

高速公路 交通事故应急管理 关键技术研究

尹春娥 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高速公路 交通事故应急管理 关键技术研究

尹春娥 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

de183102

内 容 提 要

本书对高速公路交通事故紧急救援的关键技术做了全面的介绍。特别对交通参数的估计方法、交通事故自动检测算法、事故情况下交通流的演变规律、事故发生后主线与匝道的协调控制方法以及事故后紧急救援时,紧急救援点的布置方法及救援调度方法等做了重点介绍。

本书内容对高速公路安全及管理部門的技术人员有较好的参考价值,也是高等院校相关专业师生的辅助读物。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路交通事故应急管理关键技术研究 / 尹春娥
著. — 北京:中国水利水电出版社, 2017.1
ISBN 978-7-5170-5220-3

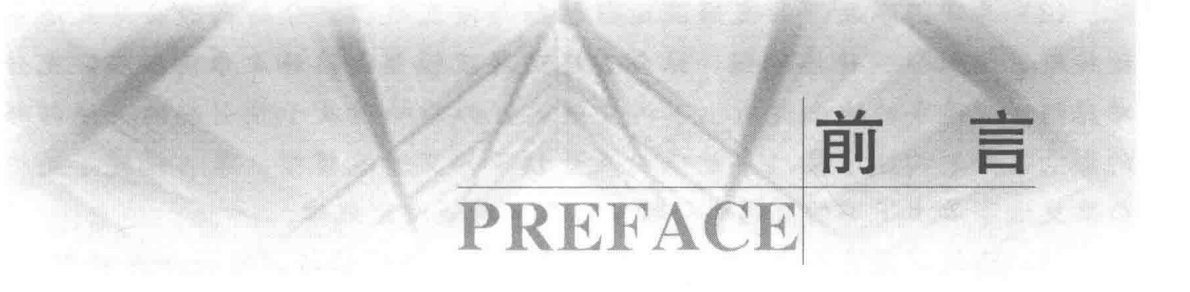
I. ①高… II. ①尹… III. ①高速公路—交通事故—
事故处理 IV. ①U491.31

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第045910号

书 名	高速公路交通事故应急管理关键技术研究 GAOSU GONGLU JIAOTONG SHIGU YINGJI GUANLI GUANJIAN JISHU YANJIU
作 者	尹春娥 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 8.5印张 202千字
版 次	2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷
定 价	45.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言

PREFACE

高速公路事故的应急管理是在发生事故后保障高速公路能安全、顺畅运行的关键。建设、完善先进的高速公路交通事故应急管理体系,采用先进的交通管理理念与方法,应用科学的交通安全管理措施,对于降低事故的死亡率、减少由事故引起的经济损失、减轻交通事故影响、提高高速公路安全运营水平是十分必要和迫切的,可实现交通事故损害的最小化及社会效益的最大化。

本书为整体提升高速公路交通事故应急管理的数字化、自动化、智能化管理水平,对高速公路交通事故应急管理中的关键技术展开研究,主要涉及高速公路交通参数估计方法、事故条件下的交通流演变模型、交通事故检测方法、交通管理控制策略以及交通事故应急管理系统的相关技术、方法与理论等方面。研究成果将有助于提高我国高速公路的安全运行管理水平和决策水平,提高交通管理部门的工作效率和系统设备的利用率,同时也可为深入开展面向“大数据”的应急管理研究提供理论依据。基于此,本书对以下几方面进行了研究。

(1) 针对传统 EKF 交通参数估计方法由于模型线性化而导致的准确性和有效性问题,提出了基于混合粒子滤波的高速公路交通参数估计方法,针对预设模型参数导致的估计精度不足的问题,建立交通状态与预测模型参数之间的关系,提出了交通状态影响下的模型参数自适应调整策略,通过模型参数的自适应调整达到了更高的估计准确度。

(2) 为提高当前事故自动检测算法检测率、降低误警率,立足于阈值选取要适应交通状态动态变化的思路,通过建立检测率、误警率、交通状态、阈值选取之间的数学关系,提出了一种可基于交通状态进行阈值自适应变化的小波高速公路交通事故自动检测算法,通过阈值的自适应调整获得了较高的检测率和较低的误警率。

(3) 为掌握事故下的交通流运行特征与演变规律,分析高速公路交通事故持续时间和影响传播范围,结合宏观交通流模型和格林希尔茨模型,充分考虑到事故造成的冲击波对上下游交通运行的影响以及干预引起的交通转移的影响,分别构建了交通事故下以及干预下的交通流模型,深入探究了高速公路交通事故上下游的交通运行特征以及交通流演变规律。

