



保丽霞 著

智能交通集成控制与管理



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

智能交通集成控制与管理

保丽霞 著



同济大学出版社

TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书面向城市道路交通系统中人、车、路智能化、信息化协同管理和控制的基础问题,围绕智能交通系统(Intelligent Transportation Systems, ITS)中交通信息采集处理和发布、交通信号控制、出行者信息诱导等主要子系统,结合 ITS 集成控制和管理的发展趋势,以数据共享、协同处理、集成控制为目标,分析了 ITS 子系统基本原理、多 ITS 方式协同运作在区域交通、枢纽、大型活动中的应用。介绍了城市道路交通基础数据集成处理、行程时间预测、交通状态判别及网络交通流动态分析方法,阐述了地面道路、快速路、公交、出行者信息诱导等系统的基础信息协同、算法协同、策略协同。

本书是一本关于智能交通集成控制与管理的基础理论、实践方法的书籍,对交通信号控制、出行者信息诱导、公交信号优先等 ITS 集成系统的实践具有一定的指导意义。

本书可作为交通信息工程及控制方向的硕士和本科学生辅导教材,也可作为城市 ITS 建设运营管理者以及相关工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

智能交通集成控制与管理/保丽霞著.--上海:同济大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5608-4934-8

I. ①智… II. ①保… III. ①交通运输管理—自动化系统 IV. ①U495

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 172127 号

智能交通集成控制与管理

保丽霞 著

责任编辑 姚烨铭

责任校对 张德胜

封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社

(www.tongjipress.com.cn 地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 14.5

字 数 290 000

版 次 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-4934-8

定 价 38.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

序

近年来,城市化进程的加速和车辆的急剧增加给我国城市交通带来巨大的压力。尽管城市交通基础设施在逐年建设发展,但是,我国大城市道路面积率仍普遍较低(欧美大城市为 25%~35%,北京为 6.0%,上海为 9.4%),其增加速度难以满足日益增长的交通需求。实际状况表明:2010 年,我国的道路交通事故死亡人数约 6.7 万人,直接财产损失达 9.1 亿元;我国每年因交通堵塞造成的 GDP 损失超过 2%,全世界污染最严重的 10 个城市中,我国占了 5 个,而交通造成的噪声污染占噪声污染总强度的 90%以上,造成的 CO 污染占总污染强度的 90%以上。随着经济的进一步发展,交通拥挤、交通事故以及由此引发的环境污染、能源消耗、经济损失等交通问题已经成为我国全面发展的主要制约因素之一,亟待解决。

ITS 作为国际公认缓解交通问题的途径之一,在世界范围内备受关注。目前,美国、欧洲和日本在 ITS 的各子系统研发方面均已取得了不同程度的进步。近年来,我国投入了大量的人力和物力,将 ITS 列为《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》优先发展主题。但是,ITS 是一个由多子系统共同构成的复杂大系统,各功能子系统间相互关联、交互影响。传统的以各 ITS 子系统独立运作的发展模式已不能有效改善现代日益复杂的城市交通问题,难以满足城市发展的需求,在实践过程中逐渐暴露出一系列的缺陷和不足,如各功能子系统间缺乏有效协作、可拓展性差、开放性不足,造成城市交通的重复建设和资源浪费等。

如何有效地对城市各交通子系统进行集成、协同、优化,实现人、车、路智能化、信息化协同管理和控制,使 ITS 能够充分发挥其缓解城市交通问题的功效,最大限度地满足或赶超不断增长的城市需求,满足城市经济的可持续快速发展,已成为当今世界 ITS 事业建设中亟须解决的主要交通科学问题,且势在必行。理论是解决科学问题的重要指导思想,实践是在理论的指导下解决科学问题的桥梁。但是,以往研究主要注重 ITS 核心子系统的集成,如交通控制和交通诱导系统的有效集成,关于 ITS 多子系统的集成研究则较为缺乏。因此,着手这项工作的首要任务就是进行关键的基础理论与方法研究。本书介绍了 ITS 集成的基础理论、基本方法,对 ITS 集成系统的实践具有一定的指导意义,而且对全面推

