

基于神经网络和支持矢量机的多机动车车牌在线检测方法

刘进博¹ 朱新新¹ 伍越¹ 杨凯¹ 陈卫¹

摘要 针对道路交通多车牌识别问题,提出了一种快速鲁棒的多车牌检测识别方法,包括多车牌检测和车牌字符识别两部分:构造 BP (Back-Propagation) 神经网络模型用于颜色识别,结合图像形态学运算方法,筛选候选车牌目标,基于支持向量机从候选车牌目标中判别真正的车牌目标;通过轮廓尺寸判断,并结合车牌尺寸特征,依次分割提取城市代码字符块、省份代码字符块及 5 位机动车编码字符块,最后基于 BP 神经网络识别字符块内容。基于上述原理,开发了鲁棒的多机动车车牌自动检测识别系统,并在真实场景中进行了实验测试,结果表明:1) 车辆在正常速度行驶条件下,系统依然可以保证 90% 以上的车牌检测识别正确率;2) 系统可实现同时多车牌检测识别;3) 文中实验硬件配置下,系统单幅图像检测识别平均时间低于 130 ms,处理频率约 8 Hz。

关键词 多车牌检测识别, BP 神经网络, 支持向量机, 颜色识别, 字符分割

引用格式 刘进博, 朱新新, 伍越, 杨凯, 陈卫. 基于神经网络和支持矢量机的多机动车车牌在线检测方法. 自动化学报, 2021, 47(2): 316–326

DOI 10.16383/j.aas.c180753

An On-line Method for Multi-license Plates Recognition Based on Neural Network and Support Vector Machine

LIU Jin-Bo¹ ZHU Xin-Xin¹ WU Yue¹ YANG Kai¹ CHEN Wei¹

Abstract Aiming at the problem of multi-license plate recognition, a fast and robust method is proposed in this paper, including multi-license plate location and character recognition. A back-propagation neural network is built to identify colors, which combines image morphology to detect candidate plates. Based on support vector machine (SVM), the real license plate can be distinguished from candidate license plates. By combining the judgment of contour size and license plate size feature, the character blocks can be segmented and extracted in turns. Finally, back-propagation neural network is used to recognize all the text blocks. With the above principle, a robust system for automatic multi-license plate recognition is developed and its performance has been validated by experiments. The results indicate that: 1) The system can still get a high correct rate more than 90% under the condition that cars are traveling at normal speed; 2) The system can recognize multi-license plates simultaneously; 3) The average time cost of processing single frame is less than 130 ms and the frequency of the system can reach 8 Hz under the current configuration.

Key words Multi-license plates recognition, back-propagation neural network, support vector machine, color identification, character segment

Citation Liu Jin-Bo, Zhu Xin-Xin, Wu Yue, Yang Kai, Chen Wei. An on-line method for multi-license plates recognition based on neural network and support vector machine. *Acta Automatica Sinica*, 2021, 47(2): 316–326

车牌自动检测识别,即通过对视觉传感器采集到的车辆图像进行分析处理得到车辆车牌信息的过程,作为现代智能交通的重要组成部分,已被广泛应用于交通监控、车辆管理、电子收费等领域^[1–5]。

车牌的检测识别分为车牌检测和车牌识别两部分。车牌检测的任务是从图像中获取车牌目标图像,

现有的车牌检测方法可分为以下几类:1) 基于颜色信息的车牌检测方法,准确率高、较为鲁棒,但易受光照影响^[6–10];2) 基于边缘检测的车牌检测方法,适用范围广,但计算量较大且对车牌目标图像边框的连续性要求较高^[11–15];3) 基于形态学的车牌检测方法,计算量非常大且易受噪声影响,一般不单独使用^[16–21];4) 基于灰度图像纹理特征的车牌检测方法,速度快,但对噪声非常敏感,且由于损失了颜色信息,定位精度受到一定程度的影响^[22–28];5) 基于机器学习的车牌检测方法,耗时长,难以实现在线检测^[29–32]。车牌识别的任务是从检测到的车牌图像中获取车牌内容,按处理过程可分为字符块分割提取和字符识别两部分。字符块分割提取是将字符块从

收稿日期 2018-11-12 录用日期 2019-04-15
Manuscript received November 12, 2018; accepted April 15, 2019

国家自然科学基金 (11802321) 资助
Supported by National Natural Science Foundation of China (11802321)

本文责任编辑 金连文
Recommended by Associate Editor JIN Lian-Wen
1. 中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力学研究所 绵阳 621000
1. Hypervelocity Aerodynamics Institute, China Aerodynamics Research and Development Center, Mianyang 621000

车牌目标图像中逐一分割提取出来, 并按顺序排列, 最常见的字符块分割提取算法包括: 垂直投影法^[33]和连通域搜索法^[34-35]; 字符识别是对已分割提取出的字符块进行内容解析的过程, 目前最为常用的是基于分类器的字符识别算法。

现有的车牌检测识别方法主要是针对停车场、住宅小区、高速收费站等场合的车辆自动注册及收费, 属于单机动车车牌检测识别, 而且背景相对简单, 易于识别. 而对于大视场监控且背景复杂的场景, 单机动车车牌检测识别方法无法直接应用, 比如道路交通监控, 所监控的区域内一般存在多个机动车目标, 背景也相对复杂. 针对上述问题, 本文提出了一种基于 BP 神经网络和支持矢量机的多机动车车牌在线检测识别算法, 主要贡献如下: 1) 构造了用于颜色识别的神经网络模型, 相比基于色调经验值的颜色识别方法, 该方法在准确性、计算效率和鲁棒性方面均有提升; 2) 融合了颜色二值化、图像滤波、形态学运算等多种行之有效的图像预处理算法, 并采用 SVM 对候选车牌目标进行判别, 使得车牌检测准确率有较大幅度的提升; 3) 基于车牌尺寸特征提出了一种新的字符块分割提取策略, 相比垂直投影法和连通域搜索法, 该方法更为鲁棒; 4) 构造了用于字符识别的神经网络模型, 以字符块图像灰度直方图作为输入特征, 保证了字符识别的准确性; 5) 开发了多机动车车牌自动检测识别系统, 并在真实场景中进行了实验测试, 取得了预期效果。

