



Coordination Control Models and
Methods for Freeway Corridor

高速公路通道协调 控制模型与方法

○ 王正武 著



湖南科学技术出版社

Coordination Control Models and
Methods for Freeway Corridor

高速公路通道协调 控制模型与方法

○王正武 著

 湖南科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

高速公路通道协调控制模型与方法 / 王正武著. —长沙:
湖南科学技术出版社, 2009. 11
ISBN 978-7-5357-5936-8

I. 高… II. 王… III. 高速公路—交通限制—研究
IV. U491.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 185315 号

高速公路通道协调控制模型与方法

著 者: 王正武

责任编辑: 喻 明

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

印 刷: 长沙理工大印刷厂

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 长沙市天心区赤岭路 45 号

邮 编: 410076

出版日期: 2009 年 11 月第 1 版第 1 次

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 13.25

字 数: 220000

书 号: ISBN 978-7-5357-5936-8

定 价: 26.00 元

(版权所有·翻印必究)

前 言

出行需求的显著增加、交通工具数量的迅猛递增,道路交通拥挤问题越来越突出,为从根本上解决道路交通的拥挤问题,除了合理规划土地利用、完善交通基础设施、增强出行者交通意识外,加强道路交通管理与控制,从而进一步提高道路网络的利用率非常重要。

高速公路(城市快速路)是道路网络的主骨架,近年来,这些道路的交通也日趋紧张,常发性交通拥挤常常发生,当拥挤发生时,这些道路的管理和控制相对简单,如限速行驶、车道封闭等。实际上,为提高高速公路(城市快速路)的运行效率,有许多措施可供选择,如匝道控制、路径诱导等,当采用多种控制措施时,为避免冲突,应协调这些措施,对高速公路(城市快速路)实施协调控制;高速公路(城市快速路)处在区域路网中,和与其平行的道路共同承担同方向的出行需求,高速公路(城市快速路)和平行道路网相辅相成,对高速公路(城市快速路)的控制会影响它们自身的交通需求,从而也影响着平行道路网的交通需求,因此,应集成高速公路(城市快速路)和平行道路网,实施协调控制。

为适应上述两方面的需求,本书定义高速公路(城市快速路)、平行道路网及连接二者的匝道系统为高速公路通道,就如何协调多种控制措施对高速公路通道实施协调控制展开论述。本书介绍高速公路通道协调控制的基本原理和方法外,主要总结了作者博士学位论文和研究团队的相关研究成果。本书结构如下:第1章为绪论,主要论述高速公路通道协同控制的意义,阐述和分析高速公路通道协调控制研究现状;第2章介绍控制理论的相关基础,首先介绍控

制系统的基本概念及其状态空间表达式,然后讨论控制系统状态空间的表达、状态方程的求解,并介绍系统的能控性、能观性及稳定性,最后介绍最优控制问题及其经典求解算法和几种智能优化;第3章至第6章介绍高速公路通道各子系统的协调控制,其中第3章介绍匝道子系统的控制方法,第4章介绍高速公路子系统的主线控制,第5章介绍集散道路子系统的控制,第6章介绍路径诱导子系统;第7章是在前述各章基础上,以高速公路通道为控制对象,介绍高速公路通道中高速公路与集散道路的协调控制、控制与诱导的协调控制。

本书编写过程中,得到了中南大学罗大庸教授、长沙理工大学黄中祥教授、吴义虎教授在学术上的指导和帮助;得到了研究团队全体成员的帮助和支持,特别是长沙理工大学的曹倩霞和况爱武两位老师,他们分别撰写了本书的第2章和第6章的第1~2节。本书得到了国家自然科学基金项目(No. 50808025)、交通部应用基础项目(No. 2006319815080)、湖南省自然科学基金项目(No. 06JJ50104)、湖南省教育厅重点项目(No. 08A003)、湖南省科学技术厅项目(No. 2008GK3114)的资助,同时获长沙理工大学出版资助,在此表示衷心感谢。

