

# 三维条码的编码理论和设计

刘宁钟<sup>1)</sup> 杨静宇<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(南京航空航天大学信息科学与技术学院 南京 210016)

<sup>2)</sup>(南京理工大学计算机科学与技术系 南京 210094)

**摘 要** 条码应用的进一步推广,对条码的信息容量提出了更高的要求.增大条码尺寸或增大条码密度的解决方案都有其局限性.文中在二维条码的基础上,设计了一种新的条码——三维条码.这种条码结合条空宽度变化、条空颜色变化和纵向排列来表示信息,能在有限的几何空间内表示更多的信息.文中先讨论了条码的编码技术,再对二维条码进一步扩展,提出三维条码,研究了三维条码的编码容量、差错控制等关键技术.最后研究了三维条码的识别技术,并给出一个三维条码的识别算法框架.

**关键词** 二维条码; 三维条码; 编码理论; 识别算法; PDF417

中图法分类号 TP391

## Encoding Theory and Design of Three-Dimensional Bar Code

LIU Ning-Zhong<sup>1)</sup> YANG Jing-Yu<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(College of Information Science & Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

<sup>2)</sup>(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)

**Abstract** Because of its wider use, the bar code meets a need to encode significantly more data than conventional bar code. The way of increasing bar code size or the way of increasing its density has some limitations. A new type of bar code, three-dimensional bar code is designed in this paper. It greatly increases information capacity within limited space. It combines the variety of widths, the variety of colors and vertical array to provide significantly more information content. First, the encode technology of bar code is discussed in this paper. Then on the basis of two-dimensional bar code, three-dimensional bar code is proposed here. And some key technology of three-dimensional bar code is discussed, such as information content, error correction. At last, the recognition technology of three-dimensional bar code is discussed and the corresponding recognition algorithm is presented in the paper.

**Keywords** two-dimensional bar code; three-dimensional bar code; encoding theory; recognition algorithm; PDF417

## 1 引 言

随着高科技的飞速发展,计算机在性能上日臻完善.人们一直在研究如何改变手工数据输入,提高输入质量和输入速度.条码自动识别技术就是在这

样的环境下应运而生的<sup>[1,2]</sup>.条码技术是以计算机、光电技术和通信技术的发展为基础的一项综合性科学技术,是信息数据自动识别、输入的重要方法.在众多自动识别技术中,条码技术越来越被人们所认识和接受,已经成为当今主要的计算机自动识别技术之一<sup>[1]</sup>.条码自出现以来,发展速度十分迅速.它

收稿日期:2005-05-01;修改稿收到日期:2007-01-06.本课题得到国家自然科学基金(60632050,60472060)资助.刘宁钟,男,1975年生,博士,副教授,主要研究方向为自动识别、图像处理、视频压缩等. E-mail: liunz@163.com.杨静宇,男,1941年生,教授,博士生导师,主要

的使用极大地提高了数据采集和信息处理的速度,提高了工作效率,并为管理的科学化和现代化做出了很大贡献<sup>[1-2]</sup>。

为了解决传统一维条码信息容量有限的问题,在 20 世纪 90 年代发明了二维条码。二维条码除了具有一维条码的优点外,还有信息量大、可靠性高、保密防伪性强等优点<sup>[3-4]</sup>。二维条码在同样的面积上的信息含量是一维条码的近百倍。因为具有高密度、高可靠性等特点,它不但可以存放数字,而且可以直接存放包括图像在内的所有可以数字化的信息,例如多国文字、数据文件、图像等<sup>[5-6]</sup>。二维条码的出现从质的方面拓宽了条码的应用领域。

随着条码应用的进一步推广,人们对条码的信息容量提出了更高的要求,希望条码能够转载更多的信息。此时二维条码的信息容量也不能满足要求。理论上,我们可以采用增大条码尺寸或增大条码密度来解决这个问题。但是这两种解决方案都有一定的局限性。增大条码尺寸需要条码载体提供更大的印制面积,往往在实际应用的场合中,对条码的尺寸有很强的限制,例如证件、单据本身尺寸的限制,不可能给条码提供的太大印制面积。而增大条码密度,需要印制设备、识读设备有更高的精度,成本高,而且增大条码密度会明显降低条码的抗干扰能力<sup>[7-8]</sup>,极大限制了条码使用的环境。鉴于近年来彩色印制设备、采集设备的日趋成熟和低成本化,这里我们给条码加入颜色信息,对二维条码进行扩展,提出一种新的条码——三维条码。这种条码结合条空颜色变化、条空宽度变化和纵向排列来表示信息,能在有限的几何空间内转载更多的信息。在不变大条码尺寸和密度的同时,达到提升条码信息容量的目的。

