

车辆牌照上英文和数字字符的结构特征分析及提取

宋加涛 刘济林

(浙江大学信息与通信工程研究所, 杭州 310027)

摘要 为了研制高性能的车辆牌照自动识别系统,在详细分析车辆牌照上英文和数字字符结构特点的基础上,选择字符图象中的闭合曲线作为其整体特征,将笔画端点、三叉点和四叉点作为其细节特征,同时将笔画中的拐角点作为其辅助结构特征,三者可分别用于字符的粗分类、细分类和相似字符区分;进而提出了基于图论和细节点特征的闭合曲线检测算法以及基于二值图象外边缘轮廓线的笔画拐角点检测算法.将上述结构特征用于车辆牌照上英文和数字字符识别,测得识别率达96%,用PⅢ550计算机完成结构特征抽取和字符识别所用时间约20ms/字符,表明这些结构特征适用于车辆牌照上英文和数字字符的快速识别.

关键词 数字字符 英文字符 结构特征 模式识别 牌照

中图法分类号: TP391.43 U491.116 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2002)09-0945-05

Analysis and Extraction of Structural Features of Alphabetic and Digital Characters on Vehicle License Plate

SONG Jia-tao, LIU Ji-lin

(Institute of Information and Communication Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract In this paper the structural properties of alphabetic and digital characters on vehicle license plate are analyzed in detail and three types of feature are extracted for their recognition. These features include (a) global ones, i. e. closed curve in character, which can be used for character coarse classification; (b) minuriae, which are some key points in thinned image such as endings, bifurcations and crossings of strokes and can be used for character precise classification, (c) corners in strokes which can be used to discriminate similar characters. Algorithms for fast detection of closed curve based on theory of graph and minutiae and for corner finding based on external contour lines of binary image are also discussed. The recognition rate of alphabetic and digit character of the system based on these structural features is approximate to 96% and the time for feature extraction and character recognition is about 20ms/character. This shows that the proposed structural features have good discriminating power of similar characters and can be used for the fast classification and recognition of characters on vehicle license plate.

Keywords Digital character, Alphabetic character, Structural feature, Pattern recognition, License plate

0 引言

车辆牌照自动识别(LPR)是光学字符识别(OCR)研究的一个重要应用领域.由于存在巨大的市场需求,因此,长期以来,开发实用、可靠的LPR

系统一直是国内外学者研究的重要课题^[1~3].

我国车辆牌照上的字符属机器印刷体字符,包括26个英文大写字母字符和10个阿拉伯数字字符及有限汉字.众所周知,影响计算机模式识别系统性能好坏的关键因素是模式特征的选择及其提取算法性能的好坏^[4].对数字和字母字符的识别,目前主要

基金项目:宁波市青年基金项目(02J20102-02);浙江省综合信息网络技术重点实验室项目(111402-J30174)

收稿日期:2001-09-3; **改回日期**:2002-01-10

是采用基于模板匹配的 OCR 算法^[2~4]和基于人工神经网络的 OCR 算法两大类^[1,3,6]。鉴于前者因多数利用了字符的轮廓、网格、投影等统计特征^[2,3,6]而导致相似字符区分能力差以及因特征数据维数过大而导致识别速度慢等问题;而后者则面临网络输入数据的选择和网络结构设计及参数优化等问题,因此,很多学者致力于字符其他特征的分析,如文献[5]就提出了基于矩和小波变换的识别方法。本文通过对车辆牌照上英文字符和数字字符结构特征的详细分析,进而选择字符中的细节点特征、闭合曲线特征和拐角点特征作为字符识别的依据。

1 字符结构特征的选择

一般认为,好的模式特征应该具备以下几个条件^[6]:(1)具有较好的类内一致性和类间区分度;(2)稳定性好,具有较好的抗噪能力;(3)具有较好的平移不变性、旋转不变性和尺度不变性等。然而,在实际系统的设计过程中,由于要找到同时满足这些条件的单个特征往往是很困难的,比如,字符的网格灰度统计特征和矩特征虽然抗噪能力较强,但它对相似字符的区分能力低,因此,一般的做法是同时选择多种特征来从不同角度对模式进行分析,以达到字符识别和分类的目的。

