

基于中点检测的二维条码识别

刘宁钟^{1,2}, 杨静宇²

¹(南京航空航天大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210016)

²(南京理工大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210094)

摘要: 条码边缘模糊会导致其识别率下降, 本文提出了一种基于中点检测的识别算法, 能有效地解决边缘模糊对条码识别的影响. 文中以 PDF417 条码为例研究了基于中点检测的二维条码识别算法. 首先定位出图像上的条码, 然后再在条码中分割出单个码字符号图像. 文中最后根据分割出来的单个码字符号图像着重讨论了基于中点检测的识别算法. 实验结果表明基于中点检测的识别算法具有良好的性能, 显著地提高了条码的识别率, 满足了实际使用的要求.

关键词: 二维条码; 条码识别; 中点检测; PDF417

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-1220(2004)02-0283-04

Recognition of Two-dimension Barcode Based on Midpoint Detection

LIU Ning-zhong^{1,2}, YANG Jing-yu²

¹(College Computer Science Department, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

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

Abstract: The blurred edge causes the decrease of the barcode recognition rate. A novel recognition algorithm based on midpoint detection is proposed in this paper. This novel algorithm can resolve the problem caused by the blurred edge. In the paper, we use PDF417 as an example to discuss the algorithm. The position of barcode is located from the image at first. Then the image is further segmented to locate the single codeword image. At last, the algorithm based on midpoint detection is discussed as an important topic. The result shows that the performance of the novel algorithm based on midpoint detection is good. It can achieve higher recognition rate, which suffices to the requirement of the practical use.

Key words: two-dimension barcode; barcode recognition; midpoint detection; PDF417

1 引言

在信息时代, 信息流日益成为物流系统的重要组成部分, ADC(Automatic Data Capture 自动化数据采集)技术是信息采集和处理的关键技术, 条码则是 ADC 中使用最为广泛的一种. 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. 传统的一维条码只有校验功能没有纠错能力. 二维条码具有错误校验和错误纠正功能, 即使条码符号有污点、残缺也能被识出. 作为最可靠的自动识别技术之一, PDF417 条码是目前应用最广泛的堆积式二维条码(Stacked 2D Barcode). 它在管理、运输、POS 系统、电子数据交换等方面得到广泛的应用^[2,4]. 由于 PDF417 条码信息容量大, 不仅可以将数字、字符等信息存入编码, 而且可以将指纹、人脸、虹膜等图像信息存入条码, 因此 PDF417 条码可以应用于人事管理, 证件识读.

目前 PDF417 条码已经或正在被许多政府部门、工业团体所采纳. AIAG/ODETTE(北美和欧洲汽车工业组织)将 PDF417 选定为 EDI(电子数据交换)标准. AAMVA(美国机动车管理局)将 PDF417 选定为所有驾驶员和机动车辆管理

的二维条码标准. TCIF(美国电讯工业论坛)将 PDF417 列为重要电讯产品的标识标准. 美国国防部在其新的军人证上采用 PDF417 作为机读标准, 已在全球 700 多个美军基地投入使用. 我国的金融系统也开始采用 PDF417 条码.

识别技术是二维条码应用的关键技术. 二维条码密度远大于一维条码, 其识别技术不同于一维条码, 如何快速准确的识别条码是一个值得研究的问题. 由于条码印刷和图像采集设备的限制, 以及考虑到流通过程中污染损坏等因素导致图像的缺陷, 尤其在边缘部分还存在着半像素问题, 导致了边缘模糊. 目前大多条码识别算法的基本思想是基于边缘检测的^[4], 因此边缘模糊是影响条码识别的重要因素^[5]. 本文以 PDF417 条码为例研究了基于中点检测的条码识别技术. 文中先简要介绍本文采用的图像分割方法, 然后着重探讨了基于中点检测的识别算法. 本文提出的方法同样适用其它条码(包括一维条码).

