

THEORY AND METHOD OF
TRANSPORTATION INFORMATION
PERCEPTION

交通信息感知 理论与方法

赵池航 连捷 党倩◎著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

交通信息感知理论与方法

THEORY AND METHOD OF TRANSPORTATION INFORMATION PERCEPTION

赵池航 连捷 党倩 著

东南大学出版社

·南京·

内 容 简 介

本书分上、下两篇,上篇用中文撰写,下篇用英文撰写。本书以交通信息感知理论与方法为主线,系统研究了交通场景中驾驶人—车辆—路面信息的感知及获取有关理论与技术,主要包括:①交通场景中车辆区域检测、车辆品牌特征提取及识别的理论与方法;②路面破损检测、特征提取及识别的理论与方法;③驾驶人脸部区域检测、疲劳特征提取及识别的理论与方法;④驾驶人姿态的特征提取及识别的理论与方法。

本书可作为交通信息工程与控制、交通安全工程和载运工具运用工程等专业研究生的教材,也可以作为高等院校、科研院所和企事业单位从事智能交通行业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

交通信息感知理论与方法:汉,英/赵池航,连捷,党倩著. —南京:东南大学出版社, 2014. 9

ISBN 978-7-5641-5111-9

I. ①交… II. ①赵… ②连… ③党… III. ①交通信息系统—研究—汉、英 IV. ①U49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 177321 号

交通信息感知理论与方法

出版发行	东南大学出版社
社 址	南京市四牌楼 2 号 邮编 210096
出 版 人	江建中
网 址	http://www.seupress.com
电子邮箱	press@seupress.com
经 销	全国各地新华书店
印 刷	南京玉河印刷厂
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	7.25
字 数	176 千
版 次	2014 年 9 月第 1 版
印 次	2014 年 9 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5641-5111-9
定 价	24.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

前 言

随着国民经济的快速增长,交通运输事业在我国国民经济和居民生活中的地位也逐步提高,人一车一路信息感知技术的研究已经成为智能交通系统中最重要的研究课题。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。全球范围内每年度的关于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,自动理解和识别驾驶员疲劳及异常行为可有效地降低由人为引起的交通事故率;车辆区域检测及定位是智能交通系统中车辆实时追踪、车辆类型识别及分类等应用领域的基础;而车辆类型识别技术能够在套牌车辆自动识别、交通监控场景车型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交通安全性和舒适性,基于线阵图像的路面破损检测及识别能够快速准确地进行公路路况的评价。本书共6章,分上、下两篇,上篇用中文撰写,下篇用英文撰写,主要的工作包括如下几个方面:

第一章主要论述了国内外交通环境中车辆与路面信息感知技术的研究现状及趋势。

第二章主要研究了静态图像中车辆区域定位技术及车辆品牌识别技术。首先,提出了一种基于车辆轮廓对称特征和车牌对称特征的两种特征融合的车辆检测方法,并与基于车辆边缘、车牌、车辆纹理特征和车辆图像 Gabor 特征等5种检测方法进行了对比分析,通过实验验证了所提出的基于对称特征融合车辆区域检测方法的有效性;其次,提出了一种采用两种不同的特征融合互补形成新的特征以进一步提高识别率的方法,并对特征进行主成分分析(PCA)以实现数据降维,在保持分类性能的同时提高了分类效率,通过实验验证了所提出的算法的有效性;最后,本文提出了一种带有“拒识”功能的高可靠性级联集成分类器方法,级联集成分类器的第一级包含朴素贝叶斯分类器、 k -近邻、多层神经网络和支持向量机,通过将被第一级“拒识”的样本送入第二级集成分类器进行识别提升可靠性,第二级集成分类器是使用多层神经网络作为基分类器并结合旋转森林的元学习方法实现,通过对18种类型车辆超过4 000张输入样本的测试实验验证了本文方法的有效性。

