



Vehicle License Plate Location

车牌定位 倾斜校正和分割

Vehicle License Plate Location,
Tilt Correction and Character Segmentation

潘梅森 著

 复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

车牌定位、倾斜校正和分割/潘梅森著. —上海: 复旦大学出版社, 2020. 10
ISBN 978-7-309-15359-0

I. ①车… II. ①潘… III. ①车辆牌照-交通管理 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 187233 号

车牌定位、倾斜校正和分割

潘梅森 著

责任编辑/张志军

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编: 200433

网址: fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售: 86-21-65102580 团体订购: 86-21-65104505

外埠邮购: 86-21-65642846 出版部电话: 86-21-65642845

当纳利(上海)信息技术有限公司

开本 890 × 1240 1/32 印张 8.75 字数 227 千

2020 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-15359-0/U · 26

定价: 58.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社有限公司出版部调换。

版权所有 侵权必究

联合资助：

湖南省自然科学基金项目（2019JJ60016）

湖南文理学院白马湖优秀出版物出版资助

湖南省高等学校应用特色学科“机械工程”

湖南省洞庭湖生态经济区建设与发展协同创新中心

湖南文理学院计算机与电气工程学院“计算机应用技术”学科资助

湖南省高校科技创新团队支持计划资助



前 言



近年来,随着我国经济高速发展,城市规模不断扩大,汽车的拥有量迅猛增加,造成了交通拥堵、车辆管理、交通安全等难题,特别是不断增多的交通事故、不断增长的车辆犯罪等一系列问题。仅仅依靠交通警察等人力资源来管理,效率低,成本高,管理难。引入智能化、自动化、网络化的交通设备,构建一个智能化、信息化、自动化、人性化的交通管理系统,会给交通管理带来极大的便捷和效率,于是智能交通系统顺势而生。随着图像处理技术的不断发展和完善,视频监控广泛应用于农业、工业、服务业、国防、医学和安防等领域,其中在人脸识别、医学辅助诊断等领域广泛应用,为智能交通管理提供了丰富的技术和应用经验。

智能交通系统是一种快捷、高效、智能的管理系统,是将先进的自动控制、计算机、人工智能、传感器、数据通信等技术综合,运用于交通管理,强化交通车辆、道路运输、使用者三者之间的联系,从而构建环境改善、能耗减少、效率提升、安全保障的综合运输系统,广泛应用于公路监控、电子收费、娱乐场所、单位、小区车辆出入监控等众多领域。智能交通系统充分发挥交通基础设施和管理人员的效能,提升交通运输系统的运维效率和服务质量,为公众便捷、方便、安全出行等服务提供了智能化手段。

在车牌图像获取设备分辨率不高、环境光照不佳、车辆快速运

动、外部环境复杂,以及道路有坡度、车牌的悬挂不规范等情况下,获取的车牌图像质量通常较差,造成车牌错误定位或定位不足、字符分割失败。因此,本书首先讨论了数学形态学和图像特征相关理论,为本书后继章节打下基础;在深入研究形态学基础上,提出了基于形态学和几何特征的车牌定位方法;研究了图像二值化方法,提出了基于人类视觉特性的车牌图像二值化方法和基于自组织特征映射神经网络的图像融合二值化方法;在提出二值化车牌图像倾斜模型后,提出了基于图像矩的车牌号码倾斜校正方法、基于图像坐标特征向量倾斜校正方法、基于图像坐标聚类倾斜校正方法和基于加权最小二乘法的车牌号码倾斜校正等;针对投影法存在的问题,提出了改进的投影法车牌字符分割方法,以及基于分水岭算法和模糊 C 均值聚类的车牌字符分割方法。这些方法不仅丰富与完善了车牌图像处理的相关理论与方法,也解决了车牌图像处理的一些难题。