2 PDF417 简介

这里简要介绍 PDF417 条码, 具体参看文献^[7]. PDF417 条码被称为便携式数据文件(PortableData File). 它是一种多层、可变长、具有高容量和错误纠正能力的二维条码. PDF417

条码具有信息容量大,编码应用范围广,保密、防伪性能好,译码可靠性高,纠正错误能力强等特点。



图1 符号字符

Fig. 1 Symbol character

我们首先简要介绍下 PDF417 条码的结构。输入的数据



图2 PDF417 条码的结构

Fig. 2 The structure of PDF417 barcode

符号字符、起始符、终止符的条空序列分别为 811111113, 7113111121。

3 条码的图像定位和分割

本节中我们结合条码图像简要介绍本文采用的图像定位和分割算法。图3为一扫描得到倾斜二维条码图像,其纠错等级为二,编码内容为 this is a test of PDF417。

3.1 条码的定位

打印或扫描条码时会发生条码的倾斜和偏移,因此条码识别的第一步就是在图像上定位条码所在的位置和倾角并将其旋至水平。在这里把灰度图像记为 $f(x,y)$,图像的宽度、高度分别记为 M,N ,具体定位步骤如下:



图3 倾斜条码图像

Fig. 3 The image of declining barcode

1. 标记出条码的左边界 $X=(x_0,x_1,\dots,x_{n-1},x_n)$ 的值为从左到右扫描图像的第 i 行时,第一次遇到时 $f(x,y)<T$ 的水平坐标值, T 为图像二值分割的阈值。即

$$x_i = \min\{x | f(x,i) < T\} \quad i=0,1,\dots,N-1 \quad (1)$$

2. 得到左边界后,利用 Hough 变换 $\rho = x\cos\theta + y\sin\theta$ 求出左边界的直线方程和倾角。利用类似的方法可以得到条码的右边界和上下边界直线方程。

3. 在得到了条码的倾角后,通过旋转图像可以将条码旋至水平。如果旋转采用最邻插值会使图像失真,令条码产生锯齿形的边界,干扰识别条码,尤其当模块宽度较小时。在这里采用双线性插值对相邻的四个像素进行插值,其数学模型如下:

$f(x,y)$ 两个变量的函数,其在单位正方形顶点的值 $f(0,0),f(1,0),f(0,1),f(1,1)$ 已知,现要求得正方形内任意点

流经过编码后成为码字 (Codeword),每个码字由 4 个条 (bar) 和 4 个空 (space) 表示 (终止符除外),自左向右从条开始,每个条 (或空) 的宽度为 1-6 个模块 (X dimension),模块的宽度可变,4 个条和 4 个空的总模块数为 17,故称为 417 条码,图 1 符号字符为 511111125。

每个 PDF417 条码由 3 到 90 行组成,每行由起始符 (Start pattern),左行指示符 (Left row indicator),1 到 30 个符号字符 (Data columns),右行指示符 (Right row indicator),终止符 (Stop pattern) 组成。其构成如图 2: 线框中即为一个

(x,y) 的值 $f(x,y)$ 。

a. 首先对上端的两个顶点进行线性插值可得:

$$f(x,0) = f(0,0) + x[f(1,0) - f(0,0)] \quad (2)$$

b. 再对底端的两个顶点进行线性插值可得:

$$f(x,1) = f(0,1) + x[f(1,1) - f(0,1)] \quad (3)$$

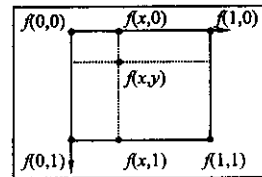


图4 双线性插值

Fig. 4 Bilinear interpolation

c. 最后做垂直方向的线性插值:

$$\begin{aligned} f(x,y) &= f(x,0) + y[f(x,1) - f(x,0)] \\ &= [f(1,0) - f(0,0)]x + [f(0,1) - f(0,0)]y + [f(1,1) \\ &\quad + f(0,0) - f(0,1) - f(1,0)]xy + f(0,0) \end{aligned} \quad (4)$$



