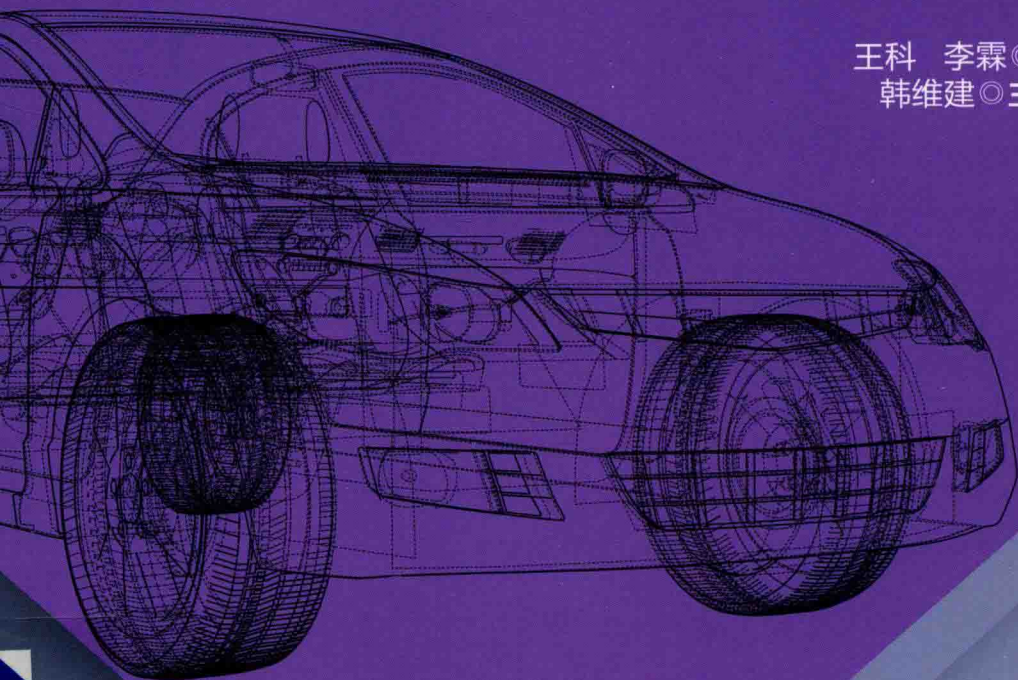


# 智能汽车关键技术与设计方法

王科 李霖◎著  
韩维建◎主编



课外读



机械工业出版社  
China Machine Press

汽车工程专业系列丛书

# 智能汽车关键技术与设计方法

王科 李霖◎著

韩维建◎主编



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

智能汽车关键技术与设计方法 / 王科, 李霖著; 韩维建主编. —北京: 机械工业出版社, 2019.1

(汽车工程专业系列丛书)

ISBN 978-7-111-61345-9

I. 智… II. ①王… ②李… ③韩… III. 智能控制—汽车—设计 IV. U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 252205 号

## 智能汽车关键技术与设计方法

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 袁 银

责任校对: 李秋荣

印 刷: 三河市宏图印务有限公司

版 次: 2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 170mm×242mm 1/16

印 张: 15.25

书 号: ISBN 978-7-111-61345-9

定 价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 68995261 88361066

投稿热线: (010) 88379007

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjg@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

本书获得了国家自然科学基金青年基金项目（51605054）、重庆市人工智能技术创新重大主题专项（cstc 2017 rgzn-zdyf X0039）、国家重点研发计划项目（2016YFB0100900）、上海市工程技术研究中心建设专项（16dz2250100）、重庆市留学人员回国创业创新支持计划项目（cx2017076）等项目的支持，特此感谢！

## 丛书总序

中国的汽车产业发展迅速，已经成为我国国民经济的支柱产业之一。随着家庭平均汽车保有量的迅速增长，汽车给整个社会带来的能源、环境、交通和安全的压力日益加大。尽管汽车在轻量化、电动化、排放控制技术和安全技术方面已经有了长足的进步，尤其是近几年互联网和通信技术在汽车的独立驾驶和智能化方向提供了极大的发展和创新的空间，但诸多的发展给汽车产业带来无限的挑战和机遇。因此，行业的快速变化急需培养一大批不仅懂专业技术，更熟悉跨界知识的创新型人才。

