

基于波形分析的二维条码识别

刘宁钟¹ 杨静宇²

¹(南京航空航天大学信息科学与技术学院 南京 210016)

²(南京理工大学计算机科学与技术系 南京 210094)

(liunz@163.com)

摘 要 传统的条码识别方法是通过边缘检测来定位条码边界. 对于被光学系统点扩展函数严重模糊的高密度条码图像, 这种方法的性能急剧下降. 为了克服点扩展函数造成的模糊, 提出了一种基于波形分析的二维条码识别算法. 先在图像上定位条码位置, 并在条码中分割出单行码字符的图像. 然后分析条码波形, 计算出点扩展函数的标准方差. 根据点扩展函数重建条码波形. 最后为了提高对图像噪音的抗干扰性, 根据波形峰点定位条码边界. 实验结果表明, 基于波形分析的识别算法具有优秀的性能, 显著地提高了高密度条码的识别率, 满足了实际使用的要求.

关键词 条码识别; 二维条码; 波形分析; 点扩展函数

中图法分类号 TP391.41

Recognition of Two-Dimensional Bar Code Based on Waveform Analysis

LIU Ning-Zhong¹ and YANG Jing-Yu²

¹(College of Information Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

²(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract Traditionally the method of bar code recognition is based on edge detection. But the performance of this method deteriorates in the case of high density bar code image which is severely blurred by a point spread function of optical system. In order to deblur the image, a novel two-dimensional bar code recognition algorithm based on waveform analysis is proposed in this paper. First, the position of bar code is located and a single row codeword image is segmented from the whole bar code image. After analyzing the waveform, the standard deviation of the point spread function is obtained. The bar code waveform is reconstructed based on the point spread function. Finally, in order to increase the noise tolerance of this recognition algorithm, peak detection is used to locate edge position. The result shows that the performance of the algorithm based on waveform analysis is excellent. It can achieve higher recognition rate of high density bar code, satisfying the requirement of practical use.

Key words bar code recognition; two-dimensional bar code; waveform analysis; point spread function

1 引 言

自动化数据采集(automatic data capture)技术是信息采集和处理的关键技术,条码技术在自动化数据采集中占重要地位^[1]. 二维条码是在传统的一

维条码基础上发展起来的,传统的一维条码由于受信息容量的限制,必须依赖数据库. 二维条码的信息密度高、信息容量大,可以不依赖于数据库. 二维条码不仅可以将数字、字符等信息存入编码,而且可以将人脸、指纹、虹膜等图像信息存入条码,因此,二维条码在证件识读、人事管理、运输包装、POS系

统、电子数据交换等方面得到广泛的应用^[2,3]。此外,传统的一维条码只有校验功能,没有纠错能力,而二维条码具有很强的错误校验和错误纠正功能,即使条码符号有污点,残缺也能被正确识别出来^[2]。

识别技术是二维条码应用的关键技术。二维条码结构不同于一维条码,密度也远大于一维条码,故其识别技术不同于一维条码。如何快速准确地识别条码是一个值得研究的问题。传统的条码识别方法大多基于边界检测的思想^[4]。当光学系统的点扩展函数(point spread function)的影响远小于条码条空宽度时,这种方法能取得很好的效果^[5]。然而随着条码应用的发展,其信息量越来越大,条码的密度也越来越高,这时点扩展函数的影响无法忽略。条码图像经过点扩展函数的作用后,临近的边界相互作用而导致边界模糊和边界偏移。在这种情况下,基于边界检测的条码识别方法不再可靠。

本文研究了基于波形分析的二维条码识别技术。文中先探讨了二维条码的定位和分割技术,然后着重探讨了基于波形分析的识别算法。通过分析条码波形,计算出点扩展函数的标准方差,然后根据点扩展函数,重建条码波形,最后根据波形的峰点反算条码边界。本文提出波形分析方法略加修改同样适用一维条码。

