

模式识别应用

—— 驾驶者异常状态识别

杜 勇◎著



科学出版社

模式识别应用

——驾驶员异常状态识别

杜勇 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书遵循模式识别的经典过程,以驾驶者各种异常状态的识别为背景,重点针对驾驶疲劳及由药物、醉酒等造成的嗜睡状态等进行识别。虽然产生这些异常状态的原因不同,但其有着较为相似的面部行为,如为眨眼变慢、打哈欠等类似困倦的表现,然而也有很多疲劳的神情比较细微,难以提取显著的特征来对其进行描述和分类,这些都是本书将要探讨的内容。

本书可作为高等院校智能交通工程、计算机、电子信息等专业研究生和高年级本科生的相关课程教材或参考书,也可供从事模式识别研究与应用的科技人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模式识别应用:驾驶者异常状态识别/杜勇著. —北京:科学出版社,2018
ISBN 978-7-03-054743-9

I. ①模… II. ①杜… III. ①模式识别-应用-汽车驾驶员-研究
IV. ①O235 ②U471.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第246394号

责任编辑:赵丽欣 常晓敏 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2018年3月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:300 000

定价:78.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62134021

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

随着人工智能的再次兴起，特别是深度学习及生成式对抗网络框架的出现，人类进入了新一轮技术快速变革与发展的时代，作为人工智能核心的模式识别方法被广泛应用到各个领域，并取得了丰硕的成果。2016年，谷歌公司利用深度学习框架对3000万个围棋棋局进行训练形成的围棋人工智能程序“阿尔法狗”（AlphaGo），以4:1的巨大优势战胜了世界围棋冠军李世石，成为模式识别技术发展的又一里程碑。未来，没有任何一个智能系统能够脱离模式识别或脱离以大数据为基础的数据挖掘技术得以实现。

智能交通是现代交通同人工智能相互融合的交叉领域。近年来，智能交通领域取得了快速发展，给国民建设和人民生活带来了效率和安全保证，这些都离不开模式识别技术的具体支持。然而，要彻底解决道路交通环境中的智能流量控制、异常驾驶检测、跟踪监控等诸多问题还有很长的路要走，模式识别技术在智能交通领域的相关应用方兴未艾，很多该领域的研究人员也希望较为具体地了解模式识别技术如何针对这一特定领域进行应用。希望通过本书的抛砖引玉，更多研究人员能够在相关应用中给出更好的方法，从而促进智能交通的发展。另外，本书虽然仅结合某一具体的应用背景介绍模式识别技术，但是对其他交叉学科的研究人员同样具有很好的启发作用。

谈到智能交通，其领域涉及计算机、通信、传感器与自动控制等诸多学科，目标是实现对整个交通参与者（包括人、车、路）的全面协调、管理与控制，以期建立宏观范围下的全方位、实时、准确、高效及安全的交通运输综合体系。在任一智能系统中，有两个能集中反映其智能特质的核心技术，一是模式识别技术；二是基于大数据的数据挖掘技术。真正的智能，是与简单自动化相区别的，最终的目标以实现智慧为具体体现。

全书分为3篇，共8章：第1篇为模式识别框架基础，包括绪论和第1、2章，绪论对本书内容及模式识别框架进行简单介绍，第1章介绍疲劳驾驶识别的各种方法及其分类等，第2章主要介绍人脸及其局部单元的有效定位方法；第2篇为基于显著面部表现的驾驶者异常状态识别，包括第3、4章，分别介绍对驾驶者眨眼异常及打哈欠过程的识别；第3篇为基于非显著面部表现的驾驶者异常状态识别及研究扩展，包括第5~8章，其中第5章探讨并介绍驾驶者异常状态的普适识别框架，第6~8章对本问题所涉及的模式识别框架以及方法进行进一步的探讨，第6章从分类器设计角度展开探讨，第7章从样本稀疏表示的角度给出进行驾驶异常状态识别的新思路，第8章则详细梳理和介绍目前热门的深度学习框架并进行迁移应用的探讨。

由于作者水平所限，加之对于相关研究也只是略知一二，书中难免存在不足之处，恳请各位专家和广大读者批评指正。

杜 勇

2017年7月

目 录

第 1 篇 模式识别框架基础

绪论	3
第 1 章 道路交通安全与疲劳驾驶识别方法概述	10
1.1 应用背景及研究意义	10
1.2 疲劳驾驶识别方法概述	13
1.2.1 主观评价方式	15
1.2.2 客观度量方式	15
1.3 疲劳驾驶识别研究发展趋向	22
1.4 本章小结	23
第 2 章 人脸及其局部单元的检测方法	24
2.1 引言	24
2.2 基于肤色建模的人脸及其局部单元检测	27
2.2.1 色彩空间的选择与预处理	27
2.2.2 基于肤色信息的人脸定位及区域优化	31
2.2.3 基于局部模板匹配的人脸区域再定位	37
2.3 基于 Haar-like 特征与信息强化图的人脸及其局部单元检测	37
2.3.1 AdaBoost 学习框架下基于 Haar-like 特征的快速人脸检测	37
2.3.2 基于强化图像的局部单元定位	44
2.4 环境因素对人脸定位的影响及其消除	45
2.5 本章小结	49