由于作者学识有限及经验不足,书中难免会有认识不到或疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

王正武

2009年10月于长沙理工大学

目 录

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 高速公路通道协调控制的意义	(1)
1.2 高速公路通道控制发展历程	(2)
1.2.1 高速公路控制的发展	(2)
1.2.2 集散道路控制的发展	(3)
1.2.3 路径诱导的发展	(4)
1.2.4 高速公路通道协调控制的发展	(5)
1.3 本书结构	(9)
第 2 章 控制理论基础	(11)
2.1 引言	(11)
2.2 状态空间分析	(12)
2.2.1 基本概念	(12)
2.2.2 状态空间表达式的建立	(13)
2.2.3 状态空间表达式的线性变换及规范化	(16)
2.3 状态方程的解	(17)
2.3.1 连续系统状态方程的解	(17)
2.3.2 离散系统状态方程的求解	(19)
2.4 控制系统的可控性与可观测性	(21)
2.5 李雅普诺夫稳定性分析	(22)
2.6 线性系统的分析与综合	(24)
2.7 最优控制	(25)

第3章 高速公路入口匝道控制	(35)
3.1 匝道控制目的和意义	(35)
3.2 匝道控制实施条件	(35)
3.3 匝道控制相关基础	(36)
3.3.1 宏观交通流模型	(36)
3.3.2 入口匝道流量控制目标	(39)
3.3.3 匝道控制问题描述	(39)
3.4 匝道控制的典型方法	(40)
3.4.1 单匝道控制算法	(41)
3.4.2 多匝道协调控制算法	(43)
3.5 入口匝道鲁棒优化控制	(47)
3.5.1 高速公路非线性状态方程	(48)
3.5.2 非线性鲁棒优化控制器	(49)
3.6 考虑公平性的多匝道协调控制	(50)
3.6.1 匝道控制中公平和控制效率的冲突	(51)
3.6.2 基于基尼系数的多匝道协调控制	(53)
3.6.3 协调控制模型的求解	(55)
3.7 匝道汇入控制	(57)
第4章 高速公路主线控制	(59)
4.1 主线控制目的和方法	(59)
4.2 主线限速控制	(60)
4.2.1 主线限速宏观交通流模型	(60)
4.2.2 主线限速控制模型	(62)
4.2.3 高速公路智能限速控制器	(62)
4.3 主线控制的其他方式	(65)
4.3.1 车道关闭	(65)
4.3.2 可逆车道控制	(66)
4.3.3 主线调节	(66)
4.3.4 优先控制	(66)
4.4 主线限速与入口匝道控制的协调控制	(67)
4.4.1 主线限速-匝道控制交通流模型	(67)

4.4.2	主线限速与入口匝道控制协调控制模型	(68)
4.4.3	高速公路分层递阶结构	(69)
4.4.4	高速公路分层递阶协调控制算法	(71)
第5章	交叉口信号控制	(73)
5.1	信号控制基本概念	(73)
5.2	单交叉口信号控制	(77)
5.2.1	定时信号控制参数	(77)
5.2.2	定时信号配时设计	(81)
5.2.3	感应信号参数及配时设计	(85)
5.2.4	环形交叉口信号控制	(87)
5.3	干线信号协调控制	(88)
5.3.1	干线信号基本参数	(88)
5.3.2	时距图	(90)
5.3.3	定时线控	(91)
5.3.4	基于粒子群算法的线控系统协调控制	(98)
5.3.5	线控系统着色混合 Petri 网建模及控制	(110)
5.4	区域信号控制	(117)
5.4.1	基本概念	(117)
5.4.2	TRANSYT 定时脱机操作系统	(118)
5.4.3	SCOOT 自适应操作控制系统	(120)
5.4.4	SCATS 自适应操作控制系统	(121)
第6章	路径诱导	(123)
6.1	基本概念	(123)
6.1.1	路径诱导系统的分类	(123)
6.1.2	路径诱导系统的功能模块	(124)
6.2	均衡诱导比例	(126)
6.2.1	路径诱导下的混合网络均衡	(127)
6.2.2	路径诱导下的出行负效用函数	(129)
6.2.3	路径诱导下的混合随机用户均衡模型	(131)
6.2.4	诱导比例	(133)
6.2.5	出行者对诱导系统的服从率	(134)
6.2.6	模型求解算法	(135)