动 ITS 集成控制和管理持续开展,缓解我国城市交通诸多问题具有积极的作用和重要的现实意义。

杨兆升

2011年9月22日

前言

2000年,我开始了对智能交通系统的学习和研究。从书本到网络,从理论到实践,从科研到工程,从学校到社会,10年的纵横交错,我从对智能交通的懵懂,到现在对这个行业的热爱,让我很想写本书送给自己。几次整理了这10年来的读书积累,却拙于动笔。古往今来,书,乃道行深者,集万物之精粹。看看自己的文字,大多是ITS领域心得、文章、随笔、总结等,从综合交通信息平台、区域交通信号控制到出行者信息服务、智能公共交通、大型综合交通枢纽等,涵盖了城市道路交通的多种方式,其中,也有自己对社会交通现象的一些分析和理解。

中国智能交通经过近15年的发展,交通信息采集和发布、交通信号控制、出行者信息诱导、智能公共交通等,都建设了智能化、信息化控制和调度系统,在交通行业管理中提升了服务水平。随着物联网、车路协同、区域协调、安全应急等新的需求和发展,ITS集成、协同成为国际和国内的热点。低碳、简约、集成、协同也充分体现了资源合理利用、减少碳排放、绿色出行的交通主旋律。

本书分4篇共16章。

第一篇,以智能交通系统的内容和发展历程展开,介绍了其低碳、简约、集成、协同、安全的发展趋势。在对城市路网交通信号控制、出行者信息诱导机理阐述的基础上,引出智能交通集成控制系统,并介绍了车路协同、ITS综合技术在城市路网、枢纽区域、大型赛事活动中的应用,分析了常见智能交通集成控制系统的架构和数据组织。

第二篇,基础交通数据集成与网络交通流分析是ITS集成控制的基础,第7章介绍了路段行程时间分析和预测,第8章提出交通状态判别和分类方法,第9章介绍了网络交通流的分析方法和如何实现路网的流量均衡。

第三篇,重点介绍智能交通集成控制和管理方法,第10章揭示诱导与控制的反馈作用,阐述利用预测型行程时间为交通信号控制服务,第11章是公交预信号的实施处理方法,第11、12章以匝道衔接快速路、地面道路交通流为对象,介绍连续、间断交通流的协调控制。

第四篇,是本书的应用案例篇,以虹桥综合交通枢纽信息平台、主从式交通信

号集成控制、基于 SCATS 的公交信号优先 3 个典型集成控制和管理应用案例,阐述了地面道路、快速路、公交、出行者信息诱导等系统的基础信息协同、算法协同、策略协同。

本书撰写素材主要取自 10 年来在智能交通系统领域的研究成果,感谢杨兆升教授、杨晓光教授、陈洪教授级高工对我这么多年的悉心指导以及课题组给我提供科研的机会。

本书的成果来源于我所负责的中国博士后科学基金及上海市科技启明星项目“城市快速路入口匝道及其衔接交叉口交通协同控制优化模型与实施技术研究”,以及参与的教育部科学技术“973”预研项目“城市交通系统智能协同理论、模型及其实现”,科技部支撑计划“上海世博智能交通技术综合集成系统”等系列科研及示范工程,感谢他们给我提供的资助。

本书 4.2 节、8.2 节的撰写由高翔完成,8.1.2 条由彭庆艳完成。本书撰写过程中,得到刘新杰、韩如文、华建春、蒋松涛等课题组成员的帮助,一并感谢。

本书作为智能交通集成控制和管理之书,阐述了自己对 ITS 发展趋势的理解,提供了一些理论研究和实践方法,如有疏漏和错误之处,敬请批评指正。

保丽霞

2011 年 6 月 12 日

目 录

序
前言

第一篇 智能交通系统集成

第1章 智能交通系统	3
1.1 智能交通系统概论	3
1.2 智能交通系统的发展趋势	13
第2章 城市路网交通信号控制	15
2.1 城市路网交通信号控制	15
2.2 城市快速路控制	24
第3章 出行者信息服务及诱导	29
3.1 城市交通流诱导系统的意义和分类	29
3.2 面向公众的交通信息发布	30
3.3 个性化交通信息服务	31
3.4 国外出行者信息服务系统	31
3.5 车载导航系统的技术分析	33
第4章 智能交通集成控制系统	36
4.1 国内外智能交通集成控制系统现状	36
4.2 车路协同系统	39
4.3 枢纽区域快速交通走廊的智能交通集成	42
4.4 ITS技术在大型活动交通管理与控制中的集成应用	44
第5章 智能交通集成控制系统分析及框架	53
5.1 交通控制与出行诱导的协同分析	53
5.2 基于多智能体的分层协同实施框架	57

