3 的整数倍数，剩余 1 位的情况下将此位数字直接转换为 4 位二进制数，剩余 2 位的情况下则转换为 7 位二进制数。然后在连接后的二进制位流前加入模式指示符和字符计数指示符。

数字模式中的字符计数指示符如表 4-2 中定义，有 10、12 或 14 位。所输入的数据字符数转换相应的二进制数后，连接在模式指示符之后，二进制数据位流之前。图 3-2 为数字模式的编码流程图。

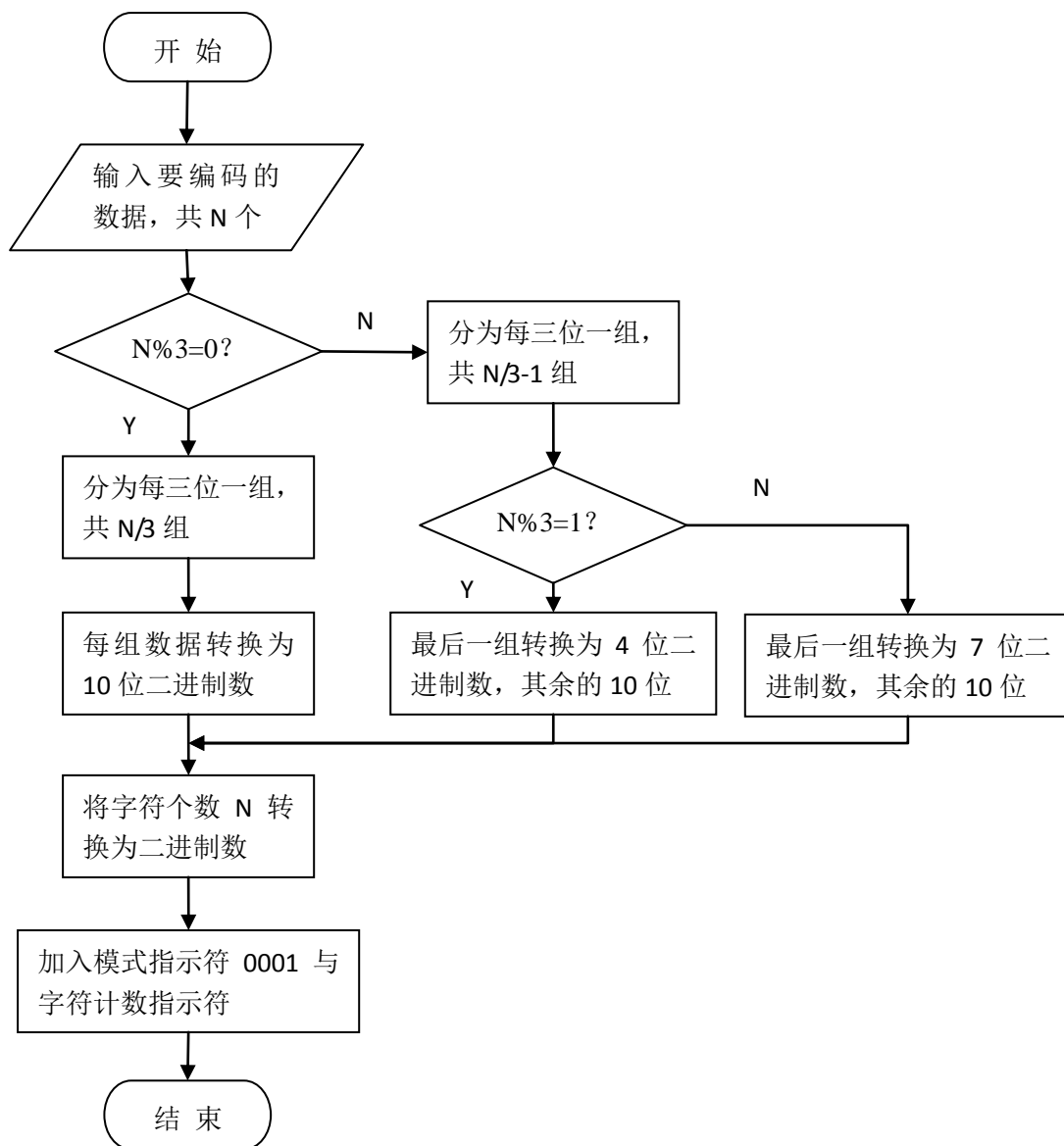


图 4-2 数字模式的编码流程图

若要编码的数据是：20130527。在符号版本为 1-H 的情况下编码步骤如下：

- 1) 分为 3 位一组：201 305 27
- 2) 将每组转换为二进制：
  - 201 → 0011001001
  - 305 → 0100110001
  - 27 → 0011011
- 3) 将二进制数连接为一个序列：0011001001 0100110001 0011011
- 4) 将字符计数指示符转换为二进制（版本 1-H 为 10 位）：
  - 字符数为：8→0000001000
- 5) 加入模式指示符 0001 以及字符计数指示符的二进制数据：
  - 0001 0000001000 0000001100 0101011001 1000011

数字模式中位流的长度计算公式如下：

$$B = 4 + C + 10(D \text{ DIV } 3) + R \quad (4-1)$$

其中： B = 位流的位数

C = 字符计数指示符的位数（根据表 4-2）

D = 输入的数据字符数

R = 0 当  $(D \text{ MOD } 3) = 0$

R = 4 当  $(D \text{ MOD } 3) = 1$

R = 7 当  $(D \text{ MOD } 3) = 2$

## （二） 字母数字模式

按照表 4-3，给每个字符赋予一个数值，它的值介于 0 和 44。

表 4-3 字母数字模式的编码/译码表

字 符	值	字 符	值	字 符	值	字 符	值	字 符	值	字 符	值	字 符	值	字 符	值	字 符	值
0	0	6	6	C	12	I	18	O	24	U	30	SP	36	.	42		
1	1	7	7	D	13	J	19	P	25	V	31	\$	37	/	43		
2	2	8	8	E	14	K	20	Q	26	W	32	%	38	:	44		
3	3	9	9	F	15	L	21	R	27	X	33	*	39				
4	4	A	10	G	16	M	22	S	28	Y	34	+	40				
5	5	B	11	H	17	N	23	T	29	Z	35	-	41				

将要编码的数据分为每两个字符一组，用一个 11 位二进制数表示。将前面字符的值乘以 45 与第二个字符的值相加，然后将所得的结果转换为 11 位二进制数。如果输入的数据的字符数不是 2 的整数倍数，则把最后剩余的一个字符编码成一个 6 位的二进制数。连接所得到的二进制数据并在其前加入模式指示符和字符计数指示符，按表 3-2 中规定，得知在此编码模式下字符计数指示符的长度可以为 9、11 或 13 位。将要编码的字符个数编码为 9、11 或 13 位二进制数，连接在模式指示符之后，二进制数据位流之前。图 4-3 为字母数字模式的编码流程图。



