



交通运输行业博士文库

*Theory, Model and Methodology of Traffic Signal
Coordinate Control*

交通信号协调控制理论 模型与方法

卢凯◎著



人民交通出版社
China Communications Press

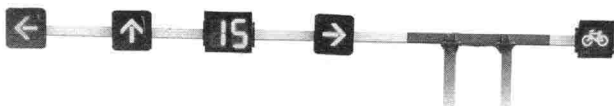


交通运输行业博士文库

*Theory, Models and Methodology of Traffic Signal
Coordinate Control*

交通信号协调控制理论 模型与方法

卢凯◎著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书对交通控制子区划分方法、绿波协调控制模型与算法、停车/延误协调控制模型与算法、交通信号协调控制关键技术实现,展开了深入细致的研究与探讨,相关研究成果进一步丰富与完善了现有城市交通信号协调控制理论方法。全书共分5章,分别为绪论、基于关联度分析的控制子区划分方法、双向绿波协调控制方法、停车/延误协调控制方法、交通信号协调控制关键技术实现。书末对所获研究结果与后续研究工作进行了总结与展望。

本书适合交通信息工程及控制领域的科研技术人员、研究生和高年级本科生研读,也可供交通运输规划与管理、智能交通系统、控制理论与控制工程等相关专业参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

交通信号协调控制理论模型与方法 / 卢凯著. —北京:人民交通出版社, 2013. 11

ISBN 978-7-114-10901-0

I. ①交… II. ①卢… III. ①交通信号—协调控制—研究 IV. ①U491.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第223312号

书 名: 交通信号协调控制理论模型与方法

著 者: 卢 凯

责任编辑: 富砚博 郭红蕊

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880×1230 1/32

印 张: 8.875

字 数: 233千

版 次: 2013年11月 第1版

印 次: 2013年11月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10901-0

定 价: 35.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

随着我国城镇化与机动化的持续推进,城市交通供需紧张的矛盾将长期存在。由于受到土地资源、财政能力的限制,超高强度的城市道路建设将难以长期持续,未来城市中心区的道路容量规模扩大幅度有限,建设速度放缓是必然的发展趋势。我国现行的城市道路交通系统已接近饱和,道路通行能力的提高越来越需要加强对城市道路网的智能管理与优化控制。近年来中央政府和地方政府对城市交通管理与控制工作给予了足够重视,并做出了全面部署。《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020年)》明确将“智能交通管理系统”建设作为交通运输业的一项优先发展主题列入国家需求;2006年国家863计划首次将现代交通管理与控制技术列入重点支持领域,在2010年又设立了“大城市区域交通协同联动控制关键技术”、“智能车路协同关键技术研究”等主题项目;与此同时,北京、上海、广东等省市在谋划其“十二五”发展规划时,也都将治理城市交通拥堵、保障城市交通畅通列为今后城市发展的重要目标,研究先进的城市交通控制理论与建立先进的城市交通控制系统已成为当今国家各级科技部门与城市交通管理部门的共识。

随着路网交通量的增长与路网密度的增大,相邻交叉口之间的相关性作用日益加强,如何从系统战略角度出发,进行有效的交通信号协调控制设计,已成为城市交通控制发展的新要求。因此,本书针对现有交通信号协调控制理论方法的不足,结合现代城市交通信号控制的发展需求与技术特点,在交通控制子区的动态划