车辆牌照字符是一种符合国家标准,且本身带有较多约束条件的印刷体字符,其笔画规范工整,人眼很容易对字符加以区分。显然,人眼对字符的识别,用不着过多的计算,而主要是凭着对字符的结构、轮廓等直观特征进行的,即根据字符的结构特征(由字符的笔画数量、笔画的走向、笔画间的相互关系组成)不难推断,因此若能够精确表征和提取字符的结构特征,那么计算机模式识别系统便能快速准确地区分不同字符。

文献[6],[7]介绍了描述字符笔画特征的几种方法,它们或者采用方向链码串、或者用直线段逼近、或者用样条曲线拟合的方法来表示细化后的笔画,但这些方法普遍存在特征提取方法较为复杂、特征数据量大,且稳定性差的缺点。

数字字符和英文大写字母字符的最大特点是笔画数量少,且笔画之间的关系相当简单,如数字字符的最多笔画数为2(字符“4”和“5”),英文大写字母字符的最多笔画数也不超过5,笔画间以“连”的关系居多,“交”的情况则少而简单。特别值得注意的

是,字符中一些细节点,包括笔画端点、三叉点和四叉点等,其相对位置以及与之相连的笔画的走向初步反映了笔画的大致位置及其相互关系,而在字符“5”、“D”、“G”、“E”中出现的另一类拐角点,则更为精确地反映了笔画的形状和连接关系,它能快速地区分如{“O”、“D”}、{“5”、“S”}、{“8”、“B”}、{“C”、“G”}、{“2”、“Z”}等相似字符组。因此,若将这些点作为特征点,则显然能较好地保证字符间的区分度。

用来区分不同字符的另一种结构特征是图象中的闭合曲线,它可以看成是字符的一种整体结构特征。如“O”、“6”、“9”、“A”等字符中均含有一条闭合曲线,“8”和“B”中含有多条闭合曲线,而像“2”、“5”等字符中则没有闭合曲线存在。这样,利用闭合曲线特征,就可实现字符的快速粗分类,同时,也可以准确区分在统计识别中难以区分的诸如{“O”、“C”、“U”}、{“B”、“R”}等相似字符^[4]。

由于在车辆牌照定位和字符切割阶段,通常已经对字符图象的大小和方向进行了归一化,因此,对于细节点特征,不必考虑其尺度不变性和方向不变性;另外,对闭合曲线,由于并不强调曲线的具体形状,而只关注其闭合性,因此也不必考虑其尺度不变性、方向不变性和平移不变性。这里需要考虑的是细节点位置的平移不变性,它可以通过采用用图象的重心坐标对其进行规范化的方法来实现。表1给出了选用的字符结构特征及其性质。

表1 选用的字符结构特征及其性质

特 征	性 质			用 途
	平移不变性	旋转不变性	尺度不变性	
闭合曲线	○	○	○	粗分类
细 节 点	类型 ○	○	○	细分类
	位置 ●	●	●	
	方向 ○	●	○	
拐角点	○	●	●	区分相似字符

注:(1)细节点类型包括端点、三叉点和四叉点3种;

(2)○——本身具有该性质;●——经处理后具有该性质

2 字符特征的抽取

一个典型的 LPR 系统包括图象采集、牌照定位、字符分割、字符图象预处理、特征提取和字符识别等过程^[2]。进行字符识别时,首先将分割所得的字符图象二值化,并用数学形态学和文献[8]介绍的方

法尽可能消除其中的噪声,然后对图象进行细化处理,最后在二值图或细化图中进行特征抽取。

2.1 细节点特征的抽取

2.1.1 端点、三叉点和四叉点位置的确定及规范化

用下式^[9]逐个计算细化图中与各前景像素 P 对应的 t 值:

$$t = \sum_{i=0}^7 |x_{i+1} - x_i| \quad (1)$$

其中, x_i 为像素 P 周围 8 邻域中的像素值(如图 1 所示),且 $x_8 = x_0$, t 为相邻两元素值之差的绝对值之和。当 t 为 2、6、8 时,说明像素 P 分别是端点、三叉点和四叉点,记录其坐标值 (i_p, j_p) 。

x_3	x_2	x_1
x_4	P	x_0
x_5	x_6	x_7

图 1 前景像素 P 的 8 邻域

用下式确定二值图象的重心坐标 (i_0, j_0)

$$(i_0, j_0) = (M_{10}/M_{00}, M_{01}/M_{00}) \quad (2)$$

其中, M_{pq} 代表二值化图象的 $p+q$ 阶原点矩,其计算公式为

$$M_{p,q} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} i^p j^q f(i, j) \quad (3)$$