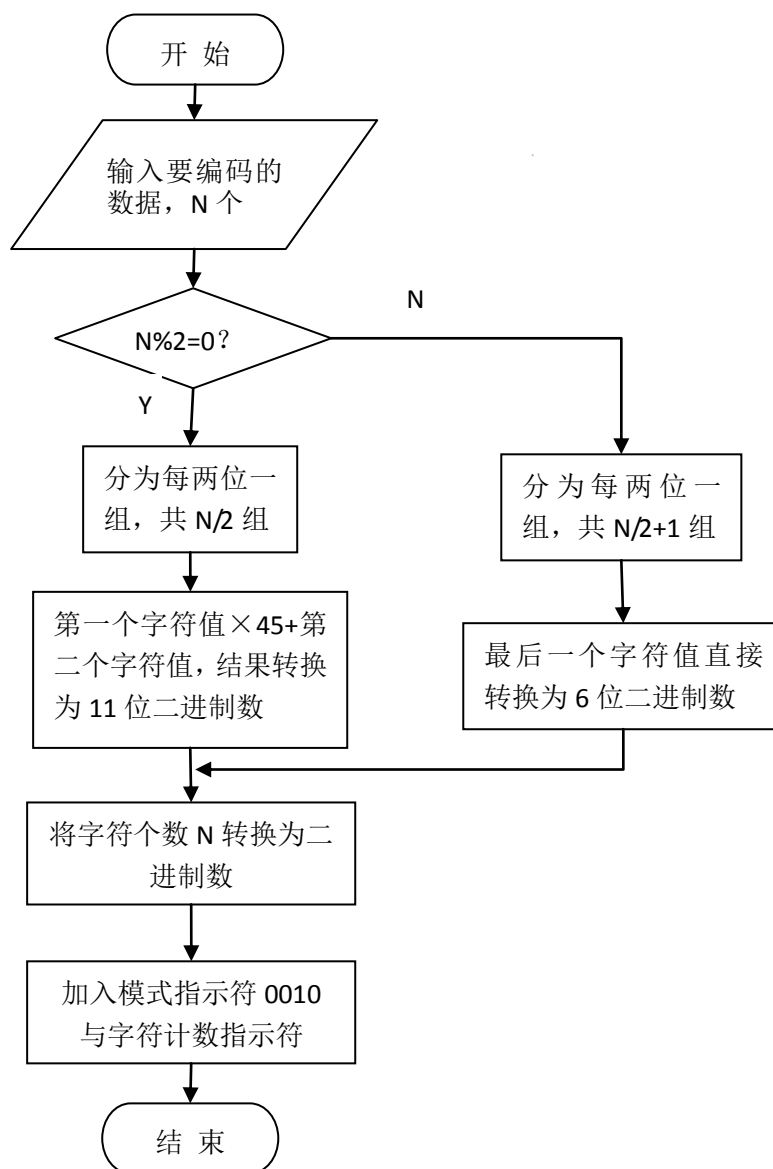


图 4-3 字母数字模式的编码流程图

若要编码的数据是：TUST-2013。在符号版本为 1-H 的情况下编码步骤如下：

1) 根据表 3-3 查出字符的值 TUST-2013→(29, 30, 28, 29, 41, 2, 0, 1, 3)

2) 将结果分为 2 个一组：(29, 30) (28, 29) (41, 2) (0, 1) (3)

3) 将每组数据转换为 11 位二进制数：

(29, 30)  $29 \times 45 + 30 \rightarrow 1335 \rightarrow 10100110111$

(28, 29)  $28 \times 45 + 29 \rightarrow 1289 \rightarrow 10100001001$

(41, 2)  $41 \times 45 + 2 \rightarrow 1847 \rightarrow 11100110111$

(0, 1)  $0 \times 45 + 1 \rightarrow 1 \rightarrow 00000000001$

(3)  $\rightarrow 3 \rightarrow 000011$

4) 二进制数据顺次连接：

10100110111 10100001001 11100110111 00000000001 000011

5) 将字符计数指示符转换为二进制 (版本 1-H 为 9 位)：

输入的字符数 9→000001001

6) 在二进制数据前加上模式指示符 0010 和字符计数指示符:

0010 000001001 10100110111 10100001001 11100110111 00000000001  
000011

字母数据模式的二进制位流位数由下式计算:

$$B = 4 + C + 11(D \text{ DIV } 2) + 6(D \text{ MOD } 2) \quad (4-2)$$

其中: B = 位流的位数

C = 字符计数指示符的位数 (根据表 4-2)

D = 输入的字符数

### (三) 8 位字节模式

类似于字母数字模式, 将一个要编码的字符用 JIS8 字符值来表示, 每个字符占 8 位。JIS8 字符集编码/译码表如表 4-4 所示。

表 4-4 JIS8 字符集编码/译码表

字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值
NUL	00	SP	20	@	40	`	60		80		A0	タ	C0		E0
SOH	01	!	21	A	41	A	61		81	°	A1	チ	C1		E1
STX	02	"	22	B	42	B	62		82	「	A2	ツ	C2		E2
ETX	03	#	23	C	43	C	63		83	」	A3	テ	C3		E3
EOT	04	\$	24	D	44	D	64		84	、	A4	ト	C4		E4
ENQ	05	%	25	E	45	E	65		85	・	A5	ナ	C5		E5
ACK	06	&	26	F	46	F	66		86	ヲ	A6	ニ	C6		E6
BEL	07	'	27	G	47	G	67		87	ア	A7	ヌ	C7		E7
BS	08	(	28	H	48	h	68		88	イ	A8	ネ	C8		E8
HT	09	)	29	I	49	I	69		89	ウ	A9	ノ	C9		E9
LF	0A	*	2A	J	4A	j	6A		8A	エ	AA	ハ	CA		EA
VT	0B	+	2B	K	4B	k	6B		8B	オ	AB	ヒ	CB		EB
FF	0C	,	2C	L	4C	l	6C		8C	ヤ	AC	フ	CC		EC
CR	0D	-	2D	M	4D	m	6D		8D	ユ	AD	ヘ	CD		ED
SO	0E	.	2E	N	4E	n	6E		8E	ヨ	AE	ホ	CE		EE
SI	0F	/	2F	O	4F	o	6F		8F	ッ	AF	マ	CF		EF
DLE	10	0	30	P	50	p	70		90	一	B0	ミ	D0		F0
DC1	11	1	31	Q	51	q	71		91	ア	B1	ム	D1		F1
DC2	12	2	32	R	52	r	72		92	イ	B2	メ	D2		F2

续表

字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值	字符	值
DC3	13	3	33	S	53	s	73		93	ウ	B3	モ	D3		F3
DC4	14	4	34	T	54	t	74		94	エ	B4	ヤ	D4		F4
NAK	15	5	35	U	55	u	75		95	オ	B5	ユ	D5		F5
SYN	16	6	36	V	56	v	76		96	カ	B6	ヨ	D6		F6
ETB	17	7	37	W	57	w	77		97	キ	B7	ラ	D7		F7
CAN	18	8	38	X	58	x	78		98	ク	B8	リ	D8		F8
EM	19	9	39	Y	59	y	79		99	ケ	B9	ル	D9		F9
SUB	1A	:	3A	Z	5A	z	7A		9A	コ	BA	レ	DA		FA
ESC	1B	;	3B	[	5B	{	7B		9B	サ	BB	ロ	DB		FB
FS	1C	<	3C	¥	5C		7C		9C	シ	BC	ワ	DC		FC
GS	1D	=	3D	]	5D	}	7D		9D	ス	BD	ン	DD		FD
RS	1E	>	3E	^	5E	-	7E		9E	セ	BE	ゝ	DE		FE
US	1F	?	3F	_	5F	DEL	7F		9F	ソ	BF	°	DF		FF

注 1 在 JIS8 字符集中, 字节值 80HEX 到 9FHEX 以及 E0HEX 到 FFHEX 没有分配, 为保留值

注 2 除 5CHEX 和 7EHEX 之外, JIS8 字符集中字节值 00HEX 到 7FHEX 应和 ISO 646 IRV 一致

将要编码的字符按照 JIS8 字符集编码/译码表一一映射并转化为二进制位流, 然后再在前面加上模式指示符和字符计数指示符。按表 4-2 的规定, 8 位字节模式的字符计数指示符为 8 位或 16 位, 将要编码的字符个数编码为 9、11 或 13 位二进制数, 连接在模式指示符之后, 二进制数据位流之前。图 4-4 为 8 位字节模式的编码流程图。

