

文章编号:1000-582X(2011)06-117-06

模糊模式的手写数字识别技术与实现

代小红^{a,b}

(重庆工商大学 a. 计算机科学与信息工程学院; b. 学术期刊, 重庆 400067)

摘要:通过对 CCD 传感器获得的邮政编码的 24 位 bmp 图像进行仿真和数字识别,提出了一种基于色素的二值化方法,分别提取了邮政编码框格线的二值图像和邮件字符的二值图像;对图像处理的过程进行了分析,它包括邮编框边缘检测和分离、图像的二值化、平滑去噪、倾斜矫正、邮编数字的提取、位置归一化处理、数字图像的细化、字符识别特征提取等。首先对图像识别的预处理过程进行了阐述,然后再对预处理过的图像进行特征字符提取,并对邮件编码框格和字符进行角度修正,最后判断识别结果;在此方法中避免了框格线和编码字符线分割的困难;为了提高识别率,研究使用了手写数字多种方法的复合,使邮件编码的识别率得到了提高;实验表明:该方法可以获得较高的识别率,为邮政系统中分拣识别技术提供了参考。

关键词:图像处理;手写数字识别;模糊识别

中图分类号:TP394

文献标志码:A

Research and implementation on handwritten numeral recognition technique based on fuzzy mode

DAI Xiao-hong^{a,b}

(a. College of Computer and Information Engineering; b. Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, P. R. China)

Abstract: Based on simulation and numeral recognition of the 24-bit bmp images of postal codes obtained by CCD transducer, a binarization method based on coloring matter is proposed, which is employed to extract the binary image of the frame line of postal code and the binary image of the mail character separately. The procedure of image processing is analyzed, which includes detecting and separating borderlines of postal code frames, image binarization, smoothing noise-removal, slant rectification, extraction of postal code numerals, position normalization processing, subdivision of digital image, feature extraction of character recognition, and so on. The pretreatment process of image recognition is described. Then, character feature extraction is conducted for pretreated images, while the angle correctness for postal code frames and characters is performed. Finally, the recognition result is determined. In this method, the difficulty of separating frame line from postal code character line is eliminated. In order to improve recognition rate, the combination of many methods of handwritten numeral is used, resulting in improved recognition rate of postal codes. The experiment shows that this method can obtain higher recognition rate, providing reference for the separation technique in postal system.

Key words: image processing; handwritten numeral recognition; fuzzy recognition

收稿日期:2011-03-03

基金项目:重庆市教委科学技术研究项目资助(KJ070719)。

作者简介:代小红(1969-),男,重庆工商大学,副研究员,从事图像处理、模式识别和系统控制方向研究,
(Tel)023-62768460;(E-mail)62768460@163.com。

手写数字识别技术(handwritten numeral recognition)近年来得到了快速发展,它是光学字符在模式识别(optical character recognition,OCR)领域中的一个重要分支。手写数字识别是以“如何利用电子计算机自动辨认人手写在纸张上的阿拉伯数字字符?”为研究对象^[1-3]。

字符信息在识别处理时,它包含了 2 大类:一是文字字符信息,识别处理的主要是以 1 个国家或 1 个民族的文字(如:汉字、英文等)或印刷体的文本信息,目前在印刷体与联机手写方面技术已趋于成熟,并推出了很多实用的系统;另一类是数据信息,其主要是由一些阿拉伯数字和少量特殊符号组成的各种编号、统计报表数据,如邮政编码、统计和财务报表、银行票据、人口普查表格等等,处理这类信息的关键核心技术是手写数字识别^[4-5]。近几年来,随着中国经济的高速发展,大力推广的“三金”工程在很大程度上也要依赖信息数据的输入和整理,在此项工程中假设能利用手写数字识别技术实现报表数据的自动录入,无疑会促进此项技术的快速发展^[6-8]。在此以邮政编码的自动识别为对象,对信封左上角邮编框内手写数字(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9)的进行识别,目前在邮件的自动分拣中,手写数字识别(OCR)往往与光学条码识别、人工辅助识别等手段相结合,完成邮政编码的阅读^[9]。使用量最大的 OVCS 分拣机的性能指标:OCR 拒分率 30%,OCR 分拣差错率 1.1%。邮政局的识别分拣系统在分拣率上最多只能达到 75%,与人们期望值还相差甚远,在此提出了一种基于像素因子的多灰度计算模糊分类与识别方法,大大地提高了邮件编码的识别率,为手写数字的识别研究提供了参考和借鉴。

