



汽车先进技术译丛
智能网联汽车系列

主动驾驶鲁棒控制 系统设计

Robust Control Design for Active Driver Assistance Systems

[匈] 彼得·加斯帕尔 (Péter Gáspár)
佐尔坦·撒扎博 (Zoltán Szabó) 著
约瑟夫·波克 (József Bokor)
巴尔兹斯·尼梅什 (Balázs Németh)
吴量 马芳武 等 译



汽车先进技术译丛·智能网联汽车系列

主动驾驶鲁棒 控制系统设计

[匈] 彼得·加斯帕尔 (Péter Gáspár) 佐尔坦·撒扎博 (Zoltán Szabó) 著
约瑟夫·波克 (József Bokor) 巴尔兹斯·尼梅什 (Balázs Németh)
吴量 马芳武 等译



机械工业出版社

Translation from the English language edition:
Robust Control Design for Active Driver Assistance Systems
A Linear - Parameter - Varying Approach
by Peter Gaspar, Zoltan Szabo, Jozsef Bokor and Balazs Nemeth
Copyright © Springer International Publishing Switzerland 2017
This Springer imprint is published by Springer Nature
The registered company is Springer International Publishing AG

All Rights Reserved
版权所有，侵权必究。

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体版由 Springer 授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01 - 2018 - 2432。

图书在版编目(CIP)数据

主动驾驶鲁棒控制系统设计/(匈)彼得·加斯帕尔(Péter Gáspár)等著;
吴量等译. —北京:机械工业出版社, 2019. 3

(汽车先进技术译丛·智能网联汽车系列)

书名原文: Robust Control Design for Active Driver Assistance Systems
ISBN 978-7-111-61852-2

I. ①主… II. ①彼… ②吴… III. ①汽车-鲁棒控制-控制系统设计
IV. ①U463. 602

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 012422 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 孙 鹏 责任编辑: 孙 鹏

责任校对: 张 薇 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 孙 炜

北京联兴盛业印刷股份有限公司印刷

2019 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 15.75 印张 · 4 插页 · 307 千字

