

基于 Haar 特征的中文车牌识别系统

刘年生, 张家豪

(集美大学计算机工程学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 提出了一种基于 Haar 特征的车牌识别方案, 利用 Haar 特征可靠性高、计算复杂性低和容错性强等方面的特点, 能够对含有噪声的中文车牌图像快速准确识别, 并在 Python 和 OpenCV 开源环境下设计和实现了该方案。实验结果证明该方案具有识别率较高(94%)、识别时间短(单字符低于 0.02 s, 全车牌低于 0.63 s)和鲁棒性强等特点, 可应用于实际智能交通控制。

[关键词] 车牌识别; Haar 特征; 中文车牌; 智能交通

[中图分类号] TP 391.4; U 491.4

Chinese License Plate Recognition System Based on Haar Features

LIU Niansheng, ZHANG Jiahao

(School of Computer Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In this paper, a license plate recognition scheme based on Haar features is proposed. By using the properties of Haar features with high reliability, low computational complexity and strong robustness, the Chinese license plate images with noise can be accurately and quickly recognized. The proposed scheme is designed and implemented in the open source environment of Python and OpenCV. The experimental results show that the proposed scheme achieves a high recognition rate (94%) with rapid processing (0.02 s for single character, and 0.63 s for an entire license plate) and strong robustness. The system can be applied to actual intelligent traffic control.

Keywords: license plate recognition; Haar features; Chinese license plate; intelligent transportation system

0 引言

随着中国公路交通系统的快速发展, 机动车的车牌自动识别变得越来越重要, 它是智能交通系统中的一项基础性课题^[1], 也是图像模式识别研究的热点^[2], 广泛应用于停车场进出口控制、自动缴费、交通执法、道路交通监控等场景。车牌识别系统主要包含三个方面的关键技术, 即车牌的定位与提取、倾斜校正与字符分割、字符识别, 其中字符识别算法是影响车牌识别系统主要性能指标(即识别准确率和处理时间)的核心因素^[3]。由于所采集的车牌是从实际复杂环境中拍摄得到的, 其图像质量受焦距、阴影、光照、背景复杂度等诸多因素影响, 所以车牌字符识别算法应具有较强鲁棒性, 在较强的图像噪声影响下还应具有较高的字符识别准确率, 特别是对于中文车牌, 因汉字结构比

[收稿日期] 2018-07-31

[基金项目] 国家自然科学基金项目(61274133); 福建省自然科学基金项目(2017J01761, 2012J01279, 2018J01537)

[作者简介] 刘年生(1967—), 男, 教授, 博士, 从事人工智能与信息安全方向研究

英文字母和阿拉伯数字的字体结构更复杂，更需要较高的识别容错性。因此，车牌识别既要准确快速，又要鲁棒容错，构建这样一个中文车牌自动识别系统的难度会更高一些。

目前，车牌字符识别的算法主要有模板匹配算法^[4]、神经网络字符识别算法^[5]和特征匹配算法^[6]。模板匹配算法具有直观和计算简单等特点，但是鲁棒性较差，光照、字符清晰度和大小等变化因素都显著降低识别准确率^[7]。神经网络字符识别算法具有良好的容错、分类能力和自我学习能力，且运行速度快，但存在算法效率低，分类器训练速度慢，学习过程中易陷入局部极小和易出现振荡现象，导致训练分类器失败等问题^[8]。传统的特征匹配算法具有算法效率高和识别速度快等优点，但在字符出现笔画融合、断裂、部分缺失时识别准确率显著降低^[9]。

本文拟提出一种基于 Haar 特征的中文车牌识别方案，以期具有识别速度快、识别准确率高、鲁棒性强三者相统一的特点，即使在复杂的环境条件下，它仍然能快速准确地识别车牌，具有较高的鲁棒性。

1 Haar 特征

Haar 特征也叫 Haar-like 特征，最早是由 Papageorgiou 等^[10]受一维 Haar 小波的启发而提出来的，用于目标检测。Viola 等^[11]在此基础上提出利用积分图像法快速计算 Haar 特征的方法。随后，Lienhart 等^[12]用对角特征对 Haar 特征库进行了扩展。

