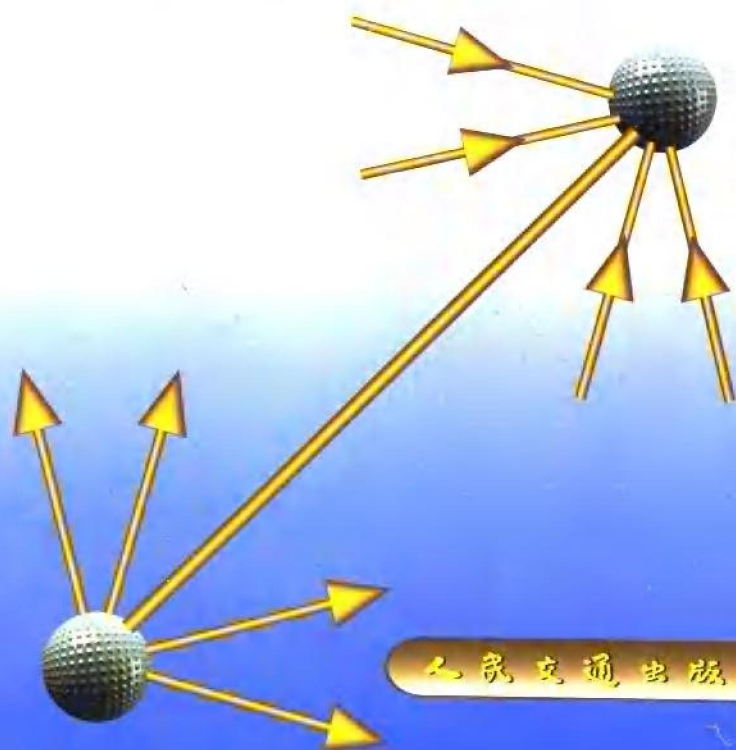


中华人民共和国交通部资助出版
交通类学科(专业)学术著作

城市交通流

诱导系统理论与模型

杨兆升 著



人民交通出版社

国家自然科学基金重点项目研究成果
交通部资助出版项目

CHENGSHI JIAOTONGLIU YOUDAO
XITONG LILUN YU MOXING

城市交通诱导系统理论与模型

陈兆华 著

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市交通流诱导系统理论与模型/杨兆升著.-北京:
人民交通出版社,1999.9

ISBN 7-114-03443-1

I. 城… II. 杨… III. 城市运输-交通流-交通运输管理
自动控制系统 IV. U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999) 第 31410 号

城市交通流诱导系统理论与模型

杨兆升 著

版式设计:周 园 责任校对:张 捷 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:9.75 字数:252 千

2000 年 1 月 第 1 版

2000 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-2000 册 定价:16.00 元

ISBN 7-114-03443-1

U·02453

内 容 提 要

城市交通流诱导系统是智能运输系统的核心研究领域,交通流诱导系统理论与模型也是智能运输系统的基础理论。本专著是作者近年来科学研究成果的总结,书中所涉及的内容是智能运输系统理论研究的最新成果。该书主要内容包括:智能运输系统的产生与发展,城市交通流诱导系统的结构框架,最优控制动态交通分配模型新算法,离散时间动态随机交通分配模型,基于 BP 神经网络的交通信息理论模型及其应用,基于神经网络的实时交通流量模糊预测,基于高阶神经网络(HGNN)的交通信息自适应预测模型及算法,基于卡尔曼滤波理论的交通信息预测模型及应用,路网节点流量关系研究,基于流体神经网络的最优路径选择模型及其算法,交通流诱导系统信息采集技术,交通流诱导与交通控制系统的一体化研究,以及交通流诱导系统软件介绍。

本专著可作为交通运输、交通工程等专业的高年级本科生和交通信息工程及控制、交通运输规划与管理专业硕士生、博士生的参考教材,也可以供从事智能运输系统、交通信息工程及控制、交通运输规划与管理等领域工作的科学研究人员和技术人员参考。

