

连续型 2 维图形矩阵码格式设计及掩模方案

章 莉 杜 敏 吴百锋

(复旦大学计算机与信息技术系, 上海 200433)

摘 要 2 维条码目前已广泛应用于各个领域, 2 维条码的编码过程中有一个重要步骤称为掩模调制, 其目的是为了限制生成图像各区域的平均灰度, 以提高码字的易印制、易识别能力。但现有的掩模方法大多基于感性, 掩模模式有限并缺乏规范的方法支持及客观的评估手段, 难以在各种应用条件下取得最佳效果。本文的研究目的是对能够对 2 维条码的掩模进行一种客观的数学上的评估。本文结合作者自行提出的一种可承载不确定容量信息的连续型 2 维条码, 从统计分布模型角度对掩模技术进行研究, 通过一种归于正态分布的数学评估模型, 最终引导出一种比传统方法更为客观、规范、可最优化的掩模方法, 该技术还可以应用于 QR 码等 2 维编码规则中。

关键词 2 维条码 掩模

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)07-1426-06

Sequence Two-dimension Symbolgies Design and Mask Solution

ZHANG Li, DU Min, WU Bai-feng

(Department of Computing and Information and Technology, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract 2D barcodes are two-dimensional graphical patterns that encode information. During encoding there is an important stage named mask modulation the purpose of which is to limit the average gray level of each area of resulting image and to make it suitable for printing and recognition. Since the traditional schemes are mostly based on perceptual template pattern selection and lack formal method and objective evaluation is based on quantitative analysis, resulting non-optimal selection during application. Our task is to objectively and mathematically evaluate the mask modulation. In this paper, based on a 2-dimensional continuous matrix bar code with uncertain capacity, we introduce an evaluation method of graphical patterns based on mathematic statistical model. This evaluation is more impersonal and optimal than the traditional method.

Keywords two-dimension barcode, mask pattern modulation

1 引 言

2 维条码是一种高密度、高可靠的便携式数据文件, 是实现证件及卡片等大容量、高可靠性信息自动存储、携带并可用机器自动识读的理想手段^[1]。2 维条码信息容量大、保密防伪性强、可靠性高; 并且成本低廉, 使用寿命长, 这些优点使得 2 维条码能够在证件管理、工业生产、国防、金融、医药卫生、商

业、交通运输等领域得到了广泛的应用。2 维条码的编码实际上是一个将数字信息转换成图形信息的过程, 由于原始信息的不确定, 生成图像的形式及灰度分布也有某种程度的不确定, 这种不确定有时会对码字的印制、识别带来困难, 极端情况下会造成解读过程中的误识别。为了克服这种生成图像的不确定, 通常需要对码字进行适当的掩模, 使其灰度分布更趋均匀, 并避免形成一些具有特定意义的图形, 如定位点, 这样不但有利于码字在通常设备上的印制,

收稿日期: 2008-07-31; 改回日期: 2008-11-24

第一作者简介: 章 莉(1984 ~), 女。复旦大学计算机体系结构专业硕士研究生。主要研究方向为嵌入式系统。E-mail: 062021093@fudan.edu.cn

也有利于码字的正确、快速识别。掩模技术的核心包括两个部分,一个是掩模模式,即一定范围可选择的预设的掩模图形,用于与原始图形进行异或等可逆的运算;另一部分是掩模评估,用于对在各种掩模图形选择下的生成图像进行评估,以便确定出最佳的掩模图形选择。在上述两部分工作中,掩模模式相对容易,以前的研究也已经取得了较好的方案,而掩模评估相对困难,目前无论在研究领域还是在应用领域都缺乏公认的最佳方案,因此,对这方面的研究也更具意义。