0 001—2 500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-61852-2

定价: 130.00 元

电话服务

客服电话: 010 - 88361066

010 - 88379833

010 - 68326294

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金 书 网: www.golden-book.com

封底无防伪标均为盗版

机工教育服务网: www.cmpedu.com

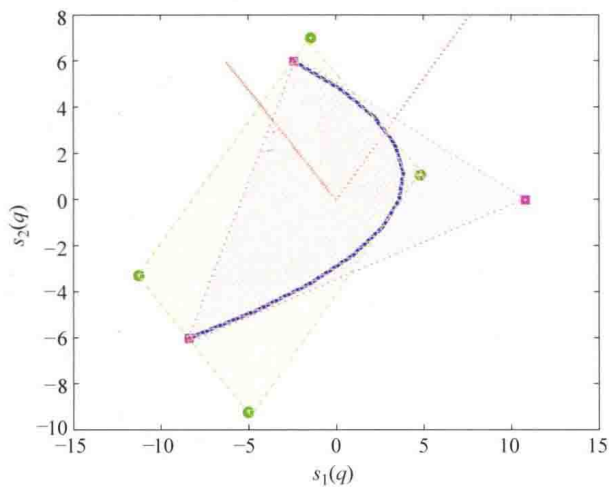


图 2.2 不同的凸近似

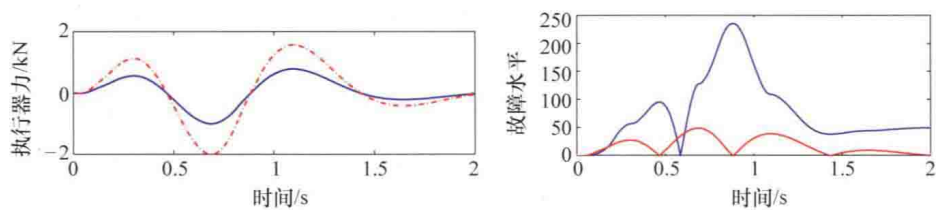


图 2.22 FDI 过程结果

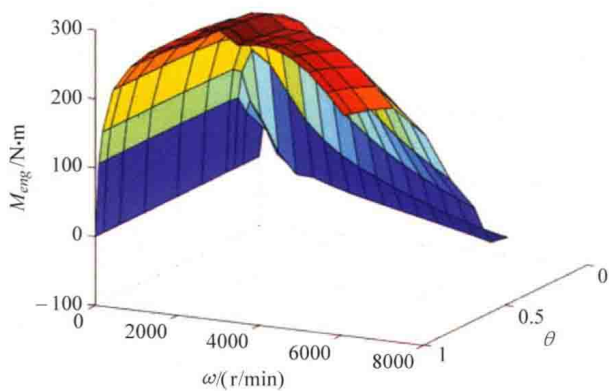
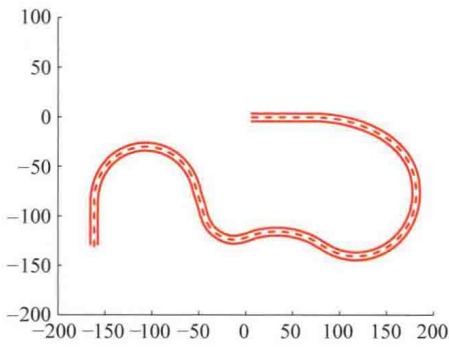
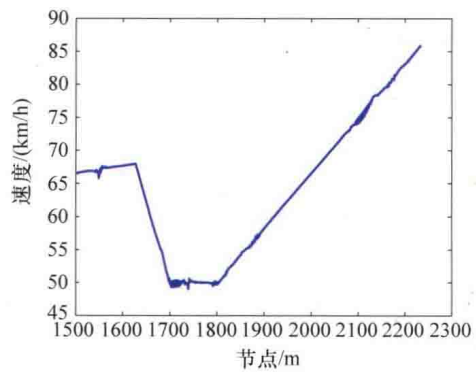


