



JIYUDONGTAI
JIAOTONGXINXIDE
CHELIANGLUJINGYOUHUA

段征宇 著

基于动态交通信息的 车辆路径优化



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

基于动态交通信息的车辆路径优化

段征宇 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

城市交通负荷的不断增加,带来了路网交通状态的时变性和随机性,如何利用交通状态信息进行车辆路径优化是交通管理者和使用者关心的热点问题。本书从路网交通状态分析入手,论述了时变、随机时变路网环境下的最优路径问题和物流配送车辆路径优化问题的建模和优化算法,通过测试算例和实际算例分析了算法的性能和有效性,并讨论了该方法在路网连通性分析等方面的应用。本书适用于各大专院校交通工程领域在校本科生和研究生以及专业技术从业人员。

图书在版编目(CIP)数据

基于动态交通信息的车辆路径优化/段征宇著. --上海: 同济大学出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-5608-5797-8

I. ①基… II. ①段… III. ①交通运输管理—最佳化—研究 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 060136 号

上海市高校服务国家重大战略出版工程入选项目

基于动态交通信息的车辆路径优化

段征宇 著

责任编辑 陆克丽霞

责任校对 徐春莲

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 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.25

字 数 455 000

版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5797-8

定 价 73.00 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

信息时代是一个技术环境和技术需求都不断快速变化的时代,相对于电子商务的快速发展,物流配送日益暴露出跟不上需求的弱点;而另一方面,道路网络中布设的大量定点检测器,以及基于运营车辆构建的浮动车检测系统等,使得我们能够通过相关的海量数据,更加精细地观测和记录整个道路网络交通状态时变特征,这种信息环境为提高物流配送运行效率提供了基础。

本书针对上述技术发展需求背景,抓住其中涉及的两个重要核心理论问题:道路网络随机时变特征分析,以及随机时变网络的路径优化问题,持续展开了深入的研究工作,形成了具有理论意义和应用价值的成果。

对于交通工程理论核心组成部分之一的网络交通流分析来说,随机时变网络是一个非常有意思的研究内容,传统分析模型中将构成网络的基本要素——边(路段)视为具有确定性属性,即使在概率均衡分配模型中,也是描述在具有确定型路阻函数网络上的用户随机路径选择行为。但是网络属性本身服从确定性规律这种假设显现出许多的不适应,例如路段的通行能力应该是“事故”或者“事件”的函数,也就是说即使对于特定路段来说,由于受到随机发生的“事故”等影响,其通行能力并非固定不变的常量。因此,随机时变网络上的用户随机选择问题,就成为有待进一步突破的重要研究方向。本书涉及问题及研究成果对这一方向上相关研究展开具有很好的借鉴作用,从这个意义上说其成果作用超出了物流配送领域。

作为一位年轻的教师,作者能够顺应技术条件发展和需求的变化,在传统研究领域基础上实现核心研究内涵的深化与转化,从而形成自己研究成果的特色,这种科研作风对于交通工程这个亟待变革的学科来说是非常值得提倡的。

中国的交通工程学科已经到了需要超越“追随研究”阶段的时期,希望越来越多的年轻学者能够静下心来深入思考,形成具有应用背景的系统成果。



2014年12月

前言

车辆路径问题(Vehicle Routing Problem, VRP)是物流配送的核心问题之一,尤其在电子商务快速发展的背景下,对于城市物流配送计划的制定具有重要意义。作为运筹学的经典问题,车辆路径问题及其衍生问题得到了广泛的研究。作为一名交通专业的研究者,主要从路网的交通状态角度对该问题进行研究。传统车辆路径问题的研究大多假定路网是静态的,也就是假定路段阻抗为常数。而在城市交通日益拥堵的情况下,将路网交通状态的随机时变特征引入车辆路径问题,对于提高物流配送服务水平尤为必要。

本书以实际交通数据为基础,研究了时变路网的最优路径、时变路网的车辆路径、随机时变路网的最优路径、随机时变路网的车辆路径问题的建模和算法。对于城市物流配送规划、出行路径规划、路网的连通性和可达性分析等均具有一定参考价值。