## 2 条码编码技术

条码编码是指条码中条、空的编码规则及二进制的逻辑表示设置<sup>[1]</sup>。条码编码方法有两种:模块组配法和宽度调节法。

模块组配法是指条码符号中每个条码字符<sup>[1]</sup>的条和空分别由若干个模块组配而成的编码方法<sup>[1]</sup>。一个模块宽的条表示二进制“1”,一个模块宽的空表示二进制“0”。用模块组配法对二进制串 100111000 进行编码,如图 1 所示。通用商品条码、UPC 码、九三码、128 码等均属按模块组配法编码的条码。

宽度调节法是指条码符号的每个条码字符的条和空分别用宽与窄两种不同形式按一定规则调节而成的编码方法<sup>[1]</sup>。用宽单元表示二进制“1”,用窄单

元表示二进制“0”。宽窄单元比一般为 2~3。用宽度调节法对二进制串 100111000 进行编码,如图 2 所示,其中宽窄单元比为 2。三九码、库德巴码、交叉二五均属按宽度调节法编码的条码。

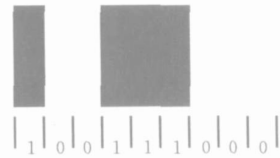


图 1 模块组配法

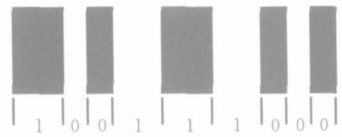


图 2 宽度调节法

比较图 1 和图 2 可以看出,同样表示二进制串 100111000,模块组配法需要 9 个模块宽度,而对于宽窄单元比为 2 的宽度调节法,其需要的长度相当于 13 个模块的宽度。

### 2.1 模块组配法的编码容量

对于一个用模块组配法编码的条码字符,如果包括  $n$  个模块,由于每个模块可以代表 1 或 0,那么它最多可以表示  $2^n$  个不同的码字,它的编码容量<sup>[1]</sup>  $N(n)$  为  $2^n$ 。这是对条码中条与空的个数不加限制的编码容量。这种情况下,由于一个条码字符中条与空的个数是可变的,故而边界的个数也是可变的。由于不确定的边界个数不利于条码的识别<sup>[7]</sup>。因此为了便于识别,往往一个条码字符中条与空的个数是固定的。例如 PDF417 条码的一个条码字符由 4 个条、4 个空组成。对于一个条码字符,如果它由  $k$  对条和空组成, $k$  对条和空共包括  $n$  个模块,称之为  $(n, k)$  码<sup>[1]</sup>。例如 PDF417 码是  $(17, 4)$  码,它是由 4 对条和空组成,共包括 17 个模块。

对于  $(n, k)$  码,  $n$  个模块分成  $2k$  个条空,也就是说要在  $n-1$  个模块边界中选出  $2k-1$  个作为条空边界,因此可以表示的码字数为<sup>[1]</sup>

$$N(n, k) = C_{n-1}^{2k-1} \quad (1)$$

我们关心的是对于一个固定的  $n, k$  取什么值时,  $N(n, k)$  最大。这里我们给出一个定理。

**定理 1.** 当  $k = \left\lfloor \frac{n+3}{4} \right\rfloor$  时, 编码的字数  $N(n, k)$  最大。

**证明.** 我们考虑:

$$\frac{N(n, k)}{N(n, k-1)} = \frac{C_{n-1}^{2k-1}}{C_{n-1}^{2k-3}} = \frac{(n-2k+1)(n-2k+2)}{(2k-2)(2k-1)} \quad (2)$$

由上式可知若要  $\frac{N(n, k)}{N(n, k-1)} > 1$ , 需要满足

$$\frac{(n-2k+1)(n-2k+2)}{(2k-2)(2k-1)} > 1 \quad (3)$$

解此不等式得到

$$k < \frac{n+3}{4} \quad (4)$$

可见当  $k < \frac{n+3}{4}$  时,  $\frac{N(n, k)}{N(n, k-1)} > 1$ . 也就是说, 当

$k < \frac{n+3}{4}$  时, 随着  $k$  的增大  $N(n, k)$  增大. 故  $k =$

$\lceil \frac{n+3}{4} \rceil$  时,  $N(n, k)$  最大. 证毕.