本书共分 8 章。第一章介绍了车牌区域定位方法、车牌倾斜校正方法、车牌字符分割方法等国内外研究进展及其在车牌图像处理中的应用;第二章阐述了二值形态学和灰度形态学等理论;第三章研究了图像的颜色特征、统计特征、几何(边缘)特征、形状特征、纹理特征和其他特征;第四章提出了基于形态学和几何特征的车牌定位方法;第五章在讨论了二值化方法之后,提出了基于人类视觉特性的车牌图像二值化方法和基于 SOFM 神经网络的图像融合二值化方法;第六章在建立二值化车牌图像倾斜模之后,提出了基于图像矩的车牌号码倾斜校正方法、基于图像坐标特征向量倾斜校正方法、基于图像坐标聚类倾斜校正方法和基于加权最小二乘法的车牌号码倾斜校正方法;第七章提出了改进的投影法车牌字符分割方法以及基于分水岭算法和模糊 C 均值聚类的车牌字符分割方法;第八章总结了全文取得的成果与结论,指出了不足之处以及对今后的研究工作的展望。

在本书相关内容课题研究和撰写过程中,深受湖南文理学院原

计算机科学与技术学院各位老师的谆谆教诲与无私帮助,在此表示诚挚的谢意!此外,也得到了湖南文理学院科学技术发展研究院各位同事的支持,在此向各位同仁表示诚挚的感谢!本书的工作得到了湖南省自然科学基金项目(项目编号:2019JJ60016)、湖南文理学院优秀学术著作出版、湖南省高等学校应用特色学科“机械工程”、湖南省洞庭湖生态经济区建设与发展协同创新中心、湖南文理学院计算机与电气工程学院“计算机应用技术”学科等资助,特此感谢!

在本书内容撰写过程中,参考引用了大量国内外文献,对这些文献的作者表示感谢,特别是阅读了何东健教授主编的《数字图像处理》(第二版),深受启发;另外,<https://blog.csdn.net/>网站上很多作者对各个算法的描述和实现,提供了很好的学习机会,在本书中不再单独列出具体的引用网页;在算法实现、试验验证和算法比较过程中,如对原始文献理解、分析不贴切,敬请作者及读者谅解。本书可供信号与信息处理、通信与信息系统、电子科学与技术、计算机科学与技术、控制科学与工程等学科中从事图像处理分析技术的研究人员和工程技术人员参考,也可作为高等院校相关专业研究生或高年级本科生的参考书。

由于作者水平有限,书中难免存在不当之处,敬请读者批评指正。

作者

2020年7月



目 录



第一章 绪论	1
1.1 车牌号码识别系统	1
1.2 研究现状及水平	2
1.2.1 车牌区域定位方法	3
1.2.2 车牌倾斜校正方法	9
1.2.3 车牌字符分割方法	13
1.3 研究内容与结构安排	17
第二章 数学形态学研究	22
2.1 数学形态学基本概念	22
2.1.1 基本符号和术语	23
2.1.2 交集、并集和补集	24
2.1.3 击中(hit)与击不中(miss)	24
2.1.4 平移与反射	25
2.1.5 目标和结构元素	26
2.2 二值形态学	26
2.2.1 腐蚀	27
2.2.2 膨胀	28

2.2.3	腐蚀和膨胀性质	29
2.2.4	开运算和闭运算	30
2.2.5	击中/击不中(hit/miss)变换	34
2.3	灰度形态学	35
2.3.1	灰度腐蚀	35
2.3.2	灰度膨胀	36
2.3.3	灰度开、闭运算	37
2.4	本章小结	38
第三章 图像特征研究		39
3.1	统计特征	39
3.1.1	平均值(数学期望)、众数、中值和值域	39
3.1.2	标准差/方差	40
3.1.3	图像矩	41
3.1.4	图像熵	44
3.2	颜色特征	44
3.2.1	颜色模型	44
3.2.2	颜色特征描述	50
3.3	几何(边缘)特征	55
3.3.1	位置与方向	55
3.3.2	周长	56
3.3.3	面积	57
3.3.4	长轴和短轴	58
3.3.5	距离	60
3.4	形状特征	60
3.4.1	区域特征	61
3.4.2	轮廓特征	67