本书的研究是从笔者博士论文开始的,之后得到了国家自然科学基金项目(随机时变网络环境下的物流配送路径优化问题研究,编号:71001079)的资助,研究团队的多名成员对本书的形成提供了有力的支持。杨文博士、博士生李玮峰对本书第3章的内容做了很好的工作;博士生孙世超对本书第6、9章内容作了出色的贡献;曹慧硕士完成了本书第10章的主要工作;硕士生孙硕参与了本书第6章的部分工作。本书是对团队相关研究成果的梳理和总结,在写作过程中,对计算机程序进行了修改和优化,并对相关算例重新进行了计算和分析。

本书的研究以及书稿的形成,是在杨东援教授的关心和指导下完成的,在此深表感谢。同时感谢杨东援教授课题组的老师和同学们,与大家的讨论让我受益匪浅。此外,还要感谢国家留学基金委和美国加州大学戴维斯分校的张红军教授提供的访学机会,能够有时间对以前的研究工作进行系统的思考和整理。

随机时变路网的车辆路径问题具有相当难度,本书只是做了一些初步的工作。由于笔者才疏学浅,书中存在疏漏和错误在所难免,希望广大读者不吝批评指正。

段征宇

2014年12月

于美国加州大学戴维斯分校

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 研究目的和意义	(2)
1.3 研究内容	(3)
1.4 章节安排	(4)
参考文献	(4)
第 2 章 国内外相关研究综述	(6)
2.1 最短路径问题	(6)
2.1.1 最短路径问题及分类	(6)
2.1.2 静态路网的最短路径问题	(6)
2.2 时变路网的最短路径问题	(7)
2.2.1 国外的研究现状	(7)
2.2.2 国内的研究现状	(8)
2.3 随机时变路网的最优路径问题	(9)
2.4 车辆路径问题	(10)
2.4.1 问题的定义及分类	(10)
2.4.2 问题建模	(11)
2.4.3 优化算法	(12)
2.4.4 基准算例	(14)
2.5 时变路网的车辆路径问题	(16)
2.5.1 问题特点	(16)
2.5.2 国外的研究现状	(17)
2.5.3 国内的研究现状	(19)
2.6 随机时变路网的车辆路径问题	(20)
参考文献	(21)
第 3 章 路网交通状态及路径行程时间分析	(29)
3.1 路网交通状态的可预测性	(29)
3.1.1 交通状态可重现性的度量	(29)

3.1.2	上海内环高架路数据分析	(30)
3.1.3	交通状态的可预测性	(36)
3.2	路径行程时间的概率分布特征	(38)
3.2.1	路径行程时间的概率分布	(38)
3.2.2	上海高架路数据分析	(40)
3.3	路径行程时间的可靠性	(44)
3.3.1	基于统计指标的行程时间可靠性分析	(44)
3.3.2	路径行程时间的时序特征	(48)
3.3.3	路径行程时间的结构变点分析	(51)
3.3.4	基于 ARCH 模型簇的行程时间可靠性分析	(53)
3.4	本章小结	(57)
	参考文献	(58)
第 4 章	随机时变路网建模与标定	(60)
4.1	随机时变路网的表示	(60)
4.1.1	时变路网	(60)
4.1.2	随机时变路网	(62)
4.2	随机时变路网的标定	(63)
4.2.1	时变路网	(63)
4.2.2	随机时变路网	(65)
4.3	时变路网的路段时间依赖函数拟合	(65)
4.3.1	拟合算法	(65)
4.3.2	时间分段数	(71)
4.3.3	拟合算法的比较	(79)
4.4	本章小结	(81)
	参考文献	(81)
第 5 章	时变路网的最优路径问题及算法	(84)
5.1	时变路网的最优路径问题建模	(84)
5.1.1	时变路网的定义	(84)
5.1.2	时变路网的最优路径问题建模	(84)
5.2	时变路网的最优路径算法	(85)
5.2.1	改进 Dijkstra 算法	(85)
5.2.2	基于欧氏距离的 A* 算法	(86)
5.2.3	改进 A* 算法	(87)
5.2.4	ALT 算法	(88)
5.2.5	全时段最优路径求解	(92)
5.2.6	算法的优化策略	(92)
5.3	实际路网测试算例	(93)