2 相关工作

近年来,通过计算机对物体进行识别在各种行业有着十分广泛的应用。早期的标签系统是通过特殊的字体进行光学识别,如 OCR (optical character recognition)^[2]。这种系统在 20 世纪 70 年代初期就被线性条码所取代,原因是线性条码构造比 OCR 更易于构造和识别。但是线性条码所容纳的数据量较低,需要数据库支持。因此无线射频识别 (RFID) 与条码技术就发展起来。

RFID 相对打印标记来讲,具有防水、使用寿命长、读取距离大、存储数据容量大、存储信息可更改等优点。高成本是 RFID 的一个明显弱点。目前,电子标签 RFID 的应用领域主要还是集装箱、货盘,包装箱,或单品价值较高的商品。一个电子标签的成本大约在 20~25 美分之间,即使比较乐观的估计,在未来 3~5 年间一个电子标签的成本降到 1~5 美分^[2],与条形码极低的成本相比,电子标签仍不可能在短期内取代条码。因此,面对 80% 以上的单品价值较低的日常用品等商品,条形码技术成为了一种不可替代的实现方案。

目前 ISO 标准化组织认定的 4 种 2 维条码规则为 PDF417, DataMatrix 码, QR 码及 Maxicode 码。以下对 PDF417, QR 码和 Data Matrix 码进行简要介绍。

PDF417 是多层的、长度可变、高密度高纠错率的条码规则。每一个码字由 4 个条和 4 个空组成,模块总数为 17。使用 3 种不同的设计包括了 PDF417 的 929 个码字。PDF417 每行只使用其中一个簇的符号字符。同一簇每三行重复一次。为了保证条码的解码后仍在伽罗瓦域内,PDF 从每一个簇中选择 929 个码字。这为编码的应用提供了灵活

性。每一行包含了一个开始位和结束位组成的黑色的间隔。PDF417 最大容量为 1 108 个字节/英寸,若采用压缩编码,容量还能更高。解码仪器的识别率也对条码的容量有影响,识别精度越高,容量越大^[2]。

MaxiCode 主要用于物流运输,传送带扫描识别标签的速度最高可达到 2.5 m/s。每个信息点为六边形的小格,中心定位点为 3 个同心黑圆。每一个 MaxiCode 符号有 33 行、29 或 30 列(由于六边形图像所致)的小格构成。一列中的 6 个六边形形成一个码字。由于每个符号中心有大的定位点,因此最多只有 144 个码字^[3]。

DataMatrix 2 维条码原名由美国国际资料公司 (international data matrix, 简称 ID Matrix) 于 1989 年发明。DataMatrix 2 维条码是一种矩阵式 2 维条码,其发展的构想是希望在较小的条码标签上存入更多的资料量。DataMatrix 2 维条码最大储存量为 2 000 bytes,自动纠正错误的能力较低,只适用特别的 CCD 扫描器来解读^[3]。

QR 码是由日本 Denso 公司于 1994 年 9 月研制的一种矩阵式 2 维码符号,它的信息容量大,可表示数字、字母、汉字与 8 位字节型数据等信息。每个 QR 码符号由正方形模块构成,组成一个正方形阵列,由编码区域和包括定位点、分隔符、矫正点在内的功能图形组成,目前在语音识别领域已有所应用^[4]。

本文提出的一种连续性 2 维矩阵码,是动态识别的非字符集可变长编码,可适用于语音、图像等大容量信息的存储。在格式设计、掩模方案上提出的解决方案,具有一定的普遍性与可用性。

对于以上的几种 2 维条码中,如何正确地对原有数据进行识别,是 2 维条码的格式设计中一个很重要的问题。从图 1 可以看出,在 MaxiCode 和 QR 码的格式中都设置了定位点,通过定位点,可以有效地减少数据偏差。但是由于数据产生的随机性,最后的生成图像有可能会有一些与定位点相似的图像,称之为“伪定位点”。如何减少定位点是码子设计时必须关注的问题。可以看到 MaxiCode 的定位点设计成为 3 个同心圆,而 QR 码设计成为内嵌白边的正方形。这些措施是为了减少定位点的误识别。

