

图像识别及嵌入式技术 在智能交通系统中的 应用研究

耿庆田 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图像识别及嵌入式技术在智能 交通系统中的应用研究

耿庆田 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

·北京·

内容提要

本书利用图像识别与嵌入式技术在智能交通系统中涉及的部分领域作了以下几方面的工作：①在智能泊车方面提出了基于摄像机标定模型的智能泊车系统算法，使泊车预测轨迹计算的精度及实时性得到了显著改善；②在车牌识别方面提出了一种改进的自适应多级中值滤波器算法，对图像进行去噪处理、基于 Sobel 算子的车牌精确定位改进算法，基于 Radon 变换的字符校正改进算法、基于改进隐马尔科夫特征的车牌字符识别算法，使车牌的识别率和识别速度得到了提高，能够满足实际应用的需要；③在车辆识别方面对车标和车型进行了识别研究，然后将二者识别结果综合起来作为车辆识别的依据，提出了基于改进 SIFT 特征的车标识别算法和基于改进 HOG 特征与 SVM 分类器相结合的车辆识别算法。实验结果表明，改进后的识别算法具有较高识别率，并且对光线、部分遮挡、噪声有较强的鲁棒性。

本书适合计算机及相关专业的本科生和研究生阅读，也适合作为相关程序员、工程技术人员及科研人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

图像识别及嵌入式技术在智能交通系统中的应用研究/
耿庆田著. — 北京：中国水利水电出版社，2018.8
ISBN 978-7-5170-6674-3

I. ①图… II. ①耿… III. ①图象识别—应用—交通
运输管理—智能系统—研究 IV. ①U495

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第171292号

策划编辑：石永峰 责任编辑：张玉玲 加工编辑：孙丹 封面设计：李佳

书 名	图像识别及嵌入式技术在智能交通系统中的应用研究 TUXIANG SHIBIE JI QIANRUSHI JISHU ZAI ZHINENG JIAOTONG XITONG ZHONG DE YINGYONG YANJIU
作 者	耿庆田 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话：(010) 68367658 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 13.75印张
版 次	2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	54.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

近年来,在基于图像识别技术的交通管理中,嵌入式、无线数据通信、计算机视觉等先进技术越来越多地被应用到路面交通管理上,由此也使得智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)的实时性越来越强、准确率越来越高、识别速度越来越快。

图像识别技术是人工智能的一个研究方向,经过多年的研究,图像识别技术在社会生活中的应用也越来越广泛。特别是在智能交通领域,图像识别技术主要应用于基于图像识别的智能汽车电子信息系统、基于图像识别的交通监控和基于图像识别的交通管理三个领域。基于图像识别的智能汽车电子信息系统主要实现车辆外部环境和内部信息交互的功能,包括车辆自适应导航、障碍物检测、道路识别及故障分析等。基于图像识别的交通监控主要是利用计算机智能化技术,通过摄像机或电子眼对违章车辆的车牌进行智能识别,由交通监管部门对道路上行驶车辆进行信息的采集、分析、跟踪以及交通流量参数检测等。基于图像识别的交通管理主要实现智能收费功能,包括汽车车牌识别和汽车外型识别等。

在基于图像识别的智能汽车电子信息系统中,智能汽车电子信息系统综合运用计算机智能化、GPS、数据通信、机械控制、传感等技术来实现汽车监测、定位、防盗、车内外信息交互、故障及障碍检测等功能,为汽车驾驶者提供自适应巡航、交通事故预报、轻松安全方便智能化驾驶的服务。智能汽车电子信息系统在改善交通条件、提高汽车操控性能、实现交通智能化等方面起着重要作用。智能泊车辅助系统又称泊车电脑警示系统,是汽车电子信息系统的关键技术之一,也是智能无人驾驶汽车系统的一个组成部分,它主要为驾车者提供车后盲区显示、实时智能轨迹预测、警戒线警戒区提示等辅助。通常,可视泊车系统的硬件由数字摄像头、泊车系统中央控制器、电子显示屏三个模块组成。当系统开始工作时,摄像头首先将车辆周围的环境实时摄录下来并显示。当汽车转向机的转向角度发生变化时,中央控制器通过CAN总线获得相应数据参数,然后通过一定的算法计算出该车的实时倒车轨迹并显示在屏幕上。接着,中央控制器利用传感器发射超声波信号测算出障碍物的位置后,显示距离并发出提示信号。这样可帮助驾车者消除视野死角和因视线不清而可能发生的误操作,提高驾驶操作的安全性。