第三章基于线阵 CCD 路面图像,研究了路面破损的检测及分类方法。首先,针对路面破损图像中破损像素较正常路面像素灰度较低这一基本特征,对比分析了领域灰度差分法、局部灰度最小分析法和分块标记法的优势和弱点,基于级联分类器的思想,提出了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领域灰度差分法、局部灰度最小分析法和分块标记法,其检测率达到 96.7%;其次,研究了路面破损图像的特征提取及分类方法,提出将 Contourlet 变换用于路面破损特征提取,并对比分析了 Contourlet 变换、边缘方向直方图、方向梯度直方图和分层梯度方向直方图四种特征提取方法,基于构建的东南大学路面破损图像数据库,采用支持向量机(Support Vector Machines, SVMs)分类器对提取的 4 种特征进行了对比实验,实验结果表明 Contourlet 特征提取方法优于其他 3 种方法;最后,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,研究了图像联合特征的融合策略,利用串行融合策略构造了路面破损图像的 Contourlet 变换和 EOH 联合特征,并基于分类器集成的构造原则实现了交叉内核支持向量机分类器的集成方案,采用东南大学路面图像数据库进行了实验,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。

第四章主要论述了国内外交通场景中驾驶人疲劳和异常姿态信息感知技术的研究现状及趋势。

第五章研究了基于 Curvelet 变换的驾驶人疲劳等级感知技术。首先,构建了东南大学驾驶人疲劳等级数据库;其次,提出将 Curvelet 变换应用于驾驶人疲劳特征提取,并采用支持向量机作为分类器,与线性神经网络、 k -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方法的有效性。

第六章研究了基于 Nonsubsampled Contourlet 变换的驾驶人异常行为感知技术。首先,构建了东南大学驾驶人姿态数据库;其次,提出将 Nonsubsampled Contourlet 变换用于驾驶人姿态特征提取,并采用 k -近邻作为分类器,与加性交叉核向量机、多层神经网络和 Parzen 分类器进行了对比实验,实验结果证明了所提出方法的有效性。

作者

2014 年 6 月

目 录

上篇 车辆及路面信息感知

第一章 国内外的的发展及研究现状	3
1.1 车辆信息感知的研究现状	3
1.1.1 车辆区域检测方法研究现状	4
1.1.2 车辆品牌及型号识别研究现状	5
1.2 公路路面信息感知的研究现状	7
1.2.1 路面图像预处理技术现状	8
1.2.2 路面破损检测技术研究现状	9
1.2.3 路面破损分类技术研究现状	10
第二章 车辆信息感知理论与技术	12
2.1 车辆图像采集及车辆目标区域检测	13
2.1.1 基于对称特征的车辆检测方法	14
2.1.2 其他车辆检测方法	17
2.1.3 感兴趣区域(ROI)定位	19
2.2 特征描述器	21
2.2.1 梯度方向直方图(HOG)	21
2.2.2 Contourlet 变换	21
2.2.3 特征降维	23
2.2.4 组合特征及降维	24
2.3 基于级联集成分类器的可靠分类	25
2.4 实验分析	34

2.4.1 单个分类器实验	35
2.4.2 级联集成分类器实验	37
2.5 小结	40
第三章 路面信息感知理论与技术	42
3.1 基于联合检测器的路面破损检测方法	42
3.1.1 路面破损图像采集	43
3.1.2 图像预处理	43
3.1.3 基于灰度分析的路面破损检测	46
3.2 路面图像破损区域定位	52
3.3 基于 Contourlet 变换的路面图像特征提取方法	53
3.3.1 Contourlet 变换	54
3.3.2 其他纹理特征提取方法	56
3.4 支持向量机分类器	59
3.5 实验分析	62
3.6 小结	64

下篇 驾驶人疲劳及异常行为信息感知

Chapter 4 Introduction of Driver's Fatigue and Abnormal Activities Detection	69
4.1 Introduction of driver's fatigue detection	69
4.2 Introduction of driver's abnormal activities detection	71
Chapter 5 Perception of Driver's Fatigue Information	73
5.1 SEU fatigue expression data acquisition	73
5.2 Curvelet transform for image feature description	74
5.3 Support Vector Machines (SVMs)	76
5.4 Other classification methods compared	80
5.5 Experiments	81

5.6	Conclusions	86
Chapter 6	Perception of Driver's Abnormal Activities Information	87
6.1	Data acquisition and features extraction of driving postures	87
6.2	Features extraction by Nonsubsampled Contourlet Transform (NSCT)	89
6.3	k -Nearest Neighbor (k NN) classifier	91
6.4	Other classification methods compared	92
6.5	Experimental results	94
6.6	Conclusions	98
参考文献		99

