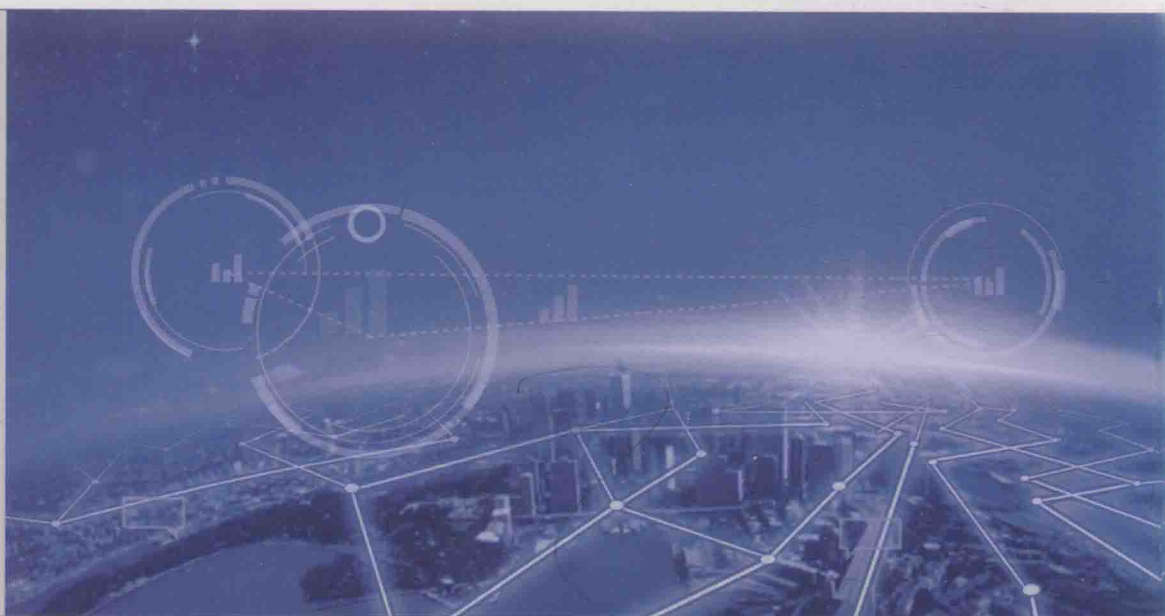


*Theories and Technologies of Intelligent
Transportation Information Perception*

智能交通信息 感知理论与技术



赵池航◎著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

智能交通信息感知理论与技术

赵池航 著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分上、中、下三篇，上篇、中篇用中文撰写，下篇用英文撰写。本书以交通信息感知理论与技术为主线，系统研究了交通场景中驾驶人-车辆-路面信息感知的理论与技术，主要包括：车辆信息感知理论与技术，主要有交通场景中车辆检测理论与技术、车辆品牌感知理论与技术、车辆异常行为感知理论与技术和基于车载装饰品特征的车辆检索方法；路面信息感知理论与技术，主要有基于联合检测器的路面破损检测方法、基于 Contourlet 变换的路面图像特征提取方法和基于联合特征及分类器集成的路面破损类型分类方法；驾驶人信息感知理论与技术，主要有基于 Curvelet 变换的驾驶人疲劳识别方法、基于 LMDP (Local Multiresolution Derivative Pattern) 的驾驶人疲劳识别方法、基于 NC (Nonsampled Contourlet) 变换的驾驶人异常姿态识别方法和基于融合特征的驾驶人异常姿态识别方法。

本书可作为高等院校交通运输工程、交通信息工程与控制、载运工具运用工程等专业研究生及本科生的教材，也可作为高等院校、科研院所和企事业单位从事智能交通系统研究的工程技术人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能交通信息感知理论与技术 / 赵池航著. —北京：电子工业出版社，2019.9

ISBN 978-7-121-35622-3

I. ①智… II. ①赵… III. ①交通运输管理—智能系统—信息处理—研究 IV. ①U495

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 263644 号

策划编辑：王志宇

责任编辑：裴 杰

印 刷：北京七彩京通数码快印有限公司

装 订：北京七彩京通数码快印有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：13.75 字数：404.8 千字

版 次：2019 年 9 月第 1 版

印 次：2019 年 9 月第 1 次印刷

定 价：49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，
联系及邮购电话：(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：wangzy@phei.com.cn。

前 言

随着国民经济的快速增长,交通运输业在我国国民经济和居民生活中的地位也逐步提升,驾驶人-车辆-道路信息感知理论与技术的研究已经成为智能交通系统中最重要的研究课题之一。人工智能、机器视觉和模式识别等理论与技术的最新发展使得交通智能化和现代化管理及控制成为可能,通过建立交通智能管理和控制体系,综合管理和控制驾驶人、车辆及道路等交通参与体,对于提高交通运输效率和效益、保证交通安全和促进可持续发展具有十分重要的作用。全球范围内每年度的交通事故的统计报告表明:大量交通事故是由人为因素引起的,自动理解和感知驾驶人疲劳及异常行为可有效地降低由人为引起的交通事故率;车辆信息感知是智能交通系统中车辆实时追踪的基础,车辆品牌类型感知能够在套牌车辆自动识别、交通监控场景车型的自动统计分析等领域发挥重要作用;公路路面破损严重影响了道路的安全性和舒适性,路面信息感知技术能够快速、准确地进行公路路况的评价。本书共 12 章,分上、中、下三篇,上篇、中篇用中文撰写,下篇用英文撰写,各章的主要内容如下。