1 多机动车车牌检测技术

多机动车车牌检测技术主要包括图像预处理、候选车牌筛选和基于支持矢量机的车牌判别三部分内容, 以下将逐一进行详细介绍。

1.1 图像预处理

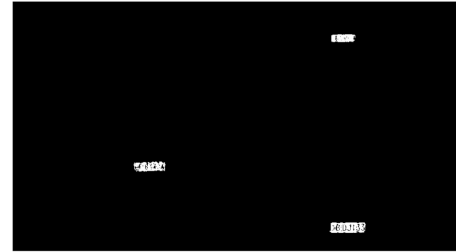
图像预处理主要是指利用颜色二值化、中值滤波、形态学运算等方法, 将类车牌目标从图像中分割出来, 为下一步候选车牌筛选提供初始数据。

1) 颜色二值化

以蓝底白字车牌为例, 如图 1(a) 所示, 对图像进行逐像素扫描: 若当前像素颜色被识别为蓝色, 则将该像素灰度置为 255, 否则将该像素灰度置为 0, 扫描完成后即输出原始图像对应的二值化图像, 如图 1(b) 所示. 文献中常利用色调经验值对像素颜色进行分类, 但实验中发现, 色调易受环境影响, 即不同环境下相同颜色的色调会发生变化, 因此, 利用色调经验值进行颜色识别的方法抗环境干扰能力较弱. 为了提高颜色识别的鲁棒性和准确性, 本文提出了基于 BP 神经网络的颜色识别方法, 原理如图 2 所示。



(a) 原始图像
(a) Original image



(b) 二值化图像
(b) Binary image

图 1 颜色二值化

Fig. 1 Image binarization

图 2 为用于颜色识别的 BP 神经网络示意图, 由输入层、隐藏层和输出层组成:

a) 输入层

输入层由 7 个单元组成: 输入层由 7 个单元组成: x_1 、 x_2 、 x_3 分别表示图像像素对应的 R、G、B 通道的值, x_4 、 x_5 、 x_6 分别表示图像像素对应的 H、S、V 通道的值, x_0 为偏倚单元。

b) 隐藏层

隐藏层由 11 个神经元组成, 其中 z_0 为偏倚单元, z_h ($h = 1, 2, \dots, 9, 10$) 通过如下公式计算得到:

$$z_h = f \left(\sum_{i=1}^6 w_{h,i} x_i + w_{h,0} \right) \quad (1)$$

$w_{h,0}$ 为神经元 z_h 对应的输入层偏倚项 x_0 的权重, $w_{h,i}$ 为神经元 z_h 对应的输入层单元 x_i 的权重, f 为激活函数:

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

c) 输出层

输出层由 5 个单元组成: y_1 表示像素颜色为黑色的概率, y_2 表示像素颜色为白色的概率, y_3 表示像素颜色为蓝色的概率, y_4 表示像素颜色为黄色的概率, y_0 表示像素颜色不属于上述四种颜色的概率. 计算公式如下:

$$y_j = f \left(\sum_{h=1}^{10} v_{j,h} z_h + v_{j,0} \right) \quad (3)$$

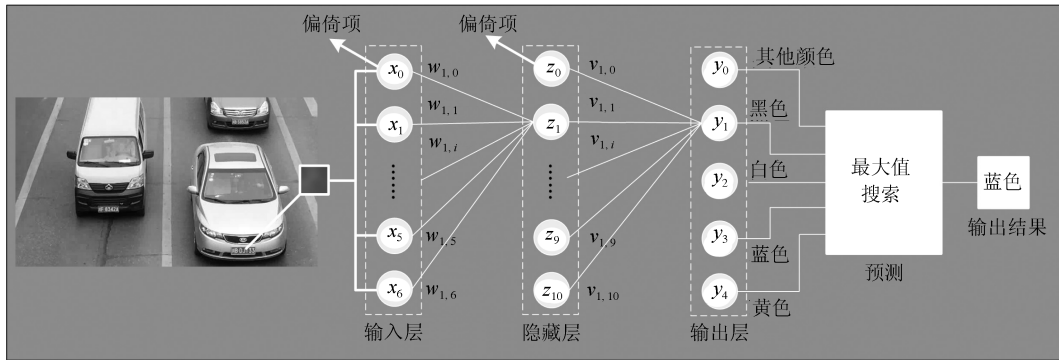


图2 颜色识别原理

Fig. 2 Principle of color identification

$v_{j,0}$ 为输出单元 y_j 对应的神经元 z_0 的权重, $v_{j,h}$ 为输出单元 y_j 对应的神经元 z_h 的权重, f 为激活函数, 与式 (2) 相同.

基于 OpenCV 神经网络函数库, 利用带有标签的训练数据集对上述模型进行训练, 以获取模型参数, 然后利用测试数据集测试模型准确性, 训练参数如表 1 所示.

