

基于分级边缘间距的实时车牌检测

吴舟舟 李树广

(上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海 200030)

摘要 提出一种在复杂环境下进行实时车牌定位的新方法。先根据车牌图像的边缘特征,利用多级边缘点距离生成连通区域,搜索全图得到连通域的最小外接矩形。然后利用车牌本身的拓扑特征和颜色特征进行判别,提取候选区域。与同类方法相比,该方法限制条件少、速度快、准确率高。对526幅各种环境下实际采样图像进行实验,定位成功率为98.3%,平均定位时间少于40ms。

关键词 智能交通系统 车牌识别 车牌定位 边缘检测 边缘间距 色彩空间 实时性
中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)02-0315-07

Real-time License Plate Detection Based on Hierarchical Distances Between Neighboring Edge Points

WU Zhou-zhou, LI Shu-guang

(Institute of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

Abstract This paper presents a novel algorithm for license plate detection in complex environments. The algorithm generates connective components by hierarchical distances between edge points based on vehicle edge map and then gets the relevant minimum enclosing rectangular by searching the whole map. Afterwards, it picks up candidate regions of plates according to topological characteristics and color features. In this paper, least constraints are imposed on the working environment. In the experiment for locating license plates, 526 images taken from various scenes and under different conditions were processed with an accuracy of 98.3%. At the same time, the average locating time is less than 40ms.

Keywords intelligent transport system, license plate recognition, license plate location, edge detection, distance between edge points, color space, real-time

1 引言

近年来交通问题引发的关注越来越多,关于智能交通系统(intelligent transport system, ITS)技术的研究也越发广泛而深入。车牌识别技术(license plate recognition, LPR)作为智能交通系统中的重要课题,在交通流量检测、交通诱导控制、路桥收费、违章车辆监控等方面有着广泛的应用前景,对实现国民交通事业现代化有着重大意义。但由于一般的识别系统单幅图像的检测时间较长,达不到实时的要求,从而限制了这种系统在这些方面的应用。车牌

识别系统中,车牌的定位检测是车牌识别中最关键的一步,定位的准确与否直接关系到系统的识别精度和识别速度。同时,这一步也是整个环节中的难点所在,由于牌照位于图像上任意位置,加上光照不均匀、反光、拍摄角度倾斜、复杂背景干扰以及车牌本身折损等原因,牌照精确定位难度较大。

国际上对车牌识别的研究已经持续了许多年,但提高识别正确率及系统实时性方面仍然是一个研究的重点。关于牌照区域定位有很多种方法,常见的有:

(1) 基于数学形态学方法^[1,2],这类算法实现简单,对车牌面积变化不大、背景相对简单的车牌图像有较好的效果,缺点是结构元素的大小和车牌字符的

基金项目:上海市科委重点攻关项目(035115003)

收稿日期:2005-08-08;改回日期:2005-10-12

第一作者简介:吴舟舟(1981~),男,上海交通大学图像处理与模式识别研究所硕士研究生。主要研究方向为图像处理与模式识别。

E-mail:wuzhouzhou@sjtu.edu.cn

大小有一定的关系,且时间复杂度高,针对场合单一;

(2) 基于边缘检测和水平灰度变化特征的方法^[2],这类方法是使用最多的,细分类也多,有用可变矩形模板检测的方法搜索符合条件的车牌矩形区域的方法^[3],有记录灰度水平跳变频度的方法,速度快、漏检率低,但误检率高;

(3) 基于颜色相似度及彩色边缘的算法^[4],此类方法一般利用颜色模型转换,结合先验知识,进行定位和判断,不受大小限制,精度较高,缺点是对图像品质要求高,对偏色、牌照褪色及背景色干扰等情况无能为力,一般也不会独立使用;

其他还有基于矢量量化(vector quantization, VQ)的方法^[5]、基于小波分析的方法^[6]、基于神经网络的方法等等。

本文结合多种方法的优势,提出一种利用车牌字符边缘点统计分析,通过对邻近边缘点按距离生成多级连通区域进行搜索的新方法。对实际采集到的几百幅图片进行了实验,该方法对背景复杂、车牌污损较严重、光照不均的情况均能高效处理。