第 1 章主要论述了车辆信息感知技术的研究现状,包括车辆检测理论与技术的研究现状、车辆品牌感知理论与技术的研究现状、车辆行为感知理论与技术的研究现状和车辆检索理论与技术的研究现状。

第 2 章主要论述了交通场景中车辆检测理论与技术,包括车辆图像采集、基于对称特征的车辆检测方法和感兴趣区域(ROI)定位方法。本章提出了一种基于车辆轮廓对称特征和车牌对称特征的融合特征的车辆区域检测方法,并与基于车辆边缘、车牌、图像灰度共生矩阵和 Gabor 变换等 5 种检测方法进行了对比研究,实验表明所提出的基于融合特征的车辆检测方法的车辆区域定位的正确率为 90.7%,有效避免了背景噪声对车辆对称轴搜索及车辆检测的影响;根据检测得到的车牌对称轴中心点搜索车牌位置,进而确定车辆前脸 ROI 区域,在使用相同实验数据测试条件下达到了 95.33%的准确率,为车型识别提供了较为准确和全面的训练样本和测试数据。

第 3 章主要论述了车辆品牌感知理论与技术,包括基于单特征的车辆品牌感知方法和基于组合特征的车辆品牌感知方法。分析了局部能量形状直方图、局部二值模式和梯度方向直方图等 5 种特征提取方法,并采用支持向量机和 k -最近邻分类器进行车辆品牌识别实验,实验结果表明基于 HOG 特征和支持向量机的车辆品牌识别方法要优于其他组合,其

识别率达到 92.40%；提出了将 HOG 和 Contourlet 两种特征的简单串联作为分类器的输入特征，并通过设计级联集成分类器方案，在保证系统可靠性的同时，提高了样本的正确识别率，设计的级联分类器的第一级由 8 个不同的分类机制组成，第二级使用 MLP 作为基分类器并结合旋转森林变换后的特征样本进行识别，实验结果表明级联集成分类器系统的可靠性为 98.15%，其中有 7.04% 的样本被“拒识”。

第 4 章主要论述了交通场景中车辆异常行为感知理论与技术，包括基于颜色空间模型的城市交通场景中信号灯的检测方法、基于车辆和车牌对称特征的车辆检测方法、基于联合特征的城市交通场景中车辆异常行为检测方法。采用中值滤波和光线补偿算法对城市交通场景图像进行预处理，并基于颜色空间模型进行城市交通场景中信号灯的状态检测，实验结果表明基于 HSV 彩色空间模型的城市交通场景中信号灯的检测方法优于其他两种彩色空间；研究了基于车辆及车牌对称特征的城市交通场景中车辆的检测方法，并与基于车牌的车辆检测方法、基于 Gabor 特征及支持向量机 (SVM) 的车辆检测方法和 Haar-like 特征及 AdaBoost 分类器的车辆检测方法进行了对比分析；提出了一种基于联合特征的城市交通场景中车辆异常行为检测方法，该方法基于梯度方向直方图特征和局部二值模式特征的串联联合，并采用支持向量机 (SVM) 进行自动分类，实验结果表明基于 HOG-LBP 模式的联合特征车辆行为识别优于其他三种单特征车辆行为识别，其识别率达到 93.6%。

第 5 章主要论述了基于车载装饰品特征的车辆检索方法，包括车载装饰品局部区域图像集的构建方法和基于车载装饰品区域图像颜色直方图的车辆检索方法。研究了基于车辆及车牌对称特征的车辆检测方法，并根据整个车辆与前挡风玻璃的相对位置定位车辆前挡风玻璃区域，实验结果表明基于车辆及号牌对称性的方法优于其他三种方法；研究了基于颜色直方图特征的车辆检索方法，并与基于局部二值模式、基于 Gabor 小波变换、基于 Contourlet 变换和基于尺度不变特征的检索方法进行了对比分析。使用基于相似度衡量方法进行了车辆图像的检索实验，实验结果表明基于颜色直方图特征的车辆检索方法优于其他四种方法，其检索综合指标为 86.7%。

第 6 章主要论述了路面信息感知技术的研究现状，包括路面图像预处理技术研究现状、路面破损检测技术研究现状和路面破损分类技术研究现状。

第 7 章主要论述了路面信息感知理论与技术，包括基于联合检测器的路面破损检测方法、基于 Contourlet 变换的路面图像特征提取方法和基于联合特征及分类器集成的路面破损类型分类。基于级联分类器的思想，提出了一种用于路面破损检测的联合检测器，理论分析和实验结果表明联合检测器的性能优于邻域灰度差分法、局部灰度最小分析法和分块标记法，其检测率达到 96.7%；对比分析了 Contourlet 变换、边缘方向直方图、梯度方向直方图和分层梯度方向直方图四种特征提取方法，采用线性核函数的 SVM 作为分类器进行了路面破损识别实验，实验结果表明 Contourlet 变换特征提取方法优于边缘方向直方图、梯度方向直方图和分层梯度方向直方图方法，检测率达到 84.32%；提出了一种基于联合特征及随机子空间交叉内核支持向量机分类器集成的路面破损自动化分类方法，实验结果表明 Contourlet 变换和 EOH 联合特征及随机子空间交叉内核支持向量机分类器集成优于单一