第 2 篇 基于显著面部表现的驾驶者异常状态识别

第 3 章 驾驶者眨眼异常状态识别	53
3.1 引言	53
3.2 问题的提出	53
3.3 典型眨眼过程提取	54
3.4 基于 S 变换的疲劳能量指数计算	55
3.5 实验与分析	57
3.6 本章小结	59
第 4 章 驾驶者打哈欠过程识别	60
4.1 引言	60
4.2 问题的提出	60
4.3 特征提取与选择	61

4.4 统计学习理论与支持向量机	65
4.4.1 结构风险控制	65
4.4.2 支持向量机分类模型	68
4.5 实验与分析	71
4.6 本章小结	73

第 3 篇 基于非显著面部表现的驾驶员异常 状态识别及研究扩展

第 5 章 基于多区域证据支持的驾驶员疲劳状态识别	77
5.1 引言	77
5.2 问题的提出	77
5.3 多层面信息获取	78
5.3.1 局部线性嵌入	80
5.3.2 多区域证据	82
5.4 基于粗糙集的特征评价	83
5.4.1 模糊粗糙集	83
5.4.2 特征选择算法	85
5.5 模式分类器集成	86
5.5.1 基分类器 (C4.5 决策树)	86
5.5.2 基分类器集成学习	88
5.5.3 分类性能评价指标	90
5.6 实验与分析	90
5.7 本章小结	99
第 6 章 基于覆盖规则集的驾驶员疲劳状态分类器设计	101
6.1 引言	101
6.2 问题的提出	102
6.3 覆盖近似空间与覆盖约简	103
6.4 邻域覆盖约简规则学习	105
6.4.1 相对覆盖约简理论框架	105
6.4.2 基于覆盖约简的规则学习算法	110
6.4.3 分类性能评价及应用	112
6.5 本章小结	119
第 7 章 基于稀疏表示的驾驶员异常状态识别	121
7.1 引言	121
7.2 稀疏表示的基本思想	122
7.3 产生虚拟样本并结合 K 近邻算法的快速稀疏表示方法框架	124
7.3.1 模型概述	124
7.3.2 msSR 分类模型的具体原理	125

7.4	引入线性空间变换的稀疏表示与分类	133
7.4.1	模型概述	133
7.4.2	1stSR 模型的原理及实验验证	134
7.4.3	1stSR 模型迭代过程收敛条件及证明	135
7.5	本章小结	137
第 8 章	基于深度学习的驾驶者疲劳状态识别	138
8.1	从 AlphaGo 说起	138
8.2	深度学习与认知	139
8.2.1	浅层模型与深层模型	139
8.2.2	关于深层模型的训练问题	141
8.2.3	深度学习的认知意义	143
8.2.4	关于认知的探讨	145
8.3	深度学习的硬件特点与主要开源工具	146
8.3.1	深度学习的硬件特点	146
8.3.2	深度学习的主要开源工具	147
8.4	卷积神经网络	148
8.4.1	图像识别的挑战	148
8.4.2	卷积神经网络的基本原理	151
8.5	经典的卷积神经网络模型	158
8.5.1	LeNet-5 模型	158
8.5.2	AlexNet 模型	163
8.5.3	VGGNets 模型	165
8.6	基于 VGGNets 的迁移学习与实验结果	167
8.7	本章小结	169
	参考文献	170
	后记	178



第 1 篇

模式识别框架基础

绪 论

生物体普遍具有感知外界信息的能力，人类也不例外，具有多种感知能力。人类将获取的各种信息传递给大脑进行处理，从而完成理解以实现智慧的积累。人类的感知过程包括从信息获取、传输、处理到理解、存储的全过程。信号处理理论及计算机出现以后，人们试图让计算机来完成这一过程，即让机器代替人对目标进行识别、跟踪、测量及相关预测等工作，赋予机器对信息完整的智能化处理能力，这样也就形成了人工智能这门学科。人工智能（artificial intelligence）是一个很大的范畴，它是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人类的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门较新的技术科学，也是一门广泛交叉的前沿学科，其核心支撑是模式识别或者说机器学习方法的进步，人工智能发展到今天，人们开始希望机器能够具有自我学习能力，形成智慧与自我意识，甚至超过人类的极限。作者认为，机器智能很可能在 40~50 年后，即 2060 年左右普遍超越人类。