6.3	基于遗传算法的多路径诱导	(140)
6.3.1	k 最短路算法	(140)
6.3.2	基于转向行为的路网表示方式	(142)
6.3.3	基于并行遗传算法的多路径求解	(143)
6.4	不确定条件下的多目标多路径选择	(147)
6.4.1	多目标路径选择的累积前景理论	(147)
6.4.2	合理多路径选择模型	(150)
6.4.3	基于克隆算法的求解算法	(151)
第7章	高速公路通道协调控制	(159)
7.1	高速公路与集散道路的协调控制	(159)
7.1.1	多用户类动态交通分配	(159)
7.1.2	高速公路和集散道路的协调优化	(171)
7.1.3	高速公路与集散道路协调控制求解算法	(174)
7.2	高速公路通道路径诱导与控制的协调	(183)
7.2.1	问题描述	(184)
7.2.2	控制级模型	(185)
7.2.3	高速公路通道控制协调器	(188)
7.2.4	路径诱导与控制协调器	(188)
7.2.5	通道控制与路径诱导协调的求解算法	(188)
参考文献		(194)

第1章

绪论

1.1 高速公路通道协调控制的意义

高速公路通道 (Freeway Corridor)^[1]是由高速公路 (或城市快速路)、平行道路 (网) 及连接匝道构成的整体, 平行道路 (网) 称为集散道路, 包括一般公路、城市道路。高速公路通道如图 1-1 所示。

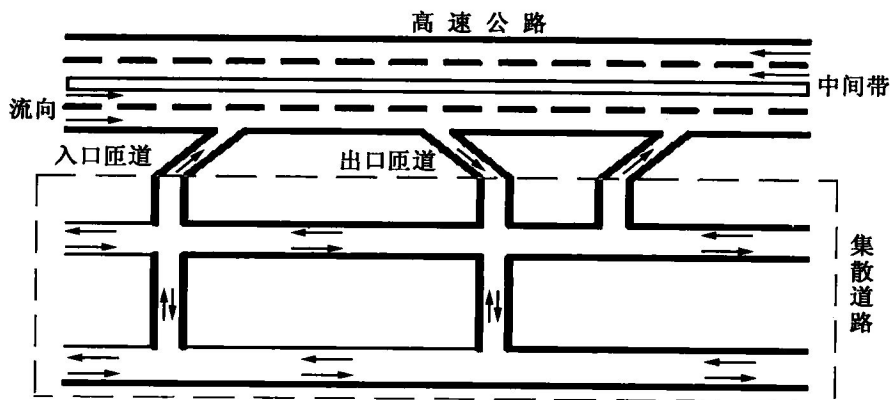


图 1-1 高速公路通道示意图

日益增长的交通需求导致高速公路通道内周期性的、非周期性的交通阻塞日趋增多, 交通事故或其他意外交通事件使交通阻塞进一步加剧, 这种现象在大城市的高速公路通道中尤为明显, 因此, 进行高速公路通道交通管理与控制的研究是必要的。

高速公路和集散道路存在诸多差异, 如: ①二者功能不同, 高速公路主

要承担快速、过境交通，而集散道路主要承担慢速、境内交通；②二者隶属不同行政管理部门，高速公路由专设管理机构管辖，而集散道路由城市交通管理部门、地方交通管理部门管辖；③二者地理位置不同，高速公路嵌于集散道路中；④二者控制方法不同，高速公路采用限速控制、匝道控制等，而集散道路主要采用信号控制。这些差异使人们忽视二者的相互联系，在制定拥堵疏导措施时，常常仅考虑高速公路或集散道路单方面的交通状况，导致拥堵时间的过长和通道资源的浪费。如当一方已拥挤，而另一方尚未饱和时，因拥挤交通流不会自觉分流，从而形成“局部拥挤严重、局部容量闲置”的现象。实际上，高速公路和集散道路是相互依赖，相互影响的，如二者承担相同流向的交通流、二者管理目标均是实现系统最优（System Optimization, SO）、二者用户均按用户均衡（User Equilibrium, UE）或随机用户均衡（Stochastic User Equilibrium, SUE）原理选择路径、二者有匝道相互连通。因此，有必要将高速公路和集散道路置于同一系统中，实现二者的协调控制。而且，高速公路和集散道路的控制方法有多种，不同方法对交通流的作用范围、影响程度各不相同，因此应在高速公路和集散道路协调控制的基础上，实行多控制措施的协调控制。