前 言

智能运输系统(ITS)是目前公认的全面有效地解决交通运输领域问题,特别是交通拥挤、交通阻塞、交通事故和交通污染等的最佳途径。自 80 年代以来,发达国家投入了大量人力、物力和财力对 ITS 的诸多领域进行了广泛的研究,取得了显著的阶段性成果。受国情、国力的限制,我国采用分层次、有重点地对 ITS 的核心内容进行研究。城市交通流诱导系统是智能运输系统的核心研究领域,交通流诱导系统理论模型也是智能运输系统的基础理论,本专著主要论述了交通流诱导系统的理论与模型。

从学术意义和实用价值并重的角度出发,本专著运用了 BP 神经网络、卡尔曼滤波理论等,开发了崭新的交通信息自适应预测模型、用户最优路径选择模型及其求解算法。在此基础上,创建了交通流诱导系统的实时动态交通分配理论模型和软件,并以典型城市的交通网络数据进行了验证。本专著提出了许多新的理论和模型体系,其内容如下:①提出了我国城市交通流诱导系统的结构框架,为具体研究与应用提供了理论指导;②为已有的动态交通分配模型设计了新的算法与软件,大大提高了模型优化的计算速度;③提出了离散时间动态随机交通分配模型,该模型以离散时间形式提供在一天或高峰期间路网交通流的变化,同时考虑了先入先出的原则和路段拥挤效应,该模型对交通流的假设更接近实际;④建立 3 种基于卡尔曼滤波理论的交通流量预测模型和 3 种基于卡尔曼滤波理论的行程时间预测模型,利用长春市的交通实测数据对模型进行了实际应用,结果表明它们都具有较高的预测精度;⑤首次运用 BP 神经网络、高阶神经网络、遗传算法和流体神经网络理论建立了实时动态交通分配模型,丰富了动态交通分配问题的

研究方法;⑥开发了交通信息实时自适应滚动预测的新方法,提高了交通流预测速度和精度;⑦根据道路网络的特性和交通流诱导系统的实际需要,首次提出了准用户最优的分配准则;⑧通过全面分析和评价流体神经网络模型的形成与应用过程,首次提出了流体神经网络模型参数优化算法,大大扩展了该模型的应用范围;⑨开发了基于流体神经网络模型的新的准用户最优路径选择方法。

本专著根据作者本人主持的国家自然科学基金重点项目《城市交通流诱导系统理论模型和方法研究》、吉林省科委项目《实时动态交通分配理论模型与软件研究》和在美国运输部主持并完成的 ITS 项目《准实时动态交通分配理论模型研究》等研究成果综合整理而成。承蒙课题组全体人员,特别是姜桂艳、朱中、徐立群、初连禹、温慧敏、王殿海、李全喜以及美国运输部 William L. Willams 和 Hana M. Maier 等,在完成此书稿的过程中给予了很大帮助,同时,本专著出版得到“上海发展汽车工业教育基金会”的资助,在此一并表示衷心感谢。

我国智能运输系统的研究还刚刚起步,尽管本专著所阐述的理论模型有重大的突破,解决了许多国家尚未解决的关键科学技术问题,但还有一些理论问题有待进一步研究。由于作者水平有限,本专著纰漏难免,敬请读者批评指正。

杨 兆 升
于吉林工业大学

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 智能运输系统的产生与发展	1
§ 1.2 智能运输系统的研究内容	3
§ 1.3 交通流诱导系统理论与模型综述	12
§ 1.4 小结	13
第二章 城市交通流诱导系统的结构框架	14
§ 2.1 概述	14
§ 2.2 世界各国城市交通流诱导系统研究	14
§ 2.3 我国城市交通流诱导系统结构框架	26
§ 2.4 小结	29
第三章 最优控制动态交通分配模型新算法	30
§ 3.1 概述	30
§ 3.2 最优控制动态交通分配模型	31
§ 3.3 遗传算法	34
§ 3.4 新算法设计及应用	37
§ 3.5 小结	41
第四章 离散时间动态随机交通分配模型	43
§ 4.1 概述	43
§ 4.2 行程时间模型	45
§ 4.3 运输需求模型	49
§ 4.4 运输需求调整模型	50
§ 4.5 计算过程	52