重庆大学汽车协同创新中心认识到人才培养的迫切需求，组织我们为 newly 成立的汽车学院编写一套教材。参与这套教材编写的所有作者都身在汽车行业的科研和技术开发的第一线，其中大部分作者是近年海归的年轻博士。教材的选题经过专家在传统学科和新兴学科中反复地论证和研讨，遴选了汽车行业面临紧迫挑战性的技术和话题。第一批教材有八本，包括《汽车材料及轻量化趋势》《汽车设计的耐久性分析》《汽车动力总成现代技术》《汽车安全的仿真与优化设计》《汽车尾气净化处理技术》《智能汽车关键技术与设计方法》《中国汽车二氧化碳减排路径》和《电动汽车前沿技术及应用》。

这套教材的一个共同特点就是与国际发展同步、内容新颖。编著者对于比较传统的学科，在编写过程中尽可能地把最新的技术和理念包括进去，比如在编写《汽车材料及轻量化趋势》的过程中，不仅介绍了各种轻量化材料的特点和动向，而且强调了轻量化材料的应用必须系统地考虑材料的性能、部件的加工方法和成本。有些选题针对汽车行业发展的新的技术动向，比如《汽车安全的仿真与优化设计》主要介绍汽车安全仿真的模型验证和优化，

这是汽车产品开发采用电子认证的必经之路。《电动汽车前沿技术及应用》阐述了现代电动汽车的基本原理、关键技术,以及锂电池汽车和氢燃料电池汽车在未来发展中的优势和挑战。《智能汽车关键技术与设计方法》对智能汽车的感知、控制、定位和测试验证等关键技术进行了详尽的分析与解释,并运用实验与仿真来论证书中所提出方法的正确性和实际可行性。

这套教材的另一个突出的特点是实用,比如一般汽车设计要求非磨损件的寿命是24万千米。《汽车设计的耐久性分析》着重介绍了汽车行业用于耐久性分析的主要工具和方法,以及这些方法的理论基础。这是进行汽车整车和零部件寿命耐久性正向设计的基础。随着环境保护的法规日益严格,汽车排放控制技术也在不断发展提高。汽车动力技术已经形成化石燃料到其他燃料的多元化发展,《汽车尾气净化处理技术》和《中国汽车二氧化碳减排路径》介绍了排放控制技术的进程和法规实施的协调,以及达到法规要求的不同技术路线。

本套丛书不仅对汽车专业的学生大有裨益,也可以作为汽车从业人员和所有对汽车技术感兴趣者的参考读物。由于时间有限,选题的范围还不全面。每本书的内容也会反映出作者的知识和经验的局限性。在此,真诚地希望广大读者提出意见,供我们不断修改和完善。

韩建建

2016年8月5日

## 推荐序一

随着我国汽车工业的快速发展，先进的汽车设计理论和技术在车身开发中越来越受到重视。同时，汽车发展遇到了环保、能源、交通等各个方面的诸多问题，在这种新形势下，从业者掌握和熟练运用核心设计技术显得尤为重要。

汽车的设计与制造是一个非常复杂的系统工程，需要考虑零件、子系统、系统，乃至整车等各个层面，综合运用材料科学、能源科学、信息科学和制造科学的相关知识、理论和方法。本套“汽车工程专业系列丛书”涵盖了汽车制造系统和质量、汽车动力总成、汽车材料及轻量化、车身耐久性、汽车安全仿真与优化、汽车系统控制及其智能化、汽车尾气排放处理与二氧化碳减排等多个方面的内容，涉及汽车轻量化、安全、环保、电子控制等关键技术。