为了避免定位点的误识别,控制码字图像的平均灰度,QR 码还提出了一种掩模方案。但该掩模

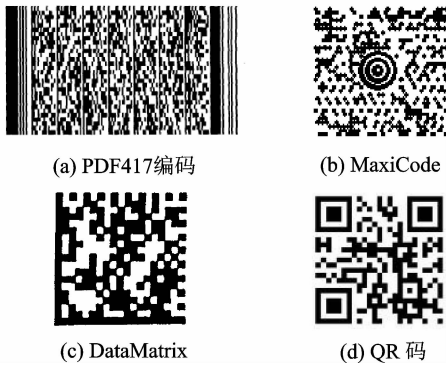


图 1 PDF417, MaxiCode, DataMatrix 及 QR 码编码图形

Fig. 1 Classic barcode; PDF417, MaxiCode, DataMatrix, QR Code

方案的评估算法较为感性,缺乏客观明确的量化依据,不能很好地保证其可靠性。

QR 码的掩模方法是在依次用每一个掩模图形进行掩模之后,对每一次如下的现象进行罚点记分,以便对每一个结果进行评估,分数越高,掩模后效果越差。如表 1 中, $N_1 \sim N_4$ 为对不好的特征所罚分数的权重 ($N_1 = 3, N_2 = 3, N_3 = 40, N_4 = 10$), i 为紧邻的颜色相同模块数大于 5 的次数, k 为符号深色模块所占比率与 50% 的差值,步长为 5% [5]。虽然掩模只是针对编码区域进行,不包括符号信息,但是评估是针对整个符号进行的。最后选择罚分值最低的图形用于符号掩模。

表 1 掩模评估的计分

Tab. 1 Records of mask modulation

特征	评价	分数
行/列中相邻的模块颜色相同	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/列中出现 1:1:3:1:1		N_3
整个符号中颜色模块的比率	$50 \pm (50 \times k)\%$ 到 $50 \pm (50 \times (k + 1))\%$	$N_4 \times k$

QR 码的掩模评估方案由于通用性不够,且带有一定的主观判断,因此不是一种好的评估解决方法。设计一种较为通用、有明确分析依据的评估方法,应能够在实际应用中取得更好的效果。

3 格式设计

图 2 表示了连续型 2 维矩阵码的格式布置,连续型图形矩阵码是矩阵型符号,具有大容量、高可靠性、高效率的优点,可表示语音、图像等各种信息,具有独立定位和自动识别能力,可进行高速的全方位识读。与国际上已提出的编码规则相比,它具有如下特性:

- (1) 编码数据为语音、图像等非字符集;
- (2) 数据表示方法为深色为二进制 1,浅色为二进制 0;
- (3) 每一个矩阵码的数据区内容将包含标识信息、数据信息以及校验信息,其排列呈一定分布,避免几个临近数据位形成干扰定位点识别的大面积黑色区域的可能;
- (4) 数据编码结果呈长条形,长度可变,扫描设备采集数据时为动态连续采集;