那么，什么是模式识别呢？其实，大家对模式识别是很熟悉的，如果你还觉得陌生，相信提到人脸识别、小度机器人、机器指纹解锁、签名授权、电子抄表、照片美颜、医学影像自动诊断、包裹及信件自动分拣等，你一定不会陌生，这些其实就是模式识别技术的一些具体应用或产品。

模式识别（pattern recognition），也称作模式分类，环境与客体统称为“模式”，模式识别是指对表征事物或现象的各种形式的（数值的、文字的和逻辑关系的）信息进行处理和分析，进而对事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过程。模式识别技术现已被广泛应用于各种智能系统中。

模式识别分为有监督的分类（supervised classification）和无监督的分类（unsupervised classification）两种。二者的主要差别在于，各个实验样本所属的类别是否预先已知。一般说来，有监督的分类往往需要提供大量已知类别的样本，而无监督的分类没有这样的要求。

模式识别往往遵循图 0-1 所示经典的框架来实现。

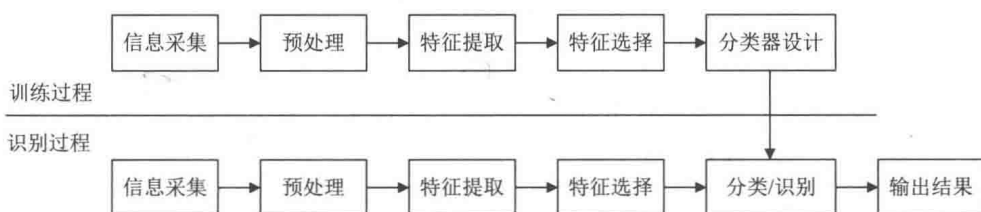


图 0-1 典型的模式识别过程

1) 信息采集。信息采集是将外部世界所观察的对象数字化为计算机可以处理的数据，如可呈现的波形、图像、视频及文本等。信息采集部分在开发一个模式识别系统的费用开支中往往占到惊人的比重。

2) 预处理。在信息采集过程中难免会有噪声或者其他与识别对象不相关的信息混进来, 预处理过程中往往需要滤波去除噪声或将关注对象从背景中分离出来。

3) 特征提取。经过信息采集得到的数据维度很高, 数据量又很大, 很难直接用分类器进行识别, 因此需要对原始信息进行加工, 通常是提取不同类对象之间有辨别力的特征。分类器通常是根椐这些有效特征来识别对象类别的。

4) 特征选择。采用什么样的特征进行对象的识别是模式识别系统设计的一个关键问题。首先, 特征往往是与实际应用相关的; 其次, 直观选取的特征未必对分类有效。但是对于一个模式识别系统的设计者来说, 他很难预先确切地知道其所面对的分类问题到底需要哪些特征, 哪些特征更加有效。于是通常的做法是首先尽可能从原始信息生成尽可能多的与分类问题相关的特征, 然后对特征进行评价和选择, 从而得到一组更加有利于分类的高效特征。

5) 分类器设计。分类的本质是将特征矢量映射到类别空间。对于一些简单的问题, 可以以人工的方式设计分类器, 甚至是手工完成分类, 然而, 对于一个复杂的实际问题, 以人工方式来设计分类器往往是低效的, 特别是当特征数量很多、特征空间维度很高时, 通过人的直观感觉设计出一个合适的分类器是不现实的。人类对周遭事物的分辨能力也不是与生俱来的, 通常需要一个学习与训练的过程, 模式识别系统设计也是一样, 并且训练过程中需要提供大量不同识别对象的实例, 称为训练样本, 而识别过程往往是通过在训练样本上学习到的分类模型自动完成对样本的分类。

6) 分类/识别。经过特征提取与选择之后, 每个被识别的对象都被描述为一组特征, 即特征矢量。每个对象所对应的特征矢量可以看作特征空间中的一个点, 分类与识别就是根据特征矢量判别对象所属的类别, 在数学上就是完成从特征空间到类别空间的映射过程。

本书将遵循模式识别的经典框架, 具体阐述模式识别如何应用于驾驶者异常状态的识别中, 特别是如何将模式识别用于智能交通领域的疲劳驾驶监控方面, 即怎样针对驾驶者疲劳的各种面部表现实现识别。