1 图像的预处理过程

将每一个文字图像分检出来交给识别模块识别,这一过程称为图像预处理。图像的预处理其实是为了去除字符图像中的噪声、对图像中的冗余信息进行压缩的过程,这一过程的最终目的是获取规范化的点阵,为以后图像处理过程中图像识别作准备工作。这就要求预处理在消除图像中与识别无关的一些因素时,尽量保持原始图像的字符特征^[10-12]。

1.1 图像的灰度化

在图像预处理中,要关注的是图像中手写字体的笔画,至于用 CCD 传感器获得邮政编码图像的颜色并不重要,图像处理时首先要对读入的图像进行灰度化处理工作。鉴于 24 位 BMP 图的调色板内容比较复杂,导致了图像在处理过程中的一些算法无法展开,因此处理过程中首要任务是对图像进行灰

度处理^[13-14]。按照三色基原理,不同的 R、G、B 分量就决定了不同的彩色图像,所以在图像中显示为红绿蓝等各种颜色。然而灰度图像只是在亮度上有区别,而并无颜色差异。在此原理中灰度值取值是从 0 到 255,当 R、G、B 分量取值都为 0 时,图像呈现为黑色,当 R、G、B 分量取值都为 255 时,图像呈现为白色,因此在图像中灰度值大的像素点比灰度值小的像素点要亮。图像的预处理过程中图像的灰度化算法有多种,其中最为常用的就是求单个像素的 RGB 分量的加权系数和,并且要对调色板表项进行相应的处理。采用改进的图像灰度计算方法,可以非常方便地得到编码框格和字符的二值图像,无需再进行复杂的图像分割。根据 RGB 和 YUV 颜色空间的变化关系在此建立亮度 Z 与 R、G、B 3 个颜色分量的对应

$$Z = 0.3R + 0.59G + 0.11B. \quad (1)$$

式(1)以 Z 值表达图像的灰度值。R、G、B 分别是一个像素点中红、绿、蓝三种颜色所占的比例。

手写体数字图像主要是通过扫描仪、摄像机等设备对纸质载体上的数字进行数据采集,最后在计算机中形成一幅图像,邮政信件系统中用 CCD 传感器获得邮政编码图像。在邮件自动分拣系统中,只需要分析信件左上角部分的图像。

1.2 图像的二值化原理分析

在数字图像处理中,二值图像占有非常重要的地位。首先,图像的二值化有利于图像的进一步处理,使图像变得简单,而且数据量减小,能凸显出感兴趣的目标的轮廓。其次,要进行二值图像的处理与分析,首先要把灰度图像二值化,得到二值化图像。图像经灰度化处理后,在此图像中的每一个像素都产生了 1 个灰度值,其值的大小决定了此图像像素的亮暗程度。图像的二值化就是将图像上的像素点的灰度值设置为 0 或 255,再以一定的标准划分为黑白两种颜色。

对数字字符图像二值化处理后要能原始地体现原数字字符。在处理过程中要求笔画图像中没有空白点,二值化后图像字符的笔画特征要基本保持原字符同样的结构。图像二值化处理过程中的关键要素是在于阈值的选取。所有灰度大于或等于阈值的像素被判定为属于特定物体,其灰度值为 255,否则这些像素点被排除在物体区域以外;灰度值为 0,表示背景或者例外的物体区域。图像的二值化目前有很多已经成熟的技术方法,主要有动态阈值的二值化、整体阈值的二值化、局部阈值的二值化等方法^[15-17]。整体阈值法是以图像的实际情况来设定一个阈值。因为所采集的样本绝大部分底色是白色或

黄色,因此在要阈值选取时要设定大一些。设灰度图像中 (x,y) 点的灰度值: $F(x,y)$,平均灰度值: $\bar{F}(x,y)$,二值化算法的阈值系数为 $\lambda=0.87$,阈值系数的确定参见文献[18],则二值化后的图像 $P(x,y)$ 为

$$P(x,y) = \begin{cases} 1, F(x,y) > \lambda \bar{F}(x,y); \\ 0, \text{其他。} \end{cases} \quad (2)$$

式(1)和式(2)可以得到信封扫描图的基于亮度的二值化图像,如图1所示。从图1中可以修正定位框格、分割框格与字符,但是需要大量使用系统资源,当邮件编码与框格粘连时分割可能带来后面的数字识别率降低。

