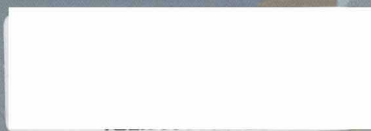




Vehicle's Man-machine Interaction Safety
and Driver Assistance

车辆人机交互安全与辅助驾驶

王武宏 著
WANG Wuhong



人民交通出版社
China Communications Press

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

车辆人机交互安全与辅助驾驶

Vehicle's Man-machine Interaction Safety and
Driver Assistance

王武宏 著

WANG Wuhong

人民交通出版社

Two thin, dark, curved lines sweep across the top of the page, framing the title area.

P 前言 Preface

在以汽车为主的全球机动化形成中,无论是发展中国家进行的机动化过程,还是发达国家面临的机动化发展,城市交通安全和拥堵问题已成为一项全球性的挑战,是人们普遍关注的社会问题和科学技术进步面临的重要课题,蕴涵着极其丰富的内涵。

为了实现道路交通安全和提高交通运行的效能,必须研究如何在出现驾驶失误、车辆故障或者道路环境恶化的情况下,能够确保交通参与者人身及道路交通安全的机制和基础设施条件,使道路交通逐步实现安全化。对车辆人机交互安全理论,尤其是驾驶行为及其辅助方法的研究,虽然得到了一定的发展和理论上的完善,但因驾驶人—车辆—道路环境系统运行的极为复杂,尤其是驾驶失误的不可避免性决定了目前采用的方法主要用于识别、减少和控制驾驶失误,而不能从根本上解决驾驶失误,即使通过基于信息技术的驾驶辅助系统也只能防范驾驶失误。因此,车辆人机交互安全与辅助驾驶已成为“以人中心”的交通行为与安全涉及的重要领域和主攻方向。

在国家自然科学基金委员会、中华人民共和国教育部、德国洪堡基金会、日本学术振兴会等的资助下,本书著者先后在西南交通大学、北京航空航天大学、北京理工大学、日本东京大学、德国慕尼黑工业大学负责并主持了二十多项科研课题,在国际学术刊物上发表了系列论文,获得的系统性研究成果具有前沿性和

开拓性。因此,依据对车辆人机交互安全与辅助驾驶进行的长期探索研究与科学积累,通过对驾驶行为、驾驶可信性、辅助驾驶、车辆人机交互、车辆行驶安全、交通行为风险演变等主要内容的深入系统阐述,同时结合对相关文献的评述性总结才完成了本书的撰写,本书的出版得到了国家科学技术学术著作出版基金资助。

本书重点构建了驾驶本质安全化的理论体系与方法模型,揭示出一定时间—空间域内驾驶人、车辆和道路环境子系统中主要因素与道路交通安全状态的内在联系,通过寻求其中的规律来规划、设计和协调各组成部分的结构、性能和行为,并使之达到最优化;从可靠性、安全性层次对驾驶行为形成进行了解析,构建了安全驾驶模型和驾驶差错恢复能力的分析方法;从数字驾驶角度提出了车辆生态人机界面功能分配原则,以期从驾驶乐趣和驾驶安全兼顾的角度提高驾驶可信性。

从人车交互的交通本质出发,建立了接近和换道行为的微观模型,实现了对安全驾驶行为进行规则化、模型化的定量描述,提出了基于驾驶认知的车辆行驶安全性分析方法,揭示出交叉口中人车单元同弱势交通参与者在时间和空间上发生冲突的规律。

运用交通事变征兆所蕴含信息的传递特性来辨识交通风险演变过程,分别从不确定条件、确定条件层次上,对交通事故致因机理、交叉口冲突形成、路网拥堵原因进行了系统研究,为解决交通系统定量风险性评价和交通安全微观控制提供了依据。

在本书的撰写过程和涉及的相关研究中,西南交通大学的曹琦教授、刘东明教授、朱松年教授,北京航空航天大学的杨为民教授,日本东京大学的池内克史教授,德国慕尼黑工业大学的 Heiner Bubb 教授给予了很多指导和鼓励;北京工业大学的任福田教授、东南大学的王炜教授、北京交通大学的高自友教授、北京理工大学的孙逢春教授等提供了许多支持和帮助;研究生和博士后侯福国、沈中杰、张伟、李德慧、曹全新、朱滨、刘光新、田凯、郭宏伟、徐唐桥、蒋晓蓓、丁晨曦、刘皓、李涵茹、夏塽辰、刘跃军、冯广东、郭雪东、王潇、毛琰、金晶、林荣杰、李方、刘琳、赵发成、郭伟伟等参与了相关研究工作,尤其是林荣杰、李方、赵发成、金

晶、郭宏伟、毛琰、王潇、郭伟伟、刘琳等协助完成了本书部分章节的撰写,这里一并致谢。最后,真诚地感谢那些在我研究生涯中给予过帮助的人们,也深深谢谢所有被引文献的作者们,正是他们的默默工作才得以本书的顺利完成!当然,由于自己学术积累和研究能力所限,书中尚存在很多不足乃至错误之处,祈请指正和海涵为是!