§ 4.6	小结	52
第五章	基于 BP 神经网络的交通信息理论模型及其应用	54
§ 5.1	概述	54
§ 5.2	误差反传神经网络的基本原理	56
§ 5.3	基于 BP 神经网络的交通流量预测模型	60
§ 5.4	基于 BP 神经网络的行程时间预测模型	63
§ 5.5	基于 BP 神经网络交通流量及行程时间 预测模型的应用	65
§ 5.6	小结	75
第六章	基于神经网络的实时交通流模糊预测	77
§ 6.1	概述	77
§ 6.2	城市道路的交通流特性分析	78
§ 6.3	以检测器数据估计路段行程时间的方法概述	86
§ 6.4	基于神经网络的路段实时行程时间模糊预测	89
§ 6.5	仿真实验	93
§ 6.6	小结	96
第七章	基于高阶神经网络的交通信息自适应预测模型与 算法	98
§ 7.1	概述	98
§ 7.2	多层前馈网络与高阶神经网络	99
§ 7.3	基于 HGNN 的交通信息自适应预测模型设计	105
§ 7.4	交通信息自适应预测 HGNN 结构优化算法设计	110
§ 7.5	交通信息自适应预测 HGNN 参数自适应调整算法 设计	120
§ 7.6	小结	127
第八章	基于卡尔曼滤波理论的交通信息预测模型及其 应用	129
§ 8.1	概述	129

§ 8.2	卡尔曼滤波理论	130
§ 8.3	基于卡尔曼滤波理论交通流量预测模型	133
§ 8.4	基于卡尔曼滤波理论的行程时间预测模型	140
§ 8.5	基于卡尔曼滤波理论交通流量及行程时间预测 模型的应用	147
§ 8.6	小结	167
第九章	路网节点流量关系研究	169
§ 9.1	概述	169
§ 9.2	路网节点交通流量相关性分析	171
§ 9.3	路网节点交通流量聚类分析	175
§ 9.4	路网节点交通流量判别分析	182
§ 9.5	小结	185
第十章	基于流体神经网络的最优路径选择模型及其算法	186
§ 10.1	概述	186
§ 10.2	流体神经网络的起源及其模型	187
§ 10.3	用于交通网络的流体神经网络模型及其应用	192
§ 10.4	广义路阻与准用户最优	203
§ 10.5	准用户最优路径选择模型及其应用	207
§ 10.6	小结	217
第十一章	交通流诱导系统信息采集技术	219
§ 11.1	概述	219
§ 11.2	交通流量采集技术	219
§ 11.3	行程时间采集技术	221
§ 11.4	模型验证的交通信息采集及处理	226
§ 11.5	小结	231
第十二章	交通流诱导与交通控制系统	232
§ 12.1	概述	232

§ 12.2	基于用户出行行为的动态交通分配模型研究·····	233
§ 12.3	基于城市交通控制系统的动态车辆行驶路线 选择·····	241
§ 12.4	小结·····	251
第十三章	交通流诱导系统软件介绍·····	252
§ 13.1	交通流诱导系统软件的功能与结构·····	252
§ 13.2	交通流量预测模块说明·····	254
§ 13.3	行程时间预测模块说明·····	261
§ 13.4	准用户最优路径选择模块说明·····	270
§ 13.5	交通流诱导系统软件说明·····	274
参考文献	·····	275

第一章 绪 论

本章概括地介绍了“智能运输系统”(Intelligent Transportation Systems, 简称 ITS)的产生与发展以及它的主要研究内容。根据国内外智能运输系统的研究现状,提出了交通流诱导系统是智能运输系统的核心研究内容。

