



陈无畏 汪洪波 谈东奎 焦俊 著

智能车辆主动安全 与控制技术



非
外
借



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

智能车辆主动安全与控制技术

陈无畏 汪洪波 谈东奎 焦俊 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书总结了合肥工业大学车辆系统动力学与控制研究所多年来在智能车辆主动安全与集成控制技术方面所取得的经验和部分研究成果,并结合智能车辆当前的发展状况,阐述了智能车辆的体系结构、基于机器视觉的智能车辆导航、智能车辆的跟踪控制、智能车辆的运动稳定性与控制、智能车辆的悬架系统模型降阶与控制、智能车辆技术展望等方面的研究内容。本书内容翔实、全面,理论与实践并重,既有理论水平和学术价值,对工程实践也有指导意义。

本书可供车辆工程、机械工程、计算机科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与技术等学科的研究人员、工程技术人员、教师参考,也适合对智能车辆感兴趣的各类人员阅读,同时可以作为上述专业研究生、高年级本科生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能车辆主动安全与控制技术/陈无畏等著. —北京:科学出版社,2018.7
ISBN 978-7-03-058056-6

I. ①智… II. ①陈… III. ①智能控制-汽车-安全控制技术 IV. ①U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 132787 号

责任编辑:裴 育 赵微微 / 责任校对:张小霞

责任印制:张 伟 / 封面设计:陈 敬

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 7 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 7 月第一次印刷 印张:22

字数:428 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

智能车辆是计算机科学与技术、控制科学与工程、机械工程、通信工程、电子信息科学与技术、仪器仪表技术与传感器、力学、数学等领域高新技术综合应用的载体,是一个集环境感知、规划决策、自动驾驶、多等级辅助驾驶等功能于一体的综合性系统。

智能车辆通过车载传感器设备,如视觉传感器、超声波传感器、速度传感器和车载雷达等,感知周围道路、障碍物的信息和车辆自身位姿,通过计算机信息处理软件,结合智能车辆储存的历史信息,利用人工智能理论,自主分析和推理,规划出智能车辆的行驶路径。其主要执行功能包括:准确地沿着规定标线行驶并保持正确的姿态;在网络环境下,利用计算机技术、信息技术和控制技术向智能车辆发出指令,使智能车辆依靠自身能力和控制系统,安全、可靠地实现自动驾驶或辅助驾驶,完成特定的任务。

显然,智能车辆包含了辅助驾驶、主动安全、自主无人驾驶等多个方面。智能车辆在发展过程中逐渐实现了从辅助驾驶、主动安全到自主无人驾驶的目标,即具有单一功能的智能化、复合功能的智能化、有限条件的无人驾驶和全工况下的无人驾驶。

本书以智能车辆的主动安全与控制技术为核心,主要包括智能车辆的体系结构、环境感知与传感器信息融合技术、智能车辆路径规划与跟踪控制、智能车辆动力学系统的模型降阶与悬架控制技术、智能车辆的运动稳定性与控制技术等。

本书的研究成果得到了国家自然科学基金面上项目“基于功能分配的汽车底盘一体化集成控制方法和关键技术研究”(51075112)、“车辆横向运动中的人机共享控制方法与关键技术研究”(51375131)、“汽车横向辅助驾驶系统深度感知与人机协同控制研究”(51675151),国家自然科学基金联合基金项目(重点支持项目)“智能汽车多状态系统动力学行为建模与协同控制研究”(U1564201),以及安徽省科技重大专项“智能电动多用途乘用车研发”(17030901060)等的大力资助。书中部分内容涉及合肥工业大学李进、焦俊、汪明磊、王家恩、汪洪波、杨柳青、张荣芸、谈东奎等的博士学位论文的研究成果,并得到了课题组全体老师的大力支持,在此表示衷心感谢。

本书由合肥工业大学陈无畏教授、汪洪波副教授、谈东奎博士和安徽农业大学焦俊教授撰写,全书由陈无畏教授统稿。本书在撰写过程中引用了一些国内外期

刊、文献资料,用以充实书中内容,在此向有关参考文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2017 年 8 月于合肥

