基于 Tophat 变换和文字纹理的车牌定位算法

朱成军 蒲菊华 高 磊 熊 璋

(北京航空航天大学 计算机学院，北京 100083)

摘 要：针对车牌自动识别系统的应用场景越来越广泛，提出一种新的基于 Tophat 滤波和文字纹理特征的车牌定位算法. 首先，利用形态学 Tophat 滤波抑制背景、消除不均匀光照，然后对图像进行二值化操作和连通域分析；其次，扫描图像得到区域的垂直投影图(VPM，Vertical Projection Map)，对 VPM 进行离散余弦变换(DCT，Discrete Cosine Transformation)，利用中低频描绘子重构 VPM，重构后的 VPM 更为平滑，不受噪声影响，其波峰波谷数量、统计量更能描绘区域纹理的本质属性；最后，结合部分中低频描绘子和统计量组成描述区域纹理的模式向量，输入支持向量机归类. 实验表明，算法适用于自然场景中的车牌定位问题，具有较强的适应性.

关 键 词：车牌定位；形态学；纹理；支持向量机

中图分类号：TP 391

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)05-0541-05

License plate location based on Tophat transformation and text texture

Zhu Chengjun Pu Juhua Gao Lei Xiong Zhang

(School of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Because the scene where license plate recognition system is located in is more and more complicated, license plate location method should have better performance. A new license plate location method based on Tophat transformation and text texture was introduced. First, Tophat transformation was applied to restrain background and eliminate variant illumination of image, and then binary operator and connected component analysis were applied. Second, the VPM(vertical projection map) of image was transferred to frequency space by DCT(discrete cosine transformation). The low frequency coefficients were used to reconstruct VPM. The reconstructed VPM was smoother, so region texture could be described essentially the wave crests and troughs number, statistic of reconstructed VPM. Last, pattern vectors were made up of low frequency component of frequency descriptors and statistic of reconstructed VPM, and were classified into license plate regions and non-license plate regions by SVM(support vector machine). Experimental results show that the method has good performance even when image has low quality and license plate is located in complicated natural scene.

Key words: license plate; morphology; textures; support vector machine

机动车牌号(简称车牌)定位和识别可广泛应用于高速公路收费站、停车场入口、机关大门等场合，实现车辆的自动监控和管理，节约了人力和物力. 其中车牌定位是车牌识别的关键步骤，针对车牌定位，当前的研究方法主要有：①利用车牌的彩色边缘分布特征[1]；②利用车牌和文字颜色组合特点[2]；③利用车牌边框的面积、长宽比[3]；④利用车牌字符的角点信息[4]；⑤利用车牌字符笔画左右边缘之间的互相关矢量图的结构特点[5]；⑥利用车牌纹理特征[6]. 现有的车牌定位方法在光

收稿日期：2007-04-18

基金项目：航空支撑科技基金资助项目(05E551010)

作者简介：朱成军(1978—)，男，贵州遵义人，博士生，chengjun. zhu@gmail. com.

照和天气条件理想的条件下,针对车头车尾等部位,取得了很好的成果,定位准确率能达到98%以上.

然而车牌识别系统的应用越来越广泛,采集到的车牌图像场景越来越复杂、天气条件的变化程度越来越大,从而会得到不同质量的车牌图像.在车牌的颜色信息不明显和边缘信息受到干扰时,现有的方法[1-4,6]性能不是很理想,而文献[5]的方法则要求车牌图像具有时域信息.

从人脑认知的原理可知,即使在恶劣天气条件下,人眼可以识别车牌区域,在于人脑可以根据车牌上的文字信息做出判断,所以车牌号码和背景的对比度、车牌号码的纹理相对而言是更为可靠的特征.因此,为了使算法具有更好的适应性,关键在于:①增强车牌文字和背景的对比度、抑制背景目标;②寻找一组能描绘车牌区域文字纹理特征的模式向量.根据以上要求,提出一种利用灰度形态学抑制背景对象、结合车牌区域的频域描绘子和纹理统计量描述车牌特征,利用支持向量机定位车牌区域的算法.该方法在低清晰度和复杂场景的车牌图像中,取得了很好的效果.

