

基于最近邻链的车牌检测算法

苗立刚^{1,2}

摘要 根据车牌字符的几何特征和空间排列规则,提出了一种基于最近邻链的自适应车牌检测算法。首先,采用自适应阈值分割算法消除光照变化的影响,并采用连通体分析方法消除部分干扰目标;其次,根据车牌字符连通体的区域特征,将宽度和高度都相近的连通体构造为最近邻连通体对,并将最近邻对连接为最近邻链,从而检测出所有可能的车牌区域;最后,利用两组不同长度的方波模板分别对车牌的水平和垂直投影进行匹配,它能够验证候选车牌区域的有效性,并求解所有车牌字符的最佳切分位置。实验表明,该算法能够自适应地处理光照不均匀、尺度变化、透视失真、背景干扰以及质量退化等因素的影响,可以有效地检测出复杂背景中的车牌区域。

关键词 车牌检测, 字符分割, 最近邻链, 连通体分析, 变长模板匹配

DOI 10.3724/SP.J.1004.2011.01272

License Plate Detection Algorithm Based on Nearest Neighbor Chains

MIAO Li-Gang^{1,2}

Abstract This paper proposes a nearest neighbor chain based method for adaptive license plate (LP) detection according to the geometrical characteristics and spatial arrangement of license plate characters. Firstly, image is segmented with adaptive binarization method to avoid the problem created by nonuniform illumination, and some undesired image areas are removed by limiting the range of region properties of connected components. Secondly, nearest neighbor pairs are constructed according to region properties of connected components of LP characters, and they are merged into nearest neighbor chains, thus, to detect all the candidate license plate regions. Finally, two variable-length square templates are designed to match horizontal and vertical projections of LP image gradients. It can verify all the candidate LP regions and determine the boundaries of all LP characters simultaneously. Experiments show that this method can deal with nonuniform illumination, LP size change, rotation, background interference, quality degradation and so on, and that it has achieved desired detection result for various types of LP images in complex scenes.

Key words License plate detection, character segmentation, nearest neighbor chain, connected component analysis, variable-length template matching

1 引言

车牌识别技术在智能交通领域中有非常广泛的应用,如道路交通监控、停车场监控、自动收费、罪犯追踪等。通常情况下,车牌识别系统包括车牌检测、字符分割、字符识别三个部分^[1-2]。其中,车牌检测和字符分割是车牌识别的关键步骤,其效果的好坏对车牌识别系统的整体性能有重要的影

响。在实际的监控场景中,由于车牌检测容易受到成像距离、光照变化、透视失真、背景干扰以及车牌质量退化等因素的影响,因此,复杂场景中的车牌检测仍然是一个具有挑战性的问题,需要提出新的理论和方法来进一步提高车牌检测与字符分割的效果。

目前的车牌检测方法主要使用边缘、颜色、纹理等三种特征。车牌区域含有丰富的边缘信息,通常需结合形态学滤波方法来检测车牌区域^[2-5]。该类方法具有较低的计算复杂度和较好的可扩展性,缺点是容易受到成像距离的变化和复杂背景的干扰,例如,形态学模板的尺寸难以适应车牌大小的变化,并且不易区分车牌区域和背景中的文字区域。车牌的颜色特征可以为车牌检测提供大量的信息^[6-8],但它容易受到光照条件、车牌褪色以及车体颜色等因素的影响,导致其检测的效果不够理想。纹理特征方法需要建立车牌图像的样本库^[9-14],并用来训练车牌检测的纹理分类器,其检测性能对训练集有较强的依赖性,难以解决视角变化、车牌污损等因素的影响,并且计算复杂度较高。实际上,单独采用某一种特征都很难取得理想的检测效果,因此,综合利用边缘、颜色、纹理等多种特征是比较常用的检测方法,如彩色纹理^[10]、彩色边缘检测^[9,15-16]等,这些方法相对单一特征方法能够取得较好的检测效果。

车牌区域的显著特征在于它是由若干个相同高度或宽度的字符按照一定的规则排列而成,并且所有车牌字符都是由相同宽度的线段组成。如果某个局部区域内连续出现多个与车牌字符几何特征相似的连通体,则该区域很可能属于车牌区域。为此,本文提出了一种基于最近邻链的车牌检测方法。它首先采用 Niblack 自适应阈值方法对整幅图像进行分割,并利用连通体分析方法消除部分干扰连通体;然后,在一定距离和方向的范围内,将宽度和高度都相近的连通体构造为最近邻连通体对,并将最近邻对连接为最近邻链,从而检测出所有可能的车牌区域;最后,根据车牌字符的排列规则,设计两组变长的方波模板,分别对候选车牌区域的水平和垂直方向的梯度投影数据进行匹配。根据匹配程度的大小来验证候选车牌区域的有效性,并求解所有车牌字符的最佳切分位置。该算法能够自适应地处理光照不均匀、尺度变化、透视失真、背景干扰以及质量退化等因素的影响,可以有效地检测出复杂背景中的车牌区域。