2 算法流程

算法先根据车牌图像的边缘特征,利用多级边缘点距离(T_{dis})生成连通区域,搜索全图得到连通域的最小外接矩形(minimum enclosing rectangle, MER)。然后利用车牌本身的几何拓扑特征和颜色特征进行判别,提取候选区域。算法流程如图 1 所示。在获取的图像中牌照的位置、大小、角度都有所不同,背景的复杂程度也不尽一致。针对这种情况,首先进行垂直边缘的提取,对邻近边缘点按距离生

成多级连通区域进行搜索和比对,然后再对搜索得到的区域进行判别提取。

3 候选区成生

3.1 垂直边缘提取

先将图像帧灰度化后按照算子 $h = [1, 0, -1]$ 滤波,得到梯度图像 G_v 。梯度图像干扰很多,需要进一步的边缘化。按照式(1)计算全局阈值 T ,以水平方向扫描梯度图,根据式(2)寻找峰值点,得到车牌的垂直边缘特征图。

$$T = \alpha \left(\frac{\sum_{i,j \in I} g_v^2(i,j)}{\#image_pixels} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$g(i,j) = \begin{cases} 1 & g_v(i,j) > g_v(i,j \pm 1) \& \\ & g_v(i,j) > T \\ 0 & g_v(i,j) < T \end{cases} \quad (2)$$

其中, α 为比例系数,用来调节阈值,这里取 2; $\#image_pixels$ 为图像总像素数目。

3.2 连通域及 MER 候选区生成

3.2.1 连通区域生成算法

与串行区域生长或形态学思想相比,本方法不需要选择结构元素,对车牌大小不敏感,针对车牌图像生成连通区域更加准确、快速,能将车牌高密度边缘区域明显地表现出来,使其在几何特征上与其他画面区别开来。

先对得到的垂直边缘图进行边缘点的统计分析。自底向上、从左到右,水平方向上扫描边缘点,如果相邻边缘点之间的距离不超过设定的距离阈值 T_{dis} ,则将它们连成一线。这样,在一个高密度垂直边缘区域内可以得到多组线段,如果存在牌照,则该区域的线段密集度应该很高,且与周围其他连通区域相对隔离,若 T_{dis} 设置恰当,车牌区域可以形成完整的矩形块状连通域。具体算法可用如下两段代码描述:

程序 1 邻近边缘连接

```
PROCEDURE GENERATECC( $f, T_{dis}$ )
```

```
FOR  $i = 0$  TO height DO
```

```
FOR  $j = 0$  TO width DO
```

```
IF  $f_{i,j} < > 0$  THEN
```

```
FOR  $t = j + 1$  TO MIN( $j + T_{dis}, width$ ) DO
```

```
IF  $f_{i,t} < > 0$  THEN
```

```
{ FOR  $s = j + 1$  TO  $t$  DO  $f_{i,s} \leftarrow 0xff$ 
```

```
 $j \leftarrow t - 1$ ; BREAK
```

```
}
```

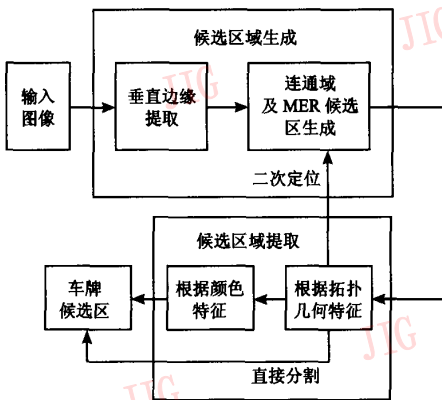


图 1 车牌定位算法框图

Fig. 1 Chart of the algorithm for license plate detection

RETURN

程序2 水平短线段删除

```

PROCEDURE DELSHORTLINE( $f, T_{dis}$ )
FOR  $i=0$  TO  $height$  DO { $len \leftarrow 0; tags \leftarrow 0$ 
FOR  $j=0$  TO  $width$  DO
{WHILE  $f_{i, j+len} < > 0$  DO { $tags \leftarrow j; len \leftarrow len + 1$ }
IF  $len < T_{dis}/2$  THEN FOR  $t = tags$  TO  $tags + len$ 
DO  $f_{i, t} \leftarrow 0$ 
 $j \leftarrow j + len; tags \leftarrow j; len \leftarrow 0$ 
}} RETURN