§ 1.1 智能运输系统的产生与发展

交通运输业的发展水平是国家兴旺发达的重要标志之一。交通运输业的高速发展,一方面促进了物资交流和人们的往来,大大地缩短了出行时间,提高了工作效率;另一方面也带来了许多弊病,特别是汽车交通运输,不论是在发达国家还是在发展中国家,都存在着不同程度的问题。近半个世纪以来,交通拥挤、道路阻塞和交通事故频繁发生正越来越严重地困扰着世界各国的大城市。为了提高运输网络使用效率,解决交通拥挤和交通安全问题,从60年代以来,发达国家进行了城市交通规划研究和交通控制研究。交通规划是建立在交通需求的基础上,其目的是获得交通流量在城市道路网络中的分配状况,从而确定道路网络密度是否能满足现在和未来的交通需求,这一过程是解决交通设施的供给与需求的矛盾,使城市道路网络布局合理化。交通控制主要指城市交叉路口的交通信号控制,目前美国采用 TRANSYT 系统,英国采用 SCOOT 系统,澳大利亚采用 SCAT 系统。其中后两种是自适应式交通信号控制系统(Traffic Adaptive Signal Control Sys-

tem),美国运输部联邦公路局近年来也在从事自适应式交通信号控制系统的研究。当城市交叉路口采用了先进的交通信号控制系统后,减少了行车延误时间,提高了路口的通行能力,降低了车辆的停车次数,减少了燃料消耗和汽车排放的有害物质等。到目前为止,世界上已有 350 多个大城市采用了先进的交通信号控制系统,我国沈阳、北京、上海、南京、广州、深圳、大连、南宁、郑州、天津等十几个大城市也使用了此类系统。虽然城市交通规划和城市交通控制是城市交通运输网络建设和管理不可缺少的重要环节,但实践证明,仅仅依靠这两种措施不足以经济、高效地解决交通拥挤和交通安全问题。这是因为交通网络是一个复杂的大系统,单独从车辆方面考虑或单独从道路方面考虑都是很难得以完美解决的。

80 年代以来,发达国家交通运输领域的研究进入了一个崭新的阶段,美国、日本、加拿大、英国、德国、法国、澳大利亚等国都投入大量的人力和物力从事于智能运输系统的研究。例如美国国会于 1991 年提出了一项“冰茶法案(The Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991,简称 ISTEA),国会责成美国运输部负责全面开展 ITS 研究。

智能运输系统是在关键基础理论模型研究的前提下,把先进的信息技术、数据通信技术、电子控制技术及计算机处理技术等有效地综合运用于地面交通管理体系,从而建立起一种大范围、全方位发挥作用,并实时、准确、高效的交通运输管理系统。由于该系统可以使汽车与道路的功能智能化,是目前国际公认的解决城市以及高速公路交通拥挤、改善行车安全、提高运行效率、减少空气污染等的最佳途径,也是全世界交通运输领域研究的前沿问题。可以预料,“智能运输系统”将成为 21 世纪现代化地面交通运输体系的模式和发展方向,是交通运输进入信息时代的重要标志。

在世界范围内,智能运输系统研究与发展是不均衡的,日本和

欧洲一些国家起步较早,初期阶段的研究主要集中在交通安全、经济高效和减少污染等领域。美国的 ITS 研究起步较晚,1994 年以前称“智能车辆道路系统(Intelligent Vehicle-Highway Systems,简称 IVHS),后因研究内容的扩大,改名为“智能运输系统”,即 ITS。同时,美国成立了一个社会组织来协调 ITS 领域的研究,该组织称 Intelligent Transportation Society of America (ITS AMERICA)。目前随着 ITS 研究领域和内容的不断深入发展,逐渐形成了美国、欧洲和日本三大体系。下一节将具体介绍三大体系的研究内容和我国的 ITS 研究内容。

§ 1.2 智能运输系统的研究内容

美国、欧洲和日本在智能运输系统研究方面各有侧重,美国虽然起步稍晚于欧洲和日本,但从智能运输系统研究领域和内容看,美国的 ITS 研究领域较宽,研究内容也比较丰富。