上 篇

车辆及路面信息感知

国内外的的发展及研究现状

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开始逐步的提升,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。

将车辆检测应用于交通流量监控及统计分析、车辆自主导航和驾驶辅助系统等方面,对于提高车辆驾驶的安全性,实时发布交通流量信息诱导交通等具有重要的作用。为有效地实现路面破损的智能化检测,许多研究机构及学者对路面破损的自动检测技术进行了积极的探索 and 实验,相继提出了利用超声波、激光和数字图像处理技术实现对路面破损的检测识别。而目前应用最广泛的是基于数字图像处理技术的路面破损检测,该技术的应用是通过采集路面图像,对图像进行处理检测,识别到路面破损并实现路面破损的自动检测和分类。该技术在缓解劳动力的同时,也排除了人的主观因素的干扰,能够快速准确地进行公路路况的评价,但其检测识别的结果很大程度上取决于图像处理算法的选择,因此研究合适的图像处理算法对实现高精度的路面破损检测及自动化的路面破损识别分类具有重要意义。

1.1 车辆信息感知的研究现状

已经广泛应用于车辆检测的设施设备有磁感线圈、超声波、红外线及监控相机等。基于视频图像的车辆检测及分析是计算机视觉应用的一个分支,它通过结合图像处理及模式识别技术实现目标的自动检测及分析。通过监控相机和电脑模拟人眼的功能实现人工智能,使得视频图像检测技术日益成为交通监控系统中最具优势和最有发展潜力的检测方法。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,并自动统计以及记录相关数据。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。

目前车辆识别的研究大多局限于将牌照作为车辆的唯一身份特征,对于两种不同品牌

及型号的车辆具有相同牌照(即盗牌)的问题,车牌识别系统无法辨识真伪。车辆品牌和型号识别在通道控制系统(ACS)中尤为重要,如停车场、大楼和限制区域通过识别车型限制假牌车辆进入。车型识别在交通管理领域同样发挥重要作用,如自动收费系统对不同类型车辆进行自动计费等功能。基于视频图像的车辆品牌及型号识别技术作为 ITS 中的一个重要分支,在打击盗窃车辆、规范交通秩序、大型停车场管理、高速公路自动计费和交通流量统计等方面具有广阔的应用前景。车辆类型识别的目的是向交通管理指挥中心报告通过通道闸口的车辆的类型、牌号、载重等参数,统计车流量、自动记录及结算通行车辆的费用等。由于视频图像中包含的信息内容丰富,因此,基于视频图像而进行的车型识别技术相较于其他监测技术而言更具有应用优势。通过视频图像手段提取到车辆前脸信息(包括车标、车牌、车灯及栅栏等信息),使用相应特征提取方法如多小波变换得到车辆前脸特征,与人脸识别类似,车辆前脸可以作为车辆的识别标准,该方法在监控套牌车辆应用中具有较大前景。

1.1.1 车辆区域检测方法研究现状

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基于先验知识的方法、基于立体的方法和基于运动的方法三类,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,可以使用背景差法^[2,3]进行车辆检测,虽然背景差法比较方便,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;Techawatcharapikul 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车辆并进行阴影区域提取,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;Cucchiara 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^[11]提取车辆图像灰度共生矩阵特征并使用支持向量机进行(SVM)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^[12]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^[13]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^[14]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^[14] 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^[15] 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^[16] 提出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^[17] 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^[18] 提出了通过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的方法, 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^[19] 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^[20] 提出了使用 HOG 特征进行行人检测, 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; Chun-Hao Chang^[21] 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。

鉴于车辆对称轴易受路面上其他类对称物体如树木, 路面标线等的影响, 本文提出了一种基于车辆轮廓对称特征和车牌对称特征的特征融合方法, 该方法首先检测车辆轮廓竖直对称轴, 以车辆竖直对称轴为基准检测车牌水平和竖直对称轴, 然后根据车牌对称轴定位车辆, 这种方法能够有效消除噪声对车辆轮廓竖直对称轴检测的影响。同时, 本文通过实验对比分析了基于边缘、车牌定位、纹理特征及 Gabor 特征等车辆检测方法的检测效率和时间复杂度。