(4) 为缓解匝道和主线上的交通压力,降低拥堵的持续时间和车辆排队,整体上提高交通控制效果,从匝道控制与主线限速控制协调的思路出发,以高速公路网络中所有车辆的总运行时间最小化为目标,采用匝道控制率和速度限制变量作为决策变量,通过宏观交通流模型来预测交通系统的状态变量,构建了基于MPC框架的匝道控制和主线限速的协调控制模型,实现了MPC协调控制模型的最佳求解。

(5) 结合地理信息技术、公路网拓扑建模技术、数理统计分析技术与交通状态分析应用的相关理论方法,设计构建了集紧急救援信息发布、紧急救援预案制定、应急管理指挥体系于一体的高速公路交通事故应急管理系统FTIMS,并且研发实现了其仿真应用平台FTIMSAP,从交通状态运行监控、交通参数短时预测、交通事故自动检测、交通应急管理控制、交通应急组织调度、交通事故信息发布多个功能模块出发进行了高速公路交通事故应急管理的应用研究。

作者

2016年10月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 高速公路交通参数估计	3
1.2.2 高速公路交通事故检测	6
1.2.3 交通事故持续时间预测	6
1.2.4 高速公路交通控制策略	7
1.2.5 高速公路交通管理系统	8
1.3 研究必要性与意义	9
1.4 研究内容与技术路线	10
1.4.1 研究内容	10
1.4.2 结构	11
1.4.3 技术路线	11
第2章 基于自适应模型参数的高速公路交通参数估计方法	14
2.1 参数估计方法	15
2.1.1 高速路段的宏观交通流模型	15
2.1.2 交通参数测定模型	17
2.1.3 交通状态空间模型	18
2.1.4 基于卡尔曼滤波的交通参数估计	18
2.1.5 基于混合粒子滤波的交通参数估计方法	21
2.1.6 交通状态影响下的模型参数自适应调整	22
2.1.7 性能评价指标	22
2.2 仿真实验分析	23
2.2.1 仿真环境介绍	23
2.2.2 自由流速度随交通状态的自适应变化	25
2.2.3 一般情况下的高速公路交通参数估计	25
2.2.4 事故情况下的高速公路交通参数估计	28
2.2.5 综合分析	30
2.3 实测数据分析	31

2.3.1 实测环境介绍	31
2.3.2 自由流速度随交通状态的自适应变化	32
2.3.3 一般情况下的高速公路交通参数估计	33
2.3.4 下雨天气情况下的高速公路交通参数估计	35
2.3.5 综合分析	38
2.4 小结	38
第3章 基于小波自适应阈值的高速公路事故检测方法	40
3.1 理论基础	40
3.1.1 事故检测研究现状	40
3.1.2 评价指标	41
3.2 基于小波的交通事故自动检测算法	43
3.2.1 算法思路	43
3.2.2 构建检测统计量集合	43
3.2.3 选取最优检测统计量	46
3.2.4 检测阈值自适应改变策略	46
3.3 仿真实验与数据分析	48
3.3.1 最优检测统计量选取分析	48
3.3.2 检测统计量的标准差分析	50
3.3.3 误警的贡献度分析	51
3.3.4 事故检测算法性能比较分析	51
3.4 小结	53
第4章 高速公路事故条件下的交通流模型	55
4.1 事故下交通流模型	55
4.2 干预下的交通流模型	59
4.3 除去干预后的交通流模型	62
4.4 案例分析	62
4.4.1 单车道堵塞案例	63
4.4.2 双车道堵塞案例	64
4.4.3 综合分析	65
4.5 小结	65
第5章 高速公路事故条件下的匝道与主线协调控制方法	66
5.1 模型预测控制	67
5.2 宏观交通流模型	68
5.3 主线与匝道协调控制	69
5.4 优化求解	70
5.5 仿真验证	70
5.5.1 仿真条件	70