Contourlet 变换特征和 EOH 特征, 分类正确率达到 86.61%。

第 8 章主要论述了驾驶人信息感知理论与技术的研究现状, 包括驾驶人疲劳信息感知理论与技术的研究现状和驾驶人异常姿态信息感知理论与技术的研究现状。

第 9 章主要论述了基于 Curvelet 变换的驾驶人疲劳信息感知理论与技术, 包括 SEU-fatigue expression 数据库构建、基于 Curvelet 变换的驾驶人疲劳信息特征提取和支持向量机分类器。与线性神经网络、 k -最近邻、多层神经网络和 Parzen 进行了对比实验, 实验结果证明了所提出的基于 Curvelet 变换的驾驶人疲劳信息感知方法的有效性, 其识别精度达到 85%。

第 10 章主要论述了基于局部多分辨衍生模式的驾驶人疲劳信息感知理论与技术, 包括 SEU-fatigue expression 数据库构建、基于局部多分辨衍生模式的驾驶人疲劳信息的特征提取方法和四种分类器方法。实验结果证明了所提出的基于局部多分辨衍生模式驾驶人疲劳信息感知方法的有效性, 其识别精度达到 90%。

第 11 章主要论述了基于 Nonsubsampled Contourlet 变换的驾驶人异常姿态感知理论与方法, 包括 SEU-driving postures 数据库构建、基于 Nonsubsampled Contourlet 变换的驾驶人姿态特征的提取方法和四种分类器方法。实验结果证明了所提出的基于 Nonsubsampled Contourlet 驾驶人异常姿态感知方法的有效性, 其识别精度达到 88%。

第 12 章主要论述了基于融合特征的驾驶人异常姿态感知理论与方法, 包括 SEU-driving postures 数据库构建及规格化、基于 Contourlet 变换和边缘方向直方图的驾驶人姿态融合特征的提取方法和基于随机子空间集成支持向量机的驾驶人异常姿态识别方法。实验结果证明了所提出的基于融合特征及随机子空间集成支持向量机的驾驶人姿态感知方法的有效性, 其识别精度达到 90%。

作者
于南京四牌楼

目 录

上篇 车辆信息感知理论与技术

第 1 章 车辆信息感知技术的研究现状分析	2
1.1 车辆检测理论与技术的研究现状	3
1.2 车辆品牌感知理论与技术的研究现状	4
1.3 车辆行为感知理论与技术的研究现状	6
1.4 车辆检索理论与技术的研究现状	8
参考文献	10
第 2 章 交通场景中车辆检测理论与技术	16
2.1 车辆图像采集	16
2.2 基于对称特征的车辆检测方法	18
2.3 其他车辆检测方法	20
2.4 感兴趣区域 (ROI) 定位	22
2.5 小结	24
参考文献	24
第 3 章 车辆品牌感知理论与技术	26
3.1 基于单特征的车辆品牌感知方法	26
3.1.1 车辆品牌纹理特征提取	26
3.1.2 分类器	32
3.1.3 实验结果与分析	34
3.2 基于组合特征的车辆品牌感知方法	35
3.2.1 梯度方向直方图 (HOG)	35
3.2.2 Contourlet 变换	35
3.2.3 特征降维	37
3.2.4 组合特征及降维	38
3.2.5 基于级联集成分类器的可靠分类	39
3.2.6 实验结果及分析	48
3.3 小结	53
参考文献	54
第 4 章 交通场景中车辆异常行为感知理论与技术	56
4.1 基于颜色空间模型的城市交通场景中信号灯的检测方法	56
4.1.1 图像预处理	56
4.1.2 色彩空间模型	61



4.1.3	信号灯模板匹配	63
4.1.4	基于颜色空间模型的信号灯检测	66
4.2	基于车辆和车牌对称特征的车辆检测方法	67
4.2.1	基于车辆和车牌对称特征的车辆检测	67
4.2.2	其他车辆检测方法	71
4.2.3	实验结果	72
4.3	基于联合特征的城市交通场景中车辆异常行为检测方法	73
4.3.1	构建车辆行为图像集	74
4.3.2	梯度方向直方图	75
4.3.3	局部二值模式	76
4.3.4	边缘方向直方图	78
4.3.5	联合特征提取	78
4.3.6	支持向量机分类器	80
4.3.7	实验结果	81
4.4	小结	83
	参考文献	83
第5章	基于车载装饰品特征的车辆检索方法	86
5.1	车载装饰品局部区域图像集的构建方法	86
5.1.1	车辆图像数据采集	87
5.1.2	基于车辆及其车牌对称特征的车辆检测方法	87
5.1.3	基于级联分类器及 Haar 特征的车辆检测方法	88
5.1.4	基于灰度共生矩阵 (GLCM) 的车辆检测方法	89
5.1.5	基于支持向量机 (SVM) 及纹理特征的车辆检测方法	90
5.1.6	车辆前挡风玻璃区域的定位	91
5.1.7	车载装饰品局部区域图像集的构建	91
5.2	基于车载装饰品区域图像颜色直方图的车辆检索方法	93
5.2.1	基于颜色直方图的车载装饰品区域图像特征表征	93
5.2.2	基于其他图像特征的描述方法	95
5.2.3	特征相似度的衡量	102
5.2.4	检索效果评价标准	103
5.2.5	实验结果	104
5.3	小结	107
	参考文献	107

中篇 路面信息感知理论与技术

第6章	路面信息感知技术的研究现状	110
6.1	路面图像预处理技术研究现状	111
6.2	路面破损检测技术研究现状	112
6.3	路面破损分类技术研究现状	113
	参考文献	114