对于灰度图像而言，Haar 矩形模板由两个或多个全等的黑白矩形相邻组合而成，而 Haar 矩形特征值是白色矩形的灰度值的和减去黑色矩形的灰度值的和。如图 1 所示，不妨假设在一个 $W \times H$ 的灰度图像中存在待识别的目标字符，检测时使用大小均为 $w \times h$ 的两种特征矩形模板，即正立的矩形模板和旋转 45° 的矩形模板。每个特征矩形可用 $r = (x, y, w, h, \alpha)$ 来表示，其中 $0 \leq x, x + w \leq W, 0 \leq y, y + h \leq H, x, y \geq 0, w, h \geq 0, \alpha \in \{0^\circ, 45^\circ\}$ ，而该矩形的像素和用 $\text{RecSum}(r)$ 来表示，则在这个 $W \times H$ 的图像中的所有这些形式特征的总和被称为原始 Haar 特征集 H_f ，即：

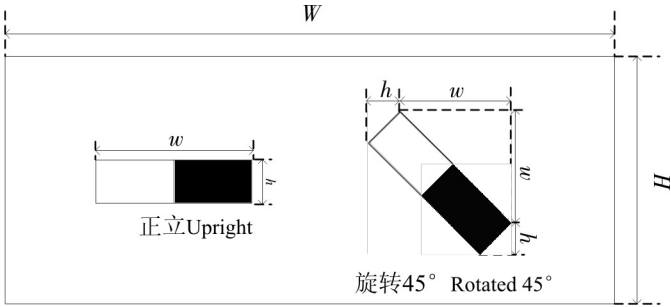


图 1 正立和旋转 45° 矩形的窗口示例

Fig.1 Example of an upright and 45° rotated rectangle

$$H_f = \sum_{i \in I = \{0, 1, \dots, N\}} \omega_i \times \text{RecSum}(r_i), \tag{1}$$

公式 (1) 中权重 $\omega_i \in \mathbf{R}$ ，矩形 r_i 和 N 是可以任意选择的，这样一来，原始 Haar 特征集几乎是无限大的，不适合于实际应用，需要限定 Haar 特征个数。常用的约束方法有^[11]：1) 仅考虑两个矩形像素和的权重结合（例如 $N = 1$ ）。2) 两个矩形的权重一正一负，并通过正负权重来补偿两个大小不同的区域。因此，对没有重叠的矩形而言，有 $-\omega_0 \times \text{Area}(r_0) = \omega_1 \times \text{Area}(r_1)$ 。在没有其他限制条件时，设置 $\omega_0 = -1$ ，并且 $\omega_1 = \text{Area}(r_0)/\text{Area}(r_1)$ 。3) 这些特征应类似小波 Haar-like 特征和初级人类视觉通道的特征（如向心性和方向性响应）。

在上述约束条件下，Haar 特征共有四类，即边缘特征、线性特征、中心特征和对角线特征，有 15 种特征原型。在一个 $W \times H$ 的车牌图像中，基于大小为 $w \times h$ 的正立矩形的 Haar 特征个数为

$$XY \times (W + 1 - w(X + 1)/2) \times (H + 1 - h(Y + 1)/2), \tag{2}$$

其中 $X = \lceil W/w \rceil, Y = \lceil H/h \rceil$ ；而基于大小为 $w \times h$ 的旋转 45° 矩形的 Haar 特征个数为

$$XY \times (W + 1 - Z(X + 1)/2) \times (H + 1 - Z(Y + 1)/2), \tag{3}$$

其中 $Z = w + h$ 。这样，既能大幅度降低特征个数，减少特征之间的冗余度，提高车牌识别的实时性，又能不丢失车牌字符间的可区分性特征，保证车牌识别的准确率不降低。