分、绿波协调控制模型的建立、停车/延误协调控制模型的建立、交通信号协调控制关键技术的实现等方面进行了研究与探讨。

本书主要内容共分为5章,第1章阐述了研究意义及背景,综述了国内外研究现状,确定了研究目标与研究内容,制定了研究思路与框架结构;第2章分析了交叉口关联因素的影响作用,给出了交叉口关联度的定义与计算方法,确定了控制子区划分方案的评价原则,建立了基于关联度分析的控制子区划分模型,设计了最佳控制子区划分方案的获取流程;第3章修正了双向绿波带宽度的计算方法,制定了最佳相序组合与公共信号周期的选取原则,改进了进口对称放行方式下的经典数解算法,发明了进口单独放行方式下的数解算法,设计了进口混合放行方式下的模型算法,构造了新的绿波协调控制模型目标函数表达式,建立了面向双向不同带宽需求的绿波协调控制模型;第4章分别建立了未饱和与过饱和和两种交通状态下的停车/延误协调控制模型,分析了未饱和状态下停车/延误协调控制模型与双向绿波协调控制模型之间的相关性,给出了过饱和状态下停车/延误与协调控制参数之间的函数关系,设计了基于停车/延误协调控制模型的信号配时优化流程,验证了未饱和与过饱和两套基准阻滞停车/延误模型的一致性;第5章提出了动态分层式区域交通信号控制结构,构建了控制系统的物理架构与逻辑框架,建立了交通控制系统的路网实时信息数据库,给出了控制子区的快速动态划分方法,探讨了信号协调控制配时方案的评价依据与优选方法,设计了协调控制方案的快速平滑过渡算法,并通过对应应用案例的仿真分析与现场调查,验证了本书所述理论模型与技术方法的科学合理性。最后,对本书所取得的主要研究成果与后续值得深入研究的理论技术问题进行了总结与展望。

本书是作者多年从事交通信号控制学习研究和工作实践的成果积累,研究工作得到了博士生导师徐建闽教授的直接关怀和指导。本书的撰写工作得到了王殿海教授、徐亚国教授、杨晓光教授、张毅教授、裴海龙教授、胡跃明教授、许伦辉教授、靳文舟教授



等专家的指导与帮助,得到了李林、郑淑鉴、余尧、林晓辉、李轶舜等交通控制课题组成员的协助。本书的撰写与出版还得到了“交通运输行业博士文库”出版项目、国家自然科学基金项目(61203164)、广东省自然科学基金项目(S2012040007998)、广州市珠江科技新星专项(2013J2200066)及自主系统与网络控制教育部重点实验室开放研究基金课题的资助,作者在此表示衷心感谢,也期待借此书的出版与同行学者进行交流探讨,进一步丰富与完善现有的城市交通信号控制理论方法。

作者
2013年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究意义及背景	1
1.2 研究现状评述	5
1.3 主要研究内容与研究目标	15
1.4 研究思路与框架结构	17
第 2 章 基于关联度分析的控制子区划分方法	21
2.1 交通信号协调控制参数	21
2.2 交叉口关联度分析	26
2.3 控制子区划分模型	42
2.4 控制子区划分方法	46
第 3 章 双向绿波协调控制方法	57
3.1 绿波协调控制	57
3.2 进口对称放行方式下的双向绿波协调控制	61
3.3 进口单独放行方式下的双向绿波协调控制	73
3.4 进口混合放行方式下的双向绿波协调控制	85
3.5 面向双向不同带宽需求的绿波协调控制模型	97
第 4 章 停车/延误协调控制方法	110
4.1 停车/延误协调控制	110
4.2 未饱和交通状态下的停车/延误协调控制	119
4.3 过饱和交通状态下的停车/延误协调控制	144
4.4 不同控制方式与不同交通状态下的停车/ 延误比较	167

第5章 交通信号协调控制关键技术实现	171
5.1 交通信号控制系统结构框架设计	171
5.2 交通信号控制系统功能模块分析设计	178
5.3 交通信号控制系统应用案例分析	209
结论与展望	231
参考文献	235
符号说明	247
附录1 控制子区划分核心程序代码	257
附录2 其他几种子区划分方案下的信号配时优化设计	264

第1章 绪论

面对快速城镇化和快速机动化的双重压力,城市交通运输需求量迅猛增长,城市交通拥堵日益严重,交通事故频繁发生,交通能源消耗和污染物排放不断增加,给人类的生存环境带来了严峻挑战。本书将从城市交通信号控制角度出发,通过研究城市交通信号协调控制基础理论与关键技术,为缓解交通拥挤、减少交通事故、降低交通污染提供相应的科学技术方法。

1.1 研究意义及背景

1.1.1 研究意义

交通是城市经济活动的命脉,对于促进城市经济发展、提高人民生活水平都起着十分重要的作用。近年来,随着汽车工业的迅速发展,汽车工业在极大推动世界经济迅猛发展的同时,也为人类生存的环境、经济和社会带来了日益严重的不良影响。由于城市道路建设难以跟上车辆发展的速度,城市道路增长的有限性与车辆增长的近似无限性之间呈现出的矛盾,导致城市交通问题日益严重,交通事故频发、道路拥挤堵塞、空气污染加剧、运输效率下降。为了缓解道路交通拥挤状况,适应交通量迅猛增长的趋势,国内许多城市采用了拓宽路面、新建高架路等措施,其最初收效较为明显,但是经过实践发现,建设并不能无限制地满足需求,大量建设并不是解决城市交通问题的根本途径,只有在不断拓展基础设施的同时,利用更高效的管理手段,提高现有设施的利用率和负