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 智能车辆的发展现状	3
1.3 智能车辆的主动安全技术	9
1.3.1 智能车辆的几个发展阶段	9
1.3.2 自主导航关键技术	10
1.4 智能车辆系统动力学与控制技术	16
参考文献	17
第 2 章 智能车辆的体系结构	20
2.1 两种基本的体系结构	20
2.1.1 分层递阶式体系结构	20
2.1.2 包容式体系结构	21
2.2 其他几种典型的体系结构	21
2.2.1 三层结构	22
2.2.2 自组织结构	22
2.2.3 分布式结构	22
2.2.4 进化控制结构	23
2.2.5 社会机器人结构	24
2.3 智能车辆的集散决策混合式体系结构	24
2.3.1 系统的分散决策效果	25
2.3.2 集中决策与分散决策	25
2.3.3 道路环境下的决策体系结构	28
2.4 仿真研究	29
2.4.1 运动学模型	29
2.4.2 功能模型	30
2.4.3 时间延迟分析	32
2.4.4 仿真结果分析	33
2.5 基于行为的智能车辆体系结构	36
2.5.1 体系结构框架	36

2.5.2 行为的优先级	37
2.5.3 黑板模型	38
2.5.4 智能车辆各行设计 and 仿真	39
2.6 智能车辆多智能体系统的体系结构	42
2.6.1 智能体的基本概念	42
2.6.2 多智能体系统的设计思想	44
2.6.3 基于多智能体系统的智能车辆控制	45
参考文献	52
第3章 基于机器视觉的智能车辆导航	54
3.1 车道识别系统设计	54
3.1.1 车道识别算法流程	54
3.1.2 车道线预提取	55
3.1.3 车道线跟踪	65
3.2 基于边缘点投影的车道线快速识别	72
3.2.1 快速识别和跟踪算法流程	72
3.2.2 图像预处理	74
3.2.3 车道线跟踪	80
3.2.4 实车实验	82
3.3 基于机器视觉的前方车辆距离检测	83
3.3.1 前方车辆距离检测计算流程	84
3.3.2 机器学习	84
3.3.3 车辆位置的确定	86
3.3.4 前方车辆距离的计算	88
3.3.5 基于毫米波雷达与机器视觉的前方车辆检测	89
3.4 基于自适应阈值的矢量域直方图法路径规划	95
3.4.1 改进的矢量域直方图法路径规划	96
3.4.2 路径规划仿真结果分析	100
参考文献	103
第4章 智能车辆的跟踪控制	105
4.1 智能车辆的横向运动自适应预瞄方法	105
4.1.1 系统结构	105
4.1.2 车辆-道路模型	106
4.1.3 闭环控制系统设计及特性分析	108
4.2 基于人机共享和分层控制的车道偏离辅助系统	112
4.2.1 控制系统结构设计	112

4.2.2 控制器设计	113
4.2.3 仿真计算与分析	118
4.2.4 驾驶员在环实验	123
4.3 基于深度神经网络的车道偏离预警	125
4.3.1 深度学习方法	126
4.3.2 人-车-路闭环系统随机模拟	127
4.3.3 仿真计算与分析	130
4.4 基于期望横摆角速度的智能车辆横向运动控制	134
4.4.1 控制系统设计	134
4.4.2 路径规划	134
4.4.3 期望横摆角速度生成	136
4.4.4 期望横摆角速度跟踪控制	137
4.5 一类基于轨迹预测的驾驶员方向控制模型	142
4.5.1 基于轨迹预测的驾驶员模型	142
4.5.2 仿真计算与分析	149
4.5.3 硬件在环实验	154
4.6 智能车辆横向运动安全决策方法	156
4.6.1 驾驶员应急转向时的车辆运动	156
4.6.2 车辆横向运动安全边界设计	158
4.6.3 横向运动安全决策	162
4.6.4 仿真分析	163
4.7 基于道路势场法的车道偏离辅助控制	164
4.7.1 道路势场的构建	164
4.7.2 路径跟踪控制策略	166
4.7.3 仿真计算与分析	167
4.8 基于自抗扰控制的自动泊车路径跟踪	169
4.8.1 自动泊车系统的运动学模型	169
4.8.2 基于非时间参考的路径跟踪	170
4.8.3 自抗扰转角跟踪控制器	172
4.8.4 系统设计	174
4.8.5 仿真计算与分析	174
4.9 基于 GA 和 LS-SVM 的智能车辆路径跟踪控制	177
4.9.1 最小二乘支持向量机	177
4.9.2 基于 GA 和 LS-SVM 的滑模变结构控制	179
4.9.3 仿真计算与分析	180