2 二维条码简介

二维条码具有信息容量大、应用范围广、保密、防伪性能好、译码可靠性高、纠正错误能力强等特点。按结构二维条码可以分成堆积式(stacked barcode)和矩阵式(dot matrix barcode)两大类^[6]。本文主要探讨堆积式二维条码的识别技术。堆积式二维条码的编码原理建立在一维条码的基础上,它是按需要堆积成多行的码制。代表性的堆积式二维条码有Code49, Code16K, PDF417。其中,PDF417已经成为国际通用的二维条码。目前PDF417条码已经被诸如美国国防部、北美和欧洲汽车工业组织、美国机动车管理局、美国电讯工业论坛等政府部门、工业团体所采纳^[6]。我国的诸多行业也开始采用PDF417条码。

这里我们以PDF417为例讨论二维条码的识别技术。我们先简要地介绍一下PDF417条码的结构。PDF417条码被称做便携式数据文件(portable data file)。条码的每一个符号字符由4个条和4个空组成(终止符除外),每个条(或空)的宽度为1~6个模

块^[6],其模块总数为17,故称为417条码,图1符号字符为51111125。

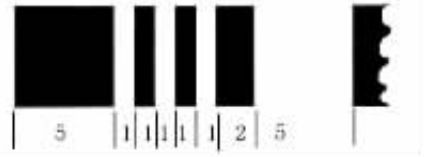


图1 符号字符

每个PDF417条码由3~90行组成,每行由起始符、左行指示符、1~30个符号字符、右行指示符、终止符组成。其构成如图2所示,线框中即为一个符号字符。起始符、终止符的条空序列分别为81111113, 711311121。

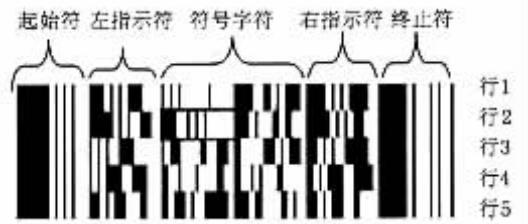


图2 PDF417条码的结构

3 条码的定位和分割

识别条码先要在图像上定位条码所在的位置并将其旋至水平,如图3所示。在这里我们把得到的条码图像记为 $I(x, y)$ 。首先利用Hough变换 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ ^[7]求出条码边界的直线方程,再将其旋至水平。如果旋转采用最邻近插值会使图像失真,令条码产生锯齿形的边界,干扰识别条码。利用双线性插值^[7]对相邻的4个像素进行插值,能够获得较平滑的效果。如图4所示。



图3 倾斜条码图像

$f(x, y)$ 为两个变量的渐变平滑函数,已知其在单位正方形4个顶点的值为 $f(0, 0), f(1, 0), f(0, 1), f(1, 1)$,则利用双线性插值可以求出正方形内任意点 (x, y) 的值 $f(x, y)$:

$$f(x, y) = [f(1, 0) - f(0, 0)]x + [f(0, 1) - f(0, 0)]y + [f(1, 1) + f(0, 0) - f(0, 1) - f(1, 0)]xy + f(0, 0). \quad (1)$$

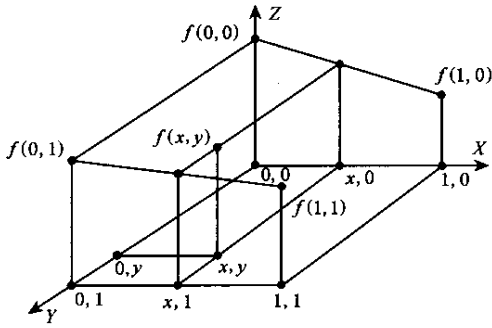


图 4 双线性插值

在识别单行码字符前,必须在整个条码图像中分割出单行码字符的图像,因此要得到条码的行数、行高.先对图像采用 Sobel 水平边缘检测算子后再进行水平方向投影:

$$p(y) = \sum_x \nabla K(x, y). \quad (2)$$

图 5 为采用 Sobel 水平边缘算子后的图像(为了便于显示,图像经反相处理):