第二篇 基础交通数据集成与网络交通流分析

第6章 基础交通信息采集与共享	65
-----------------------	----

6.1	基础交通信息分类	65
6.2	行程时间的采集技术	66
6.3	ITS 集成管理和控制平台	70
6.4	交通数据融合	71
第7章	行程时间分析及预测	75
7.1	行程时间估计	75
7.2	交叉口延误与路段行程时间相关性算例分析	85
7.3	交通事件下行程时间估计算法	89
第8章	交通状态判别与拥挤时间估计	95
8.1	城市道路交通拥挤及参数变化	95
8.2	交通拥挤的空间扩散与持续时间估计	105
第9章	网络交通流双目标标准均衡动态交通分配模型	109
9.1	系统最优动态交通分配理论	109
9.2	常见的 SODTA 求解算法	113
9.3	网络交通流双目标标准均衡分配模型	116

第三篇 智能交通集成控制和管理方法

第10章	交通控制与区域诱导协同参数优化调整	131
10.1	基本交通信号控制参数	131
10.2	交通流诱导信息的发布区域和周期	138
10.3	诱导与控制协同的子区和周期确定	141
10.4	基于诱导信息(预测型行程时间)的信号相位差优化	144
第11章	公交预信号控制及诱导协同	152
11.1	国内外相关研究及应用	152
11.2	预信号设置条件及布局	153
11.3	预信号控制参数计算	155
11.4	应用举例	156
第12章	匝道调节控制	160
12.1	匝道调节控制策略	160
12.2	匝道协调控制的实施环境	164
12.3	基于分层反馈的多匝道协调控制算法	168

第 13 章	快速路多入口匝道及衔接地面道路诱导控制集成	172
13.1	协调控制优化模型	172
13.2	快速路多匝道区域交通流集成控制方案	179

第四篇 智能交通集成管理和控制典型应用

第 14 章	虹桥枢纽智能交通集成管理和控制平台	183
14.1	虹桥综合交通枢纽位置及概况	183
14.2	基于 Multi-agent 的虹桥枢纽交通管理系统框架	186
第 15 章	主从式交通信号集成控制	190
15.1	主从机小区域控制	190
15.2	集成控制方式及描述	192
15.3	主要控制方式的控制流程	194
15.4	各控制方式降级条件	196
第 16 章	基于 SCATS 的公交信号优先	200
16.1	公交信号优先背景	200
16.2	公交信号优先的实施条件调查	201
16.3	信号优先总体方案	204
16.4	优先原则	204
16.5	主动请求式公交信号优先	207
16.6	SCATS 中的公交信号优先实施技术	210
主要参考文献		217

第一篇 | 智能交通系统集成

第1章

智能交通系统

1.1 智能交通系统概论

1.1.1 智能交通系统发展

随着全世界范围内的经济发展、社会进步、城市化进程的加快,人们对交通运输的需求也明显增加,交通运输与社会经济生活的联系也越来越紧密.尤其在大中城市,随着人民生活水平的提高,机动车数量的不断增加,交通堵塞、交通事故等问题愈来愈严重,由此而引起的能源浪费、环境污染等问题已成为影响社会发展的消极因素.

交通拥挤对社会生活最直接的影响是增加了居民的出行时间和成本,据估计,美国每年因交通阻塞而造成的经济损失约为 410 亿美元.交通拥挤也导致了交通事故的增多,欧洲每年因交通事故造成经济损失达 500 亿美元之多,我国大城市的交通事故发生率更是高出西方发达国家数倍,财产与生命损失更是无法估量(2010 年,全国道路交通事故导致 65 225 人死亡,占有所有安全生产事故死亡总数的 82%).交通拥挤还破坏了城市环境,据统计,中国的城市环境污染状况相当于西方发达国家 20 世纪 70 年代水平,全世界污染最严重的 10 个城市中,中国占 5 个,而交通造成的噪声污染占噪声污染总强度 90%以上,造成的 CO 污染占总污染强度的 90%以上.

以往人们通常采取修建和改建道路等措施以缓解交通拥挤和堵塞的局面,但是,城市可供道路建设土地面积不足的现状使得这一方法已不能满足日益增长的交通需求.国内外正在研发、建设智能交通系统(Intelligent Transportation Systems,简称 ITS),以期缓解交通拥挤和堵塞的局面,最大限度地利用交通设施,提高行车的安全性和舒适性.根据 PIARC(世界道路协会)ITS handbook,在达到同样的道路通行能力要求下,“建设+ITS”的成本比“仅建设”节约 30%左右.