表 1 BP 神经网络训练参数设置

Table 1 Training parameters of BP neural network

<i>Mat layers</i> (1, 3, CV_32SC1);	
<i>layers.at<int></i> (0) = 7;	//输入层单元数量
<i>layers.at<int></i> (1) = 11;	//隐藏层神经元数量
<i>layers.at<int></i> (2) = 5;	//输出层单元数量
<i>CvANN_MLP_TrainParams</i> <i>params</i> ;	//参数
<i>params.train_method</i> =	//训练方法
<i>CvANN_MLP_TrainParams</i> ::	
<i>BACKPROP</i> ;	
<i>params.bp_moment_scale</i> = 0.1;	//动力项因子
<i>params.bp_dw_scale</i> = 0.1;	//梯度项因子

训练数据集中样本数量为 10 775 个, 测试数据集中样本数量为 10 000 个, 数据均来自网络, 下载后人工贴标签. 实验结果表明, 上述模型对于颜色识别的准确率为 0.9983.

2) 中值滤波

如图 3 所示, 中值滤波的目的在于: 1) 削弱图像椒盐噪声对车牌检测的影响; 2) 填充车牌区域内部孔隙, 提高车牌检测成功率. 滤波窗口大小为 3×3 , 图像滤波前后的对比如图 3 所示, 经过中值滤波后, 车牌区域更为连通, 对于提高车牌检测鲁棒性和成功率有重要作用.

3) 形态学运算

形态学中的腐蚀运算可突出目标轮廓, 膨胀运算可填充孔洞. 为了突出图像中车牌区域特征, 对中

值滤波后的图像进行形态学闭运算, 即先进行膨胀运算填充孔洞, 再进行腐蚀运算突出车牌轮廓. 如图 4 所示, 经过形态学闭运算后, 车牌区域内部孔洞被填充, 轮廓特征更为明显.

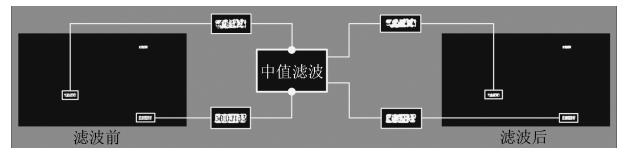


图3 中值滤波

Fig. 3 Median filter

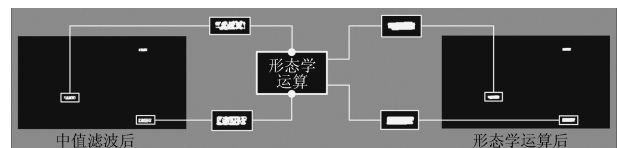


图4 形态学运算

Fig. 4 Morphology operation

1.2 候选车牌筛选

原始图像经过颜色二值化、中值滤波和形态学运算后, 车牌区域内部已连通且近似为矩形区域. 在此基础上, 查找图像目标轮廓, 如图 5 所示.

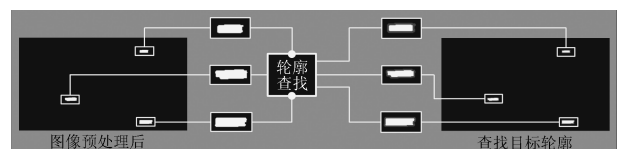


图5 目标轮廓查找

Fig. 5 Find contours of targets

我国小型汽车车牌长 440 mm、宽 140 mm, 长款比为 3.1428. 基于此, 利用长宽比对轮廓的最小外接矩进行尺寸判断, 如表 2 所示.

表 2 候选车牌筛选算法
Table 2 Filter of candidate plates

<i>Require : contours</i>	//为查找到的目标轮廓集合
<i>Require : rect_</i>	//为轮廓对应的最小外接矩
<i>Require : minAreaRect</i>	//为用于计算最小外接矩的函数
<i>Require : thresh_min</i>	//为车牌长宽比判断阈值下界
<i>Require : thresh_max</i>	//为车牌长宽比判断阈值上界
<i>Require : k</i>	//为查找到的目标轮廓数
<i>Require : recsults</i>	//为经过尺寸筛选后得到的候选车牌集合

```

for i from 1 to k do
    rect_ = minAreaRect(contours[i])
    if rect_.height/rect_.width > thresh_min && rect_.height/rect_.width < thresh_max do
        results ← rect
    end if
end for
Return results
    
```

1.3 基于支持矢量机的车牌判别

车牌判别的任务: 从候选车牌中去除伪车牌目标或成像条件较差的车牌目标, 检测出真正的车牌目标. 相比人工神经网络, 支持矢量机 (Support vector machine, SVM) 更适用于解决 “true or false” 问题, 效率更高, 且在样本容量有限的情况下, SVM 泛化能力更强. 同时用于 SVM 训练的数据集中正负样本量级相当、内容基本对称, 保证数据平衡, 使得支持向量更具代表性, 以获取更优的模型参数. 图 6 为基于 SVM 的车牌判别原理.

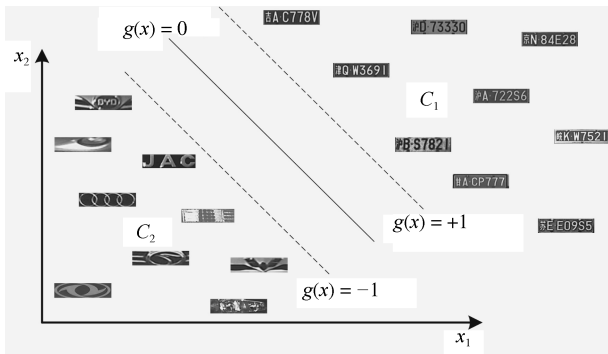


图 6 基于支持矢量机的车牌判别原理示意图
Fig. 6 Distinguish real plates based on SVM

判别式函数:

$$g(x) = \mathbf{w}^T \varphi(\mathbf{x}) \begin{cases} > 0, & \mathbf{x} \in C_1 \\ \leq 0, & \mathbf{x} \in C_2 \end{cases} \quad (4)$$

\mathbf{w} 为模型参数, $\varphi(\mathbf{x})$ 为径向基函数, \mathbf{x} 为输入

特征, 其生成方式如图 7 所示. 将候选车牌图像缩放到标准尺寸, 分别在水平和垂直方向统计直方图, 即每一行或每一列中灰度非零的像素个数, 并以向量的形式存储到 \mathbf{x} 中, 作为输入特征.