图 5 水平边缘检测图

可知 $p(y)$ 的峰点对应于条码的行边界,定位 $p(y)$ 峰点的算法如下:

(1) 构造一维高斯模板

$$g(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_0}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_0^2}\right). \quad (3)$$

(2) 用高斯函数对 $p(y)$ 进行卷积平滑

$$\phi(y) = p(y) * g(y). \quad (4)$$

(3) 对平滑后的结果进行差分运算得到一阶和二阶差分 $\phi'(y)$, $\phi''(y)$, 峰的集合为

$$\{y \mid p(y) > k \times W, \phi'(y) = 0, \phi''(y) < 0\}, \quad (5)$$

其中, W 为条码的宽度; k 为经验值. 易知条码的行数为边界数减 1. 利用条码旋平后的上下边界方程可以得到条码的高度,再用条码的高度除以行数即可得到行高. 得到了边界方程、行高,便可分割出单行码字图像,如图 6 所示:



图 6 分割出的单行码字图像

4 条码波形的数学模型

条码图像经过采集后,白色的空的灰度为 v_1 , 黑色的条的灰度为 v_2 . 如果考虑用 1 条直线水平扫过条码可以得到 1 个方波,如图 7 所示:

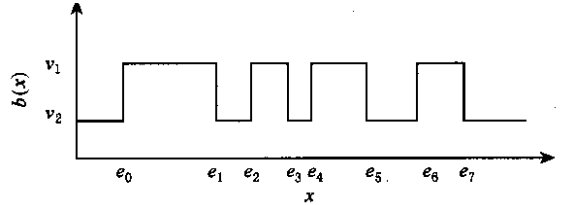


图 7 理想波形

设条码有 n 个边界,并记为 e_i . 我们用函数 $b(x)$ 来描述图 7 的波形:

$$b(x) = \sum_{i=0}^{n-1} [(-1)^i (v_1 - v_2) U(x - e_i)] + v_2, \quad (6)$$

其中, $U(x)$ 为阶跃函数:

$$U(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (7)$$

考虑到图像的随机噪声 $n(x)$, 则

$$b(x) = \sum_{i=0}^{n-1} [(-1)^i (v_1 - v_2) U(x - e_i)] + v_2 + n(x). \quad (8)$$

为了消除随机噪声,我们充分利用图像的二维特性,计算条码竖直投影的波形,抵消随机噪声,可将随机噪声的影响降到最低. 这样随机噪声表示为 1 个二维函数 $n(x, y)$. 抵消后的随机噪声相对于竖直投影的波形可以忽略,式(8)写成如下形式:

$$b(x) = \sum_{y=0}^{y \leq H} \left\{ \sum_{i=0}^{i \leq n} [(-1)^i (v_1 - v_2) U(x - e_i)] + v_2 + n(x, y) \right\} = H \sum_{i=0}^{i \leq n} [(-1)^i (v_1 - v_2) U(x - e_i)] + H v_2 + \sum_{y=0}^{y \leq H} n(x, y) = H \sum_{i=0}^{i \leq n} [(-1)^i (v_1 - v_2) U(x - e_i)] + H v_2. \quad (9)$$

一个典型的图像采集系统包括一个光源和一个光传感器. 光源用来产生一个光点,光传感器用来接收反射光. 由于光点具有一定的物理尺寸,经过光学系统得到的实际波形 $u(x)$ 是光点的点扩展函数 $g(x)$ 和 $b(x)$ 的卷积^[8]:

$$w(x) = g(x) * b(x) = g(x) * \{H \sum_{i=0}^{i < n} [(-1)^i (v_1 - v_2) U(x - e_i)] + H v_2\} = k \sum_{i=0}^{i < n} [(-1)^i g(x) * U(x - e_i)] + C, \quad (10)$$

其中 $k = H(v_1 - v_2)$, $C = g(x) * H v_2$. 在光学系统中 $g(x)$ 为一高斯函数^[8], 一般可以近似表示为^[8]

$$g(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \cos^2 \frac{\pi x}{2\sigma}, & |x| \leq \sigma, \\ 0, & |x| > \sigma, \end{cases} \quad (11)$$

式中的 σ 为点扩展函数的标准方差, 由光柱的尺寸和光头的行进速度决定^[5, 8]. 在文中以后的部分, 将多次用到 $w(x)$ 的导数.