```

其中, f 为图像数据, i, j 分别表示行列坐标, $height$ 和 $width$ 分别为图像的高、宽。由程序可见, 虽然循环嵌套, 但扫描每行, 用于判断像素是否为 0 的次数是图像的宽度, 总的比较次数也就是像素的个数, 因此, 效率是很高的。

进行了程序 1 操作后, 边缘图像变成连通区域的集合, 但牌照区域周围的毛刺与干扰可能会妨碍下一步的操作, 需要对它们进行处理。根据程序 2 可以去掉水平方向宽度小于 $T_{dis}/2$ 的线段。如此, 得到了进一步操作所需的特征图像 F 。

对 F 进行连通域链码边界跟踪, 同时, 去除明显的高度过小的区域, 可以得到连通域的最小外接矩形 (MER)。矩形度是用来描述 MER 性质的概念, 其定义如下:

包含物体的面积与其 MER 的面积之比:

$$R = \frac{A_{C \in MER}}{A_{MER}} \quad (3)$$

其中, C 为 MER 内的连通域, $A_{C \in MER}$ 表示连通域面积, 即 C 内像素数目和, A_{MER} 为 MER 的面积。

MER 纵横比:

$$r = \frac{H_{MER}}{W_{MER}} \quad (4)$$

其中, H_{MER} 和 W_{MER} 分别为 MER 的高和宽。

3.2.2 区域合并

如果在车牌较大, T_{dis} 较小时, 车牌被分隔在相邻连通域内的情况也是存在的 (如我国车辆前部牌照前两个字符和后 5 个字符的间隔较大), 这时应该引入连通域邻接强度判断^[2], 其计算方法为

$$T_D = \frac{overlap_v}{\min(h_1, h_2)} - \frac{dis_H}{\sqrt{w_1 \times w_2}} \quad (5)$$

其中, $overlap_v$ 表示两个连通域 MER 的垂直重合高度, dis_H 表示水平距离, h_1, h_2, w_1, w_2 分别表示两个连通域 MER 的高和宽。 T_D 超过某个阈值, 则根据包含面积最小的原则将两个连通域 MER 合成一个。

根据实验将 T_D 设为 0.35。

3.2.3 多级连通域比对

减小 T_{dis} , 重复以上两个步骤, 能得到另一组 MER。设小尺度为 T_{Sdis} , 大尺度为 T_{Ldis} , 由于根据 T_{Sdis} 生成的 MER 基本包含在由大尺度 T_{Ldis} 生成的 MER 内, 因此, 仍然可以利用式 (5) 来判断相应的 MER 是否重合。此处, 前项 $\frac{overlap_v}{\min(h_1, h_2)} \approx 1$, 而后项的 $dis_H < 0$, 因此, 设阈值 T_D 为 1.0。设由 T_{Ldis} 生成的 MER 为 MER_L , 相应包含的由 T_{Sdis} 生成的 MER 为 MER_S , 则由 T_{Sdis} 生成的连通域图像中 MER_L 区域除去 MER_S 部分的面积比为

$$R_{L-S} = \frac{A_{C_s \in \{MER_L - MER_S \cap MER_L\}}}{A_{MER_L - MER_S \cap MER_L}} \quad (6)$$

其中, C_s 为小尺度 T_{dis} 生成的连通域。设 $T_{R_{L-S}} = \omega R_{L-S}$, ω 为权值。若 $R_{L-S} > T_{R_{L-S}}$, 则保留 MER_L , 否则根据 MER_S 进行修正。根据实验数据, 权值 ω 取 0.8。