5.3.1	测试方案	(93)
5.3.2	算法性能	(93)
5.3.3	拟合函数形式的影响	(96)
5.3.4	最优路径与出发时刻的关系	(97)
5.3.5	地标点对 ALT 算法的影响	(100)
5.4	大规模网络测试算例	(101)
5.4.1	测试方案	(101)
5.4.2	算法性能	(102)
5.4.3	地标点的数量对 ALT 算法的影响	(103)
5.5	路网交通可达性分析	(104)
5.5.1	可达性指标 1	(105)
5.5.2	可达性指标 2	(107)
5.5.3	可达性分析小结	(109)
5.6	本章小结	(109)
	参考文献	(109)
第 6 章	随机时变路网的最优路径问题	(111)
6.1	随机时变路网建模	(111)
6.1.1	随机时变路网定义	(111)
6.1.2	随机一致性条件	(111)
6.1.3	最优路径算法的符号定义	(112)
6.2	最大最小鲁棒优化模型	(112)
6.2.1	问题建模	(112)
6.2.2	问题转换	(113)
6.2.3	路径优化算法	(115)
6.2.4	测试算例	(115)
6.2.5	实际路网算例	(117)
6.3	行程时间波动性最小路径问题	(119)
6.3.1	问题建模	(119)
6.3.2	问题转换	(120)
6.3.3	路径优化算法	(122)
6.3.4	测试算例	(122)
6.4	基于最小违约时间的最优路径问题	(123)
6.4.1	问题建模	(123)
6.4.2	问题转换	(124)
6.4.3	路径优化算法	(125)
6.4.4	测试算例	(126)
6.5	本章小结	(127)
	参考文献	(128)

第 7 章 时变路网的车辆路径问题及构造算法 (129)

7.1 问题建模 (129)

7.1.1 问题描述 (129)

7.1.2 符号定义 (130)

7.1.3 问题建模 (131)

7.2 构造算法 (132)

7.2.1 最近邻算法 (133)

7.2.2 Solomon 插入法 (134)

7.2.3 基于影响值的插入法 (136)

7.2.4 前向启发式插入法 (137)

7.2.5 测试算例 (138)

7.3 局部搜索算法 (150)

7.3.1 一条路径内部的局部搜索算法 (151)

7.3.2 两条路径之间的局部搜索算法 (151)

7.4 出发时刻的优化 (154)

7.4.1 优化算法 (154)

7.4.2 测试方案 (154)

7.4.3 测试算例 (155)

7.5 本章小结 (158)

参考文献 (158)

第 8 章 时变路网的车辆路径问题的亚启发式算法 (159)

8.1 遗传算法 (159)

8.1.1 染色体编码 (159)

8.1.2 算法设计 (160)

8.1.3 算法参数的确定 (163)

8.1.4 初始种群的影响 (166)

8.1.5 局部搜索操作的影响 (167)

8.1.6 算法的收敛特性 (168)

8.2 蚁群算法 (169)

8.2.1 蚁群算法的基本原理 (169)

8.2.2 算法设计 (170)

8.2.3 算法参数的确定 (174)

8.2.4 初始解的影响 (179)

8.2.5 局部搜索操作的影响 (180)

8.2.6 算法的收敛特性 (181)

8.3 测试算例 (182)

8.3.1 测试方案 (182)

8.3.2 遗传算法与蚁群算法的比较	(183)
8.3.3 Solomon 基准算例	(185)
8.3.4 大规模算例	(187)
8.4 实际算例	(189)
8.4.1 算例的构造	(189)
8.4.2 测试方案	(190)
8.4.3 算例的求解	(191)
8.4.4 时间依赖函数的影响	(194)
8.4.5 出发时刻的优化	(196)
8.5 本章小结	(197)
参考文献	(197)
第9章 随机时变路网的车辆路径问题	(199)
9.1 基于鲁棒优化的时变路网车辆路径问题建模	(199)
9.1.1 符号定义	(199)
9.1.2 数学模型	(200)
9.2 算例分析	(202)
9.2.1 算例构建	(202)
9.2.2 测试方案	(203)
9.2.3 STDVRP 算例求解	(203)
9.2.4 配送路径执行过程仿真	(207)
9.3 本章小结	(213)
参考文献	(213)
第10章 路网的连通性分析	(214)
10.1 面向连通性的路网分区	(214)
10.1.1 面向连通性的片区划分方法	(214)
10.1.2 深圳路网的片区划分	(216)
10.2 区域连通代表性路径选择	(221)
10.2.1 代表性路径的选择	(221)
10.2.2 深圳路网的实证分析	(222)
10.3 区域连通行程时间分析	(228)
10.3.1 区域连通行程时间特征分析	(228)
10.3.2 区域连通行程时间可靠性分析	(233)
10.4 本章小结	(237)
参考文献	(237)
附录	(238)
附录 A 路网交通状态及路径行程时间分析	(238)
附表 A-1 第一类线圈的预测结果	(238)