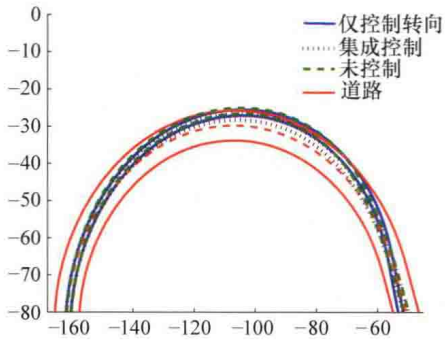
图 6.5 典型发动机特性



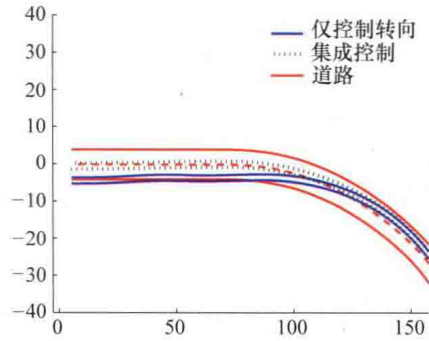
a) 道路路线



b) 车速

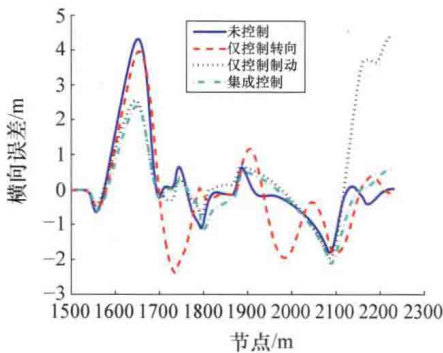


c) 临界弯道 1

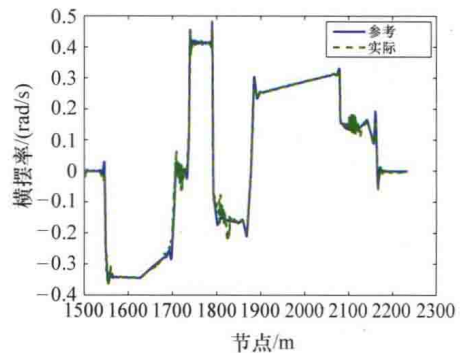


d) 临界弯道 2

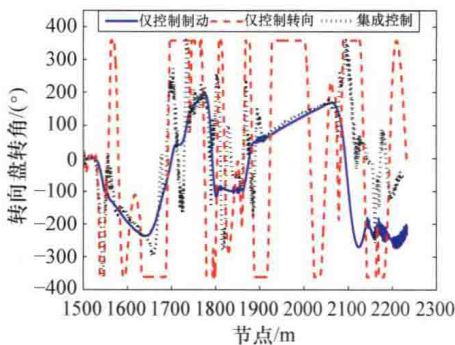
图 7.13 车辆的轨迹



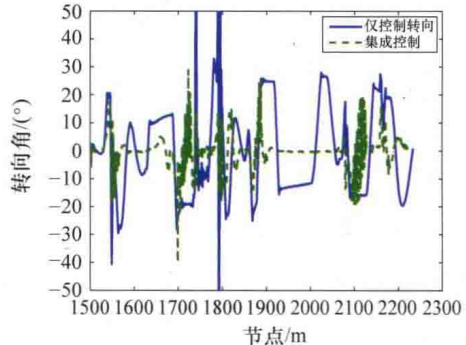
a) 横向误差



b) 车辆横摆率



c) 转向盘转角



d) 前轮转向角

图 7.14 监督控制系统的运行结果

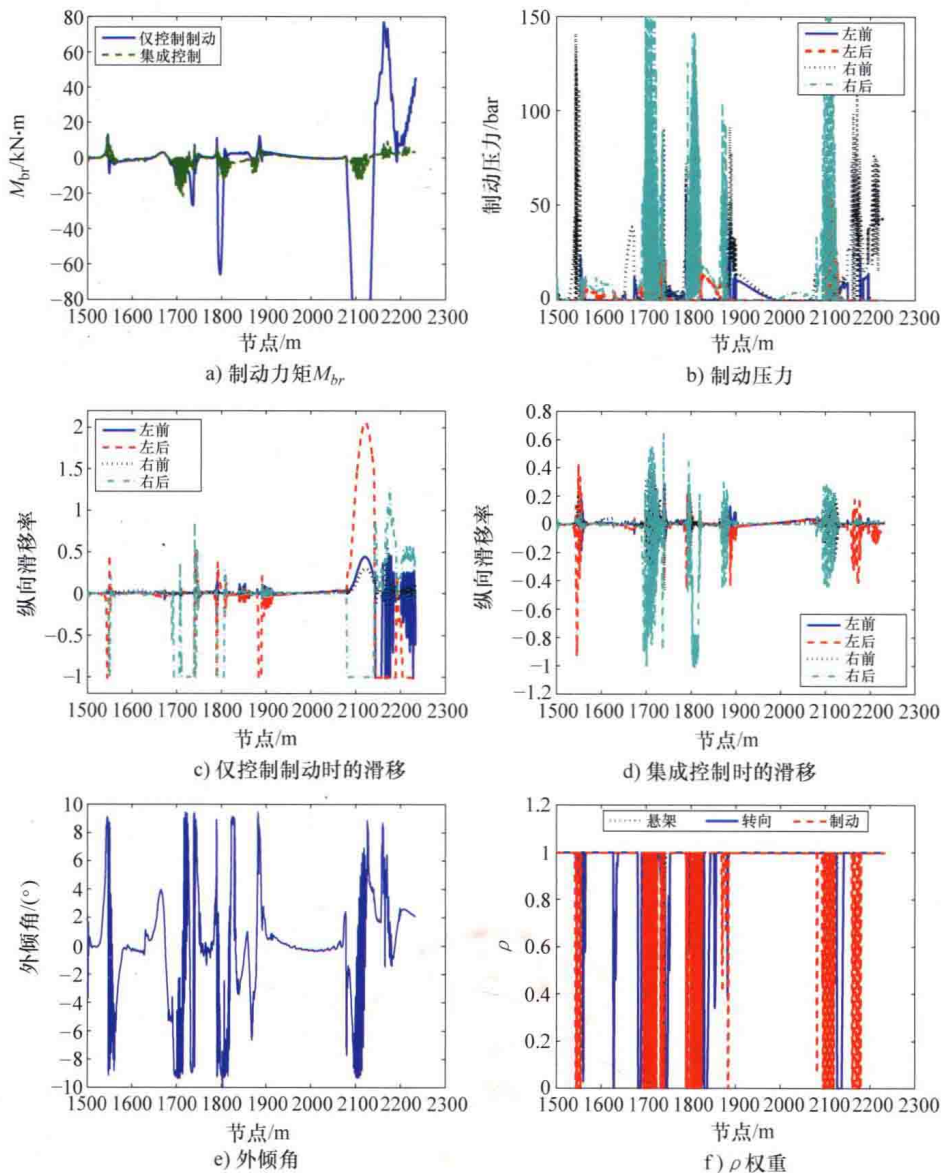


图 7.15 监督控制系统的运行结果 (连续)

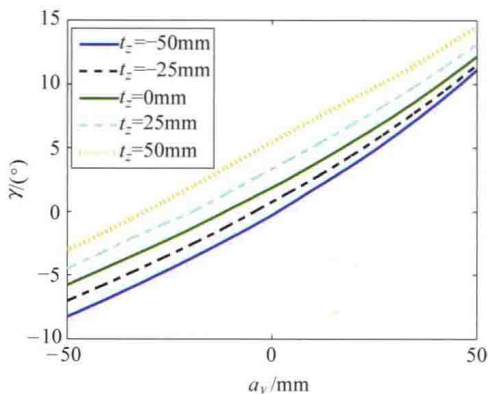
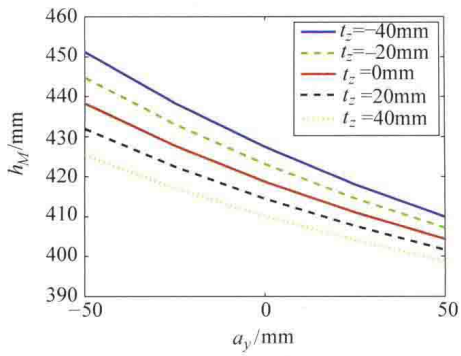
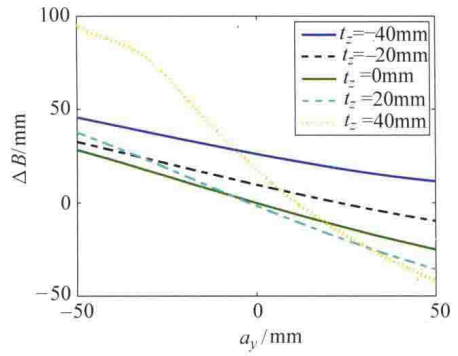