4 候选区判别提取

区域合并完成产生了一组 MER 的集合, 需要根据先验知识判断其中是否包含车牌区域并将其提取出来作为最后的候选。

4.1 根据几何拓扑特征的判别提取

判别规则主要由包含车牌区域 MER 的几何拓扑特征表示:

(1) 按照后续字符分割和识别的要求, MER 宽度应大于 80 个像素;

(2) 车牌所在区域的密度比较高, 因此 MER 的面积之比 R 比较大, 而纵横比 r 考虑到拍摄角度, 应该在 0.15 ~ 0.5 之间。

(3) 根据车牌区域边缘密度均匀的特点, 设定水平投影均值的区间与方差的门限, 可以有效去除背景非规则区域的干扰, 如树叶、门窗等, 其定义如下

$$p(i) = \sum_{j=left}^{left+W_{MER}-1} f(i, j) \quad (7)$$

$$\mu = \frac{1}{H_{MER}} \sum_{i=bottom}^{bottom+H_{MER}-1} p(i) \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{1}{H_{MER}} \sum_{j=bottom}^{bottom+H_{MER}-1} (p(j) - \mu)^2 \quad (9)$$

若经过此步, 仅剩 1 个 MER 区域, 则这个区域就认为是车牌区域, 跳过下面的步骤直接进行车牌区域的分割; 如果没有 MER 剩余, 说明此图的车牌

较大, T_{dis} 过小, 设置 T_{dis} 为 T_{Hdis} 重新进行上述的步骤, 这里, T_{Hdis} 是大于 T_{Ldis} 的尺度; 如果剩余多余一个 MER 区域, 在认为一幅图像仅一个车牌的情况下需要进行更进一步的判断, 使用颜色特征。

4.2 根据颜色特征的判别提取

经过以上筛选, 车牌候选区已经很少了, 但有些情况下, 仅靠几何拓扑信息不能完全排除非车牌区域, 如一些文字区域、车灯干扰, 这时引入颜色判断是有必要的, 而且车牌颜色为判别车辆的类型提供了有效的信息。

由于 RGB 模型三原色空间中两点间的欧氏距离与颜色距离不成线性比例, 受光照影响变化很大, 因此, 不能单独使用。由 HSI 颜色空间中, 黄色和蓝色色相区分比较明显, 蓝色所辖范围较大, 而黑色与白色主要靠饱和度与亮度划分。本文算法是以 HSI 模型为主, RGB 模型为辅。

$$i = \frac{r + g + b}{3}$$

$$s = 1 - \frac{\min(r, g, b)}{i} \tag{10}$$

$$h = \cos^{-1} \left\{ \frac{[(r - g) + (r - b)]}{2[(r - g)^2 + (r - b)(g - b)]^{1/2}} \right\}$$

其中, 基色已作过标准化, 即 $0 \leq r, g, b \leq 1$, 且 h 用角度表示, $0 \leq h < 360$ 。

具体算法: 选择车牌候选区中心的一块区域进行颜色模型的转换, 先按式 (10) 将 RGB 模型转换到 HSI 模型^[7]。由于逐点计算色彩距离作颜色分类, 在车牌定位中的效果并不十分理想, 且速度相对较慢, 把颜色按照一定区间进行划分, 统计落入不同区间的像素点数目。分类如表 1 所示。

表 1 4 种颜色范围划分

Tab. 1 Different ranges of the four colors

色彩分量	H (Hue)	S (Saturation)	I (Intensity)	RGB 辅助条件
蓝	[190, 265]	[0.25, 1]	[0.21, 0.83]	AND (B - B ≥ 50)
黄	[20, 60]	[0.21, 0.83]	[0.35, 1]	AND (R - B > 100 && G > 150)
白	—	[0, 0.25]	[0.92, 1]	OR (R, G, B > 210)
黑	—	—	[0, 0.3]	OR (R, G, B < 30)