4.10 基于转向盘转角安全边界的车道偏离共享控制	182
4.10.1 转向盘转角安全边界	183
4.10.2 驾驶员意图转向盘转角估计	184
4.10.3 辅助决策策略	185
4.10.4 控制律设计	186
4.10.5 仿真计算与分析	190
参考文献	197
第5章 智能车辆的运动稳定性与控制	200
5.1 基于 LPV/ H_∞ 控制的 EPS 研究	200
5.1.1 EPS 系统的 LPV/ H_∞ 控制器设计	200
5.1.2 仿真计算与分析	204
5.2 基于直接横摆力矩的车辆稳定性控制	205
5.2.1 基于非线性状态观测器的车速估计	206
5.2.2 基于非线性 H_∞ 输出反馈控制的 ESP 研究	207
5.2.3 仿真计算与分析	210
5.3 基于功能分配和多目标模糊决策的 EPS/ESP 协调控制	213
5.3.1 协调控制器设计	213
5.3.2 仿真计算与分析	219
5.4 基于功能分配和回正力矩补偿的 EPS/ESP 协调控制	221
5.4.1 协调控制器设计	221
5.4.2 仿真计算与分析	226
5.4.3 硬件在环仿真实验	229
5.5 基于车辆行驶安全边界的 EPS/ESP 协调控制策略	232
5.5.1 车辆行驶安全边界	232
5.5.2 协调控制器设计	235
5.5.3 仿真计算与分析	240
5.5.4 实验验证	241
5.6 车辆横向运动混沌分析及滑模变结构控制	243
5.6.1 非线性系统模型	243
5.6.2 车辆横向运动混沌分析与数值仿真	245
5.6.3 自适应趋近滑模变结构控制	250
5.6.4 仿真计算与分析	253
5.7 差动助力转向系统稳定性可拓协调控制	255
5.7.1 动力学模型的建立	256
5.7.2 基于横摆力矩可拓协调的控制系统设计	257

5.7.3 仿真计算与分析	264
参考文献	267
第 6 章 智能车辆的悬架系统模型降阶与控制	269
6.1 悬架系统模型降阶	269
6.1.1 最优 Hankel 范数降阶	269
6.1.2 其他降阶方法比较	273
6.1.3 仿真计算与分析	275
6.2 基于频率加权互质分解的控制器降阶	279
6.3 主动悬架系统的主动容错控制	283
6.3.1 基于传感器信号重构的主动悬架主动容错控制	284
6.3.2 基于控制律重组的主动悬架主动容错控制	293
6.3.3 基于故障补偿的主动悬架系统容错控制	300
6.4 磁流变半主动悬架系统控制研究	308
6.4.1 含时滞的磁流变半主动悬架离散系统建模	308
6.4.2 磁流变半主动悬架时滞依赖 H_2/H_∞ 控制系统设计	309
6.4.3 仿真计算与分析	313
6.4.4 实验验证	316
6.5 主动悬架系统 H_∞ 可拓控制	318
6.5.1 H_∞ 可拓控制器设计	318
6.5.2 仿真计算与分析	319
6.5.3 H_∞ 可拓控制器值域博弈与模糊整定	322
6.5.4 仿真计算与分析	324
参考文献	325
第 7 章 智能车辆技术展望	328
参考文献	339