图 8.3 $a_y - \gamma$ 特征图

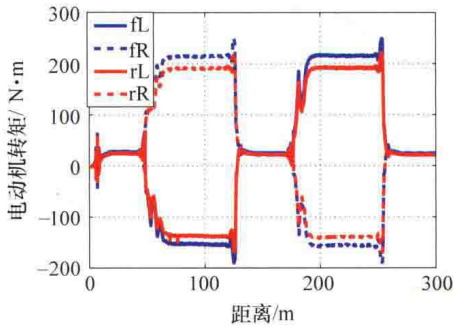


a) 侧倾中心高度

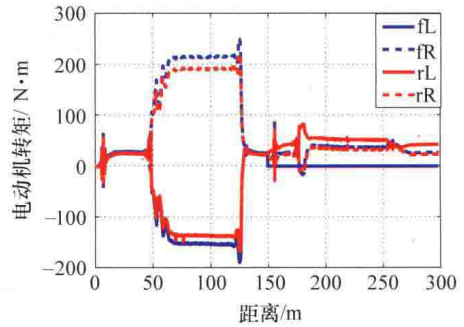


b) 半轨迹变化

图 8.4 可变几何悬架系统的特性图

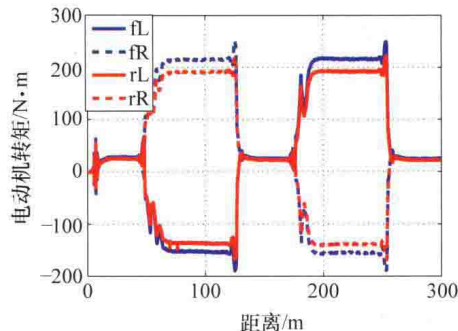


a) 无故障

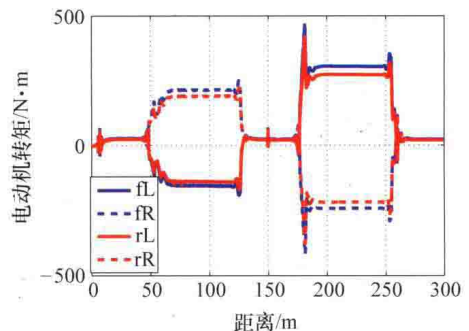


b) 电动机有故障

图 9.6 轮毂电动机转矩



a) 无故障



b) 转向故障

图 9.9 轮毂电动机转矩

本书重点介绍了几种影响车辆动力学特性的控制方法,这些控制方法能够辅助驾驶人提高驾乘舒适性、附着力、经济性以及安全性等,并始终保证驾驶人的可操纵权限大于驾驶辅助系统。基于线性变参数框架,单一组件的控制问题通过运用统一的建模与设计方法实现模型搭建与求解。理想的整车操纵行为是以保证整车协同控制性能为前提,通过多个单独的控制组件间的相互作用来实现。同时,整车协同控制问题也是在线性变参数框架下建立并求解的。本书所阐述的最重要部分包括:建模与控制器设计中线性变参数模型的应用,鲁棒线性变参数设计的应用,主动驾驶辅助系统中布置控制任务的统一框架,整车协同控制问题的建立与解决方案,可重构与容错控制结构体系设计的方案,即插即用概念的建立与解决方案,详细的案例分析。

本书适合高校科研人员、控制工程与车辆控制专业研究生以及汽车制造业工程师阅读。

译者序

车辆面向智能化发展势不可挡，主动辅助驾驶技术是车辆智能化的重要环节，也是车辆实现无人化的必经之路。随着计算机与电子技术等相关领域的快速发展，处理器、传感器以及电动执行机构的小型化给车辆智能化的发展提供了良好的基础。随之而来的是对控制系统设计带来了更高的要求。各电控设备间控制方面的协同配合以及控制系统与驾驶人的默契程度决定着车辆的行驶品质与操纵性能。

由 Péter Gáspár、Zoltán Szabó、József Bokor 与 Balázs Németh 编写的《Robust Control Design for Active Driver Assistance Systems – A Linear – Parameter – Varying Approach》一书对主动驾驶辅助系统（ADAS）的控制系统设计问题进行了介绍。本书以智能化电控底盘系统的构成为框架非常详尽地说明了各系统鲁棒控制设计方法，并对如何运用线性变参数方法解决实际问题进行了详细解读及案例研究诠释。

译者翻译此书旨在介绍和推进车辆系统控制工程的技术转移，为读者进一步理解该领域的发展趋势提供理论框架，并且为研究人员提供一个全面了解智能车辆底盘系统控制的新平台。这将有利于推进新研究成果的广泛及快速传播。本书在翻译编排上由浅入深、循序渐进，力求通俗易懂，是一本理论联系实际的实用型工具书，适用于高校科研人员、控制工程与车辆控制方向以及汽车研发与制造业技术人员使用。