以上数据根据大量实验以及参照自定义颜色表

获得, 其中 RGB 辅助条件中 AND 表示必须同时满足的条件, OR 表示满足一项即可。未落入表中的颜色归为其他颜色。

根据表 1 对所选区域进行色彩统计, 将像素点归为 5 类。若第 5 类, 即其他颜色太多, 超过 70%, 则直接排除这个候选区。其他情况, 根据颜色排序判定候选区的有效性, 如表 2 所示, 满足判断条件的候选区予以保留。

表 2 车牌底色分类

Tab. 1 Classification of plates based on colors

最多的颜色	次多的颜色	牌照类型
蓝色	白色	蓝底牌照
黄色	黑色	黄底牌照
白色	黑色	白底牌照
黑色	白色	黑底牌照

由此, 检测定位算法完成, 产生车牌候选区域由后续的字符分割和识别模块处理。完整的算法流程图如图 2 所示。

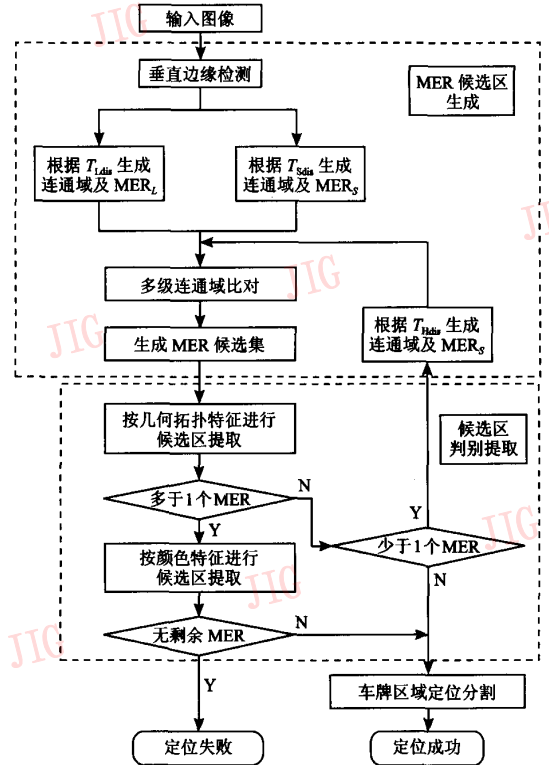


图 2 基于分级边缘间距的车牌检测算法流程图

Fig. 2 Flow chart for LP detection algorithm

5 实验与讨论

用于实验的图片集分为两组,共 526 幅,包含的车牌大小从 $80 \times 25 \sim 340 \times 128$ 不等。第 1 组在高速公路收费站拍摄,共 208 幅,大小 768×512 。第 2 组为随机拍摄,场景(街道、公路、停车场等)、拍摄角度、车牌大小(远近不一致)和光照(阴天、反光、阴影等)变化比较大,共 318 幅,大小为 640×480 。用一幅比较典型的车牌图片来说明本文的方法。

首先对灰度化后的输入图像用 h 算子进行滤波,得到梯度图(图 3(a));求取边缘(式(1)、式 2)),得到垂直边缘图(图 3(b));使用两个尺度的边缘距离阈值 $T_{dis} = 20$ 、 $T_{dis} = 10$ 对边缘图进行邻近边缘连接(程序 1),生成连通区域;求取连通区域的最小外接矩形 MER,删除过小的 MER,同时按照式(5)合并邻近区域,得图 3(c)、(d);将两个尺度下的 MER 比对,根据比对算法(3.2.3 节),删除多余的 MER,并调整剩余 MER,使实际所辖范围更精确;按照几何规则提取候选区;若剩余超过 1 个候选