2 Harr 特征分类器的级联

Haar 特征分类器的级联就是一个退化决策树, 它由 N 个弱分类器串联起来。如图 2 所示, H_{f_i} 是表示第 i 个 Haar 特征, C_i 表示为第 i 个弱分类器, R 和 L 分别表示弱分类器的 rightValue 和 leftValue。每个弱分类器对应一个 Haar 特征, 这样每个弱分类器只专注识别所感兴趣的目标细节, 而忽略不感兴趣的目标细节。它按照决策树的处理机制, 确定待测车牌字符是否满足字符 Haar 特征的阈值, 以此确定下一级是采用左联还是右联。它采用离散 Adaboost 样本训练方法^[11-13], 可将每个原始的弱分类器训练成最优的弱分类器, 再组合这 N 个最优的弱分类器, 从而得到一个强分类器, 并且随着弱分类器数目的增加, 在保证识别准确率基本不变的前提下可以大幅度降低虚警率, 直至所期望的水平。

经过训练后的 Haar 特征级联分类器将用于车牌字符识别。车牌字符自动识别过程如图 3 所示。在图 3 中, 将分割后的车牌字符灰度图像作为待识别的对象, 输入到字符自动识别系统中, 通过循环调用 Haar 级联分类器, 逐一识别车牌中的每个字符, 将整张车牌的识别结果作为系统的输出。

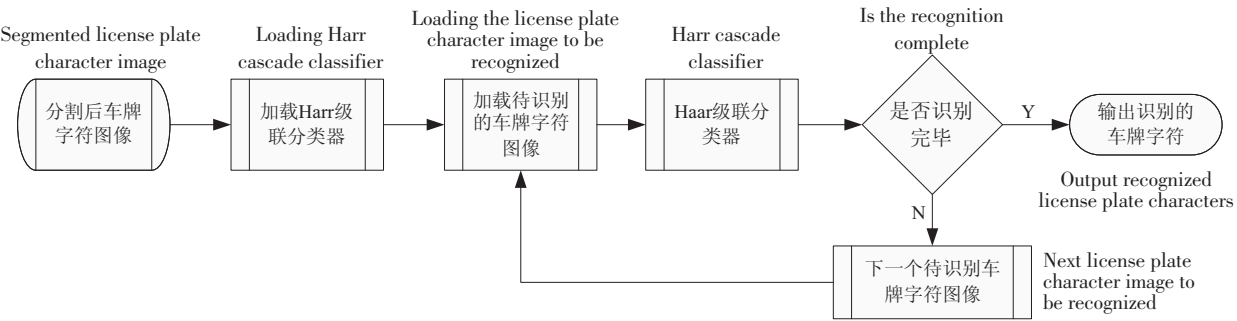


图 3 Haar 级联分类器的车牌字符识别流程
Fig.3 Procedure of license plate recognition with Haar cascade classifiers

3 车牌识别实验结果及分析

在 Intel(R)Core (TM)i7-4710MQ (CPU) + 16.0GB (RAM) + Windows 10 (OS) 的计算机软硬件环境下, 安装 Python3.5.1、numpy-1.14.2、tensorflow1.6.0、scipy1.0.1、opencv-python-3.4.0.12、scikit-image、PIL 等软件, 配置相应的环境变量, 搭建一个基本的开源环境, 进行基于 Haar 特征的中文车牌自动识别系统的开发和测试。中文车牌的尺寸一般为 440 mm × 140 mm, 有蓝底白字白框线、黄底黑字黑框线、黑底白字白框线、白底黑字黑框线等多种颜色配置, 且其由 7 个字符组成的, 第 2 字符与第 3 字符 (或第 4 字符与第 5 字符) 之间的间隙为 34mm, 且该间隙中间有一个小圆点, 其他字符间隙为 12 mm。这类车牌在中国使用最多, 近 2 亿张。

系统分为样本训练和识别测试两个主要部分。首先, 对 Haar 级联分类器进行训练。利用 OpenCV 提供的中文车牌样本库, 选取 4 700 个正样本和 12 000 个负样本, 调用 opencv_haartraining.exe 命令工具进行样本训练, 该工具封装了 Haar 特征提取以及 Adaboost 分类器训练过程, 训练后的 Haar 分类特征可记录在对应的 xml 文档中。在样本训练中, 对单个字符的识别准确率均在 99.2% 以上, 处理时间不超过 0.02 s。然后, 对 300 幅新增的中文车牌进行识别测试, 新车牌分为 5 组, 每组 60 张, 每张车牌识别结果类似 (见图 4), 整个测试结果如表 1 所示, 识别准确率的统计结果为 (94.0 ± 0.9)%, 平均每张车牌处理 (包含加载、