1.2.1 美国 ITS 研究内容

在 1994 年 10 月份以前,美国 IVHS 研究内容主要集中在“先进的交通管理系统(Advanced Traffic Management Systems)”、“先进的出行者信息系统(Advanced Traveler Information Systems)”、“先进的公共运输系统(Advanced Public Transportation Systems)”、“商业车辆运营系统(Commercial Vehicle Operations)”等方面。目前美国的 ITS 研究集中在 7 个领域共 29 项研究内容。1996 年美国运输部确定智能运输系统的研究项目(Intelligent Transportation Systems Projects)为 309 项。下边主要介绍 ITS 的 7 个领域共 29 项研究内容。

1. 出行和运输管理系统

这个系统包括了 6 项主要内容:

(1)在线驾驶员信息系统。该系统包括驾驶员的引导系统和车内标志系统。驾驶员的引导系统主要为驾驶员提供实时的交通流状况、交通事故、建筑情况、公共交通时刻表、气候条件等信息。利用这些信息,驾驶员可以选择最佳的行驶路线,出行者可以在中途改变其出行方式。车内标志系统主要提供与路面实际标志相同的车内标志,也可以包括道路条件的警告标志和一些特殊车辆的安全限速。这一服务内容特别适合于老年驾驶员和在旅游区、危险道路条件下的驾驶。

(2)路线引导系统。它为出行者提供到达目的地的最佳行驶路线。早期的路线引导是一个静止的信息系统,如果能实现全方位的调度,这个系统就可以为出行者提供实时的信息(Real-time information),使出行者遵循着最佳的行驶路线到达目的地。该系统不仅适用于机动车辆,对行人和自行车也有同样的作用,可以借用手提式设备获得最佳的行驶路线,引导他们到达目的地。

(3)出行者服务信息系统。这个系统可以为出行者提供快速服务,如出行者到达目的地的位置、工作时间、食物供应情况、停车场的情况、车辆修理站、医院和交通警察办公室。通过这个服务系统,出行者不管在家、办公室或其他场所均可得到相应信息。

(4)交通控制系统。为高速公路和城市道路提供一个自适应的智能控制系统,从而改善交通流状况,为公交车辆提供优先权,以缓解所有机动车辆的交通拥挤问题。另外此系统还可以促进行人和自行车的交通安全。该系统还设有先进的交通流量监控装置和分析技术,以确定交通量的最佳分配方案和实时的交通信息。

(5)交通事件管理系统。帮助公共和民间机构迅速确认突发事件并作出响应,以最大限度地减少突发事件对交通的影响。

(6)车辆排放物的检测和控制系統。系统采用先进的车辆排放物检测设备进行空气质量监控,并采用一系列措施控制污染。

2. 出行需求管理系统

(1)出行前的信息系统。出行前的信息是指出行者出发前在家中、工作地和其他地方所获得的出行实时信息,如公共交通线路、时间表、换乘和票价等,另外还有城市间长途出行和休假出行信息,以及实时的交通事故信息、线路变动和线路行车速度等信息。通过这些信息,出行者可以选择最佳路线、出行方式、出发时间或决定是否要出行等。

(2)合伙乘车(carpool)的信息系统。这个系统可以非常方便地提供合伙乘车信息,这样可以减少小客车的交通流量,缓解交通拥挤和减少交通事故的发生,这不仅对工作出行的人有利,而且为老年人和残疾人提供了极大的方便。

(3)需求管理和营运。该项研究通过制定运输需求管理和控制政策,减少个人单独开车工作出行的数量,促使人们更多利用高乘载率车辆和公共交通运输,并为欲提高出行效率的人员提供更多的备选出行方式。

3. 公共交通运输管理系统

该领域共包括 4 项研究内容:

(1)公共交通管理。为了改善公共交通运输管理,它主要应用计算机技术对车辆及设施的技术状况和服务水平进行实时分析,实现公交系统营运、规划及管理功能的自动化。

(2)途中换乘信息。该项研究可为使用公共交通运输方式的出行者提供实时准确的中转和换乘信息,帮助出行人员在途中根据需要作出及时的换乘决定并调整出行计划。

(3)个体的公交运输(灵活的公交车辆)。这种公共交通运输可以满足个人非定线或准定线的公共交通运输需求,为乘客提供非常方便的服务。

(4)公共交通运输安全。它为公共交通的乘车人员和驾驶员提供一个安全的运输环境。实际上本项服务是为客运站、停车场、公共汽车站及途中行驶的公共汽车提供环境安全监控系统,并且