把  $k = \lceil \frac{n+3}{4} \rceil$  代入  $N(n, k) = C_{n-1}^{2k-1}$ , 可得  $(n, k)$  码的最大容量为

$$N(n) = C_{n-1}^{\lceil \frac{n+3}{4} \rceil - 1} \quad (5)$$

## 2.2 宽度调节法的编码容量

对于宽度调节法的条码字符, 由于其条空的宽度只有两种变化, 不固定的条空数对识别影响不大, 宽度调节法的条码字符可以考虑采用可变的条空数. 对于宽度调节法的条码字符, 设其宽窄比为 2. 如果这个条码字符的宽度为  $n$ , 其中有  $k$  个宽单元. 由于宽单元宽度为 2, 窄单元宽度为 1, 那么共有  $n-k$  个单元. 在这  $n-k$  个单元中选出  $k$  个宽单元, 有  $C_{n-k}^k$  个选法. 由于宽单元宽度为 2, 故而  $k \leq \frac{n}{2}$ . 那么此条码字符最多可以表示的码字数为

$$N(n) = \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} C_{n-k}^k \quad (6)$$

不难证明对于宽度调节法的条码字符, 其编码容量有<sup>[2]</sup>

$$N(n) = N(n-1) + N(n-2), \quad n > 2 \quad (7)$$

$$\text{由式 } N(n) = \sum_{k=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} C_{n-k}^k, \text{ 可知}$$

$$N(1) = 1, \quad N(2) = 2 \quad (8)$$

结合以上两式, 可知  $N(n)$  为费波那契 (Fibonacci) 数列, 根据费波那契数的通项公式<sup>[2]</sup>,  $N(n)$  可以写成

$$N(n) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} \right] \quad (9)$$

比较式(5)和式(9), 我们给出模块组配法和宽度调节法的编码容量表(如表 1).

从表 1 中, 我们可以看到, 宽度小于等于 7 时, 模块组配法的编码容量小于宽度调节法. 当宽度大于 7 时, 模块组配法的编码容量大于宽度调节法. 而且随着模块数的增加, 模块组配法的编码容量将远

表 1 模块组配法和宽度调节法编码容量

宽度	模块组配法编码容量	宽度调节法编码容量
5	4	8
6	10	13
7	20	21
8	35	34
9	56	55
10	126	89
11	252	144
12	462	233
13	792	377
14	1716	610
15	3432	987
16	6435	1597
17	11440	2584

远超过宽度调节法. 因此, 当模块数较多时, 选择模块组配法作为编码方式可以获得更高的编码容量. 为了获得更高的编码容量, 目前大多数二维条码都采用模块组配法作为编码方式<sup>[2]</sup>.

## 3 三维条码的设计

传统的条码编码方式, 无论是模块组配法还是宽度调节法, 都是用条和空的宽度变化来承载信息. 二维条码在几何结构上相对于一维条码有所扩展, 但在编码方式上还是沿用了一维条码的形式, 还是局限于用条和空的宽度变化来承载信息, 只是通过条空纵向排列来扩展条码的信息量. 鉴于近年来彩色印制设备、采集设备的日趋成熟和低成本化, 这里提出一种新的编码方式. 我们采用条空横向宽度、条空纵向排列和条空颜色 3 种变化来承载信息, 构成一种新的条码, 我们称之为三维条码.