在基于图像识别的交通监控中,基于图像识别的交通监控技术主要利用安装在交通路面上方的数字摄像机,把路面上的交通信息以图像的方式采集存储于计算机中,应用图像处理及图像识别技术对图像中的车辆进行检测跟踪,来获得相

关的交通流量信息及违反交通法规现象的车辆信息，作为交通管理控制调流及法律裁决的依据，从而减少交通拥堵、改善交通环境、杜绝驾驶者不良驾驶习惯、提高道路使用效率，实现安全交通智能化。为了实现上述目标，获取车辆身份信息是关键。基于图像识别的目标检测技术可以把信息量较多的视觉图像中的一些标志性关键信息从复杂背景中实时、快速、精确地提取出来，通过智能计算机系统进行分析处理后应用到 ITS，可以实现对道路交通状况、车辆行驶状态的监控，以及对交通事故路段的检测预报。显然，汽车牌照是实现交通监控的标志性信息之一，车牌识别技术就成为交通监控系统的关键技术，它可以完成对目标车辆进行识别查找并对交通流量进行分析，以使交通要素合理优化配置，提高交通要素使用效率。

在智能交通系统中，基于图像处理及图像识别技术的电子不停车收费系统（electronic toll collection, ETC）就是其中一个有实际价值的应用。ETC 实现的核心技术在于车辆识别，其中，车型识别与车标识别是该技术中的两项关键技术。车型识别是指把摄像机定向采集的汽车图像经智能计算机终端运用相关方法进行处理，对不同类型的汽车进行分类，达到对实时输入的汽车图像进行车型识别。采用这种技术进行车型识别的优点是数据占用存储空间小、客户端与后台数据库连接速度快。车型的自动识别是 ITS 中的关键技术之一，该技术不仅可以用在 ETC 中，还可以应用到交通监控等领域中。

在上述背景下，本书利用图像识别技术在智能泊车轨迹精准计算、车牌识别、车辆识别等方面做一些有益的改进工作。

本书是吉林省省级产业创新专项资金项目“基于大数据的车载智能通信系统中人类行为动力学研究（2016C078）”、吉林省产业技术研究和开发专项项目“基于物联网技术的智能仓储平台开发与应用（2017C031-2）”、吉林省教育厅“十三五”科学技术研究项目“基于人工智能的汽车自适应巡航控制技术研究（2018269）”的研究成果。

鉴于作者水平有限，书中难免存在错误之处，敬请读者批评指正。

耿庆田
2018年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 基于图像识别理论的智能交通系统	2
1.3 智能交通系统中的图像识别相关技术研究现状	4
1.3.1 基于图像识别理论的智能泊车技术研究现状	4
1.3.2 基于图像识别理论的车牌识别技术研究现状	6
1.3.3 基于图像识别理论的车辆识别技术研究现状	8
1.4 本书的主要工作与研究成果	10
1.5 本书的整体结构安排	12
第 2 章 图像识别基本方法及关键技术	14
2.1 图像识别基础	14
2.1.1 图像识别的分类	14
2.1.2 图像识别方法的基本框架	16
2.2 图像预处理技术	17
2.2.1 彩色图像灰度化	17
2.2.2 灰度图像二值化	18
2.2.3 图像增强	19
2.2.4 图像去噪	21
2.2.5 图像分割	22
2.3 图像特征提取	26
2.3.1 图像特征提取的基本思想	26
2.3.2 图像特征提取方法	27
2.4 图像分类算法	32
2.4.1 有监督分类方法	32
2.4.2 无监督聚类方法	34
2.5 计算机视觉图像相关理论	34
2.5.1 计算机视觉理论的发展	34
2.5.2 计算机视觉基本理论	37
2.5.3 计算机视觉的应用	39