图5 为旋至水平后的图像

Fig. 5 The horizontal barcode

3.2 确定条码参数

在条码旋平后,在识别单个码字符号前,必须分割出单个码字符号的图像,因此先要得到条码的行数、列数、行高、列宽。

1. 首先对图像进行二值化。由于条码图像的灰度直方图具有明显的双峰结构,因此这里采用直方图基于凹度分析的方法确定阈值 $T^{[6]}$ 。

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) < T \\ 0 & f(x,y) \geq T \end{cases} \quad (5)$$

2. 对二值化后的图像采用水平边缘检测算子后再对图像进行水平方向投影。

$$p(y) = \sum_{x=0}^{x=M} |g(x, y) - g(x, y+1)| \quad (6)$$

图 6 为进行水平边缘检测算子的图像(为便于显示,图像经反相处理),图 7 为进行水平方向投影的图像,可知图 7 中波峰对应于条码的行边界。检测峰值的算法如下:

a. 构造一维高斯模板:

$$g(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{y^2}{\sigma^2}\right) \quad (7)$$

b. 用高斯模板对 $p(y)$ 进行卷积运算:

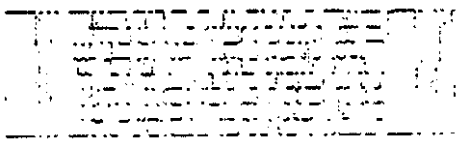


图 6 水平边缘检测图

Fig. 6 Horizontal edge detection

$$\psi(y) = p(y) * g(y) \quad (8)$$

c. 对卷积结果进行二次差分运算得 $\psi'(y), \psi''(y)$, 求峰的集合:

$$\{y_i | p(y) > k \cdot \bar{W}, \psi'(y) = 0, \psi''(y) < 0\} \quad (9)$$

其中 \bar{W} 为条码的宽度, k, σ 为经验值。

易知条码的行数为边界数减一。利用条码旋后的上下边界方程得到条码的高度,再用条码的高度除以行数即可得到行高。利用类似的方法可以得到条码的列数、列宽,得到的行高、列宽即为单个码字符号的高度和宽度,分别记为 H, W 。将列宽除以 17 便可得到模块宽度,记为 w 。得到了边界方

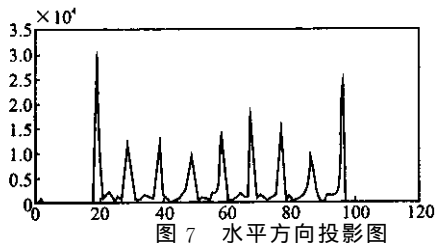


Fig. 7 Horizontal project

程、行高、列宽后,便可得到单个码字符号在图像中的位置,我们把第 i 行第 j 列的码字符号左上角坐标记为 (x_i, y_j) , 易知:

$$x_i = X + i \cdot W, y_j = Y + j \cdot H \quad (10)$$

式中 (X, Y) 为条码左上角坐标。

4 用中点检测识别单个符号字符

4.1 问题的提出

往往由于条码印刷和图像采集设备的限制^[1],在图像采集时边缘部分还存在着半像素问题,实际扫描后得到的图像会出现一定程度的边缘模糊,尤其当条码密度较大,条空间距较小时边缘模糊更为明显。边缘出现模糊时,将导致寻找条空边缘时产生一定偏差,当这个偏差超过半个模块宽度(X dimension)时,便会出现误码。如果再考虑到流通过程中磨

损、水渍浸泡等因素引起的图像缺陷,在这种情况下如果用边缘检测的方法确定条空序列会大大降低条码的识别率。



图 8 单个码子图像

Fig. 8 The image of a codeword

图 8 为一从高密度条码图像中分割出来的单个符号码子图像,记灰度图像为 $g(x, y)$, 图像的宽、高为 W, H 。从图 8 我们可以看到边缘极为模糊。



图 9 竖直边缘检测图

Fig. 9 Vertical edge detection

对此单个符号码子图像进行竖直边缘检测(见图 9):

$$I(x, y) = |g(x, y) - g(x+1, y)| \quad (11)$$

从图 9 我们可以看到经过边缘检测后图像没有确定的边缘(为了便于显示,图 9 经过自动色阶处理)。即便充分利用二维特征,在进行边缘检测后再竖直投影,也很难得到理想的效果(见图 10):

$$p(x) = \sum_{y=0}^{y=H} |g(x, y) - g(x+1, y)| \quad x=0, \dots, W-1 \quad (12)$$