5.5.2 结果分析	72
5.6 小结	77
第6章 基于多目标优化的紧急救援点选址方法研究	78
6.1 高速公路紧急救援点选址概述	78
6.2 高速公路紧急救援点选址设计内容	78
6.2.1 救援点选址目标	78
6.2.2 救援点选址要素	79
6.2.3 救援点设计思路	80
6.3 多目标选址优化	80
6.3.1 选址目标优化	80
6.3.2 事故多发点分析	80
6.3.3 多目标选址模型	81
6.4 模型求解算例	83
6.5 小结	93
第7章 基于蚁群算法的高速公路应急调度研究	94
7.1 高速公路紧急救援资源调度概述	94
7.2 紧急救援资源调度原则与策略	94
7.2.1 紧急救援资源调度原则	94
7.2.2 紧急救援资源调度策略	94
7.3 救援最短路径算法	95
7.3.1 最短路径规划	95
7.3.2 基于蚁群算法的救援路径优化	96
7.4 蚁群算法仿真实验	99
7.5 小结	104
第8章 高速公路交通事故应急管理系统	105
8.1 高速公路交通事故应急管理系统架构设计	105
8.1.1 系统定位	105
8.1.2 系统架构	105
8.1.3 交通信息采集系统	106
8.1.4 交通状态监控系统	107
8.1.5 交通应急管理系统	107
8.2 高速公路交通事故应急管理仿真应用平台	107
8.2.1 平台简介	107
8.2.2 交通状态识别监控	108
8.2.3 交通参数短时预测	109
8.2.4 交通事故自动检测	110
8.2.5 交通应急管理控制	112

8.2.6 交通应急组织调度	113
8.2.7 交通事故信息发布	115
8.3 小结	116
参考文献	117

第1章 绪 论

1.1 研 究 背 景

近年来,随着我国社会经济等各项事业的快速发展,不同区域间的联系日趋紧密,长距离、大运量、高效率的交通运输需求迅猛增长,高速公路也因其通行能力大、运输效率高和速度快等优势,在我国得到了迅猛的发展。截至2013年年底,我国已建成10.44万公里的高速公路,比2012年年底增加了0.82万公里,成为世界上规模最大的高速公路系统。但由于我国的高速公路在短期内的跨越式发展,高速公路的管理理论、手段、经验、水平等相对滞后,随着高速公路规模的壮大,高速公路的运营管理问题逐渐暴露,致使高速公路的交通事故频发。据公安部统计,2011年我国高速公路共发生了9564起交通事故,造成6412人死亡。与往年相比,交通事故数量有所下降,但是事故造成的死亡人数却在上升,达到10.3%,2012年高速公路发生一次死亡10人以上事故13起,占同类事故总数的52%。

高速公路被认为是最安全的公路,但从高速公路里程所占的比重来看,高速公路交通事故无论是从事故数量、死亡人数还是受伤人数以及直接造成的财产损失所占的比重都比其他等级的公路高,这也说明了我国高速公路的安全管理水平还有待进一步的提升,如何保障高速公路安全、降低事故发生率已经成为威胁人民生命财产和提高交通运行效率的关键性问题。

交通事故的发生具有一定的随机性和突发性,难以预防。一旦发生事故,若不能及时地采取有效的应急救援对策,将可能导致更大、更恶性的事故。高速公路的事故应急管理是在发生事故后保障高速公路安全、顺畅运行的关键。我国的高速公路交通事故应急管理体系还不够完善是造成高速公路交通事故率和死亡率居高不下的主要原因。国外的发展经验表明:建设、完善先进的高速公路交通事故应急管理体系,采用先进的交通管理理念与方法,应用科学的交通安全管理措施,对于降低事故的死亡率、减少由事故引起的经济损失、减轻交通事故影响、提高高速公路安全运营水平是十分必要和迫切的,可实现交通事故损害的最小化及社会效益的最大化^[1]。

由于高速公路具有技术等级高、服务水平好、交通流量大、封闭性强、出口间距远等特点,导致在发生事故时,交通流的运行会发生骤然变化,极容易在短时间内形成大量车辆排队,对整条线路甚至路网的交通运行都会产生不利影响。此时,进行应急管理的首要任务是能够及时、准确地获取事故条件下的交通状态的基础参数。通过对事故下的交通参数变化的综合分析,准确地检测出事故发生的时间和地点,并对交通事故的持续时间、影响范围、破坏程度做出正确评估,做到对事故的最快响应,对事故区域采取紧急的交通管理控制与救援调度措施,疏导事故影响区域的拥堵交通流,同时选取管控预案,尽早恢复



道路通行能力。

因此,基于上述高速公路交通事故应急管理的技术需求,并且考虑到高速公路交通事故突发性强、传播速度快、影响范围广、破坏力度大的特点,构建高效能、高可靠性的高速公路交通事故应急管理技术体系,应具备如下关键功能模块。

(1) 交通参数估计——高效的应急管理中的各项工作都离不开丰富、准确的交通参数数据的支撑,交通参数估计的准确性、实时性、适应性会影响到应急管理整体的运作效率。

(2) 事故自动检测——能够准确地检测出事故发生的时间和地点,做到对事故的最快响应,事故检测的准确性、可靠性、实时性直接关系到应急管理系统整体工作效能的发挥。

(3) 事故影响评估——在事故发生后,能够基于事故下的交通流变化规律,快速、准确地评估出交通事故的持续时间、影响范围、破坏程度,以便及时、科学地采取交通管理控制与救援调度措施。