定位、校正、分割和识别等全过程）时间为(0.63 ±0.06)s，所提方案是精准和高效的。



图 4 单张中文车牌识别的范例

Fig.4 Example of a Chinese license plate recognition

表 1 基于 Haar 特征的中文车牌识别准确率

Tab.1 Accuracy rate of recognition based on the Haar features for Chinese license plates

组别 Group	1	2	3	4	5	合计 Total
车牌检测总数 Number of Chinese license plates to be tested/个	60	60	60	60	60	300
成功识别数 Successful recognition number/个	56	56	57	57	56	282
识别准确率 Accuracy rate/%	93.3	93.3	95.0	95.0	93.3	94.0 ± 0.9

本方案与其他经典的车牌识别方案的比较如表 2 所示。一方面，从车牌的识别准确率上看，本方案在五个方案中居于中等水平。但是，ALMD – YOLO、Application – Oriented 和 3L – LBP 的识别准确率的实验结果都是针对英文车牌的，而中文车牌的自动识别要比英文车牌困难得多，这是因为中文车牌除了包含英文字母和阿拉伯数字外，还多了 40 个汉字（根据 GA36 – 2014 中华人民共和国机动车号牌标准），并且其中绝大多数汉字的结构比英文字母或阿拉伯数字的字体结构要复杂得多，如赣、藏、冀等，因而汉字特征的提取比字母或数字要复杂一些。另一方面，从车牌整个处理时间上看，虽然本方案中实验所用的 CPU 不是 5 个中计算性能最好的，但它的整个处理识别时间却是最短的，这反映了 Haar 特征方法具有计算复杂度小、识别实时性好的特点，比较适合于中文车牌字符的识别。

表 2 五种不同识别方法的主要性能比较

Tab.2 Comparison of main performance index for five different recognition schemes

方法 Method	识别准确率 Accuracy rate/%	处理时间 Processing time/s	CPU
Neural Networks ^[5]	90.00	1.10	PowerPC RS64 III 450MHz
ALMD – YOLO ^[8]	97.38	0.67	Intel(R) Core(TM) i7 – 2600
Application – Oriented ^[1]	93.00 ~ 94.00	–	Pentium Dual Core 2.4 – GHz
3L – LBP ^[18]	98.56	1.82	Intel(R) Core(TM) i5 – 4210 U
本文 Harr feature (this paper)	94.00	0.63	Intel(R) Core(TM) i7 – 4710MQ

说明：ALMD – YOLO、Application – Oriented 和 3L – LBP 的识别准确率是针对英文车牌，非中文车牌

Note: The accuracy of ALMD – YOLO, Application – Oriented and 3L – LBP is for English license plates, not for Chinese ones

本方案具有较高的鲁棒性，对车牌图像质量要求不敏感，即使图像中车牌处于倾斜、多个并存、夜光等情况，或车牌字符出现污渍、模糊等情况，本系统均能快速准确地识别车牌信息，不会显著影响识别率。如图 5 所示，对车牌倾斜、多辆并行、污泥掩盖、夜光、近距离失焦、高速行驶等复杂环境下采集到车牌图像，均能高效地识别出车牌号。



图 5 复杂环境下的中文车牌识别

Fig.5 Chinese license plate recognition under complex environments

另外, 对未能准确识别的 18 张车牌进行分类分析, 发现: 从误识别的车牌字符数来分, 单字符误识别的有 15 张, 2 个及 2 个以上的字符误识别的有 3 张; 从误识别的车牌字符类型来分, 汉字误识别的有 18 张, 字母误识别的有 2 张; 从视觉图像质量来分, 车牌图像清晰但字符存在较大缺损的有 4 张, 车牌图像质量低劣的 (因雾、污物、扭曲、失焦和光线不足等因素造成的) 有 14 张。因此, 形成车牌误识别的主要原因包括汉字识别困难、字符笔画较严重缺损和采集到的车牌图像质量过低等因素。

