

Advanced Computing Technology for City Traffic 城市交通先进计算技术

蒋昌俊 章昭辉 著



科学出版社

城市交通先进计算技术

Advanced Computing Technology for City Traffic

蒋昌俊 章昭辉 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍城市交通先进计算技术——城市交通问题的深度计算和广域服务技术,将先进的信息技术应用于城市交通问题的高效处理,促进智能交通系统计算技术的发展。全书共8章,分别介绍城市交通先进计算技术的研究背景和意义、城市交通系统先进的体系结构、网络任务的调度、多源交通数据集成与融合处理、动态路况建模与预测、动态网络最优出行路径、大规模交通并行仿真等,最后着重介绍城市交通先进计算技术的应用实例——交通信息服务网格系统的设计与实现。

本书既可作为计算机科学与技术领域研究人员的参考书,也可作为智能交通领域研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市交通先进计算技术/蒋昌俊,章昭辉著. —北京:科学出版社,2014.12

ISBN 978-7-03-042735-9

I. ①城… II. ①蒋… ②章… III. ①信息技术—应用—城市交通—研究 IV. ①U12-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 288720 号

责任编辑:孙 芳 余 丁 董粟芹/责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

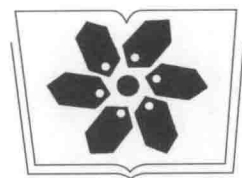
2014年12月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014年12月第一次印刷 印张:13 3/4 彩插:1

字数:260 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



中国科学院科学出版基金资助出版

作者简介

蒋昌俊，男，1962年出生，教授、博士生导师，国家杰出青年科学基金获得者，973项目首席科学家。1986年和1991年分别于山东科技大学获得计算数学学士和计算机软件与理论硕士学位，1995年于中国科学院自动化所获得控制理论与工程博士学位，1997年于中国科学院计算技术研究所博士后出站。现任同济大学副校长、嵌入式系统与服务计算教育部重点实验室主任、上海市电子交易与信息服务平台主任。主要学术职务有国家自然科学基金委信息学部咨询委员会委员、中国云体系产业创新战略联盟副理事长、中国人工智能学会副理事长、中国自动化学会常务理事、中国计算机学会理事、中国计算机学会 Petri 网专委会主任、中国人工智能学会自然计算专委会主任、上海市科协副主席、英国工程技术学会会士 (IET Fellow)、美国电子电气工程师学会 (IEEE) 上海分会副主席等。担任《计算机学报》、《软件学报》、《电子学报》、*Computer & Communications* 等国内外期刊编委或客座编辑。担任国际学术会议主席、程序委员会主席、委员等 20 余次。目前与香港科技大学、澳门大学、美国科罗拉多大学、得克萨斯理工大学、英国布鲁诺尔大学、德国柏林洪堡大学、芬兰奥尔多大学等开展合作研究。

主要从事 Petri 网理论、并发系统、服务计算和交通信息工程等研究。担任 973 项目“信息服务的模型与机理研究”首席科学家，先后主持国家自然科学基金重大研究计划集成项目、国家自然科学基金重点项目、863 项目、国家发展和改革委员会项目及国际重点科技合作项目等十余项。在《中国科学》、*ACM Transactions on Embedded Computing Systems*、*IEEE Transactions on Computers*、*IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*、*IEEE Transactions on Mobile Computing*、*IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*、*IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 等国内外重要刊物和会议文集上发表论文 100 余篇，论文被国内外同行引用千余次。独立完成著作两部，分别由科学出版社（中国科学院科学出版基金）和高等教育出版社（教育部优秀博士学位论文出版基金）出版。

研究成果获得 2013 年国家科技进步奖二等奖（第 1 位）、2010 年国家技术发明奖二等奖（第 1 位）、2009 年上海市技术发明奖一等奖（第 1 位）、2007 年教育部科技进步奖一等奖（第 1 位）、1999 年山东省科技进步（理论）奖二等奖（第 1 位）、1994 年山东省科技进步（理论）奖二等奖（第 2 位）、1995 年中国科学院自然科学奖二等奖（第 5 位）等，此外还获得首届全国百篇优秀博士学位论文（1999 年）、

国际离散事件动态系统领域 (DEDS) 何潘清漪奖 (1997 年, 每两年一次、每次奖励 1~2 位优秀论文作者)、ACM 国际会议最佳论文奖 (2014 年) 和国际期刊 *International Journal of Distributed Systems and Technologies (IJ DST)* 2010 年度最佳论文等。获国家发明专利授权 22 项。指导的研究生获得全国优秀博士论文提名 1 位、CCF 优秀博士论文 1 位、上海市优秀博士论文 3 位。2007 年作为“嵌入式服务计算”团队带头人获得教育部优秀创新团队。