随着社会的发展和经济的进步, 汽车已经成为人们拓展生活空间、提高生活效率、提升生活品质的必备交通工具。汽车数量的与日俱增表现为社会繁荣的同时也带来了诸多社会问题。其中, 当前的首要问题是道路安全问题。据统计, 每年全球的道路交通事故多达 10 亿次, 占全球安全事故总数的 90%左右, 导致的受伤人数约有 2500 万人, 同时至少造成 50 万人死亡, 占全球安全事故伤亡人数的 80%以上, 道路交通事故业已成为造成人类非正常死亡的首要因素。每年各个国家都要为道路交通事故付出沉重的生命代价和巨大的经济损失。

然而, 不幸的是我国的交通环境甚为恶劣, 交通事故率一直位居世界第一。我国每年在道路交通事故中的死亡人数占全世界的 20%还多, 面对如此糟糕的交通环境, 提高道路安全水平势在必行。有统计表明, 在所有道路交通事故中, 人为因素占 80%, 因此, 有效地检测驾驶异常行为对避免交通事故的发生、减少交通伤亡有着非常重要的意义。本书在这里给驾驶异常一个初步的定义, 驾驶异常行为是指违反驾驶规范及区别于广大正常驾驶者的驾驶行为或是区别于自己以往驾驶习惯和特点的驾驶操作行为。例如, 各种清醒状态的危险驾驶行为、各种非清醒状态的驾驶行为、各种具有隐含意义的或具有被强制约束的驾驶行为(如受到胁迫)等。造成驾驶异常行为的因素如表 0-1 所示。

表 0-1 造成驾驶异常行为的因素

因素类型	体现的可检测特征	是否可行
社会因素（精神压力）	生理指标、操作行为	是
道路因素（是一个诱发因素）	生理指标、车道变换特征、面部特征	是
自然因素（时令、昼夜、气温等）	生理指标、面部特征、操作行为	是
生理因素（服药、酒驾、毒驾）	生理指标、面部特征、操作行为	是
特发因素（车辆失灵、交通事故障碍、突发疾病、自然灾害、遭遇绑架）	传感器信息、生理指标、车辆行驶状态与操作矛盾、反常驾驶方式、场景特征	较难

各种驾驶异常行为与检测手段如表 0-2 所示。

表 0-2 各种驾驶异常行为与检测手段

异常行为		检测工具	获取信息	识别方法		
驾驶人	状态类*	疲劳/困倦	可见光成像、红外光成像、热像仪	拍面部图像，夜间考虑红外图像，同时可考虑热像仪成像分析	图像分类（一般是针对关键特征的识别）	
		突发疾病	生理传感器	心率、血压、汗液成分，热像仪图像	脸色、出汗检测、与常态对比等	
	特定动作类	接打电话	无线信号检测装置、可见光及红外光成像、结合包含深度信息的成像装置，如 Kinect 或可见光结合飞行时间深度相机	车内异常声音（手机铃声、振动声），动作识别及包含深度信息的动作识别	突发声音配合基于机器视觉的动作识别（包括增加深度信息的动作识别）	
		吃东西、喝水	可见光及红外光成像、结合包含深度信息的成像装置，如 Kinect 或可见光结合飞行时间深度相机	特定声音识别、动作识别及包含深度信息的动作识别	特定声音配合基于机器视觉的动作识别（包括增加深度信息的动作识别）	
		剪指甲	同上	同上	同上	
		厮打	同上	同上	同上，声音语气识别	
		分心交谈	可见光及红外光成像、传声器	表情、头部运动、重点嘴部运动、声音	表情识别、视线偏移识别、多说话人识别、交谈识别	
		受到胁迫	生理传感器、操作行为、传声器、可见光、红外及深度成像	特定声音、生理信号、声音、眼睛焦点偏移、紧张表情	特定情形的一些场景特征综合识别	
	当前车辆	操作特征	握方向盘力度	握力传感器	握力变化	传感器数据异常检测
			加速踏板、制动踏板使用方式特性	采集车辆数据	传感器数据	综合特性曲线的特征变化检测
人为造成的各种车辆异常，包括行车摆动、临时准备转向或掉头、侧滑、快速掉头、大半径掉头、紧急制动			车辆数据+GPS	车辆运动数据	车辆运动行为识别	

续表

异常行为		检测工具	获取信息	识别方法	
外部 环境	车辆 与车 道关 系	车道偏移	车辆数据+GPS、外部道路图像	车道线变化	识别车道线并判定关系
	车辆 间信 息	危险追逐/飙车	车辆自身行驶数据+车辆间数据(通过GPS+车联网得到)	车辆运动数据	距离过近,运动超速识别
		危险伤害(如故意碰撞)	同上	同上	同上
	车辆 与外 部参 与者	危险接近	车辆自身行驶数据(包含GPS信息)+行人等运动数据(可通过携带手机中GPS获得)	车辆与行人运行数据	距离过近,基于二者运动关系的风险预判