要提高所提方案的识别准确率, 首先, 应合理配置方案的参数, 适当减小特征矩形模板的尺寸, 即在公式 (2) 和 (3) 中合理选取 w 和 h 的值, 适当增加车牌的 Haar 特征数, 提高汉字识别的精确度; 其次, 增加训练样本数, 特别是针对车牌汉字部分, 能有效地学习和保留汉字的 Haar 特征, 提高识别的准确度; 第三, 获取的车牌图像质量尽可能高一些, 如采用高清摄像头等, 对一些质量偏低但不太严重的车牌图像, 可以采用一些新的组合滤波、图像增强和优化校正等先进技术, 提高车牌图像的前处理质量, 为后续的字符分割和识别奠定好的基础。

4 结论

本文采用 Haar 特征模板匹配的方法,对中文车牌字符进行识别,具有识别准确率高、识别速度快和鲁棒性好等三方面性能指标高度统一的特点。Haar 特征是基于车牌小区域中的像素值分布而计算出来的,具有理论基础可靠、计算简单等特点。基于 Haar 特征的弱分类器采用 Adaboost 算法进行级联,可以将一个弱分类器变成一个强分类器。同时,针对不同的应用场景,通过合理选取系统参数和训练样本,显著降低数据处理量,提高了车牌识别速度。在 Python 和 OpenCV 组合开源环境下,通过编写源代码,开发了具有实际识别功能的基于 Haar 特征的中文车牌识别系统,并验证了理论模型的正确性和所提方案的可行性。该系统适用于中国大陆所有省份的机动车车牌识别,可广泛用于停车场进出口控制、自动缴费、交通执法、道路交通监控等实际的自动化实时监管系统。

致谢

刘晓捷、王宗跃等参与本文的部分实验和讨论工作,特此表示感谢。

[参考文献]

- [1] HSU G, CHEN J, CHUNG Y. Application-oriented license plate recognition [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(2): 552-561.
- [2] DU S, IBRAHIM M, SHEHATA M, et al. Automatic license plate recognition (ALPR): a state-of-the-art review [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2013, 23(2): 311-325.
- [3] ZHAO Y, YU Z, LI X. Evaluation methodology for license plate recognition systems and experimental results [J]. IET Intelligent Transport Systems, 2018, 12(5): 375-385.
- [4] WANG J, BACIC B, YAN W. An effective method for plate number recognition [J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(2): 1679-1692.
- [5] PARISI R, CLAUDIO E D DI, LUCARELLI G, et al. Car plate recognition by neural networks and image processing [C] //Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Monterey (CA, USA): IEEE, 1998, 3: 195-198.
- [6] CHEN Z, LIU C, CHANG F, et al. Automatic license-plate location and recognition based on feature salience [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(7): 3781-3785.
- [7] 李宇成, 杨光明, 王目树. 车牌识别系统中关键技术的研究 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(27): 180-184, 209.
- [8] XIE L, AHMAD T, JIN L, et al. A new CNN-based method for multi-directional car license plate detection [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, 19(2): 507-517.
- [9] 吕润华, 苏婷婷, 马晓伟. BP 神经网络联合模板匹配的车牌识别系统 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2013, 53(9): 1221-1226.
- [10] PAPAGEORGIOU C, OREN M, POGGIO T. A general framework for object detection [C] //Proceedings of International Conference on Computer Vision. Bombay (India): IEEE, 1998, 108(6): 555-562.
- [11] VIOLA P, JONES M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [C] //Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Kauai (HI, USA): IEEE, 2001, 1: 511-518.
- [12] LIENHART R, MAYDT J. An extended set of Haar-like features for rapid object detection [C] //Proceedings of International Conference on Image Processing. Rochester (NY, USA): IEEE, 2002, 1: 900-903.
- [13] RAJPUT H, SOM T, KAR S. An automated vehicle license plate recognition system [J]. Computer, 2015, 48(8): 56-61.
- [14] AL-SHEMARRY M S, LI Y, ABDULLA S. Ensemble of adaboost cascades of 3L-LBPs classifiers for license plates detection with low quality images [J]. Expert Systems with Applications, 2018, 92: 216-235.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄振坤)