定理 1. $w(x)$ 的一阶差分为

$$w'(x) = k \sum_{i=0}^{i < n} [(-1)^i g(x - e_i)]. \quad (12)$$

证明. 由卷积微分性质 $f * g' = f' * g$ 有:

$$[g(x) * U(x - e_i)] = g(x) * U'(x - e_i). \quad (13)$$

由 $U(x)$ 定义:

$$U'(x - e_i) = \delta(x - e_i), \quad (14)$$

其中 $\delta(x)$ 为一维狄拉克 (Dirac) 冲激函数, 把式 (14) 带入式 (13), 并结合冲激函数的筛选性可得:

$$[g(x) * U(x - e_i)] = g(x) * U'(x - e_i) = g(x) * \delta(x - e_i) = g(x - e_i), \quad (15)$$

则

$$w'(x) = [k \sum_{i=0}^{i < n} (-1)^i g(x) * U(x - e_i) + C] = k \sum_{i=0}^{i < n} (-1)^i g(x - e_i). \quad (16)$$

证毕.

从定理 1 我们不难得到推论 1:

推论 1.

$$w''(x) = k \sum_{i=0}^{i < n} [(-1)^i g'(x - e_i)]. \quad (17)$$

图 8 是一个宽度为 a 的两边界单脉冲波形经过 $g(x)$ 卷积后的结果. 从图中看到由于点扩展函数的作用, 条码的边界部分不再明显. 在这种情况下

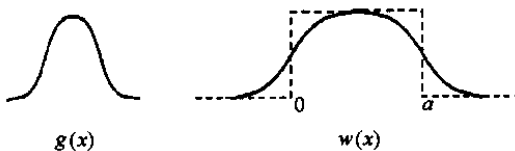


图 8 两边界单脉冲的卷积图

下用差分方法检测边界的方法不再适用. 如果再考虑到各个边界经过卷积后波形的相互重叠, 边界将更难确定.

有的研究人员提出了一种基于峰点检测的方法. 找出波形中的波峰和波谷, 即条码的条和空的中点, 作为条码识别特征. 这种方法的性能比直接进行边界检测要稳定. 然而当条码密度继续增大时, 由于各个边界经过卷积后波形的相互重叠, 波形中的波峰和波谷的位置不再是条和空中点的位置. 在一定的情况下, 一阶导数为 0 的峰点甚至会消失.

定理 2. 如图 9 所示, 3 个相邻的边界, 如果 $l_1 + l_2 < \sigma$, 那么经过点扩展函数 $g(x)$ 卷积后的波形, 在区间 $(0, l_1 + l_2)$ 中将不存在一阶导数为 0 的峰点.

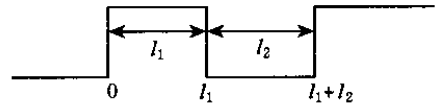


图 9 3 个相邻的边界

证明. 根据定理 1,

$$w'(x) = k [g(x) - g(x - l_1) + g(x - l_1 - l_2)]. \quad (18)$$

根据倍角公式 $g(x)$ 可以写成如下的形式:

$$g(x) = \begin{cases} \frac{1}{2\sigma} (1 + \cos \frac{\pi x}{\sigma}), & |x| \leq \sigma, \\ 0, & |x| > \sigma. \end{cases} \quad (19)$$