全书翻译与整理校对工作是在吉林大学汽车仿真与控制国家重点实验室的共同努力下完成的。本团队致力于模块化车辆智能底盘集成控制系统、无人化特种全地形地面搭载平台以及主动稳定隔振系统的研发工作，旨在研发面向未来无人化时代的多功能全地形车系列平台，也正是该目标推动我们完成了此书的翻译工作。吴量博士担任全书的总翻译与统稿工作，余烁、杨昱、李金杭、杨龙帆等参与了附录部分与个别章节的初译；张鹏参与了书中部分公式的编译工作；尹红彬、葛林鹤、倪利伟、聂家弘、于海峰、王佳伟、韩丽、沈昱成、魏路路、左世奇、贾微微参与了个别章节的校对；北京大学的董芷卉参与了整书的终稿校对，在此对以上所有成员的辛苦付出一并表示衷心的感谢。

特别鸣谢机械工业出版社在本书的翻译与出版过程中给予的大力帮助。



FISITA 技术委员会主席
SAE Fellow

2019年6月1日

缩写词

- DOF Degrees of Freedom 自由度
- FC Full Control 完全控制
- FD Finite Dimension 有限维度
- FDI Fault Detection and Isolation 故障检测与隔离
- H_∞ H - infinity H 无穷
- H_∞/μ H - infinity with μ 包含 μ 的 H 无穷
- HIL Hardware in - the - Loop 硬件在环
- HJE Hamilton - Jacobi Equations 汉密尔顿 - 雅可比方程
- HJI Hamilton - Jacobi Inequalities 汉密尔顿 - 雅可比不等式
- LFT Linear Fractional Transformation 线性分数变换
- LMI Linear Matrix Inequality 线性矩阵不等式
- LPV Linear Parameter Varying 线性参数变化
- LS Least Squares 最小二乘法
- LTI Linear Time Invariant 线性时不变
- LTV Linear Time Varying 线性时变
- MIMO Multi - Input Multi - Output 多输入 - 多输出
- NLTI Nonlinear Time Invariant 非线性时不变
- OE Output Estimation 输出估计
- OF Output Feedback 输出反馈
- PDLF Parameter - Dependent Lyapunov Functions 参数依赖李雅普诺夫函数
- qLPV Quasi LPV 准线性参数变化
- RS Robust Stability 鲁棒稳定性
- RLS Recursive LS 递归最小二乘法
- RP Robust Performance 鲁棒性能
- SF State Feedback 状态反馈
- SIL Software in - the - Loop 软件在环
- SISO Single - Input Single - Output 单输入 - 单输出
- SLF Single Lyapunov Functions 单李雅普诺夫函数
- SSR State Space Representation 状态空间表达

目 录

译者序	
缩写词	
第1章 介绍	1
第1部分 线性变参数系统的建模与控制	
第2章 线性变参数系统的建模	8
2.1 线性变参数模型的结构	9
2.2 线性变参数系统建模的线性化	11
2.2.1 雅可比矩阵线性化	12
2.2.2 非均衡线性化	13
2.2.3 模糊线性化	14
2.2.4 准线性变参数系统的线性化	14
2.2.5 线性变参数模型的非唯一性	16
2.3 基于线性分式变换技术的线性化	19
2.4 性能驱动线性变参数系统建模	21
2.5 两个子系统的线性变参数系统建模	25
2.5.1 垂向动力学建模	25
2.5.2 垂向动力学中的非线性部分	28
2.5.3 横摆-侧倾动力学线性变参数建模	33
2.6 灰箱辨识与参数估计	37
2.6.1 基于观测器的辨识	38
2.6.2 基于自适应观测器的辨识方法	39
2.7 参数估计: 案例分析	40
2.7.1 悬架系统的辨识	40
2.7.2 横摆-侧倾系统的辨识	45
2.7.3 线性变参数系统中的故障估计	54
第3章 线性变参数系统的鲁棒控制	59
3.1 性能建模	59
3.2 不确定性部分的建模	62
3.3 基于线性变参数模型的控制系统设计	63
3.3.1 非线性控制器的方程	64
3.3.2 基于单李雅普诺夫函数方法的控制器设计	64
3.3.3 多面体方法	65
3.3.4 一种基于线性分式变换的控制器设计	67
3.4 基于参数依赖李雅普诺夫函数方法的控制器设计	70
3.4.1 线性变参数系统的分析	70
3.4.2 考虑 L_2 诱导范数性能的非线性变参数系统控制	72
3.4.3 不精确的线性变参数系统控制设计	76
第2部分 垂向与纵向控制	
第4章 垂向动力学中的悬架系统	80
4.1 基于垂向性能的系统建模	81