附表 A-2 第二类线圈的预测结果 (241)

附表 A-3 第三类线圈的预测结果 (244)

附录 B 随机时变路网建模与标定 (246)

附表 B-1 差异序列法的拟合误差(原始数据: 5 min 数据) (246)

附表 B-2 Fisher 二分法的拟合误差(原始数据: 5 min 数据) (247)

附表 B-3 Douglas-Peucker 算法的拟合误差(原始数据: 5 min 数据) (249)

附表 B-4 分段线性最优拟合法的拟合误差(原始数据: 5 min 数据) (251)

附表 B-5 差异序列法的拟合误差(原始数据: 15 min 数据) (253)

附表 B-6 Fisher 二分法的拟合误差(原始数据: 15 min 数据) (254)

附表 B-7 Douglas-Peucker 算法的拟合误差(原始数据: 15 min 数据) (255)

附表 B-8 分段线性最优拟合法的拟合误差(原始数据: 15 min 数据) (256)

附录 C 时变路网车辆路径问题的构造算法 (259)

附表 C-1 NNC 算法的计算结果及最优参数 (259)

附表 C-2 NNT 算法的计算结果及最优参数 (261)

附表 C-3 NNCR 算法的计算结果及最优参数 (263)

附表 C-4 NNTR 算法的计算结果及最优参数 (265)

附表 C-5 Solomon 插入法 I 的计算结果及最优参数 (267)

附表 C-6 Solomon 插入法 II 的计算结果及最优参数 (269)

附表 C-7 Solomon 插入法 III 的计算结果及最优参数 (271)

附表 C-8 IMPACT 算法的计算结果及最优参数 (273)

附表 C-9 FHI 算法的计算结果及最优参数 (275)

附录 D 时变路网车辆路径问题的亚启发式算法 (277)

附表 D 基于上海实际路网的 TDVRP 算例 (277)

第1章 绪 论

1.1 研究背景

1. 费用高、效率低是我国物流业发展面临的重要问题

现代物流是支撑企业生产、商品流通和人们生活的基础,对于物流企业而言,如何以最小的成本满足消费者的物流需求,是企业关心的核心目标。然而,我国的物流行业面临着费用高、效率低的问题,导致“社会物流成本偏高”与“物流企业盈利能力偏低”并存的局面。

2013年,我国的社会物流总费用与GDP的比率为18.0%,这一比率高于美国、日本和德国大约9.5%;高于全球平均水平约6.5%;高于“金砖”国家印度和巴西5%~6%^[1]。其中,运输和配送是物流过程的重要环节,据统计,运输费用约占社会物流总费用的50%^[2]。国务院办公厅于2011年和2013年分别下发了《关于促进物流业健康发展政策措施的意见》和《关于印发降低流通费用提高流通效率工作方案的通知》,通知要求合理规划城市配送运营,提高配送车辆的利用效率,缓解城市道路交通拥挤问题,促进城市配送行业的健康发展。

为此,一些大型企业为了合理规划运输,建立了辅助运输或配送计划的软件系统。根据国外的经验,采用计算机规划配送路线,可以使汽车里程利用率提高5%~15%,运输成本和运输时间也明显减少^[3]。我国2013年的社会物流总额达197.8万亿元^[1],因此,合理的物流配送计划,将为企业节省大量的费用。

2. 电子商务的迅速发展,需要高效的物流配送系统

近年来,我国的电子商务保持了迅猛的发展趋势。截止到2013年底,我国电子商务市场交易规模达10.2万亿元,同比增长29.9%。其中,网络零售市场交易规模达18851亿元,同比增长42.8%^[4]。