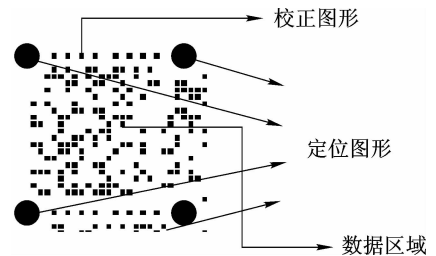


图 2 连续型图形矩阵码符号结构

Fig. 2 Two-dimension sequence code structure

针对以上特征,该编码格式设计必须考虑定位、扫描、纠错 3 个方面。

为了防止解码发生偏差,必须在编码过程中插入定位点帮助解码纠错校正。且由于该 2 维条码采用动态扫描会造成扫描角度偏移等问题,若采用如 QR 码等方形定位点,对定位点的识别会比较困难,容易造成偏差,且效率不高。本条码采用大圆点定位,分布于图形矩阵码的四周留下一定的空白区域,绘制大圆点 [6]。黑圆点由于从任何角度来看其形状都是一致的,圆形定位点可使得扫描发生偏角时仍能够方便、快速地进行定位点的识别。与传统的 2 维条形编码格式如 QR 码的方形定位点相比,在抗倾斜、变形、噪声、照度不匀及快速识别等方面具有优势。由于定位点是个实心圆点,当大量黑点聚集的时候,会形成一个“伪定位点”,使识别受到影

响。因此通过掩模,与原始图像进行异或,可以减少原始图像的大量黑点的聚集而影响定位点的判断。而对掩模结果的评估算法,是掩模技术的一个难点,且具有十分重要的意义。若评估算法不合理,定位点识别错误,则会造成整个数据的识别错误,后继的纠错与还原过程将毫无意义。

4 掩模及其评估算法

如 PDF17, QR 码等字符集编码,需要采集的数据为已经过编码的字符,而连续 2 维条码主要用于语音信号等非字符集编码,因此随机性更大,容易出现大面积的黑点或者白点聚集。这种情况会影响到扫描设备的识别和解码过程。为了让识别工具更好地定位于识别 2 维条码,必须均衡地安排黑点与白点,这样可以避免大面积的黑点聚集影响定位点的误判断,也可以避免大面积的白点聚集导致其中的某个黑点的正确识别。因此采用一种掩模与原有图像的异或,可以使得黑点与白点的分布保证一种基本平衡的分布,并且可以方便系统的解码还原。

假设原码字模块内黑点有 α ,则该数据块内白点概率为 $1 - \alpha$ 。假设掩模图形的黑点所占比例为 β ,则白点所占比例为 $1 - \beta$,若掩模图像呈均匀分布,由异或公式 $1 \oplus 0 = 1, 1 \oplus 1 = 0$,则原始图像的黑点区域存在有 $\alpha(1 - \beta)$ 比率的黑点,原始图像的白点区域存在 $(1 - \alpha)\beta$ 概率的黑点,掩模后的黑点所占比例为

$$\Gamma = \alpha(1 - \beta) + (1 - \alpha)\beta = \alpha + \beta - 2\alpha\beta \quad (1)$$

若 $\alpha > 0.5, \gamma < \alpha$; 若 $\alpha < 0.5$,则 $\Gamma > \alpha$ 。

由此得,掩模后黑点所占数据的比例 Γ 从数学统计上会趋于 0.5,则白点所占比例也会相应的趋于 0.5。因此图像的黑点与白点从数量上趋于平衡,且分布趋于均匀。并且掩模的黑点与白点数量越一致,分布越均匀,则可减少个数据点聚集的情况,掩模后的效果越好。但是以上的推导仅在最理想的情况下得出,考虑到非字符集编码生成数据的随机性,为了适应更普遍的应用。

QR 码设计中提供了 8 种掩模方案(见图 3),它们的特征是黑点与白点呈几何形状的分布,且呈均匀分布,与原有图案进行异或操作后,在统计方法上可以得到,掩模后的图像会对原有图像有明显地改进。对掩模后的图像评估方法可以决定对掩模方案的取舍,对掩模评估提出一种准确的方法,是掩模技