2 车牌图像分割

中国大陆地区的车牌字符由1个汉字和6个字母或数字组成,所有字符都具有相同的高度或宽度(数字“1”除外),并且组成车牌字符的线段宽度都相等。从字符结构上来讲,字母或数字都属于独体结构,所有笔画都相接或相交;而绝大部分的汉字属于非独立结构,笔画之间相离的情况较多。在理想情况下,字母和数字分割为单个连通体,而汉字则可能分割为单个或多个连通体。如果图像的某个区域连续出现多个宽度和高度都相近的连通体,则该区域很可能为车牌区域,而在背景区域内连续出现这样情况的概率较低,因而它可以滤除绝大部分的背景干扰。

由于车牌容易受到光照不均匀和尺度变化的影响,因此本文采用 Niblack 自适应阈值方法来分割车牌图像^[17],在局部邻域内计算每个像素点的阈值:

$$T(x, y) = m(x, y) + k \quad (1)$$

其中, $m(x, y)$ 表示输入图像 $i(x, y)$ 的局部均值, k 是一个用户自定义的参数,其绝对值的变化范围一般在 $1 \sim 4$ 之间。

收稿日期 2011-01-13 录用日期 2011-03-13
Manuscript received January 13, 2011; accepted March 13, 2011
1. 中国科学院研究生院计算与通信工程学院 北京 100049 2. 东北大学秦皇岛分校电子信息系 秦皇岛 066004
1. College of Computing Communication Engineering, Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049 2. Department of Electronics Information, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004

如果车牌字符的亮度小于背景亮度, 则取正值 (如黄底黑字、白底黑字、白底红字车牌):

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & m(x, y) - i(x, y) < k \\ 0, & m(x, y) - i(x, y) \geq k \end{cases} \quad (2)$$

如果车牌字符的亮度大于背景亮度, 则取负值 (如蓝底白字、黑底白字车牌):

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & m(x, y) - i(x, y) \geq k \\ 0, & m(x, y) - i(x, y) < k \end{cases} \quad (3)$$

由于成像距离等因素的影响, 车牌尺寸的变化范围较大. 为了自适应地处理各种尺度的车牌图像, 本文采用高斯低通滤波器 $g(x, y; \sigma)$ 对图像进行滤波, 并把平滑结果作为局部均值图像, 即:

$$m(x, y) = i(x, y) * g(x, y; \sigma) \quad (4)$$

高斯函数的方差 σ 能够较好地反映字符线段的空间尺度变化, 选择合适的 σ 即可有效地检测一定线段宽度范围内的车牌字符. 本文设置参数 $\sigma = 1.5$ 和 $k = 2.5$, 并对图 1(a) 的车牌图像进行缩放, 使得字符线段宽度在 1~13 之间变化, 图 1(b)~1(h) 分别是 $w = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13$ 时, 所对应的分割结果. 可以看出, 当 w 在 3~10 之间变化时, 该算法能够分割出比较完整的车牌字符; 若 w 大于 10, 字符连通体会出现空洞或断裂; 若 w 小于 3, 字符连通体会出现粘连. 对于监控场景中的车牌图像, 通常 w 在 3~8 个像素之间, 因此, Niblack 算法能够适应监控场景中的多数尺寸的车牌图像, 有效地减少了字符分割过程的粘连和断裂.



Fig. 1 License plate images and their binary forms

Niblack 算法分割的连通体可以分为两类: 1) 线段目标分割的连通体, 用 O_1 表示; 2) 阶跃边界处分割的连通体, 用 O_2 表示. 车牌字符线段实际上是由两个阶跃边界组成, 当

w 较小时, 两个边界处分割的连通体粘合为一个连通体. 车牌字符连通体通常属于 O_1 类连通体; 而 O_2 类连通体则主要属于干扰目标. 本文用 E_b 表示某个连通体的边缘像素, 用 E_r 表示该连通体所覆盖的原始图像区域的边缘像素. 如图 2 所示, 对于车牌字符连通体, 其二值图像和原始图像的边缘像素数量基本相同, 即 $E_b/E_r \approx 1$; 而对于 O_2 类连通体, 其对应原始图像的边缘像素数量是二值图像的一半 (图 3), 即 $E_b/E_r \approx 2$. 因此, 根据 E_b/E_r 的大小可有效区分这两类连通体.