这里, i 和 j 分别表示像素的行、列坐标, $f(i, j)$ 代表大小为 $N \times M$ 的图象中的像素的灰度值。

用下式便可求得特征点 P 的规范化坐标值

$$(i'_p, j'_p) = (i_p - i_0, j_p - j_0) \quad (4)$$

2.1.2 细节点方向值的计算及其量化

特征点的方向值代表了与之相连的笔画的走向,显然,对应于端点、三叉点和四叉点,其方向数分别是 1、3 和 4 个。以端点为例,其方向值求取方法如下:

首先从端点 P 出发,沿细化曲线跟踪一定的步长到达像素 Q ,求出直线段 PQ 与水平正方向的夹角 θ 便可作为端点的大致方向值,当列坐标 $j_p \neq j_q$ 时, θ 可用下式求得

$$\theta = \arctan\left(\frac{i_p - i_q}{j_p - j_q}\right) \quad (5)$$

而当 $j_p = j_q$ 时,若 $i_p > i_q$, 则 $\theta = \pi/2$; 若 $i_p < i_q$, 则 $\theta = -\pi/2$ 。

最后,以 $\pi/4$ 为步长,将方向值量化成如图 1 所示的 8 个值: 0, 1, ..., 7。

2.2 拐角点的抽取

检测拐角点最常用的方法是基于 Freeman 链码

的局部曲率极大值检测法^[10],该方法虽能有效检测线图形中的角点特征。但从图 2 可以看出,与二值图象相比较,由于字符“D”和“5”细化后的线图形中,原本明显存在的一些拐角点消失了,因此,仅根据曲率的变化,难以从细化线图中稳定地得到拐角点特征。

根据分析可知,在数字和字母字符图象中可能存在的拐角点类型有 4 种,分别为“┌”、“┐”、“└”和“┘”形状,而且由于字符的笔画一般遵循“从左到右、从上到下”的走向,因此 4 种拐角点只可能出现在如图 3 所示的字符图象的 6 个子区域内。



图 2 字符 D、5 及其细化线图形

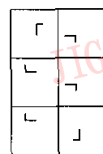


图 3 字符图象的 6 个子区域及其可能的拐角点类型

为检测拐角点特征,这里引入外边缘轮廓线的概念,即该边缘轮廓线是在二值图象的 6 个子区域中分别沿拐角的两条边的方向进行扫描时,由第 1 个遇到的边缘点所组成的曲线。显然,对于像“D”这样的封闭图形,其外边缘轮廓线就是其外围轮廓线,而像“5”这样的字符,其外边缘轮廓线如图 2(c)所示。

显然,对于理想的没有噪声干扰的字符图象,若在某子区域内存在拐角点,则相应于该区域的外边缘轮廓线上应该有且只有一个直角点,而与没有拐角点存在的弯曲笔画相对应的外边缘轮廓线上,则含有多个近邻的同方向的直角点。对于实际的字符图象,考虑到噪声的影响,可按下列规则检测某个图象子区域内拐角点特征的存在性:若二值图象的某一子区域内存在一拐角点,则相应的外边缘轮廓线图在该子区域内所包含相应方向的“直角点”的数目一般不会超过 m 个;反之,若外边缘轮廓线图中某子区域内所包含的相应方向的“直角点”数目超过 m 个,则表明二值图象的相应子区域内没有拐角点,而是存在一条弧。

现以“┌”拐角点特征为例,检测方法如下:

- (1) 提取二值图象的 8-连接外边缘轮廓线;
- (2) 用图 4 所示的模板检测外边缘轮廓线图左上部子区域内的“┌”型直角点;
- (3) 统计该子区域内“┌”型直角点的个数 n ;
- (4) 若 $n \leq m$, 则表明该字符的左上角子区域存

在“┐”型拐角点,否则没有。

0	0	0
0	1	1
0	1	0

图4 直角点检测模板

需要说明的是,并非每一个字符都需要抽取拐角点特征,只有在需要用该特征来区分相似字符时,才在字符图象的某些子区域中抽取它。笔者用上述方法对从各种条件下采集的500多个车辆牌照字符图象进行了拐角点特征抽取,阈值 m 取2,结果表明,抽取的准确率达97%以上,说明该方法是一种基本稳定和可靠的拐角点抽取方法。