### 3.1 三维条码的设计思想

三维条码在颜色的分布上可以以模块<sup>[3]</sup>为单位, 每个模块任意选用几种颜色的一种, 这时条码没有了条和空的区分, 取消了条空这个概念. 这种方法能够获得比较高的编码容量, 但是采用这种颜色编码将提高识读算法的复杂性, 涉及彩色图像的分割. 彩色图像的分割算法复杂度高, 系统开销大. 而且采用这种颜色编码抗干扰能力差. 这里我们保留了条码中条空的概念, 区分条和空的颜色. 条的颜色和空的颜色在某种颜色分量上易于分割, 这样条空的分割算法可以方便地转换为灰度图像分割, 不涉及复杂的多色彩分割. 这种颜色编码在提高条码编码容量的同时, 对硬件系统、软件系统的要求都不高, 其识别算法易于实现.

在传统编码方式中, 我们仅用宽度  $w_i$  来表示条码字符中的第  $i$  个条空, 故一个有  $m$  个条空的条码

字符可以表示成一个  $m$  维的向量:

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T \quad (10)$$

例如, 图 3 所示的一个条码字符可以表示为向量  $(2, 1, 1, 5, 3, 2, 1, 2)^T$ .

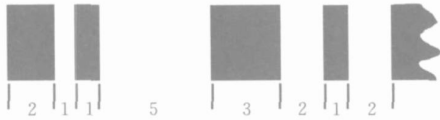


图 3 黑白条码字符

现在我们给条空加入颜色信息用一个两元组  $(w_i, c_i)$  才能表示条码字符中的第  $i$  个条空, 如果为条, 则

$$c_i \in \text{BarColorSet} \quad (11)$$

如果为空, 则

$$c_i \in \text{SpaceColorSet} \quad (12)$$

其中  $\text{BarColorSet}$  为条许用颜色集合,  $\text{SpaceColorSet}$  为空许用颜色集合. 由于条空颜色不能相同, 故  $\text{BarColorSet}, \text{SpaceColorSet}$  需满足

$$\text{BarColorSet} \cap \text{SpaceColorSet} = \emptyset \quad (13)$$

那么一个有  $m$  个条空的条码字符可以表示为

$$W = ((w_1, c_1), (w_2, c_2), \dots, (w_m, c_m))^T \quad (14)$$

或

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_m, c_1, c_2, \dots, c_m)^T \quad (15)$$

### 3.2 三维条码的编码容量

比较式(10)和式(15)可知, 加入颜色信息后, 同样是  $m$  个条空的条码字符, 其向量的维数从  $m$  变成了  $2m$ . 设  $\text{BarColorSet}, \text{SpaceColorSet}$  的大小分别为  $p, q$ , 则原来表示一个码字的条码字符加入颜色信息后, 可以表示更多码字. 所能表示的码字数为

$$N = (C_p^1)^m \cdot (C_q^1)^m = (p \cdot q)^m \quad (16)$$

对于更一般的情况, 由  $n$  个模块、 $k$  对条和空组成的一个  $(n, k)$  码条码字符, 可知加入颜色信息后所能表示的码字数为

$$N(n, k) = C_{n-1}^{2k-1} p^k q^k \quad (17)$$

那么此时  $k$  和  $n$  满足什么关系时,  $N(n, k)$  最大. 这里我们给出定理如下.

$$\text{定理 2. 当 } k = \min \left[ \frac{n}{2}, \left\lceil \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right\rceil \right]$$

时,  $N(n, k)$  最大, 其中,

$$A = (4pq - 4),$$

$$B = (6 - 4pqn - 6pq),$$

$$C = (pqn^2 + 3pqn + 2pq - 2).$$

证明. 我们考虑:

$$\frac{N(n, k)}{N(n, k-1)} = \frac{C_{n-1}^{2k-1} p^k q^k}{C_{n-1}^{2k-3} p^{k-1} q^{k-1}}$$

$$= \frac{(n-2k+1)(n-2k+2)pq}{(2k-2)(2k-1)} \quad (18)$$

分析上式可知, 若要  $\frac{N(n, k)}{N(n, k-1)} > 1$ , 需要满足

$$\frac{(n-2k+1)(n-2k+2)}{(2k-2)(2k-1)}, pq > 1 \quad (19)$$

即

$$Ak^2 + Bk + C > 0 \quad (20)$$

其中,

$$\begin{cases} A = (4pq - 4), \\ B = (6 - 4pqn - 6pq), \\ C = (pqn^2 + 3pqn + 2pq - 2) \end{cases} \quad (21)$$

解此关于  $k$  的不等式, 得到

$$k < \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (22)$$

由于  $k$  还要满足  $k \leq \frac{n}{2}$ , 故而当

$$k = \min \left[ \frac{n}{2}, \left\lceil \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right\rceil \right] \quad (23)$$

$N(n, k)$  最大.