1 车牌定位算法

算法包括图像预处理和扫描定位两部分,其中图像预处理包括Tophat变换、二值化和连通域滤波,扫描定位包括模式特征向量计算和分类器归类.具体算法流程如图1所示.

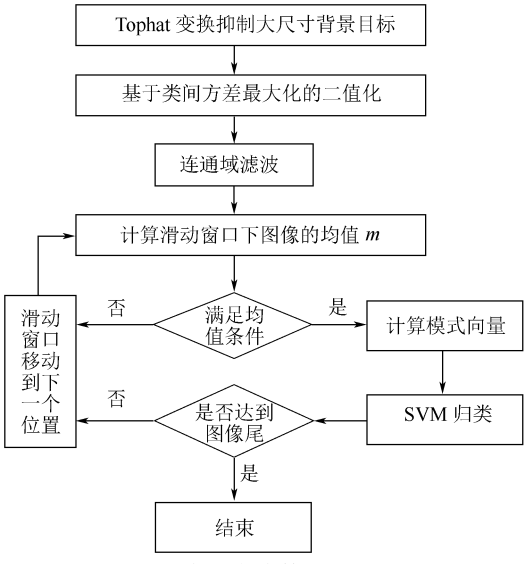


图1 车牌定位算法流程图

1.1 图像预处理

1.1.1 基于Tophat变换的背景抑制

Tophat算子是定义在灰度图像上的一种形态学算子.设$f(x,y)$是灰度图像,$\boldsymbol{b}$为结构算子,则$\boldsymbol{b}$对$f(x,y)$的开运算定义为

$$[F\circ\boldsymbol{b}](x,y)=[(f\ominus\boldsymbol{b})\oplus\boldsymbol{b}](x,y) \quad (1)$$

其中$\oplus$和$\ominus$分别为膨胀和腐蚀算子.Tophat变换定义为

$$T_{f,\boldsymbol{b}}(x,y)=[f-f\circ\boldsymbol{b}](x,y) \quad (2)$$

在算法中,对车牌图像进行Tophat滤波是关键的一步.之所以采用Tophat来增强复杂背景中的车牌区域,主要是由于Tophat变换等效于原车牌图像减去原车牌图像与结构算子$\boldsymbol{b}$开运算后得到的图像.选用合适的结构算子(略大于车牌号码尺寸)$\boldsymbol{b}$对原车牌图像进行开运算,就可以得到尺寸大于结构元素的背景,再利用原图像减去开运算后的结果,就可以去除背景,增强车牌区域.实验结果表明,$\boldsymbol{b}$选取大小为15的水平线性结构算子,即$\boldsymbol{b}=[1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]$,可以得到较为理想的结果.

1.1.2 二值化和连通域去噪

原车牌图像经过Tophat滤波后,已经具有简单、均匀的背景和前景,在这种情况下,基于类间方差最大化的图像二值化方法可以得到很好的二值化结果.

车牌的尺寸在一定范围,根据这个先验知识,对图像中的每一个连通域R_i,计算其前景像素数A_i和最小外接矩形B_i的高宽(h_i,w_i),根据规则1和规则2,可以近一步消除非车牌目标:

规则1 设定阈值$T_a^{\max}$和$T_a^{\min}$,如果$A_i>T_a^{\max}$或$A_i<T_a^{\min}$,消去连通域R_i.

规则2 设定阈值$T_h^{\max}$和$T_w^{\max}$,如果$h_i>T_h^{\max}$或$w_i>T_w^{\max}$,消去连通域R_i.

如图2所示,图2b是原图2a的Tophat滤波、连通域分析后的结果,原车牌图像中亮度不均匀和大尺寸的背景对象已经被消除掉,剩下较为简单的背景,车牌区域的特征被明显加强.