(4) 交通管理控制——当事故发生后,需要对高速公路采取紧急的交通控制,通过主线、匝道等控制措施,疏导事故影响区域的拥塞交通流,同时选取管控预案,尽早恢复道路通行能力。

(5) 应急管理系统——为提高高速公路交通事故应急管理整体服务水平,必须设计构建高速公路交通事故应急管理系统平台,实现应急管理体系中各关键功能模块的有机结合,发挥各模块的最大效能。

随着先进的交通采集技术、信息传输技术在高速公路管理方面的应用与普及,高速公路交通管理也逐渐步入信息化、智能化的阶段。目前,我国高速公路通信系统、收费系统和区域交通监控系统建设已经相对完备,很多发达地区已经开展数字公路、智能公路等智能交通系统的架设。高速公路应急管理系统的智能化,也将是高速公路交通事故应急管理的发展趋势和必然选择。在此基础上,为减少高速公路交通事故,降低交通事故危害与影响,避免二次事故引发的人员伤亡和财产损失,进一步提高高速公路运营效率与指挥调度效率,对高速公路交通事故应急管理各模块又提出了新的技术要求,主要包括以下几方面。

(1) 如何在交通检测的基础上,获取正常运行和交通事故发生后的交通状态参数的变化情况。尤其在发生交通事故时,更需要快速、准确地识别出参数的变化,才能够顺利开展后续各项工作。

(2) 如何能自动、高效地判定交通事故发生的时间、地点、类型、严重程度,提高事故检测率,降低事故误警率。

(3) 如何预测事故发生后,高速公路上交通流的变化情况以及事故时空影响范围。尤其是在事故发生、外部干预以及除去干预下的全部交通演变过程中,掌握事故上下游的交通运行特征以及交通流演变规律。

(4) 在交通事故发生期间以及发生后,如何确定最佳的交通控制、诱导、管理方案,最大限度地减小交通拥挤,尽快疏导交通,进而快速恢复高速公路通行能力。

(5) 如何利用现有的交通基础设施、计算机网络技术、地理信息技术和信息处理技术,构建高速公路交通事故应急管理系统,实现应急管理系统各个部门之间的联动机制,建立各种交通事故应急管理预案,实现对紧急救援系统所需信息的实时采集、传送、发布、管理,实现科学一体化的应急管理。



基于此,本书对高速公路交通事故应急管理中的关键技术展开研究,主要涉及高速公路交通参数估计方法、交通事故检测方法、事故条件下的交通流演变模型、交通管理控制策略以及交通事故应急管理系统的相关技术、方法与理论等方面,旨在通过对高速公路应急管理关键技术一体化的系统研究,整体提升高速公路交通运行的安全水平以及交通事故应急管理的数字化、自动化、智能化管理水平,为高速公路的安全、通畅运行提供保障,实现高速公路经济、社会效益最大限度地发挥。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 高速公路交通参数估计

交通参数估计起源于20世纪60、70年代,是交通监控领域的一个重要任务。高速公路的交通参数估计是基于实时的交通监测,采用状态估计和预测算法估计路网中当前时刻以及预测下一时刻的交通参数。很多其他领域的成熟的预测模型就被应用于交通参数的估计和短时预测领域。早期的预测方法主要有:自回归模型(Auto Regression, AR)、滑动平均模型(Moving Average, MA)、自回归滑动平均模型(Auto Regression Moving Average, ARMA)、历史平均模型(History Average, HA)和Box-Cox法等等^[2]。随着研究的深入,逐渐涌现出一批更复杂的、精度更高的预测方法,可分五类:基于统计理论的模型、基于智能理论的模型、基于非线性预测理论的模型、基于微观交通仿真的模型和组合模型方法^[3],分类如图1-1所示。