王武宏

2012年9月 北京

C 目录 Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 道路交通行为及其特征	1
1.2 车辆安全行驶行为分析	3
1.2.1 车辆纵向运动及其安全特性分析	3
1.2.2 车辆横向运动及其安全特性分析	6
1.2.3 交叉口中车辆行驶安全行为分析	8
1.3 驾驶行为分析	10
1.3.1 驾驶任务	12
1.3.2 驾驶认知行为分析	13
1.3.3 驾驶失误	14
1.3.4 驾驶意图	15
1.3.5 驾驶乐趣	16
1.4 驾驶模拟与驾驶辅助系统	17
1.4.1 驾驶模拟	17
1.4.2 驾驶辅助系统	18
1.5 车辆人机交互安全与辅助驾驶的重要意义	24
本章参考文献	26
第 2 章 驾驶本质安全化理论与方法	34
2.1 驾驶本质安全化的理论依据	34
2.1.1 驾驶人的多类信息处理与多维决策机制	34



2.1.2 驾驶本质安全化定义与内涵	36
2.2 驾驶行为及其形成因子分析	38
2.2.1 驾驶行为形成模式	38
2.2.2 驾驶状态意识	40
2.2.3 驾驶差错的致因分析	41
2.2.4 驾驶失误分析	42
2.2.5 驾驶行为形成主因子	43
2.3 驾驶差错恢复能力分析	46
2.3.1 驾驶差错恢复能力及其特征	46
2.3.2 驾驶差错恢复度计算方法	47
2.4 驾驶可靠性与安全性分析	50
2.4.1 驾驶可靠性分析方法	50
2.4.2 驾驶可信性分析	52
本章参考文献	53
第3章 加减速行为分析	57
3.1 加减速行为与跟驰特征分析	57
3.1.1 加减速行为影响因素分析	57
3.1.2 车辆跟驰行为中的驾驶人因素	58
3.1.3 自适应巡航控制系统的控制策略	59
3.2 基于感知阈值的安全加减速行为建模方法	61
3.2.1 稳定状态下的安全时距	61
3.2.2 减速时的跟驰算法	62
3.2.3 加速时的跟驰算法	65
3.2.4 模型仿真与分析	67
3.3 车辆安全跟驰距离的建模与分析	76
3.3.1 跟驰行为安全条件分析	76
3.3.2 车辆安全距离建模	78
3.3.3 安全跟驰距离仿真研究与分析	82
本章参考文献	86
第4章 换道行为分析	89
4.1 换道特性分析	89
4.1.1 换道行为过程分析	89
4.1.2 换道行为体系	91

4.2 换道行为建模与仿真	93
4.2.1 车道变换安全性分析	93
4.2.2 换道过程运动学特征	95
4.2.3 安全距离模型	96
4.2.4 换道时间的确定	100
4.2.5 仿真计算	101
4.3 车辆换道轨迹预测与分析	103
4.3.1 基于神经网络的换道轨迹预测分析	103
4.3.2 仿真结果与讨论	104
本章参考文献	109
第5章 数字驾驶行为分析	111
5.1 数字驾驶行为及其体系结构	111
5.1.1 数字驾驶行为形成的原理	112
5.1.2 数字驾驶行为模型及其子系统	113
5.1.3 数字驾驶系统的关键技术	113
5.2 数字驾驶行为分析的理论基础	115
5.2.1 智能交通信息网络环境中的数字驾驶行为	116
5.2.2 数字驾驶行为分析	116
5.2.3 数字驾驶差错的分类	118
5.2.4 基于机器视觉的智能(认知)车辆中数字驾驶行为的 控制策略	119
5.3 数字驾驶可靠性与安全性分析	126
5.3.1 数字驾驶可信性分析	126
5.3.2 数字驾驶可信性仿真	129
本章参考文献	132
第6章 交叉口中驾驶认知行为与安全需求分析	135
6.1 平面交叉口交通流特性	135
6.1.1 交叉口冲突特性	136
6.1.2 左转车流的冲突分析	137
6.1.3 交叉口行人的冲突分析	139
6.2 交叉口左转车辆驾驶人可接受间隙评测	140
6.2.1 平面交叉口左转车辆的驾驶行为分析	140
6.2.2 驾驶人接受间隙的结果分析	144