术中必须解决的问题。

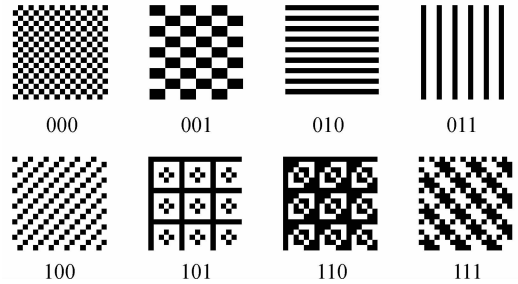


图 3 8 种掩模方案

Fig. 3 8 kinds of mask pattern

QR 码设计为罚分方案,但是该方案的仅适用于 QR 码的编码规则,具有一定的局限性。由于本条码与 QR 码在编码在编码规则上有所不同,因此 QR 码的罚分方案在本条码中不可用。且目前的 GB/T QR Code 掩模设计与评估算法基本上是比较感性的评估,其罚分值没有一定的数学理论对其进行支持,没有一种数学模型对其进行量化的分析。对此,建立一种数学模型提出一种定量分析,可以提高掩模选择的可靠性并且这种可靠性可以增加其通用性,可以广泛应用于各种二位条码的统计中。

可以得知,大量黑点的聚集是由于黑点的分布不均匀。可以通过采样窗口对每小块的黑点与白点数进行统计,若与期望的平均分布的值相差越大,则其越不可用。

在数学统计中可以知道,采样样本越多,采样窗口越小,所获得的数据则越精确。由于对数据录入的速度要求不高,因此可以把采样窗口的大小规定为两个数据,采样方法通过两步进行,首先按行依次扫描,在每一行依次读取两个数据,如第 0 个和第 1 个,第 1 个和第 2 个,第 2 个和第 3 个,依次类推,按行扫描执行完毕后,我们按照同样方法按列依次采样,在采样的同时计算其每个采样点的方差。扫描完毕后,可以根据平均方差计算公式,求得最后结果。

具体算法如下:

(1)在定位点与校正点确定数据位置后即可依次读取数据。分布的概率密度的期望值 $E(x)$ 为 $1/2$ 。在最优情况下,每读取两个数据,进行同或运算,有一个为 1 一个为 0,则黑点与白点均匀分布,此时的图形最易于定位点的识别。此时的采样窗口偏差 $D(x)$ 为 0。

若两个数据同时为 1 的采样窗口方差为

$$D(x_i) = \left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \quad (2)$$

若两个数据同时为 0 的采样窗口方差为

$$D(x_i) = \left(0 - \frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \quad (3)$$

按行依次扫描完毕一个数据块后,可获得按行扫描后的方差和。

(2)接下来再对同样的数据块进行按列扫描,与按行扫描类似,最后可获得一个按列扫描后的方差和。

(3)由均方差计算公式(4),可求得均方差。通过比较均方差,可得到最优化掩模。

$$S^2 = \frac{[(x_1 - E(x))^2 + (x_2 - E(x))^2 + \dots + (x_n - E(x))^2]}{n} \quad (4)$$

代码如下:

```
Double comp_S(int M[len][len])
{
    int S = 0;
    int i, j;
    for(i = 0; i < len - 1; i++)
        for(j = 0; j < len - 1; j++)
            if((M[i][j]^M[i][j+1]) == 0)
                S++;
    for(j = 0; j < len - 1; j++)
        for(i = 0; i < len - 1; i++)
            if((M[i][j]^M[i+1][j]) == 0)
                S++;
    Double S = S/n(n-1);
    Return S;
}
```

例如 18 × 18 bits 的原始图像数据区如图 4(a)所示,在其生成图形中,存在大量黑点聚集,这些黑点使得系统在寻找定位点时产生偏差。此时可以参考 QR 码的 8 种掩模方案^[3],经过异或运算,并且通过评估算法进行评估,得到的方差值如表 2 所示。

由此,选择方差值最小的掩模方案异或后如图 4(b)所示,掩模后的图像多个黑点聚集的情况明显减少。在这种情况下,可大幅度减少定位点的误判断。并且异或运算可以在解码端很容易地还原出原来数据。根据经过修改 QR 码的罚分算法,使其适应本条码的编码规则,选择最终罚分值最低的掩模异或后所得到的掩模方案如图 4(c),黑点聚集的情况比图 4(b)有所增多。



图 4 条码掩模前图像、掩模图像及掩模后图像

Fig. 4 2D barcode print graphic
(before/after modulation)