因此，基于先进的交通管理系统（Advanced Traffic Management System, ATMS）、先进的交通信息系统（Advanced Traffic Information System, ATIS）和大系统理论等相关领域的技术和措施，以高速公路通道为研究对象，协调制定适当的控制和诱导策略，合理控制和引导高速公路通道交通流，平衡高速公路内部、集散道路内部及二者间的交通，是非常必要的。

1.2 高速公路通道控制发展历程

1.2.1 高速公路控制的发展

早在 20 世纪 60 年代，美国在芝加哥 Congress Street（现为 Eisenhower）快速干道实施了入口匝道控制。经过近 50 年的发展，高速公路交通控制形成了主线控制、出口匝道控制、入口匝道控制等控制方式。在其发展中，经历了单一控制方式到多控制方式的协调控制（如主线限速控制和入口匝道控制的协调控制）、单匝道控制到多匝道协调控制的过程。

主线控制就是对高速公路主线交通流进行调节、诱导和警告。主线控制的基本目标是改善高速公路运行的安全和效率，缓解主线交通拥挤和交通瓶

颈对交通的影响。主线控制常采用限速控制、车道关闭、主线调节、可逆车道控制、公共汽车和合乘车辆的优先控制以及车辆路径诱导。

出口匝道控制是以缓解与出口匝道衔接平面交叉口的交通阻塞和防止出口排队过长导致高速公路交通阻塞为目的的控制方法,包括调节高速公路流出车辆数和封闭出口匝道。出口匝道控制一般极少采用,除非是在发生特殊交通事故等长时间影响道路开放的异常现象时,为解除接近高速公路的交叉口或街道的交通拥挤而使用,但也是和高速公路交通控制的主要目标背道而驰的。其原因是:

(1) 驶出匝道车辆在信号灯前急剧减速,存在向前滑行和造成尾端碰撞的危险。

(2) 等待驶出高速公路的车辆从信号灯向后延伸到高速公路,干扰主线交通。

(3) 从其他出口离开高速公路的车辆的行车时间和距离可能被大大增加。

入口匝道控制将车辆从入口匝道驶入高速公路的过程分解为两个阶段: I. 车辆从匝道进入加速车道; II. 车辆从加速车道汇入主线。入口匝道控制围绕这两阶段展开控制。对第 I 阶段的控制主要是调节驶入主线的交通量,使得匝道下游主线流量不超过其通行能力或服务流量,称为“流量控制”(如无特殊说明,匝道控制通常为流量控制);对第 II 阶段的控制则主要是帮助驶入车辆安全地汇入主线,并尽可能地减少驶入车流对主线车流运行的影响,称为“汇入控制”。入口匝道控制是应用最广、效果最好的一种控制形式。入口匝道控制可分为单匝道控制和多匝道协调控制。单匝道控制以单个入口匝道为控制对象,以本匝道附近高速公路主线的交通状况最优为目标,确定从匝道进入主线的流量(调节率);多匝道协调控制则以高速公路交通状况总体最优为目标,协调确定多个入口匝道的调节率。

1.2.2 集散道路控制的发展

集散道路信号控制诞生于 19 世纪,早在 1868 年,英国伦敦威斯敏斯特街口安装了世界上第一组交通信号灯进行交通控制。当时采用的是煤气灯,通过灯前的红、绿玻璃变换信号灯灯色。但是一次煤气爆炸事故使交通信号灯几乎销声匿迹了近半个世纪,直到 1914 年,交通信号灯才又重新出现在美国的克利夫兰、纽约和芝加哥等城市,但此时它们采用的是电力驱动信号灯,这标志着交通信号控制技术发展的新起点。在近百年的发展中,交通信号控制经历了从手动控制到自动控制、从固定信号周期控制到可变信号周期控制

再到感应控制（适应控制）、从单点控制（点控）到干道控制（线控）再到区域控制（面控）的过程。线控系统协调控制是通过选择适当共用周期、绿信比和相位差，使沿干线行驶的车辆尽可能多地遇到绿灯、车队连续通行的一种联动控制措施。区域协调控制是以城市某区域内主要交叉口为控制对象，根据实际需要，优化选择共用周期、绿信比和相位差，使系统控制目标最优的一种控制策略。目前，在实际交通控制中广泛应用的、较为典型的区域控制系统为 SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) 系统、SCOOT (Split, Cycle, and Offset Optimization Technique) 系统、TRANSYT (TRAffic Network StudY Tool) 系统、OPAC (Optimized Policies for Adaptive Control)、UTOPIA (Urban Traffic OPTimization by Integrated Automation) 系统及 RHODES (Real-time Hierarchial Optimized Distributed Effective System) 系统等^[2-8]。