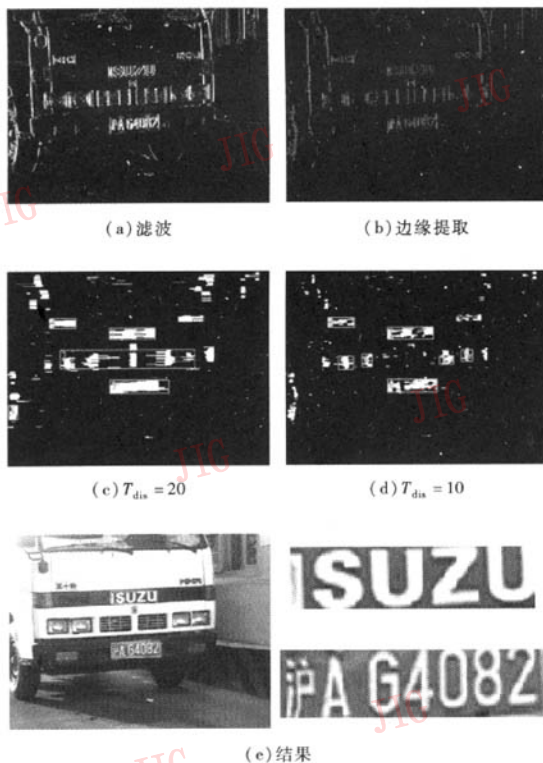


图 3 算法描述

Fig. 3 Description of the algorithm

区,进行颜色判别;最后得结果图 3(e)。可以看到,此例没有使用 T_{dis} 进行二次定位,实际上进行二次定位的情况很少,除非拍车牌特写。经过所有判别条件后,结果图 3(e)中仍然有两个候选区(一个为车牌,一个为文字车标),但在本文所阐述的范围内不能解决这种问题,因为两个候选区都满足车牌的外观条件。这类问题可以在后续的字符分割和识别中利用反馈信息解决。

此外,也同以往的方法做过实验比较。用 Chang^[4]中失败的例子进行了实验,结果如图 4 所示。其中图 4(a)成功,说明本文算法在复杂干扰下的适应力是比较强的。但图 4(b)同样失败了,图中车牌附近边缘干扰过于密集,小于设定的最小距离阈值。此类车牌在拍摄中没有遇到,一般如有干扰同上面的实验(图 3(e))类似,车牌部分能完整的分割出来,但会有其他区域的误判,又如图 4(c)。

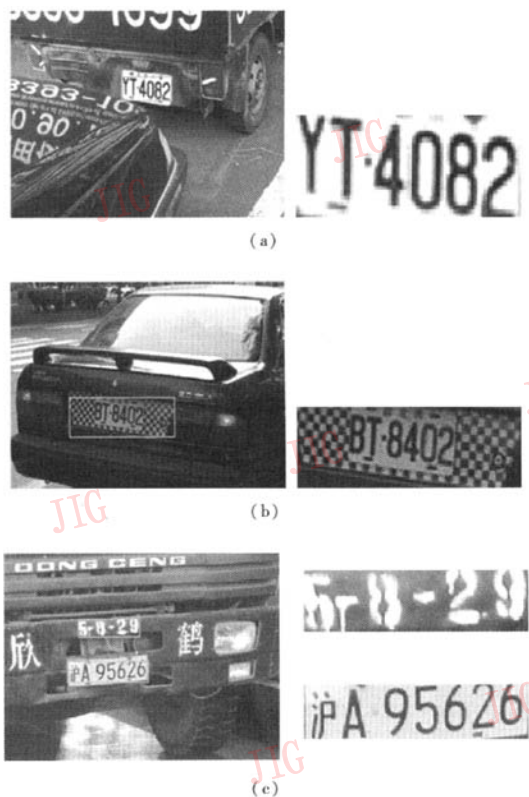


图 4 实验结果分析

Fig. 4 Results analysis

不同情况下的部分实验结果如图 5 所示。总的实验结果如表 3 所示。



图 5 实验结果

Fig.5 Results

表 3 定位结果

Tab.3 Results of location

	候选定位	几何筛选	颜色判别	存在误判
失败图像数目	0	2	7	4
成功率(%)	100	99.2	98.3	97.5

从结果统计可以看到,本文所提主要算法的定位率比较高,基本没有漏选的情况出现。而几何筛选基本不会将车牌区域删除,除了个别由于拍摄角度过于倾斜造成 MER 纵横比不满足条件。而引入的颜色判别会导致删除一部分车牌区域,这主要是受图片质量、设备自动白平衡设置和车牌本身完好程度的影响。误判的情况,在本方法内无法解决,若引进底部优先级判断或与后续步骤联判可以彻底解决。