4.1.1	性能指标	81
4.1.2	控制系统设计中的加权函数	82
4.2	考虑不确定性影响的垂向动力学建模	84
4.2.1	参数不确定性	84
4.2.2	加权函数	86
4.3	基于 H_{∞} 控制的主动悬架设计	87
4.4	基于线性变参数控制的主动悬架设计	92
4.5	主动悬架系统的分层控制设计	95
4.5.1	执行器的动力学建模	96
4.5.2	基于反步法设计的跟踪控制	98
4.5.3	模拟仿真结果	100
第5章 具有侧翻抑制功能的防倾杆		
5.1	横摆与侧倾动力学特性的建模	105
5.1.1	侧翻阈值	105
5.1.2	加权函数的设计	107
5.2	侧翻抑制系统的线性变参数控制方法	110
5.3	具有容错能力的侧翻抑制系统的设计	112
第6章 纵向动力学中的自适应巡航控制		
6.1	自适应巡航控制	117
6.2	基于模型的鲁棒控制设计	119
6.2.1	纵向动力学建模	119
6.2.2	鲁棒控制策略	120
6.2.3	执行器动力学建模	120
6.2.4	反馈控制器的设计	121
6.3	基于多目标优化的速度设计	123

6.3.1	速度设计的动机	123
6.3.2	速度曲线的设计	124
6.3.3	前瞻控制的最优化原理	125
6.4	车辆巡航控制的优化方法	126
6.4.1	速度设计中前车的操纵性	127
6.4.2	速度设计中跟随车辆的动态表现	128
6.4.3	车道变换的决策方法	130
6.5	驾驶/制动系统中控制方法的实现	131
6.5.1	控制器软件在环的实现	132
6.5.2	模拟仿真结果	133

第3部分 横向及集成控制

第7章 车辆集成控制系统的设计		138
7.1	车辆集成控制的动机	138
7.2	集成控制中的线性变参数概念	141
7.3	局部和可重构控制系统的设计	142
7.3.1	制动系统的设计	144
7.3.2	转向系统的设计	145
7.3.3	悬架系统的设计	146
7.3.4	执行器选型的步骤	147
7.3.5	分散控制中的故障信息	150
7.4	轨迹跟踪控制系统的设计	151
7.4.1	轨迹跟踪系统的建模	151
7.4.2	控制设计中的加权函数	152
7.4.3	集成控制系统的设计	154
7.4.4	模拟仿真结果	155

第8章 可变几何悬架系统控制		159
8.1	车辆模型的横向动力学	159

8.2 可变几何悬架系统的建模	161	策略	186
8.3 可变几何悬架的鲁棒控制 系统	163	10.5 驾驶人辅助系统的综合控制 系统设计	187
第9章 轮毂电动机的 控制设计	168	10.5.1 模拟结果	188
9.1 装有轮毂电动机的车辆控制 系统设计	168	10.5.2 驾驶人模型的模拟仿真 环境	190
9.2 线性变参数控制器的上层控制 系统设计	170	附录	194
9.3 控制策略的执行	172	附录 A 线性变参数系统模型	194
9.4 模拟结果	173	A.1 可控性, 可观测性, 可稳定性	194
9.4.1 轮毂电动机故障模拟	175	A.2 变参数的不变空间	202
9.4.2 转向系统故障模拟	175	A.3 可辨识性	207
第10章 控制系统中的驾驶人 模型	180	A.4 采样时间的作用	208
10.1 以控制设计为目的的驾驶人 模型	182	A.5 线性变参数系统的自适应 观测器	211
10.2 横向动力学的控制导向 模型	183	A.6 几何法设计 qLPV FDI	214
10.3 驾驶人与车辆系统的互联	183	附录 B LPV 系统的鲁棒性 控制	217
10.4 驾驶人辅助系统的性能 指标	185	B.1 结构不确定性	217
10.4.1 性能方程	185	B.2 基于非线性 \mathcal{H}_∞ 方法的控制 系统设计	220
10.4.2 系统性能的权重分配		B.3 基于 LFT 的 qLPV 控制器 设计	225
		参考文献	231

第1章 介绍

驾驶辅助系统

驾驶辅助系统能够帮助驾驶人提高乘客舒适度、操纵性、交通运输的效率以及安全性等。同时，由于驾驶人的操作意图是可以超越辅助系统的，所以驾驶人仍然对车辆操控负有责任。因此，一些研究机构和汽车供应商提出对车辆控制方法的一些新需求，包括考虑驾驶人、车辆与道路等多方面因素的影响。

这本书的重点集中于影响车辆动态表现的主动驾驶辅助系统。在车的独立可控部件的层面上，控制问题通过线性变参数（LPV）框架所提供的统一建模与设计方法得到了解决。在整合控制机制的框架下，各独立单元间良好的协作实现了系统所期望的整体行为。同样，整合控制问题也可运用线性变参数构架来解决。

这本书的主要贡献包括：

- 线性变参数方法在建模与控制系统设计方法中的应用。
- 鲁棒线性变参数设计的应用，如设置主动驾驶辅助控制任务的统一的框架结构。
- 整车控制问题的规划与解决方案。
- 可重构与容错控制架构的设计方案。