图 10 中带星号的峰点为正确的条空边缘。从图 10 我们可以看到由于边缘的模糊出现了以下两个问题,有的一个边缘对应着多个峰点;有的边缘由于过于模糊导致峰点不明显。

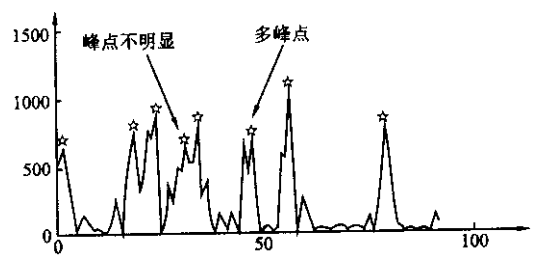


图 10 竖直边缘检测投影图

Fig. 10 The project of vertical edge detection

这两个问题给正确寻找峰点带来了困难,虽然可以通过一些约束条件进行分析后选出正确的峰点,然而实践表明这种分析是不稳定的而且是繁琐的。因此在这种情况下不宜采用基于边缘检测的算法来确定条空序列。

4.2 算法的思想

边缘模糊的主要原因是由于条码印刷和图像采集设备的限制,因此边缘的模糊部分的宽度基本是对称的。如果我们不做边缘检测,直接进行竖直投影(见图 11):

$$p(x) = \sum_{y=0}^{y=H} g(x, y) \quad x=0, \dots, W-1 \quad (13)$$

从图 11 的直接投影图中也可以看出来边缘的模糊部分的宽度基本是对称的. 故而条空中点的位置不会因为边缘的模糊程度的不同而移动. 在这种情况下条空中点的位置是比较稳定的一个特征. 如果我们换种思路, 去寻找条中灰度最小的部分(即条的中点位置)和空中灰度最大的部分(即空的中点位置), 然后再反算条空的宽度即可避免边缘模糊的问题.

4.3 确定条空序列中心

在图 11 中, 我们先确定 2 个阈值 T_1, T_2 . T_1, T_2 为一经验值, 一般我们取:

$$T_1 = \frac{P_{MAX} + 2P_{MIN}}{3}, \quad T_2 = \frac{2P_{MAX} + P_{MIN}}{3} \quad (14)$$

式中 P_{MAX} 为纵向投影的最大值, P_{MIN} 为纵向投影的最小值.

定义 1: 我们称图 11 中比阈值 T_2 高的部分为波峰.

定义 2: 我们称图 11 中比阈值 T_1 低的部分为波谷.

T_1, T_2 从图 11 的直接投影图中分出 4 个波峰和 4 个波谷.

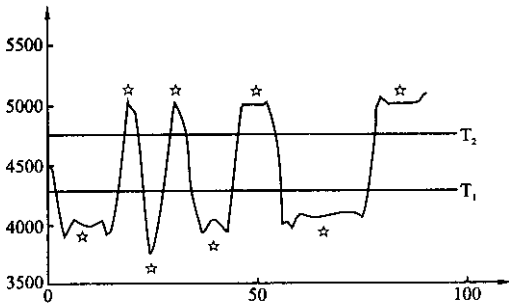


图 11 直接投影图

Fig. 11 Direct project

定义 3: 我们称某个波峰(波谷)的横坐标的投影加权平

$$\text{均值 } \bar{x} = \frac{\sum_{x=x_l}^{x=x_r} p_x \cdot x}{\sum_{x=x_l}^{x=x_r} p_x} \text{ 为该波峰(波谷)的能量中心.}$$

式中 x_l, x_r 为该波峰(波谷)的左右横坐标. 我们把 4 个波峰和 4 个波谷的能量中心从小到大记为 x_1, x_2, \dots, x_8 , 如图 11 中星号所示. 由能量中心的定义不难得到:

性质 1: 波峰的能量中心即为条码中条的中点的极大似然估计, 波谷的能量中心即为条码中空的中点的极大似然估计.