荷,加强对交通需求的管理,加强对城市道路网的智能管理与优化控制,才能更好地满足人们出行的需求。

调查统计发现,城市路网中的平面交叉口是造成车流中断、事故增多、延误严重的主要根源,是城市交通运输的瓶颈,其通行能力通常远低于路段的通行能力,因此如何保障平面交叉口的交通安全和充分发挥交叉口的通行效率是解决城市交通问题的关键所在。交通信号控制作为平面交叉口交通管理中的一种重要手段,将通过合理控制交叉口信号灯的灯色变化,指挥交叉口各向车辆与行人有序通行,从而达到减少交通拥挤与堵塞、保证城市道路通畅和避免发生交通事故的控制目的。理论与实践表明,科学合理的交通信号控制方案能有效改善车辆通过交叉口的行车安全,显著降低交叉口交通事故的发生概率;能有效缩短车辆通过交叉口的延误时间,适当提高道路交叉口的通行能力;可以大大减少车辆通过交叉口的停车次数,有效降低因车辆启动与制动所产生的大气污染与噪声污染。

交通信号控制诞生于19世纪60年代,早在1868年,英国伦敦威斯敏斯特街口就安装了世界上第一组交通信号灯。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,当时的交通信号灯采用的是电力驱动,与现在意义上的信号灯已经相差无几,这也标志着城市交通信号控制技术发展的新起点。在近百年的发展过程中,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、从无感应控制到有感应控制、从孤立交叉口信号控制到干道信号协调控制,再到区域信号协调控制的发展历程^[1-3]。

随着现代城市道路交通量的增长、路网密度的增大,交叉口之间的相关性日益明显。在一个区域或者整个城市中,一个交叉口交通信号的调整往往会影响到相邻若干个交叉口交通流的运行状况,一个交叉口的拥堵可能会随着时间的推移逐步波及周边数个交叉口乃

至所在区域的所有交叉口。因此,城市交通对信号控制的要求变得越来越高,以某个区域甚至整个城市作为研究对象的区域信号协调控制理论方法研究也越来越受到研究人员的重视。如何从整个系统的战略角度出发,将区域内的所有交叉口以一定方式连接起来作为研究对象,同时对各个交叉口进行有效交通信号协调控制设计,以防止排队车辆蔓延至下游交叉口发生交通阻塞,避免行驶车队在干道交叉口群连续受阻,提高整个控制区域内的交通运输效率,解决城市交通容量不足、交通拥堵与交通污染等交通问题,已成为城市交通控制发展的新要求。城市交通信号协调控制系统既是现代城市交通管理中的重要环节,也是智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)中的重要组成部分,已成为衡量一个城市乃至整个国家智能交通系统发展水平的重要标志。

1.1.2 研究背景

在干道信号协调控制研究方面,早在1917年,美国盐湖城出现的手控协调式干道信号控制系统,可对6个干道交叉口实施固定信号周期的协调控制;1922年,电子计时干道协调控制系统在美国休斯敦投入使用,能对12个干道交叉口进行固定信号周期的协调控制;1928年,步进式定时干道协调控制系统出现在美国的各大城市,能对多个干道交叉口实现可变信号周期的协调控制。在区域信号协调控制研究方面,自20世纪60年代,加拿大多伦多市建成世界上第一套由数字计算机实现的城市区域交通信号控制系统,揭开了城市交通控制系统发展历史的序幕,之后国外许多交通运输研究机构便开始致力于研究交通区域信号协调控制技术,试图通过建立模拟区域交通流运行状况的数学模型,解决区域信号配时的优化问题。其中较为成功的有英国运输研究所(TRL)研制的TRANSYT(Traffic Network Study Tool)系统^[4]与SCOOT(Split Cycle and Offset Optimization Technique)系统^[5,6]、澳大利亚新南威尔士道路与交通局(RTA)研制的SCATS(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)系统^[7,8]、意大利Mizar Automazione公司研制的