表 2 掩模图像及其评估方差

Tab. 2 Mask modulation and evaluation

掩模条件	评估方差	QR 码罚 分值
未掩模	0.545 752	1 265
000 (i + j) mod 2 = 0	0.398 693	761
001 i mod 2 = 0	0.478 758	1 036
010 j mod 3 = 0	0.544 118	1 294
011 (i + j) mod 3 = 0	0.436 274	780
100 ((i div 2) + (j div 3)) mod 2 = 0	0.441 176	850
101 (i × j) mod 2 + (i × j) mod 3 = 0	0.431 373	887
110 ((i × j) mod 2 + (i × j) mod 3) mod 2 = 0	0.441 176	533
111 ((i + j) mod 2 + (i × j) mod 3) mod 2 = 0	0.457 516	754

5 连续型 2 维条码在有声电子读物中的应用

连续型 2 维条码可以在 2 维条码适用的所有范围内应用,由于其长度可变,无固定字符集、可动态扫描识别等特点,可灵活地应用于语音、图像等编解码。已经研制出基于连续型 2 维条码的语音条码扫描器原理样机。经专业测试机构实测,第一代扫描器的识读 2 维码的精度已能可靠识读密度达 3 828 byte/cm²。

在有声读物中,条码与可读文字印刷在一起,因此它的附加成本比普通读物增加不会很大。将语音信息录入条码信息十分方便,而且条码扫描器能够解压出所有信息,2 维条码是一种十分有潜力的自动识别技术^[7]。

有声电子读物可以通过手持扫描设备对纸质读物的编码扫描,可以听到该文字的语音。大量的语音信息可以存储于极小的数据块内,再打印到纸张上。通过手持设备解码,可清晰地还原出来。该商

品已经在日本广泛应用。

另外还开发了语音采编软件,提供给出版机构用来把语音转换成条码,并可以把条码与文字,图画等进行混合编排。

上述语音条码、扫读器样机、语音采编软件构成了对出版行业出版有声图书的完整的技术支持应用系统。该系统经出版社、排版公司、印刷厂全流程试用。该项目已通过市科委验收,现阶段正在对所取得的成果做进一步的商品化。

6 结 论

本文中提出了一种适用于动态扫描的连续型2维条码及其掩模评估方案。若将此技术的应用价值进一步提升,可广泛地应用于各种领域。新型条码的研究目前世界上各国都刚刚起步,目前对建立大容量条码技术研究与应用开发项目正是赶超先进、打破外国垄断的一个很好的机遇。而基于数学统计的掩模评估方案的提出,为2维条码的应用与发展

奠定了良好的基础。

参考文献 (References)

- 1 Pavlidis T, Swartz J, Wang Y P. Fundamentals of bar code information theory [J]. IEEE Computer Magazine, 1990, 23(4): 74-86.
- 2 Pavlidis T. A new paper/computer interface: two-dimensional symbologies [A]. In: Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'00) [C], Barcelona, Spain, 2000, 2:145-151.
- 3 Priddy D G, Cymbalski R S. Dynamically Variable Machine Readable Binary Code and Method for Reading and Producing Thereof [P]. USA: 4939354, 1990-07-03.
- 4 Denso Corporation. QRmaker; User's Manual [M]. Aichi, Japan, 1998:35-37.
- 5 GB/T 18284-2000, Quick Response Matrix Code [S]. [GB/T 18284-2000, 快速响应矩阵码[S].]
- 6 Pei Song-wen, Li Guo-bo, Chen Gang, et al. Prototyping system of codec for novel 2-D continuous barcode [A]. In: Proceedings of IEEE 12th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design [C], Xi'an, 2008: 1128-1132.
- 7 Palmer Roger C. The Bar Code Book 3rd Ed [M]. Peterborough, NH, USA: Helmers Publishing, 1995: 15-16.