注:这一类中凡涉及生理传感器的信息采集,属于接触式采集方式,可能不被接受,或可考虑使用微磁传感器替代微电流接触式传感器采集脑电波等信号,其可架设在驾驶者头顶上方进行采集,但成本很高。

学术界对驾驶异常行为暂时还没有统一的定义,引发驾驶异常的因素很多,驾驶异常行为的表现也多种多样,对于不同的异常行为表现暂时还不能用统一的框架同时实现识别。目前很多研究将驾驶异常行为识别定位在疲劳驾驶侦测上,本书也重点立足于针对类疲劳驾驶表现进行识别的问题上,而主要的目的是将一个完整的模式识别框架交代清楚。疲劳驾驶是一类最为普遍和频发的驾驶异常行为,一些药物因素造成的驾驶异常也和疲劳驾驶的表现类似,因此它具有一定的代表性。此外,其主要采用的基于机器视觉的检测方式也具有普适意义。现实中,进行疲劳驾驶识别和预警,对避免恶性交通事故发生、保障人们生命和财产安全能够起到至关重要的作用。

疲劳驾驶识别是一个复杂的模式分类问题,由于疲劳的外在表现并不明显,往往难于进行描述和识别。这里,将疲劳驾驶识别作为一个完整的模式分类问题进行论述,重点针对驾驶者疲劳状态识别所涉及的各个模式识别的处理步骤依次进行有针对性的研究与探讨。本书内容涵盖模式识别的基本过程,并方便读者结合实际问题的来了解模式识别的应用。

1) 第1篇:模式识别框架基础,包括绪论和第1、2章。

第1章:概述。全面介绍本书所涉及的驾驶者疲劳状态识别这一应用问题的背景,以及驾驶者疲劳状态识别的各种手段和相关研究现状。

第2章:人脸及其局部单元的检测方法。作为一个模式分类问题,要实现最终的分类目标,首先需要完成两个基本的处理步骤:一是特征区域的定位;二是特征的提取和描述。主要工作是解决疲劳驾驶识别中的特征区域定位问题。人脸的局部单元主要包括眉毛、眼睛、鼻子、嘴及耳朵,实际上,并不需要将所有局部单元都进行定位。这是因为,一方面,从眼睛和嘴部区域就能够得到反映疲劳的主要信息,眉毛区域所包含的信息量很少,而鼻子和耳朵是没有什么信息量的;另一方面,人脸有所谓“三庭五眼”的普适规律,只要定位出眼睛和嘴部区域,实际上其他局部单元的大体位置也就可以确定了。所以,人脸局部单元定位的重点是眼睛和嘴部区域。通过对它们的定位又可以定义

若干疲劳观察区域, 这些区域应选择与疲劳表情明显相关的各局部人脸区域。第2章为全书研究工作的开展奠定了基础。在这一章中, 首先对人脸检测的主要方法进行分析和比较, 最终给出两种适合于疲劳驾驶分类任务的人脸定位方法, 分别是基于肤色高斯模型的人脸检测方法和 AdaBoost 框架下基于 Haar-like 特征的人脸快速检测方法。在基于肤色的人脸检测中, 使用一个人脸区域轮廓优化算法来优化所得到的面部轮廓。当人脸区域定位后, 分别以两种方法进行人脸局部单元的定位: 一是模板匹配方式, 二是基于局部强化图的眼睛和嘴部区域定位, 这两种检测方法都比较成熟。

2) 第2篇: 基于显著面部表现的驾驶者异常状态识别, 包括第3、4章。

第3章: 驾驶者眨眼异常状态识别。人脸区域中能够反映疲劳状态的两个比较重要的局部单元分别是眼睛和嘴, 当人产生疲劳时, 眨眼的频率会普遍降低, 且会接连打哈欠。在以往的研究中, 眨眼过程中, 眼睑遮盖瞳孔的时间占比 (percentage of eyelid closure over the pupil over time, PERCLOS) 一直作为一个黄金准则来使用, 它使用一个人在一个特定时长内眼睛处于闭合状态的比例来定义人的疲劳程度。这个定义虽然是合理的, 但它存在两方面的问题, 一是由于个体的差异, 眼睛的开度在判断上存在困难; 二是 PERCLOS 对于眼睛图像的质量要求较高。于是第3章从频域角度来分析一个时段内眨眼能量的变化, 这样疲劳只与眨眼的动态特性 (即频域特征) 相关, 而与眨眼的开度无关。通过找到清醒和疲劳两种状态下眨眼频域差异最大的频带作为特征频带, 并进行能量累积, 可以有效地区分出不同的疲劳程度。这是对疲劳进行阐释和识别的一种新的视角。