1.1.2 车辆品牌及型号识别研究现状

目前有很多基于计算机视觉的车辆分类的研究, 但是这些分类技术仅仅局限于区分不同类型的车辆, 如小汽车、公交车和卡车等。近年来, 有效识别车辆信息需求的增加, 使得对识别车辆品牌和型号的技术研究显得日益迫切。目前商业上的车辆识别主要是对车牌进行识别, 但根据警察和媒体的报告称, 目前道路上存在的很多假牌及套牌车辆严重影响了公共安全。对车型进行识别可以提升通道控制系统(ACS)的可靠性, 例如将自动车牌号码识别和车辆品牌及型号识别相结合, 自动识别车辆的视觉信息(包括车辆品牌、型号和颜色信息等)。

车辆品牌及型号识别是一项比较新的技术。该技术的基本思路是提取车辆图像的合适特征, 之后根据车辆特征进行车辆品牌和型号的识别。许多关于车辆分类的研究是基于车辆结构 3D 可变模板的车辆笼统分类(将车辆分为小汽车、公交车和大卡车等), Ferryman^[22] 使用主成分分析(PCA)描述人工抽样几何数据表征车辆 3D 结构可变模板。将该模板与车辆图像

进行匹配恢复车辆位置及结构后可进行不同类型车辆分类。Wei等^[23]对可变模板匹配进行了更深入的研究,他们使用多层神经网络实现基于模板的车辆分类。

目前与车辆品牌及型号识别直接相关的论文还比较少。Petricic^[24, 25]提出了一种根据图像梯度特征的车辆识别技术,包括引入直接梯度描述及统计映射等多种特征描述方法来描述车前脸感兴趣区域(ROI)特征,获得车前脸特征后使用最近距离分类法进行车辆识别。Munroe和Madden^[26]采用机器学习分类技术进行车辆品牌和型号识别,首先使用腐蚀操作及Canny边缘检测算子提取特征向量,之后使用不同的机器学习分类器进行车辆品牌和型号的识别。Dlagnekov^[27]和Zafar等^[28]使用尺度不变特征变换(SIFT)^[29]研究车辆品牌和型号识别问题,首先识别车辆图像中感兴趣点之后进行图像匹配。Zafar等^[28]通过将SIFT关键点检测限制于查询图像并选取具有最大似然估计面积的候选图像点的尺度不变特征转换(SIFT)描述子进行匹配。作为对Dlagnekov^[27]工作的延伸,Anthony^[30]用能够表征轮廓线的特征代替尺度不变特征转换(SIFT)特征,首先提取车辆后部图像边缘,然后通过使用条形直线检测算法将边缘延展至直线段,最后进行图像匹配以实现车辆识别。Zafar等^[31]提出了使用二维线性统计判别分析(2DLDA)^[32]进行车辆品牌和型号识别,2DLDA可以最大化不同类之间的分散度与同类之间分散度的比例,这种方法显著优于之前提出的基于主成分分析(PCA)的方法。Kazemi等^[33]对比分析了快速傅里叶变换(FFT)特征、离散小波变换特征(DWT)和离散Curvelet变换特征进行车辆识别。Rahti等^[34]以图像Contourlet变换特征替换Curvelet变换进行车辆识别,作为对Rahti^[34]方法的延伸,Zafar^[35]将限定子带内Contourlet特征作为车辆特征进行识别。Negri^[36]使用面向轮廓点的选举算法进行不同种类车辆识别,这种方法在交通拥堵情况下尤为有效。Zhang^[37]将PHOG特征和Gabor变换用于车辆特征描述,并使用随机森林(Random Forest)及旋转森林(Rotation Forest)进行分类器集成,同时赋予分类器“拒识”功能,提高了分类可靠性。