2.6	嵌入式系统技术	40
2.6.1	嵌入式 Linux 开发平台	40
2.6.2	嵌入式系统软件	42
2.7	本章小结	45
第 3 章	基于摄像机标定模型的智能泊车系统算法研究	46
3.1	智能泊车系统的基本框架	47
3.2	传统的智能泊车轨迹算法研究	48
3.2.1	阿克曼转向几何特性理论	49
3.2.2	侧方位泊车轨迹算法分析	50
3.2.3	垂直倒车轨迹算法分析	52
3.3	基于摄像机标定的智能泊车算法	54
3.3.1	传统摄像机标定算法	54
3.3.2	基于改进畸变模型及初值优化的摄像机标定算法	66
3.3.3	基于改进摄像机标定模型的智能泊车轨迹算法	70
3.4	实验结果与分析	78
3.4.1	采集帧率测试	78
3.4.2	泊车轨迹精度测试	80
3.5	本章小结	86
第 4 章	基于嵌入式技术的避障泊车系统的设计研究	88
4.1	实时可视避障泊车系统的构建	88
4.2	可视泊车系统硬件开发平台选择	91
4.3	可视泊车系统硬件架构设计	96
4.4	实时可视避障泊车系统硬件设计	97
4.4.1	电源子系统模块设计	97
4.4.2	复位系统模块设计	98
4.4.3	SDRAM 子系统设计	99
4.4.4	Flash 子系统	100
4.4.5	串口和 JTAG 调试接口	101
4.4.6	图像识别采集模块	102
4.4.7	角度信号获取模块	103
4.4.8	图像识别显示模块	103
4.5	可视泊车系统软件体系结构设计	105
4.5.1	嵌入式操作系统的选择和设计	105
4.5.2	图像识别数据采集技术选择	108
4.5.3	嵌入式图形系统技术选择	109

4.5.4	系统软件架构设计	110
4.5.5	系统软件总体流程设计	111
4.6	图像识别采集模块设计	114
4.7	实时可视避障泊车系统测试	118
4.7.1	播放器模块的测试	118
4.7.2	绘制轨迹精度测试实验	118
第 5 章	车牌识别关键算法研究	123
5.1	车牌识别图像预处理算法研究	124
5.1.1	车牌图像增强处理	124
5.1.2	车牌图像去噪处理	126
5.2	基于多重分形维数的车牌图像二值化	129
5.2.1	差分盒子维数算法	130
5.2.2	差分盒子维数改进算法	130
5.2.3	基于改进差分盒分形维数的灰度图像二值化	131
5.3	基于边缘检测精度的车牌定位算法	133
5.3.1	基于传统 Sobel 算子的图像边缘检测算法	133
5.3.2	基于 Sobel 算子的图像边缘检测改进算法	134
5.3.3	基于 Sobel 算子的车牌精确定位改进算法	135
5.4	车牌字符校正分割算法	136
5.4.1	基于 Radon 变换字符校正的改进算法	136
5.4.2	基于垂直投影法车牌单字符分割改进算法	138
5.4.3	基于车牌字符边框归一化的改进算法	141
5.5	基于改进隐马尔科夫模型的车牌字符识别算法	143
5.5.1	隐马尔科夫模型	143
5.5.2	改进隐马尔科夫模型	144
5.5.3	基于隐马尔科夫模型的鲁棒性特征提取	146
5.5.4	分类器的构造和实施	147
5.6	实验结果与分析	148
5.6.1	基于改进分形维数方法的二值化测试	148
5.6.2	基于 EHMM 车牌字符的识别测试	149
5.6.3	多种车牌识别算法的测试结果比较	150
5.6.4	本书算法评估	150
5.7	本章小结	151
第 6 章	车辆识别关键技术研究	153
6.1	基于改进 SIFT 算子与 BP 网络相融合的车标识别算法	154

6.1.1	车标识别技术概述	155
6.1.2	车标特征描述子的构造	156
6.1.3	基于改进 SIFT 算法的车标特征提取	158
6.1.4	基于神经网络的车标识别算法	164
6.1.5	实验结果及分析	167
6.2	基于改进 HOG 特征与 SVM 分类器结合的车型识别算法	169
6.2.1	对 HOG 特征算法改进	170
6.2.2	基于改进 HOG 算法的车型图像特征提取	172
6.2.3	SVM 模型训练	174
6.2.4	实验结果及分析	178
6.3	本章小结	181
第 7 章	总结与展望	182
7.1	本书的基础性工作	182
7.2	本书的创新性工作	183
7.3	进一步的研究工作	183
	参考文献	185
	作者简介及在学期间所取得的科研成果	210