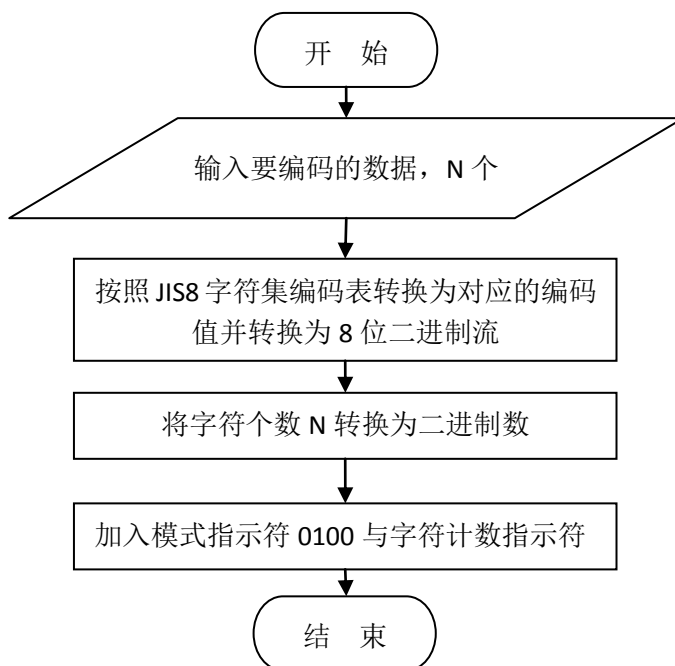


图 4-4 8 位字节模式的编码流程图

8 位字节模式的位流的位数计算公式如下：

$$D = 4 + C + 8D \quad (4-3)$$

其中： B = 位流的位数  
C = 字符计数指示符的位数（见表 4-2）  
D = 输入数据的字符数

#### （四）中国汉字模式

汉字个数众多，含义丰富，因此汉字编码模式也比较繁杂，包括：

(1)机内码。汉字在计算机系统内部用机内码表示，它也是在计算机汉字体系中的基础码制表示。

(2)交换码(国标码)。交换码主要是用来进行信息交换。

(3)区位码。国标码是一个四位十六进制数，区位码是一个四位的十进制数，每个国标码或区位码都对应着一个唯一的汉字或符号，但由于十六进制数我们很少用到，所以大家常用的是区位码，它的前两位叫做区码，后两位叫做位码。

汉字机内码、国标码和区位码的关系如下：首先将区位码（十进制）的两个字节分别转换为十六进制数，然后加上 20H 得出相应的国标码，其次，国标码的两个字节分别加上 80H 可以得出相应的机内码，相应的机内码也可以由区位码（十进制）转换为十六进制后，其两个字节分别加上 A0H 得出即：

(1)区位码先转换成十六进制数表示

(2)国标码=区位码的十六进制表示+2020H

(3)机内码=国标码+8080H=区位码+A0A0H

计算一个汉字的机内码、区位码和国标码的 C 源程序如下：

```
#include "stdio.h"
void main()
{
    char s[3],*p=s;
    int i;
    printf("Please input a Chinese word:");
    scanf("%s",p);
    printf("Machine code-H=%X",(((*p-0xa0)&0x7F)+0xa0); //机内码高位字节
    printf(" Area code-H=%d",(*p-0xa0)&0x7F); //区位码高位字节
    printf(" GB code-H=%X\n",(*p-0x80)&0x7F); //国标码高位字节
    p++;
    printf("Machine code-L=%X",(((*p-0xa0)&0x7F)+0xa0); //机内码低位字节
    printf(" Area code-L=%d",(*p-0xa0)&0x7F); //区位码低位字节
    printf(" GB code-L=%X\n",(*p-0x80)&0x7F); //国标码低位字节
}
```

GB2312 中规定共有 7445 个中国汉字和非汉字字符，其中有 6768 个。GB2312 规定的字符由两个字节表示。字符值为 GB2321 中图形字符的内码值。

若将要编码的汉字字符的第一个字节值在 A1H-AAH 范围，并且第二个字节值在 A1H-FEH 范围，则用第一字节值减去 A1H，所得的值乘以 60H，再加上第二个字节值减去 A1H，之后将所得结果转换为二进制数（13 位）。对于第一个字节值在 B0H-FAH 范围，第二个字节值在 A1H-FEH 范围的字符，则需要将第一字节值减去 A6H，所得的值乘以 60H，再加上第二个字节值减去 A1H，之后将所得结果转换为二进制数（13 位）。然后连接这些二进制数据并在前面加入模式指示符（1101）、中国汉字子集指示符（4 位，0001）和字符计数指示符（8、10 或 12 位）。连接在模式指示符后，二进制数据位流前<sup>[1]</sup>。图 3-5 为汉字模式的编码流程图。

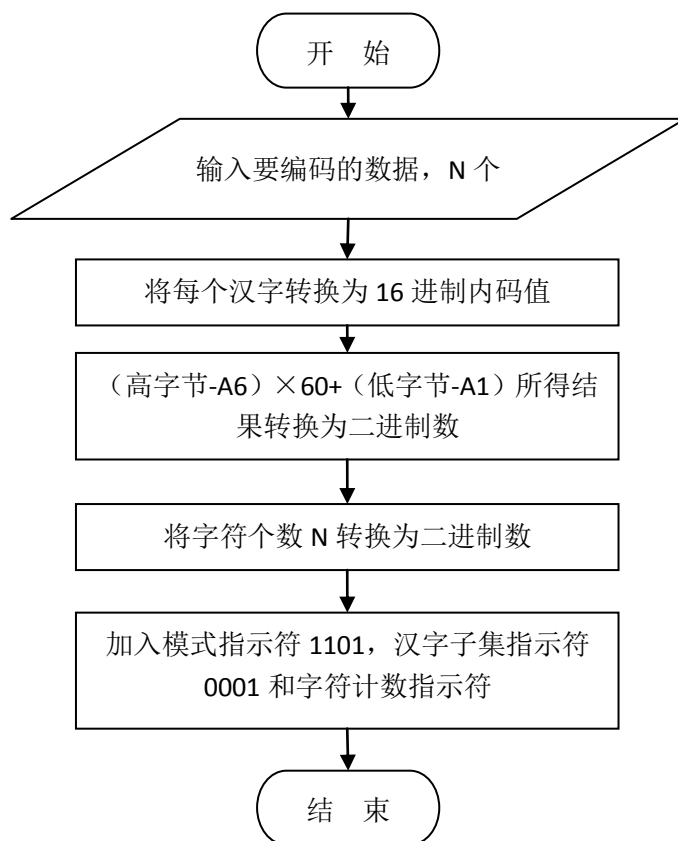


图 4-5 汉字模式的编码流程图

若要编码的数据是：天津科技大学二零一三。在符号版本为 1-H 的情况下编码步骤如下：

表 4-5 汉字序列编码过程

编码过程	天	津	科	技	大	学	二	零	一	三
区位码	4476	2982	3138	2828	2083	4907	2294	3367	5027	4093
十六进制内码值	CCEC	BDF2	BFC6	BCBC	B4F3	D1A7	B6FE	C1E3	D2BB	C8FD
第一字节减 A6	26	17	19	16	0E	2B	10	1B	2C	22
结果乘以 60	E40	8A0	960	840	540	1020	600	A20	1080	CC0
第二字节减 A1	4B	51	25	1B	52	06	5D	42	1A	5C
结果相加	E8B	8F1	985	85B	592	1026	65D	A62	109A	D1C
二进制序列	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
	1110	1000	1001	1000	0101	0000	0110	1010	0000	1101
	1000	1111	1000	0101	1001	0010	0101	0110	1001	0001
	1011	0001	0101	1011	0010	0110	1101	0010	1010	1100
模式指示符	1101									
汉字子集指示符	0001									
字符计数指示符	版本 1-H 时计数长度为 8 位，即：00001010									
整个二进制串	1101 0001 00001010 0111010001011 0100011110001 0100110000101 0100001011011 0010110010010 1000000100110 0011001011101 0101001100010 1000010011010 0110100011100									

中国汉字模式的位流的位数由以下公式计算：

$$B = 4 + C + 13D \quad (4-4)$$

其中： B = 位流的位数

C = 字符计数指示符的位数（见表 4-2）

D = 输入的数据字符数

在最后一个模式段后面用终止符序列 0000 表示一个符号数据的结束，当数据位流的数量正好填满符号的容量时，它可以省略，或者当符号所余的容量不足 4 位时它可以截短。

按顺序连接每个模式段的二进制位流，最后加入终止符，除非数据位流恰好完全填充符号容量。所得的数据位流将被分为一个个长度为 8 位的码字，如果最后一个码字长度不足 8 位，则用 0 填充至 8 位。然后按定义的版本和纠错等级交替添加填充码字 11101100 和 00010001，将数据位流扩展，以填满符号的数据容量，再在所得结果的数据码字序列之后加入纠错码字<sup>[18]</sup>。