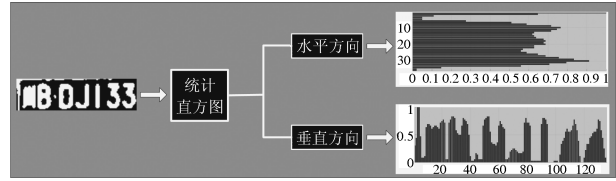


图 7 输入特征生成
Fig. 7 Input feature

基于 OpenCV 支持矢量机函数库, 利用带有标签的训练数据集对上述模型进行训练, 以获取模型参数, 然后利用测试数据集测试模型准确性, 训练参数如表 3 所示.

表 3 SVM 训练参数设置
Table 3 Training parameters of SVM

<i>CvSVMParams SVM_params;</i>	
<i>SVM_params.svm_type</i>	=
<i>CvSVM :: C_SVC;</i>	
<i>SVM_params.kernel_type</i>	= //CvSVM::RBF 径向基函数, 也就是高斯核
<i>CvSVM :: RBF;</i>	
<i>SVM_params.degree</i> = 0.1;	//内核函数参数
<i>SVM_params.gamma</i> = 1;	//内核函数参数
<i>SVM_params.coef0</i> = 0.1;	//内核函数参数
<i>SVM_params.C</i> = 1;	//SVM 类型参数
<i>SVM_params.nu</i> = 0.1;	//SVM 类型参数
<i>SVM_params.p</i> = 0.1;	//SVM 类型参数

训练数据集中正样本数量为 1400 个, 负样本数量为 2174 个; 测试数据集中正样本数量为 1400 个, 负样本为 1400 个, 数据均来自网络, 下载后人工贴标签. 实验结果表明, 上述模型对于车牌判别的准确率为 0.9997.

2 车牌字符识别技术

利用车牌检测技术可从采集图像中获取标准尺寸大小的车牌目标图像, 车牌字符识别的任务是: 从车牌目标图像中分割字符块, 并完成汉字、字母和数字的识别. 本节车牌字符识别技术主要分为图像预处理、字符块分割提取和字符识别三部分内容, 以下将逐一详细介绍.

2.1 图像预处理

为了提高字符识别准确率, 需要首先对车牌目标图像进行预处理: 图像二值化和亮斑消除. 图像二

值化方法采用的是最大类间差方法,即通过统计整个图像的灰度直方图特性来实现全局阈值的自动选取,二值化效果如图 8 所示。

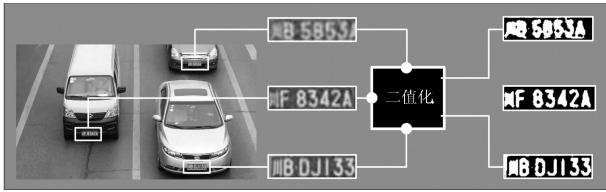


图 8 车牌图像二值化

Fig.8 License plate binary image

在光照较为强烈时,铆钉会以白色亮斑或黑色暗斑的形式出现在车牌二值化图像中,可能导致车牌字符分割提取失败,因此必须对铆钉等车牌边缘进行斑点检测并消除.以铆钉为例,分布于车牌上、下边缘各 2 个,本文以亮度阶跃次数为阈值,对车牌二值化图像进行行扫描,阶跃次数小于设定阈值的,该行灰度全部置为 0,否则该行灰度不变,扫描后效果如图 9 所示。

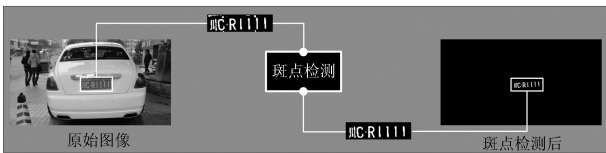


图 9 斑点检测效果

Fig.9 Spot detection

2.2 字符块分割提取

经过预处理的车牌二值化图像仅包含 7 个字符块,首先通过轮廓搜索获取候选字符块,然后对候选字符块进行尺寸判断,如图 10 所示。



图 10 候选字符块筛选及尺寸判断

Fig.10 Filter of candidate character block and size judgement

由图 10 可见,符合尺寸标准的轮廓内包含的并非车牌字符块,因此,为了准确分割字符块区域,以图 10 为例,本文采用了如下方法:

1) 将候选字符块按从左至右的顺序排序 $R_i (i = 1, 2, \dots, n - 1, n)$, 并统计字符块宽度和高度的最大值 W_{max} 、 H_{max} ;

2) 在距离车牌左边界 $1/7 \sim 2/7$ 宽度的范围内搜索字符块,若该字符块的宽度和高度分别大于 $0.8W_{max}$ 、 $0.8H_{max}$,则认为该字符块对应的是代表城市的字母,即为“B”;

3) $(x_{city}, y_{city}, W_{city}, H_{city})$ 分别表示城市代码字符块在图像上的左上角点像素坐标和矩形的宽、高,以该字符块为基准,根据中国轿车车牌尺寸标准,省份代码“川”对应的字符块参数为 $(x_{province}, y_{province}, W_{province}, H_{province}) = (x_{city} - 1.32W_{city}, y_{city}, 1.15W_{city}, H_{city})$;