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

自 1886 年汽车问世以来,汽车工业经历了 100 多年的快速发展。汽车自身也从最初的代步和运输工具,成为人们生活和人类文明的一部分。汽车的技术发展水平及其普及程度,是衡量一个国家或地区社会物质生活发展水平及现代化程度的重要标志。伴随着科学技术的突飞猛进和经济社会的迅猛发展,人们生活水平逐步提高,汽车也逐渐走入广大普通百姓家庭,极大地方便人们的出行和生活。近年来,汽车的产销量和保有量呈现出逐年增加的趋势。据统计,截至 2016 年 6 月底,全国机动车辆保有量达 2.85 亿辆,其中汽车 1.84 亿辆;机动车驾驶员达 3.42 亿人,其中汽车驾驶员 2.96 亿人。预计到 2025 年,全球在用车数量将超过 14 亿辆。随着汽车的普及和保有量的日益增长,在享受汽车给我们的出行和生活带来便利的同时,它也给社会的发展带来了道路交通安全、交通拥挤、环境污染、能源浪费等方面的问题,所造成的各类损失难以计算。日益频繁的交通堵塞和交通事故,严重影响了人们的日常生活和工作效率,甚至危害到人们的生命安全。大量汽车排放的尾气会加剧温室效应,污染环境,进而损害人们的身体健康。因此,发展安全、环保、节能、智能化的汽车成为当今汽车的发展趋势。尤其是随着公路路网的发展以及汽车行驶速度的提高,交通事故的发生呈逐渐上升趋势。统计资料表明,90%以上的交通事故都是由人为因素造成的,驾驶员不严格遵守交通规则、反应不及时以及错误操作是发生道路交通事故的主要原因,而这些也往往会带来交通堵塞。

如何利用各种先进技术有效地改进汽车的安全性能、提高环保与节能性能、减少道路交通事故、提高交通系统效率,已经成为各国政府和研究机构共同关注的社会问题和科学技术发展所面临的重要课题之一。为解决上述问题,世界各地已经投入大量的人力、物力开展智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)的研究。智能交通的概念最早由美国智能交通学会提出,并在世界各国大力推广。智能交通系统的核心理念是从系统的观点出发,将道路系统和汽车系统综合起来考虑以解决相关交通问题,也就是将先进的信息技术、通信技术、自动控制技术、计算机处理技术以及人工智能等有效地综合运用于交通管理体系和汽车系统而建立

起来的一种大范围、实时、高效、准确的先进运输系统,其主要目的是提高道路交通安全性、减少交通事故、提升交通系统的通行能力和效率、节约能源等。智能交通现已走过了 20 多年,当前的环境和技术都发生了巨大变化,智能交通的语境也发生了变化。现在的智能交通系统在基于移动互联、大数据的情况下,提出了新的技术要求,包括车辆管理系统、交通管理系统、人员管理系统、协同智能交通系统等。当前交通领域的一些研究和发展的热点,如城市交通安全、节能减排、基于移动互联下的智能交通系统等科技创新,都对汽车产生了重大的变化。当前,辅助驾驶员驾驶汽车或替代驾驶员自动驾驶汽车的系统,即常称的智能车辆(intelligent vehicle, IV),已成为智能交通系统的一个重要组成部分。智能车辆可以通过先进的车载传感系统、信息处理与决策系统以及执行系统等对驾驶员、道路环境、车辆自身状态等进行实时监控,部分或者完全代替驾驶员完成驾驶操作,从而减轻驾驶员的劳动强度,提高交通安全性及通行效率、节约能源等。

在发展用于智能交通领域的智能车辆的同时,各国也都在大力发展用于工业生产、军事及航天探测等方面的自动引导车和无人驾驶车辆。综上所述,智能车辆的研究在提高道路交通安全和道路通行能力、工业生产、军事以及航天探测方面具有重大意义。

智能车辆是一个集环境信息感知、智能规划决策、辅助驾驶及自动驾驶等多种功能于一体的综合系统,它集中运用了计算机科学、现代传感、信号处理、人工智能、通信及自动控制等技术。典型的智能车辆组成结构及控制框图如图 1-1 所示。