分利用智能识别技术才能综合获得全面的路面交通信息，从而实现高效合理地利用路面交通资源，便于交通参与者对交通情况实时掌握并合理使用，促进交通管理现代化。图像识别技术作为人类的一项基本智能，在人们的日常生活中无处不在。飞速发展的计算机技术与电子技术使得计算机硬件性能已能满足图像处理的实时性需要，加之高可塑性的图像处理算法，保障了图像识别技术在智能交通系统中占据重要的位置。当然，图像识别技术也就成为智能交通系统研究中既重要又有很高应用价值的研究对象。

从功能角度看，ITS 由涉及收费、管理、车辆控制、紧急事件管理与救援等方面的六个子系统构成^[4]。这六个系统的交叉点或者说处理对象就是车辆，车辆是整个 ITS 中的主要调节目标，ITS 各项功能的完成均需围绕车辆展开。车辆的相关图像信息的处理将成为解决具体问题的关键。因此，本书以图像识别技术为出发点，结合 ITS 中所存在的待解决的一些实际问题的关键技术进行研究，期为实际应用提供高效可行的解决方案。

1.2 基于图像识别理论的智能交通系统

图像是图形和影像的集合，是人类所接触的、包含丰富内容的信息载体。人类在对图像进行识别时，一般是通过对其所具备的特征进行判断后再加以识别。对于计算机而言，它对于图像的识别过程与人类相似的，也需要对特征进行寻找、加工、提取后进行判断识别。

图像识别技术是人工智能的一个研究方向^[5]，图像特征是图像识别技术得以使用的前提。经过多年的研究，人类对图像识别技术业已有较深入的探索，并收获了颇多具有实际使用意义的成果，图像识别技术的应用也越来越广泛。在 ITS 中，主要是为交通参与者提供交通方面的咨询信息服务与共享数据资源，因此 ITS 提供的相关服务的稳定性、可靠性、安全性、灵活性必须得到保证。其中涉及到关键技术就是图像识别技术，也可以说图像识别技术是 ITS 成功使用的要因。

ITS 中的图像识别技术主要应用在基于图像识别的智能汽车电子信息系统、基于图像识别的交通监控和基于图像识别的交通管理三个领域^[6]。基于图像识别的智能汽车电子信息系统主要实现车辆外部环境和内部信息交互的功能，包括车

辆自适应导航、障碍物检测、道路识别及故障分析等^[7]。基于图像识别的交通监控主要是利用计算机智能化技术,通过摄像机或电子眼对违章车辆的车牌进行智能识别,由交通监管部门对道路上行驶的车辆进行信息的采集、分析、跟踪以及交通流量参数检测等功能。基于图像识别的交通管理主要实现智能收费功能,包括汽车车牌识别和汽车外型识别等领域。

基于图像识别的智能汽车电子信息系统是综合运用计算机智能化、GPS、数据通信、机械控制、传感等技术来实现汽车监测、定位、防盗、车内外信息交互、故障及障碍检测等功能,为汽车驾驶者提供自适应巡航、交通事故预报、轻松安全方便智能化驾驶的服务^[8]。智能汽车电子信息系统对改善交通条件、提高汽车操控性能、实现交通智能化等方面起着重要作用。泊车辅助系统又称泊车电脑警示系统,是汽车电子信息系统的关键技术之一^[9]。其主要功能是帮助驾驶者完成泊车特别是向后倒车的驾驶任务^[10]。可视泊车系统是汽车辅助系统的一个组成部分,它主要为驾车者提供车后盲区显示、实时智能轨迹预测、警戒线警戒区提示等辅助^[11,12]。通常,可视泊车系统的硬件由数字摄像头、泊车系统中央控制器、电子显示屏三个模块组成。当系统开始工作时,摄像头首先将车辆周围的环境实时摄录下来并显示。当汽车转向机的转向角度发生变化时,中央控制器通过CAN总线获得相应数据参数,然后通过一定的算法计算出该车的实时倒车轨迹并显示在屏幕上。接着,中央控制器利用传感器发射超声波信号测算出障碍物的位置后,显示距离并发出提示信号。这样可帮助驾车者消除视野死角、避免因视线不清而可能发生的误操作,提高驾驶操作的安全性^[13]。