3.5	纹理特征	70
3.5.1	统计分析方法	71
3.5.2	结构分析方法	81
3.5.3	信号处理方法	85
3.5.4	模型方法	95
3.6	其他特征	101
3.6.1	SIFT 特征	101
3.6.2	HOG 特征	111
3.6.3	Haar 特征	113
3.7	本章小结	117
第四章	基于形态学和几何特征的车牌定位方法研究	118
4.1	相关定义及原理	119
4.2	基于形态学和几何特征的车牌定位方法	121
4.2.1	计算车牌图像统计特征	121
4.2.2	多结构元素数学形态学背景估计	122
4.2.3	f 干 s 处理残差图像	124
4.2.4	确定车牌区域	125
4.3	模拟试验和结果分析	127
4.3.1	随机抓拍图像试验及结果	127
4.3.2	真实环境试验及结果	128
4.4	本章小结	129
第五章	车牌图像二值化方法	130
5.1	图像二值化方法	130
5.1.1	全局阈值	131
5.1.2	局部阈值	133

5.1.3	动态阈值	135
5.2	基于人类视觉特性的车牌图像二值化方法	136
5.2.1	BHVS 过程	137
5.2.2	模拟试验和结果比较	146
5.3	基于 SOFM 神经网络的图像融合二值化方法	152
5.3.1	FBSOM 过程	153
5.3.2	模拟试验和结果比较	160
5.4	本章小结	162
第六章	车牌图像倾斜校正方法	164
6.1	Hough 变换	165
6.2	Radon 变换	168
6.3	二值化车牌图像倾斜模型	169
6.4	基于图像矩的车牌号码倾斜校正方法	170
6.4.1	车牌号码倾斜校正	172
6.4.2	模拟试验和结果分析	177
6.5	基于图像坐标特征向量倾斜校正方法	182
6.5.1	基于 SVD 的车牌倾斜校正方法	182
6.5.2	模拟试验和结果分析	191
6.6	基于图像坐标聚类倾斜校正方法	196
6.6.1	基于聚类方法车牌倾斜校正方法	196
6.6.2	模拟试验和结果分析	202
6.7	基于加权最小二乘法的车牌号码倾斜校正	206
6.7.1	本书方法	206
6.7.2	模拟试验和结果分析	209
6.8	本章小结	214

第七章 车牌字符分割方法	215
7.1 改进的投影法车牌字符分割方法	215
7.1.1 MIPM 方法	216
7.1.2 试验和结果比较	223
7.2 基于分水岭算法和模糊 C 均值聚类的车牌字符分割方法	225
7.2.1 本书方法	225
7.2.2 试验和结果比较	235
7.3 本章小结	236
第八章 总结	238
8.1 主要研究成果	238
8.2 不足之处及今后的研究工作	242
参考文献	243



第一章 绪论



1.1 车牌号码识别系统

车牌号码识别系统是智能交通管理系统(Intelligent Transformation System, ITS)的重要组成部分,是一套自动、实时检测通行车辆,并准确识别车牌的系统。通过高视频设备和信息管理系统等软硬件平台,采集和预处理交通现场图像,利用图像处理、计算机视觉、人工智能、模式识别等技术识别车牌号码。一般来说,车牌号码识别系统由图像获取、图像预处理、车牌区域定位、车牌图像二值化、车牌倾斜校正、车牌字符分割和车牌符识别等7大部分组成。

车牌图像获取是利用高清摄像头获取交通现场视频,然后检测视频中的车牌图像。因此,视频获取设备和设备工作环境均会对车牌图像质量造成较大影响。视频获取设备分辨率不高、环境光照不佳、车辆高速通行、工作环境复杂等情况下,获取的车牌图像质量不高、图像模糊,将严重影响车牌识别系统的性能和效率。^[1]