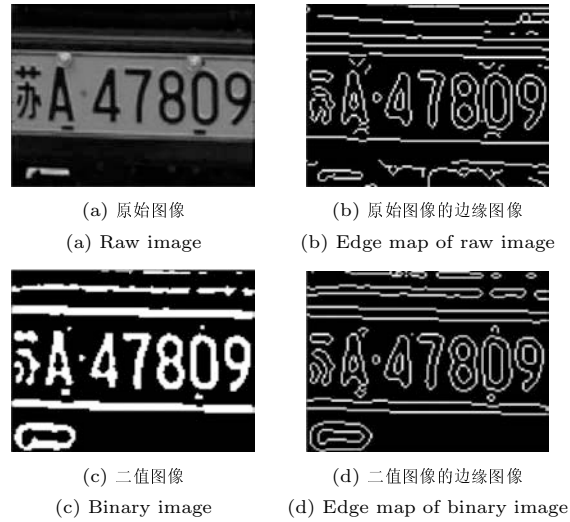


图 2 车牌图像及其二值图像的边缘检测结果
Fig. 2 Edge images of license plate and their binary forms

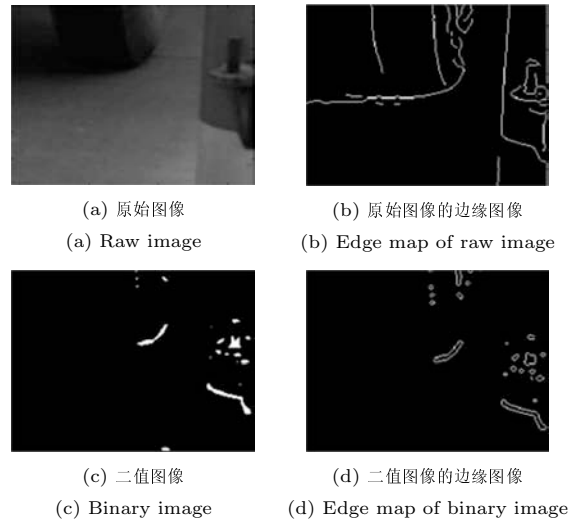


图 3 背景图像及其二值图像的边缘检测结果
Fig. 3 Edge images of background and their binary forms

在阈值分割后的二值图像中, 除车牌字符连通体之外, 还包含了许多干扰目标, 如噪声、背景干扰、车牌边框等. 图 4(a) 中含有一幅黄底黑字的车牌图像, 图 4(b) 是利用自适应阈值方法分割的二值图像. 为了减少运算量, 可先用连通体的区域性质, 如纵横比、高度、面积等特征来消除部分干扰目标, 如图 4(c) 所示. 然后, 利用 Sobel 算子分别检测二值图像和原始图像的边缘, 根据 E_b/E_r 的大小 (如 ≥ 1.5) 来进一步消除干扰连通体, 如图 4(d) 所示. 可以看出, 车牌区域

出现多个高度和宽度相近的连通体, 而背景区域的邻近连通体的几何特征相差较大.

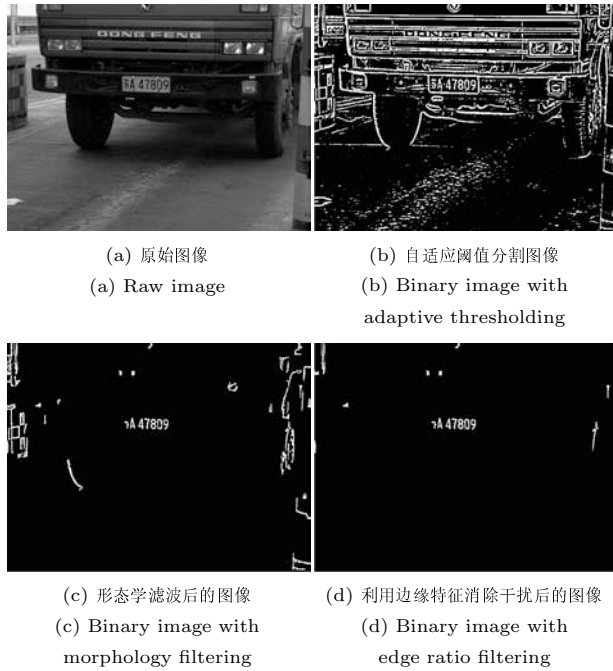


图4 车牌图像的阈值分割及连通体分析

Fig. 4 Adaptive thresholding and connected component analysis of license plate image

3 构造最近邻链

拍摄视角或车辆位置的变化会导致车牌图像在获取过程中会产生透视失真. 由于车牌区域相对较小, 相邻字符连通体的宽度或高度仅产生微小的变化, 可通过连通体分析检测出若干个高度或宽度都比较接近的相邻连通体, 并将这些连通体构成一个最近邻链, 从而可以检测出所有可能的车牌区域. 最近邻方法在文档图像处理中有较广泛的应用^[18]. 车牌区域实际上就是由若干个按一定规则排列的字符连通体组成, 为了检测出候选车牌区域, 本文分别给出最近邻对和最近邻链的定义^[19]. 以图 4(c) 为例, 其连通体的外接矩形如图 5(a) 所示, 本文用 M 表示二值图像中连通体的数量, 连通体 C_i ($i = 1, 2, \dots, M$) 的中心坐标表示为 (x_i, y_i) , 其外接矩形的高度和宽度分别用 h_i 和 w_i 表示. 两个连通体中心点的欧氏距离可以定义为 $d(C_i, C_j)$, 如果连通体 C_i 和 C_j 满足下列条件:

- 1) $d(C_i, C_j) < \beta \cdot \min(h_i, h_j)$;
- 2) $h_i \approx h_j$;
- 3) $w_i \approx w_j$;
- 4) $x_i \leq x_j$;
- 5) $\tan^{-1} \left(\left| \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \right| \right) \leq \frac{\pi}{4}$.