基于图像识别的交通监控技术主要利用安装在交通路面上方的数字摄像机,把路面上的交通信息以图像的方式采集存储于计算机中,应用图像处理及图像识别技术,对图像中的车辆进行检测跟踪来获得相关的交通流量信息及违反交通法规现象的车辆信息,作为交通管理控制调流及法律裁决的依据,从而减少交通拥堵、改善交通环境、杜绝驾驶者不良驾驶习惯、提高道路使用效率,实现安全交通智能化^[14,15]。为了实现上述目标,获取车辆身份信息是关键。基于图像识别的目标检测技术可以把信息量较多的视觉图像中一些标志性的关键信息从复杂背景中实时、快速、精确地提取出来,通过智能计算机系统进行分析处理后应用到ITS中,可以实现对道路交通状况、车辆行驶状态的监控,以及对交通事故路段的检

测预报。显然,汽车牌照是实现交通监控的标志性信息之一,车牌识别技术就成为交通监控系统的关键技术之一,它可以完成对目标车辆进行识别查找并对交通流量进行分析,达到交通要素合理优化配置,提高交通要素使用效率。

近年来,在基于图像识别的交通管理中,电子传感、无线数据通信、计算机视觉等领域的先进技术越来越多地被应用到路面交通管理上,由此也使得 ITS 的实时性越来越强、准确率越来越高、识别速度越来越快。基于图像处理及图像识别技术的电子不停车收费系统 (electronic toll collection, ETC)^[16]就是其中一个有实际价值的应用。ETC 实现的核心技术在于车辆识别,其中,车型识别与车标识别是该技术中的两项关键技术^[17,18]。车型识别是指把摄像机定向采集的汽车图像经智能计算机终端运用相关方法进行处理,对不同类型的汽车进行分类,达到对实时输入的汽车图像进行车型识别^[19-21]。采用这种技术进行车型识别的优点是数据占用存储空间小,客户端与后台数据库连接速度快。车型的自动识别是 ITS 中的关键技术之一,该技术不仅可以用在 ETC 中,还可以应用到交通监控等领域中。

1.3 智能交通系统中的图像识别相关技术研究现状

1.3.1 基于图像识别理论的智能泊车技术研究现状

智能泊车技术中,主要涉及停车位检测技术与路径规划技术。停车位检测技术是整个智能泊车技术的基础,只有准确地识别停车位,才能成功地采用路径规划技术和路径跟踪技术。为了准确识别停车位,国内外学者和研究人员做了大量的研究。识别停车位的相关技术可分为两类,通过识别邻车构建停车位的 3D 模型方法和识别停车位标志线方法。识别邻车构建停车位的 3D 模型方法中, Jung 等^[22]通过聚类特征点的方式识别周围的障碍物并检测空的停车位。Kaempchen 等^[23]利用超声波传感器构建 3D 模型停车位,并结合车辆里程计信息检测空的停车位。这种通过识别邻车构建局部 3D 信息的方式只适用于空停车位周边有障碍物的情况,同时超声传感器自身精确度低、有效探测距离短,因此限制其适用性。随后基于激光雷达的方法被推荐用于确定周围障碍物信息,但是其成本极高且寿

命短,在智能泊车技术中并不被采用。在识别停车位标志线方法中,Corral和Xu等^[24,25]利用视觉图像处理技术检测停车位标志线的方法检测停车位,Jung等^[26]通过图像处理技术与识别障碍物相结合的方式检测停车位。采用快速准确且成本低的方式检测停车位是整个智能泊车技术中最基础的环节。

路径规划^[27]是智能泊车技术中另一个重要的关键技术,准确获取停车位置后,基于圆弧理论设计车辆低速行驶的运动轨迹,规划一条当前位置与停车位之间的泊车轨迹,并为了避免行驶途中的碰撞,规划过程中引入约束条件的模型^[28] (“禁区”“安全边界宽度”)。路径跟踪技术主要是自主控制汽车的转弯与行驶,需要建立车辆运动学与动力学模型及环境参数。由于实际场景中,车辆的很多参数是无法确定的,比如轮胎大小和干扰势力等,因此实现准确路径跟踪具有很大的挑战,很多学者和研究人员因此提出了很多算法,如PID控制、时变鲁棒控制律、时变状态反馈控制律等,准确可靠的路径跟踪是智能泊车技术中智能性的重要体现。