证毕.

表 2 列出了  $(n, k)$  码经过三维编码后编码容量和对应条空对数的变化. 其中条许用颜色集合大小  $p$  为 4, 空许用颜色集合大小  $q$  为 2. 从表中我们可以看到加入颜色变化后, 编码容量大大提升, 对应的条空对数也发生了变化. 条码字符的编码容量大大增加, 为提高整个条码的数据容量提供了一种可行的方法. 虽然整个条码数据容量提高的程度还与条码的数据格式相关, 例如数据生成方式和压缩模式. 也就是说整个条码数据容量还和具体的码制设计相关. 但通过以上的分析, 我们不难得知三维条码能提高整个条码的数据容量.

表 2 编码容量 ( $p=4, q=2$ )

模块	$(n, k)$ 码		三维编码		编码容量提升倍数
	$k$	编码容量	$k$	编码容量	
5	1	4	2	256	64
6	2	10	2	640	64
7	2	20	3	3072	154
8	2	35	3	10752	307
9	2	56	4	32768	585
10	3	126	4	147456	1170
11	3	252	4	491520	1950
12	3	462	5	1802240	3901
13	3	792	5	7208960	9102
14	4	1716	5	23429120	13653
15	4	3432	6	95420416	27803
16	4	6435	6	357826560	55606
17	4	11440	7	1174405120	102658
18	5	24310	7	4991221760	205316
19	5	48620	7	17968398336	369568

### 3.3 三维条码的差错控制

由于条码印刷和图像采集设备的限制以及考虑

到在流通过程中污染损坏等因素, 实际采集后的图像存在一定的缺陷, 因此条码的差错控制是不可或缺的.

目前主流的二维条码均采用 reed-solomon 纠错算法<sup>[5]</sup>. 这里设计的三维条码由于识别后条码字符最终表示为一个向量, 故而其纠错编码的原理和二维条码是相同的, 同样可以采用 reed-solomon 纠错算法.

对于识别纠错后得到的结果, 我们可以结合相似距离的识别方法, 将得到更好的识别率.

**定义 1.** 将式 (15) 中表示的条码字符向量  $W = (w_1, w_2, \dots, w_m, c_1, c_2, \dots, c_m)^T$  定义为这一符号字符的序列模板向量.

**定义 2.** 某一待识符号字符经过识别后得到的条空序列向量  $W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_m, c'_1, c'_2, \dots, c'_m)^T$ , 定义为这一待识符号字符的序列识别向量.

**定义 3.** 设  $W'$  为识别得到的序列识别向量,  $W$  为符号字符的序列模板向量, 定义  $W'$  与  $W$  的相似距离函数为

$$D(W', W) = \alpha \sum_{i=1}^m |w'_i - w_i| + (1 - \alpha) \sum_{i=1}^m |c'_i - c_i|,$$

其中  $\alpha$  为宽度偏差的权重,  $1 - \alpha$  为颜色偏差的权重.  $\alpha$  的取值取决于图像采集设备的特性. 如果图像采集设备的颜色分辨能力较强, 可以将颜色偏差的权重设置得较高, 即  $\alpha < 0.5$ , 反之如果图像采集设备的空间分辨能力较强, 可以将宽度偏差的权重设置得较高, 即  $\alpha > 0.5$ .

以相似距离确定符号字符的码字的算法如下:

if  $\forall W_i \in C$

$$D(W', W_i) = \min\{D(W', W_i) \mid D(W', W_i) \leq T\} \quad (24)$$

then  $W'$  所代表的码字为  $l$ ,  $C$  为当前码字集合,  $T$  为一阈值.

## 4 三维条码实现和识别

由编码容量的分析我们可以知道, 结合条空的宽度变化和颜色的变化, 可以使条码的编码容量大大增加. 因此我们可以对二维条码进行扩展, 结合条空横向宽度、纵向排列和颜色信息构造三维条码.