章昭辉, 男, 1971 年出生, 安徽绩溪人, 博士、教授、硕士生导师。1994 年本科毕业于安徽师范大学, 2006 年博士毕业于同济大学, 主要研究兴趣为高性能计算、服务计算、网格计算、云计算、车联网、智能交通系统等。

前 言

城市交通拥堵、出行难已经成为世界各大城市的共同难题。高效的智能交通系统有助于改善城市交通状况，提升交通管理水平。然而，我国现有的城市智能交通系统信息服务能力较低，依赖于信息技术的交通管理水平有限，交通资源不能有效共享，严重制约城市发展。而国外的智能交通系统不能完全适合我国的混杂交通的国情。现有的智能交通系统还无法对城市交通进行深度计算和广域服务。先进的智能交通系统不仅需要成熟的、合适的交通理论，还强依赖于先进的信息技术实现智能交通系统和完善交通理论，并提升交通管理水平和管理效率。

本书从信息技术角度，首次将网格计算技术引入城市交通系统，开展了网格技术在城市交通中的应用研究。历时十多年的研发，持续得到上海市、国家自然科学基金委员会、国家科学技术部、国家发展和改革委员会等单位的项目支持，形成了城市交通先进技术的整套理论与方法，研制了交通信息服务网格平台及其应用系统，并在上海市 71 路和 72 路公交及其线路、上海天舟信息技术有限公司等进行了应用示范。

城市交通先进计算技术的研究不仅从理论方法上建立信息网格服务的深度计算理论和面向密集型信息服务的广域服务技术，推进信息网格理论与共性技术的研究。而且从应用上研制面向交通的信息网格平台，实现大规模、高密度、实时性交通信息服务与管理，支持 Web、手机、PDA、车载终端、电子站牌、触摸屏、可变信息板等终端的动态交通信息点播与发布，缓解交通拥堵，改善市民出行，提升城市形象，取得良好的社会经济效益。

本书着重介绍了交通系统的先进系统体系结构、并发交通任务调度、大规模多源数据处理、动态路况建模与预测、动态网络最优出行路径、大规模交通并行仿真和交通网格平台实现等技术。研究团队发表了数十篇 SCI、EI 等学术成果，获得了 10 多项专利授权，培养了 20 多名博士、硕士和博士后。城市交通先进计算技术相关研究成果先后获得了教育部科技进步奖一等奖、国家科技进步奖二等奖等。

本书在写作过程中，得到了蒋昌俊指导的博士生、硕士生、博士后的大力支持，感谢他们为本书提供了相关的材料。

感谢同济大学嵌入式系统与服务计算教育部重点实验室的老师、博士生、硕

士生和博士后的热情支持与帮助。

本书不仅适合信息技术领域的研究生和相关研究人员参考，而且适合交通领域相关人员阅读。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

2014年5月10日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究	3
1.2.1 网格技术的研究	3
1.2.2 智能交通系统的研究	5
1.3 交通信息服务网格的关键技术	7
1.4 本章小结	9
参考文献	9
第 2 章 交通网格体系结构	12
2.1 网格计算的体系结构	12
2.1.1 网格计算技术	12
2.1.2 五层沙漏结构	14
2.1.3 开放网格服务体系结构	16
2.2 交通信息服务的需求	16
2.2.1 交通信息网格	16
2.2.2 数据采集	17
2.2.3 交通相关服务处理	17
2.2.4 服务发布	18
2.3 交通信息服务网格的标准规范	18
2.3.1 面向服务的概念模型	18
2.3.2 交通信息服务网格参考框架	19
2.3.3 服务规范	21
2.4 交通信息服务网格的体系结构	23
2.4.1 基于 OGSA 的交通信息网格框架	23
2.4.2 交通信息网格的服务体系	25
2.5 本章小结	26
参考文献	26
第 3 章 网格任务的调度	29
3.1 网格任务的调度问题	29