对于路径规划问题,国内外相关学者已做了大量研究工作,并相继提出一些解决实际问题的算法。Sungon Lee等^[29]提出了非完整约束状态泊车算法,该方法主要通过分析调整车辆的泊车方向及车身距车位的横竖距离,采用多个正弦曲线相连接的方法规划泊车路径。Laumont等^[30-32]采用多项式拟合方法,该方法根据车辆的各种约束条件,通过跟踪拟合出泊车轨迹曲线。Paromtchik、Murray等^[33-35]提出反复正弦曲线泊车轨迹算法,该算法考虑避碰的条件,通过反复多次运动方式实现泊车操作。Kang-Zhi Liu等^[36]采用建立泊车数学模型并将车速和方向盘转角作为模型中的控制变量,实现平行及垂直泊车算法。Reeds^[37]提出最短泊车路径规划算法,该方法通过计算最小转弯半径来判断泊车路径的起点和终点。Kanayama^[38,39]提出螺旋曲线法,通过螺旋曲线建立曲率连续的泊车轨迹曲线。Jacobs等^[40-47]提出圆弧一直线路径规划法来设计泊车路径。Scheuer等^[48-59]提出渐开线法,通过计算渐开线曲率实现连续变化泊车路径曲率得到轨迹曲线。Derrick Nguyen^[60]用神经网络算法来计算泊车轨迹,后来Daxwanger^[61]利用遗传算法对神经网络进行改进并应用到泊车轨迹的计算,取得不错的效果。Bianco等^[62-66]提出采用多项式函数来计算泊车路径。文献^[67]采用反正切函数来计算泊车路径曲线。Wu、Sakai等^[68,69]使用Ferguson函数和三次样条差值函数来计算泊车路径曲线,并

采用遗传算法对路径进行优化。Young^[70]使用模糊控制方法来实现对自动泊车轨迹的控制研究。文献[71-73]采用圆弧曲线一直线方法来计算泊车路径。Bruyninckx^[74]采用 Pythagorean Hodograph 速端曲线对泊车路径进行规划设计。Van Den Berg^[75]采用线性高斯函数来计算泊车路径曲线。Zhang、Wang、Hung 等^[76,77]分别采用进化算法 (evolutionary algorithms, EAs)、分层遗传算法以及多目标优化算法对智能移动机器人路径进行设计。Bhaduri、Bhattacharjea、Kale 等^[78-80]分别采用基因免疫算法、蜂群优化算法、协同进化遗传算法对移动机器人进行路径规划。Araujo 等^[81]采用模糊神经网络自适应共振理论 (fuzzy adaptive resonance theory, FART) 对小范围移动智能机器人进行室内路径规划。Qu 等^[82]采用脉冲耦合神经网络 (Pulse Coupled Neural Network, PCNN) 算法对变化环境中的智能移动机器人进行避障路径规划。文献[83-85]采用模糊控制的策略, 提出了来回多段移动式的泊车路径规划方法。文献[86-88]提出了基于 B 样条曲线、五次多项式曲线、贝塞尔曲线等曲率连续的泊车路径规划方法。文献[89]提出了采用缓和曲线线型进行路径规划。BASU^[90]提出禁忌搜索算法。Wang Yong 等^[91]提出模拟退火算法、Fan Ming 等^[92]提出遗传算法、IMEN C 等^[93]提出蚁群算法、王波等^[94]提出粒子群算法进行泊车路径规划。

1.3.2 基于图像识别理论的车牌识别技术研究现状

车牌自动识别系统技术是智能交通中的重要研究课题, 在停车场和高速公路收费管理系统中有着广泛的应用^[95]。车牌识别技术大致分为三个部分: 车牌定位、字符分割和字符识别^[96]。车牌定位是在获取的图像中确定车牌所在图像的位置^[97]; 字符分割则是在确定车牌所在图像位置中对其字符进行处理, 并将每个字符都单分开^[98]; 字符识别则是根据字符分割过程中所得到的单个字符进行识别, 并转换为字符信息^[99]。大部分车牌识别系统都是以通用的方法作为基础, 比如人工神经网络^[100,101], 光学字符识别^[102], 支持向量机 (SVM)^[103]、尺度不变特征变换 (SIFT) 等。Wang 等^[104]采用 Sobel 滤波器提取车辆边缘信息进行进一步识别。Zhai 等^[105]利用 OCR 将印刷文本扫描图像转换为计算机编码文本, 将两个非重叠的真实字符图像数据作为反馈神经网络 OCR 算法的训练样本。这种图像数据模拟真实场景, 同时反馈神经网络 OCR 算法可以判断输入信息是否属于指定的类别。Amit 等^[106]