1.2.3 路径诱导的发展

车辆路径诱导系统 (Vehicle Route Guidance System, VRGS) 或车辆导航系统 (Vehicle Navigation System, VNS) 或交通流诱导系统 (Traffic Flow Guidance System, TFGS) 是指基于电子、计算机、网络和通信等现代技术，利用全球定位系统 (GPS, global positioning system)、电子交通图、计算机和先进的通信技术，使得车载计算机能自动显示车辆位置、交通网络图和道路交通状况，也可根据出行起讫点向用户提供最优路径诱导指令和实时交通信息，或通过实时交通信息帮助用户找到一条从出发点到目的地的最优路径。路径诱导系统把人、车、路综合起来考虑，不仅极大地方便了出行者，使他们可按选定的最优目标获得最优路径信息，也能对交通流在路网的合理分配产生积极影响。VRGS 是先进的出行者信息系统 (Advanced Traveler Information System, ATIS) 的核心子系统，也是智能运输系统 ITS (Intelligent Transportation System) 研究的重要组成部分。

路径诱导的研究起源于 20 世纪 90 年代欧美、日本等发达国家，到目前为止，已开发的典型诱导系统有：日本的 RACS (Road/Automobile Communication System)、AMTICS (Advanced Mobile Traffic Information and Communication System) 及 AMIS (Advanced Mobile Information System)；德国的 LISB (Lei-tend Information System Berlin) 系统、RDSTMC (Radio Data System Traffic Message Channel)、CARMINAT (CARin MINerve ATlas) 及 DYNAGUIDE (DYNAamics GUIDE) 等；英国的 AUTOGUIDE 系统；

美国的 TravTek (Travel Technology)、ADVANCE (Advance Driver and Vehicle Advisory Navigation Concept)、SWIFT (Seattle Wide area Information for Travelers) 等动态路径诱导系统^[9-10]。

1.2.4 高速公路通道协调控制的发展

大多数交通控制研究不是侧重于高速公路匝道控制器的优化设计,便是偏重于集散道路区域信号的配时调节,一般很少考虑两个系统的协调,结果可能是匝道控制改善了高速公路性能的同时,入口匝道的排队或分流给集散道路带来负面影响,如拥挤、延误;也可能是高速公路出现交通拥挤的同时,集散道路通行能力过剩;因此,许多学者开展了高速公路通道协调控制的研究,这些研究主要集中于高速公路匝道控制与主线限速控制的协调控制、高速公路控制与集散道路控制的协调控制、高速公路通道控制与路径诱导的协调控制等方面。

1. 高速公路匝道控制与主线限速的协调控制

主线限速和匝道控制有共同研究对象、有相同目标函数,两者协调是可行的;两者各自优化,可能相互冲突,两者协调是必须的。Alessandri^[11]运用 powell 优化算法求解了小规模网络可变速度与匝道融合的协调控制问题;Papageorgiou^[12]在进行多匝道协调控制时,考虑限速控制影响,运用分层递阶控制方法将其应用于较大规模网络,获得了一些结论。王正武等^[13]基于宏观交通流理论和多 agent 技术建立了二者的协调控制模型,并基于分层递阶控制结构提出了协调控制模型的求解算法。

2. 高速公路与集散道路的协调控制

Payne^[14]根据 Wardrop 均衡原理研究入口匝道排队对高速公路通道的影响,通过动态规划给出一种稳态入口匝道分配策略,使远途出行者优先入匝。Papageorgiou^[15]将匝道和交叉口的协调控制问题定义为基于存储-转发(store-and-forward)模型的最优控制问题。Kotsialos^[16-17]以高速公路网或高速公路通道为研究对象,基于非线性优化控制方法建立了入口匝道控制、信号控制、连接两高速公路的匝道控制、限速控制等多种控制方法的一体化模型。Diakaki^[18]综合已有研究方法,从系统最优角度仿真研究了高速公路通道协调控制系统的设计问题。Chang^[19]实地考察了匝道控制对整个高速公路通道的影响。Salem^[20]以英国 Glasgow 市 M8 通道为背景,通过仿真定量评估匝