本套丛书的作者既有在汽车相关领域工作多年、有丰富经验的专家，也有学成回国、已崭露头角的后起之秀；内容安排上既有适合初学者学习的大量基础理论知识，也融入了编著者在相关领域多年来的研究体会和经验，从中我们能充分体会到现代汽车技术节能、环保和智能化的发展趋势。丛书结合大量实例，取材丰富、图文并茂。

本套丛书可作为汽车设计的参考工具，也可作为车辆工程、机械工程、环境工程等专业研究生的专门教材及学习参考书。相信该书对于汽车行业相关领域的研究生、企业研发人员和科研工作者会产生重要的启发作用，特作序推荐。



上海交通大学

## 推荐序二

作为《中国制造 2025》战略部署的主要支点之一，汽车业的持续、快速、健康发展将为中国制造业强国目标奠定坚实的基础。面对中国汽车产业大而不强的现状，自主品牌汽车产业的发展壮大时不我待。重庆自主品牌汽车协同创新中心，立足于重庆地区汽车产业，依托国家“2011 计划”，以我国自主品牌汽车发展重大需求为牵引，以体制机制创新为手段，探索我国汽车自主品牌的发展模式。中心面向国内自主品牌汽车产业，重点开展培养高端人才，汇聚优秀团队，研发核心技术，推广产业应用，整合优势资源，搭建交流平台等工作。重庆自主品牌汽车协同创新中心瞄准“节能环保、安全可靠、智能舒适”的国际汽车三大发展趋势，凝练学科发展方向，汇聚创新资源和汽车及相关领域的优势学科群，建立了全面涵盖汽车行业研究领域的创新团队。本套丛书由汽车中心特别顾问、福特汽车亚太区技术总监韩维建博士积极推动。丛书主编韩维建博士基于数十年国际一流汽车工程经验以及独到全面的行业技术趋势把握，整合及组建了编著团队进行丛书各个书籍的编著。编著团队的成员主要由具有多年国际汽车公司工作经验，并且在高校及企业科研一线工作的归国人员组成。丛书内容拥有立足成熟技术、紧跟国际前沿、把握领域创新的特点及优势，丛书的成功出版将为国内汽车行业及学科提供全面而翔实的参考材料。

书籍是知识传播的介质，也是人才培养及创新意识传承的基础。正如重庆大学建校宣言“人类之文野，国家之理乱，悉以人才为其主要之因”所阐释的，本套丛书秉承重庆自主品牌汽车协同创新中心人才培养方针，

主要面向高校汽车相关学科本科及研究生的教学，同时也可作为汽车行业工程人员参考。相信本套丛书会对我国汽车领域学科及行业产生积极良好的推动作用。



江苏省产业技术研究院

# 前言

随着汽车工业和人工智能技术的发展,智能汽车正向人类走来。这一技术的普及,将从根本上改变人类的生活。在智能汽车时代,出行变得更加安全、便捷、舒适。人机共驾和自动驾驶将改变人类的时空观念,城市布局将重新规划,共享经济大力发展,全职司机由虚拟驾驶人替代。智能汽车技术作为一种划时代的技术,目前已经上升到国家战略层面。智能汽车产业是《中国制造 2025》和《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》的首选产业。在这样的时代背景下,本书将从技术层面,对智能汽车的感知、控制、定位和测试验证等多种关键技术进行详尽的分析与解释,并运用相关的实验与仿真来论证本书中所提方法的正确性和实际可行性。

本书第 1 章回顾了智能汽车的发展历程和现状,并从个人、交通系统和社会等不同层面分析了智能汽车的意义,介绍了智能汽车主要的发展路线和趋势。第 2 章以智能汽车系统构架为对象,阐述了智能汽车的基本构架与构建方法,并分别从硬件构架和软件构架两个角度探讨了智能汽车的基础软硬件模块。第 3 章着重介绍了智能汽车环境感知技术,从道路的理解到车辆的识别,从机器学习再到深度学习,提出了相关的具体解决方法,并通过实验进行了可行性验证。第 4 章从智能汽车控制的角度出发,介绍了智能汽车紧急控制策略,在理论上进行了详尽的分析与论证,提出了相关的控制策略,并通过仿真验证了策略的有效性和可靠性。第 5 章针对智能汽车的导航定位技术,从高精地图、DR 到视觉里程计,重点介绍了基于 DR 与地图匹配相结合的导航定位方法。第 6 章介绍了智能汽车的