SPOT/UTOPIA (Signal Progression Optimization Technique/Urban Traffic Optimization by Integrated Automation) 系统^[9]、美国亚利桑那州立大学研制的 RHODES (Real-time Hierarchical Optimized Distributed and Effective System) 系统^[10] 以及美国 PB Farradyne 公司与马萨诸塞大学卢维尔分校共同研制的 OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control) 系统^[11,12] 等。

与之相比,我国在交通区域信号协调控制方面的研究起步较晚,直到 20 世纪 80 年代才开始启动这方面的研究工作。国家一方面组织科研机构进行以改善城市市中心交通为核心的交通信号控制系统研究,例如在国家计委、国家科委的支持下,交通部、公安部与南京市合作完成了“七五”攻关项目,自主研发了南京城市交通控制系统 HT-UTCS;另一方面采取引进与开发相结合的方针,先后引进并建立了一些城市交通信号控制系统,例如在北京、大连、成都等城市引进了 SCOOT 系统,在上海、广州、沈阳等城市引进了 SCATS 系统,在深圳引进了 KYOSAN 系统等。近年来,我国各级政府部门对城市交通管理工作更是给予了高度重视,2000 年,公安部、建设部开始在全国 138 个大中城市开展以提高城市交通管理水平为中心的“畅通工程”;2006 年,国家 863 计划首次将现代交通管理与控制技术列入重点支持领域;2006 年,最新公布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020 年)》明确将智能交通管理系统作为交通运输业的一项优先发展主题列入国家需求。建立先进的综合交通控制管理系统已成为城市交通管理部门的共识。

迄今为止,国内取得的交通信号协调控制基础理论研究成果较少,相关理论方法研究缺乏系统性与完整性,城市交通信号协调控制系统的自主研发受到了很大制约,大部分交通信号控制系统还停留在单交叉口孤立信号控制或简易干道信号协调控制的水平之上;相比而言,国外学者对交通信号协调控制理论方法的研究则较为全面深入,并适当将其融入相应的城市交通信号控制系统之中,取得了一定的实际协调控制效果。然而从防止技术垄断、防范

风险、促进民族科技发展以及后续技术支持的角度来看,完全依靠国外的交通信号控制系统来解决我国城市未来发展所面临的交通拥挤问题,必然存在诸多不利因素,况且许多国外的交通信号控制系统并不能很好地适应于我国特有的交通流状况。

因此,建立一套相对完整的交通信号协调控制基础理论体系,实现多项交通信号协调控制关键技术的创新突破,将为今后自主研发适合于我国路情的交通信号协调控制系统提供重要坚实的技术保障,具有深远的研究意义与广阔的应用前景。

1.2 研究现状评述

国内外现有交通信号协调控制的基础理论与应用研究,主要集中在交通控制子区的划分、协调控制模型的建立、智能控制方法的运用以及控制系统结构框架的设计等方面。根据本书的主要内容与研究成果,着重对交叉口关联性分析、交通控制子区划分、绿波协调控制模型建立、停车/延误协调控制模型建立以及交通控制系统结构框架构建五个方面的国内外研究现状进行分析评述。

1.2.1 交叉口关联性分析

交叉口之间的关联性实为其物理关联特征与交通关联特征的综合反映,其中物理关联特征用于表明交叉口是否相邻,交通关联特征则用于表明交叉口之间的耦合程度。对于交叉口之间的关联性分析首先应确定其是否物理关联,之后再研究其交通关联程度,因此交叉口相邻是进行交叉口关联性分析研究的前提基础。相邻交叉口之间的关联性将直接决定交叉口之间是否需要进行信号协调,也是控制子区划分与协调方式选取的重要依据,应成为交通信号协调控制理论方法研究的一块奠基石。