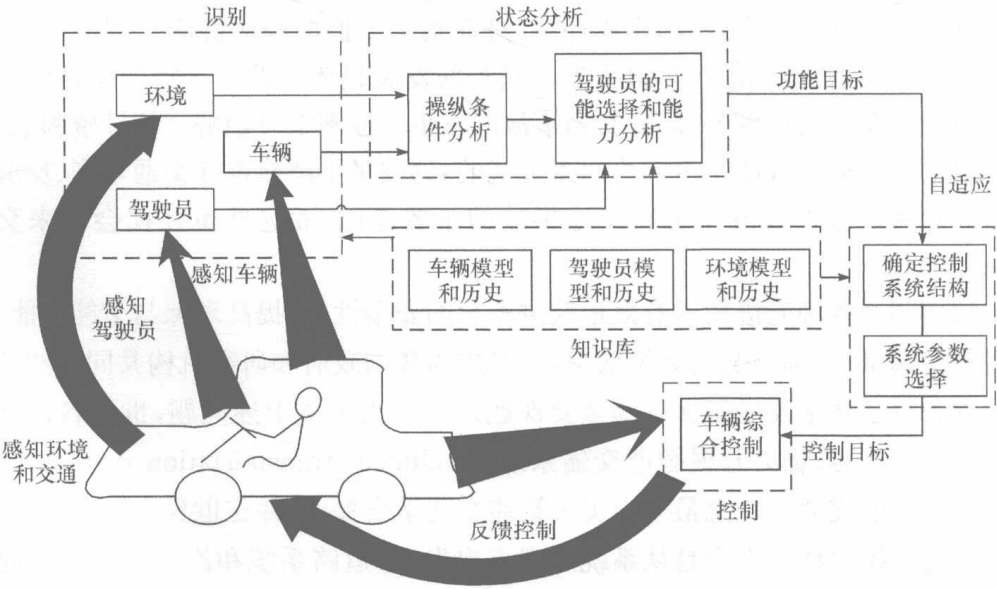


图 1-1 典型的智能车辆组成结构及控制框图

研究开发智能车辆技术有助于减轻驾驶员的劳动强度、提高其行驶安全性、减少道路交通事故和提高交通系统通行效率。随着科技进步和经济发展,机动车保有量的迅速增加,非专业驾驶员的增多,道路交通事故的发生更加频繁,已经严重影响人们的出行和生命财产安全。驾驶员注意力不集中是导致交通事故频发的重要原因,而智能车辆可以利用各种先进技术,在危险发生前,提醒驾驶员做出必要的回避动作或者在紧急状况下,如驾驶员无法做出反应时,自主控制车辆完成规避危险任务,从而避免交通事故的发生。例如,车道偏离报警及自动校正系统、自适应巡航系统、避障路径规划与控制系统、自动跟随驾驶系统、自动泊车系统都可以大大减轻驾驶员的劳动强度和疲劳程度,提高驾驶舒适性。发展智能车辆还可以优化使用交通设施、提高机动性、缩短旅行时间和减小能源消耗等,提高道路运输效率。

智能车辆技术不仅在智能交通、辅助驾驶等方面有着广泛的应用前景。在工业上,可以应用在自动仓库、港口、码头、车间等物流作业部门的自动引导车上,提高货物搬运效率,降低生产成本;同时它还可以用在人类无法工作的环境中代替人类完成恶劣、有毒环境下货物的搬运、设备的检测等任务,从而避免某些有害物质对人体造成的伤害。在军事上,智能车辆可以按设计者意图在战场上自动行驶,代替人类完成巡逻、侦察、排雷及对有毒物品的采样,迅速准确地搜集相关信息,从而提高军事任务执行的效率,有效地避免军事人员伤亡;在智能武器系统的开发上,智能车辆可作为其安装平台,能够实现自动搜索和攻击目标,提高攻击力和安全性。可见,智能车辆在军事领域也有着重要的意义。在航空航天科学研究方面,空间自主移动机器人是其中重要的组成部分。因此,智能车辆还可用于在外星球探索和勘探上,对人类探测外星球、开发和利用外星球起到巨大的推动作用。

智能车辆一般具备三个特点:①对周围环境进行准确感知;②进行智能化的路径规划;③拥有辅助驾驶功能。智能车辆是典型的高新技术集合体。作为一个新型的交叉学科领域,智能车辆技术的研究涉及机械制造、信息感知、人工智能、自动控制、电子及通信技术等多个学科的理论与技术,集成了所涉及学科研究的最新成果,其发展必将推动相关学科和技术的迅猛发展。

综上所述,智能车辆在工业、军事、民用、科学等领域都具有广阔的发展空间和应用前景,国内外众多的科研院所、企业,正投入大量的人力、物力开展智能车辆中关键技术的研发。因此,研究开发智能车辆技术具有重要的科学理论意义和实际应用价值。