## 二、 纠错编码模块

在现实生活中，条码在印刷和使用过程中难免受到污损、穿孔、扭曲等破坏，就会严重影响条码的正常使用。为了避免发生错误并正确识读条码中的信息，条

码的检错和纠错就变得极为重要。

#### (一) 纠错等级与容量

QR 二维码采用 RS 纠错算法 (Reed-Solomon 算法) 生成相应的纠错码字, 添加在数据位流序列之后, 以确保二维码符号在发生意外破损的情况下不丢失重要数据。QR 二维码的纠错共有 4 个等级, 对应 4 种容量, 如表 4-6 所示。

表 4-6 纠错等级

纠错等级	L	M	Q	H
近似纠错容量/%	7	15	25	30

纠错码可以对拒读错误 (已知错误码字的位置) 和替代错误 (未知错误码字位置) 两种类型进行纠正。所谓的拒读错误是指符号字符中有一个未经扫描到或无法解码字符, 而一个替代错误是指有的符号字符发生了错误解码。

根据版本和纠错等级的不同, 将数据码字序列分为 1 个或多个分块, 对每一个块分别进行纠错运算。每个版本、每个纠错等级的码字总数、纠错码字总数以及纠错块的结构和数量在国家标准中都给出了详细的说明。

#### (二) 纠错码字的生成

QR 二维码采用位的模 2 算法和字节的模 100011101 算法作为多项式生成算法<sup>[10]</sup>。这是伽罗瓦域  $GF(2^8)$  以 100011101 表示多项式:  $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ 。

多项式各项的系数分别对应数据码字, 最高次项的系数是第一个数据码字, 最低次项的系数是最后一个纠错码字。纠错码多项式  $g(x)$  除以数据码字所得到的余数即为纠错码字<sup>[15]</sup>。其余数的最高次项的系数是第一个纠错码字, 依此类推, 余数的最低次项的系数是最后一个纠错码字, 也就是整个编码区域的最后的码字。

### 三、掩模处理模块

为了提高 QR 二维码的可读性, 应尽可能的避免位置探测图形的位图 1011101 出现在符号的其他区域。用 8 种掩模图形依次对二维码符号的编码区域进行处理, 并对比评价所得到的结果, 选择结果最佳的一种方案。进行掩模处理的步骤和要求如下。

- (1) 掩模处理只对数据码字、纠错码字和填充码字进行, 而不用于功能图形等其他部分。
- (2) 用每一种掩模图形连续地对编码区域的模块图形进行异或操作。
- (3) 对每种掩模处理后的图形的不符合规格的部分进行罚分, 以评估对比这些

结果。

(4) 选择罚分最低的图形。

(一) 掩模图形

表 4-7 给出了 9 种不同的掩模图形和图形的生成条件。将编码区域内的条件为 True 的模块定义为黑色即可产生掩模图形。下表所示的条件中， $i$  表示符号的行， $j$  表示符号的列，继而  $(i,j) = (0,0)$  表示符号中左上角的起始位置。

表 4-7 掩模图形的生成条件

掩模图形参考	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	$(i*j) \bmod 2 + (i*j) \bmod 3 = 0$
110	$((i*j) \bmod 2 + (i*j) \bmod 3) \bmod 2 = 0$
111	$((i*j) \bmod 3 + (i+j) \bmod 2) \bmod 2 = 0$

图 4-6 给出了版本 1 符号的所有的掩模图形。

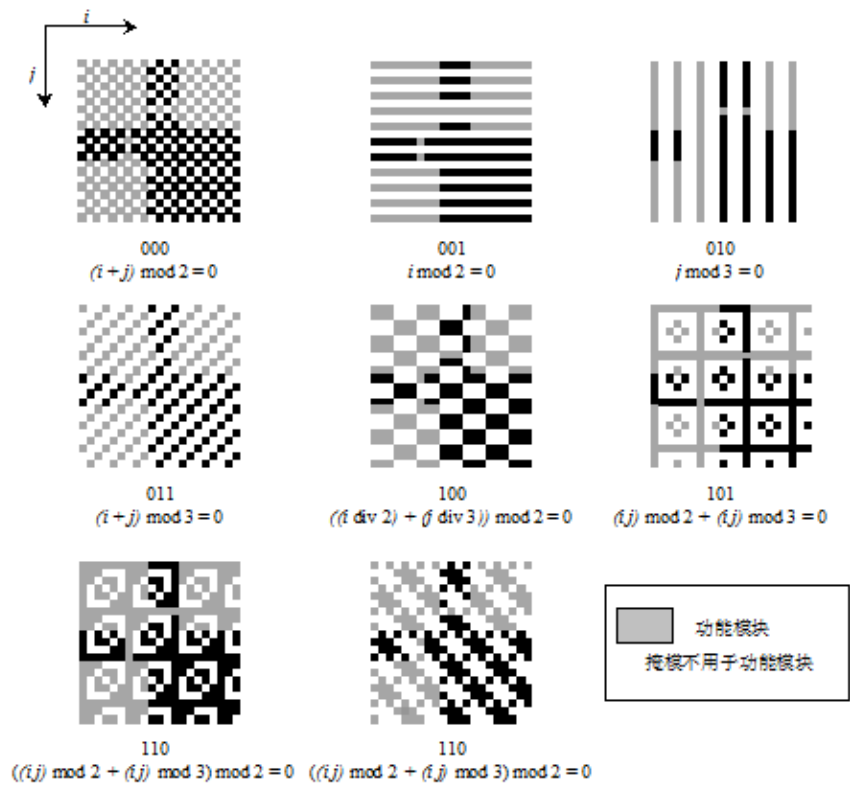




图 4-6 版本 1 符号的所有的掩模图形

## （二） 掩模结果的评价

虽然掩模处理只是对数据码字等区域进行处理,但要在整个图形范围内进行掩模结果的评价。在对每一个掩模图形依次进行掩模处理之后,按照表 4-8 中的规则对如下情况进行罚点记分,选择得分最低的掩模方案。

表 4-8 掩模结果的记分

特征	评价条件	分数
行/列中相临的模块的颜色相同	模块数 = $(5 + i)$	$N_1 + i$
颜色相同的模块组成的块	块尺寸 = $m \times n$	$N_2 \times (m - 1) \times (n - 1)$
在行/纵列中出现 1:1:3:1:1 (深浅深浅深) 图形		$N_3$
整个符号中深色模块的比率	$50 \pm (5 \times k)\%$ $50 \pm (5 \times (k + 1))\%$	$N_4 \times k$

## 四、 格式和版本信息模块

如果选定的版本中需要版本信息和格式信息,则要生成相应格式信息和版本信息,并加入到符号中。

### （一） 格式信息

格式信息共有为 15 位,其中有 5 个数据位,剩余 10 个是通过 BCH (15, 5) 编码计算得到的纠错位数据。数据位的第一、二数据位是符号的纠错等级,见表 4-9。格式信息数据位剩余 3 位的内容为掩模图形参考,见表 4-7,

表 4-9 纠错等级指示符

纠错等级	二进制指示符
L	01
M	00
Q	11
H	10

得到 5 位数据位之后,计算并得出相应的纠错数据,放在 5 位数据位后面。然后,用 101010000010010 为掩模图形与得到的 15 位格式信息进行异或 (XOR) 操作<sup>[20]</sup>。以确保纠错等级和掩模图形连接后的结果不全为 0。