1.2 车牌区域定位

1.2.1 纹理特征向量的提取

车牌号码具有一定的笔画结构和分布规律.如图3a所示二值区域,白色像素是文字的笔画部分,相对于整个车牌区域,亮度百分比应该在一个合理的范围内,不会太高,也不会太低.同时,文字像素的分布以字符为单位,具有其独特特征.垂直投影图(VPM,Vertical Projection Map)正是这样一个理想的工具,不但可以描述区域的整体特性即亮度特征,其波形还表示了区域内部的纹理分布状况.现有的基于VPM的车牌定位算法中,比如文献[3]和文献[6]根据VPM计算波峰波谷



a　远景车牌图像



b　Tophat 滤波、二值化和连通域滤波后的结果

图 2　预处理过程实例

数、纹理统计量来判别当前区域是否车牌区域. 然而,通过图 3b 可以看出,当存在噪声的的时候,效果并不是很理想. 本步骤的关键在于如何消除噪声的影响,采取的方法如下:

将 VPM 表示为坐标对$(0,y_0),\cdots,(1,y_1),(K-1,y_{K-1})$,$K$ 为区域宽度,则 VPM 本身也可以表示为一个序列 $S(k)=\{y_k\}$,$S(k)$的离散余弦变换为

$$B(u)=\alpha_u\sum_{k=0}^{K-1}S(k)\cos\frac{\pi(2k+1)u}{2K}$$
$$0\leqslant u\leqslant K-1 \tag{3}$$

$$\alpha_u=\begin{cases}1/\sqrt{K} & u=1\\ \sqrt{2/K} & 1\leqslant u\leqslant K-1\end{cases} \tag{4}$$

其中,$B(u)$称为 $S(k)$的频域描绘子. 这些系数的离散余弦变换可逆,即

$$S(k)=\sum_{u=0}^{K-1}\alpha_u B(u)\cos\frac{\pi(2k+1)u}{2K}$$
$$0\leqslant k\leqslant K-1 \tag{5}$$

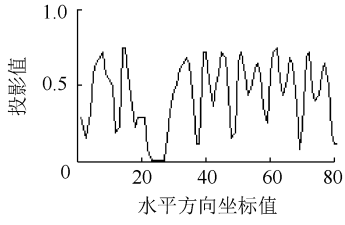
假定仅使用前 P 个系数,而不是使用所有的系数,相当于在上式中令 $B(u)=0,u>P-1$,结果得到 $S(k)$的近似如下:

$$\hat{S}(k)=\sum_{u=0}^{P-1}\alpha_u B(u)\cos\frac{\pi(2k+1)u}{2K}$$
$$0\leqslant k\leqslant K-1 \tag{6}$$

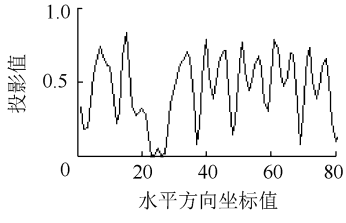
k 的范围仍然是 $0,1,\cdots,K-1$. 换言之,$\hat{S}(k)$含有相同数量的点,但在每个点的重构中却用不到如此多的系数项.



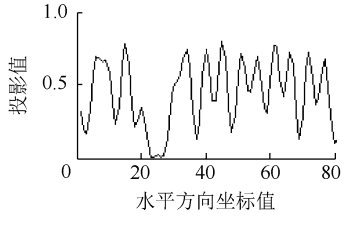
a　预处理后车牌区域



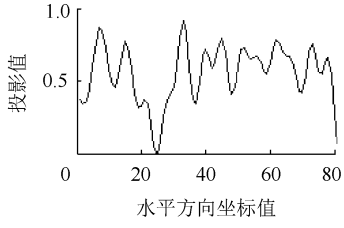
b　垂直投影图



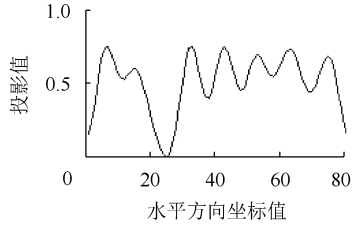
c　50 个频域描绘子重构后的投影图



d　40 个频域描绘子重构后的投影图



e　30 个频域描绘子重构后的投影图



f　20 个频域描绘子重构后的投影图

图 3　车牌区域投影图及其重构的投影图

由于高频分量决定细节部分,而低频分量决定总体形状,所以可以仅使用前 P 个频域描绘子恢复 $S(k)$. 图 3c～图 3f 分别采用前 50,40,30,20 个频域描绘子重构的 RVPM,这些描绘子的个数

相当于原有 80 个描绘子的 63%，50%，38%，25%. 相对于图 3b，图 3f 排除了噪声的干扰，其波形更能反映图 3a 的本质特征.