车牌图像预处理是改善车牌图像质量的关键步骤,为后续处理打下重要基础。目前图像预处理常用方法包括图像复原去模糊、图像滤波去噪等多种步骤。

只有准确定位车牌区域,才能准确识别车牌。因此,车牌区域定

位的准确率、运行效率等直接影响整个车牌识别系统的准确率和处理效率,是车牌识别系统和 ITS 最关键的步骤之一。

在原始图像中提取车牌图像后,为了减少处理数据,方便后续倾斜校正,需要将车牌图像二值化。

车牌图像拍摄一般是在交通十字路口全天候进行。由于摄影机是固定的,而车辆行驶方向不断变化,以及道路的坡度、车牌的悬挂等原因,图像中的车牌常常存在较为严重的倾斜,造成车牌字符黏连和断裂,给后继的字符分割和识别工作带来极大的困难。因此在车牌准确定位后,进行校正光照不均匀,然后倾斜校正。

车牌字符分割就是用特定算法将每个号码字符单独分割成块。每一块图像中均包含有车牌号码字符,最终 ITS 从分割好的车牌中提取字符。因此,分割准确率影响车牌字符的识别效率。

经过车牌字符分割,最终获得了单个的字符,然后需要利用识别方法对其进行特征识别,从而得到最终的识别结果。^[2]

1.2 研究现状

20 世纪 90 年代初,Johnson 等人首次提出,车牌号码识别过程由特征提取、模板构造、字符识别等 3 部分组成,并成功创建了具有重大意义的车牌识别系统。^[3]经过多年的研究与应用,国外已经开发了很多性能良好、体系完善的车牌识别系统,比较有代表性的有以色列 Hi-Tech 公司研发的 SeeCar 系统、英国 IPI 公司研发的 RTVNP 系统、新加坡 Optasia 公司研发的 VLPRS 系统等。^[2]

20 世纪 90 年代末,我国也对车牌号码识别系统展开了相关研究,除了引进、消化国外已有的研究成果外,研究与改进了车牌区域定位、车牌倾斜校正、车牌字符分割、车牌字符识别等方法。然而,由于国内车牌中包含汉字,比单纯由字母和数字构成的车牌更复杂、识别更困难、运行更耗时。目前,国内很多科技公司经过大量的努力和

实践,已成功开发了适用于我国国情的车牌号码识别系统。例如,臻识科技有限公司自主研发的火眼臻睛车牌识别系统,该系统适应各种极端情形,车牌综合识别率高于 98.5%;北京英特瑞科技发展有限公司的汉王眼车牌识别系统,其车牌定位率为 99%,车牌整牌识别率大于 95%;长沙雷隆智能科技有限公司的车牌识别系统,其最新的识别率可达到 99.9%,汉字识别率可达到 99%。^[4]

1.2.1 车牌区域定位方法

从包含车牌的图像中精确找出车牌所在的位置,即为车牌区域定位。在过去的几十年里,车牌区域定位技术取得了快速的发展,提出了很多实用有效的车牌区域定位方法。根据车牌区域的不同特征,这些方法按照不同的分类标准可以分为以下 5 类:基于边缘特征^[5,6]的定位方法、基于纹理特征^[7-9]的定位方法、基于颜色特征^[10-12]的定位方法、基于字符特征^[13-15]的定位方法和基于神经网络的定位方法。