设计工具

机械系统依照建模与控制的需求，形成了线性系统与非线性系统两个重要的门类，并广泛应用于科学研究与工业生产中。描述一种机械系统的运动有三种方式，分别是牛顿力学、拉格朗日力学与哈密顿力学。由于牛顿力学方法是一种直观的以及非系统的方法，故通常用在简单的机械系统中。拉格朗日力学与哈密顿力学多被用在复杂的多体机械系统中。机械系统在自然界多表现为非线性的。由于输出负反馈非线性控制问题多表示为高阶非线性偏微分方程，并存在大量的理论与实际上的问题，所以在实际应用中对其进行解算非常困难。

在现代控制系统设计中，非线性模型通常可通过准线性变参数（qLPV）描述方法近似为线性模型。这种方法是通过适当地定义调度变量，将系统中非线性

部分忽略，从而把原始系统进行改写。在对一个系统合理地分析与设计中，至关重要的是能够在给定条件下准确地提取系统的本质。而准线性变参数模型的优势体现在：完善的线性系统理论在整个工作区间中都能被用来分析与设计非线性控制系统。

建模的目的是用来设计控制器，因此系统模型必须包含相应的性能指标与模型的不确定性因素。性能参量表现了控制系统的量化行为，而控制系统的设计目的在于使系统输出维系在理想值。在控制系统中，大量已知的、能明确代表系统性能的指标须被归纳，如乘员舒适性、车辆行驶性能、悬架动挠度、轮胎负载变化、能量消耗。设计控制系统的目的是用来保证性能指标，然而一种性能的提高可能同时导致系统另一性能的下降。比如说，提高乘员舒适性与车辆行驶性能是相矛盾的，然而不同性能间的冲突必须通过某种性能上的平衡与妥协来解决。

模型的不确定性是由系统本身可忽略的部分、未知部分，以及一些不易探查的参数所导致的。系统的不确定性可通过未建模动态与参数不确定性两种因素共同表达。在车辆建模中，随着系统的正常运转，一些未知参数总是在不断发生变化的，如短期内车辆质量的变化以及长时间运行中车辆产生的自然磨损。对正常值附近不确定区间的评估，在控制系统设计中显得非常重要。如果选择不确定区间过大，系统控制灵敏度将有所下降。所以说，控制系统的设计要确保即使在极限条件下，系统性能仍然能够得到保证。必须合理地评估模型与实物间的差异，才能减少未建模动态。如果机械部件中的不确定因素是已知的，那么未建模动态的不确定性就能够减少。

通过在性能参量中引入加权函数以满足多个性能指标，并同时保证各性能间的平衡。系统不确定性是由未建模动态与参数不确定性两种因素共同决定的。鉴于这一结论，我们使用线性分式变换（LFT）互联结构来解决这些问题。

在基于模型的控制系统中，用物理系统的模型来决定控制器的设计，这样就能满足闭环系统的性能指标。然而，控制系统模型只是近似地表达了真实物理系统动态特征。另外，在系统运行中，始终存在一些干扰和测量误差，以不可预知的方式对系统产生一定影响。鲁棒控制方法的目的是设计一种考虑模型不确定性与干扰因素，并同时满足系统闭环特征的控制器的。

针对线性或可线性化的系统模型，一些控制设计方法已经提出。在实践中，控制设计问题经常要根据实践阶段的需求对控制方法进行适当的选择。已广泛应用的鲁棒控制设计方法适用于 H_∞ 与 H_∞/μ 的框架结构。

显然，传统的自适应算法与 qLPV 设计原理存在大量的相似之处。实时评估出的系统参数、在自适应算法中被用来调整真实控制器的参数以及在 qLPV 环境下的调度变量起同样的作用。从后者的角度来看，其不同之处在于调度变量的获得方法，如在自适应例子中，调度变量的值不是直接通过测量得到，而是需要基

于现有的数据,通过特定的估计过程后才能获得。这一观察结果引导我们采用一个统一的视角,使两种控制器设计策略都能够用到 qLPV 设计框架结构,即运用不能被直接测量但能估计得到的参数,将调度变量进行扩展。

本书所提及的一般 qLPV 框架(如使用动态输出反馈的鲁棒自适应控制方案)的优点之一是:不仅将模型不确定性引入了 LPV 设计方法中,而且也使考虑系统未知参数变化率成为可能。这为回答关于该框架是否局限于慢时变系统这一长期悬而未决的问题提供了框架。

将 LPV 控制综合问题转化成基于参数相关的线性矩阵不等式(LMI)最优化问题,即一种可行的、高效的凸优化问题。只要可以实时获取参数值,那么这个控制结构就是可行的。由此产生的控制器是时变的,并且按照调度变量的值进行平滑的调整。因此,基于 LMI 的 qLPV 模型作为主要设计工具,是实现鲁棒性和非保守性控制结果的最有效方法。虽然 qLPV 问题的 LMI 约束集合是凸的,但它通常不容易处理,因为它表现出了无穷多个条件。克服此困难的一种方法是使可行集合接近于真实集合。通过选择适当的内/外近似值,可推出特定性能(如稳定裕度)的下限/上限。