1.2 智能车辆的发展现状

人类社会的不断进步、相关科学技术的快速发展以及来自人们对工业生产自

动化、交通运输安全和军事方面的迫切需求,有力地促进与推动了智能车辆的产生与发展。1954年,美国 Barret Electronics 公司研制出了第一台自动引导车系统(automated guided vehicle system, AGVS),它是一个运行在固定线路上的自动运输平台,具有无人驾驶车辆的基本特征,宣示着智能车辆的诞生。到目前为止,智能车辆经历多个发展阶段,取得了相当丰富的成果。纵观国内外智能车辆的发展,对其研究过程大体可分为四个阶段^[1]:1950~1970年为智能车辆研究的萌芽阶段;1970~1990年为智能车辆研究的起步阶段;1990~2000年为智能车辆技术的大发展阶段;2000年至今为智能车辆技术实用化的快速推进阶段。

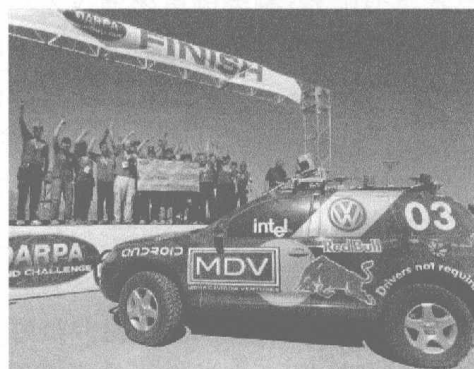
在智能车辆研究的萌芽阶段,研究者采用电缆或磁诱导方式来实现车辆的自动控制。此时的自动驾驶系统主要是依据铺设在道路上的制导电缆或磁诱导设备信息来对其进行横向行驶控制,从而实现车辆在预定车道内自动行驶。由于研究场所多为室内环境,其应用存在一定的局限性。除了 Barret Electronics 公司外,美国的 RCA(美国无线电公司)、GM(通用汽车)公司、OSU(俄亥俄州立大学),英国道路交通研究所,德国西门子公司以及日本机械技术研究所等机构也都开展过相关方面的研究^[2,3]。

在智能车辆研究的起步阶段,随着计算机及机器视觉技术的发展,智能车辆研究的焦点是基于计算机视觉引导的智能车辆系统,其研究应用场所也由室内逐渐转到户外。日本机械技术研究所在1978年进行了世界上首次基于机器视觉的自主车辆驾驶系统道路实验,速度达30km/h。20世纪80年代末期,日产汽车公司与富士通株式会社联合开发了PVS(personal vehicle system)自动驾驶车辆,它具有主动避开静止障碍物及夜间、雨天等恶劣天气条件下自动驾驶的功能。美国马里兰大学等研制了ALV(autonomous land vehicle)军用无人侦察越野车,美国卡内基梅隆大学(Carnegie Mellon University, CMU)研制了配备包括摄像头、激光和雷达等多种传感器的Navlab自主驾驶车。与此同时,德国慕尼黑联邦国防大学开发了基于视觉信息的VaMoRs自动驾驶车,其行驶速度达90km/h。此外,自20世纪80年代开始,还有许多汽车企业、大学及相关研究所也对智能车辆系统及其相关技术开展了广泛而深入的研究,甚至开发出样车^[4]。

在智能车辆技术的大发展阶段,世界主要发达国家都展开了相关研究。20世纪90年代初期,智能交通系统概念的提出对智能车辆的研究起到了很大的推动作用,相关研究进入更为专业、系统的阶段。美国、日本、德国、法国、意大利等国家都高度重视并投入了大量的人力、物力用于智能车辆的研究,智能车辆技术也取得了突破性进展。

以美国加利福尼亚大学伯克利分校为中心,以AVCSS(Advanced Vehicle Control and Safety Systems)为重点研究项目的车辆自动驾驶系统^[5]是加利福尼亚州ITS项目中以增加道路容量、减小道路堵塞为目的的PATH项目的一部分,