第4章: 驾驶者打哈欠过程识别。哈欠是疲劳发生时的另一种显著表现, 这种特征也是对基于眼部特征进行疲劳检测方法的重要补充。由于很多驾驶者有佩戴眼镜或是墨镜的习惯, 这样依靠眼部特征的检测方法会部分或是全部失效, 当然可以通过红外摄像装置来弥补这个不足, 但必须以提高成本和带给驾驶者更快的疲劳感为代价。哈欠的检测和识别的相关研究并不多, 以往的研究也并没有仔细划分嘴部的状态, 一般只认为存在正常状态和打哈欠状态。但实际上, 很明显存在至少三种状态, 即沉默、交谈 (包括大声说笑) 及打哈欠。对上述各种典型的嘴部状态进行特征描述是一个重要的步骤。就单帧图像而言, 哈欠与大声说笑可能是没有差异的, 必须将其嵌入一个序列中进行分类才能得到更好的分类效果, 于是第4章给出用序列特征来描述哈欠过程, 并引入特征选择的手段对特征进行约简, 最后用 C4.5 决策树分类器和支持向量机 (support vector machine, SVM) 分别进行分类验证, 从而可以得到良好的识别效果。

3) 第3篇: 基于非显著面部表现的驾驶者异常状态识别及研究扩展, 包括第5~8章。

第5章: 基于多区域证据支持的驾驶者疲劳状态识别。第3、4章研究的是两种显著的疲劳表现的识别, 通过合理的特征描述, 可以以较高的效率将这些疲劳行为识别出来, 但这毕竟是一些特例, 必须考虑更一般的情况。可以将疲劳可以看作一种面部表情, 但是这种表情表现比较平和, 不容易对其进行有效描述。如果以整个人脸作为输入的特征, 往往很难得到理想的分类效果, 因为人脸包含了太多的冗余信息, 对这些信息不加筛选进行应用势必会使分类器无法进行正确有效的学习, 从而导致分类器泛化能力的恶化。那么, 怎样能够识别更一般的疲劳表现呢? 这就涉及前面提到的有效的特征提取和描述。人的疲劳表现并非无法进行描述, 实际上人的疲劳表现无外乎会出现在人脸区域

的某几个子区域中,那么,这些区域就是监测疲劳是否发生的重要观察区域,这里将其称为疲劳单元,实验共选取了9个疲劳单元来综合反映驾驶者的真实状态。每一个疲劳单元对疲劳是否发生都具有一定的信息反馈能力,它们就相当于一个个观察者,只是每个观察者由于能力所限,可能只见树木不见森林,所以它们所提供的信息只能称为一种不完善的单方面信息。然而将9个疲劳单元的信息以一种合理的方式组合起来,就形成了一个完整的证据支持,从而可能得到驾驶者状态的真实描述。正是基于这样的想法,对每个疲劳单元构造一个基分类器,然后以投票方式对9个疲劳单元进行集成。通过实验证明,这种疲劳识别方法是合理有效的。需要说明的是,由于疲劳单元较多,而每个疲劳单元各自提取出很多特征,这样累积起来的特征就更多,而基于模糊粗糙集的特征提取技术被引入进来,有效地约简了特征数量。近年来,粗糙集理论得到了迅速发展,目前在数据挖掘及机器学习领域被广泛使用,已经成为一种成熟有效的数学工具。

第2~5章所涉及方法的介绍过程实际已经覆盖了典型模式识别的全部过程,从第6章开始进行一些扩展性的探讨。第6章介绍如何对分类器进行设计,第7章则尝试将目前最热门的深度学习框架应用到本书的分类任务中。

第6章:基于覆盖规则集的驾驶员疲劳状态分类器设计。对于一个模式识别问题来说,还有一种方法可以进一步提高分类的性能,即构造更加适合于分类任务的分类器。正是模式识别过程中所涉及各个步骤诱发了各种扩展性的研究,第6章阐述的重点便是一种分类器的设计与实现过程。在第5章的研究中,所提取的特征对于驾驶状态区分是有效的,那么从特征描述的角度而言,特征是不存在问题的。第5章通过集成学习的方式将若干C4.5决策树集成起来能够得到理想分类效果,其本质在于所形成规则集合的合理性,同时也说明基于规则的分类方法对于面部疲劳特征所形成的高维非线性稀疏分布样本空间具有良好的分类逼近能力。考虑到这一点,第6章基于间隔的思想构造了一种更优化的规则学习算法,称为邻域覆盖约简规则学习算法,这种算法能够得到具有更好泛化性能的简洁且紧凑的规则集合。将此算法应用到驾驶员疲劳状态分类任务中,发现这种方法对于驾驶员状态分类的确具有良好的性能。从而,通过设计更为有效的规则学习分类器,进一步提高了对于驾驶员疲劳状态分类的精度和稳定性。