1.3 邮件数字字符的二值化处理

在邮件数字字符的二值化处理中,首先要处理含框格线和字符的二值化图像,其次是处理含编号框格线的二值化图像,最后处理含字符的二值化图像。无论是黄色还是白色信封,底色都较亮,文字和编码框格线比较暗。含编号框格线的二值化图像。信封的编码框格线通常为采色,信封的底色也含有比较高的色素,系统中取灰度值 Z 为红色素与蓝、绿色素的差值

$$Z = \begin{cases} r - g - b, (r \geq g + b); \\ 0, \text{其他。} \end{cases} \quad (3)$$

式(2)和式(3)可以得到信封扫描图的二值化图像,如图2所示。图2中只含有邮件编码框格线,容易定位数字编码的位置,含字符的二值化图像。信封底色的 r 值也较大,系统中取灰度值为 r 值

$$Z = r. \quad (4)$$

式(2)和式(4)可以得到信封扫描图的二值化图像,如图3所示。图3中只含有邮件中的手写字符,容易进行数字编码的提取和识别处理。



图1 基于亮度的二值化图像



图2 框格线的二值图像



图3 字符的二值图像

2 编码识别和提取

2.1 数字字符细化

在图像的识别中着重关注的是手写数字图形中线型和线之间的关系,而线的粗细程度不影响图像的处理。对于相同数字字符的几幅图像,由于笔画线条的粗细程度有所不同,导致在处理时其差别较大,图像字符的笔画线条进行细化处理后,就得到了相同的线条宽度,当达到了1个像素宽度条件下,这些图像的差别将会缩小,这样就非常容易地提取图像字符的骨架特征,那么字符识别的效率和准确率也得到了提高。在使用复合手写数字识别方法进行处理时,必须先对标准窗格中的字符数据进行细化处理,细化后的字符数据在连通性上应保持不变。

算法如下:在标准窗格中,以黑点 (x,y) 为中心,取1个 3×3 邻域的8个点,计算和点 (x,y) 相邻的8个点中黑点所占的个数,将其记为 $P(x,y)$ 。按顺时针(也可以是逆时针)方向沿8个点绕行一周,在此过程中8个点的灰度值、点 (x,y) 的值由0变为1的次数记为 $q(x,y)$ 。如果当 $2 \leq p(x,y) \leq 6; q(x,y) = 1; f(x,y-1)f(x-1,y)f(x+1,y) = 0$ 或者 $q(x,y) \neq 1; f(x,y-1)f(x-1,y)f(x,y+1) = 0$ 或者 $q(x,y) \neq 1$;这几个条件同时满足,则删除点 (x,y) ,即把点 (x,y) 的灰度值 $f(x,y)$ 由1变为0。

2.2 图像倾斜矫正

手写数字往往具有不同的倾斜角,这将影响识别的准确性,如果不对图像倾斜角进行矫正处理,由于同一字符在不同的倾斜角下,图像就会呈现不同的模板,这样就会增加了训练的负荷,降低了图像的处理速度的同时也降低了图像的识别率。为了避免此类情况的出现,在此采用了倾斜矫正法,使矫正后字符的上下端水平位置对齐。每一信件的认识都需要对6个框格进行倾斜矫正。由于邮政编码的方框的4条边线都是直线,在此只需要计算出上边框线的斜率,就可以得到一个倾斜角 θ ,再以图像中心点 $P(x_0, y_0)$ 为旋转中心点,将其图像旋转 θ 度即可得到矫正的字符图像。

Step1:在图像中取邮编框,将此图像左上角的点定为原点 $(0,0)$,水平方向向右为 X 轴,竖直方向向下为 Y 轴;

Step2:从第1行开始沿图像 X 轴方向逐行扫描,找到第一个值为“1”(即白色)的点 $A(x_1, y_1)$;

Step3:从最后一行开始沿图像 X 轴方向逐行扫描,找到第一个值为“1”(即白色)的点 $B(x_2, y_2)$;

Step4:当 $x_2 > x_1$ 时,图像有顺时针的方向偏转,执行Step6;当 $x_2 < x_1$ 时,图像有逆时针的方向

偏转,执行 Step5;当 $x_2 = x_1$ 时,图像没有方向偏转,结束方向校对;