计算出格式信息掩模后的结果并将其一一映射到二维码符号中相应的区域内,见图 4-2。在符号中,15 位格式信息码出现两次,分别填充在 0~14 相对应

的位置上，提供冗余以确保对整个二维码符号的正确译码。

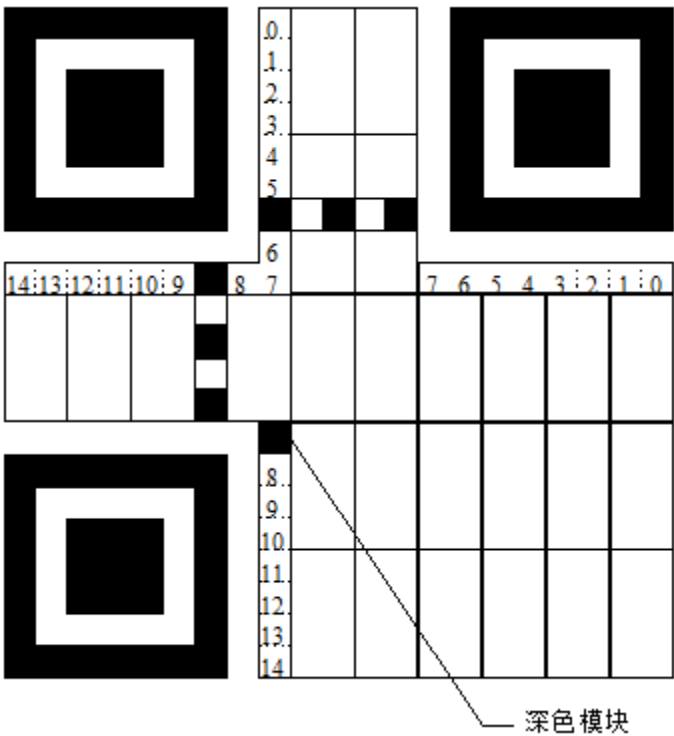


图 4-7 版本 1 的格式信息布置序列

(二) 版本信息

从版本 7 开始出现版本信息位，共有 18 位，其中，数据位占 6 位，最高位为第一位。然后通过 BCH (18, 6) 编码计算出 12 个纠错位<sup>[13]</sup>。在版本 7~40 中，没有全为 0 的版本信息，故不需要对其进行掩模处理。 版本信息的布置如下图所示。

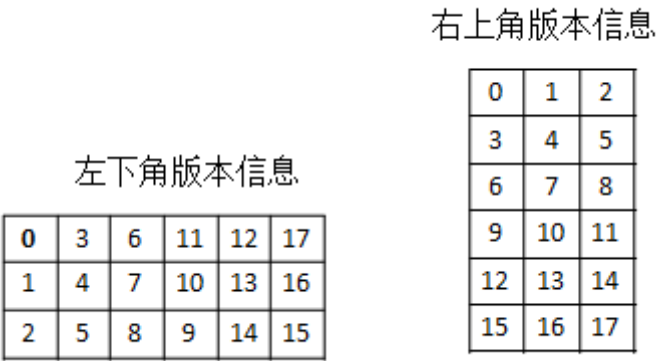


图 4-8 版本信息布置序列

## 五、 构造最终编码序列模块

当得到所有的二进制数列后，应当对二维码符号进行最后的排列布置。根据版本不同，确定正方形矩阵的边长模块数，即版本为  $x$  对应的矩阵模块数为  $(4x + 17) \times (4x + 17)$ 。在空白的矩形区域内相应的位置首先布置寻像图形、分隔符和定位图形，视情况填入黑白像素模块。图 4-9 表示了版本 2 在纠错等级为 M 的情况下的构造格局。

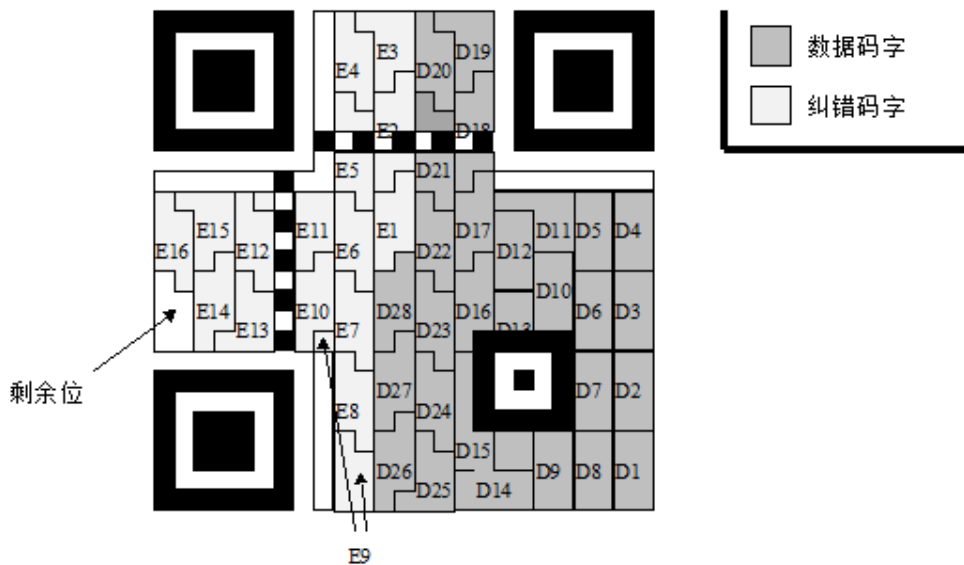


图 4-9 版本 2-M 符号的符号字符布置

依据不同码字序列在整个符号中的不同位置以及和其他符号的关系，有不同的排列规则。在大多数情况下，8 位二进制数的排列都是按照模块  $2 \times 4$  的规则排列，有竖直排列（宽 2 模块  $\times$  高 4 模块）和横向排列（宽 4 模块  $\times$  高 2 模块）两种。但在特殊情况下，需要改变方向或者运用不规则的顺序排列。

在 QR 二维码的编码区域里，从符号的右下角以两个模块宽的纵列开始布置数据编码，从右至左，依次交替排列，布置原则如下：

(1) 二进制序列在纵列中的布置为从右到左，向上或向下应与符号字符的布置方向一致。位 7 表示每个码字的最高位，后面依次放置下一个模块的值。如图 4-10 所示。

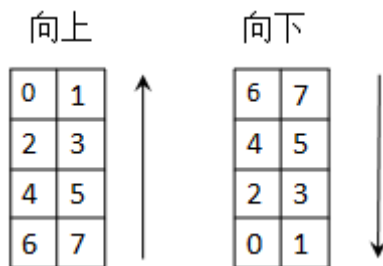


图 4-10 规则矩形中的向上向下的排列次序

(2) 若字符模块的纵列与校正图形或定位图形的边界冲突时，可以在图形的上面或下面连续布置，如同编码区域没有被隔断一样。

(3) 若排列码字的边缘与格式信息，版本信息或分隔符相重叠时，数据码字的剩余位则放置在左侧的纵列中。如图 4-11 所示。

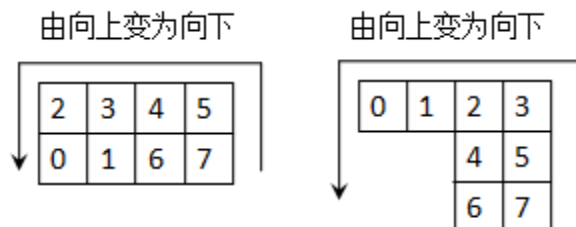


图 4-11 不规则矩形中的向上向下的排列次序

(4) 如果符号右侧模块纵列遇到版本信息或校正图形占用的模块时，则在相邻的校正图形或版本信息的单个纵列继续延伸<sup>[2]</sup>。如图 4-12 所示。

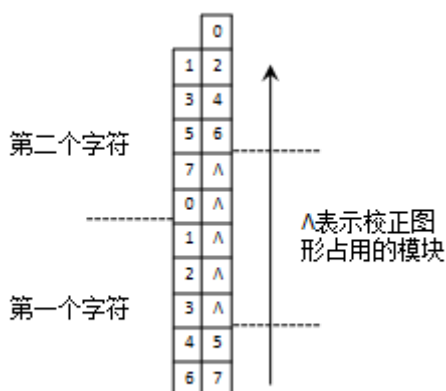


图 4-12 临近校正图形时的排列次序

## 第二节 数据解码子模块设计

QR 二维码的解码是通过已知的二维码图像解码得出它所携带的数据信息。理论上，解码步骤即为编码步骤的逆过程，但在实际的生产活动中，在进行解码之前，还需要增加一个图像预处理步骤，以防止因二维码图像的破损或污染等外界条件所造成的错误解码。图 4-13 给出了 QR 二维码的解码流程。