和 Ercal 等^[107]利用特征提取和二进制像素值作为神经网络的输入。Chang 等^[108]针对车牌字符外观相似字符补充额外的训练,对这些区别不大的字符进行更好的识别。Pan 等^[109]采用双阶段混合 OCR 系统优化识别效率,通过多个分类器首先单独识别输入字符,再利用贝叶斯方法融合这些独立的识别结果,最后根据第一步识别结果是否符合约束,从而进一步深入识别。

R.Mullot 等^[110]利用图像文字纹理共性提出了基于图像纹理的车牌图像分割定位算法。Yuntao Cui 等^[111]提出基于马尔科夫场的车牌特征提取和二值化算法。EunRyung 等^[112]提出基于颜色分量的车牌识别算法,该算法以 Hough 变换、灰度值变换及 HLS 模式为基础进行车牌识别。Anagnostopoulos 等^[113]提出基于概率神经网络(PNN)可训练的光学字符识别算法来对车牌字符进行识别。C Gou 等^[114]提出基于特定字符极值区域(ERs)和受限玻尔兹曼机(HDRBMs)的车牌识别算法,该方法首先利用数学形态学,通过垂直边缘检测对车牌进行粗略定位(LPD);然后对候选字符区域进行特定字符(ERS)提取;最后通过离线训练模式分类器进行字符识别。Z Yao 等^[115]提出基于多级信息融合的车牌检测识别算法。R Wang 等^[116]提出基于梯度信息和级联检测器的车牌检测识别方法,该方法首先通过图像预处理得到的统一板式梯度图像;然后采用级联 AdaBoost 分类器进行粗略检测;最后用启发式的判断策略和基于投票的方法来识别验证候选车牌。D.Menotti 等^[117]提出基于随机卷积网络的车牌字符识别算法。MK.Hossen 等^[118]提出基于 HSI 颜色模型和 SUSAN 角检测的车牌倾斜校正及字符识别算法。V.Sharma 等^[119]提出基于光学字符识别和模板匹配的车牌自动识别算法。J Gao 等^[120]充分利用了板基和字符的固定颜色纹理特点,提出一种新的带有颜色分量纹理检测和模板匹配(CCTD-TM)的自动车牌识别算法。HV.Dastjerdi 等^[121]提出基于点加权和模板匹配的车牌自动检测识别系统算法。N.Yazdian 等^[122]提出使用局部正规化和智能特征分类的自动牌识别算法。P.Paul 等^[123]提出使用自适应特征集的自动车牌识别方法。AM.Burry 等^[124]提出基于自适应学习 Human-in-the-Loop 方法自动车牌识别系统。R.Azad^[125]提出基于提高实时性和有效性的边缘车牌识别系统。L Zheng 等^[126,127]提出一种改进的斑点检测算法应用于增强车牌字符识别,该方法通过提取全局边缘特征和局部类 Haar 特征来构建级联分类器检测车牌。D Zang 等^[128]提出基于视觉注意模型和深度学习的车牌识别算法。V.Tadic 等^[129,130]提出基

于模糊的 Gabor 滤波器车牌检测识别算法, 该方法是利用模糊二维 Gabor 滤波器从复杂的图像中提取车牌的一种新算法。H.Samma 等^[131]提出基于模因论的模糊支持向量机模型 (fuzzy support vector machine, FSVM) 的车牌识别算法。MR Asif 等^[132]提出基于密集交通条件实时多车牌检测识别算法。YN Chen 等^[133]提出基于二级级联分类器和单一卷积特征映射车牌检测识别算法。M.Catak^[134]提出基于 EKE 泊松变换的车牌识别算法。R Cheng 等^[135]提出具有一种新的自创建磁盘分裂算法的径向小波神经网络车牌字符识别算法。G Wang 等^[136]提出基于复杂场景的定向快速和旋转特征车牌定位算法。S Yu 等^[137]提出基于小波变换和经验模式分解 (empirical mode decomposition, EMD) 分析新的车牌定位方法。G.Abo Samra 等^[138]提出利用动态图像处理技术和遗传算法的车牌号码定位方法。Q Gu 等^[139]提出基于可移动标签的最大稳定极值区域 (maximally stable extremal region, MSER) 快速多尺度车牌检测与定位算法。NR.Sooraa 等^[140]提出基于英文字母和数字两种新型几何特征提取技术车牌字符识别方法。M.Wafy 等^[141]提出基于形态特征的车牌识别方法。Y P Liu 等^[142]提出一种基于 OpenCV 的高效车牌识别算法。Dun J 等^[143]提出基于共同的颜色复杂背景下的多车道中国车牌的定位方法。H.Rajput 等^[144]提出利用 Radon 变换来识别倾斜车辆牌照图像的方法。