6.3 交叉口中右转车辆与行人冲突的危险评价	147
6.3.1 平面交叉口右转车辆的驾驶行为分析	147
6.3.2 冲突危险的评价结果	151
6.4 交叉口中违章穿越行人对驾驶行为的影响分析	154
6.4.1 方法与数据采集	154
6.4.2 违章行人对驾驶行为影响分析	156
6.4.3 交通环境因素对驾驶行为的影响	159
本章参考文献	161
第7章 车辆生态人机界面功能分析	163
7.1 车辆人机交互	163
7.1.1 车辆人机关系	163
7.1.2 车辆人机交互方式	165
7.1.3 车辆人机界面及其功能分配	166
7.2 智能交通系统中驾驶行为分析	168
7.2.1 车载支持系统与辅助驾驶	168
7.2.2 车辆生态人机界面特征	170
7.2.3 驾驶辅助系统对车辆人机界面的匹配优化影响	171
7.3 车辆人机界面的生态功能分配	173
7.3.1 生态功能分配的概念框架	173
7.3.2 生态驾驶界面的设计原理	174
7.3.3 生态驾驶界面的设计内容与方法	175
本章参考文献	177
第8章 基于驾驶认知的车辆行驶安全性分析	181
8.1 驾驶意图识别与建模方法	181
8.1.1 换道意图分析	182
8.1.2 制动意图分析	183
8.1.3 模型验证与结果分析	183
8.2 基于驾驶意图的跟驰工况下危险区域的界定	187
8.2.1 跟驰危险区域界定的理论框架	187
8.2.2 车头时距与临界碰撞时间	190
8.2.3 跟驰训练样本的选取方法	191
8.3 基于驾驶意图的换道行驶工况下危险区域的界定	192

8.3.1 换道危险区域界定的理论框架	192
8.3.2 换道可行性分析	193
8.3.3 换道训练样本的选取方法	194
本章参考文献	195
第9章 交通行为的定量风险性评价及其安全控制	197
9.1 事变树模型的理论基础	197
9.1.1 道路交通事件、事变和事故间影响程度的描述	199
9.1.2 道路交通事变信息量	200
9.1.3 道路交通事变权重系数的确定	204
9.1.4 最大模糊信息量准则	204
9.2 模糊事变树模型：以车辆偏离路面事故为例	204
9.2.1 模糊事变树中的符号	204
9.2.2 模糊事变树的构造步骤	205
9.2.3 模糊事变树的识图方法	214
9.2.4 模糊事变树模型的仿真	215
9.3 模糊事变树分析方法	219
9.4 模糊事变树模型在交通行为分析中的应用	223
9.4.1 模糊事变树模型在交叉口定量安全性评价中的应用	223
9.4.2 模糊事变树模型在路网拥堵评估中的应用	227
本章参考文献	234
索引	236

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Road traffic behavior and its characteristics	1
1.2 Vehicle operation safety analysis	3
1.2.1 Vehicle longitudinal movement and safety	3
1.2.2 Vehicle lateral movement and safety	6
1.2.3 Driving Safety Behavior at Intersection	8
1.3 Driving behavior	10
1.3.1 Driving Task	12
1.3.2 Driving Cognitive Behavior Analysis	13
1.3.3 Driving Error	14
1.3.4 Driving Intention	15
1.3.5 Driving Fun	16
1.4 Driving Simulation and Driver Assistance Systems	17
1.4.1 Driving Simulation	17
1.4.2 Driver Assistance Systems	18
1.5 Importance of Vehicle's Man-Machine Interaction Safety and Driver Assistance	24
References	26
Chapter 2 Driving Intrinsic Safety Methodology	34
2.1 Fundamentals of Driving Intrinsic Safety	34