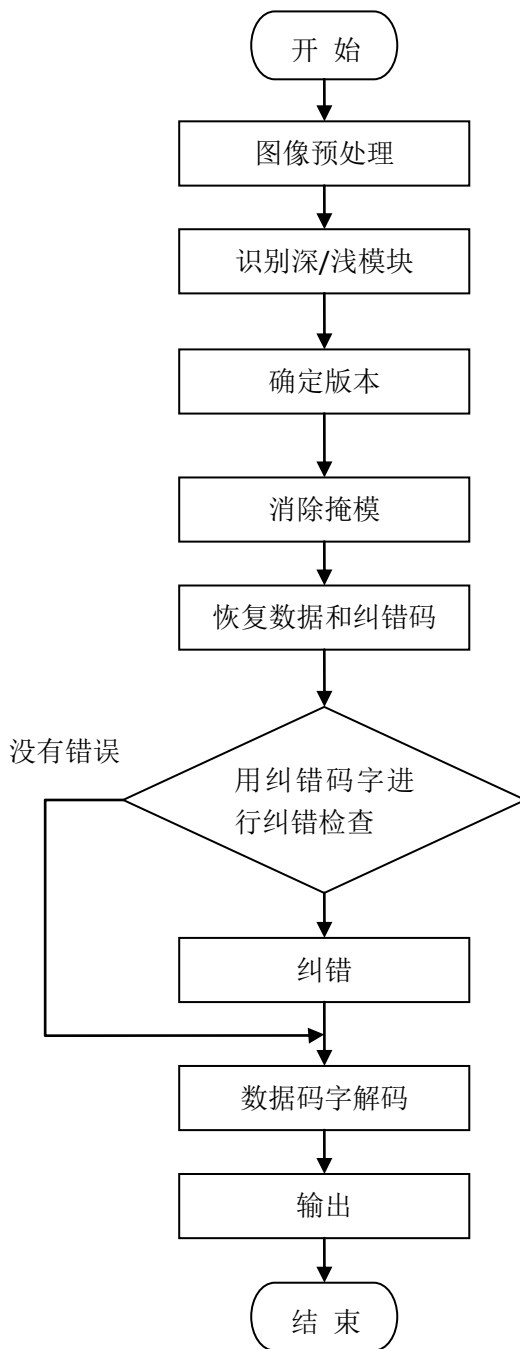


图 4-13 QR 二维码解码流程

## 一、 图像预处理模块

### (一) 图像的灰度化

在进行正式的解码之前，二维码图像的预处理也是一个必不可少的过程。QR 二维码采用 0，1 点阵构成，因而在对二维码图像进行解码时，也只有黑白两种像素对数据解码有关系。在处理过程中，使用灰度图像相对于直接对 RGB 彩色图像的消耗要少的多。并且，在二维码打印时又是以黑白图像的方式进行的，所

以在条码识度的过程中，彩色图像的色彩分量对二维码信息没有太大的作用。因而把彩色图像转换为灰度图像会在很大的程度上节省后续工作的时间消耗。

因此，首先要对获取的一张彩色图像采取灰度化处理，这里采用彩色图像灰度化的整数方法。转换公式是：

$$Gray = ((R \times 30 + G \times 59 + B \times 11)) / 100 \quad (4-5)$$

其 C 源码为：

```
for (y = 0; y < nHeight; y++){
    for (x = 0; x < nWidth; x++){
        intImage[x][y] = m_pDC->GetPixel(x,y); //获取每个像素点的RGB值
    }
}
for (y = 0; y < nHeight; y++) {
    for (x = 0; x < nWidth; x++) {
        int r = intImage[x][y] >> 16 & 0xFF; //获取红色分量
        int g = intImage[x][y] >> 8 & 0xFF; //获取绿色分量
        int b = intImage[x][y] & 0xFF; //获取蓝色分量
        int m = (r * 30 + g * 59 + b * 11) / 100; //整数法进行彩色图像的灰度化处理
        intImage[x][y] = m;
    }
}
```

## （二） 图像的中值滤波

图像的中值滤波是一种非线性的图像处理方法，它可以克服特定条件下的线性滤波所造成的图像细节缺失的问题。中值滤波利用特定邻域区域内的像素值大小排序决定着中心像素值的大小，并且对去除图像噪声有着良好的效果。

中值滤波一般采用一个含有奇数数个点的滑动模板，用模板中各点的像素值的中间值来代替中心点的像素值<sup>[4]</sup>。在模板点数为奇数数个元素的情况下，中值即为按大小排序后中间的数值大小。在模板点数为偶数数个元素的情况下，中值即为排序后中间两个像素值的平均值。

在算法的实现中，中值滤波的采样窗口可以用模板来描述，如图 4-14 所示，给出了四个不同的采样窗口。

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

图 4-14 不同的中值滤波采样窗口

在获得相应的灰度图像后，还需要对灰度图像进行去噪处理。二维码图像的

噪声有两种，一种是二维码表面自身的污染和破损，这种噪声只能靠 QR 二维码的自身的纠错算法来修正，另一种是来自图像采集设备的盐粒噪声，就应该用合适大小的矩形模板对 QR 二维码图像进行中值滤波处理。这里采用十字形中值滤波，即采用图 4-14 中华的最后一个采样窗口对图像进行去噪，主要是去除盐粒类噪声。

### （三） 图像的二值化

二值图像，即仅由黑色像素(灰度值为 0)和白色像素(灰度值为 255)两种颜色的图像。由于 QR 二维码图像是仅由黑色或白色像素构成的，所以还要对灰度化和中值滤波处理过的图像进行二值化处理。

图像二值化的关键步骤就是对分割阈值的选取<sup>[9]</sup>。由于二维码图像的背景一般都是由单一色彩组成，其颜色多数情况下都与浅色模块的颜色一致。因此，在对二维码图像进行二值化时，可以通过计算图像的灰度直方图来计算出合适的阈值，然后再对图像进行分割，得到二值化处理后的 QR 二维码图像，即白背景黑色的条码。

### （四） 图像的旋转校正

在得到二值图像之后，对图像进行定位，在出现位置偏移或旋转偏移的情况下还需要进行校正。一般情况下的，旋转后的点像素值不一定都为整数，但都要化为整数才能使用<sup>[3]</sup>。图像旋转的公式是：

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (4-6)$$

其中， $x_0$ ， $y_0$ 是原像素值， $x_1$ ， $y_1$ 是旋转后的像素值， $\theta$ 为相对应坐标原点的旋转角度，逆时针表示为正，顺时针表示为负。

另外还有可能会遇到的是对称变换，有关于  $x$  轴的对称变换和关于  $y$  轴的对称变换，其变换矩阵分别如下。关于  $x$  轴的对称变换的变换矩阵为：

$$SY_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4-7)$$

关于  $y$  轴的对称变换的变换矩阵为：

$$SY_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4-8)$$

完成以上的预处理工作后，就可以获取条码数据，进而进行后续的解码工作。

QR 二维码图像识别的整个流程如图 4-15 所示。

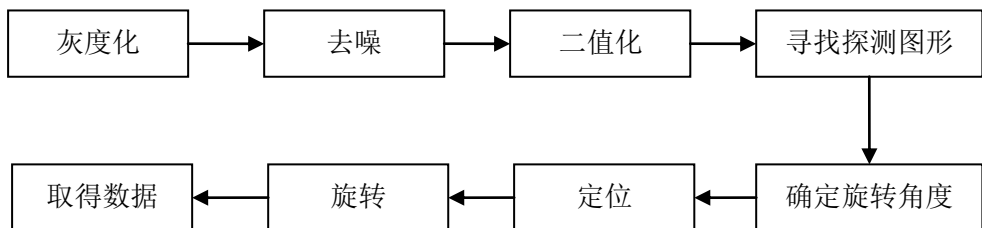


图 4-15 QR 二维码图像识别流程

## 二、 QR 二维码解码算法

### （一） 定位获取图像

在 QR 二维码图像中，在左上角，左下角和右上角存在三个相同的寻像图形，其特征是模块宽度比为 1:1:3:1:1 的三个同心矩形。位置不符合的情况下即进行旋转处理，以确保数据解码时得到正确的二进制位流序列。

探测到符合条件的寻像图形时，反复对其进行 X 和 Y 方向线性扫描，得到寻像图形的中心点。即横向 AB 线段的中点与纵向 AB 线段的中点的交点处。其后，用同样的方法得到另外两个寻像图形的中心点。