条码识别技术是条码系统性能的关键<sup>[9]</sup>, 因此条码设计中很关键的一点就是要求设计出的条码易于识别, 识别算法稳定可靠. 在实际设计中, 条空许用颜色集合的选取是决定三维条码性能的关键因素. 在颜色选取上, 可以有两种思路. 一种是依据灰度的不同, 将黑到白分成不同的等级. 例如对于 8 位的灰度图像可以按 64 一级, 分成 0, 64, 128, 192,

255 共 5 种不同的灰度等级. 这种选取方法对条码的印制设备和图像采集设备的精度要求较高, 在条码的印制和采集时都不能出现灰度偏差, 而且需要条码的流通环境比较干净, 条码表面不能出现退色现象. 这种颜色选取的思路, 由于受到的限制较多, 不适合实际的使用.

第二种思路是依据色彩的不同选取颜色, 例如可将颜色划分为黑、白、红、绿、蓝、黄、青、品红等不同的颜色. 随着彩色印制技术和彩色图像采集技术的发展和成熟, 这种选取方法易于实现, 无论对硬件系统还是软件系统而言都是可行的, 以目前常用的彩色印制和采集设备的性能完全可以胜任. 而且这种条码的抗污染能力强. 因此采用这种颜色选取的方法适合实际使用的要求. 为了便于识别, 要提高条码的抗污染能力. 要求条的颜色易于和空的颜色区分, 这样条空的分割算法不涉及复杂的多色彩分割. 其识别算法易于实现. 所以我们选用红、绿、蓝、黑作为条许用颜色, 白为空许用颜色, 即

$$\begin{aligned} \text{BarColorSet} &= \{\text{red, green, blue, black}\}, \\ \text{SpaceColorSet} &= \{\text{white}\} \end{aligned} \quad (25)$$

图 4 是根据以上三维条码设计思想构造的一幅三维条码, 它是在 PDF417 二维条码<sup>[6]</sup>的基础上结合颜色编码而成的, 在几何结构上沿用了 PDF417 的形式. 我们给这个三维条码取一个名字, 称之为 ColorPDF 码.

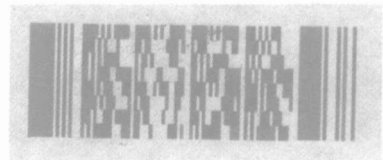


图 4 三维条码

值得注意的是, 这里的重点在于研究三维条码的编码理论和设计, 目的在于提出一种可行的方法提高二维条码的编码容量, 因此用户数据的编码格式, 采用何种标准生成条码不是这里关心的问题. 对于现有的各种二维条码可以根据自身原有的标准, 再结合这里提出的编码理论, 扩展成为三维条码, 形成各自不同的三维条码标准. 这里的 ColorPDF 码并非是一种具体的码制标准, 是为了研究三维条码的识别, 根据三维条码的思想设计出的一种条码. 虽然 ColorPDF 码不是一种具体的码制标准, 但并不影响我们对条码图像识别的研究, 因为条码图像的识别和具体码制标准关系不大.

在识别中, 我们需要将条码分割成条和空两个部分, 因此在将彩色图像转换成灰度图像的时候, 需

要选取合适的方法, 使得条空易于划分. 由于我们设计条码时充分考虑到了识别的这一需要, 选取的条空颜色在 HSV<sup>[10]</sup> 颜色空间的亮度分量上易于区别, 按亮度分量转化成灰度后, 这两者一个暗, 一个亮, 容易分割. 我们用  $V = \frac{R+G+B}{3}$  得到条码图像 HSV 空间的亮度分量图像, 检测条码的边界点, 再根据 Hough 变换<sup>[11]</sup> 得到条码边界方程, 并将条码旋转. 三维条码的定位算法类同于二维条码, 详细算法请参看文献[12, 15]. 接着我们分割得到单个条码字符的图像, 三维条码的分割算法类同于二维条码, 详细算法请参看文献[15]. 按  $V = \frac{R+G+B}{3}$  灰度化后, 各种颜色对应的灰度值会有一些的差别, 直接在灰度图像上进行边缘检测会导致边缘强度不统一. 为了消除这种灰度的差别, 我们将灰度图像二值化. 条码的条和空按亮度分量转化成灰度后, 这两者一个暗, 一个亮, 灰度有明显的区别, 这样易于自适应分割. 这里我们采用基于矩阈值选取<sup>[11]</sup> (based-moment threshold selection) 的方法寻找最佳阈值进行二值分割, 二值化后得到图像如图 5 所示.