则称 C_j 是 C_i 的最近邻连通体, 并且 C_i 和 C_j 构成一个最近邻对, 记为 $[C_i, C_j]$. 其中, β 是一个常数, 通常设为 $2 \sim 5$.

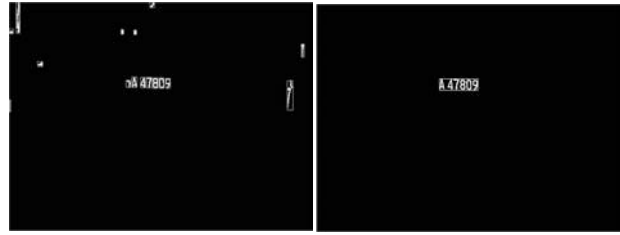


图5 构造最近邻链

Fig. 5 Construction of nearest neighbor chains

对于二值图像中的所有连通体, 在其右侧的一定角度和距离的范围内, 寻找高度和宽度都比较接近的连通体. 如果有一个这样的连通体, 则认为这两个连通体构成一个最近邻对; 如果有多个这样的连通体, 则取距离最近的连通体构成最近邻对; 如果没有这样的连通体存在, 则当前连通体划分为干扰连通体, 并将其从二值图像中删除. 背景区域连续出现多个高度和宽度都相近的连通体的概率比较低, 因而它可以消除大部分背景干扰.

对于一个包含 K 个连通体的字串 $[C_1, C_2, \dots, C_K]$, 如果 C_{i+1} ($i = 1, 2, \dots, K-1$) 是 C_i 的最近邻连通体, 则称这 K 个连通体组成一个长度为 K 的最近邻链. 例如, 三个最近邻对 $[C_i, C_j]$ 、 $[C_j, C_k]$ 和 $[C_k, C_l]$ 可以构成一个包含 4 个连通体最近邻链 $[C_i, C_j, C_k, C_l]$. 最短的最近邻链实际上是一个只包含两个连通体的最近邻对. 本文用 S 表示长度为 K 的最近邻链, 其平均高度 \bar{h} 和平均宽度 \bar{w} 分别可以表示为

$$\bar{h} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K h_i \quad (5)$$

$$\bar{w} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K w_i \quad (6)$$

最近邻链的平均高度和宽度为车牌验证和字符分割提供比较重要的参考, 使之能够较好地适应不同尺寸的车牌区域. 另一方面, 由于噪声、铆钉、锈迹、泥点等因素的影响, 部分车牌字符的连通体可能会产生粘连或断裂, 并被误认为干扰连通体而从二值图像中删除. 因此, 所有的最近邻链都有可能对应一个候选车牌区域. 考虑到几何失真的影响, 可选取一个稍大的区域以覆盖整个车牌图像.

4 车牌区域验证

由于车牌字符的宽度和高度相等, 并且字符宽度与字符距离的比例保持不变, 而非车牌区域通常不具备这样的特征. 根据车牌区域的水平和竖直投影特性, 本文设计了两组不同长度的模板, 分别对水平和竖直投影曲线进行匹配, 根据匹配程度的大小来验证候选车牌区域的有效性, 并同时估计所有车牌字符的边界.

4.1 几何校正

车牌图像都存在不同程度的几何失真, 其关键在于旋转校正和剪切校正. 由于车牌区域存在较长的边框, 本文对候选车牌区域进行边缘检测, 然后利用 Radon 变换求解车牌的旋转角度. 图 6(a) 的车牌边框存在比较严重的腐蚀, 图 6(b)

是对应的边缘结果, 图 6(c) 是旋转校正后的图像.

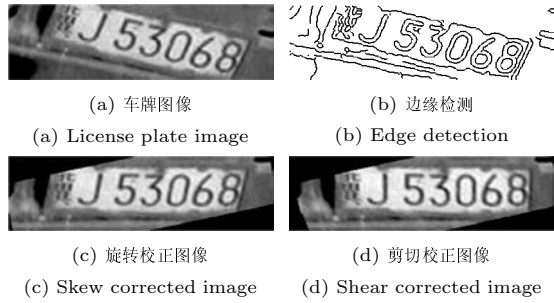


图 6 车牌图像的旋转和剪切校正
Fig. 6 Skew and shear correction of license plate images

车牌图像还存在一定程度的剪切失真, 本文在一定剪切角度的范围内, 对边缘图像沿垂直方向上进行投影, 并计算投影曲线的方差, 根据峰值位置可估计剪切角度. 图 6(c) 中的车牌图像经过剪切校正后的结果如图 6(d) 所示, 可以看出, 经过旋转和剪切校正后, 能够有效地恢复出车牌图像的正向平行视图.