1. 基于边缘特征的定位方法

该类定位方法的主要依据是图像像素梯度的差异性。车牌区域的边缘像素梯度通常高于图像中其他位置的梯度,一般使用 Canny、Robert、Sobel 等边缘检测算子检测。Rasheed 等人^[16]采用 Canny 算子检测到图像中明显的边缘,并将其作为车牌边缘。2006 年,Shapiro 等人^[17]采用 Robert 边缘算子确定车牌的上下边界,最终确定车牌区域。2003 年,Wang 等人^[18]使用垂直边缘检测车牌。Hsu 等人^[19]提出一种基于边缘特征聚类的车牌检测方法,提取车牌区域。黄继鹏等人^[20]介绍了一种新型的基于层次策略的局部区域检测技术。试验结果表明,该方法对于克服环境噪声具有很强的鲁棒性,实现了高精度的车牌实时定位。孙金岭等人^[21]提出一种基于颜色特征和改进 Canny 算子的车牌图像定位方法。曹岩等人^[22]提出了一种基于形态学梯度重建的车牌定位方法,能快速、准确地定位车

牌,且具有较高的鲁棒性和实时性。梁利利等人^[23]通过 Sobel 算子检测边缘,经数学形态学处理得到连通的车牌候选区域,然后对其进行分析,能准确实现车牌定位,性能良好。郭黎明等人^[24]提出了一种改进的 Prewitt 边缘检测算子和自适应阈值相结合的车牌定位方法,定位速度快、精度高,且鲁棒性较强,具有一定的实用价值。梁大宽等人^[25]分析国内外车牌定位研究的现状,提出了基于矩的图像特征车牌定位方法,在复杂的背景环境下,当车牌发生位置、姿态、尺度的变化时,定位准确率达到 90% 以上,有一定的抗遮挡能力。韦玉科等人^[26]为了解决车牌定位,提出一种基于相邻像素差异值的车牌定位算法,定位准确度较高,为 97.5%,算法运行时间低至 0.62 s,具有一定实用价值。郑贵林等人^[27]提出了一种基于 MSER 与边缘投影相结合的车牌定位算法,适合于嵌入式平台。试验结果表明,该算法对车牌倾斜、弯折、光照不均、大小不一、背景杂乱、分辨率低等情况具有很好的鲁棒性,准确率可达 97.1%,适用于嵌入式车牌识别系统。王晗等人^[28]提出了一种基于模板概率密度函数的车牌定位方法,定位精度高(96.2%),鲁棒性强(漏检 3.8%),并且实现简单。

2. 基于颜色特征的定位方法

同一个物体会会有相似的颜色特征,通过这一特征就将图像的内容分类。在很多国家,同一类型车牌的颜色通常是固定的,并且和车身颜色存在较大差异。基于颜色特征的车牌定位算法是对图像全局特征的提取,一般用色调、亮度和饱和度定位车牌。

Jia 等人^[29]于 2007 年提出一种基于区域的车牌定位方法,利用 Mean-Shfit 方法分割车辆图像,提取候选车牌区域,然后使用车牌边缘梯度判断候选区域是否包含车牌。该方法对于干扰字符具有一定的鲁棒性。但如果车身和车牌颜色非常相近,该方法经常将车身部分区域误判为车牌区域。He 等人^[30]采用显著性来定位车牌区域,首先根据车牌的梯度和颜色特征获取候选车牌区域,再倾斜矫正,最后根据显著性特征精确定位车牌,该方法对不同角度和大小、不同颜色