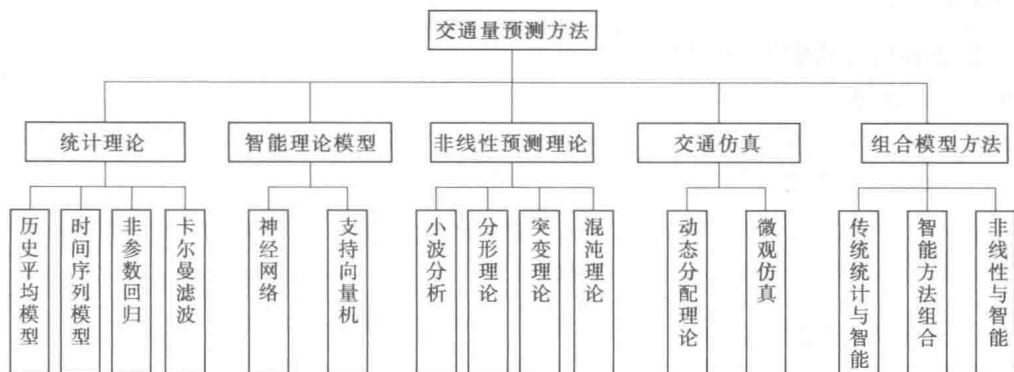


图 1-1 模型分类图

1. 基于统计理论的模型

此种模型主要包括历史平均模型、时间序列模型、非参数回归和卡尔曼滤波。历史平均模型认为交通流量和旅行时间具有严格的周期性,曾被广泛应用到出行者信息系统和动态路径诱导系统中^[2]。应用最广泛的当属卡尔曼滤波(Kalman Filtering)模型。Yang F等^[4]利用状态空间模型和卡尔曼滤波算法提出了一种短时交通流预测的在线回归算法。Lee等^[5]采用改进的卡尔曼滤波法进行了交通信息预测。Zhirui等^[6]提出了一种基于无偏卡尔曼滤波的交通速度预测方法。王均等^[7]构建了基于卡尔曼滤波的交通流短时预测模



型。Wang Y^[8]采用扩展卡尔曼滤波进行了交通状况估计。聂佩林等^[9]提出带等式和不等式约束的卡尔曼滤波的组合预测模型,并通过广深高速公路上采集的交通流量数据对算法进行了验证。

2. 基于智能理论的模型

由于神经网络在描述非线性系统方面的独特优势,自20世纪90年代以来在短期交通流量的预测^[10]上得到了广泛的应用,后来逐渐被证实适合用于描述交通流系统的非线性特征^[11]。迄今已有多种神经网络模型被用于短期交通流量预测,例如反向传播(Back Propagation, BP)神经网络^[12,13]、径向基函数(Radial Basis Function, RBF)神经网络^[14-16]、时间迟滞神经网络(Time Delay Neural Network, TDNN)^[17,18]与时间迟滞性循环神经网络(Time Lag of Recurrent Neural, TLRN)等^[19]。

由于神经网络方法基于渐进学习理论,同时利用梯度下降法调节权值使目标函数达到极小,易陷入局部极值,也会导致过分强调学习错误而出现过拟合,收敛速度慢,使模型泛化能力受到限制。由于神经网络方法存在一定的收敛速度慢、稳定性不高以及模型泛化能力受到限制等问题,在实际应用中未能得到广泛推广。针对此问题, Vapnik 等人提出了基于统计学习理论^[20]框架下的支持向量机(Support Vector Machine, SVM)方法。SVM在小样本、高维和非线性数据空间下具有很好的适应性,而且可从理论上得到全局最优解。相关研究^[21-23]说明了SVM方法在ITS领域应用的可行性。目前,应用于交通流预测的有S-支持向量机、V-支持向量机和最小二乘支持向量机(Least Squares Support Vector Machine, LS-SVM)等。V-支持向量机是2000年Scholkopf等提出的一种改进支持向量机^[24]。

3. 基于非线性预测理论的模型

非线性预测主要以混沌理论、耗散结构论、协同论、自组织理论等非线性系统理论为理论基础,利用有关混沌吸引概念、分形概念、相空间重构方法、数字生态模拟法(Data Ecofog)等建立预测模型,其中发展较为成熟的预测方法有小波分析理论、分形理论、尖点突变理论和混沌理论。当预测周期缩小到5min或更短,交通流的不确定性、非线性更强时,采用非线性预测有很强的适应性^[25]。

4. 基于微观仿真模型

李奎等^[26]利用微观交通仿真技术对快速路上的交通进行短时预测。马云龙等^[27]利用微观交通仿真的方法对快速路的未来交通流进行预测。李一龙等^[28]基于动态规划思想建立了路网流量预测和分配模型,为交通流预测和分配提供一定的参考。

5. 组合模型

单一的预测模型自身都具备一些优势和缺陷,因此可将模型进行有效结合,更好地发挥各模型的优势。Park D和Rilett L R.首次提出组合预测的理论和方法,以求产生较好的预测效果^[29]。

遗传神经网络综合模型将遗传算法应用于人工神经网络,简化了网络结构提高了预测的精度,研究包括Abdulhai B^[30]、Lingras P^[31]、刘洁^[32]、Liu M^[33]等。模糊神经网络模型综