则

$$w'(x) = \frac{k}{2\sigma} \left[1 + \cos \frac{\pi x}{\sigma} + \cos \frac{\pi(x - l_1 - l_2)}{\sigma} - \cos \frac{\pi(x - l_1)}{\sigma} \right] = \frac{k}{2\sigma} \left[1 + 2\cos \frac{\pi(l_1 + l_2)}{2\sigma} \cos \frac{\pi(2x - l_1 - l_2)}{2\sigma} - \cos \frac{\pi(x - l_1)}{\sigma} \right]. \quad (20)$$

由于 $l_1 + l_2 < \sigma$, $0 < x < l_1 + l_2$, 故

$$\cos \frac{\pi(l_1 + l_2)}{2\sigma} > 0, \cos \frac{\pi(2x - l_1 - l_2)}{2\sigma} > 0. \quad (21)$$

故而对于 $x \in (0, l_1 + l_2)$, 有 $w'(x) > 0$. 也就是说在区间 $(0, l_1 + l_2)$ 中, 波形 $w(x)$ 不存在一阶导数为 0 的峰点. 证毕.

由定理 2 可知, 当条码密度较大时, 图像被光学系统的点扩展函数严重模糊, 波形中的波峰和波谷的位置不再是条和空中点的位置. 这时即使找出了峰点也无法正确解码. 而且在一定的情况下, 甚至

不存在峰点. 因此, 直接在 $w(x)$ 上找波形的峰点是不稳定的. 在这里我们首先分析波形, 计算出点扩展函数 $g(x)$ 的参数 σ , 然后根据 $w(x)$ 和 $g(x)$ 对 $b(x)$ 进行重建, 然后再找到峰点, 最后根据峰点定位条码的边界.

5 复原 $b(x)$

我们采用去卷积的方法复原 $b(x)$, 因此需要确定点扩展函数 $g(x)$. 由于 $g(x)$ 只有一个参数 σ , 故问题转化为如何根据 $w(x)$ 分析计算得到 σ .

定义 1. 如果某个边界 e_i 和最邻近边界的距离大于 σ , 则称边界 e_i 为独立边界.

定理 3. 如果边界 e_j 为独立边界, 则 $w'(e_j) = 0$.

证明. 由推论 1,

$$w''(e_j) = k \sum_{i=0}^{i < n} [(-1)^i g'(e_j - e_i)].$$

由 $g(x)$ 的定义有:

$$g'(x) = \begin{cases} -\frac{1}{2\sigma} \sin \frac{\pi x}{\sigma}, & |x| \leq \sigma, \\ 0, & |x| > \sigma. \end{cases}$$

因为 e_j 为独立边界, 故 $|e_i - e_j| > \sigma, \forall i \neq j$, 则 $g'(e_j - e_i) = 0, \forall i \neq j$, 故

$$w''(e_j) = k(-1)^j g'(0) = 0. \quad (22)$$

证毕.

定理 4. 如果边界 e_j 为独立边界, 则

$$\sigma = \frac{k}{|w'(e_j)|}.$$

证明. 由定理 1,

$$|w'(e_j)| = \left| k \sum_{i=0}^{i < n} [(-1)^i g(e_j - e_i)] \right|,$$

因为 e_j 为独立边界, 故 $|e_i - e_j| > \sigma, \forall i \neq j$, 则 $g(e_j - e_i) = 0, \forall i \neq j$, 故

$$|w'(e_j)| = |kg(0)| = \left| \frac{k}{\sigma} \right|,$$

即

$$\sigma = \frac{k}{|w'(e_j)|}. \quad (23)$$

证毕.

综合定理 3 和定理 4 可知, 如果存在一个独立边界, 按二阶导数过零点的准则, 找到这个边界的位置, 然后由式 (23) 可得到 σ . PDF417 条码的起始符的第 1 个边界和最邻近边界的距离达到 8 个模块宽度, 满足和最邻近边界的距离大于 σ 的条件. 因此

计算 σ 的算法描述如下:

从条码的起始位置开始计算 $w''(x)$, 直到 x_0 , 满足 $w''(x_0) = 0$, 则 $\sigma = \frac{k}{|w'(x_0)|}$.