智能交通系统是通过研究交通关键基础理论模型,将信息技术、通信技术、电子控制技术和系统综合技术等有效地应用于交通运输系统,从而建立起大范围内发挥作用的实时、准确、高效的运输管理系统。

智能交通系统利用现代科学技术在道路、车辆和驾驶员(乘客)之间建立起智能的联系,可以使车辆在道路上安全、自由地行驶,最佳限度地调整道路运行状态,保障人、车、路的协调统一,在提高运输效率的同时,保障交通安全、改善环境质量、提高能源利用率。是目前国际公认的缓解城市以及公路交通拥挤、改善行车安全、提高运行效率、减少空气污染等的最佳途径之一,也是全世界交通运输领域研究的前沿课题。

随着智能交通的发展,它的作用已经不仅仅是提高道路通行能力,缓解交通拥挤,而且正逐渐向无人驾驶、车路协同方向发展,它将为全球提供安全、人性化的交通出行。

1.1.2 欧洲、美国、日本、中国 ITS 历程

1973 年,日本国际贸易和工业省发起了全面的车辆交通控制系统研究,从而拉开了国际 ITS 的研究帷幕。日本的 ITS 具有如下特点:

- (1) 大多数的 ITS 项目由实力雄厚的汽车、电子业的大公司或由政府机构承担;
- (2) 政府和工业部门对 ITS 研究长期的支持使得其 ITS 研究具有连贯性;
- (3) ITS 的研究成果直接面向市场,这种研究动力促进了诸如车辆导航系统等产品的快速开发与应用;

(4) 成立于 1994 年的 VERTIS(Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society)是一个制定日本的 ITS 发展策略、协调工业和公用部门、在制定 ITS 标准方面产生国际影响的跨政府部门的组织,政府通过 VERTIS 影响国内的 ITS 研究走向;

(5) 目前,日本在 ATMS(Advanced Traffic Management System)和 ATIS(Advanced Traffic Information System)的实际部署方面处于国际前列。

1986 年欧洲开始涉足 ITS 领域的研究。由欧洲主要汽车公司发起的 PROMETHUS(Programmed for an European Traffic with Highest Efficiency and unprecedented Safety)计划旨在以汽车为主体,利用先进的信息、通信、自动化技术来改善运输系统,减轻交通问题;由欧洲社团委员会(EC—European Community)发起的 DRIVE(Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe)计划主要涉及公路和交通控制技术的研究。在 1991 年末成立的 ERTICO(European Road Transport

Telematics Implementation Coordination Organization)作为民间的公共组织,负责监督和协调欧洲的 ITS 研究、发展和实施. 欧洲的 ITS 特点:

- (1) 在广泛的 ITS 领域都进行着研究与开发;
- (2) EC 发起组织的 ITS 研究立项缜密,着重技术的部署与评价,具有高度的研究连贯性;
- (3) 欧洲在公路上广泛部署了车辆专用电台,可以向用户提供声音或编码信息(由多种语言广播,可接收实时交通状况报告);
- (4) 欧洲城里的道路相对狭窄,交通拥挤,甚至私人小汽车也不能进入市中心. 所以,欧洲从一开始从事 ITS 研究时就把公共交通视为重要的研究内容,公交优先和公交乘客信息系统已投入使用.

美国比欧洲和日本部署 ITS 研究要晚,1987 年,一些对 ITS 感兴趣的学者成立了 Mobility 2000 组织,该组织后来演变成为现在的 ITS America. ITS America 不但是美国运输部的国家 ITS 研究发展规划的咨询机构,而且还负责协调美国工业部门和大学、科研机构的 ITS 研究. 1991 年 12 月,美国通过了 ISTEA (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act)法案,标志着美国联邦政府对 ITS 研究的参与、协调和支持. 目前,美国已经在 ITS 的整体组织及规划、技术研究开发、工程运营等一些 ITS 方面处于国际领先地位.

从 1994 年开始,ITS America、ERTICO、VERTIS 联合起来每年都要召开一次国际 ITS 大会.