4.2 水平投影匹配

为了消除光照不均匀的影响, 本文对车牌图像的水平梯度图像进行投影. 图 7(a) 是图 6(d) 的水平梯度图像, 能够较好地突出车牌字符的边缘特征, 避免车牌上下边框和其他非字符区域的干扰. 对水平梯度图像沿水平方向投影后, 字符区域通常有比较大的投影值, 并且在上下边界附近的投影值存在剧烈的变化, 如图 7(b) 所示.

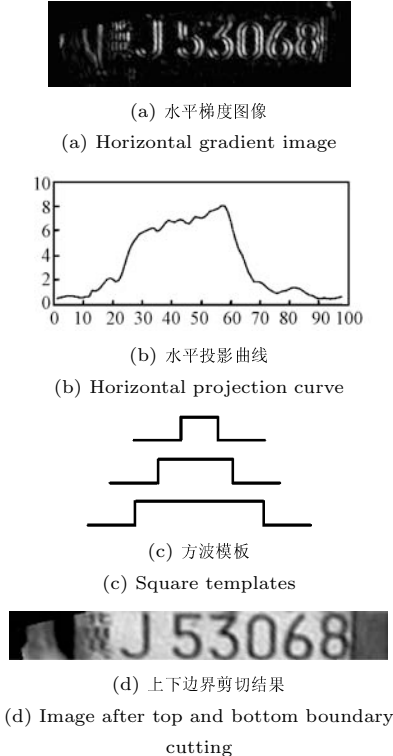


图 7 车牌图像的水平投影分析
Fig. 7 Horizontal projection analysis of license plate image

为了估计车牌字符的上下边界, 本文采用一组方波模板对投影曲线进行匹配. 由于事先无法知道字符高度的精确大

小, 因此, 可在最近邻链的平均高度附近的范围内设计多个不同大小的方波模板, 如图 7(c) 所示. 本文采用归一化相关系数作为模板和投影曲线的匹配函数, 当方波的宽度与车牌字符的高度相等时, 该方波模板与投影曲线的相关程度达到最大. 为此, 根据最大相关系数所对应的方波宽度和匹配位置, 即可估计所有车牌字符的上下边界, 经过上下边界剪切的结果如图 7(d) 所示.

4.3 竖直投影匹配

根据中国大陆车牌的制定规则, 标准车牌 (军车、警车、教练车、领事馆车除外) 有 7 个字符. 为此, 本文根据字符宽度和间隔设计一组由 7 个方波组成的模板, 通过对竖直投影进行模板匹配来确定字符宽度和左右边界, 并且根据竖直投影匹配的最大相关系数来验证车牌区域的有效性.

本文对车牌图像的水平梯度沿垂直方向进行投影, 图 7(d) 的竖直梯度图像如图 8(a) 所示, 图 8(b) 是图 8(a) 沿垂直方向进行投影的结果. 可以看出, 投影曲线的峰值区域通常对应车牌字符, 谷值则对应字符之间的空白区域. 令 w_1 表示方波的宽度, w_2 表示第 2、3 个字符之间的间隔宽度, w_3 表示其他字符间隔的宽度, 三者的比例关系为 45:34:12. 由于事先无法知道车牌字符的精确宽度, 本文在最近邻链的平均宽度附近的局部范围内, 设计一组不同长度的方波模板, 如图 8(c) 所示. 与水平投影匹配方法类似, 当模板中的方波宽度与车牌字符的宽度相等时, 该方波模板与竖直投影曲线的相关性达到最大. 为此, 根据最大相关系数所对应的方波宽度和匹配位置, 即可估计出所有车牌字符的左右边界, 如图 8(d) 所示.

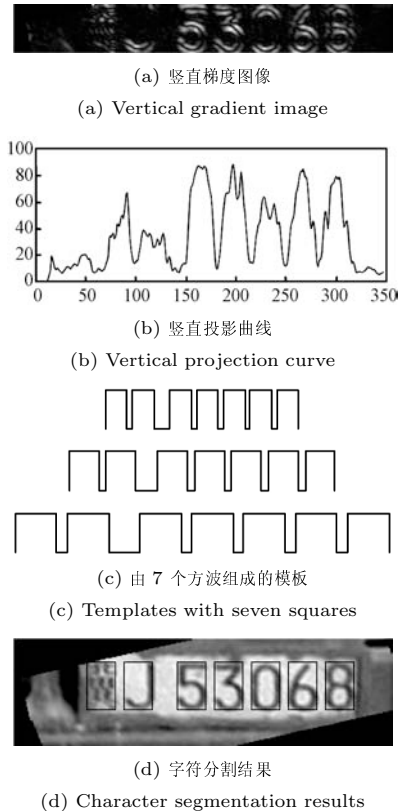


图 8 车牌图像的竖直投影分析
Fig. 8 Vertical projection analysis of license plate image

对于军车、警车、教练车、领事馆车等类型的车牌图像,根据其车牌字符的个数、宽度及相邻字符之间的距离,可以分别设计出与图 8(c) 类似的方波模板.在竖直投影匹配阶段,可以用各种车牌类型对应的方波模板分别对竖直投影曲线进行匹配,找出最大相关系数所对应的模板类型,即可判别车牌图像的类型,并同时求取所有车牌字符的左右边界.