5.4节的研究中曾引入过粗糙集相关技术,邻域覆盖约简则是基于覆盖粗糙集理论的。Pawlak粗糙集理论体系建立后一直进行两方面的拓展,一方面着眼于论域的划分方式,另一方面则关注不同类型的近似方式及近似算子的定义,而前者就泛化为覆盖粗糙集理论体系。

覆盖约简是被广泛讨论的一个研究领域,然而以往的研究主要集中在用于特征评价的覆盖族约简及理论意义多于应用意义的覆盖元素约简理论上,至今尚未见关于覆盖元素约简的成功应用。第6章基于相对覆盖元素约简规则学习分类器的提出,恰好填补了这一研究领域的空白。通过与经典的分类算法进行比较,本章所设计的领域覆盖约减(neighborhood covering reduction, NCR)分类器至少与邻域分类器(neighborhood classifier, NEC)、最近邻规则(nearest neighbor rule, NN)、学习矢量量化(learning vector quantization, LVQ)、线性支持向量机(linear support vector machine, LSVM)、分类与回归树(classification and regression tree, CART)、C4.5及Jripper这些经典的分类器性能相当,并通过介绍NCR分类器给出模式识别中进行分类器设计的思路和完整过程。

在提出邻域覆盖约简规则学习算法的同时，第6章还分析覆盖约简和相对覆盖约简的差异，并建立起相对覆盖约简的基础理论框架，完善了覆盖粗糙集相关理论。这也是在模式识别框架下进行相关拓展探讨的意义，其影响可能涉及多个领域。

第7章：基于稀疏表示的驾驶者异常状态识别。传统的模式分类框架多是提取特征，然后在此基础上训练一个分类器实现有效分类的一个过程。而源于压缩感知问题的稀疏表示的分类方法则给出了不同的视角。基于稀疏表示的分类方法从样本表示的角度来构建分类器，哪一类的训练样本能给出测试样本的最优表示则将训练样本赋予该类训练样本的类别。稀疏表示方法是近年来在模式识别领域比较热门的一个研究方向，然而，该方法的稀疏约束在求解上属于 NP-hard 问题，给实际应用带来很大困难。本章在详细介绍稀疏表示思想的基础上，还给出了基于稀疏表示的快速分类框架，继而还探讨了引入空间变换思想的稀疏表示问题。

第8章：基于深度学习的驾驶者疲劳状态识别。深度学习近年来在机器视觉等相关领域逐步成为热点，并开始引领模式识别的发展。其模型的普适性及良好的效果被学者广泛认可，尤其通过深度神经网络能够在不经过人为干预的情况下实现有效的特征学习与抽取。这对于不同领域的研究者来说，是非常重要的一个优势。第7章详细介绍深度神经网络的来龙去脉、基本原理，重点介绍卷积神经网络及几个典型的网络结构。另外，还介绍利用已有的深度学习模型实现迁移学习，将其用于本书所依托的驾驶者异常状态分类问题中，并给出了相关的识别结果。