电子商务的高速发展带动了物流快递行业的迅猛增长。2013年,我国快递服务企业累计完成业务量91.9亿件,市场规模升至世界第二位,整个快递行业增长率达到61.6%,连续5年平均增长率达43.5%,其中电商对快递行业贡献高达70%以上^[5]。

电子商务的迅速发展,使得城市物流配送呈现运量小、批次多和时效性强的特点。这对我国的物流企业提出了更高的要求,迫使物流产业必须进行结构调整、优化与升级。由于物流业的发展跟不上电子商务的发展速度,京东、苏宁等采用了自建物流与第三方物流相结合的模式。阿里巴巴与银泰、顺丰及“四通一达”等多家快递运营商合作,于2013年5月启动了“中国智能物流骨干网”(简称CSN)项目,力争在8~10年内建立一张能支撑日均300亿元网络零售额的智能物流骨干网络,实现24h内送达全国任何一个地区^[6]。

消费者需求的多样化、商品生命周期的缩短,使得送货时间日趋苛刻,加上城市交通负载日趋繁重,停车、卸货困难,更加凸显了物流配送服务的问题。因此,面对交易量巨大的电子商务,需要建立一个高效的社会物流配送系统,提供低成本、快捷的配送服务。

3. 城市交通系统的不确定性,需要新的物流配送规划方法

随着社会经济的发展,城市化机动化的水平也越来越高,交通拥堵、安全事故、环境污染、能源短缺等相关问题也日益严重。交通问题已经成为世界各地城市,尤其是大城市挥之不去的“顽疾”。尽管各国政府在道路建设上投入巨大,但交通拥堵问题仍然十分严重。

城市交通负载的不断增加,导致了城市交通系统运行状态的不确定性。传统的配送规划方法,通常以静态路网为基础,由于不能对道路行程时间做出准确的估计,因此,很难制定合理的物流配送计划。而不合理的物流配送计划,一方面难以满足快捷的送货需求,另一方面,还可能导致重复配送引起配送路程的增加,进一步加重城市的交通负担和环境污染。

4. 日益完善的城市交通信息系统为物流配送规划提供了良好的基础

随着道路定点检测器、浮动车、车联网传感器、智能手机传感器等现代交通数据采集技术的进步,以及各类城市交通信息系统的建立与完善,使得全面、实时、连续获取和发布城市交通系统状态成为可能,城市交通大数据环境已逐渐形成。这为城市物流配送提供了良好的动态交通信息环境,使得物流企业可以充分利用实时、动态的路网数据,采用各种分析、预测等技术手段,对城市交通系统的状况做出较为准确的把握,实现配送车辆路径的动态规划与实时调度。

例如,美国 UPS 快递公司利用配送车辆装备的传感器、GPS 定位装置和无线适配器,实时跟踪车辆位置、获取晚点信息并预防引擎故障。根据 GPS 历史数据和配送需求信息,采用历史经验路径学习方法,制定最佳配送线路。同时,在配送线路中尽量减少左转行驶,因为左转穿越交叉路口时更容易导致交通事故的发生,而且左弯待转会增加油耗。新的配送路径规划技术使得配送效率大幅提高,2011 年,UPS 的驾驶员们少行驶了近 4 828 万公里的路程,节约了 300 万加仑的燃料,并减少了 3 万吨的 CO_2 排放量^[7]。

1.2 研究目的和意义

车辆路径问题(Vehicle Routing Problem, VRP)是研究在已知多个客户配送需求情况下,如何安排配送中心的多个车辆的配送路径,使得总的配送成本最小。

VRP 是物流配送和调度服务的核心问题之一,自从 1959 年 Dantzig 和 Ramser 首次提出以后^[8],已经成为近代组合优化领域的经典问题,由于问题的重要性和求解的复杂性,吸引了众多学者进行了大量的研究工作。以往的研究中大多是基于静态路网的假设,即路径行驶成本(时间)被认为是静态的,在路径的制定和执行过程中不会发生变化。但对于实际路网,由于受到交通流量、天气、突发事件等因素的影响,路段行程车速、行程时间往往经常发生变化^[9]。为此,将动态交通信息引入 VRP 对于现代物流配送服务尤为必要。