值得一提的是, 其他协议条码的起始符或终止符也有类似的性质. 这种计算 σ 的方法略加修改同样适用于其他条码. 此外对于非独立边界 e_i , 由定理 1 可知, 其临边 e_{i-1} 和 e_{i+1} 存在将减小 $w'(x)$ 在边界 e_i 的绝对值. 对于独立边界, 由于其临边的存在不影响 $w(x)$ 在此的导数, 因此 $w(x)$ 在独立边界处的一阶导数绝对值最大. 因此在某些特殊情况下, 我们还可以按 $w(x)$ 一阶导数绝对值最大的原则来寻找独立边界的位置.

由于波形 $w(x)$ 是通过采样得到的离散序列, 故我们将式 (10) 写成离散卷积的形式^[7]:

$$w(x) = g(x) * b(x) = \sum_i g(i) b(x - i), \quad (24)$$

进一步写成矩阵形式^[7]:

$$W = G * B, \quad (25)$$

则

$$B = G^{-1} * W. \quad (26)$$

为了减少计算量, 在实际应用中, 我们采用对角化循环阵^[7]的方法进行去卷积运算.

6 定位峰点和反算边界

由于采样离散化带来的误差, 以及二维条码图像流通中遇到的污染, 复原后 $b(x)$ 会存在一定的噪音. 而利用边缘检测的识别方法对噪音比较敏感, 因此在条码识别中, 检测峰点比检测边缘要稳定. 为了提高对图像噪音的抗干扰性, 我们先找出黑色条的中点位置和白色空的中点位置, 然后再反算出边界的位置.

如图 10 所示, 我们确定 2 个阈值 T_1, T_2 :

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{B_{\max} + 2B_{\min}}{3}, \\ T_2 &= \frac{2B_{\max} + B_{\min}}{3}, \end{aligned} \quad (27)$$

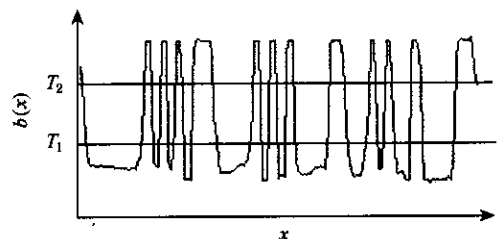


图 10 $b(x)$ 的峰点检测图

其中, B_{\max} , B_{\min} 分别为 $b(x)$ 的最大值和最小值.

定义 2. 称图 10 中比阈值 T_1 低的部分为波谷, 比阈值 T_2 高的部分为波峰.

定义 3. 称某个波峰(波谷)的横坐标的投影加

$$\text{权平均值 } \bar{x} = \frac{\sum_{x=x_1}^{x=x_r} x b(x)}{\sum_{x=x_1}^{x=x_r} b(x)}$$

为该波峰(波谷)的能量中心. 其中, x_1, x_r 为该波峰(波谷)的左右横坐标. 根据定义不难得知, 波峰的能量中心为黑色条的中点位置, 波谷的能量中心为白色空的中点位置. 我们把 $n-1$ 个中点位置记为 m_0, m_1, \dots, m_{n-2} .

$b(x)$ 有 n 个边界, 则有 $n-1$ 个中点. 现在我们要根据得到的 $n-1$ 个中点位置 m_0, m_1, \dots, m_{n-2} 计算条码的 n 个边界位置 e_0, e_1, \dots, e_{n-1} , 其中起始边界 e_0 的位置已知. 由中点性质可知:

$$\begin{cases} e_0 + e_1 = 2m_0, \\ e_1 + e_2 = 2m_1, \\ \vdots \\ e_{n-2} + e_{n-1} = 2m_{n-2}, \end{cases} \quad (28)$$

则

$$\begin{cases} e_1 = 2m_0 - e_0, \\ e_2 = 2m_1 - 2m_0 + e_0, \\ \vdots \\ e_{n-1} = 2m_{n-2} - 2m_{n-3} \dots + 2m_1 - 2m_0 - e_0. \end{cases} \quad (29)$$

根据边界位置进一步得到条空序列后, 查表可得其对应的码字, 经过纠错、解码便可得到数据流^[6].