4) 对字符块进行重构,删除省份代码前的所有字符块,记省份代码为 R_1 ,城市代码为 R_2 ,按照由左至右的顺序添加 R_3 、 R_4 、 R_5 、 R_6 、 R_7 ,删除 R_7 之后的所有字符块,至此完成字符块分割, $R_1 \sim R_7$ 即为车牌字符对应的字符块,如图 11 所示。



图 11 字符分割提取

Fig.11 Character segment

2.3 字符识别

为保证输入特征向量大小相同,需要对上述字符块图像进行尺寸归一化,本文设置的归一化尺寸为 36×136 ,图 12 为用于字符识别的 BP 神经网络示意图,由输入层、隐藏层和输出层组成:

1) 输入层. 输入层由 173 个单元组成: x_0 为偏倚单元, $x_1 \sim x_{172}$ 为每一行或每一列中灰度非零的像素个数。

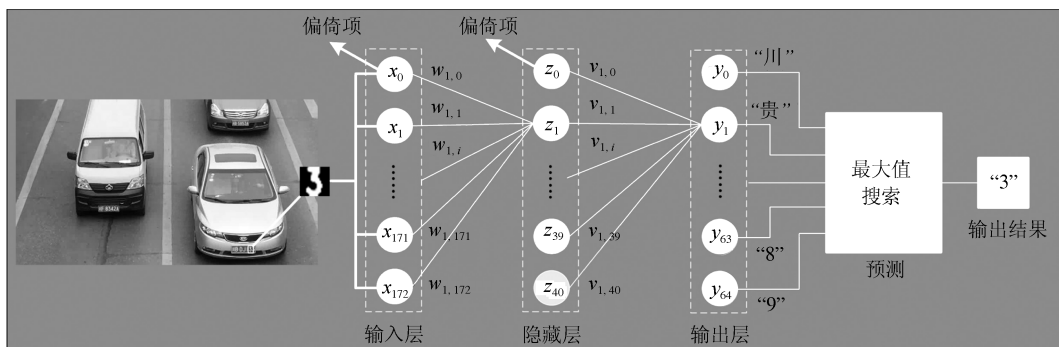


图 12 基于 BP 神经网络的字符识别原理

Fig.12 Character recognition based on BP neural network

2) 隐藏层. 隐藏层由 41 个神经元组成, 其中 z_0 为偏倚单元, z_h ($h = 1, 2, \dots, 39, 40$) 通过如下公式计算得到:

$$z_h = f \left(\sum_{i=1}^{172} w_{h,i} x_i + w_{h,0} \right) \quad (5)$$

$w_{h,0}$ 为神经元 z_h 对应的输入层偏倚项 x_0 的权重, $w_{h,i}$ 为神经元 z_h 对应的输入层单元 x_i 的权重, f 为激活函数:

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}} \quad (6)$$

3) 输出层. 输出层由 65 个单元组成: $y_0 \sim y_{30}$ 表示该字符块图像为 31 个省份代码的概率, $y_{31} \sim y_{54}$ 表示该字符块图像为 24 个字母的概率, $y_{55} \sim y_{64}$ 表示该字符块图像为 10 个阿拉伯数字的概率. 计算公式如下:

$$y_j = f \left(\sum_{h=1}^{40} v_{j,h} z_h + v_{j,0} \right) \quad (7)$$

$v_{j,0}$ 为输出单元 y_j 对应的神经元 z_0 的权重, $v_{j,h}$ 为输出单元 y_j 对应的神经元 z_h 的权重, f 为激活函数, 与式 (5) 相同.

基于 OpenCV 神经网络函数库, 利用带有标签的训练数据集对上述模型进行训练, 以获取模型参数, 然后利用测试数据集测试模型准确性, 训练参数如表 4 所示.

表 4 BP 神经网络训练参数设置

Table 4 Training parameters of BP neural network

<i>Mat layers</i> (1, 3, <i>CV_32SC1</i>);	
<i>layers.at<int></i> (0) = 173;	//输入层单元数量
<i>layers.at<int></i> (1) = 41;	//隐藏层神经元数量
<i>layers.at<int></i> (2) = 65;	//输出层单元数量
<i>CvANN_MLP_TrainParams params</i> ;	//参数
<i>params.train_method</i> =	//训练方法
<i>CvANN_MLP_TrainParams</i> ::	
<i>BACKPROP</i> ;	
<i>params.bp_moment_scale</i> = 0.1;	//动力项因子
<i>params.bp_dw_scale</i> = 0.1;	//梯度项因子

训练数据集中样本数量为 16 424 个, 测试数据集中样本数量为 12 000 个, 数据均来自网络, 下载后人工贴标签. 实验结果表明, 上述模型对于字符识别的准确率为 0.9855.

3 实验

相机分辨率为 856 pixel \times 480 pixel, 采集帧频

为 30 fps, 在 VS2013 环境下基于 C++ 开发了多机动车车牌自动检测识别系统, 软件左侧为彩色图像, 右侧为其对应的灰度图像, 运行平台主要参数: Dell 笔记本 && Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU 2.6 GHz && RAM 16.0 GB.

第一组实验为实时监测实验, 目的在于测试系统的实时性, 部分结果如图 13(a)~13(d) 所示. 此实验中, 相机采集时长 2 分 7 秒, 共 48 辆正常行驶的车辆经过, 系统正确识别出其中的 44 个车牌, 单帧处理时间约为 130 ms, 正确率为 91.6%, 其余 4 个车牌未检测到的原因是车辆行驶过快, 使得图像中车牌区域发生拖影, 导致无法准确定位车牌区域或正确识别车牌字符.