在国外,Yagoda(1973)^[13]定义相邻交叉口之间的耦合度为路段交通流量与路段长度之比,并提出通过耦合度大小来判定相邻

交叉口之间是否需要信号协调控制。NAC(1975)^[14]提出当相邻交叉口之间的车辆平均行驶时间处于一个信号周期之内时,则需要对这两个交叉口的信号控制方案进行协调处理。Pinnell(1975)^[15]分析了交叉口间距、路段交通组织方式、信号相位设计、车流到达特性以及交通流波动性等因素对相邻交叉口关联性大小的影响,并综合相关研究将决定相邻交叉口协调控制需求的主要因素归为地理位置关系、交通流量等级与交通流特性三类。Chang(1985)^[16]认为相邻交叉口协调与否主要将取决于下游交叉口到达车流的密度分布,相邻交叉口关联性大小与上游交叉口的控制策略密切相关,并提出影响下游交叉口车流到达特性的主要因素为上游交叉口驶入流向流量比和车队行驶离散程度。TRB(1987)^[17]推荐使用 Whitson 模型计算相邻交叉口关联度,通过在模型中引入路段行程时间、上游交叉口最大驶入流向流量和上游交叉口平均驶入流向流量,综合反映出路段长度、行程车速、路段流量、车流转向比例等关联因素的作用影响。

在国内,高云峰(2007)^[18]考虑到上游交叉口驶入流向数与下游交叉口进口平均排队长度的作用影响,对 Whitson 关联度计算模型进行了相应改进。段后利(2009)^[19]通过研究交叉口车队散布模型,提出了一个对相邻交叉口间协调控制效益进行定量描述的交通参量——可协调度,并将其定义为下游交叉口绿灯期间达到车队车辆所占上游交叉口放行车队车辆比率与协调相位时间所占信号周期比率之比。马万经(2009)^[20]建立了综合考虑交叉口信号相位、路径流量不均匀性、交叉口间距与交叉口排队的路径关联度模型,分析了交叉口间距、排队车辆数以及信号相位设置对交叉口路径关联度的影响。

然而,上述交叉口关联性研究方法多数都存在对某些关键因素考虑不足,或对部分影响因素描述不准,或相关结构参数难以标定等缺陷;且尚未考虑交叉口之间信号控制需求差异对其关联性大小的客观影响;对于多个交叉口之间的总关联性也并未涉及,较不利于后续开展控制子区划分方法的深入研究。

1.2.2 交通控制子区划分

交通控制子区划分应根据控制区域内信号交叉口与相连路段的空间几何特征和动态交通流特性,运用关联性分析方法、最优化理论以及计算机技术,将整个控制区域合理划分为若干个控制子区,通过子区内与子区间的协调控制设计实现区域信号最佳协调控制效果。

在国外,Walinchus(1971)^[21]首次提出了交通控制子区的概念,认为应将控制子区分界线划在流量特性或道路特性发生显著变化的地段以及行政边界之上,并阐述了采用控制子区动态划分方式的必要性。Stockfish、Kell与Pline(1972,1991,1992)^[22-24]总结影响控制子区划分的主要因素包含:交通状态的一致性、车队行驶的离散性、车流行驶受扰程度、行政区划情况、道路几何特性、相邻交叉口间距、路段行驶车速、交通流量大小以及交叉口的信号配时等。Yagoda(1973)^[13]提出当相邻交叉口之间的耦合度大于0.5时,应对其进行信号协调控制;Pinnell(1975)^[15]认为当相邻交叉口间距小于610m时,应对其实施信号协调控制;FHWA(1978)^[25]则建议当主干道相邻交叉口间距小于800m时,应将其划在同一子区进行协调控制。Graham、Castle与Baass(1962,1985,1988)^[26-28]对相邻交叉口间距与车队行驶离散特性之间的相关关系进行了实验研究,并发现道路等级特征也是影响车队行驶离散特性的重要因素。Chang(1986)^[29]综合考虑路段交通流状态与车队行驶离散性影响,给出了相邻交叉口关联指数的计算表达式,并设定相邻交叉口分离合并的关联指数阈值为0.35,通过对关联指数的分析比较,实现了相邻交叉口的自动分合。Lin(1995,2000,2009)^[30-32]提出了交通控制子区划分的量化指标与方法体系,研究了基于搜索算法的控制子区划分技术;通过研究多车道路段上行驶车队的判定方法,建立了基于行驶车队完整率与起始车队车辆数的相邻交叉口协调控制间距模型,并利用逐步回归分析法对间距模型参数进行了标定,实现了不同交通需求下的相邻交叉口动