Step5:从第一列开始沿图像 Y 轴方向逐列扫描,找到第一个值为“1”(即白色)的点 $B(x_2, y_2)$ 。执行 Step7;

Step6:从最后一列开始沿图像 Y 轴方向逐列扫描,找到第一个值为“1”(即白色)的点 $B(x_2, y_2)$;

Step7:使用 A、B 2 点的坐标算出斜率 $k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$,从而得到倾角 $\theta = \arctan(k)$, $\theta \in (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$;

Step8:对任意一点 $P(x, y)$ 修正后为 $Q(x', y')$,满足公式

$$\begin{bmatrix} x' - x_0 \\ y' - y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(6)经变换等价于下式

$$x' = x_0 + (x - x_0)\cos \theta + (y - y_0)\sin \theta. \quad (7)$$

$$y' = y_0 - (x - x_0)\sin \theta + (y - y_0)\cos \theta. \quad (8)$$

在旋转变换时,只需要对“1”值点进行计算,将减少大量的系统资源。对图 3 倾斜矫正后得到的图像如图 4 所示。



图 4 字符矫正后的二值图像

2.3 图像的平滑去噪

手写邮政编码数字字符去噪的方法,采用了基于像素“密度”的滤波法,在图像中对于一个 $l \times w$ 的邮编框中的黑色像素 (x, y) ,在以黑色像素 (x, y) 为中心的 $m \times m$ 邻域内,统计出黑色像素点个数,如果黑色像素点数超过半数时,则该中心黑点保留,这个点就被认为是一个非噪声点;否则,作为噪声点将其去除。经过反复对比实验,手写邮政编码的去噪在

$m=5$ 是比较恰当的。

经平滑处理过后的图像字符,还存在着一些黑斑形式的噪声。对于此类问题的出现,在图像上划分出了一个 3×3 的窗口区域,并使其在二值图像上进行平面浮动,如果此时窗口区域的黑点个数和包括它的 5×5 窗口区域的黑点个数相同时,那么就认为 3×3 窗口区域中的点全为噪声。对于这种黑斑噪声,将检测到的 3×3 窗口区域中所有的黑点变为白点,这样即可去除噪声。图 5 去噪后得到字符二值图像如图 6 所示。



图 5 字符去噪后的二值图像

2.4 字符归一化

字符归一化处理是图像处理过程中一个非常重要的环节,由于原始图像在大小上存在着一些差异,对这类问题必须进行归一化处理,归一化处理后就能得到相同大小的图像 (32×32) ,这样对于减少网络训练时间,对提高图像识别的准确率非常有利。标准的图像字符就是将原有图像中各不相同的字符,处理成为具有同样的高度和宽度。归一化处理的方法有二种,一种方法是重心的归一化,其次是外框的归一化。在此采用的是外框归一化处理,就是将图像字符的外界边框按照一定的比例进行线性放大或缩小,使其达到规定的尺寸。首先将以前的字符高度、宽度和要归一化的高度、宽度进行比较,比较后得到一个变换系数,最后再把标准图像中的点按照插值的方法影射到原始图像中。手写编码字符的归一化是对已有单个字符进行保持形状特征不变的缩放,使其为固定 8×12 的大小。图 1 中邮件编码字符归一化后得到归一化邮政编码的二值化图像,如图 6 所示。

00000100	11111000	00011000	01000100	00111110	00111100
00001000	00001000	00011000	01000100	01000001	01000011
00010000	00001000	00100100	01000100	01000001	01000001
00010000	00001000	01000100	10001000	10000001	01000111
00100000	00001000	01000111	10001111	10000001	01000100
00111000	01110110	10001000	11110000	10000001	00111000
01000110	00000001	11111000	10010000	10000010	00101000
01000001	00000010	00001000	00010000	10000010	01000100
01000001	00000010	00011000	00010000	10000010	10000100
10000010	00000100	00010000	00010000	10000100	10001000
01000100	00001000	00010000	00010000	01000100	10110000
00111000	00110000	00010000	00010000	00111000	11000000