控制系统的基本设置可随现有问题与实际需要不断调整。这些来自于可测量的调度变量变化速率的信息也能在控制系统设计中展现。实际的控制设计任务包括非线性部分,例如阻尼器和弹簧的动态和非线性执行器的动态。为了应对问题的高度复杂性,提出了双层控制器在集成控制框架下。运用 LPV 方法设计,所需要的控制力通过上层控制器计算求得。在控制设计中用表明性能需求与不确定性假设的加权函数来扩展模型。将生成必要控制力的执行器建模为一个非线性系统,以用于下层的力跟踪控制器的设计。上文提出的分层方案描述了不同子系统(如底盘和执行器)的直观结构,同时将控制问题的复杂性保持在合理范围内。

每个单独的模型都被转化成 LPV 框架结构,同时包含性能指标与典型的不确定性因素。因此用与之相应的合适的 LPV 权重来扩展基本模型,从而得到一个统一的广义对象的结构,这也是鲁棒控制设计的出发点。

车辆系统的协同

两种不同的执行器有可能影响相同的车辆动力学性能。因此车辆协同控制的作用是协调局部问题与处理子系统间的相互作用。由于各子系统的性能指标常有冲突,所以它们必须达成一种平衡或妥协。这种权衡是根据工程知识在局部控制器的水平上制定的。然而当某一事件发生时,相应的性能,即权衡等级会有变化的倾向。

结构这一概念指具有既定功能的与定义明确的传感器与执行器套件。控制系统重构在以下需求中将起到作用:系统控制性能在某些情况下必须改善,并当传

感器或执行器出现故障时提高系统可靠性。事件这一概念与某些情况的发生密切相连。在正常情况下，原始结构是由独立部件组成的，如转向系统，或者由一些有相似功能的部件共同组成，如能产生横摆转矩的转向与制动系统。结构分级以及与之对应的调度变量保证了新加入系统的执行器能够提高系统的稳定性。

结构设置与相应的重构策略的指标是书中推荐方法的基本构成，并且是一项需要大量专业知识积累的复杂任务。然而，对任何可重构的控制策略来说，结构、事件、重构可能性的分析都是十分必要的工作。

控制问题的解决方案在车辆操纵性（抓地性）、舒适性与安全性取得平衡。这种平衡通常导致了车辆性能与乘员舒适间的妥协。如，驾驶人要缩短车辆弯道的行驶轨迹，那么他会选择轨迹的曲率半径尽可能地小。而当驾驶人需要舒适性时，他会选择更大的曲率半径。同时，曲率半径的不同选择也与车速的选择相对应，比如说，更大的半径允许驾驶人选择更快的速度。在实际情况下，控制问题的解决方案基于系统学习驾驶人的驾驶行为。而驾驶人的操纵不仅仅体现在对车辆预定轨迹的跟踪上，同时也影响着车辆的动态表现。

故此，为了在控制系统设计中融入驾驶人行为与需求，驾驶人模型必须要与车辆模型相结合。在驾驶辅助系统中，人车交互被纳入考量。

这本书的主要章节提供了关于集成控制系统框架结构的详细阐述。在集成控制系统的设计流程中，通过选择可变性能指标，把控制系统对其他控制功能的影响纳入考量。为了增强系统性能，系统结构框架的各元素间需要具备强耦合关系，这可以通过一组外加的监控信号进行观测。

设备本身可以看成是可使用多种外部设备与外界保持通信的核心系统，同时，控制器可看成一种执行核心系统任务的程序。这方面与带有运行系统与应用程序的计算机与其所安装的外部组件间的关系类似。至关重要的一点，是嵌入架构中的外部子系统能够实现其预定的任务，同时在未知悉子系统内执行系统的细节问题时，应用程序也能够非常稳定地使用外部设备，其唯一的限制在于各部件间的信息流都应该遵循一种既定的协议。即插即用模式已经在计算机领域被证明是富有成效的，此外，该模式也可看成是一个模型，应用于控制系统设计中。

在控制系统中，即插即用控制架构提供了使用不同厂家、品牌的传感器与执行器的可能，同时保证器件性能水平不变以及保持全局控制器的整体性能。如果一个新的控制单元加入系统，旧的控制单元被取代，或者旧的部件被移除，那就会导致控制系统的整体结构发生变化。那么普通的控制系统必须重新设计，这一过程花费十分昂贵，并将消耗大量时间。也就是说在协同整合的概念下，普通系统的控制逻辑必须要经历高难度的修改。

当局部控制器设计出后，就可在全局层面对鲁棒控制进行分析，从而证明系统的全局性能与稳定性。现存相互矛盾的多目标标准使全局策略的应用难以实