图 5 二值化后的三维条码图像

二值化后, 由于流通中受噪声污染, 黑色的条的内部会有一些瑕疵和划痕, 而在白色条中有一些污点, 如图 6 中图(a)所示. 对于噪声, 基于数学形态学的算法可以取得较好的效果<sup>[13-14]</sup>. 这里我们通过二值形态学来进行分割后处理, 滤除这些噪声.

我们用一个  $n \times n$  的结构元素(这里  $n=6$ ), 对图 6(a)中二值条码图像进行膨胀和腐蚀<sup>[11]</sup>. 先对图(a)中的条码字符二值图像进行腐蚀运算得到图(b), 再对图(b)进行膨胀运算得到图(c), 这 2 个操作的结合称为开启操作. 比较图 6(a)和图(c), 可以看到通过开启操作, 条码图像中空上的污点和墨迹都被消除了. 我们再对图像(c)进行膨胀运算得到图(d), 再对图(d)进行腐蚀运算得到图(e), 这 2 个操作的结合称为闭合操作, 比较图(c)和图(e), 可以看到通过闭合操作, 可将条上的划痕和瑕疵填充掉. 此外, 比较图(a)和图(e)的条码边界, 我们还可以看到形态学操作对于二值化导致的锯齿边界也有很好的抑制作用.

滤除划痕、瑕疵等图像污染后, 类于二维条码的识别, 再对图像进行竖直投影提高信噪比, 再进行反

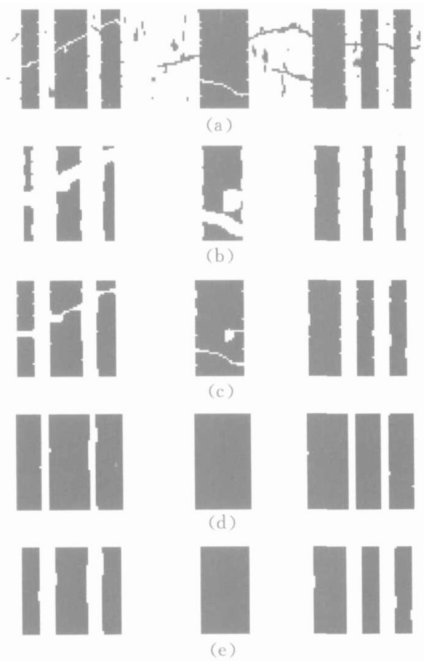


图 6 二值形态学滤除条码噪声过程示意

卷积积处理和边缘检测, 检测条码条空边界的位置, 选取可信的边界位置, 计算得到条空模块宽度, 详见文献[15-16]. 至此, 我们已经得到条码字符的几何结构. 接着根据边界位置和条码分割信息, 再在彩色图像中识别得到条的颜色, 根据条码字符几何结构和颜色结构纠错译码得到这条码字符所代表的码字, 便完成了识别任务.

## 5 结 论

为了提高一维条码的信息容量, 人们提出了具有大信息量的条码, 即二维条码, 条码技术因此出现了质的飞跃. 二维条码的出现是条码技术发展史上的里程碑. 随着条码技术应用水平的提高, 人们对条码的信息容量提出了更高的要求, 希望能在更小的几何空间内包含更多的信息. 而增大条码尺寸和增大条码密度的解决方案都有局限性.

本文从编码方式到识别技术, 为进一步提高条码的信息容量提出了一套可行的方案. 我们对二维条码进行扩展, 结合条码字符几何结构和颜色构成, 提出了一种新的条码——三维条码. 三维条码大大提高了条码字符的编码容量, 能在有限的几何空间内表示更多的信息.

本文提出的三维条码对硬件系统和软件系统都没太高要求. 对硬件系统而言, 由于颜色距离大, 因此对印制设备的色偏容忍度高, 而采集设备也只要能够分辨很少的几种颜色即可. 对软件系统而言,

三维条码识读算法的复杂度相对二维条码也没有太大的提高. 也就是说, 这种设计思路充分地考虑了应用环境, 具有很大的实用价值. 本文的下一步研究工作是, 结合现有的二维条码码制成为三维条码, 设计一个具体的三维条码码制标准.