合了模糊网络和神经网络, 主要研究有 Matsui H^[34]、Li ZYW^[35]、Yin H^[36], 董俊超^[37] 和 Boto - Giralda D^[38] 等。粒子群优化神经网络结构主要以神经网络为基础, 采用分组优化策略, 对粒子群优化算法对基函数的中心、方差和 RBF 网络权值进行优化, 提高了预测精度。神经网络与传统统计理论方法的结合, 其中包括 ARIMA 时间序列组合模型 Van Der Voort M^[39], 谭满春^[40] 提出了基于约束卡尔曼滤波的短时交通流量组合预测模型。

多种方法组合进行预测是近年来的交通流预测的研究方向。Cao^[41] 提出了一种综合运用双指数平滑模型、支持向量机模型和 Markov 预测模型的混合预测模型, 增强了模型的短时趋势追踪和平均模式识别能力。王凡^[42] 应用小波分析方法、滑动平均 (ARIMA) 和支持向量机 (SVM) 相结合, 预测模型对交通流进行了预测。

表 1-1 常见预测模型性能比较

方法	模 型	优 点	缺 点
统计理论	历史平均模型	算法简单, 参数可用最小二乘法在线估计; 速度快	无法表现交通流变化
	时间序列模型	建模简单; 数据充足的情况下预测精度较高	只考虑了历史数据; 模型参数固定, 不能移植; 数据缺失时模型精度较低
	非参数回归	无需先验知识, 只需足够的历史数据; 可移植; 误差较小	寻找近邻的复杂性
	卡尔曼滤波模型	预测因子选择灵活; 精度较高; 适用于平稳及非平稳数据的处理; 可实现在线预测	属线性模型, 在预测非线性、不确定的交通流时性能变差; 每次计算都要调整权值, 运算量大
智能理论	神经网络模型	技术成熟, 具有识别复杂非线性系统的特性良好的自学习能力	黑盒式学习, 训练过程复杂; 局部收敛; 收敛速度慢; 推广能力差
	支持向量机	解决了非线性、高维数、局部极小点等实际问题	参数选择和核函数选取影响模型的推广性能
非线性理论	小波理论	根据数据高、低频情况改变时频窗口的形状和大小, 适合对短时交通流数据进行分析	小波的局部化特性, 使网络在稀疏样本的情况下, 对于非样本点的逼近存在能力有限的问题。理论复杂, 计算量大
	分形理论	分形几何揭示交通系统演化的自相似性	在无标度区间内作尺度变换, 限制观测时间跨度
	突变理论	弥补了传统的二维预测平面三参数关系方面的不足, 适用于有突发事件的交通系统	易受客观因素影响, 不具有普遍性
	混沌理论	避免了主观因素, 适用于复杂交通短时预测	理论复杂, 长期预测有待研究
交通仿真	动态交通分配	可以得到路段流量与 OD 量的内在关系, 揭示交通运行机理	动态 OD 数据难以准确预测得到; 算法计算量过大; 尚不能合理精确的描述实际交通网络
	微观仿真	理论分析基础比较充分, 能够考虑交通系统的一些复杂影响因素	计算复杂性高, 难以适应大规模的交通系统, 实用性有待研究
	组合模型	相互弥补缺陷	组合方法不当, 预测效果可能反而会变差



1.2.2 高速公路交通事故检测

1. 国外研究现状

从19世纪70年代就有学者陆续提出多种利用线圈检测器获取交通数据的自动事故检测 (Automatic Incident Detection, AID) 算法。早期的加利福尼亚算法和明尼苏达州算法被认为是最显著的算法。此后, 就逐渐发展了基于交通流理论的知识专家系统、SND检测算法、贝叶斯算法^[43,44]、基于ARIMA的突发交通事故的判别法^[45]等。随着信息科技的发展, 人工智能方法逐渐被应用到交通事故检测算法中, 如模糊逻辑交通事故检测算法^[46,47], 综合运用模糊理论和图像处理技术的新方法^[48], BP神经网络检测交通事故的算法^[49], 支持向量机法^[50]。然而, 由于新算法误报率较高, 稳定性和计算复杂度不可控制以及参数获取过程复杂等原因, 仍然无法在ITS中得到广泛推广。到了20世纪初, 由于小波方程在降噪方面和特征检测提取方面的优越性, 被应用在交通事故自动检测上, 如基于小波的神经网络算法^[51,52]就可利用小波转换有效利用交通观测数据, 提取交通事故特征。