第二组实验为恶劣条件下的单帧图像检测识别实验, 目的在于测试系统在恶劣条件下的性能, 结果如图 14(a)~14(f) 所示. 此实验中共涉及 6 种恶劣条件, 包括大角度成像、逆光成像、雨天成像、雾天成像、夜间成像和车牌污损, 图像均来自于网络, 结果表明: 系统在上述 6 种情况下均可准确定位车牌区域并识别出车牌字符, 单帧处理时间约为 109 ms.

第三组实验为正常条件下的单帧图像检测识别实验, 目的在于测试系统对车牌字符识别的准确性, 部分结果如图 15(a)~15(f) 所示. 此实验中共测试了 203 帧图像、236 个车牌, 涉及 14 个省的 47 个市和 4 个直辖市, 图像均来自于网络, 系统正确识别出其中的 225 个, 正确率 95.3%, 其余车牌未检测到或字符识别错误的原因: 1) 车牌区域在图像中占比较小, 几何特征尚不明显, 导致车牌定位失败; 2) 车牌区域过曝严重, 导致无法有效分割字符块.

综上所述表明: 1) 车辆在正常速度行驶条件下, 系统依然可以保证 90% 以上的车牌检测识别正确率; 2) 系统可以实现同时多车牌检测识别; 3) 系统可抵抗一定程度的环境干扰; 4) 在相机当前分辨率条件下, 系统单幅图像检测识别平均时间低于 130 ms, 处理频率约 8 Hz, 处理频率主要与相机分辨率和 CPU 主频有关.

4 结论

针对道路交通中的多机动车车牌识别问题, 提出了一种基于 BP 神经网络和支持矢量机的多机动车车牌在线检测识别方法, 在此基础上开发了一套鲁棒的多机动车车牌在线检测识别系统, 对多机动车车牌识别准确率高于 90%, 处理频率约 8 Hz, 并且可抵抗一定程度的环境干扰. 该系统主要贡献如下:

1) 发挥了 SVM 在处理 “true or false” 问题中的优势, 相比人工神经网络, 在样本容量有限的情况下, 可提高车牌判别正确率, 缩短车牌判别时间;



(a) Scene-1



(b) Scene-2



(c) Scene-3



(d) Scene-4

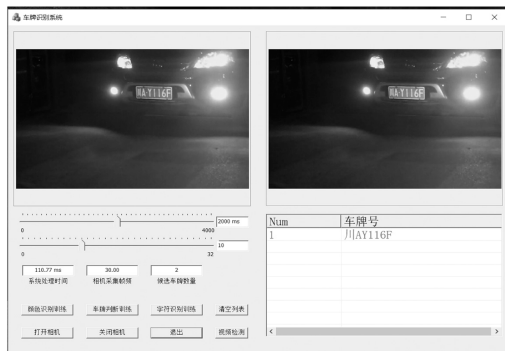
图 13 第一组实验部分结果显示
Fig. 13 Partial results of the first experiment



(a) 大角度成像
(a) Deformation



(b) 逆光成像
(b) Backlight



(c) 夜间成像
(c) Night



(d) 雨天成像
(d) Rain



(e) 雾天成像
(e) Foggy

(f) 污损成像
(f) Dirty

图 14 第二组实验部分结果显示

Fig. 14 Partial results of the second experiment



(a) Scene-1

(b) Scene-2

(c) Scene-3

(d) Scene-4

(e) Scene-5

(f) Scene-6

图 15 第三组实验部分结果显示

Fig. 15 Partial results of the third experiment

2) 基于 BP 神经网络对像素颜色进行判别, 可在一定程度上弥补由于相机成像色差导致的颜色分类错误;

3) 提出了一种有效的图像预处理、车牌定位及筛选和字符分割策略。

当前系统在以下三个方面仍需要进一步完善:

1) 当车牌在图像中有较大旋转时, 系统无法准确定位车牌区域, 下一步考虑加入图像矫正技术, 削弱图像旋转对车牌定位的影响;

2) 仅使用图像颜色信息进行车牌检测, 当车牌区域色差严重时, 系统无法准确定位车牌区域, 下一步考虑融合图像灰度梯度信息, 提高车牌定位鲁棒性;