根据图 3f 所示，重构的 RVPM 可以采用如下几个统计量进行描述：

1) 均值 m，平均投影值度量：

$$m=\frac{1}{K}\sum_{k=0}^{K-1}\hat{S}(k) \tag{7}$$

2) 标准偏差 σ^2，平均偏移度度量：

$$\sigma=\sqrt{\frac{1}{K-1}\sum_{k=0}^{K-1}(\hat{S}(k)-m)^2} \tag{8}$$

3) 平滑度 R，投影值的相对平滑度度量，如果投影图呈直线，$R=0$，如果投影值相对于均值 m 有较大的偏移，R 趋于 1.

$$R=1-1/(1+\sigma^2) \tag{9}$$

4) 三阶矩 μ_3，度量投影值的分布状况，若投影值在水平方向是对称的，则 $\mu_3=0$，若 $\mu_3>0$，则投影值向右偏斜，若 $\mu_3<0$，投影值向左偏斜.

$$\mu_3=\frac{\sum_{k=0}^{K-1}\left(k-\frac{K}{2}\right)^3\hat{S}(k)}{(K-1)^3} \tag{10}$$

结合 VPM 的中低频描绘子，模式向量定义为

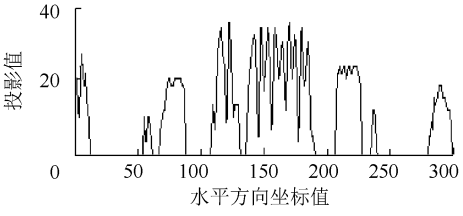
$$\bar{\boldsymbol{x}}=\{\hat{S}(0),\hat{S}(1),\cdots,\hat{S}(19),m,\sigma^2,R,\mu_3\}$$

1.2.2 车牌区域定位过程

采用 2 个矩形窗口扫描预处理后的车牌图像，如图 4c 所示，大的矩形窗口称为 window，小的矩形窗口称为 ternel，综合精度和计算复杂度的考虑，滑动步长以 4 个像素为单位.



a 一个 window 覆盖的图像区域



b 图 a 的 VPM



c window 和 kernel 窗口

图 4 车牌区域定位过程示意图

具体步骤如下：

1) 计算当前 window 的 VPM；

2) 当前 kernel 所覆盖 VPM 记为 VPM'，计算 RVPM1 的均值 m，如果 $m>T_{max}$ 或者 $m<T_{min}$，kernel 向右移动 4 个像素，重复步骤 2)；否则进入步骤 3)；

3) 计算 RVPM1 的波峰数 W_T 和波谷数 W_B，如果满足 $W_{min}<W_T$，$W_B<W_{max}$，则进一步计算 VPM'的模式向量 $\boldsymbol{x}$，送入 SVM(Support Vector ma Chine)分类器识别；考虑 kernel 并不一定能全部覆盖大尺寸车牌的全部区域，W_{min} 设定为 4，同时，考虑汉字中"川"字等情形，会产生多个波峰波谷，W_{max} 设定为 10；

4) 如果 kernel 没有到达 window 右侧，重复步骤 2)；否则，如果 window 没有到达图像底部，将 window 向下移动 4 个像素，重复步骤 1)；

5) 对 SVM 分类器识别为车牌的结果区域进行合并，得到车牌区域.