图 6 归一化邮政编码图

3 模糊识别器的设计

3.1 框格特征定位与数字提取

框格定位可以采用投影定位法,在文献[19]的研究中对校正后的框格进行定位采用了游程定位法,图像上边的纵坐标为 M ,下边的纵坐标为 N ,数组用 $K[6]$ 记录编码框各左边线的横坐标,用数组 $S[6]$ 记录编码框各右边线的横坐标,邮政编码中一个编码字符框的宽度为 W ,系统中特征字符提取的分类设计器如下

$$W = \frac{1}{6} \sum_{x=0}^5 (S[x] - K[x]). \quad (5)$$

由参数 M 、 N 、 S 、 K 得到 6 个邮件编码的位置,进而得到邮件编码的二值图像信息。这样就把手写邮编数字从邮编框中分离出来。

3.2 基于 BP 网络的模糊识别器的设计

在以前的印刷体和手写体数字的识别研究中常用 HOPFIELD 模型,由于 HOPFIELD 模型不能进行自身反馈,在系统识别过程中互联权重没有自适应过程,需要多次迭代,并且容量小、识别速度受到一定的限制。多层反向传播网络即 BP 网络,具有自身反馈并且可以进行离线学习,一旦学习成功,只需一次迭代,提高了手写字体的识别速度。BP 网络的容量较大,通过隐单元数目的微调,可以改变其容量来适应手写数字字符的多样性。在此模糊识别器利用三层 BP 网络实现手写体数字字符的识别。输入层设计 8×8 个单元作为系统输入,并依次组成一个具有 64 个分量的二值化矢量,作为 BP 网络的输入。输出层有 10 个单元,分别代表 0~9 十个数字,隐层设计有 10 个单元。在系统中输入层和隐层的连接以 $M_1 = [M_{IJ}]_{64 \times 10}$ 表示,隐层和输出层以 $M_2 = [M_{JK}]_{10 \times 10}$ 表示。模糊识别器的设计中系统的传输函数选取 Log-Sigmoid 函数,函数表达式如下: $F(x) = 1/(1 + e^{-x})$ 。

系统中 BP 网络训练时,在此采用了变学习率方法来提高系统的收敛速度。手写数字的模糊识别器用矩阵 M_1 、 M_2 表示,而 M_1 、 M_2 是系统通过样本训练后,使 BP 网络收敛后得到的稳定值。

4 实验结果及讨论

从邮政系统某局的测试结果来看,在此从信函邮件中抽取 53 封信件,进行扫描得到 53 幅原始图像,然后随机选取其中的 28 幅原始图像作为训练样本,剩余 25 幅原始图像作为测试样本。经过图像

的各项预处理后,得到 $28 \times 6 = 168$ 个手写数字的训练样本,对每个手写数字字符经过归一化和细化后,提取各样本的识别特征进行训练。以模糊识别系统对随机采集的 100 个手写数字进行了识别,系统正确识别率能够达 95% 以上,实验结果较为满意,实现了本研究之目的。与传统的模式识别方法相比,所述的模糊模式识别方法取得了更好的识别效果,系统识别的正确率大大提高,拒识率和误识率得到了有效地控制。实验表明此系统的识别方法对手写数字识别具有较好的效果。

由于阈值在选取时的原因导致字符“2”有可能被误识别成字符“7”,字符“4”(合口)由于在构造其拓扑结构时,使用的最上方与最右方连线有时可能和字符笔画撇、竖构形成了封闭区间,这就是导致字符“4”被拒识的原因。字符“5”被误识别成字符“7”;字符“7”有可能由于长短轴比的阈值与字符“1”相混合。字符“9”有可能最上方和最右方连线可能形成一个封闭区,所以和字符“4”相混合。

5 结 语

对图像中变形字符部分进行了修正,消除了图像中与识别处理过程中一些无关的要素,并尽可能保持原图像的字符特征性质,采用基于色素的二值化方法,分别提取邮件编码框格线的二值图像和邮件字符的二值图像,避免传统基于亮度方法产生的框格线和编码字符线分割的困难。由邮件编码框格的顶点确定扫描图像的倾斜角度,对邮件编码框格和字符进行角度修正,综合多种手写数字识别的方法,提高了邮政编码的识别率和处理速度,模拟条件下可提高邮政信件分拣效率,加快了邮政信函信件的传递速度。

参考文献:

- [1] RAFAEL C G, RICHARD E W. Digital image processing(2th ed)[M]. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [2] ARICA N, YARMAN-VURAL F T. An overview of character recognition focused on off-line handwriting [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2001, 31(2): 216-233.
- [3] PLAMANDON R, SRIHARI S N. On-line and off-line handwriting recognition: a comprehensive survey [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(1): 63-85.
- [4] ZHANG R, DING X. Offline handwritten numeral