3) 将深度学习应用于车牌字符识别中, 以提高字符检测正确率。

References

- Chen Gang, Chen Bin, Qian Ji-De. Research on automated detection model and key technology in traffic enforcement on mobile system. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2018, **47**(3): 350–355
(陈刚, 陈斌, 钱基德. 车载移动执法中违规车辆智能检测研究. 电子科技大学学报, 2018, **47**(3): 350–355)
- Xu Kai. Research and implementation of license plate recognition algorithm on complex background [Master thesis], University of Electronic and Technology, China, 2017
(徐凯. 复杂背景下车牌识别算法的研究与实现 [硕士学位论文], 电子科技大学, 中国, 2017)
- Yang Liu-Feng. Research on the algorithm of license plate recognition in complex scenes [Master thesis], Dalian Maritime University, China, 2018
(杨柳风. 复杂背景下车牌识别算法的研究 [硕士学位论文], 大连海事大学, 中国, 2018)
- Wang Yan, Xie Guang-Su, Shen Xiao-Yu. A new vehicle licence plate recognition method based on MSER and SWT. *Acta Metrologica Sinica*, 2019, **40**(1): 82–90
(王艳, 谢广苏, 沈晓宇. 一种基于 MSER 和 SWT 的新型车牌检测识别方法研究. 计量学报, 2019, **40**(1): 82–90)
- Yu Ye, Jin Qiang, Fu Yun-Xiang, Lu Qiang. Fine-grained classification of car models using Fg-CarNet convolutional neural network. *Acta Automatica Sinica*, 2018, **44**(10): 1864–1875
(余烨, 金强, 傅云翔, 路强. 基于 Fg-CarNet 的车辆型号精细分类研究. 自动化学报, 2018, **44**(10): 1864–1875)
- Ashtari A H, Nordin M J, Fathy M. An Iranian license plate recognition system based on color features. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, 2014, **15**(4): 1690–1705
- Yuan X, Hao X L, Chen H J. Robust traffic sign recognition based on color global and local oriented edge magnitude patterns. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation System*, 2014, **15**(4): 1466–1477
- Wang F, Zhang D X, Man L C. Comparison of Immune and Genetic Algorithms for Parameter Optimization of Plate Color Recognition. In: Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Progress in Informatics & Computing. New York, USA: IEEE, 2011.
- Hu Feng-Song, Zhu Hao. License plate location algorithm based on HSI color space and line scanning. *Computer Engineering and Design*, 2015, **36**(4): 145–150
(胡峰松, 朱浩. 基于 HIS 颜色空间和行扫描的车牌定位算法. 计算机工程与设计, 2015, **36**(4): 145–150)
- Ma Yong-Jie, Li Huan, Liu Jiao-Jiao. Detection algorithm of cascaded adaboost license plate based on HSV color model and MB-LBP features. *Journal of Sichuan University*, 2018, **55**(2): 290–294
(马永杰, 李欢, 刘姣姣. 基于 HSV 和 MB-LBP 特征的级联 Adaboost 车牌检测方法. 四川大学学报, 2018, **55**(2): 290–294)
- Wang Jian-Shu, Fan Yang-Yu, Zhang Chen-Rui. Fast algorithm for vehicle license plate location based on left-up edge-point detection. *Computer Simulation*, 2013, **30**(11): 149–153
(王剑书, 樊养余, 张辰锐. 基于左上边缘点检测的快速车牌定位算法. 计算机仿真, 2013, **30**(11): 149–153)
- Dong Jun-Fei. Research on license plate area detection and license plate character recognition based on convolution neural network [Master thesis], West Normal University, China, 2018
(董峻妃. 基于卷积神经网络的车牌区域检测和车牌字符识别研究 [硕士学位论文], 西华师范大学, 中国, 2018)
- Wang Ning, Duan Zhen-Yun, Zhao Wen-Hui. Algorithm of edge detection based on bertrand surface model. *Acta Photonica Sinica*, 2017, **46**(10): 1012003
(王宁, 段振云, 赵文辉. 基于 Bertrand 曲面模型的边缘检测算法. 光子学报, 2017, **46**(10): 1012003)
- Pun C M, Ho W Y. An Edge-Based Macao License Plate Recognition System. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2011, **4**(2): 244–254
- Azad R, Shayegh H R. New method for optimization of license plate recognition system with use of edge detection and connected component. In: Proceedings of the 2013 International Conference on Computer & Knowledge Engineering. Mashhad, Iran, 2013.
- Huo Xiang-Hu. License plate recognition based convolutional neural network [Master thesis], University of Electronic Science and Technology, China, 2017
(霍祥湖. 基于卷积神经网络的车牌识别技术研究 [硕士学位论文], 电子科技大学, 中国, 2017)
- Guo Hang-Yu, Jing Xiao-Jun, Shang Yong. License plate location method based on wavelet transform and mathematical morphology. *Computer Technology and Development*, 2010, **20**(5): 19–22
(郭航宇, 景晓军, 尚勇. 基于小波变换和数学形态法的车牌定位方法研究. 计算机技术发展, 2010, **20**(5): 19–22)
- Fang Wan-Yuan, Liang Jiu-Zhen. Fast algorithm of license plate location under complex background. *Computer Engineering and Application*, 2012, **48**(2): 160–163