测试方法，分析了现行技术条件下国内外智能汽车测试方法，展示了当前全球最先进的汽车测试基础设施与条件。最后，第7章讨论了智能汽车发展所面临的挑战和未来的发展趋势。

本书由王科和李霖合作完成，作者尽最大努力将对智能汽车的理解和经验融入书中。感谢张鉴、黄鑫对资料整理、文字翻译及校对方面做出的协助。本书作为参考书籍，主要面向高校相关专业的学生和从事智能汽车相关行业的工程师。由于时间仓促和作者的阅历局限，本书的疏漏和不妥之处在所难免，欢迎读者提出批评和修改意见。

王科

# 目 录

丛书总序

推荐序一

推荐序二

前言

## 第1章 绪论 ..... 1

1.1 智能汽车的发展和现状 ..... 1

1.2 智能汽车的意义 ..... 6

1.2.1 智能汽车对个人的意义 ..... 6

1.2.2 智能汽车对交通系统的意义 ..... 7

1.2.3 智能汽车对社会的意义 ..... 7

1.3 智能汽车的分级 ..... 8

1.4 智能汽车的关键技术 ..... 10

1.5 智能汽车的技术路线 ..... 10

1.6 智能汽车时代的来临 ..... 12

参考文献 ..... 12

## 第2章 智能汽车的系统构架与主要构成 ..... 14

2.1 智能汽车的系统构架 ..... 14

2.1.1 分层递阶式系统构架 ..... 14

2.1.2 反应式系统构架 ..... 15

2.1.3 混合式系统构架 ..... 16

2.2 智能汽车的硬件系统构架 ..... 17

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 2.2.1 智能汽车计算平台 .....     | 18 |
| 2.2.2 智能汽车常用传感器 .....    | 20 |
| 2.3 智能汽车的软件系统构架 .....    | 26 |
| 2.3.1 主机操作系统 .....       | 26 |
| 2.3.2 中间层运行框架 .....      | 27 |
| 2.3.3 应用层 .....          | 27 |
| 2.4 智能汽车的通信系统 .....      | 29 |
| 2.4.1 智能汽车车内通信 .....     | 29 |
| 2.4.2 智能汽车与 V2X 技术 ..... | 31 |
| 参考文献 .....               | 34 |

### 第3章 智能汽车环境感知技术 .....

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 3.1 相机模型与李群和李代数基础 .....      | 37 |
| 3.1.1 相机坐标系的定义 .....         | 37 |
| 3.1.2 欧式空间坐标转换 .....         | 38 |
| 3.1.3 李群和李代数基础 .....         | 40 |
| 3.2 KITTI 数据集介绍 .....        | 44 |
| 3.2.1 KITTI 数据集采集平台 .....    | 44 |
| 3.2.2 KITTI 数据集的类型 .....     | 45 |
| 3.2.3 KITTI 数据集的格式介绍 .....   | 48 |
| 3.3 基于多特征融合的道路理解方法 .....     | 48 |
| 3.3.1 道路环境理解算法架构 .....       | 49 |
| 3.3.2 基于特征融合的道路区域分割 .....    | 50 |
| 3.3.3 道路建模与随动方向滤波器 .....     | 52 |
| 3.3.4 基于置信度函数的道路标线识别 .....   | 54 |
| 3.3.5 基于粒子对滤波的道路线跟踪 .....    | 56 |
| 3.3.6 试验结果与分析 .....          | 58 |
| 3.4 基于机器学习和粒子滤波的前方车辆识别 ..... | 60 |
| 3.4.1 前方车辆识别问题与方法 .....      | 61 |
| 3.4.2 路面区域提取方法 .....         | 63 |
| 3.4.3 基于机器学习的车辆分层级联识别 .....  | 66 |