2.1.1	Driver's Various Information Process and Multi-ruled Decision-Making Mechanism	34
2.1.2	Definition Of Driving Intrinsic Safety	36
2.2	Analysis of Driving Behavior Shaping Factors	38
2.2.1	Driving Behavior Shaping Architecture	38
2.2.2	Driving Situation Awareness	40
2.2.3	Causations of Driving Erroneous Actions	41
2.2.4	Driving Errors Analysis	42
2.2.5	Key Driving Behavior Shaping Factors	43
2.3	Analysis of Driver Recovery from Erroneous Actions	46
2.3.1	Characteristics Of Driver Recovery from Erroneous Actions	46
2.3.2	Modelling Method of Driver Recovery From Erroneous Actions	47
2.4	Driving Reliability and Safety Analysis	50
2.4.1	Driving Reliability Analysis Method	50
2.4.2	Driving Dependability Analysis	52
	References	53
Chapter 3	Analysis of Acceleration and Deceleration Behavior	57
3.1	Acceleration and Deceleration Behavior and Car-Following Characteristics	57
3.1.1	Influencing Factors in Acceleration and Deceleration Behavior	57
3.1.2	Driver Factors in Car-following	58
3.1.3	Control Strategy of Adaptive Cruise Control System	59
3.2	Deceleration and Acceleration Algorithms for Driver's Car-following Safety Behavior	61
3.2.1	Safe Headway in Stable Situation	61
3.2.2	Development of Deceleration Algorithms	62
3.2.3	Development of Acceleration Algorithms	65
3.2.4	Model Implementation and Evaluation in Microscopic Traffic Simulation	67
3.3	Modelling of Safety Distance in Car-following Regime	76
3.3.1	Safety Conditions on Car-following	76
3.3.2	Model Development for Safety Distance in Car-following	

Regime	78
3.3.3 Simulation and Validation of the Safe Following Distance	
Model	82
References	86
Chapter 4 Analysis of Lane-changing Behavior	89
4.1 Characteristic Analysis of Lane-Changing Behavior	89
4.1.1 Analysis of Lane-changing Process	89
4.1.2 Framework of Lane-changing Behavior	91
4.2 Modelling and Simulating of Lane-changing Behavior	93
4.2.1 Safety Analysis of Lane-changing Behavior	93
4.2.2 Dynamic Characters of Lane-Changing Behaviour	95
4.2.3 Safe Distance Model	96
4.2.4 Definition of Lane-changing Duration	100
4.2.5 Simulation and Calculation	101
4.3 Prediction of Driver's Lane-changing Trajectory	103
4.3.1 Neural Network Model for Lane changing Trajectory	
Prediction	103
4.3.2 Simulation and Discussion	104
References	109
Chapter 5 Analysis of Digital Driving Behavior	111
5.1 Digital Driving Behavior and Its Architecture	111
5.1.1 Principles Behind Digital Driving Behavior	112
5.1.2 Digital Driving Model and Its Subsystems	113
5.1.3 Key Technology for Digital Driving System	113
5.2 Fundamentals of Analyzing Digital Driving Behavior	115
5.2.1 Characteristics of Digital Driving Behavior in Intelligent	
Traffic Information Network Environment	116
5.2.2 Analysis of Digital Driving Behavior	116
5.2.3 Classification of Digital Driving Errors	118
5.2.4 Control Strategies for Digital Driving Behavior of	
Intelligent Vehicle Based on Machine Vision	119
5.3 Reliability and Safety Analysis of Digital Driving	126
5.3.1 Digital Driving Dependability Analysis	126



5.3.2	Simulation of Digital Driving Dependability	129
References		132
Chapter 6	Driving cognitive behavior and safety control strategy	
	for urban intersection	135
6.1	Traffic flow at intersections	135
6.1.1	Traffic conflicts at intersection	136
6.1.2	Traffic conflicts for left-turn vehicles	137
6.1.3	Traffic conflicts for pedestrians	139
6.2	Assessment for critical gap acceptance situation at signalized intersections	140
6.2.1	Driving behavior of left-turn vehicles at signalized intersections	140
6.2.2	Results of driver's critical gap acceptance	144
6.3	Effect of restricted sight on right-turn driving behavior with pedestrians at signalized intersection	147
6.3.1	Driving behavior for right-turn vehicles at signalized intersections	147
6.3.2	Traffic conflict risk analysis	151
6.4	Situational factors of influencing drivers to give precedence to jaywalking pedestrians at signalized crosswalk	154
6.4.1	Methodology and data collection	154
6.4.2	Analysis of driving behavior under jay walking pedestrians	156
6.4.3	Situational factors influencing driving behavior	159
References		161
Chapter 7	Ecological Function Allocations for Driver-Vehicle Interface	163
7.1	Vehicle's Human Machine Interaction	163
7.1.1	Vehicle's Human Machine Relationship	163
7.1.2	Means and Ways of Vehicle's Human Machine Interaction	165
7.1.3	Vehicle's Human Machine Interface and Function Allocations	166
7.2	Driver Behaviour Analysis in Intelligent Transport Systems	168
7.2.1	In-Vehicle Support Systems(ISSs) and Driver Assistance	168