在必要时自动或人工发出警报,这样可以提高驾驶员和乘客的安全性。

4. 电子收费系统

电子收费系统是为用户支付通行费、车票费、存车费等提供一种通用的电子支付手段,实现收费和支付的自动化,从而推动多式联运的发展。该项服务利用“智能卡”或其它技术形成一种通用的支付服务体系。它是可以真正允许个人通过同一媒体进行财务结算的多功能系统。在条件成熟时,电子收费系统能以其电子支付的灵活性为出行需求管理提供便利,提高出行需求管理部门对采用运价政策影响人们的出发时间及出行方式选择的控制能力。

5. 商业车辆的运行系统

(1)商业车辆的电子通关系统。这个系统要求货车和公共汽车装有无线电接收装置,确定主要行驶路线的车辆行驶速度和装载质量,以确保车辆的行驶安全。这个系统在美国、墨西哥和加拿大边境上使用后,取得了非常明显的效果。

(2)路边安全检查的自动化系统。这个系统为车辆和驾驶员提供一个实时的安全检查途径,它可确定哪台车辆应该停车受检。整个系统是通过传感器和诊断装置自动对车辆性能等进行检查的。

(3)车载安全监控系统。该系统能自动监控商业车辆、货物和驾驶员的安全状况。

(4)商业车辆的行政管理系统。该系统以电子手段办理注册手续,自动记录里程、燃料消耗报告和检查账目。

(5)商业车队管理系统。该系统可为驾驶员、调度员和多式联运管理人员建立通信(Communications)联系,利用实时信息确定车辆的位置,并使车辆在非拥挤道路上行驶。车队可以利用 ITS 技术使运输车辆运行更加有效、可靠。

(6)危险品应急响应系统。该系统可以为执法人员提供及时、

准确的危险品种类信息,使其能在紧急情况下作出适当处理,从而控制危险,避免事故的发生。

6. 紧急情况管理系统

(1)紧急情况通报和个人安全。这个部分包括两个功能:其一是保证驾驶员和其他人员的安全,其二是自动通报系统在危险事故发生后,会使车辆自动制动并通知救援机构。

(2)紧急情况车辆管理。这种车辆管理首先必须具有公共安全机构,由该机构与车队管理部门建立直接通讯联系。当事故发生后,车队管理部门可以确定紧急车辆的当前位置,并且帮助调度人员尽快派出救援车辆。当道路交通信号设有紧急事故的优先处理系统时,路线引导系统可以直接指示交通事故发生的确切位置。

7. 先进的交通控制和安全系统

(1)避免纵向碰撞。这个服务系统主要目的是减少车辆间的首尾相撞、车辆与人和物相撞。为了减少这种碰撞,在可能发生这种碰撞的地点设有检测器,随时提醒驾驶员避免碰撞发生。

(2)避免侧向碰撞。为防止车辆离开道路产生的车与车、车与物的碰撞,该系统设置的监控器可以观察到驾驶员看不到的地点,同时警告驾驶员避免即将发生的碰撞。

(3)避免交叉路口的碰撞。这个系统可以警告驾驶员防止在逼近和穿过交叉路口时发生的碰撞,在交叉路口通行权不清楚的情况下,提醒驾驶员小心驾驶。

(4)扩展视野防止碰撞。改善驾驶员的视野,使其避免潜在性的碰撞。该系统还可以帮助驾驶员遵守交通标志和信号。

(5)碰撞前的预防措施。为了保证乘客的安全,在不可避免碰撞的情况下,应预先采取一些措施,防止人员伤亡。这些措施有:正确使用安全带(Lap-shoulder belts),车上应装有安全气囊(Air bags)等。

(6)安全预报系统。该系统能实现对驾驶员、车辆、道路状况