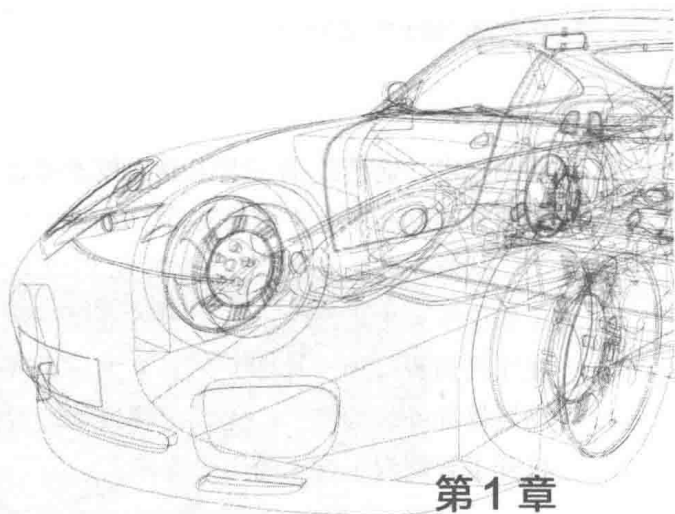
|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 3.4.4      | 基于粒子滤波的多目标跟踪 .....      | 72         |
| 3.4.5      | 试验结果与分析 .....           | 77         |
| 3.4.6      | 本节小结 .....              | 81         |
| 3.5        | 基于深度学习的环境感知方法 .....     | 81         |
| 3.5.1      | 神经网络 .....              | 81         |
| 3.5.2      | 卷积神经网络 .....            | 85         |
| 3.5.3      | CNN 在智能汽车环境感知中的应用 ..... | 88         |
| 3.6        | 基于激光雷达的感知技术 .....       | 93         |
| 3.6.1      | 激光雷达基础 .....            | 94         |
| 3.6.2      | LiDAR 的外参数标定 .....      | 96         |
| 3.6.3      | 障碍物检测 .....             | 97         |
|            | 参考文献 .....              | 98         |
| <b>第4章</b> | <b>智能汽车紧急控制策略 .....</b> | <b>101</b> |
| 4.1        | 转向避撞效能及可行性分析 .....      | 102        |
| 4.1.1      | 避撞所需最短纵向距离 .....        | 102        |
| 4.1.2      | 不同避撞方式的安全收益 .....       | 106        |
| 4.1.3      | 不同避撞方式对环境感知能力的要求 .....  | 109        |
| 4.1.4      | 不同避撞方式对执行器的要求 .....     | 110        |
| 4.2        | 临界距离分析 .....            | 113        |
| 4.2.1      | 制动避撞所需的最短纵向距离 .....     | 113        |
| 4.2.2      | 转向避撞所需的最短纵向距离 .....     | 115        |
| 4.3        | 自动紧急控制 .....            | 127        |
| 4.3.1      | 驾驶员触发型紧急转向辅助控制 .....    | 129        |
| 4.3.2      | 矫正型紧急转向辅助控制 .....       | 142        |
| 4.3.3      | AEB 算法的优化 .....         | 148        |
| 4.3.4      | 制动和转向避撞控制集成 .....       | 150        |
| 4.4        | 制动转向协调避撞控制 .....        | 152        |
| 4.4.1      | 车辆模型 .....              | 153        |
| 4.4.2      | 环境模型 .....              | 156        |
| 4.4.3      | 驾驶员模型 .....             | 158        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 4.4.4 制动转向协调避撞控制 .....            | 159        |
| 4.5 本章小结 .....                    | 161        |
| 参考文献 .....                        | 162        |
| <b>第5章 智能汽车的导航定位技术 .....</b>      | <b>164</b> |
| 5.1 基于高精地图的匹配定位技术 .....           | 164        |
| 5.1.1 高精地图 VS 传统电子导航地图 .....      | 165        |
| 5.1.2 高精地图的绘制与测评 .....            | 166        |
| 5.1.3 基于高精地图三维点云的车辆匹配定位方法 .....   | 167        |
| 5.1.4 高精地图的未来发展与挑战 .....          | 169        |
| 5.2 基于DR和MM组合的车辆定位方法 .....        | 169        |
| 5.2.1 航位推算技术 .....                | 170        |
| 5.2.2 地图匹配技术 .....                | 171        |
| 5.2.3 基于卡尔曼滤波器的DR和MM定位信息的融合 ..... | 175        |
| 5.2.4 本节小结 .....                  | 178        |
| 5.3 视觉里程计 .....                   | 178        |
| 5.3.1 视觉里程计概述 .....               | 179        |
| 5.3.2 对极几何 .....                  | 180        |
| 5.3.3 PnP算法原理简介 .....             | 181        |
| 5.3.4 直接法 .....                   | 181        |
| 5.3.5 本节小结 .....                  | 182        |
| 参考文献 .....                        | 183        |
| <b>第6章 智能汽车试验验证技术 .....</b>       | <b>185</b> |
| 6.1 智能汽车试验验证面临的挑战 .....           | 186        |
| 6.2 智能汽车试验验证技术的介绍 .....           | 188        |
| 6.2.1 智能汽车测试验证机理 .....            | 188        |
| 6.2.2 ADAS测试评价方法 .....            | 189        |
| 6.2.3 高等级自动驾驶车辆测试评价方法 .....       | 201        |
| 6.3 智能网联汽车综合试验场 .....             | 204        |
| 6.3.1 国外智能网联汽车综合试验场 .....         | 205        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 6.3.2 国内智能网联汽车专用试验场 ..... | 213 |
| 参考文献 .....                | 216 |