4.4 中点反算条空序列宽度

现在我们要根据 x_1, x_2, \dots, x_8 计算得到条码的条空序列宽度 x'_1, x'_2, \dots, x'_8 , 然后得到该码字符号条空序列的模块宽度数 N_1, N_2, \dots, N_8 . 由能量中心的性质我们不难得到:

$$\begin{pmatrix} 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \\ x'_4 \\ x'_5 \\ x'_6 \\ x'_7 \\ x'_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{pmatrix} \quad (15)$$

解此线性方程可得:

$$\begin{cases} x'_1 = 2x_1 \\ x'_2 = 2x_2 - 4x_1 \\ x'_3 = 2x_3 - 4x_2 + 4x_1 \\ x'_4 = 2x_4 - 4x_3 + 4x_2 - 4x_1 \\ x'_5 = 2x_5 - 4x_4 + 4x_3 - 4x_2 + 4x_1 \\ x'_6 = 2x_6 - 4x_5 + 4x_4 - 4x_3 + 4x_2 - 4x_1 \\ x'_7 = 2x_7 - 4x_6 + 4x_5 - 4x_4 + 4x_3 - 4x_2 + 4x_1 \\ x'_8 = 2x_8 - 4x_7 + 4x_6 - 4x_5 + 4x_4 - 4x_3 + 4x_2 - 4x_1 \end{cases} \quad (16)$$

条空序列宽度 x'_1, x'_2, \dots, x'_8 除以模块宽度 w 即得模块宽度数 N_1, N_2, \dots, N_8 :

$$N_i = \frac{x'_i}{w} \quad i=1, 2, \dots, 8 \quad (17)$$

得到了条空序列的模块宽度后, 查表可得其对应的码字, 纠错解码后可得数据流^[7]

5 实验结果和结论

我们将 PDF417 条码应用于商业票据管理检索系统. 我们对 800 幅高密度的受污条码图像进行了测试, 污染包括笔迹、划痕、墨点等. 使用基于边缘检测的识别算法, 图像级的识别率为 91.25%. 使用基于中点检测算法后图像级的识别率为上升为 98.75%. 实验表明基于中点检测的识别算法具有优秀的性能, 能有效地解决边缘模糊对条码识别的影响, 提高了条码的识别率. 如果结合 PDF417 数据级所用的 RS 纠错码^[7], 能够识别污染程度更高的条码.

References:

- 1 Shellhammer S J, Goren D P. Novel signal-processing techniques in barcode scanning[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 1999, 6(1): 57~65.
- 2 Sriram T, Rao V K. Applications of barcode technology in automated storage & retrieval systems[C]. IECON Proceedings, 1996, (1): 5~10.
- 3 Ottaviani E, Pavan. Framework for 2D barcode reading[C]. IEE Conference Publication, 1999, 465 II: 652~655.
- 4 Pavlidis T, Swartz J and Wang Y P. Fundamental of bar code information theory[J]. IEEE Computer. Apr, 1990, 74~86.
- 5 Joseph E and Pavlidis T. Waveform recognition with application to bar codes[C]. In: Proc. IEEE SMC, 1991, 129~134.
- 6 Kenneth R C. Digital image processing[M]. USA: Prentice Hall, 1996.
- 7 Zhang Duo, Wang Yao-qiu. Barcode technology and exchange of electronic data[M]. Beijing: Publishing House of China Railroad, 1998.

附中文参考文献:

- 7 张铎, 王耀球. 条码技术与电子数据交换[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.