- recognition using orthogonal Gaussian mixture model[C]// IEEE International Conference on Image Processing, October 7-10, 2001, Thessaloniki, Greece. USA: IEEE Incorporated, 2001: 1126-1129.
- [5] MADHVANATH S, GOVINDARAJU V. Reference lines for holistic recognition of handwritten words[J]. Pattern Recognit, 1999, 32(12): 2021-2028.
- [6] TRIER O D, JAIN A K, TAXT T. Feature extraction methods for character recognition[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(4): 641-662.
- [7] BLAYVASI I, BRUCKSTEIN A, KIMMEL R. Efficient computation of adaptive threshold surfaces for image binarization[C]// The 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, December 8-14, 2001, Kauai, HI, USA. USA: IEEE Incorporated, 2001: 737-742.
- [8] KIM D, BANG S Y. A handwritten numeral character classification using tolerant rough set[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(9): 923-937.
- [9] 尹朝庆, 宋化, 陈波. 手写邮政编码的模糊识别方法[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2004, 27(2): 154-157.
YIN CHAO-QING, SONG HUA, CHEN BO. Fuzzy recognition of handwritten postcodes [J]. Journal of Wuhan Polytechnic University: Information and Management Engineering Edition, 2004, 27(2): 154-157.
- [10] 关键, 刘大昕. 一种基于分类树的误用检测规则分析机模型[J]. 计算机工程, 2004, 30(5): 129-130.
GUAN JIAN, LIU DA-XIN. A model of rule analysis machine based on classification tree in misuse detection [J]. Computer Engineering, 2004, 30(5): 129-130.
- [11] 王国红, 陈长兴. 基于人工神经网络的智能识别数字模型[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2006, 21(2): 69-72.
WANG GUO-HONG, CHEN CHANG-XING. Model for intelligently identifying arabic numbers based on artificial neural network[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2006, 21(2): 69-72.
- [12] 汪成亮, 兰利彬, 周尚波. 自适应分数阶微分在图像纹理增强中的应用[J]. 重庆大学学报, 2011, 34(2): 32-37.
WANG CHENG-LIANG, LAN LI-BIN, ZHOU SHANG-BO. Adaptive fractional differential and its application to image texture enhancement[J]. Journal of Chongqing University, 2011, 34(2): 32-37.
- [13] 范艳峰, 肖乐, 甄彤. 自由手写体数字识别技术研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(10): 168-170.
FAN YAN-FENG, XIAO LE, ZHEN TONG. Research in handwriting digital recognition [J]. Computer Engineering, 2005, 31(10): 168-170.
- [14] 吴谨, 邱亚. 基于空间分布特征的手写体数字识别[J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2004(2): 34-37.
WU JIN, QIU YA. Handwritten numeral recognition based on space-distribution characteristics [J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2004(2): 34-37.
- [15] 张伟, 王克俭, 秦臻. 基于神经网络的数字识别的研究[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(8): 206-208.
ZHANG WEI, WANG KE-JIAN, QIN ZHEN. The research of digital recognition based on artificial neural network [J]. Microelectronics and Computer, 2006, 23(8): 206-208.
- [16] 朱江, 宣国荣. 一种基于骨架特征顺序编码的脱机手写体数字识别方法[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(8): 957-960.
ZHU JIANG, XUAN GUO-RONG. A new scheme for off-line recognition of unconstrained handwritten numerals based on skeleton coding [J]. Mini-micro Systems, 2001, 22(8): 957-960.
- [17] 郭晓永, 王相军. 一种基于 SNMP 的网络拓扑发现算法[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2011, 28(1): 59-62.
GUO XIAO-YONG, WANG XIANG-JUN. A new method used for network layer topology discovery based on SNMP [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2011, 28(1): 59-62.
- [18] 吴冰, 秦志远. 自动确定图像二值化最佳阈值的新方法[J]. 测绘学院学报, 2001, 18(4): 283-286.
WU BING, QIN ZHI-YUAN. New approaches for the automatic selection of the optimal threshold in image binarization [J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2001, 18(4): 283-286.
- [19] 管继斌, 明德烈. 基于游程的倾斜表格图像的快速检测和校正[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(8): 69-71.
GUAN JI-BIN, MING DE-LIE. Fast detecting and rectifying slanting image in table-form documents based on run-length features [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2005, 33(8): 69-71.