本书根据城市道路交通状况的随机和时变特征,研究随机时变路网环境下的最优路径问题、物流配送车辆路径优化问题的建模和优化算法,通过测试算例和实际路网交通数据,验证了算法的有效性,并将相关成果应用于城市路网的连通性分析。

由于考虑了路网的随机时变特征,更加符合城市物流配送的实际情况,对于减少物流配送成本、提高物流配送服务水平和客户满意度具有重要意义。同时,随机时变路网的路径优

化分析方法,也可以应用于智能交通领域的出行路径规划、交通规划领域的路网连通性和可达性分析等。

1.3 研究内容

本书的研究内容分为3大部分。

1. 路网的随机时变特征分析及建模

采用实际交通数据,分析了路网交通状态的可重现性和可预测性;路径行程时间的概率分布特征和可靠性。

考虑到城市道路交通网络的“先入先出”(FIFO)特性,基于时变路网的一致性条件和随机时变路网的随机一致性条件,采用基于路段行程车速的时间依赖函数,表示随机时变路网。

2. 随机时变路网的路径优化问题及算法

随机时变路网的物流配送车辆路径优化问题,根据问题的复杂性,可以分解为4个逐步递进的相关问题。

(1) 时变路网的最优路径问题:研究时变路网中,两点之间的行程时间最短路径,在这里将路段行程时间表示为确定型时变函数的形式。这类问题也称为时间依赖型最短路径(Time Dependent Shortest Path, TDSP)问题,在本书中简称TDSP问题。

(2) 时变路网的车辆路径问题:研究时变路网中,如何制定满足多个配送客户需求的配送车辆路径,使得总配送成本最小。这类问题也称为时间依赖型车辆路径问题(Time Dependent Vehicle Routing Problem, TDVRP),在本书中简称TDVRP问题。

(3) 随机时变路网的最优路径问题:研究随机时变路网中,两点之间的行程时间最优路径,在这里将路段行程时间表示为时变的随机分布函数的形式。在本书中,将这类问题简称STDSP(Stochastic Time Dependent Shortest Path)问题。

(4) 随机时变路网的车辆路径问题:研究随机时变路网中,如何制定满足多个配送客户需求的配送车辆路径,使得总配送成本最优。在本书中,将这类问题简称STDVRP问题(Stochastic Time Dependent Vehicle Routing Problem)。

其中,两点之间的最优路径(最短路径)问题是车辆路径问题(VRP)的基础,在配送路径优化过程中通常需要计算大量的两点间最优路径。而时变路网是随机时变路网的简化,前者把路段行程时间表示为确定型函数,后者则把路段行程时间表示为随机函数。本书采用鲁棒优化方法,将随机时变路网路径优化问题转换为时变路网路径优化问题,从而简化了随机时变路网路径优化问题的求解。

3. 路网连通性分析中的应用

将随机时变路网的最优路径分析方法应用于城市路网的连通性分析,以深圳中心区路网为例,建立了片区划分方法,采用鲁棒最优路径方法分析了片区之间代表性路径的行程时间特征和可靠性。

1.4 章节安排

根据上述研究内容,本书的章节安排如下。

(1) 第1章绪论。给出了本书的研究背景、研究目的和研究内容。

(2) 第2章国内外相关研究综述。从最短路径问题、时变路网的最短路径问题、随机时变路网的最优问题、车辆路径问题、时变路网的车辆路径问题和随机时变路网的车辆路径问题6个方面,对国内外的研究现状进行了梳理。

(3) 第3章路网交通状态及路径行程时间分析。采用实际交通数据,分析了路网交通状态的可预测性、路径行程时间的概率分布特征以及路径行程时间的可靠性。

(4) 第4章随机时变路网建模与标定。讨论了时变路网和随机时变路网的时间依赖函数表示和标定方法,并采用实际数据分析了时间依赖函数的拟合方法。

(5) 第5章时变路网的最优路径问题及算法。以时变路网的一致性条件为基础,讨论了4种时变路网的最优路径算法,通过实际路网和大规模网络算例对算法进行了分析和比较,并以此为基础,分析了路网的交通可达性。