1.3.3 基于图像识别理论的车辆识别技术研究现状

本书讲解的车辆识别技术采用的是将车标和车型识别相结合的方法。车标识别是指通过计算机视觉、图像处理与模式识别等方法从车辆图像中提取车标信息, 从而获得机动车辆品牌信息的一种实用技术^[145]。车标识别技术是智能交通系统中的一个重要研究领域, 具有较高的实用价值。

车标识别技术主要识别具体的车标类别, 为后期多种应用做铺垫, 比如报警、跟踪、计费。车标识别技术常用的方法大致分为五种, 分别是基于边缘直方图的方法、结合 2DPCA-ICA 和 SVM 的方法、基于 Hu 不变矩的方法、基于 SIFT 描述子的方法和基于模板匹配的方法。基于边缘直方图的方法中, 罗彬等^[146]首先对车标图像进行灰度化处理, 然后统计边缘直方图并表示该图像, 相似车标被认为具有相似的灰度直方图。但是车标图像极易受光照影响, 使不同车标图像具有相似的灰度直方图, 降低识别准确度。结合 2DPCA-ICA 和 SVM 的方法中, 李文

举等首先对图像进行 2DPCA 降维^[147]，然后采用 ICA 方法^[148]对降维后的数据独立成分进行分析，将图像信号单独分离，获取车标特征。最后通过 SVM 方法识别车标所属的车标类别。基于 Hu 不变矩的方法中，王枚等^[149,150]通过小波变换低频部分提取车标图像的总形状特征，其低频部分构造车标图像，并以 7 个 Hu 不变矩作为车标图像的特征，采用最小分类器对其识别。Hu 不变矩虽然对图像的旋转、平移、伸缩具有一定的不变性，但是计算量较大，会影响识别效率。基于 SIFT 描述子的方法中，Gao 等^[151]和 Psyllos 等^[152]首先提取车标图像的 SIFT 特征，然后根据 SIFT 特征点的位置信息筛选部分特征，再根据这些筛选后的特征描述子表征车标图像，最后根据神经网络对车标图像进行分类。SIFT 虽然可以很好地表征车标图像，但是计算量过大，不适于实时的车标检索方案。基于模板匹配的方法中，李贵俊等^[153]通过构造车标图像的模板库，在模板库中比对车标图像库和识别车标图像得到最终识别结果，但是需要更新模板库时，计算量较大，运行效率低。

近年来，国内外专家对车标识别技术做了更深入的研究，提出了一些新的算法。AP Psyllos 等^[154]提出基于 SIFT 的增强匹配方案的车标识别算法。Bogusław Cyganek 等^[155]提出基于模式张量表示和分解的分类器集成改进的车标识别算法。J Xiao 等^[156]提出基于锐度直方图特征的加权多类支持向量机车标识别算法。Y Huang 等^[157]提出基于卷积神经网络训练策略与车标识别算法。H Peng 等^[158]提出基于统计随机稀疏分布的低分辨率车辆图像标志识别算法。刘海明等^[159]提出基于补丁斑块强度和权重矩阵的车辆标志检测方法。HK Sulehria 等^[160]提出基于数学形态学的车标识别算法。DF Llorca 等^[165]提出利用 HOG 特征和 SVM 的交通图像车标识别方法。W Liu^[161]提出基于内核 L2 范数正则化最小二乘算法（regularized least square, RLS）的车标识别方法。Q Sun 等^[162]使用 AdaBoost 算法和局部二元模式减少车标的搜索区域，然后通过改进的梯度定位算法来进一步锁定标识车标，最后利用方向梯度和支持向量机来识别车标。Y Ou 等^[163]提出基于加权空间金字塔框架的车标识别算法。R Chen 等^[164]提出利用空间筛选和逻辑回归相结合的车标识别算法。

车型识别也是智能交通系统的重要研究内容。传统的车型识别方法有地感线圈检测、超声波检测、激光红外线识别。最近兴起的基于图像处理的车型识别方