2 实验结果

为验证算法的有效性，利用移动电子警察系统采集的 500 幅车牌图像进行实验，图像分辨率是 576×720×24 bit 的彩色图像. 由于移动电子警察系统是配合交警移动执法而开发的，采集的图像具有以下特点：

1) 车辆所处自然环境既有复杂的，也有简单的，车辆在图像中像素比例较小；

2) 一部分图像由于天气和距离的影响，整体质量相对较低，车牌颜色信息丢失较为严重；

3) 车牌大小不同. 该测试图像集合具有一定的代表性，能较好检验本算法的有效性和抗噪能力.

具体的测试过程如下：选取 200 幅车牌图像作为训练数据训练 SVM 分类器，300 幅车牌图像作为测试数据. 图 5a 是一幅很具有代表性的车牌图像，车牌具有较小尺寸，背景较为复杂，同时车牌颜色信息丢失较为严重. 文献[2]基于车牌的颜色信息，并不适用于图 5a，文献[3]和文献[6]基于车牌号的 VPM，但是没对 VPM 进行平滑，容易受噪声影响. 本文的算法不要求车牌图像的颜色信息，只要车牌号码和背景具有一定的对比度，通过 Tophat 滤波和 VPM 重构，就能适应简单和复杂的背景.

最终的测试结果如下：9 幅车牌图像中没有检测到车牌区域，5 幅图像中检测出多于一个车牌区域. 分析检测失败的车牌图像，在于摄像机调焦的原因，车牌号码比较模糊，与车牌底色的对比度达不到识别要求，而多个检测结果的出现，在于背景中出现了和车牌号码类似的文字. 最终，在所选的测试数据集中，车牌定位的准确率达到了

97%.



a　复杂背景下的车牌图像原图



b　车牌定位结果

图 5　车牌定位结果示意图

3　结 束 语

针对车牌识别系统的应用场景越来越广泛,本文提出了一种新的基于 Tophat 滤波和车牌号码纹理特征定位车牌区域的算法.其特点在于利用了车牌号码和车牌背景的对比度特征,经过 Tophat 变换抑制背景后,使用频域描绘子重构区域的 VPM,重构后的 RVPM 对于描绘车牌区域的纹理特征,具有更强的鲁棒性.实验结果表明,对于自然场景下的车牌定位,该算法具有较好的性能.如果能进一步结合车辆识别的相关进展,将能进一步降低本算法的误检率.

参考文献(References)

[1] Xiong Jun, Du Sidan, Gao Duntang. Locating car license plate under various illumination conditions using genetic algorithm[C]// Yuan Baozong, Ruan Qiuqi, Tang Xiaofang. Proceedings of 2004 7th International Conference on Signal Processing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004:2502－2505

[2] 郭捷,施鹏飞.基于颜色和纹理分析的车牌定位方法[J].中国图像图形学报,2002, 7(A):472－476
Guo Jie, Shi Pengfei. Color and texture analysis based vehicle license plate location[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(A):472－476(in Chinese)

[3] 廖明,张金林,甄树新. 一种实用车牌定位算法及实现[J].系统仿真学报, 2005, 17(10):2349－2352
Liao Ming, Zhang Jinlin, Zhen Shuxin. Utilitarian locating plates algorithm designation[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(10): 2349－2352(in Chinese)

[4] 秦钟,徐建闽,史胜利,等.基于字符角点信息的车牌定位方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006,34(4),19－23
Qin Zhong, Xu Jianmin, Shi Shengli, et al. Locating of license plate based on character corner information[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2006, 34(4): 19－23(in Chinese)

[5] 曹晓光,朱风云, Ahmed H. 基于互相关矢量图的车牌定位新算法[J].北京航空航天大学学报, 2004, 30(3): 240－243
Cao Xiaoguang, Zhu Fengyun, Ahmed H. New location algorithm of car license plate using cross-correlation vector map[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004, 30(3): 240－243(in Chinese)

[6] 刘广起,郑晓势,张晓波.基于图像纹理特征提取的车牌定位算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(11): 1420－1423
Liu Guangqi, Zheng Xiaoshi, Zhang Xiaobo. License plate location based on texture characteristic of image[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(11): 1420－1423(in Chinese)

(责任编辑:卢　硕)