变长模板匹配方法综合利用了所有车牌字符的投影特征,它能够同时确定车牌字符的宽度和位置,因而具有较强的稳定性和抗干扰能力,如锈迹、污迹、噪声、铆钉等.另一方面,由于车牌的非线性变形、几何校正误差、方波模板长度的舍入误差等因素的影响,某些字符边界可能会存在微小的误差,为此,可在较小的局部范围内对字符边界进行微调,即可得到所有车牌字符的最佳位置.

4.4 候选车牌验证

在竖直投影分析中,模板形状的设计与车牌字符的排列规则有密切关系.对于车牌图像而言,通常其竖直投影分析的最大相关系数都在 0.5~0.8 之间;对于非车牌的背景区域,几乎不可能出现与竖直模板形状类似的竖直投影曲线,与之相对应的最大相关系数通常在 0.2~0.4 之间.本文将竖直投影的最大相关系数作为车牌区域的验证系数,图 5(b) 的车牌验证系数为 0.623.

在只考虑标准车牌的情况下,对图 9 的两幅候选车牌图像用图 8(c) 中的方波模板进行匹配,其验证系数分别为 0.272 和 0.338,可以直接将其判定为非车牌区域.由此可见,投影匹配方法不但可以验证车牌区域的有效性,还能够求解所有车牌字符的边界,从而提高了车牌识别系统的整体性能.此外,还可以结合边缘、颜色、纹理等特征进一步验证车牌区域的有效性.



图 9 候选车牌图像的验证

Fig. 9 Verification of candidate license plate image

5 实验结果

对于质量较好的车牌图像,现有的许多车牌检测算法都能够取得较好的效果.为了测试最近邻链方法的检测效果,本文特意从不同场景中挑选了 500 幅存在各种干扰的图像进行测试,其中,车牌字符的线段宽度变化范围为 2~9 个像素,字符高宽比为 0.9~2.2. 这些测试图像包括了影响车牌检测效果的几种主要因素,如车牌尺寸变化、透视失真、光照变化、复杂背景、车牌质量退化等.其中,几幅具有代表性的车牌图像及其检测结果分别如图 10~15 所示.

图 10 第 1 行的两幅图像是在正常光照条件下拍摄的煤矿监控图像,左右两幅车牌图像大小分别为 42 像素×128 像素和 58 像素×250 像素,其中,右边图像的车牌区域存在一定程度的透视失真和锈迹污染.图 10 的第 2 行和第 3 行分别是阈值分割的二值图像和最近邻链检测结果,第 4 行是车牌检测与字符分割结果.其中,左右两幅车牌图像的验证系数分别为 0.583 与 0.546.从图 10 的实验过程与结果可以看出,最近邻链方法没有受到车牌图像的尺度变化和透视失真影响.

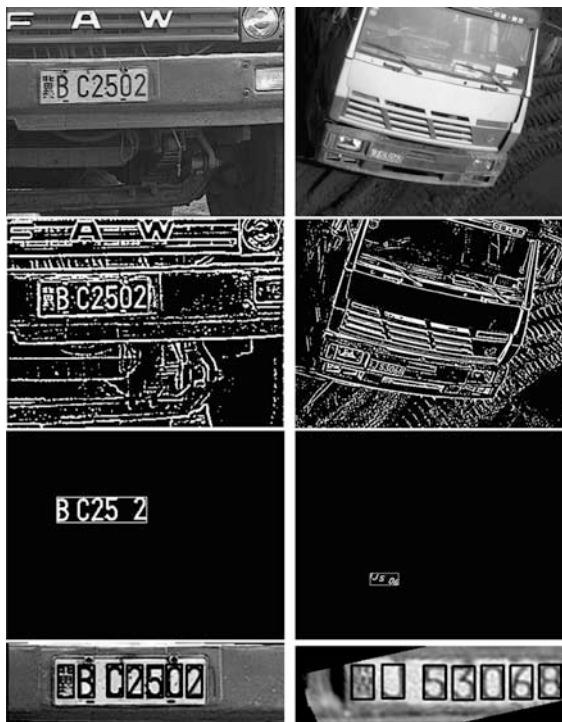


图 10 不同尺寸和透视失真的车牌图像

Fig. 10 License plate image with different scales and perspective distortions

光照不均匀对车牌检测的影响主要体现在图像分割和车牌验证步骤.图 11 左边图像的车牌区域存在相对比较缓慢的光照变化情况,右边图像是一幅国外车牌图像,它具有较强的明暗对比度变化.从实验结果可以看出,本文的阈值分割方法可以较好地处理各种光照不均匀的情况,能够分割出比较完整的车牌字符.此外,只要车牌字符之间的几何特征相似,最近邻链方法可以应用于不同国家的车牌图像的检测.其中,左边车牌图像的验证系数为 0.600;由于无法知道国外车牌的几何参数,右边图像本文没有进行车牌验证和字符分割步骤.