第 7 章 路面信息感知的方法	117
7.1 基于联合检测器的路面破损检测方法	118
7.1.1 路面破损图像采集	118
7.1.2 图像预处理	119
7.1.3 基于灰度分析的路面破损检测	122
7.1.4 基于联合检测器的路面破损检测	126
7.1.5 路面图像破损区域定位	128
7.2 基于 Contourlet 变换的路面图像特征提取方法	128
7.2.1 Contourlet 变换	129
7.2.2 其他纹理特征提取方法	131
7.2.3 支持向量机分类器	135
7.2.4 实验分析	137
7.3 基于联合特征及分类器集成的路面破损类型分类方法	139
7.3.1 联合特征	139
7.3.2 分类器集成	140
7.3.3 实验分析	141
7.4 小结	142
参考文献	143

下篇 驾驶人信息感知理论与技术

Chapter 8 Introduction of Driver's Information Perception	146
8.1 Introduction of driver's fatigue detection	146
8.2 Introduction of driver's abnormal activities detection	148
References	149
Chapter 9 Perception of Driver's Fatigue Information Using Curvelet transform	152
9.1 SEU fatigue expression data acquisition	152
9.2 Curvelet transform for image feature description	153
9.3 Support Vector Machine (SVM)	156
9.4 Other classification methods compared	158
9.4.1 Linear Perception (LP) classifier	158
9.4.2 k-Nearest Neighbor (k-NN) classifier	159
9.4.3 Multilayer Perception (MLP) classifier	159
9.4.4 Parzen classifier	160
9.5 Experiments	160
9.6 Conclusions	164
References	165
Chapter 10 Recognition of Driver's Fatigue Expression Using Local Multiresolution Derivative Pattern	167
10.1 Fatigue expression data acquisition	168
10.2 Local multiresolution derivative pattern	168



10.2.1	Local Derivative Pattern(LDP).....	169
10.2.2	Local Multiresolution Derivative Pattern(LMDP).....	169
10.3	Classification methods compared	174
10.3.1	Intersection kernel support vector machines	174
10.3.2	k-Nearest Neighbor (k-NN) classifier	174
10.3.3	Multilayer Perception (MLP) classifier	175
10.3.4	Dissimilarity-based classifier	175
10.4	Experiments	176
10.4.1	Holdout experiments.....	176
10.4.2	Cross-validation experiments.....	179
10.4.3	Discussions.....	182
10.5	Conclusions.....	183
	References	183
Chapter 11 Perception of Driver's Abnormal Activities Information		
	Using Nonsubsampled Contourlet Transform	185
11.1	Data acquisition and features extraction of driving postures	185
11.2	Features extraction by Nonsubsampled Contourlet Transform (NSCT)	187
11.3	k-Nearest Neighbor (k-NN) classifier	189
11.4	Other classification methods compared	190
11.4.1	Intersection Kernel Support Vector Machine (IKSVM)	190
11.4.2	Multilayer Perception (MLP) classifier	191
11.4.3	Parzen classifier	191
11.5	Experiments	192
11.6	Conclusions.....	196
	References	197
Chapter 12 Recognizing Driving Postures by Combined Features of		
	Contourlet Transform and Edge Orientation Histogram	198
12.1	SEU-DP database and image normalization	198
12.2	Combined features for driving posture description	200
12.2.1	Contourlet transform for image feature description	201
12.2.2	Edge Orientation Histogram (EOH) for image features description	202
12.2.3	Combined features	203
12.3	Random subspace ensemble of intersection kernel support vector machines for classification.....	203
12.4	Experiments	204
12.4.1	Holdout experiments.....	205
12.4.2	Cross-validation experiments.....	206
12.4.3	Discussions.....	207
12.5	Conclusions.....	209
	References	210

交通安全，减少人员伤亡和财产损失，提高平安交通建设的质量和水平。随着数字经济的快速发展，智慧交通技术成为推动交通行业转型升级、实现高质量发展的关键。本书旨在系统阐述智慧交通感知理论，为相关领域的研究和应用提供理论支撑。

第一章

上篇

随着智能交通系统的广泛应用，感知技术成为智慧交通的核心。本章主要介绍感知技术的基本概念、分类及应用。感知技术是指通过传感器、摄像头、雷达等设备，实时采集交通环境中的各种信息，如车辆位置、速度、方向等，为交通管理、导航、自动驾驶等提供数据支持。本章将详细探讨感知技术的原理、系统架构及关键技术。

车辆信息感知理论与技术

本书共分上下两篇。上篇主要介绍感知理论，包括感知原理、感知系统、感知算法等。下篇主要介绍感知技术，包括感知设备、感知应用、感知安全等。本书可作为高等院校相关专业教材，也可供从事智能交通领域的工程技术人员参考。



第1章

车辆信息感知技术的研究现状分析

随着国民经济的快速增长，我国的道路交通运输事业在国民经济和居民生活中的地位也逐步提升，计算机图像处理技术、通信与网络传输技术及电子技术的发展使得交通的智能化及现代化管理和控制成为可能，通过建立交通智能管理和控制体系，综合管理及控制人、车和路等交通参与体，对于提高交通运输效率和效益，保证交通安全，促进可持续发展具有十分重要的作用，已经引起世界许多国家的广泛重视。基于视频图像的车辆检测技术通过监控相机获得实时交通视频信息，结合图像处理原理和模式识别方法对图像进行实时处理和分析，计算得到交通流量、占有率、平均车速、排队长度等交通参数，并对车辆逆行、慢速、超速和交通阻塞等交通行为进行分析，并自动统计和记录相关数据。综合交通参数及交通事件等重要信息，可对交通状态进行估计和预测，及时发布诱导信息或通过交警进行调控，从而保障交通正常安全运行。