图 4-16 寻像图形扫描线

在探测到所有三个寻像图形中心点后，即可得出水平两个寻像图形之间的距离  $D$ 。以及两个寻像图形的宽度  $W_{UL}$  和  $W_{UR}$ 。还可得到 QR 二维码图像的缩放比例：

$$X = (W_{UL} + W_{UR}) / 14 \quad (4-9)$$



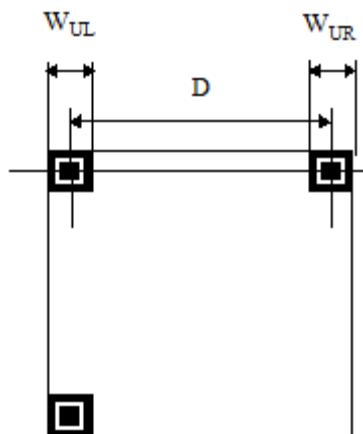


图 4-17 上部位置探测图形

### (二) 确定符号版本

利用公式初步计算确定出图像的版本。若  $V$  的值小于等于 6，即为版本号。反之应解码版本信息。

$$V = [(D/X) - 10]/4 \quad (4-10)$$

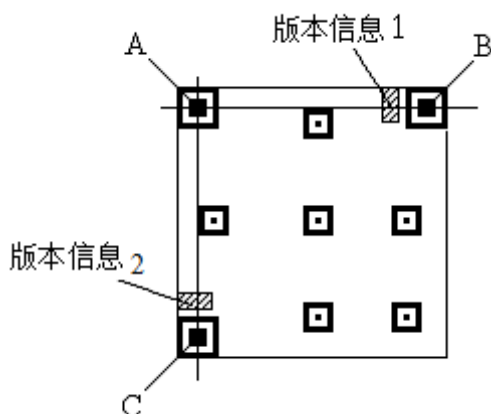


图 4-18 位置探测图形与版本信息

利用上图三个寻像图形的中心直线  $AB$  和  $AC$ ，由平行于直线  $AB$  水平线向上平移 3 个模块长度和向下平移 2 个模块长度和平行于  $AC$  的从  $B$  点中点向左平行移动 5、6、7 个模块的 3 条垂直直线，一同构成了版本信息 1 的模块网络。获取版本信息并解码，如果版本信息 1 中的数据不足以得到正确的位流，则对版本信息 2 进行同样的解码。

### (三) 去除掩模

对 QR 二维码图像每一个像素点取样，并根据阈值确定其是黑色块还是白色块，构造一个新的位图图像，其中“1”表示黑色像素，用“0”表示白色像素。然后，

解码格式信息，得出纠错等级和掩模图形。用相应的掩模图形对编码区域进行异或（XOR）操作，去除掩模，得到原始的编码信息。

#### （四） 得到数据并输出结果

在得到原始的编码信息后吗，确定数据码字，并根据相应的版本和纠错等级，重新按块排列码字。如有需要，则进行纠错处理。然后将数据块序列重新组合连接，得到原始的信息位流，并逐个进行解码。解码为编码的逆过程，可据此还原编码信息。

## 第五章 编码实现结果与分析

本设计在 Window 7 系统下, 使用 Microsoft 公司所提供的 Visual Studio 2008 开发平台下, 使用 C++ 为开发语言, 来实现对 QR 二维码的编码和解码程序的开发。实现 QR 二维码在影院票务系统中的应用。

### 第一节 数据编码模块结果与分析

运行数据编码模块时, 在左半部分界面中相应的信息文本框内输入对应的要编码的信息, 主要调用 EncodeData() 函数得到编码后的二进制数据位流, 然后再调用 FormatModule() 函数进行格式化信息模块, SetFunctionModule() 函数设置功能模块, SetFinderPattern() 函数设定寻像图形, SetVersionPattern() 函数设定版本信息等对编码后的二进制位流进行图像填充。完成后在右半部分界面中生成相应的编码后的 QR 二维码图像。

其中主要功能函数 EncodeData() 原型如下:

BOOL EncodeData(int nLevel, int nVersion, BOOL bAutoExtent, int nMaskingNo, LPCSTR lpsSource, int ncSource), 该函数实现对输入信息的编码功能, 其中, nLevel 表示纠错等级, nVersion 表示版本号, bAutoExtent 表示缩放比例, nMaskingNo 表示掩模模式, lpsSource 表示编码信息, ncSource 表示返回的编码后的信息位流。



图 5-1 QR 二维码编码模块

图 5-1 给出的是编码程序在运行测试时的截图，其中电影名称为致青春，电话号码 022，会员编号 09201401，放映时间 2013 年 5 月 21 日 16: 20 分，座位号 E 排 4 号，电影场次 4。版本随数据容量进行自动确定，也可人工手动指定版本号，纠错等级默认为 L 级，缩放比例默认为 4。运行界面的左半部分文本框中的内容为人工录入或选定。在确认完各文本框部分的信息后，系统自动将不同部分的字符串用“/”连接，然后进行统一的编码。在本实例中，要编码的原始信息为“致青春/022/09201401/2013-05-21/16:20:00/E/4/4”。所生成的 QR 二维码图像显示在右方的图像显示区域内，并可以执行保存图像（bmp 格式）操作。

## 第二节 数据解码模块结果与分析

运行解码模块，通过人工读取一幅 QR 二维码图像，系统调用 DecodeData() 函数进行自动解码，其中有 GetCodeWord() 读取数据码字，GetVersionInfo() 函数读取版本信息，返回版本号，GetFormatInfo() 返回纠错级别和掩模号等联合信息。然后调用 StringSplit() 函数对解码后的内容显示在相应的信息文本框中。

函数原型：BOOL DecodeData(int nCodeSize, int nVersion, BYTE CodeData[MAX\_MODULESIZE][MAX\_MODULESIZE])