主要包括车辆横向控制和车距保持的车队列纵向行驶控制。美国国防部以军事应用(如危险地段军事侦察等)为目的先后研制了 DEMO I、DEMO II 和 DEMO III 系列军用智能车辆^[6,7]。其中最先进的 DEMO III 智能车辆集成了多种子系统,包括 CCD(charge-coupled device)立体视觉系统、激光深度成像仪、全球定位系统(GPS)、惯性导航系统以及驾驶机器人驱动系统^[7],该车辆可以在各种不利环境(如雨天、路面有污垢等)、各种光照条件(如白天、黑夜和阴影)下实现自主驾驶。日本由于交通问题突出,政府更加重视智能交通系统的发展。20 世纪 90 年代,日本运输省主导的 ASV(先进安全车辆)项目和通产省主导的 SSVS(Super Smart Vehicle System)项目都包含了自动驾驶系统的开发。从 1986 年开始,以欧洲汽车厂家为中心的 Prometheus 项目历时 8 年,其中的自动驾驶系统广泛采用了计算机视觉及雷达技术,研究了智能车辆自主导航和安全辅助驾驶,主要包括微处理器和通信方式等基础研究以及障碍物检测和防撞系统等应用研究。德国慕尼黑联邦国防大学(Universtitat der Bundestwehr Munchen,UBM)智能车辆研究组与德国奔驰(Benz)汽车公司合作,致力于自主导航车辆研究,先后研制成功 VaMoRs 和 VaMoRs-P 两种实验车。法国帕斯卡大学与法国雪铁龙汽车公司合作开发的 Peugeot 智能车辆在不同的路面状况下成功进行多次验证,证明了该车控制系统的有效性,最高车速达 130km/h^[4]。美国斯坦福(Stanford)大学很早就开始研究智能车辆技术,并成立了人工智能实验室。其中 Sebastian Thrun 教授领导的科研团队一直致力于智能车的研究,并于 2005 年设计出了自主研发的智能车——史坦利号(Stanley),该车辆通过摄像头、雷达传感器等识别其他车辆,并根据卫星信息进行车辆导航,实现了车辆的自主驾驶。他们设计的智能车在第二届 Grand Challenge 大赛中夺冠,如图 1-2(a)所示。卡内基梅隆大学与美国通用汽车公司早在 2003 年就开始合作,并在无人驾驶技术方面取得了重大成果,他们自主研发的第一辆无人驾驶车“BOSS”于 2007 年问世,并获得了同年举行的城市挑战赛的冠军,如图 1-2(b)所示。



(a) Stanford Stanley



(b) CMU BOSS

图 1-2 斯坦福大学智能车(Stanley)和卡内基梅隆大学智能车(BOSS)

在智能车辆技术实用化的快速推进阶段,智能车辆技术的研究是以军方无人战争的迫切需求和全球汽车行业巨大的市场潜力为驱动和导向,在军事和民用领域都处于快速发展的高潮阶段。自2002年美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)主持的 DEMO 计划完成以后,美国军方重点支持“未来战斗系统”(Future Combat System, FCS)计划。

2004年和2005年,DARPA组织了两次智能车辆越野挑战赛,在2005年举行的第二次挑战赛上,斯坦福大学的 Stanley 智能车以最短时间自主走完全程获得第一名,卡内基梅隆大学的 Highlander 和 Sandstorm 智能车分列二、三名。这些智能车辆都利用装备的激光雷达和视觉感知系统对前方环境进行分析和决策,自主行驶通过了含有高速公路、沙漠和涵洞等复杂的地形。2007年该赛事的赛场转向了城市复杂环境(2007 Urban Challenge),参赛车辆在一个模拟的城市环境中自主行驶 96km,自主判断交通状况,不断地进行决策控制,遵守交通规则并避开障碍物。卡内基梅隆大学的 BOSS 智能车历时 4 小时 16 分,完成了整个比赛行程,获得了冠军。此外,其他国家和地区也举办过类似的智能车挑战赛。2005年,澳大利亚开展了名为 Smart Demo 的 ITS 领域赛事,用来验证近年来全球在车辆主动安全领域的最新技术进展。2006年欧洲举办了第一届以军方为背景的 ELROB (European Land-Robot Trial)智能车挑战赛,共 20 个参赛队伍参与了比赛,全程穿越 240km 的沙漠。