为了适应城市管理和城市治安防控的需求，“天网工程”项目实施中，大量高清视频传感器被架设在城市道路的两边和建筑物上，可以通过视频专网、互联网、移动等网络将一定范围内的监控点所拍摄的视频图像传送到监控处理中心。车牌号码是识别车辆的“身份证”，成为车辆管理的重要标识和手段，对监控处理中心的数据进行高效处理，提取视频数据中车辆车牌、车辆品牌和颜色等信息，并根据车辆车牌检索车管所车辆登记数据库中的车辆相关信息，与实时识别的车辆品牌和车辆颜色信息进行对比分析，可有效地识别出假（套）牌嫌疑车辆。因此，利用智能交通数据处理平台可以对各种刑事案件、治安事件和交通违章等处理，这为加强城市综合管理、有效预防打击犯罪和处理突发性治安事件提供了有力的解决方案。

作为智能交通管理系统中的重要内容，车辆异常行为检测属于交通事件检测的一种。从交通法规上来说，所谓车辆异常行为是指道路上的车辆违章行为，它是指道路上的偶发性事件，包括闯红灯、车轮压线、违章转向等行为。而对于车辆异常违章行为的检测，传统的检测方法多有其局限性，近年来，随着智能交通领域技术的不断发展，特别是智慧交通城市的建设，很多学者和研究机构已将计算机视觉、图像处理和人工智能等技术应用于交通管理方面。通过采集交通场景下的视频图像，对其进行处理检测，提供机器学习以实现所需功能。在降低系统成本的同时，更能提高准确检测的效率，可靠性更高，具有很高的实用价值。因此，基于计算机视觉和数字图像处理，本书对车辆闯红灯、压线、违法转向等多种异常行为进行检测识别和分类，通过选取和改进合适的算法，开展了在城市交通场景中车辆异常行为的研究，以实现车辆异常行为的自动识别和分类。这对于保障城市道



路交通安全,减少人民生命财产损失和道路拥挤,建设平安智慧城市具有重要的意义。

随着数字图像处理技术、机器视觉技术和模式识别技术等迅猛发展,自动从海量图像数据中搜索嫌疑车辆成为可能,通过对视频或图像数据的处理,公安人员可以直接利用计算机从视频或图像所包含的内容进行分析和特征提取,从而搜索到所需的有用信息。目前,从视频或图片数据中自动搜索可疑车辆信息主要根据车辆固有的车牌号码、车辆品牌和车辆颜色自动识别。但是,在现实生活中涉及车辆的违法案件中,涉案车辆往往是假(套)牌车,此时根据车辆车牌进行侦查将发挥不了任何作用;同时,根据车辆品牌和车辆颜色检索可疑车辆在减少工作量方面起到的作用微乎其微。因此,基于车辆固有属性特征的检索方法对于假(套)牌车辆达不到预期的检索效果。解决该难题的有效办法是借助可疑车辆的车载装饰品,例如车辆的摆件、年检标签等特征进行嫌疑车辆的检索。采用车辆装饰特征进行检索对于刑事案件的侦破具有极为重要的意义。

1.1 车辆检测理论与技术的研究现状

车辆区域检测及定位是车型分类的基础,国内外学者近年来相继提出了多种车辆检测方法,对于一幅在交通路口或路段相机获取的车辆图片,检测及定位车辆区域的难点在于区分路面、阴影、天空等背景及其他杂乱的噪声。Sun等^[1]将车辆分割方法分为三类:①基于先验知识的方法;②基于立体的方法;③基于运动的方法。其中第一种方法只需要单幅图片,后两种方法需要多幅图片或视频序列。如果对多幅图片和视频进行分析,可以使用背景差分法^[2,3]进行车辆检测,虽然背景差分法比较方便,但它对光照条件、摄像机颤动及阴影等问题非常敏感,如果有少许的光照或相机位置的变动就要重新获取背景。

目前使用图像先验特征进行车辆检测的研究有很多,国内外研究机构和学者相继开展了车辆检测方法的研究,车辆的先验特征包括对称、颜色、阴影、几何(如角点,边缘)、纹理及车灯等特征,如Gao等^[4]根据车尾灯为红色特点寻找车尾部红色区域并通过检测红色尾灯的对称轴定位车辆,其检测结果表明该方法在定位夜间车辆位置时效果显著;Guo等^[5]通过提取车辆周围物体颜色特征构建颜色模型以排除不真实或偏斜颜色;Techawatcharapaikul等^[6]使用颞边缘密度区分运动车辆区域及其阴影区域,该方法能有效检测简单交通场景中的车辆及进行阴影区域提取,但当交通场景复杂和车辆及其阴影区域较小时错误率较高;Johansson等^[7]使用颜色圆柱体将车辆图像前景分为阴影和高亮区域,该方法能够在光照强度足够时进行车辆检测和追踪;Cucchiari等^[8]通过检测夜间车辆车头灯定位车辆区域,但该方法易受地面反射物或车本身反射的影响。综上所述,车辆颜色、阴影及车灯特征对光照及背景变化比较敏感,存在阴雨天没有阴影、光照较强时颜色特征不明显及车灯主要用于夜间车辆检测等问题。

车辆区域特征提取及识别提供了一种有效的车辆检测方法。Kim^[9]提取车辆图像灰度共生矩阵特征并使用支持向量机(SVM)进行车辆区域验证,根据Kim的分析,使用图像灰度共生矩阵(GLCM)作为纹理特征准确度较高。Kalinke^[10]使用图像熵特征,图像熵特征能够有效描述感兴趣区域(ROI)内纹理特征,但检测精确度不如图像灰度共生矩阵特征。Wu^[11]提取车辆区域小波变换特征并使用主成分分析(PCA)进行车辆识别。Sun^[12]使用Gabor变换提取图像Gabor特征并且使用SVM分类器与神经网络分类器进行分类,Sun^[12]