### 参 考 文 献

- [1] Pavlidis T, Swartz J. Fundamentals of bar code information theory. *IEEE Computer*, 1990, 23(4): 74-86
- [2] Pavlidis T, Swartz J, Wang Y P. Information encoding with two-dimensional bar codes. *IEEE Computer*, 1992, 25(6): 18-28
- [3] Vangils W J. Two-dimensional dot code for product identification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1987, 33(5): 620-631
- [4] Wang Y P, Pavlidis T, Swartz J. High density two dimensional bar code//*Proceedings of the SPIE Speed High Architectures, Barcoding, and Character Recognition*. Boston, MA, USA, 1991: 169-175
- [5] Longacre A J. Stacked bar code symbologies. *Identification Journal*, 1989, 11(1): 12-14
- [6] Okol'nishnikova L V. Polynomial algorithm for recognition of bar codes. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2001, 11(2): 361-364
- [7] Joseph E, Pavlidis T. Bar code waveform recognition using peak locations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(6): 630-640
- [8] Turin W, Boie R A. Bar code recovery via the EM algorithm. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1998, 46(2): 354-363
- [9] Shellhammer S J, Goren David P, Pavlidis T. Novel signal processing techniques in barcode scanning. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 1999, 6(1): 57-65
- [10] Lee J H, Chang B H, Kim S D. Comparison of color transformations for image segmentation. *IEE Electronics Letters*, 1994, 30(20): 1660-1661
- [11] Castleman Kenneth R. *Image Processing*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998(in Chinese)  
(Castleman Kenneth R. 数字图像处理. 北京: 电子工业出版社, 1998)
- [12] Liu Ning-Zhong, Yang Jing-Yu, Yang Jian. Two dimensional barcode recognition using both projection algorithm and similarity distance algorithm. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2003, 16(1): 86-90(in Chinese)  
(刘宁钟, 杨静宇, 杨 健. 综合利用投影算法和相似距离算法的二维条码识别. 模式识别与人工智能, 2003, 16(1): 86-90)
- [13] Lee C K, Wang S P. A mathematical morphological approach for segmenting heavily noise-corrupted images. *Pattern Recognition*, 1996, 29(8): 1347-1357
- [14] Peters R A. New algorithm for image noise reduction using mathematical morphology. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1995, 4(5): 554-568
- [15] Liu Ning-Zhong, Yang Jing-Yu. Deconvolution of bilevel waveform based on iterative computations. *Journal of Image and Graphics*, 2004, 9(10): 1160-1164(in Chinese)  
(刘宁钟, 杨静宇. 基于迭代计算的二值波形反卷积. 中国图象图形学报, 2004, 9(10): 1160-1164)
- [16] Liu Ning-Zhong, Yang Jing-Yu. Recognition of two-dimensional bar code based on waveform analysis. *Journal of Computer Research and Development*, 2004, 41(3): 463-469(in Chinese)  
(刘宁钟, 杨静宇. 基于波形分析的二维条码识别. 计算机研究与发展, 2004, 41(3): 463-469)



**LIU Ning Zhong**, born in 1975, Ph. D., associate professor. His main research interests include automatic recognition, image processing, video compression and so on.

**YANG Jing-Yu**, born in 1941, professor, Ph. D. supervisor. His research interests include pattern recognition and image processing, data combination and so on.

### Background

With the development of machine vision technology, automatic identification technologies have been widely applied, among which bar code has been the leading one. Increasing numbers of researchers are working on encoding theory of bar code technology. And a new type of bar code, two-dimensional bar code, has been developed recently.

Here, three-dimensional bar code is designed in this paper. The work is supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 60632050 and 60472060). A higher demand of bar code's information capacity must be met be-

cause of its wider use. Increasing bar code size or increasing its density has limitations. Three-dimensional bar code designed in this paper can greatly increase information capacity within limited space by combining the variety of widths, the variety of colors and vertical array.

The research group has gotten some related achievements on bar code technology such as detection and localization of bar code in complicated background, recognition technology of high density bar code, encoding theory of bar code. And the group has issued about ten papers on the topic.