同时,世界各大汽车厂商和科研机构也在积极推进智能车辆的市场化进展,逐渐把研究重点转向情况复杂的城市环境,展开了实用智能车辆及车辆辅助安全产品的研制。以色列的 Mobileye 公司开展了车辆视觉感知和集成技术的研究并取得了可喜的进展,已开发出实用产品,如基于视觉的车辆事前警告系统(advance warning system, AWS)。瑞典沃尔沃(Volvo)公司研究开发了新一代防撞技术,智能车 S60 城市安全系统(City Safety),该车利用激光传感器来探测行驶前方道路中行人(图 1-3(a))和车辆(图 1-3(b)),最大程度协助驾驶员避免碰撞,减少损失。

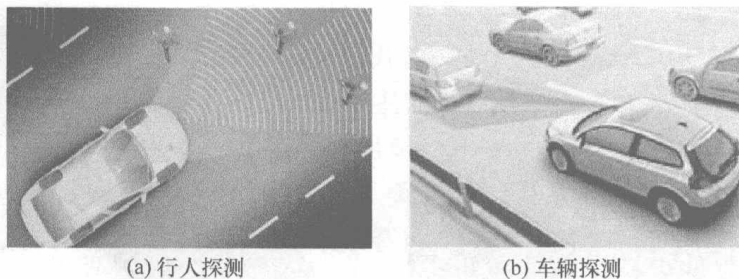


图 1-3 沃尔沃智能车 S60 城市安全系统

2010 年上海世博会期间,意大利帕尔玛大学的无人驾驶电动车由意大利运抵上海,该智能车辆上搭载了最新科研成果,依靠车内高速计算机和传感系统可以让

车辆在各种不同类型的交通、天气和道路状况下安全行驶,其中自主行驶系统所需能源由太阳能提供,如图 1-4(a)所示。Google 公司也于 2010 年推出无人驾驶车 Google Fleet1,并已经在加利福尼亚州的街道上成功实验行驶了超过 225000km,如图 1-4(b)所示。车载设备包括了雷达传感器、高分辨率摄像头等传感器,在车辆周围形成 360°视角,用以及时反映车辆周围的情况。Google 公司希望将来无人驾驶车辆正式面世并普及之后,有助于解决交通挤塞的问题,并减少交通意外。



(a) 帕尔玛大学无人驾驶车



(b) Google公司无人驾驶车

图 1-4 帕尔玛大学无人驾驶车和 Google 公司无人驾驶车

我国也于 20 世纪 80 年代末 90 年代初陆续开始了智能车辆相关技术的研究。在该领域开展相关研究工作的单位主要是一些大学和科研机构,具有代表性的有国防科技大学、清华大学、吉林大学、西安交通大学、重庆大学等。国防科技大学从 80 年代末期率先开始进行车辆的自动驾驶技术研究,并先后研制出基于视觉的 CITAVT 系列智能车辆。其中,CITAVT-IV 智能车于 2000 年 6 月在高速公路进行了全自动无人驾驶实验,测试最高速度达 75.6km/h,创下当时国内最高纪录。清华大学在国防科学技术工业委员会和 863 计划的资助下从 1988 年开始研究开发 THMR 系列智能车系统。该系列中 THMR-V 车体是由一辆七座厢式车改装并安装了方向、油门和刹车自动控制系统,车载传感系统主要用来完成道路模式识别以及远距离道路跟踪,控制体系采用基于模糊控制的局部路径规划及多层次“感知-动作”控制结构。经实验验证,该车具备在高速公路和一般道路上的自主驾驶功能,行驶过程中能够对周围环境进行监控,并且能够躲避障碍物,道路检测和跟踪的可靠性较高。吉林大学智能车辆课题组从 90 年代初开始,在智能车辆的体系结构、道路边界识别、车辆的路径跟踪及车体控制等方面取得了一定成果,部分研究成果已经通过测试并应用在工厂生产线上。重庆大学先后研制开发出 CQAC 系列视觉导航智能车辆。西安交通大学开发了基于 DSP(digital signal process)高速视频处理系统的 Springrobot 智能车,可实时完成道路检测、行人检测、车辆检测等。另外,国内的其他众多高校也在逐步加入智能车辆研究领域中并开发出相关智能车辆雏形,如湖南大学、北京理工大学等。