背景干扰容易使非车牌区域误检测为车牌区域.图 12 的 2 幅图像中的草坪和树枝等区域存在比较丰富的边缘,这些背景干扰的连通体性质通常与车牌字符连通体的性质相差较大,因此,可以通过连通体分析的方法消除大部分背景干扰.在有些区域会出现若干个与车牌字符类似的连通体区域,并能够构成最近邻链.但这些区域的字符排列规则与车牌字符有较大区别,因此,通过车牌验证步骤可以较好地消除这些背景干扰.这两幅图像中背景干扰产生的候选区域的验证系数分别为 0.369 和 0.338,而车牌区域的验证系数分别为 0.552 和 0.585.

车牌图像质量退化主要包括散焦和运动模糊、锈迹、污迹、噪声、分辨率较低、字迹褪色等因素,如图 13 所示.对于本文的车牌检测算法而言,质量退化对最近邻链方法的影响主要在图像分割步骤.其中,图 13 的两幅图像的退化程度相对较轻,虽然字符的分割结果存在较多的断裂,但仍有部分分割完整的字符或者主体笔画部分能够保持完整,最近邻链方法可以较好地检测到车牌区域,左右两幅车牌图像的验证系数分别为 0.575 和 0.513.对于退化程度比较高、车牌字符连通体破碎程度较大的情况,则无法检测出车牌区域,如

图 14 所示.



图 11 光照不均匀的车牌图像

Fig. 11 License plate images with non-uniform illumination



图 12 复杂背景的车牌图像

Fig. 12 License plate images with complex background

图 15 是一幅夜间在交通路口抓拍的高清晰图像, 其大小为 2000 像素 × 3744 像素, 图像的出租车部分存在类似于车牌区域的文字. 可以看出, 利用最近邻链方法可检测到所有

的 5 幅车牌图像, 其中, 前 4 幅分辨率较高的车牌图像的验证系数依次为 0.602、0.564、0.545、0.524, 第 5 幅车牌图像能够检测出车牌区域, 但由于分辨率太低, 并存在散焦模糊, 导致其字符分割出现错误, 其最大相关系数仅为 0.309, 被判定为非车牌区域. 由此可见, 最近邻链方法具有较强的抗背景干扰能力, 能够很容易地应用于多车牌图像检测的问题.



图 13 中等质量退化的车牌图像

Fig. 13 License plate images with moderate quality degradation



图 14 质量退化比较严重的车牌图像

Fig. 14 License plate images with serious quality degradation

实验采用的计算机硬件环境为: Intel Core i5 560 M 处理器, 主频为 2.67 GHz, 内存为 2 GB; 软件环境为: Windows 7, Visual C++ 2010. 最近邻链检测算法的理论相对比较简单, 不涉及太多复杂的运算. 对于 320 像素 × 240 像素的图像, 平均每幅图像的处理时间为 27 ms; 而 640 像素 × 480 像素的图像, 平均每幅图像的处理时间为 189 ms. 通常情况下, 分辨率较高的图像包含的背景区域较多, 而复杂背景的车牌图像有较多的干扰连通体, 其处理速度要明显低于简单背景的车牌图像.



图 15 多车牌图像的检测结果

Fig. 15 Detection results of multiple license plate images

现有的多数车牌检测算法都有相应的适用环境,对不同的测试图像集,其检测效果可能会有比较明显的差异.另一方面,目前还没有一个国际公认的比较好的测试图像库,并且各种检测方法的实现细节难以完全复现,这也给不同车牌检测方法进行客观的对比实验带来了困难.事实上,本文在车牌检测算法的前期研究中,对边缘和颜色特征同样进行了大量的实验,发现边缘特征主要受背景干扰和尺度变化的影响较大,而颜色特征则主要受光照的变化影响较大.在本文所采用的图像库中,边缘类方法的检测成功率为95.5%,误检率为3.8%;颜色类方法的检测成功率为86.4%,误检率为6.2%.为此,本文在构建车牌识别系统的过程中没有采用边缘和颜色特征,而是利用阈值分割和最近邻连通体分析方法检测候选车牌区域,并采用模板匹配方法验证候选车牌区域的有效性,该方法的检测成功率为98.4%,误检率为0.4%.此外,相对于其他检测方法,本文提出的最近邻链方法还具有以下优点:1)能够同时给出所有车牌字符的切分位置;2)能够直接处理存在多个车牌的图像;3)经过简单扩展后,能够直接应用于其他国家或地区车牌检测问题.