7 实验结果和结论

我们将 PDF417 条码应用于银行商业票据管理检索系统. 在使用过程中, 我们针对不同密度的条码, 分别用基于边界检测、基于峰点检测、基于波形分析的 3 种方法进行图像级的识别. 其中各种模块宽度的条码各 400 幅. 条码图像的采集设备为扫描仪, 分辨率为 600dpi. 实验结果见表 1. 此外, 由于实际应用的需要和限制, 在某些场合, 采集设备不能接触条码, 要和条码保持一定的距离, 此时需要非接触式的采集设备. 针对这种情况, 在这里我们用摄像头作为采集设备, 针对不同模块宽度的条码各 400 幅, 也分别用 3 种方法进行图像级的识别, 实验

结果如表 2 所示.

表 1 扫描仪采集的 3 种识别方法的比较

模块宽度 (1/600inch)	扫描仪采集的图像级识别率/%		
	边界检测	峰点检测	波形分析
3	65.25	75.75	98.75
4	78.0	86.25	99.5
5	98.75	99.5	99.5
6	100	100	100

表 2 摄像头采集的 3 种识别方法的比较

模块宽度 (1/300inch)	摄像头采集的图像级识别率/%		
	边界检测	峰点检测	波形分析
4	24.5	55.25	89.25
5	52.25	63.25	93.5
6	62.75	85.5	97.25
7	91.5	94.5	100

从实验结果可以看出, 随着条码密度的增加, 基于边界检测和峰点检测的识别算法性能急剧下降, 尤其是基于边界检测的算法. 而当条码密度增加时, 基于波形分析的识别方法的识别率并没有明显的下降. 实验表明, 无论是接触式和非接触式采集设备, 基于波形分析的识别算法具有优秀的性能, 有效地解决了点扩展函数造成的图像模糊对条码识别的影响, 提高了条码的识别率.

波形分析之所以能够获得比较高的识别率, 主要源于算法采用了两个有效的策略: ①算法没有直接在波形上进行运算, 而是在确定点扩展函数 $g(x)$ 后, 进行去卷积计算, 克服了点扩展函数对波形造成的模糊; ②算法采用了通过检测峰点来定位边缘的技术, 有效地去除多种噪声对条码识别的影响. 在耗时上, 基于波形分析的识别方法和传统方法比较, 需要计算点扩展函数的参数 σ 和去卷积滤波. 由于参数 σ 是光学系统的固有特性, 因此在实际应用中, 只需在第一批任务处理的开始计算参数 σ 即可. 此外, 利用对角化循环矩阵进行去卷积滤波, 可以大大减少去卷积滤波的计算量. 实验也表明, 波形分析的识别方法和传统方法相比耗时并无显著提高, 可以满足系统实时性应用的需要. 值得一提的是经过图像级识别后, 再结合 PDF417 数据级所用的 RS 纠错码^[6]可以获得更高的识别率.

参 考 文 献

- mation theory. IEEE Computer, 1990, 23(4): 74 ~ 86
- 2 T Pavlidis, J Swartz, Y P Wang. Information encoding with two-dimensional bar codes. IEEE Computer, 1992, 25(6): 18 ~ 28
- 3 T Sriram, Rao V K. Applications of barcode technology in automated storage & retrieval systems. IECON Proceedings, 1996, 1(1): 5 ~ 10
- 4 S J Shellhammer, D P Goren. Novel signal processing techniques in barcode scanning. IEEE Robotics & Automation Magazine, 1999, 6(1): 57 ~ 65
- 5 E Joseph, T Pavlidis. Waveform recognition with application to bar codes. In: Proc of 1991 IEEE Int'l Conf on Systems, Man, and Cybernetics. Charlottesville: IEEE Press, 1991. 129 ~ 134
- 6 张铎, 王耀球. 条码技术与电子数据交换. 北京: 中国铁道出版社, 1998
(Zhang Duo, Wang Yaoqiu. Bar Code Technology and Electronics Data Exchange (in Chinese). Beijing: Railway Press of China, 1998)