本书各章节间的关系如图 0-2 所示。

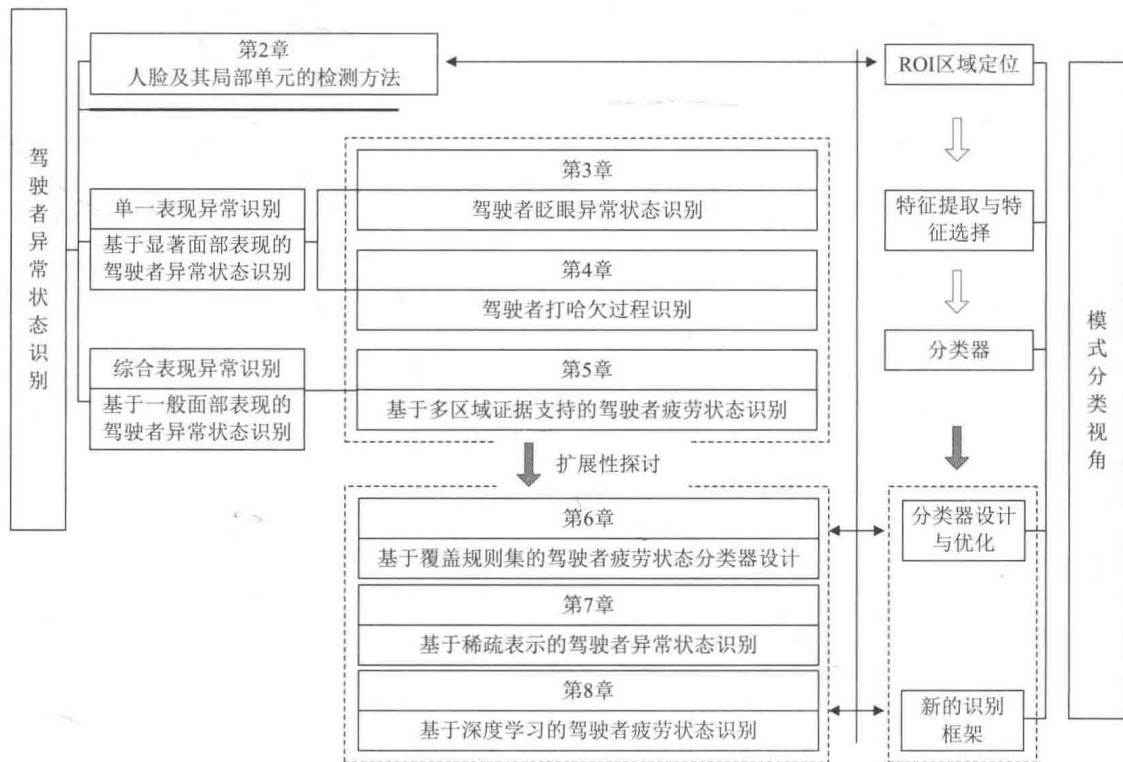


图 0-2 各章节间的关系

第 1 章 道路交通安全与疲劳驾驶识别方法概述

自 1886 年第一辆汽车在德国诞生以来,汽车就作为科技进步的产物和人类现代文明的象征,为人类社会经济的发展做出了巨大贡献。100 多年来,汽车不断影响和改造着人们的生活方式,在提高劳动效率的同时,也极大地拓展了人类的活动空间,为人类营造出一个快捷、高效、舒适的生活环境。进入 21 世纪,浓缩着人类科技文明的汽车工业更是得到了空前的发展,汽车已经逐渐普及并成为人们日常生活中最主要的交通工具。汽车改变了世界,并似乎在其问世以后都一直扮演着积极的角色。然而,随着汽车数量的激增,由此带来的社会问题也逐渐凸显出来:交通安全问题日益突出,每年交通事故都会造成巨大的人员伤亡和财产损失。据统计,道路交通事故已经成为造成人类非正常死亡的首要原因,交通安全问题已成为社会发展中一个亟待解决的突出问题。

1.1 应用背景及研究意义

根据美国国家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)的相关统计,每年全美由于道路交通事故造成的经济损失都要在 2000 亿美元以上。2016 年美国道路交通事故的死亡人数约为 4 万人,相比于 2014 年猛涨 14%,是继 2007 年以来美国道路交通事故死亡人数最多的一年,所造成的社会经济损失高达 3302 亿美元。

近些年来,国内的汽车保有量迅速增加,图 1-1 显示了我国近年来汽车保有量的增长情况。

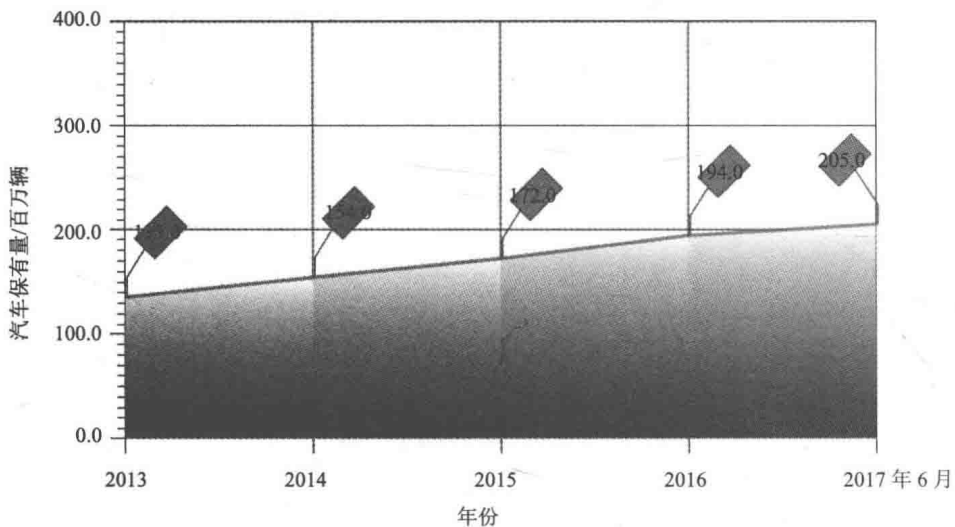


图 1-1 2013 年~2017 年 6 月中国机动车保有数量统计