态分离与合并。Trafficware(2001)^[33]研制的信号配时设计软件包Synchro 5.0可以根据交叉口间距、路段行驶时间以及交通流量等参数,利用经验计算公式求取相邻交叉口之间的协调因子,并建议设计者当协调因子数值大于80时相邻交叉口之间必须进行信号协调控制以免发生拥堵,而当协调因子数值小于20时相邻交叉口之间则无需进行信号协调控制。Tian(2003)^[34]建议通常可将3~5个信号交叉口划分为一个控制子区,以便能为各个控制子区提供最大的实效性绿波带宽,并指出应调整控制子区实际所含交叉口数量,以确保绿波带宽通过率接近100%。著名的TRANSYT与SCOOT系统均采用静态分区控制策略,需要设计者根据控制区域的历史流量数据、路网道路特性、地理位置关系以及协调控制需求,事先将控制子区划分方案完全固定下来,而不能根据交通状态与路网特性的变化动态划分控制子区;SCATS系统则采用半动态分区控制策略,需要设计者根据控制区域的历史流量数据、路网道路特性、地理位置关系以及协调控制需求,事先确定最小控制子区单元以作为组成区域协调控制系统的基本单元,并根据控制子区间信号周期的差异性大小,利用投票计数法实现最小控制子区间的动态分离与合并。

在国内,莫汉康(2002)^[35]针对交通诱导条件下的控制子区自动划分问题,利用诱导系统提供的共享数据,结合周期原则、流量原则与距离原则,详细设计了周期子区与流量子区的自动划分过程,实现了诱导条件下的控制子区自动划分。杨庆芳(2006)^[36]提出了周期子区和相位差/绿信比子区的概念,通过比对子区间的信号周期实现周期子区动态分合,利用车流流向原则与相位差调整量最小原则进行相位差/绿信比子区动态调整,给出了一种基于周期子区与相位差/绿信比子区的控制子区动态划分方法。陈晓明(2007)^[37]通过建立路段排队最远点模型,结合流量原则与距离原则,提出以路段车辆排队最远点到停车线的距离与路段长度之比作为控制子区划分指标,为判定交叉口是否划入相邻控制子区提供了量化依据。李瑞敏(2008)^[38]综合考虑交叉口间距、交通流离

散性、主干道交通流量、主干道交通构成以及信号周期等因素对交叉口间协调控制需求大小的影响,运用模糊控制理论确定了协调系数的模糊推理方法,提出了一种基于协调系数的控制子区模糊动态划分方法。段后利(2009)^[19]建立了基于可协调度的城市路网超图划分模型,并采用超图划分算法 HMETIS 实现了交通控制子区的动态划分,为解决大规模城市路网的控制子区快速动态划分问题所借鉴。高自友(2006)^[39]提出根据路网节点之间不同强度的相互作用,可将城市交通路网抽象成为一个复杂加权网络,通过综合利用道路交通流状态、网络交通模型与复杂网络理论以展开对路网分区协调控制理论的深入研究。徐丽群(2009)^[40]分析了城市路网子区划分所需解决的基本问题,建立了动态路网分区概念模型,通过设计路网节点重要度判断算法、采用逐层扫描技术搜索节点交通流作用路径,提出了一种基于路网节点重要度的路网分区树生长算法。

然而,上述控制子区划分方法多仅以相邻交叉口之间的关联性大小作为子区划分依据,尚未考虑多交叉口之间总关联性大小对于控制子区划分的作用影响;对于某些因素的影响(如交叉口之间的最佳信号周期差异)考虑不足,未能将影响控制子区划分的各种因素进行有效综合,未能制定出系统明晰的控制子区划分准则与指标体系;大部分算法也仅限于理论研究,在实际工程中鲜见成功应用。

1.2.3 绿波协调控制模型

干道绿波协调控制是城市交通信号控制系统中优先选用的一种重要控制方式,其特点显著优势明显^[41]:能够保证干道直行车队行驶速度快、停车次数少、服务水平高;可以提高车流行驶的平滑性与道路实际通行能力;能够调节路段车辆行驶车速,增强车辆行驶速度的一致性;可以促使驾驶人与行人更加遵守交通信号,减少交叉口交通事故发生;并能进一步提升城市干道的吸引力与优先地位,更有利于取得良好信号协调控制效果。因此,干道绿波协调