- (方万元, 梁久帆. 复杂背景下快速车牌定位算法. 计算机工程与应用, 2012, **48**(2): 160–163)
- 19 Song Q K, Yuan H J, Zhou T. License Plate Recognition Based on Mathematical Morphology Method and RBF Neural Network. In: Proceedings of the 2012 International Conference on Measurement. Harbin, China, 2012.
- 20 Rabee A, Barhumi I. License plate detection and recognition in complex scenes using mathematical morphology and support vector machines. In: Proceedings of the 2014 International Conference on Systems. Dubrovnik, Croatia, 2014.
- 21 Jiang Wen-Tao, Liu Wan-Jun, Yuan Heng. Vehicle license plate location and identifying based on the curved field space. *Acta Electronic Sinica*, 2011, **39**(11): 84–90
(姜文涛, 刘万军, 袁姮. 基于曲量场空间的车牌定位与识别. 电子学报, 2011, **39**(11): 84–90)
- 22 Ren Jun, Huang Dan-Dan, Li Zhi-Neng. License plate locating using support vector machines and texture analysis. *Journal of Zhejiang University*, 2006, **40**(8): 66–71
(任骏, 黄丹丹, 李志能. 结合纹理分析和支撑矢量机的汽车牌照定位研究. 浙江大学学报, 2006, **40**(8): 66–71)
- 23 Dehkordi M Y, Nikzad M, Ekhlas V R. A novel approach for fast and robust multiple license plate detection. In: Proceedings of Machine Vision & Image Processing, Isfahan, Iran, 2011
- 24 Ma Shuang, Fan Yang-Yu, Lei Tao, Wu Peng. Practical license plate recognition method based on multi-feature extraction. *Application Research of Computers*, 2013, **30**(11): 301–305
(马爽, 樊养余, 雷涛. 一种基于多特征提取的实用车牌识别方法. 计算机应用研究, 2013, **30**(11): 301–305)
- 25 Jiang X, Huang Y D, Li G Q. Fusion of texture features and color information of the license plate location algorithm. In: Proceedings of the 2012 International Conference on Wavelet Analysis & Pattern Recognition, Xi'an, China, 2012
- 26 Geng Qing-Tian, Zhao Hong-Wei. License plate recognition based on fractal and hidden Markov feature. *Optics and Precision Engineering*, 2013, **21**(12): 216–222
(耿庆田, 赵宏伟. 基于分形维数和隐马尔科夫特征的车牌识别. 光学精密工程, 2013, **21**(12): 216–222)
- 27 Ling Xiang, Lai Kun, Wang Xi-Peng. Uneven illumination license plate image recognition base on template matching method. *Journal of Chongqing Jiaotong University*, 2018, **37**(8): 102–106
(凌翔, 赖锟, 王昔鹏. 基于模板匹配方法的不均匀照度车牌图像识别. 重庆交通大学学报, 2018, **37**(8): 102–106)
- 28 Miao Li-Gang. License plate detection algorithm based on nearest neighbor chains. *Acta Automatica Sinica*, 2011, **37**(10): 118–125
(苗立刚. 基于最近邻链的车牌检测算法. 自动化学报, 2011, **37**(10): 118–125)
- 29 Wei Ting, Qiu Shi, Li Chen, Wang Rui. License plate detection algorithm based on computer multi scale assist. *Acta Electronic Sinica*, 2018, **46**(9): 2188–2193
(魏亭, 邱实, 李晨, 王锐. 计算机多尺度辅助定位车牌算法. 电子学报, 2018, **46**(9): 2188–2193)
- 30 Bhardwaj D, Kaur H. Comparison of ML algorithms for identification of Automated Number Plate Recognition. In: Proceedings of the 2015 International Conference on Reliability, Noida, India, 2015
- 31 Shaikh Z A, Khan U A, Rajput M A. Machine Learning based Number Plate Detection and Recognition. In: Proceedings of the 2016 International Conference on Pattern Recognition Applications & Methods, Rome, Italy, 2016
- 32 Li Chao-Bing. Key technologies of license plate recognition based on deep learning [Master thesis], University of Electronic Science and Technology, China, 2015
(李朝兵. 基于深度学习的车牌识别关键技术研究 [硕士学位论文], 电子科技大学, 中国, 2015)
- 33 Chi Xiao-Jun, Meng Qing-Chun. Character segmentation of license plate based on projection and eigenvalue. *Application Research of Computers*, 2006, **46**(7): 262–263
(迟晓君, 孟庆春. 基于投影特征值的车牌字符分割算法. 计算机应用研究, 2006, **46**(7): 262–263)
- 34 Wang Jing. Research on license plate recognition technology based on neural network [Master thesis], Hangzhou Dianzi University, China, 2017
(王晶. 基于神经网络的车牌识别技术研究 [硕士学位论文], 电子科技大学, 中国, 2017)
- 35 Chen Yin-Peng, Ding Xiao-Qing. License-plate location and charater segmentation in complex vehicle images. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, **33**(1): 31–35
(陈寅鹏, 丁晓青. 复杂车辆图像中的车牌定位与字符分割方法. 红外与激光工程, 2004, **33**(1): 31–35)



刘进博 中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所助理研究员. 2016 年获得国防科技大学航空宇航科学与技术专业博士学位. 主要研究方向为计算机视觉.

E-mail: liujinbo2088@163.com

(**LIU Jin-Bo** Assistant researcher at Hypervelocity Aerodynamics Institute,

China Aerodynamics Research and Development Center. He received his Ph.D. degree in aeronautical and astronautical science and technology from National University of Defense Technology in 2016. His main research interest is computer vision.)

朱新新 中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所助理研究员. 2013 年获得国防科技大学硕士学位, 主要研究方向为气动热与热防护试验测试技术. 本文通信作者.

E-mail: xinxincomplex@126.com

(**ZHU Xin-Xin** Assistant researcher at Hypervelocity Aerodynamics Institute, China Aerodynamics Research

and Development Center. He received his master degree from National University of Defense Technology in 2013. His research interest covers measuring and testing technique in aerothermodynamics and thermal protection. Corresponding author of this paper.)

伍 越 中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所助理研究员. 2015 年获得国防科技大学硕士学位. 主要研究方向为信号处理. E-mail: wuyue_cardc@163.com

(**WU Yue** Assistant researcher at Hypervelocity Aerodynamics Institute, China Aerodynamics Research and Development Center. He received his master degree from National University of Defense Technology in 2015. His main research interest is signal processing.)

杨 凯 中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所助理研究员. 2014 年获得哈尔滨工业大学博士学位. 主要

研究方向为振动信号处理和高频脉动热流测试.

E-mail: yg.hit@hotmail.com

(**YANG Kai** Assistant researcher at Hypervelocity Aerodynamics Institute, China Aerodynamics Research and Development Center. He received his Ph.D. degree from Harbin Institute of Technology in 2014. His research interest covers vibration signal processing and high-frequency heat-flux measurement.)

陈 卫 中国空气动力研究与发展中心超高速空气动力研究所助理研究员. 2015 年获得国防科技大学博士学位. 主要研究方向为光学测量. E-mail: chenweikeeping@163.com

(**CHEN Wei** Assistant researcher at Hypervelocity Aerodynamics Institute, China Aerodynamics Research and Development Center. He received his Ph.D. degree from National University of Defense Technology in 2015. His main research interest is optical measurement.)