道控制、路由控制和信号控制的协调效果,该研究表明合理运用协调控制可显著减少高速公路通道总出行时间。Iida^[21]将匝道控制和路由控制的协调归结为一个非线性非凸两级规划问题,这实际上是系统管理者与出行者之间的一个 Stackel-berg 博弈问题,该问题很难求解,而 Yang^[22]提出一种有效的启发式算法。杨晓芳等^[23]提出在实施快速路与集散道路上、下匝道的协调控制时,应以快速路和集散道路总出行时间最小为目标,且应考虑快速路主线流量与匝道流量之和的约束、主线车辆占有率的约束、速度约束以及集散道路最大排队长度约束等。郑建湖等^[24]以快速路、集散道路的交通需求与通行能力方差和最小为目标,建立事件状态下城市快速路通道优化控制模型,该模型能同时获得最优的绿信比、事件上游出口匝道转移率和事件下游入口匝道转移率。

3. 高速公路通道中控制与路径诱导的协调控制

Kotsialos^[16]提出了入口匝道控制与诱导相结合的协调控制策略,采用考虑路径诱导因素的时间、空间离散化的高速公路宏观交通流模型,并用可行方向法求解协调模型。该方法在小规模网络中应用时,效果很好,但对于较大规模路网,计算复杂性将迅速增加;采用宏观交通流模型参数众多,参数辨识困难;模型参数若随时间变化,或随机扰动,问题将更严重。

交通流的分布形态与交叉口信号配时联系紧密,信号配时方案影响交叉口延误、路线出行时间,从而影响出行者路径选择行为。故 Charlesworth^[25-26]建议信号配时中应考虑信号控制与出行者路径选择行为间的影响,以期获得最优信号配时方案,从而开辟了均衡网络交通信号最优配时(Equilibrium Network Traffic Signal Settings)这一研究领域,其主要思想是 Wardrop均衡交通分配问题与信号控制问题相结合,并将其分解为两个易解决的子问题——动态交通分配^[27]和信号控制。求解分配问题时路段阻抗函数由信号优化子问题推出;信号配时则在交通分配提供的流量模式下进行,直到两个子问题的解收敛至某一标准,迭代过程结束,此时交通分配与配时相互一致,这就是迭代优化法(Iterative Optimization Algorithm, IOA)。IOA可利用传统交通分配和信号配时方法解决协调控制问题且能应用于较大规模的交通网络,但得到的是可行协商解,不能保证收敛至局部最优点,有些情况下可能降低而不是提高网络性能,因此许多学者在迭代模型基础上开发了总体优化模型。

总体优化模型是在正确描述出行者路径选择行为基础上,最优化某一系

统运行指标以获得信号配时方案。总体优化模型可被视为连续形式的网络设计模型,设计变量为配时参数(共用周期、绿信比、相位差)。Gartner^[28]等指出总体优化模型可被视为一个上级-下级或 Stackel-berg 对策问题。Smith^[29]、Marcotte^[30-31]、Luo^[32]、Yang^[33-35]、Clegg^[36]、Gao^[37]、Halim^[38]、Chiou^[39]等均建立了双层规划模型来求解信号配时和交通分配问题,上层规划为信号控制优化问题,下层规划为动态交通分配问题,同时对双层规划问题设计了一些求解算法,如最速下降法、启发式方法、遗传算法等。另外,还有许多学者从不同角度对均衡网络交通最优配时问题进行了研究,如 Jeffrey 等^[40]运用多智能体技术、谭满春等^[41]基于多目标交通分配研究了协调控制问题;周溪召^[42]和葛颖恩等^[43]综述了二者协调的发展过程,并指出了该协调控制的发展方向;李润梅等^[44]建立饱和路段二者的协调控制模型,基于遗传算法和传统非线性最优规划设计了求解算法;刘灿齐等^[45]考虑交叉口车流延误、周八益等^[46]基于多用户动态交通分配、徐建闽等^[47]对多起点多讫点交叉口、杨超等^[48]基于模拟退火算法、Ying 等^[49]基于局部连续优化技术、Ghatee 等^[50]基于下降算法研究了该协调控制问题;马寿峰等^[51]论述了二者协调控制的必要性,阐述了协调模式。