## 第7章 智能汽车的挑战与未来 ..... 219

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 7.1 智能汽车面临的挑战 .....            | 219 |
| 7.1.1 法律上的挑战 .....             | 220 |
| 7.1.2 责任判定上的挑战 .....           | 220 |
| 7.1.3 个人隐私权的挑战 .....           | 220 |
| 7.1.4 成本提高带来的挑战 .....          | 221 |
| 7.1.5 汽车厂商和互联网厂商合作上的挑战 .....   | 222 |
| 7.1.6 汽车安全的挑战 .....            | 222 |
| 7.2 自动驾驶给人类带来的变化 .....         | 223 |
| 7.2.1 市场份额变化 .....             | 223 |
| 7.2.2 商业模式的颠覆 .....            | 223 |
| 7.2.3 人们思想的改变 .....            | 224 |
| 7.3 智能汽车发展策略 .....             | 224 |
| 7.3.1 信息系统 .....               | 224 |
| 7.3.2 识别系统 .....               | 225 |
| 7.3.3 控制系统 .....               | 226 |
| 7.4 可预见的未来 .....               | 226 |
| 7.4.1 关键的节点：2020 年 .....       | 226 |
| 7.4.2 混合时代：2020 ~ 2050 年 ..... | 227 |
| 7.4.3 真正的自动驾驶时代：2050 年以后 ..... | 227 |
| 参考文献 .....                     | 227 |



## 第1章

# 绪论

随着人工智能、互联网技术的发展,智能汽车正在逐渐向人类走来。由于智能汽车具有智能化、网联化、节能环保、安全便捷等特点,对它的研究已经在汽车产业中掀起了一阵热潮,它也将是未来汽车发展的必然方向。它的出现、普及将彻底颠覆人们的出行方式,重新定义汽车的属性,将人们从驾驶中解放出来,并自动安全地将乘客送往目的地。现今各大企业都开始投身智能汽车产业,相互竞争合作,制订相关的战略规划,研制、测试自家的智能汽车。目前,智能汽车产业正呈现出百家争奇、蓬勃向上的发展态势,同时这也是一场没有硝烟的战争,任何企业在技术上迟滞落后都可能被行业淘汰。

### 1.1 智能汽车的发展和现状

智能汽车是一种通过车载传感系统来感知车辆的状态和道路环境,自动规划行车路线并自主控制行驶到达目的地的车辆,是一种智能的移动终端。它综合应用了计算机技术、