2. 国内研究现状

国内在20世纪80年代就有学者提出了基于突变理论^[53]、时间序列法^[54]的AID技术, 随后又逐渐发展了人工神经网络法^[55]、模糊理论^[56]、贝叶斯方法和数据融合算法^[57]。近年来, 基于小波分析的高速公路事故检测也得到了应用和推广。其中, 郭艳玲等^[58]将小波方程输入自组织特征映射 (Self Organizing Mapping, SOM) 网络, 对信号奇异点进行分类, 再根据分类标准判断交通流状态以检测事故。裴瑞平^[59]运用小波变换和多孔算法分析实际案例, 论证了基于小波分析的交通事故自动检测算法的有效性。罗时春^[60]运用离散小波变换对原始数据进行降噪, 通过二进小波变换进行模极大值的比较, 从而检测交通事故的发生。彭宇^[61]利用小波变换放大交通流奇异点特征, 再根据小波系数幅值变化情况检测道路交通事故。

1.2.3 交通事故持续时间预测

1. 国外研究现状

Giuliano认为影响交通事故持续时间的因素有事故类型、发生时间、车道关闭数等, 运用对数正态分布分析事故持续时间, 得出持续时间服从对数正态分布的结论^[62]。Nam和Mannering将交通事故持续时间分为四个阶段: 事故的发现时间、响应时间、清除时间、恢复时间^[63]。通过对数据进行不同分布形式的拟合度检验, 发现交通事故的发现时间和响应时间服从威布尔分布。Wang W^[64]等人建立了模糊逻辑模型预测车辆抛锚的持续时间, 通过分析发现事故发生的时间、事故发生的位置、报告机构是影响事故持续时间的的主要原因。此外, 还有很多其他相关研究, 如对突发事故发生后出行时间的预测^[65,66]、交通事故持续时间的概率分布方法预测^[67,68]、时间序列模型预测^[69-71]和非参数回归模型预测^[72-74]等。

2. 国内研究现状

刘小明^[75]通过研究交通事故信息特征, 将交通事故时间序列分为: 趋势变动, 循环



变动, 季节变动和随机变动, 构造了交通事故时间序列预测模型。刘伟铭^[76]根据事故持续时间数据的分布特征构造了基于决策树的预测方法, 通过对各类事故的显著性分析, 建立了高速公路事故持续时间预测决策树。夏正丰^[77]采用概率分布分析及逐步回归分析法对高速公路清障持续时间预测问题进行了研究, 运用方差分析了影响事故持续时间的显著因素, 并用逐步回归法确定了高速公路清障持续时间预测的多元线性回归模型。康国祥^[78]采用基于风险分析的参数估计方法, 建立交通事故持续时间的威布尔加速失效时间预测模型, 并用交通事故数据对模型的预测精度进行检验。姚磊^[79]提出一种基于减法聚类和自适应神经模糊推理系统的事故持续时间预测新方法。

交通事故持续时间的预测涉及诸多复杂问题, 尽管在事故持续时间预测方面已有了大量的研究, 但每一项研究使用的数据源不同, 样本大小不同, 变量不同, 因此方法的特征、精度以及适用性也有待于进一步对比论证。

1.2.4 高速公路交通控制策略

高速公路交通控制策略是对某一些主要交通参数, 如交通量、速度、占有率、交通密度、堵塞程度以及交通状况、气象参数和路面状况等进行实时监控, 根据交通参数及交通条件的历史数据库或实时采集的交通信息, 按照某种预定的性能准则来调节高速公路上交通的参数, 从而使交通运行保持最佳状态^[80-83]。高速公路的控制策略的方法主要有主线控制、出口匝道控制、入口匝道控制、通道控制四个方面^[84-87]。为减轻高速公路突发交通事故所造成的交通延误、交通堵塞及避免二次事故的发生引起的财产损失和人员伤亡, 须在高速公路突发交通事故后加强对高速公路交通流量的诱导与控制^[88-96]。开展高速公路交通事故的交通诱导与控制策略的研究, 提出相应的交通诱导及控制策略, 在提倡“以人为本”的当今时代, 具有很重要的现实意义^[97-102]。