2.3 闭合曲线的检测

由于数字和字母字符本身是由笔画连接或交叉而成,因此细化后得到的图象可看作是一幅连通图。

这里设连通图 G 中边的数量为 ϵ ,顶点数为 ν ,每个顶点的次数为 $d(\nu)$ 。如果以端点、三叉点和四叉点作为连通图的顶点,那么显然,其顶点次数分别与它们的连通分量数相同,即分别为1、3和4。为了检测连通图中的闭合曲线,这里先给出两条定理:

定理1 (Euler 定理) $\sum_{v \in V(G)} d(v) = 2\epsilon$, 其中, $V(G)$ 为 G 中边的集合。该定理证明见文献[11]。

定理2 设 G 是连通图,则 G 中有闭合曲线的充要条件是 $\epsilon \geq \nu$,且当 $\epsilon = \nu$ 时, G 中有且只有一条闭合曲线,当 $\epsilon > \nu$ 时, G 中必有多条闭合曲线(限于篇幅,证明略)。

图象中是否存在闭合曲线的检测方法如下:

(1) 在细化图中抽取端点、三叉点和四叉点,分别记录其个数 n_1 、 n_3 和 n_4 。

(2) 用Euler公式计算出图中的边数 $\epsilon = (n_1 + 3n_3 + 4n_4)/2$; 顶点数 $\nu = n_1 + n_3 + n_4$ 。

(3) 若 $\epsilon > \nu$,则图中有2条以上闭合曲线存在;

若 $\epsilon = \nu$,则图中有且只有1条有闭合曲线;

若 $\epsilon < \nu$,则图中没有闭合曲线存在。

3 实验及结果

3.1 字符识别流程

图5给出了一种基于上述结构特征的车辆牌照数字和英文字母字符的多级识别算法流程。

图5中,第1级是利用字符中的封闭曲线特征将字符分成3类,每类包含的字符分别如表2所示。

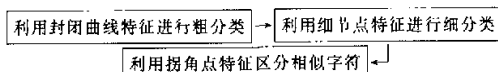


图5 牌照数字和字母字符识别流程

表2 第1级分类结果

类别	闭合线条数	所含字符
1	1	0, 4, 6, 9, A, D, O, P, Q, R
2	≥ 2	8, B
3	0	其他数字和英文字母字符

第2级是采用基于模板的匹配方法,该模板由多个矢量构成,每个矢量表示了字符的一个细节特征点的信息,其格式为 $\{t, x, y, d_1, d_2, d_3, d_4\}$,其中, t 表示细节特征点的类型, (x, y) 为特征点的规范化坐标值, (d_1, d_2, d_3, d_4) 为特征点可能的方向值。若方向值不到4个,则只用到前面1个或几个。识别时,将待匹配字符的特征点和其所属大类每个字符的模板进行比对,若两特征点类型一致,且坐标值差与方向值差分别小于给定阈值,则认为该两特征点匹配。按下式计算字符中特征点的匹配率 R

$$R = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (6)$$

其中, N 为模板中某字符的特征点总数; n 为已匹配的特征点数;然后找出匹配率大于给定阈值的一个或多个字符作为候选识别结果。若候选结果只有一个,则识别成功,并结束;否则,还须进行相似字符区分,即进行第3级识别,此时可根据候选字符的先验知识来抽取拐角点特征,并据此完成最终识别过程。

在第2级分类过程中,若出现待识字符与该类所有模板字符的特征点匹配率均低于给定阈值的情况,则很可能是由于第1级分类的结果有误差造成的,此时应将待识别字符再跟其他两类中的所有字符进行比对,并根据比对结果,按上述条件判断,决定是否进行第3级匹配。若对所有字符比对后均不存在匹配率大于给定阈值的模板字符,则该字符拒识。

3.2 实验方法及识别结果

实验时,用SR-100A CCD摄像头从高速公路自动收费处采集汽车牌照图象,经图象采集卡传入PC机进行处理。软件部分用VC6.0进行编程,运行环境为PⅢ 550工控机。

对车辆牌照数字图象的处理是使用文献[2]的方法进行牌照定位、字符切分、噪声去除、二值化等操作,首先得到单个英文或数字字符二值图象;然后用数学形态学方法以及文献[8]的方法进一步去除

二值图象中的孤立噪声和毛刺噪声,并进行细化处理;紧接着用本文第2节的方法抽取字符细节点特征,并在此基础上抽取特征闭合曲线特征;最后用上述字符识别流程来进行字符分类和识别。