国内相关研究人员也进行了车型识别技术的研究,如将车辆按尺寸及外形进行分类,杨文强^[38]和季晨光^[39]通过对车辆进行边缘提取获取车辆外形几何特征以此来进行车辆分类。也有学者主要专注于对车前脸每个部分特征提取的研究,如王枚^[40]首先分割出车灯区域,然后使用图像的不变矩距离分类器在车标确定的车系中进行车灯识别。姚源^[41]将车前脸分割成大灯、散热器栅栏等区域,并分别描述其形状特征,车辆前脸外形特征可以作为车型识别的基础。马蓓^[42]提取了车前脸图像灰度共生矩阵特征(GLCM)并使用最小距离分类器进行车型识别。何得平^[43]和赵英男^[44]通过将车辆进行Gabor滤波获取车辆Gabor特征识别车型大小。

纵观目前关于车辆品牌及型号识别的研究发展进度,设计出能够有效及实时识别车型的系统仍是一项富于挑战性的工作。车型识别问题可被当作一个多值分类问题来处理,在模式分类中又有两个重要问题需要解决,即特征描述和分类器设计。一个合适的车辆特征描述子应当能够区分不同品牌及型号的特点。几年来,计算机视觉的发展为我们提供了许多现成的特征描述子来处理图像分析问题。在众多的特征描述方法中,我们选择了使用已经成熟应用于行人检测的HOG特征^[20],它通过计算每个小区间的梯度方向和幅值,并在更大的区间上进行梯度直方图归一化,最后将所有区间的梯度直方图串联起来得到特征向量。Contourlet特征^[34, 45]作为第一代小波变换特征的延伸,能够对图像进行多尺度多方向

的解读,是另外一种被广泛应用于图像识别的特征。

有了合适的图像特征描述子,车型识别系统可以通过使用分类算法完成。机器学习提供了大量先进的模式识别算法,包括支持向量机(SVM)^[46]、神经网络^[47]、集成分类器^[48, 49]及随机森林^[50]等。集成分类器可以包含多个基分类器,如决策树和多层神经网络(MLP),即使用相同的多个基分类器处理输入样本。对于输入样本,集成分类器中每个基分类独立地对其进行识别,最后根据所有基分类器的结果进行综合判断,如使用多数投票表决的方法决定测试样本的最终类型。集成分类器的代表有 Bagging^[48], AdaBoost^[48]和随机子空间^[51]等。最近,有一种基于主成分分析(PCA)被称为旋转森林的分类器集成方法,它能够在提升基分类器多样性的同时保证系统的精确度,该方法首先对随机分割的特征子集进行 PCA 分析,并使用每个特征子集的 PCA 系数构建旋转矩阵,实验证明这种方法比其他几种分类器集成的方法效果要好。

车型识别的精确度是学者们普遍追求的目标,他们致力于提出降低误识率的方法。但是在很多场景中例如监控场景,引入带有“拒识”选项的分类器来提高系统的可靠性显得更为重要,即放弃对某些不确定类型的样本识别。例如,警方需要鉴别某一时间点的盗牌车辆,当误识的代价比较高时,自动识别系统拒绝对置信度不高的样本识别并将这些样本留给人工进行详细的处理。可靠的识别系统允许特定领域知识和专家对分类器决策时施加额外的压力以控制精确度。尽管具有“拒识”选项的分类器近几年来一直是模式识别中研究的热点^[52],并且已经有一些模型被提出来了^[53],但提升系统识别的可靠性依然是研究的难点。

因此,本文的研究目标是提出具有“拒识”功能的分类器来提升系统的可靠性。在车型识别中如果对某测试样本的分类置信度超过某一提前设置的阈值,则接受对其的识别,如果置信度小于阈值则将该样本留给人工进行识别。换句话说,拒绝识别的目的就是通过将比较难识别的样本留给人工识别来提升系统的可靠性。设计分类识别系统的目的就是希望通过计算机帮助人类解决纷繁复杂的识别问题,我们不希望将过多的样本留给人工进行识别,因此,在保证系统可靠性的同时应提升系统对样本的正确识别率。类似于参考文献^[37, 54]中的方法,在本文中,我们设计一种级联集成分类器,在识别过程中,样本首先由级联的第一级集成分类器进行识别,此后将被第一级拒绝识别的样本送入第二级进行分类,第二级的集成分类器应具有更高的识别能力来处理被第一级拒绝掉的样本。相关的实验和理论会证明我们设计的具有“拒识”功能的级联集成分类器方法能够在保证系统可靠性的同时获得较高的正确识别率。根据文献综述介绍的关于车辆检测及车型分类关键技术难点及研究现状,本文提出了新的车辆检测方法并设计了一种可靠性较高的车型识别方案。