信号控制、匝道控制和路径诱导独立运行,只能局部优化交通流,有时甚至相互冲突,导致系统性能恶化,匝道控制、信号控制和路径诱导的有机协调将大幅度提高城市交通网络的效率,成为交通控制界的追求目标。Diakaki 和 Papageorgiou 等提出的 IN-TUC 策略^[18,52-53]是城市高速公路通道的协调控制策略,其入口匝道控制采用 ALINEA 算法,信号控制采用改进的定时控制,路径诱导则是基于用户最优的,仿真结果表明采用入口匝道控制和路径诱导能减少交通网络出行时间的 19%,同时考虑入口匝道控制、改进的信号控制和路径诱导则可减少整个交通网络出行时间的 26%,而且,该成果在 Scotland 的 Glasgow 高速公路通道应用中也取得了较好的效果。Wu^[54]等也研究了高速公路匝道控制、交叉口信号控制、出口诱导的协调,并将其应用于上下班高速公路通道。朱军功等^[55]将匝道、主线及干线统筹考虑,探讨了协调入口匝道控制、主线控制、干线控制、交叉口控制及路径诱导等措施缓解高速公路通道内交通拥挤和堵塞的必要性和意义,讨论了省域高速公路通道控制体系结构的模式设计。

高速公路通道控制是一种区域控制方法,综合其发展过程,高速公路通道控制具有如下特点:

- (1) 在控制手段上,注重研究高速公路通道中多种控制措施的协调。单

匝道控制、多匝道协调控制对高速公路一个或多个入口匝道进行静态或动态最优控制,虽能改善部分路段的交通状况,但常导致其他部分发生更严重的拥堵,形成“诡异”。为解决此“诡异”问题,现状研究主要进行了:

①高速公路中多种控制方式的协调控制。协调高速公路控制中的主线控制、入口匝道控制、出口匝道控制,期望均衡高速公路各段交通流。

②集散道路的协调控制。通过线控制或面控制,实现集散道路干线或区域的绿波交通。

③高速公路和集散道路的协调控制。协调控制高速公路和集散道路,均衡高速公路和平行集散道路交通流。

④高速公路通道中控制和诱导的协调控制。分析控制和诱导的关联特性,建立二者的一体化优化模型,实现控制和诱导的协同,有效管理道路交通流。

(2) 在控制技术上,注重研究高速公路通道的智能控制。模糊控制、神经网络控制、学习控制、多智能体技术等均被应用到高速公路通道控制中。

(3) 在优化目标上,注重单一性能指标下高速公路通道的最优控制。高速公路控制、集散道路控制和高速公路通道控制主要以总延误最小、通过流量最大或排队长度最短等单一性能指标为目标,对控制区域交通流实施控制。

(4) 在控制结构上,注重采用分布式控制方式。集中控制要求有功能强大的中央处理器实现信息的实时处理、完善的信息采集和传播设备实现信息的实时获取,因高速公路通道是一个高维非线性大系统,若采用集中控制方式,会造成“维数灾”问题,故分布式控制是通道控制的主要控制形式。

(5) 在控制模式上,注重研究高速公路通道的多阶段控制。根据高速公路通道交通拥挤状况,分别制定适应拥挤状态、适应中等交通量的合理的控制方式。

(6) 在控制模型求解方法上,注重研究智能算法。高速公路通道控制的实时性一直就是困扰交通工程师的难题,而实时性的实现与控制问题的快速求解不可分割。随着控制区域的扩大,控制变量的增加,形成了高维的控制问题,其求解是一个 NP-hard 问题,基于经典梯度下降算法、搜索算法无法获得问题的最优解或次优解,因此,智能计算技术,如遗传算法、免疫算法、蚂蚁算法、粒子群优化算法等被应用。

(7) 在交通流诱导方面,注重诱导系统的开发、优化交通流状态的描述、交通状态的预测、驾驶员路线选择机制、路线优化算法及诱导与控制、诱导与管理的一体化框架研究。主要是基于用户最优或系统最优的最优路径搜索,基于混沌理论等的短时交通流预测研究,基于分层递阶技术的诱导与控制一