实验中,在确保所抽牌照覆盖了所有的英文和数字字符的前提下,用随机抽样的方法抽取了1000个汽车牌照,对约6000个字符进行了测试,结果如表3所示。该表说明,本工作得到的字符识别率和有关文献报道的结果相近,具有较好的实用性。另外还对抽取字符结构特征和完成字符识别所用的时间进行了测试实验,时间约为20ms/字符。

表3 实验及相关报道中的识别效果

本文结果(%)			相关报道中的字符识别率(%)		
识别率	误识率	拒识率	文献[3]	文献[4]	文献[5]
96.1	2.3	1.6	93/99, 7/95	>96	97.3

注:文献[3]中报道的是3个公司同类产品的识别率

分析发现,影响测试结果的主要原因是图象中的噪声,如字符“8”,笔画中若出现断点,将直接影响第1级分类的结果,并有可能最终导致字符错误或拒识;又如个别字符中,由噪声引起的字符粘连,也会影响特征的抽取和最终识别结果的准确性。

4 结 论

本文在详细分析牌照上英文字符和数字字符的结构特点的基础上,选用其中的笔画端点、三叉点和四叉点作为字符的细节点特征,将闭合曲线作为字符的整体特征,而将笔画中的拐角点作为其辅助结构特征,该3类特征可分别用于构造三级字符分类器。这些结构特征具有以下几个特点:

(1)相似字符区分能力强

这主要是因为字符特征的选取是完全基于对其结构特性的分析,特别是闭合曲线特征和拐角点特征对相似字符有很好的区分度。

(2)抽取方法快速简单

细节点特征是根据式(1)~式(5),从细化图中直接抽取,其计算量小;而闭合曲线特征的提取是通过简单比较图中边和顶点之间的数量关系得到的;拐角点特征则是在必要时根据先验知识,从外边缘轮廓线的部分子区域中进行直角点统计得到的,所有这些都没有复杂的计算过程。

(3)特征数据量小

在所选特征中,只有字符的细节特征点才需要

进行存储和模板匹配运算。由于字符的细节点数量少,最多10个左右,平均5~6个,这相对于数百乃至上千维的字符统计特征向量显然少得多,因此,将这些结构特征用于字符的识别,可大大提高字符的识别速度。

实验表明,本方法具有较好的实用性,而进一步提高字符结构特征的鲁棒性是本工作以后努力的方向,其关键是加强图象的预处理或特征的后处理,例如采用开和闭运算次数具有自适应能力的数学形态学方法来消除字符笔画中的毛刺噪声和断点等。

参 考 文 献

- 1 Tindall D W, Application of neural network techniques to automatic licence plate recognition[A]. In: European Convention on Security and Detection [C], Brighton, England, 1995: 81~85.
- 2 马洪庆. 汽车牌照自动识别[D]. 杭州:浙江大学,1997,3.
- 3 牛欣,沈兰荪. 汽车牌照识别技术的研究[J]. 测控技术,1999, 18(12):14~17.
- 4 叶展洲,杨杰,宫国荣. 车辆牌照字符识别[J]. 上海交通大学学报,2000,34(5):672~675.
- 5 沈会良,李志能. 基于矩和小波变换的数字、字母字符识别研究[J]. 中国图象图形学报,2000,5A(3):249~252.
- 6 Trier O D, Jain A K, Taxt T. Feature extraction methods for character recognition A survey[J]. Pattern Recognition, 1996, 9(4):641~662.
- 7 Mori S, Suen C Y, Yamamoto K. Historical review of OCR research and development[J]. Proceedings of the IEEE, 1992, 80(7):1029~1058.
- 8 薛炳如,杨静宇,姜震等. 消除手写汉字的毛刺及毛刺粘连[J]. 南京理工大学学报,1999,23,(2):141~144.
- 9 夏勇,田捷,邓翔等. 一种高效的自适应指纹图象压缩算法[J]. 计算机学报,1999,22(5):525~528.
- 10 Freeman H, Davis L S. A corner finding algorithm for chain code curves. IEEE Trans. Comput. 1977,26(3):297~303.
- 11 工树禾. 图论及其算法[M]. 合肥:中国科技大学出版社,1990,7.



宋加涛 1966年生,副教授,1991年获硕士学位,现在浙江大学通信与信息系统专业攻读博士学位。研究方向为信号分析、图象处理和模式识别。



刘济林 1947年出生,教授,浙江大学博士生导师。目前主要从事计算机视觉、模式识别、并行处理等方面的研究。