背景/前景的图像具有较好的鲁棒性。2014年,Ashtari等人^[31]提出了采用模板匹配的方法定位车牌,该方法具有尺度不变性和旋转不变性,同时耗时较短,但在条件较差时的性能不佳。Deb等人^[32]使用HSI颜色模型检测车牌候选区域,首先检测水平与竖直边缘,接着利用HSI颜色模型来确定车牌上的绿色、黄色和白色部分。该方法对于车牌角度非常敏感,且无法适应复杂的环境。2009年,Abolghasemi等人^[33]提出了基于边缘检测和颜色检测的混合车牌定位方法,但是颜色分析运算量较大,时间复杂度较高,仍有提升空间。2014年,Le等人^[34]提出一种鲁棒性好的车牌定位方法,但需要设置多个阈值参数,针对不同环境人工调整参数,无法用于自适应车牌定位。2004年,李文举等人^[35]提出基于边缘颜色对的车牌定位方法,获得了较好的结果。苗姣姣等人^[36]提出了基于HSV彩色空间和图像形态学的车牌定位方法,实现简单、定位准确高效。陈庄等人^[37]提出了一种基于多尺度特征和视觉特征的车牌定位方法,对大量实拍的复杂环境下车辆图像测试显示,该方法车牌定位快速、高效,而且在噪声、仿射变换等方面的鲁棒性表现较好。杨硕等人^[38]针对现有的车牌定位算法对特征的融合程度不强的问题,提出一种水平点一段特征专用于车牌定位。试验结果表明,该算法的成功率能够达到98%以上,明显高于其他对比算法,具有较快的检测速度,验证了所提特征的有效性。陈海霞等^[39]提出了一种复杂背景下基于颜色的车牌定位方法,试验结果表明,基于颜色的车牌定位方法,去除了背景颜色及不相干区域的干扰,可以简化后续车牌处理算法,提高车牌定位的精度和速度。张振威等^[40]以小功率汽车牌照为研究对象,通过修正HIS模型,得出包含车牌蓝色区域的二值图像和包含车牌字符的二值图像,将两幅二值图像合成一张图,利用车牌区域的几何特征实现车牌区域定位。用Hough变换和像素偏移法矫正倾斜的车牌,试验结果表明,该方法与基于边缘检测的车牌定位方法相比,耗时基本不变,定位准确率达到98%,倾斜矫正准确率达到

99%，验证了该方法的有效性。杨鼎鼎等^[41]提出了基于车牌背景和字符颜色特征的车牌定位算法，算法简单、定位快，通用性较好。赵逸群等人^[42]提出了基于车牌检测的前方车辆识别方法，识别率超过90%，并且具有较高的实时性、有效性。黄良俊等^[43]提出了基于改进同态滤波的光照补偿车牌定位方法，快速、准确定位车牌，特别是在光照不均条件下拍摄的图像也能有效地定位。

3. 基于纹理特征的定位方法

车牌字符与背景颜色的灰度和边缘灰度存在较为明显的变化，一般来说，车牌候选区域局部特征变化明显。

Deb 等人^[44]提出了一种改进的回归标记算法，将输入图像转化到 HSL 颜色空间，在高光照、低光照、正常光照条件下分别采用不同二值化方法，从而提高和改善光照对车牌定位算法的鲁棒性。Giannoukos 等人^[45]采用先进的滑动同心窗口算法，根据车牌纹理的局部不规则特征来检测车牌区域，并使用上下文扫描算法来减少检测时间。Wang 等人^[46]提出了基于纹理特征的车牌定位方法，采用小波变换技术，定位精度达到了 97.33%。但是，该方法计算复杂、定位慢，不适应实时定位系统的需要。Patel 等人^[47]提出了基于 Harris 角点的车牌定位方法，定位快、复杂度低，但在背景复杂情况下，图像中干扰区域多，定位准确率急剧下降。Karel 等人^[48]提出了基于兴趣点检测算子的车牌定位方法，试验结果表明，FAST 算子和 Harris 算子定位效果较好，但仍需要计算车牌几何特征进一步改进。刘同焰等人^[49]使用改进的 Sobel 边缘检测算子对图像进行边缘检测，提取图像的纹理特征，筛选纹理特征得到车牌候选区域，再经过 Otsu 算法对图像进行二值化处理和形态学闭操作，闭合车牌字符区域，最后通过车牌区域的几何特征完成车牌粗定位。孙红等人^[50]提出基于 RGB 颜色特征和字符纹理特征定位算法，定位准确率能够达到 99.4%。胡峰松等人^[51]提出基于 SURF 算法和多重特征的车牌定位算法，与 SIFT 算法相比，在定位准确率相同情况下减少了运行时