1. 国外研究现状

国外学者对高速公路突发交通事故后的控制方法与策略的研究起步相对较早, Papageorgiou M^[103]通过引入区间分段的概念和动态模型的概念, 设计了交通事故条件下交通流递阶诱导控制方法。1980年 Looze D^[104]将高速公路交通诱导以及控制问题转化成一个非线性参数的优化问题进行了求解。1983年 Gartner 在网络交通控制下, 基于个体出行者路径选择行为, 建立混合最优规划模型^[105, 106]。Sasaki T^[107, 108]等考虑到事故对入口匝道通行能力的影响, 提出了面向入口匝道的控制方法。Parisini R^[109]考虑到不同交通流的运行特征, 提出了事故条件下的交通诱导以及控制策略。Alessandri A^[110]考虑到限速对交通流参数的影响, 提出一种将诱导和限速相协调的集成性控制方法。Chronis 等通过交通事故类型的划分, 构建了面向事故的控制和诱导协同一体化的架构^[111], 通过调整交通信号适应各种事故下的交通状态, 使车辆在交通事故中造成的延误时间最小^[112]。

2. 国内研究现状

姜紫峰等^[113]针对 Papageorgiou 提出的宏观、动态、确定性的高速公路交通流模型, 采用独立的入口匝道控制和入口匝道联合控制两种策略, 并以高速公路总行程时间、总服务流量来计算入口匝道平均等待时间, 通过仿真论述了两种策略的效果。谭满春等^[114]克



服了 MACK 模型在真实反映交通流状态时的局限性,构造了入口匝道最优控制模型,仿真证明了该模型在降低入口匝道平均等待时间、提高服务流量上的有效性。马海峰等^[115]综合考虑加速车道对车辆汇合的影响,得出了主线与匝道之间的流量关系模型,为匝道控制和高速公路管理提供了依据。陈斌等^[116]建立了车流行为参数集,构建了高速公路事故动态随机响应控制模式,利用卡尔曼滤波和线性二次高斯方法求解。蔡志理^[117]运用遗传算法以及 3S 等先进的技术手段与方法,对高速公路交通事故自动检测算法及交通疏导技术进行了深入研究,构建了诱导方法方案库,通过模拟对比确定了各种情况下的最佳疏导方案。马壮林^[118]基于损失和设施成本,提出了交通事故预防措施方案的综合效益分析方法。秦丹丹^[119]通过推导出高速公路入口匝道的理论汇入流量,对高速公路匝道控制线性规划模型进行改良,建立了不同风险条件下的高速公路匝道控制模型。

当前,高速公路交通事故的交通诱导及控制方面的研究已经取得了一定的成果,为高速公路突发交通事故后的车辆疏导及人员救援提供了依据^[120-123]。高速公路入口匝道的智能化控制研究、主线控制、匝道控制以及交通诱导之间的相互协调的研究,尤其是针对交通事故条件下的交通疏导方法研究是今后高速公路交通疏导技术研究的发展趋势^[124,125]。

1.2.5 高速公路交通管理系统

高速公路应急管理系统是保障以及实现高速公路管理科学化、现代化、智能化的基础性工作,也是提高高速公路的应急能力的有效方式之一^[126-132]。完善的高速公路应急管理系统将是今后高速公路规划以及应急管理等工作有效辅助手段,可实现对高速公路路网的实时监测以及对高速公路交通事故的预警与报警功能,全面准确地提供管理和决策的分析信息^[133-138]。早期的交通事故的发现大多是依靠路旁的紧急电话和交警巡逻,难免造成事故处理的延误^[139-140]。随着监视系统和视频检测器等一些先进的检测手段的使用^[141-145],对于快速处理路网内出现的突发事件、减少因事故造成的损失以及避免二次事故的发生,可发挥重要作用。

1. 国外研究现状

欧美等发达国家率先将先进的智能技术以及管理技术应用于高速公路管理系统以及应急管理系统,其显著的特点是利用当代高新技术实现信息采集、处理和信息利用等的自动化和效率化,充分体现以人为本的思想和理念,提高了交通的管理水平、服务水平以及应急能力^[146-151]。美国从 20 世纪 60 年代就开始建立不同规模的高速公路交通信息管理系统,如明尼苏达州的 DIVERT、马里兰州的 CHART、纽约和新泽西区域的 E-2PASS、圣地亚哥的智能呼救电话和 ADVANCE (Advanced Driver and Vehicle Advisory Navigation Concept in Europe) 等^[152-156]。多年的应用实践证明,在高速公路的运行和管理上,高速公路交通信息管理系统可有效改善交通运行状态,降低偶发性交通拥挤。1995 年 3 月,美国运输部正式发布了“国家智能交通系统项目规划”,确定了智能交通系统的 7 个子系统和 29 个服务功能。日本依托其先进的 IT 技术,已经在相当程度上实现了高速公路的信息化与智能化应急管理。日本的高速公路上装有诸多的监测器和雷达,驾驶员等可通过与 VICS (Vehicle Information and Communication System) 联网的车载系统及高速公路上的情报信息板获取即时的道路交通信息,同时还可以准确地查询目的地地址、气候、