从以上实验可以看出,最近邻链方法有效地利用了车牌字符的几何特征和空间的排列规则,能够较好地处理车牌大小变化、透视失真、光照变化、复杂背景、质量退化等因素造成的不利影响,并给出精确的车牌字符分割结果.但对于退化程度比较大的车牌图像,该方法难以检测到正确的车牌区域.在500幅实验图像中,有8幅图像因车牌区域太小和退化严重而导致检测失败.另一方面,如果能够结合颜色、纹理、边缘等特征来验证车牌的有效性,最近邻链方法能够取得更好的检测效果.

6 结论

本文提出了一种基于最近邻链的车牌检测算法,该方法首先利用自适应阈值算法进行图像分割;然后,根据车牌字符的几何特征和排列规则构造最近邻链,从而检测所有可能的车牌区域;最后变长模板匹配方法对车牌的有效性进行验证,并给出精确的字符分割结果,最近邻链方法还具有较好的可扩展性,并且容易与其他车牌特征较好地结合,如颜色、纹理、边缘等.实验表明,该方法可以较好地处理车牌大小变化、透视失真、光照变化、背景干扰以及图像质量退化等因素的影响,具有较好的检测效果和鲁棒性.

References

- 1 Anagnostopoulos C E, Anagnostopoulos I E, Psoroulas I D, Loumos V, Kayafas E. License plate recognition from still images and video sequences: a survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2008, **9**(3): 377–391
- 2 Jiao J B, Ye Q X, Huang Q M. A configurable method for multi-style license plate recognition. *Pattern Recognition*, 2009, **42**(3): 358–369
- 3 Bai H L, Liu C P. A hybrid license plate extraction method based on edge statistics and morphology. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*. Cambridge, UK: IEEE, 2004. 831–834
- 4 Zheng D, Zhao Y, Wang J. An efficient method of license plate location. *Pattern Recognition Letters*, 2005, **26**(15): 2431–2438
- 5 Shapiro V, Gluhchev G, Dimov D. Towards a multinational car license plate recognition system. *Machine Vision and Applications*, 2006, **17**(3): 173–183
- 6 Shi X, Zhao W, Shen Y. Automatic license plate recognition system based on color image processing. In: *Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005. 1159–1168
- 7 Wang F, Man L, Wang B P, Xiao Y J, Pan W, Lu X C. Fuzzy-based algorithm for color recognition of license plates. *Pattern Recognition Letters*, 2008, **29**(7): 1007–1020
- 8 Jia W J, Zhang H F, He X J. Region-based license plate detection. *Journal of Network and Computer Applications*, 2007, **30**(4): 1324–1333
- 9 Chang S L, Chen L S, Chung Y C, Chen S W. Automatic license plate recognition. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2004, **5**(1): 42–53
- 10 Kim K I, Jung K, Kim J H. Color texture-based object detection: an application to license plate localization. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Pattern Recognition with Support Vector Machines*. London, UK: Springer-Verlag, 2002. 293–309

- 11 Cui D, Gu D B, Cai H, Sun J X. License plate detection algorithm based on gentle AdaBoost algorithm with a cascade structure. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Guilin, China: IEEE, 2009. 1962–1966
- 12 Arth C, Limberger F, Bischof L. Real-time license plate recognition on an embedded DSP-platform. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minneapolis, USA: IEEE, 2007. 1–8
- 13 Zhang H, Jia W, He X, Wu Q. Learning-based license plate detection using global and local features. In: Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition. Hong Kong, China: IEEE, 2006. 1102–1105
- 14 Kahraman F, Kurt B, Gokmen M. License plate character segmentation based on the Gabor transform and vector quantization. In: Proceedings of the 18th International Symposium on Computer and Information Sciences. Antalya, Turkey: Springer, 2003. 381–388
- 15 Abolghasemi V, Ahmadyfard A. An edge-based color-aided method for license plate detection. *Image and Vision Computing*, 2009, **27**(8): 1134–1142
- 16 Liu Wan-Jun, Jiang Qing-Ling, Zhang Chuang. A novel approach for vehicle license plate locating based on CNN color image edge detection. *Acta Automatica Sinica*, 2009, **35**(12): 1503–1512
(刘万军, 姜庆玲, 张闯. 基于 CNN 彩色图像边缘检测的车牌定位方法. *自动化学报*, 2009, **35**(12): 1503–1512)
- 17 Niblack W. *An Introduction to Digital Image Processing*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986. 115–116
- 18 Hashizume A, Yeh P S, Rosenfeld A. A method of detecting the orientation of aligned components. *Pattern Recognition Letters*, 1986, **4**: 125–132
- 19 Lu Y, Tan C L. A nearest-neighbor chain based approach to skew estimation in document images. *Pattern Recognition Letters*, 2003, **24**(14): 2315–2323

苗立刚 东北大学秦皇岛分校副教授. 主要研究方向为图像处理和模式识别. E-mail: ligangmiao@yahoo.com.cn
(MIAO Li-Gang Associate professor in the Department of Electronics Information, Northeastern University at Qinhuangdao. His research interest covers image processing and pattern recognition.)