本文算法的实验程序使用 C++ 编写,在 P4 2.8G/512M 机器上运行。对 640×480 图像的定位时间如表 4 所示。从代码优化来看,若压缩中间环节,采取针对系统构架的优化策略,处理时间应当更短,即使加上后面的字符分割与字符识别步骤,也完全能满足实时处理的要求。

表 4 执行时间表

Tab.4 Processing time

算法步骤	执行时间(ms)
灰度化与垂直边缘提取	15~20
连通域及 MER 候选区生成	(4~7)×2
判别提取	2~3
平均	32

本文采用的样本集合同 Chang^[4]中(平均定位率 97.9%, 平均处理时间约 0.4s)类似, 均从复杂条件下拍摄, 相比较而言, 本文算法有较高的定位率, 而处理速度上更要快出很多。类似地, 虽然 Bai^[2]方法(平均定位率 99.6%, 平均处理时间 100ms)的检测率较高, 但其中采用的样本集较为单一, 场景单调, 而其中备用的形态学算法更会增加时间开销。总体上看, 与以往的算法相比, 本文算法在提高定位率的同时, 保证了很快的实时处理速度。

6 结 论

牌照定位是难度较大的图像分割问题, 而一般方法在处理速度上的问题更限制了系统的实时应用。本文针对车牌图像的特点以及实时性应用的要求, 提出在复杂环境下进行实时车牌定位的方法, 将定位分为两部分, 第 1 部分为候选区生成, 第 2 部分为候选区提取。在候选区生成过程中, 提出基于邻近边缘点连接的连通区域生成方法, 既能很好地突出车牌区域特征, 又能有效地抑制环境噪声的干扰。与以往的一些方法相比, 本文方法对拍摄条件和牌照质量没有特别的要求, 运行速度快, 在准确定位的同时能完全满足动态高速识别对实时性的要求, 而且对背景复杂、车牌污损严重、光照不均及角度倾斜的情况均能有效处理, 对提高车牌实时识别率有非常大的实用价值。

由于算法的实时性好、准确率高, 单幅图像的处

理速度能控制在 40ms 以内, 下一步将对视频图像进行处理, 采用改进的 OCR 方法, 实现可移动的自动车牌定位与识别系统。

参考文献 (References)

- 1 Jun-Wei Hsieh, Yu Shih-Hao, Chen Yung-Sheng. Morphology-based license plate detection from complex scenes[A]. In: Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition [C], Quebec, Canada, 2002: 176 ~ 179.
- 2 Bai Hong-liang, Liu Chang-ping. A hybrid license plate extraction method based on edge statistics and morphology[A]. In: Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition [C], Cambridge, UK, 2004: 831 ~ 834.
- 3 Kim Dong-Su, Chien Sung-Il. Automatic car license plate extraction using modified generalized symmetry transform and image warping [A]. In: IEEE International Symposium on Industrial Electronics 2001[C], Pusan, Korea, 2001: 2022 ~ 2027.
- 4 Chang Shyang-Lih, Chen Li-Shien, Chung Yun-Chung, et al. Automatic license plate recognition [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004, 5(1): 42 ~ 53.
- 5 Zunino Rodolfo, Rovetta Stefano. Vector quantization for license-plate location and image coding[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2000, 47(1): 159 ~ 167.
- 6 Jin Ning, Yuan Y Tang. Text area localization under complex-background using wavelet decomposition[A]. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Document Analysis and Recognition [C], Seattle, WA, USA, 2001: 1126 ~ 1130.
- 7 Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. Image Processing, Analysis, and Machine Vision (Second Edition)[M]. USA: Brooks/Cole, Thomson Asia Pte Ltd, 2001.