实现对输入图像进行解码的功能，其中，nCodeSize 表示缩放比例，nVersion 表示版本号，CodeData 读取的数据位流。

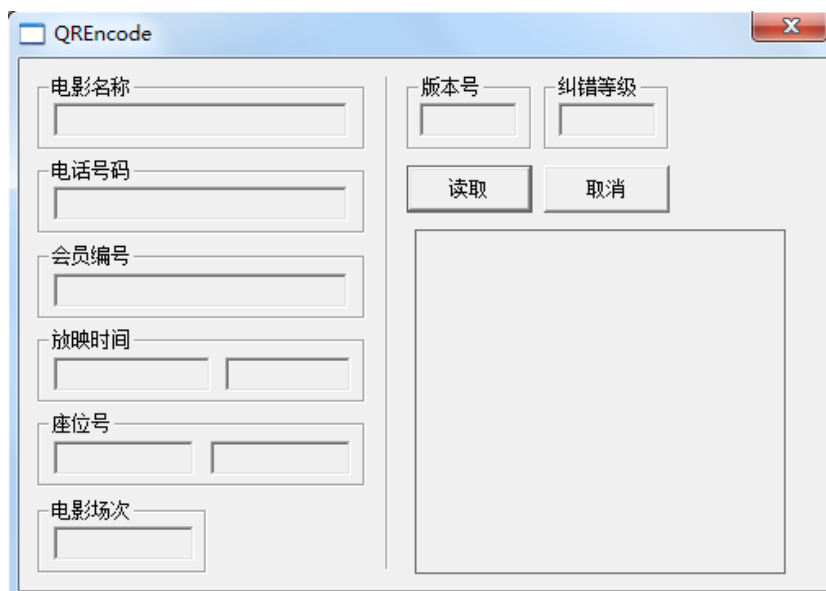


图 5-2 解码模块初始界面

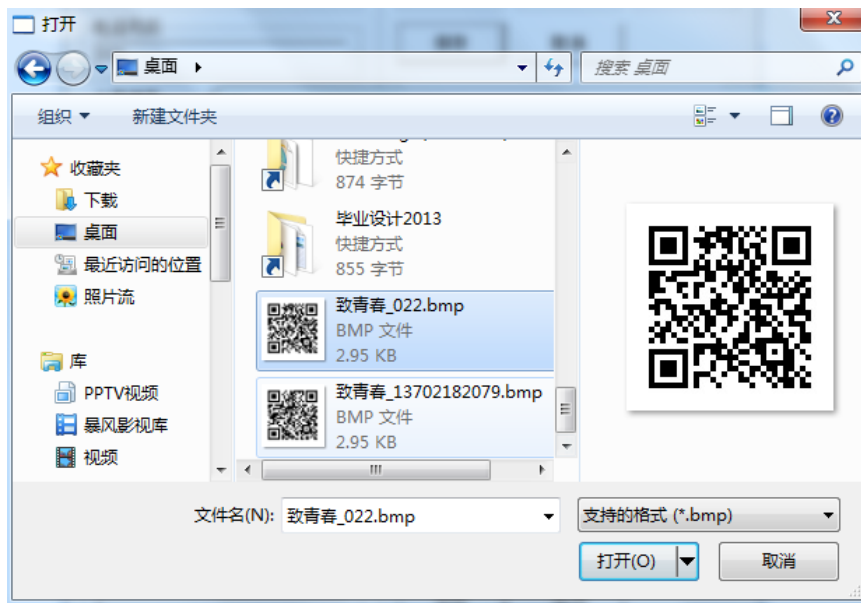


图 5-3 QR 二维码图像读取界面



图 5-4 解码结果显示界面

以上 3 幅图给出的是解码程序在运行测试时的截图。其中图 5-2 是解码模块程序的初始界面，图 5-3 是点击读取按钮后选择特定的 QR 二维码图像的界面，图 5-4 是对该 QR 二维码图像进行解码的结果。在本实例中，首先是编码得到原始信息“致青春/022/09201401/2013-05-21/16:20:00/E/4/4”，然后再以“/”为各部分的分隔符，将不同的信息分别显示到各自的文本区域内，以实现对该 QR 二维码图像的智能解读。

### 第三节 实际应用中的示例

考虑到实际应用，终端机器除了将电影名称，放映时间，座位编号，电影场次以及会员编号等信息打印之外，还需要在票面上打印包含基本信息的 QR 二维码图像，以代替原来的一维条码。该二维码可以用于电子检票，以减轻检票员的工作。图 5-5 展示了一张某影院的样票。其中条码中包含的信息为“致青春/13702182079/09201401/2013-05-21/16:20:00/E/4/4”，其含义即为电影名称为致青春，会员电话为 13702182079，会员编号是 09201401，放映时间是 2013-05-21 的 16:20:00，座位号是 E 排 4 号，电影场次为第 4 场。



图 5-5 某影院的样票

在拥有了实体的打印有 QR 二维码的观影票时，若想减轻检票人员的负担，可以在影厅入口处设置自动检票机器，与现今多数火车站所使用的自动检票机类似，有着同样的功效，不但可以减轻工作人员的工作压力，而且可以加快检票效率，使得观影客户可以省去繁琐的排队等待等流程，有着良好的消费体验。

## 第六章 结 论

### 第一节 工作总结

本文是在对 QR 二维码的编码和解码算法的理论学习和研究基础上, 结合 C++ 面向对象编码技术所完成的。通过分析 QR 码中不同的编码规则和流程, 对编码技术和解码技术进行了介绍。另外对图像的预处理进行了简要的介绍, 通过灰度化、二值化、中值滤波等图像预处理方案, 处理具有一定噪声和失真的 QR 二维码图像, 由此得到去噪后的图像, 并实现对其的正确解码。

最后基于对 QR 二维码编码和解码的研究, 在 Window 7 系统下, 使用 Microsoft 公司所提供的 Visual Studio 2008 开发平台下, 使用 C++ 为开发语言, 来实现对 QR 二维码的编码和解码程序的开发, 实现 QR 二维码在影院票务系统中的应用。设计出一个 QR 二维码和影院票务系统相结合的应用, 可以实现对电影信息、消费者信息等内容的编码, 以及对 QR 二维码图像信息的解码。并给出了程序的测试截图, 以及相应的电影票打印票样。

### 第二节 工作展望

近些年, QR 二维码的应用, 仿佛瞬间占据了生活中的各个领域。广告, 车票, 微信, 微博, 商品包装以及电视节目的互动平台上都能看到 QR 二维码的影子。特别是在物联网的产生和移动云计算迅速发展的今天, 二维码即是连接线上线下的重要途径, 成为移动互联网的入口, 更多的二维码应用解决方案将会应用到各个领域中去。

QR 二维码凭借着其自身高密度编码, 信息容量大, 编码范围广泛, 纠错能力强大, 成本低且易于制作等优点, 在众多的一维条码和二维条码中脱颖而出, 逐渐占据了大份额的市场, 有着众多的应用领域和广阔的应用前景。

尽管有些人对二维码的应用前景并不看好, 但无可否认的是, 只要拥有了足够数量的用户群体, 再加上优良的商业模式, QR 二维码终将能成为连接现实与虚拟最得力的工具之一。

## 参考文献

- [1] 刘志海等. 条码技术及程序设计案例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.119-162
- [2] 国家质量技术监督局. GB/T18284-2000 快速响应矩阵码[S]. 北京: 国家质量技术监督局, 2000: 1-61.
- [3] 倪明田等. 计算机图形学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012, 126-143
- [4] 贾永红. 数字图像处理[M]. 武昌: 武汉大学出版社, 2009, 22-94
- [5] Robert J.McEliece. 信息论与编码理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004,1-100
- [6] Bruce Eckel. Thinking in C++, 2nd edition, Volume 1 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005,54-103
- [7] Lauren Elmore, Derek Stephens. The Application of QR Codes in UK Academic Libraries [J]. New Review of Academic Librarianship, 2012, 18(1), 26-42
- [8] 中国物品编码中心.QR code 二维码技术与应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002:15-38.
- [9] Jiejing Zhou,Yunfei Liu,Peng Li. Research on Binarization of QR Code Image[J]. International Conference on Multimedia Technology(ICMT), 2010:1-4
- [10] 宋维. 二维条码 QR Code 纠错算法的研究与实现 [D]. 北京: 北京机械工业学院, 2007
- [11] 黄婷婷.QR 码识别方法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2008
- [12] 崔强. 全国电子影票系统总体设计构想[A]. 2011 中国电影电视技术学会影视技术文集 [C]. 北京: 中国电影电视技术学会, 2011: 508-513
- [13] 黄宏博. QR 二维条码的纠错编码算法研究及实现[J]. 微计算机信息, 2010, 26(10-3):36-38.
- [14] 晏燕, 王大程等. 基于二维码的校园考务信息应用方法[J]. 兰州理工大学学报, 2012, 38(6):92-96
- [15] 黎燕霞, 李扬等. RS 码纠错技术在 PDF417 码编译算法中的应用[J]. 广东工业大学学报, 2009, 26 (2): 69-73
- [16] Espejel-Trujillo A. , Castillo-Camacho I. Identity Document Authentication Based on VSS and QR Codes[J]. Procedia Technology, 2012, 3: 241-250
- [17] 马超. 数字图像处理算法在 QR 码识别中的应用[D]. 电子设计工程, 2013, 21 (5): 27-29
- [18] 曾子剑. 基于 QR 二维码编解码技术的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [19] Danielle Kane , Jeff Schneidewind. QR Codes as Finding Aides: Linking Electronic and Print Library Resources[J]. Public Services Quarterly, 2011, 7 (3-4), 111-124
- [20] Hiroko Kato, Keng T Tan. Development of a novel finder pattern for effective color 2D-Barecode detection [M].Parallel and Distributed Processing with Application , 2008:1006-1013



## 致 谢

在论文完成之际，我也将结束在天津科技大学四年的学习生活，回想起几年来充实而欢乐的日子，感慨万千。在此，感谢我的导师、同学以及院系老师领导的关心与呵护，感谢所有给予我帮助的人。

首先，要感谢的是我的导师史绍强老师。感谢他在毕业设计过程中对我的严格要求，学业上的悉心指导，以及生活上的关心和帮助，在此向史老师致以最衷心的感谢。

其次，要感谢的是胡晓彤教授。感谢他对我的精心引导，教授了我做研究、做设计的方法和态度，让我受益匪浅。在此也向胡老师致以深深的谢意。

再次，要感谢的是一起学习过的同学和朋友。感谢他们同我一起探讨问题，一并度过难关，感谢他们多年来不离不弃的陪伴。

最后还要感谢我的父母和姐姐，感谢他们多年来对我的鼓励和支持，感谢他们一直无私的奉献。