的实验结果显示,使用 Gabor 特征及 SVM 识别效果较好。

关于车辆对称特征的研究,Zielke 等^[13]提出了使用基于图像亮度对称的车辆中心线的检测方法,该方法能够从背景中分割出车辆区域,但存在图像亮度对光照变化敏感的问题。Du 等^[14]提出了使用车辆轮廓对称特征检测对称轴,令扫描线上每对像素“投票选取”对称轴,最后将得票最高的位置作为车辆对称轴,但由于该方法是对整幅图像进行计算,对称轴检测易受交通标志及道路边缘影响。Bin 等^[15]使用对称算子同时检测车辆竖直对称轴及车辆竖直边缘,该方法需要计算不同子窗口对称轴以满足车辆定位要求,这种方法时间复杂度过高。Teoh^[16]计算不同窗口中水平扫描线上的对称值,并对对称值进行聚类分析以消除道路标志及建筑物的影响,但这种方法对存在竖直对称特征的较大尺寸物体(如交通标志牌)比较敏感。

不仅限于车辆区域检测,在目标识别研究领域,Viola 和 Jones^[17]提出了使用 Haar 特征结合 Adaboost 分类器进行人脸检测,他们提出使用积分图像快速计算 Haar 特征,极大地提高了训练速度和检测效率,并提出了分类器的级联方式以提高检测速度。Dalal^[18]提出了使用 HOG 特征进行行人脸检测,研究表明,HOG 特征在特征描述方面具有卓越的性能,能够刻画目标局部边缘细节信息,使之能够推广到多种目标检测的应用。台湾的 Chun-Hao Chang^[19]将 HOG 特征与 Gentle Adaboost 结合用于多视角车辆检测并获得了较好的检测效率及检测速度。

1.2 车辆品牌感知理论与技术的研究现状

国内研究机构和学者对车型识别技术进行了研究。2007 年,李国强等^[20]依据车型外观、体积大小的不同,采用积分思想建立了车辆长度、宽度和高度 3 个参数的算法模型,并提出了基于模板匹配的特征点自动搜索法,最后利用数据聚类、神经网络和统计分析将车型分为客车、货车。2008 年,沈勇武等^[21]认为车辆的外围形状能够区分不同的车型,利用改进的线求和投影法提取 8 个车辆轮廓特征参数,增加了长宽高之间的对比来描述车辆的形状特征,分类器设计采用基于 BP 神经网络对《收费公路车辆通行费车型分类》中的四类车型进行分类实验,正确率能都达到 81%。2009 年,廖海斌等^[22]综合分析了常用的从车辆顶部、侧面、正面三种三维特征提取的方法,提出了一种从车辆前上方提取特征的方法,该方法通过二维到三维的维度变换,同时提取出车辆的长宽高三维信息和车牌信息,基于灰色关联分析进行大型车、中型车和小型车的分类,识别率超过 90%,且识别率与识别时间均优于 BP 神经网络和 SVM。上述方法中车辆参数均是从特定摄像头架设角度拍摄的二维图片中提取的,分类效果很大程度取决于参数,如前者存在 6% 的误差。2010 年,马蓓等^[23]通过背景差分等预处理提取出候选区域后,采用主成分变换定位出车型识别区域,在此基础上通过灰度共生矩阵的纹理分析提出了特征脸(Eigenfaces),然后利用灰度共生矩阵提取 5 个纹理特征值作为输入向量,最后基于最小距离判断规则设计分类器进行车型识别,实验数据显示该车型识别方法简便、快捷、有效,但是基于灰度共生矩阵的方法也存在存储空间大、实时性差等问题。2011 年,刘海明等^[24]基于车脸中的特征区域进行车型识别,由于不同的车型都具有不同的排气口及车标,而排气口很可能包含车标,则选取特征区域为车辆的排气口和车标。然后根据双阈值将特征区域分割为三个部分,即车标、排气



口的左边部分和右边部分,提取灰度特征和尺度空间特征。排气口部分采用简单的二值图像的相同点所占的比例作为匹配,利用 SIFT 特征提取车标,最后采用最邻近法计算向量空间距离,进行最终的 5 种车型分类,识别率达到 80% 左右,识别精度易受车标定位精度影响,对含有车标污染等的噪声情况不具有健壮性。

国内研究机构和学者对车辆品牌识别技术进行了研究。2009 年,王玫等^[25]在车牌和车标定位识别的基础上,截取车灯垂直幅值倍数的水平宽度作为精确车型有效区域,综合车标识别的车系和车灯识别出车辆具体车型,使用图像的不变矩距离分类器进行前车车灯识别,准确率达到 95.5%,但是该方法进行测试的样本量较少,且车灯定位精度易受车标定位和噪声(例如车头装饰物)等影响。2012 年,马军等^[26]主要从轿车局部区域尾灯进行车型分类研究,采用变分水平集方法对轿车图像进行分割,提取出三个特征参数用于描述尾灯区域轮廓宽高比、矩形度和分散度,然后利用支持向量机对 31 种不同轿车车型进行分类与识别,实验结果显示准确率达到 100%。但是同样受噪声影响,还需要进一步研究提高车灯分割自动化程度,使其自动定位并准确提取。