1.2 公路路面信息感知的研究现状

公路特别是高等级公路已成为衡量一个国家经济水平和现代化程度的标志之一,其建设、管理和运营也极大地促进了我国经济的发展。与此同时,随着社会的进步,居民生活水平的提高,汽车保有量也开始大幅度的提升,受交通量的增加以及车辆大型化、超载严重等现象的影响,使得高等级公路在使用过程中经受严重的考验,导致路面破损的出现,严重影

响道路交通安全性和舒适性。因此,实施公路养护工作是公路管理部门的工作重点。目前,我国高速公路呈现出建设和养护双高峰重合的特点。高速公路的年养护量(大、中修工程)在 8 000 公里以上。对于公路养护管理者来说,面临的养护任务越来越重,压力越来越大,如何搞好高速公路的养护管理工作已是一个不可回避的现实问题。

路面养护是公路养护的重点,其质量的好坏直接影响道路交通安全性和舒适性,而路面破损状况作为路面养护管理工作的依据在路面养护决策中占据重要地位。传统的路面破损检测方法是采用人工检测,但该方法工作效率低,劳动强度大,作业危险程度较高,对裂缝的检测判别凭借检测人员的主观经验判断,存在较高的主观性,且受天气条件等影响较为严重,已不能适应高等级公路快速发展的需求。因此研究设计智能化的路面破损检测方法成为提高路面养护管理工作的关键热点问题之一。直观上,路面破损图像往往具有以下显著特点:①路面破损位置的灰度较破损位置周围正常路面的灰度要暗;②路面破损处会出现灰度梯度跳变;③路面破损具有局部连通性。基于路面破损图像的上述三个特性,国内外研究机构和学者相继开展了一系列路面破损检测方法的研究。

1.2.1 路面图像预处理技术现状

由于采集的路面图像受路面材料和路面环境的影响,往往存在砂砾、碎石、杂物等噪声的影响,且受光照影响较大,因此在对路面图像进行检测工作之前,均要对路面图像进行预处理及图像增强,以达到消除路面图像噪声,强化路面破损的效果,为路面破损检测提供基础。Jitprasithsiri 和 Sun 提出了采用非线性滤波的方法对图像进行增强处理^[55, 56],前者利用中值滤波算法对路面破损图像进行增强,在去除一定噪声的同时保证了图像中裂缝目标的边缘不会失真,后者考虑到存在噪声的图像裂缝与背景之间的低对比度,利用原始图像与高斯低通滤波图像作差分运算实现图像去噪处理。孙波成等^[57]提出了空域滤波以及掩膜平滑法等图像增强方法,其所利用的空域滤波是通过小区域模板卷积的方法,实现将模板中心和图像中待处理的某像素点重合,并将模板各元素与模板下各自的对应像素值相乘,最后将模板输出响应作为当前模板中心所在像素的灰度值。为了更好地突出图像线形特征的方向性,通常的做法是对上述单模板进行扩展,构造 8 个方向的模板实现对图像的增强。Koutsopoulos 等^[58]利用差影法,对于路面破损图像,将其与不含破损的路面图像做差分,则使得图像中的破损信息突显出来,实现了破损图像中目标的增强。

上述几种方法只有当路面破损图像内容较简单时,才能取得较好的效果。但一般情况下路面破损图像较为复杂,因此基于模糊、数学形态学和信息量等人工智能技术的路面病害图像增强方法,得到许多研究人员的关注。Chou^[59]、Cheng^[60]和 Li 等^[61]提出了基于模糊理论的图像增强方法,在传统模糊理论的基础上对其加以改进并提出了最大模糊熵阈值、模糊掩盖处理以及灰度熵模糊法等方法。郭宝良^[62]和欧阳琰^[63]也通过对传统模糊理论的模糊隶属度函数进行了改进处理,实现图像增强的效果,但模糊增强方法的缺点是容易在模糊背景的同时对路面破损也有一定程度的削弱,不利于对检测后期目标特征的提取。Cheng 等^[64]根据路面图像的灰度特征,提出了针对路面破损图像的增强算法,其处理的路面破损图像包括三类像素,一种是低频、宽幅值信号,代表的是亮度不均匀的背景像素,一种是宽幅