在中国,1996 年国家自然科学基金委员会重点资助第一个智能交通系统研究项目“城市交通流诱导系统理论模型和方法研究”;2000 年,由科技部牵头,相关部门及多个科研院所、高校共同承担了“中国智能运输系统体系框架研究”课题,制定了我国智能运输系统的服务领域、逻辑框架和物理框架.

2000 年,国家启动 ITS“十五”示范工程,确定 10 个示范城市;2001 年,科技部又启动了“十五”国家科技攻关重大项目“智能交通系统关键技术开发和示范工程”. “十一五”期间,国家设立了国家科技支撑计划重大项目“国家综合智能交通技术集成应用示范”课题,包括北京奥运智能交通管理与服务综合系统、上海世博智能交通技术综合集成系统、广州亚运智能交通综合信息平台系统、国家高速公路联网不停车收费和服务系统、远洋船舶及货物运输在线监控系统以及国家综合智能交通发展模式及评估评价体系研究 6 个课题.

2010 年国家“863”计划中,现代交通技术领域设立了两个与智能交通相关的课题

“智能车路协同关键技术研究”和“大城市区域交通协同联动控制关键技术”，新一轮关于车路协同、区域交通联动的研究和应用逐步展开。

1.1.3 智能交通系统服务和框架

目前国际上的 ITS 研究形成了美国、日本和欧洲三大阵营，在 ITS 这个名称出现之前，美国的 IVHS(Intelligent Vehicle-Highway Systems)、欧洲的 RTI(Road Transport Informatics)、ATT(Advanced Transport Telematics)、日本的 RACS(Road/Automobile Communication System)、UTMS(Universal Traffic Management System)等都是和 ITS 意义等同的称谓。

从服务的种类和名称看，ITS 主要为出行者、交通管理、车辆等服务。见表 1.1。

表 1.1 服务构成 (Service grouping)

序号	服务种类	服务名称	服务名称(英文)
1	出行者信息	出行前信息	Pre-trip Information
2		在途驾驶员信息	On-trip Information
3		在途公共交通信息	On-trip Public Transport Information
4		个人信息服务	Personal Information Service
5		路径诱导与导航	Route Guidance & Navigation
6	交通管理	运输规划支持	Transportation Planning Support
7		交通控制	Traffic Control
8		事件管理	Incident Management
9		需求管理	Demand Management
10		交通法规监督与执行	Policing/ Enforcing Traffic Regulations
11		基础设施维护与管理	Infrastructure Maintenance Management
12	车辆	视野扩展	Vision Enhancement
13		自动车辆运营	Automated Vehicle Operation
14		纵向避碰	Longitude Collision Avoidance
15		横向避碰	Lateral Collision Avoidance

续表

序号	服务种类	服务名称	服务名称(英文)
16		安全防护	Safety Readiness
17		碰前束护	Pre-crash Restraint Deployment
18	商用车辆	商用车辆提前通关	Commercial Vehicle Pre-clearance
19		商用车辆管理过程	Commercial Vehicle Administrative Processes
20		自动路边安全检验	Automated Roadside Safety Inspection
21		商用车辆车载安全监视	Commercial Vehicle On-board Safety Monitoring
22		商用车队管理	Commercial Vehicle Fleet Management
23	公共交通	公共交通管理	Public Transport Management
24		需求响应式公共交通	Demand Responsive Public Transport
25		共享交通管理	Shared Transport Management
26	紧急情况	紧急情况通报及人身安全	Emergency Notification and Personal Security
27		紧急车辆管理	Emergency Vehicle Management
28		危险货物和事件通报	Hazardous Material & Incident Notification
29	电子收费	电子财务交易	Electronic Financial Transactions
30	安全	公共出行安全	Public Travel Security
31		易受伤害道路使用者安全强化	Safety Enhancement for Vulnerable Road Users
32		智能交叉口与智能路段	Intelligent Junctions and Links

根据美国 ITS 框架,其开发项目分为八个领域和 32 个用户服务项目,见表 1.2.

表 1.2 美国智能交通系统框架研究领域和用户服务

研究领域	用户服务项目
出行和交通管理 (Travel and Traffic Management)	(1) 出行前信息;(2) 在途驾驶员信息;(3) 路径导航;(4) 汽车共乘和预约服务;(5) 出行者服务信息;(6) 交通控制;(7) 事件管理;(8) 出行需求管理;(9) 排放物测试和控制;(10) 公路和铁路交叉口控制