国外研究机构和学者对车型识别进行了研究。2007 年, Kazemi 和 Samadi 等^[27]采用 k -邻近(k -NN)分类器对比分析了 Fourier、Wavelet、Curvelet 变换,结果显示 Curvelet 变换可以提取到较好的特征,5 种车辆品牌的整体识别率超过 95%;缺点是特征维数较高。2012 年, Hu 和 Ye 等^[28]提取了整个车身部分的 HOG 特征和多尺度下的 Harr 特征,利用 AdaBoost 将弱分类器集成为强分类器。结果显示大型车与小型车的识别率分别达到 93.3% 和 98%。2014 年, Zhang 和 Zhou 等^[29]提取了车身 EOH 特征,提出了一种新的分类方式,该方法由 k -均值聚类、SOM 和神经气体组成的混合模式来实现集群和内核自协助(KAA),实验表明 4 类车型的识别率可以达到 95% 的准确率和 98% 的可靠性。

国外研究机构和学者对车辆品牌识别技术进行了研究。2004 年, Petroviv 和 Cootes^[30]基于车脸区域采用距离测量的分类方法对比分析了多种刚性结构特征,如局部归一化梯度(Locally Normed Grads)、边缘方向图(Edge Orientation)、Sobel 边缘响应、光谱相位图、Harris 角点等多种特征,结果显示基于梯度计算得到的特征如 SMG (Square Mapped Gradient) 获得的精度更高,因为这种特征所包含的轮廓边缘和方向信息独立于车辆颜色,35 种车辆品牌的整体分类精度达 93.3%。2006 年, Negri 和 Clady 等^[31]提出了利用面向轮廓点来描述车辆品牌的分类方法,通过阈值处理后的直方图中提取了面向轮廓点的权矩阵,然后采用基于投票算法的判断函数进行分类,20 类车辆品牌的分类精度达到 92.4%,结果显示面向轮廓点的特征对车脸的局部遮挡有健壮性。2008 年, Clady 和 Negri 等^[32]利用车辆前脸区域提取了基于轮廓点的 6 个矩阵,然后设定判断函数将基于分类器的三个投票机制的结果与误差距离联系起来形成分类得分,采用了两层分类策略,最后用最邻近法生成最终分类结果,50 类车型识别率达 90%。2011 年, Zhuyu 和 Tianmin 等^[33]基于 Gabor 小波的车辆识别算法,提出了与隐马尔科夫模型(HMM)车辆检测相结合的算法,然后通过主成分变换降维,15 种车辆品牌的识别率最高可达 96% 以上。2012 年, Daya 和 Akoum 等^[34]利用车牌作为参考标准提取了车脸区域,主要包括车灯、车标、车牌、保险杠等作为车辆类型的识别范围,利用多层神经网络提取了用于识别车型的 3 个全局特征,实验结果显示 9 种车辆品牌的识别率达到 95%,这说明局部车脸的几何特征可以对车型识别达到很好的描述。2013 年, Zhang 等^[35]研究了 21 种车辆品牌的识别方法,提出了一种基于拒绝机制



的级联分类器集成的高可靠性分类器,特征选择的是 Gabor 特征和 PHOG 特征作为分类器的输入。首先第一层集成包含多个分类器,如 k -NN、MLP、SVM 和 RF。通过由一个集成元学习方法 RF 的基 MLP 进行第二层集成,分类器的可靠性进一步得到增强。最后通过多数投票得到一个高信心的测量结果来滤除不确定的样本从而建立拒绝机制。实验结果显示在拒绝率为 2.5% 下分类精度达到 98.65%,这表明该种级联分类器集成具有高可靠性,有潜在的实际应用价值。2012 年, Zhang 和 Zhou 等^[36]提出了一种基于分类矢量量化 (Classified Vector Quantization, CVQ) 的车辆品牌分类方法,该方法首先提取 Harr 特征和 HOG 特征作为特征输入向量,通过高效的神经学习算法如 k -均值聚类、SOM、NG 算法生成每个类别的码本,然后通过广义最近邻进行比较,引入拒绝机制进行决策。2013 年, Zhang 等在上文的基础上引入了信心机制,实验结果显示该方法增加了 CVQ 分类的可靠性,在拒绝率为 8% 时分类精度达到 95%,在拒绝率为 20% 时分类精度达到 98%。

1.3 车辆行为感知理论与技术的研究现状

城市交通场景中的车辆异常行为主要包括非法占道、逆向行驶、车辆压线、闯红灯、违章变道、超速行驶等。目前对于车辆异常违章行为的检测方式主要有感应线圈检测、激光检测和微波检测等。感应线圈检测在车辆违章行为中应用很广,它是应用了电磁感应原理,在路下面埋上线圈,并通有一定电流,当车辆经过感应线圈时,会切割磁感线,造成回路电感量的变化,以此来检测出车辆通过和存在的信息,它主要应用于车辆闯红灯行为,具有性能稳定、精度高等优点,但缺点就是破坏路面,影响道路寿命。激光检测主要应用于车速检测方面,采用激光测距原理,主要包括激光发射器和接收器等硬件设备,通过对被测物体发射激光光束,并进而对该光束的反射波接收以记录时间差,从而确定被测物体与测试地点的距离,并最终得到该物体的移动速度。对于微波检测来说,其硬件系统主要由发射天线和接收器构成,其工作原理是当被测物体通过检测区域时,覆盖检测区域发射天线发射的微波波速会以不同的频率返回到天线,并被接收器接收,检测器通过这种频率的变化来判断被测车辆是否通过。这几种检测方式虽然得到一定应用,但容易被干扰,而且检测区域受限,并且只适用于闯红灯、超速等个别车辆异常行为的检测。