7.2.2	Characteristics of Ecological Driver-Vehicle Interface	170
7.2.3	Impacts of ISSs on Optimization Matching of Driver-Vehicle Interface	171
7.3	Ecological Function Allocation of Driver-Vehicle Interface	173
7.3.1	Conceptual Framework for Ecological Function Allocation	173
7.3.2	Principles for Intelligent Driver Interface Design	174
7.3.3	Design Method for Intelligent Driver Interface	175
	References	177
Chapter 8 Vehicle Operation Safety Based on Driver Cognitive Behavior		
8.1	Driver Intention Recognition and modeling	181
8.1.1	Lane-Changing Intention Analysis	182
8.1.2	Braking Intention Analysis	183
8.1.3	Validation and Results	183
8.2	Determination of Dangerous Zone in Car-Following Regime Based on Driver Intention	187
8.2.1	Theory Framework for Determination of Dangerous Zone in Car-following Regime	187
8.2.2	Headway and Time to Collision	190
8.2.3	Training Samples of Car-Following Regime	191
8.3	Determination of Dangerous Zone in Lane-Changing Regime Based on Driver Intention	192
8.3.1	Theory Framework for Determination of Dangerous Zone in Lane-Changing Regime	192
8.3.2	Feasibility Analysis of Lane-Changing Regime	193
8.3.3	Training Samples of Lane-Changing Regime	194
	References	195
Chapter 9 Quantified Risk Assessment and Safety Control of Traffic Behavior		
9.1	Fundamentals of Incident Tree Model	197
9.1.1	Dynamic Process of Transport System Operation	199

9.1.2	Fuzzy Incident and its Information Quantities	200
9.1.3	Weighed Coefficient of Incident	204
9.1.4	Maximum Fuzzy Information Principle	204
9.2	Incident Tree Model: an in-depth analysis of vehicle- leaving-roadway accident	204
9.2.1	Incident Tree Symbol and its Meaning	204
9.2.2	Construction Process of Incident Tree Model	205
9.2.3	Readable principals of incident tree model	214
9.2.4	Mathematical Simulation of Incident Tree Model	215
9.3	Fuzzy incident tree model Analysis	219
9.4	Incident Tree Model and Analysis with its Application into Transport Behavior Analysis	223
9.4.1	Incident Tree Model and Analysis of Intersection Safety	223
9.4.2	Incident Tree Model and Analysis of Road Network Congestion	227
	References	234
	Index	236

第1章 绪论(Introduction)

在以汽车为主的全球机动化中,无论是发展中国家进行的机动化过程,还是发达国家面临的机动化发展,交通安全和拥堵问题已成为一项全球性的挑战,是人们普遍关注的社会问题和科学技术进步面临的重要课题,蕴涵着极其丰富的内涵。因此,为提高道路交通运行效能,必须研究如何在出现驾驶失误、车辆故障或者道路环境恶化的情况下,能够确保交通参与者人身及道路交通安全的机制和基础设施条件,使道路交通运行逐步实现本质安全。

1.1 道路交通行为及其特征 (Road traffic behavior and its characteristics)

由于道路交通系统是驾驶人、汽车和道路环境有机构成的耦合系统,涉及驾驶人、汽车和道路环境中单个或多个因素的任一交通事件的出现,都有可能带来某些后果或者诱发一系列的后续交通事件,导致交通行为恶化,交通系统出现不安全状态,经过一定时间—空间内的变化,该不安全状态可能会演变为交通事故。因此,一次驾驶失误、一次车辆故障或者是一点道路环境异常都有可能造成交通系统中另一个或一连串的不良反应,不良反应可能导致不期望事件(事变)并逐步发展为交通事故。

定义 1.1 道路交通系统:指驾驶人、车辆、道路环境(含其他车辆、行人等)有机构成的以安全为主要要求的耦合系统。

定义 1.2 道路交通状态:指规定的时间和空间内,由驾驶人、车辆和道路环境有机构成的耦合系统的变化行为,包括道路交通安全状态和不安全状态两种情况。

定义 1.3 道路交通事件:指引起道路交通状态发生变化的行为。例如车辆加速、快速超车、紧急制动。