3.2	优先级 Min-Min 任务调度算法	31
3.2.1	Min-Min 算法存在的问题	31
3.2.2	PMM 算法对 Min-Min 算法的改进	32
3.2.3	PMM 算法的分析	34
3.2.4	PMM 算法测试及分析	34
3.3	双匹配任务调度算法	35
3.3.1	双匹配问题	35
3.3.2	BM 调度算法	36
3.3.3	BM 算法分析	37
3.3.4	BM 算法测试及分析	38
3.4	异构环境下基于松弛标记法的任务调度算法	39
3.4.1	资源分配问题	39
3.4.2	松弛标记法任务调度模型	40
3.4.3	松弛标记调度算法	42
3.4.4	算法测试与性能分析	43
3.5	基于模糊聚类的 DAG 任务图调度算法	46
3.5.1	任务与资源的异构匹配问题	46
3.5.2	模糊聚类的调度模型	47
3.5.3	FCBSH 算法	53
3.5.4	算法测试与性能分析	55
3.6	本章小结	58
	参考文献	58
第 4 章	多源交通数据集成与融合处理	61
4.1	分布式异构数据融合问题	61
4.2	多源流动车 GPS 数据定义	62
4.2.1	出租车 GPS 消息数据格式	62
4.2.2	公交车 GPS 消息数据格式	63
4.2.3	GPS 数据包格式	64
4.3	数据的组织与存储	64
4.4	虚拟数据库模型	68
4.5	GPS 数据的获取与预处理	70
4.6	基于分裂技术的异构多源数据分布融合	72
4.6.1	基本概念	72
4.6.2	DP-MM 算法	73
4.6.3	DP-MM 算法测试与分析	79

4.7 本章小结	80
参考文献	80
第5章 动态路况建模与预测	82
5.1 动态路况建模与预测问题	82
5.2 基于非线性回归的路况建模	83
5.2.1 最小二乘法	83
5.2.2 路况曲线的拟合	84
5.3 基于主曲线方法的路况建模	86
5.3.1 主曲线的概念	86
5.3.2 主曲线算法	87
5.3.3 利用主曲线建立路况模型	87
5.4 建立路况模型的并行算法	88
5.4.1 分布式处理组织结构	88
5.4.2 并行算法的设计	89
5.4.3 实验结果	91
5.5 基于非线性时间序列路况预测	92
5.5.1 邻域差值法路况预测模型	92
5.5.2 当前状态模型构造	93
5.5.3 路况预测算法	94
5.5.4 预测算法实验	95
5.6 本章小结	99
参考文献	99
第6章 动态网络最优出行路径	101
6.1 最优出行路径决策问题	101
6.2 静态最短路的相关算法	102
6.2.1 串行标签算法	102
6.2.2 基于 PRAM-EREW 的并行标签算法	103
6.3 动态最短路相关算法	104
6.3.1 降序时间的最短路算法	104
6.3.2 时间依赖网络最优路径求解算法	105
6.4 基于网格环境的最短路并行算法	105
6.4.1 交通路网图的分割	105
6.4.2 算法设计	106
6.4.3 算法性能分析	108
6.4.4 算法的有效性检验	109

6.5	基于稳定分支的变权网络最短路	111
6.5.1	最短路树	111
6.5.2	最短路的稳定性	113
6.5.3	基于稳定分支的变权最短路算法	116
6.5.4	仿真实验	117
6.6	动态网络最短路问题的复杂性及近似算法	118
6.6.1	单源动态最短路	118
6.6.2	DSSSP 问题是 NP 完全问题	120
6.6.3	基于稳定区间的 DSSSP 近似算法	122
6.6.4	仿真实验	123
6.7	动态最短路的启发式算法	126
6.7.1	启发式模型	126
6.7.2	算法设计	127
6.7.3	算法分析与检验	127
6.8	本章小结	129
	参考文献	129
第 7 章	大规模交通并行仿真	132
7.1	大规模交通并行仿真问题	132
7.2	大规模交通流仿真的快速负载平衡算法	133
7.2.1	网格变形的空间分割动态负载平衡模型	133
7.2.2	快速负载平衡算法	135
7.2.3	模型用例测试	137
7.2.4	分布式用例测试	140
7.3	大规模交通流仿真的最小通信负载平衡算法	144
7.3.1	气泡模型构建思想	144
7.3.2	气泡模型及其算法	145
7.3.3	实验和分析	147
7.4	本章小结	148
	参考文献	148
第 8 章	系统设计与实现	150
8.1	总体设计	150
8.1.1	需求概要	150
8.1.2	系统流程	153
8.1.3	业务系统处理流程	154
8.1.4	系统网络结构	156