随着近年来智能交通领域新型技术的兴起,人们开始将计算机视觉、图像处理等技术应用到车辆违章检测领域。在车辆及其异常行为检测方面,1998 年, Alan^[37]等人提出一种端到端的方法从连续视频流中提取运动目标,并且进行跟踪。他们通过连续图像帧的像素差来检测到运动目标,通过 classification 度量和时态约束一致性将行人、车辆等目标分类。最终结合时间差分法和模板匹配对车辆目标进行跟踪。2002 年, Lin^[38]设计了一套可以对车辆闯红灯、速度违章、停止线违章及跟踪个别车辆的系统。通过双摄像头来检测违规行为,一个模拟摄像机用于实时跟踪,另一个数字相机用于车牌读取。并且系统与交通信号系统控制相连,来监测每个红灯、绿灯的相位。并通过两个道路循环对车辆路径和速度进行检测。最终由行驶轨迹、标线位置、信号灯状态和车速来判断车辆是否违章。实验表明该系统具有良好的健壮性。2009 年, Zhang^[39]等人设计了一套在交叉路口环境下对违章车辆进行识别和跟踪的监控系统,该算法通过静态背景的混合高斯模型并使用 Hough 变换检测出道路标线,从监控图像中得到协调序列。车辆信息由背景帧差法获得,并由车辆与标



线的距离和均值漂移法分别对违章车辆进行检测和跟踪。实验结果表明该方法的检测精度达80%以上。2010年, Iswanjono^[40]等人基于RFID技术通过Scilab仿真模拟对交叉路口的红绿灯违章进行了检测, 并对车流量做出了预测。该方法通过对车辆身份证标签在阅读器的移动来检测信号灯违章, 通过RFID阅读器形成的通道距离对车辆进行预测, 实验证实了该方法的检测精度。2011年, Zhao^[41]等人提出了一种在城市交通道路下基于视频的车辆追尾检测方法, 基于道路交通中对违法停车的规定, 作者提出了在实时视频中交通信号灯检测、车辆跟踪分析和道路拥堵检测等算法。通过测量车辆眼轨迹、速度和交通状况等用于交通违章行为的识别。该算法在实际道路上达到90%的正确率。2012年, Kato^[42]等人通过使用多元线性关系的时空图像提取出群体行为中的车辆异常运动, 当多台摄像机以不同速度在不同方向上平移运动时, 多元线性时空图像才会成立。一旦车辆运动异常, 将会出现速度不均的平移运动。基于此种属性, Kato SARUWATARI通过真实场景图片检测出车辆转弯、横向运动等车辆异常运动。2013年, 对于发生红灯停止线前的违章变道行为, Klubsuwan^[43]基于车辆在感兴趣区域的移动和均方位移(MSD)方法, 并结合多车辆轨迹行为的评估对车辆闯红灯和变道进行检测。实验表明该方法具有较高的检测精度。2015年, Aaron^[44]等人提出了一种检测交通违章转弯和阻塞人行道机器视觉算法, 通过背景差分法和系统遗传算法来检测这些行为。实验结果表明该系统适用于实时的交通检测系统。

在国内, 2004年, Jen-Chao Tai^[45]等人通过在实时位置建立活动轮廓模型得到汽车的位置, 然后通过Kalman滤波对车辆进行跟踪。使用一个特殊电路板以及一个独立图像跟踪器等硬件设备构建自动交通监控系统。系统结果表明, 对于多车道上的车辆其有良好的跟踪性能。2006年, 佟守愚^[46]对于交通违章行为, 先选用中值滤波、增强模板和形态学边缘检测对交通场景图像进行预处理, 在背景差分算法的基础上, 提出了基于形态学边缘检测和背景差分结合的车辆检测算法, 并在充分研究违章车辆信息的基础上, 提出了基于颜色的违章车辆数据库检索方法, 通过背景更新、阈值选取和阴影处理等技术, 对闯红灯、违章超速和违章右转有较高的检测性能, 但在复杂交通场景下, 系统性能还有待进一步提高。2009年, 袁涛^[47]在基于帧间差分的运动车辆检测算法上, 通过车身与车宽的投影面积来消除非汽车和行人的运动影响。对于轨迹跟踪, 作者通过计算运动车辆质心、运动车辆轨迹和中心线的夹角变化趋势以及运动车辆轨迹和中心线的相对近端距离的变化趋势来确定车辆的运动线路。最后作者通过基于颜色车牌、数学形态学方法和面积匹配的车辆车牌定位法来确定车牌。2009年, 西华大学的骆迪^[48]采用背景差分法提取出运动目标, 设定Otsu阈值选取法将差分图像二值化, 并在后面处理中提出一种邻域统计方法去除噪声, 对车辆逆行和闯红灯行为进行检测。2012年, 付城^[49]等人提出了一种基于混合高斯模型和CPU的车辆闯红灯检测算法。先用时间均值法对根据监控系统运行的第一个红灯期间采集的视频数据构建背景图像, 再利用背景图像初始化混合高斯模型参数, 进而检测运动车辆, 并通过CPU并行计算实现实时检测。实验表明该算法具有良好的实时性。2012年, 叶荣炬、李振龙、陈阳舟^[50]等人采用多高斯背景模型提取出前景运动车辆及其质心, 并利用Kalman滤波算法跟踪运动车辆, 以此得到行驶车辆的时空图。通过车辆时空图对车辆轨迹进行确定分析, 根据时间序列上车辆位置的变化检测车辆逆行等异常行为。2012年, Sang Haifeng^[51]等人采用背景差分法来检测运动车辆, 背景差分法就是选择一参考帧作为背景图像, 再用当前帧与背景帧作差分运算, 如果背景帧选取得当, 便可分割出运行物体。同时