值且边缘具有高频分量的幅值信号,代表图像中的破损目标,以及高频窄幅信号代表的噪声像素,并根据三类像素信号频谱的不同对图像中破损目标像素进行增强处理,算法取得了较好的效果。Nejad 等^[65]利用直方图均衡化和快速傅里叶变换对图像进行增强处理,其快速傅里叶变换是针对图像的像素块(32×32)进行的傅里叶变换,但使用该方法处理后的图像有一定的边际效应。陈利利^[12]提出了一种基于多尺度图像分析的路面病害研究方法,其基于多尺度分析,从形态学多尺度分析和非线性扩散多尺度分析两个方面对路面图像进行平滑处理,并基于形态学的各向异性扩散方程,利用形态学算子简化图像数据,保存必要的形状特征以及消除不相关性的特点,对图像进行形态学多尺度去噪处理,该方法能较好地保持图像边缘和细节,抑制边界移动,同时能有效地去除噪声。类似于小波变换去噪,许多学者通过将图像转换至频率域对图像频谱进行频域变换以实现图像增强,Wang 等^[67]和 Wu 等^[68]提出了一种利用 Shearlet 变换对图像进行去噪的处理方法,该方法采用低频率部分的背景匹配和在多层阈值分割下对高频率部分的大尺度 Shearlet 变换,实现图像中噪声信息的去除。李刚^[69]和胡士昆等^[70]提出了一种基于 Contourlet 变换的图像增强去噪方法,该方法采用基于完全冗余的 Contourlet 变换、基于数学形态学的 Contourlet 变换和非下采样轮廓变换(NSCT)对路面裂缝图像实现增强。吕岩^[71]提出了一种基于 Beamlet 变换的裂缝图像匀光算法。董立文等^[72]提出了一种利用小波系数尺度间相关性的局部自适应去噪方法来实现路面破损图像增强,针对小波系数估计中硬阈值方法和软阈值方法的缺点,通过对双重量收缩函数得到的阈值乘以一个合适系数进行修订的折中。

综上所述,各研究机构和学者提出的方法都通过实验得到验证,但是,由于实验数据格式不同,这些图像增强技术在具体实践中往往存在偏差。本文所研究的路面图像数据是由高分辨率线阵 CCD 相机采集,能够实现毫米级裂缝的图像采集,但易受光照和道路环境影响,采集的路面图像中存在阴影且亮度较低,因此,本文在上述研究成果的基础上,对线阵 CCD 图像增强技术进行研究,以增强路面病害图像的高可靠性。

1.2.2 路面破损检测技术研究现状

路面破损检测是路面破损识别的基础,近些年来,国内外学者在路面破损检测技术方面做出了大量的研究探索。Huang 等^[73]提出了一种利用直方图分析检测路面破损的方法。假设含有裂缝区域的路面破损图像的灰度直方图具有双峰特性,并据此确定一个阈值对路面破损图像进行分割,该方法对路面破损明显的图像较为有效,裂缝与路面背景对比度较低时该方法的检测效果较差。Li 等^[74]提出了一种利用 Sobel 边缘检测路面破损的方法。其假定路面噪声区域的像素点周长小于 20 像素,而路面破损区域的像素点周长大于 20 像素,从而根据周长的大小实现噪声信息的去除,并得到路面破损图像分割结果,该方法的缺点是当图像中破损信息较为丰富复杂时,采用硬阈值判断容易导致破损的误判,影响后续对裂缝的识别分类。Grivas 等^[75]提出了一种利用区域生长技术对路面破损图像进行分割处理的方法。Yan 等^[76]探讨了利用数学形态学进行路面破损识别的可行性。

在分析路面破损图像几何相关性的基础上,冯永安^[77]、李莉^[78]和李晋惠等^[79]提出了对 Sobel 算子模板进行改进后的 8 方向的 Sobel 算子模板,该方法利用图像边缘附近的亮度阈