- 7 Kenneth R Castleman. Image Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1998
- 8 Kenneth R Castleman. Digital Image Processing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998



刘宁钟 男, 1975 年生, 博士, 现在南京航空航天大学任教, 主要研究方向为自动识别、图像检索、信息融合等。



杨静宇 男, 1941 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为人工智能、机器人、多传感器信息融合等。

《计算机科学技术学报》(JCST) 2004 年出版信息

ISSN :1000-9000, Bimonthly, <http://jst.ict.ac.cn>, E-mail: jst@ict.ac.cn, Tel: 86-10-62610746

《计算机科学技术学报》(JCST) 是中国计算机科学技术领域惟一的英文学术性期刊, 也是目前本领域惟一被 SCI 检索系统收录的刊物。JCST 于 1986 年创刊, 双月刊, 国内外公开发行。JCST 是中国计算机学会会刊, 由中国科学院计算技术研究所承办。JCST 编委会由数十位国际计算机界的著名专家和学者组成。目前 JCST 正在稳步地发展, 其国际影响不断扩大, 知名度日益提高。该刊已被美国 SCIE (所有文章收录 Web of Science, Research Alert, CompuMath Citation Index), EI (95% 以上文章收录), Mathematical Review, Computing Review, 英国: INSPEC, Computer Abstract; 德国: Zbl Math; 日本: JICST; 俄罗斯: AJ 等国际重要检索系统收录。JCST 荟萃了国内外计算机科学技术领域中有指导性和开拓性的学术论著, 其中综述文章邀请了本领域国际著名专家撰写。本刊栏目的特点在于及时反映计算机科学技术最新研究成果, 突出国际研究热点和有中国特色的高水平研究。2004 年起, 为了方便读者阅览, 本刊栏目改为按领域划分, 将相关领域的文章集中发表。另外, 为了高水平论文的更广泛地传播, 为了进一步扩大读者群, 2004 年起本刊将所发表论文的详细中文导读放在网站, 帮助读者更深度地理解文章。

近期出版信息:

- "Special Issue on Bioinformatics" co-edited by Paola Bonizzoni and Gianluca Della Vedova, Univ. Milano-Bicocca, Italy and Tao Jiang, Univ. California-Riverside, USA (Vol. 19, No. 1, 2004)
- "A Note on Single Genotype Resolution Problem" by Hao Lin *et al.*, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, China (Vol. 19, No. 2, 2004)
- "From Sequential Pattern Mining to Structured Pattern Mining: A Pattern-Growth Approach" by Prof. Jia-Wei Han *et al.*, Univ. Illinois at Urbana-Champaign, USA (to appear)
- "Palmprint Authentication for Civil Application" by David Zhang, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China (to appear)
- "Nature Inspired Computation and Its Applications" by Xin Yao, Univ. of Birmingham, UK (to appear)
- "Recent Progress of High Speed VLSI Physical Designs" by Dian Zhou, University of Texas at Dallas, USA (to appear)
- "Parameterized Computation and Complexity: A New Approach to Dealing with NP-Hardness" by Jian-Er Chen, Texas A & M University, USA (to appear)

订阅信息:

邮发代号 2-578

编辑部订阅, 可以享受 8 折优惠, ¥298 元/年(含邮资)

通信地址 北京 2704 信箱《计算机科学技术学报》编辑部

电话 (8610) 62610746 或 62565533-8610

了解更多的信息, 请浏览本刊主页 <http://jst.ict.ac.cn>

邮政编码: 100080

E-mail: jst@ict.ac.cn