8.1.5	系统总体框架	156
8.1.6	系统功能模块结构图	159
8.1.7	系统的服务流程及接口框架	159
8.1.8	典型业务运行过程	161
8.2	WebGIS-T 子系统	161
8.2.1	Web 客户端结构设计	161
8.2.2	用户操作界面的设计	163
8.2.3	通信模块的设计	164
8.2.4	位置信息查询的设计	165
8.2.5	路况信息查询的设计	166
8.2.6	公交到站预测的设计	168
8.3	Web 信息发布子系统	169
8.3.1	Web 信息发布子系统的结构	169
8.3.2	服务表	170
8.4	资源信息监控服务设计	171
8.5	GPS 数据监控服务设计	171
8.6	GPS 数据采集与处理子系统	173
8.6.1	数据采集与处理子系统结构	173
8.6.2	Server 端数据接收模块	173
8.6.3	Server 端数据分发模块	174
8.6.4	Client 端初始化模块	177
8.6.5	Client 端数据处理模块	180
8.7	地图数据服务设计	182
8.7.1	地图数据服务总体结构	182
8.7.2	GIS 服务主要功能	182
8.7.3	GIS 服务主要流程	183
8.8	网络资源管理设计	184
8.8.1	软件结构	184
8.8.2	资源信息监控模块	185
8.9	网络任务调度器设计	187
8.9.1	总体结构	187
8.9.2	任务调度器的工作流程	189
8.10	路况预测服务设计	190
8.10.1	软件结构	190
8.10.2	初始化建立路段基准模型模块	191

8.10.3 结合实时数据预测路段未来路况模块	193
8.10.4 有规律地更新路段基准模型库模块	196
8.11 交通流并行仿真设计	197
8.11.1 交通流并行仿真结构	197
8.11.2 交通仿真系统流程	198
8.12 本章小结	200
参考文献	200
关键词中英文对照表	202
彩图	

第 1 章 绪 论

城市交通先进计算技术不仅能提升智能交通系统的服务能力,而且能提升交通出行体验水平和交通管理水平。以深度计算和广域服务为技术特征的交通信息服务网格是城市交通先进计算技术的体现,着重于支持广域服务和深度计算的体系结构、对规模并发的独立或关联任务的调度、海量的异构数据分布式融合处理、以流动车 GPS 数据的动态路况并行建模、动态网络出行方案决策、大规模交通流并行仿真和平台实现等技术。本章主要介绍城市交通先进计算技术的研究背景及意义、研究现状和关键技术等。

1.1 研究背景

交通问题已成为世界各大城市的共同难题。当前城市交通服务系统存在的问题有:①交通信息服务能力较低,局限于若干路口路段,不能满足密集型、全区域、实时性的交通信息服务需求;②依赖于信息技术的交通管理水平有限,经常凭经验或感觉做出管理决策;③部门管理条块分割严重,交通资源不能有效共享,信息孤岛林立。其主要原因是传统智能交通系统(Intelligent Transportation Systems, ITS)技术无法满足日益增长的交通服务需求。国外著名 ITS,如澳大利亚的 SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)、日本的 VICS (Vehicle Information and Communication System)、英国的 SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimization Technique)等,大多采用小型服务器或机群计算、定点数据采集、局部范围服务、单一交通流诱导等技术,无法进行深度计算和广域服务,不适用于我国交通国情,特别像北京、上海等特大型城市的复杂交通情况。因此,急需一种能满足城市交通服务需求的先进计算技术来提升现有 ITS 的服务能力。

网格计算(grid computing)技术的出现,为此提供了可行的解决方案。网格计算技术是构筑在 Internet 上的一种计算平台,它的目标是将地理上分布、异构的各种高性能计算机、数据服务器、大型检索存储系统和可视化、虚拟现实系统等,通过高速互连的网络连接并集成起来,实现各种计算资源和数据资源的统一访问,协同完成一些缺乏有效研究办法的重大应用研究问题^[1]。

网格计算一开始被称为元计算,主要解决计算力问题^[2]。在其发展过程中逐步融合 Internet 技术,为各种应用开发提供底层技术支撑,将 Internet 变为一个功

能强大、无处不在的计算设施,解决更大范围的资源分布与协同计算问题。随着网络技术的发展和应用领域的拓宽,一些面向特定应用主题需求的网格项目也相继展开^[3],如计算网格、数据网格、知识网格^[4]、信息网格^[5]等。

网格计算技术演变到现今热门的云计算技术,从整合资源和提供资源共享服务的技术目标方面来看,都是通过网络实现各类资源的互连互通,为轻量级的客户端提供统一无缝接入的重量级服务。网格技术通过建立一个先进的服务平台与总体框架结构,解决单一系统映像、资源共享、负载均衡、信息安全等一系列关键问题^[5]。从技术本质上来说,网格技术与云计算技术是一致的。由于云计算技术侧重于将企业、部门等自身的资源互连互通,所以商业运作和服务模式更容易实现。同时,云计算既支持大规模的重型应用问题,也支持大规模的轻型应用问题^[6]。

交通信息服务网格作为城市交通先进计算技术的服务平台,融合了信息服务网格^[7]、Web、SOA (Service-Oriented Architecture) 等多种技术,既有网格计算技术的特征,又有云计算技术的特征。从技术上来说,它的目标是整合交通领域相关的各类资源,尤其是交通信息资源和计算资源,提供重型的交通应用支撑。从应用上来说,交通信息服务网格为各类交通参与者提供基于网络的在线即时个体按需服务。

交通信息服务网格不仅将先进的信息技术应用于交通系统,也面向交通系统分布性、异构性、动态性、自治性、协同性等特征,提供广域服务和深度计算的关键技术。首先,要有一种符合交通业务流的能够整合交通异构资源的体系架构,并能够提供统一的服务访问;其次,要有支持大规模关联任务的中间件,还有实现支持大规模非关联任务的中间件;再次,面向海量的多源交通数据,能够提供海量动态数据的采集并进行融合处理;然后,作为交通应用基础,需要快速而准确的大路网实时路况建模技术的支持;接着,全区域动态网络的最优出行方案决策作为交通服务的关键基础应用,同样需要快速而准确的计算技术;最后,要实现快速的大规模交通流均衡仿真作为交通决策者的应用支撑。

本书围绕城市交通先进计算技术,开展了交通信息服务网格的研究。从理论方法上,建立信息服务网格的深度计算理论和面向密集型信息服务的广域服务技术,推进信息服务网格理论与共性技术的研究。从应用上,研制面向交通的信息服务网格平台,实现大规模、高密度、实时性交通信息服务与管理,支持 Web、手机、PDA、车载终端、电子站牌、触摸屏、可变信息板等终端的动态交通信息点播与发布。交通信息服务网格可缓解城市交通拥堵、改善市民出行、提升城市形象,从而取得良好的社会效益。历经十多年,作者及其团队持续得到上海市、国家自然科学基金委员会、国家科学技术部、国家发展和改革委员会等单位的项目支持,从基础理论、共性技术、平台架构、系统开发到应用示范

逐级展开研究。相关的技术或系统已在上海市部分公交线路、上海天舟声讯台、上海高架路和山东交通工程定额管理站等实现生产性应用示范。

1.2 国内外研究

1.2.1 网络技术的研究

20 世纪 90 年代末,高性能计算技术和互联网技术进一步融合,产生继 Internet、Web 之后的第三个大浪潮, Foster 等^[1, 3]出版的著作中将其称为网格 (grid)。简单地讲, Internet 实现了计算机硬件的连通, Web 实现了网页的连通, 而网格试图实现 Internet 上所有资源的全面连通和共享, 包括计算资源、存储资源、通信资源、软件资源、信息资源、知识资源、用户服务等。网格就像一台统一的超级计算机, 网格的目的是使用计算资源就像从电网中使用电能那样简单、方便。

网格最初的应用模式有: 动态共享分散在 Internet 上的计算资源进行科学计算以解决各种研究问题的计算网格 (computation grid)、共享分散在 Internet 上的数据资源以解决海量存储问题的数据网格 (data grid)。最新的网格研究希望建立统一的协议和标准, 通过网格共享大规模分散的资源为动态组建的虚拟组织提供有保证的服务质量。

信息服务网格 (information service grid)^[5, 6]是目前网格较为广泛的应用模式。信息服务网格共享 Internet 上的在地理和组织机制上天然分布的、经常动态更新的各种数据、知识、软件等信息, 通过协同这些信息为一个虚拟组织提供目前分布计算技术无法提供的自治的、服务质量保证的、易扩展的动态信息服务, 如企业信息系统、制造业信息化、电子政务、数字图书馆、金融证券等方面的应用。

在网格研究和开发方面, 美国起步最早, 最早的研究主要集中在计算网格、数据网格方面^[8]。2001 年 9 月, 美国国家科学基金委员会 (National Science Foundation, NSF) 宣布了一个重大科研项目, 研制称为分布式万亿级设施 (distributed terascale facility) 的网格系统, 简称 TeraGrid^[9]。该项目为期三年, NSF 投入 13000 万美元科研和运作经费, 工业界的合作者包括 Intel、IBM、Qwest Myricom、Oracle、Sun Microsystems 等公司。业界认为, 美国以前的网格研究都是在已部署的高性能计算设备基础上进行研制工作的, 而 TeraGrid 将是世界上第一个从设计开始就面向网格的广域超级计算平台。美国政府用于网格基础研究的经费已达 5 亿美元。美国军方正规划实施一个宏大的网格计划, 叫做全球信息网络 (Global