(6) 第6章随机时变路网的最优路径问题。以随机时变路网的随机一致性条件为基础,采用鲁棒优化方法,对随机时变路网的最优路径问题进行建模,给出了鲁棒最优路径、行程时间波动最小路径和基于最小违约时间的最优路径问题的数学模型和路径优化算法。

(7) 第7章时变路网的车辆路径问题及构造算法。讨论了时变路网的车辆路径问题的数学模型,给出了9种路径构造算法,并通过扩展 Solomon 算例对算法进行了分析和比较;介绍了改善可行解质量的局部搜索算法;给出了一种出发时刻优化的构造算法。

(8) 第8章时变路网的车辆路径问题的亚启发式算法。在构造算法基础上,构建了时变路网的车辆路径问题的遗传算法和蚁群算法,通过扩展 Solomon 算例、大规模算例和实际路网算例的求解和分析,说明了算法的有效性。

(9) 第9章随机时变路网的车辆路径问题。采用鲁棒优化方法,建立了随机时变路网的车辆路径问题的模型,并通过算例对鲁棒优化模型和时变路网车辆路径模型进行了分析和比较。

(10) 第10章路网的连通性分析。将随机时变路网的鲁棒最优路径方法应用于城市路网的连通性分析,并通过实际路网分析了区域连通路程的行程时间特征。

参 考 文 献

- [1] 曾庆宝. 2013 年物流运行情况分析与 2014 年展望[EB/OL]. [2014-03-07] <http://www.chinawuliu.com.cn/lhkhx/201403/07/284816.shtml>.
- [2] 李伊松,易华. 物流成本管理[M]. 北京:机械工业出版社,2005:130-149.
- [3] 赵冰洁. 配送中心配送方案优化研究[D]. 成都:西南交通大学,2004.
- [4] 中国电子商务研究中心. 2013 年度中国电子商务市场数据监测报告[DB/OL]. [2014-03-19]. <http://www.100ec.cn/zt/2013ndbg/>.

- [5] 中国电子商务研究中心. 2013 年快递市场规模升至世界第二[DB/OL]. [2014 - 06 - 26]. <http://b2b.toocle.com/detail-6180804.html>.
- [6] 今日早报. “菜鸟”的野心: 全国任意地区“24 小时送达”[N/OL]. [2013 - 05 - 29]. http://jrzb.zjol.com.cn/html/2013-05/29/content_2159736.htm?div=-1.
- [7] 维克托·迈尔-舍恩伯格, 肯尼斯·库克耶. 大数据时代——生活、工作思维的大变革[M]. 盛杨燕, 周涛, 译. 杭州: 浙江人民出版社, 2013.
- [8] Dantzig G B, Ramser K B. The truck dispatch problem[J]. Management Science, 1959, 6(1): 80 - 89.
- [9] 肖增敏. 动态网络车辆路径问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005.

第2章 国内外相关研究综述

下面分别从最短路径问题、时变路网的最短路径问题、随机时变路网的最优路径问题、车辆路径问题、时变路网的车辆路径问题和随机时变路网的车辆路径问题6个方面,对国内外的研究现状进行梳理。

2.1 最短路径问题

2.1.1 最短路径问题及分类^[1]

最短路径问题(Shortest Path Problem, SPP)是图论中的经典问题,也一直是计算机科学、运筹学、地理信息科学等学科的研究热点,在交通规划、交通运输和物流管理等领域也有着广泛的应用。

对于道路交通网络,根据路段阻抗特征可以把路网分为不同类型:根据路段阻抗是否随时间变化,可以分为静态(Static)路网和动态(Dynamic)路网两类,动态路网又被称为时变路网或时间依赖路网;根据对路段阻抗的了解程度,又可分为确定型(Deterministic)路网和随机型(Stochastic)路网两类。确定型路网的路段阻抗是确切已知的,而随机型路网的路段阻抗是不确定的,可以用某些已知的概率分布对其进行描述。^[2]

由此,最短路径问题或最优路径可以分为以下4类^[3]:

- (1) 静态确定型路网的最短路径问题:路网中路段的阻抗是固定不变。
- (2) 静态随机型路网的最优路径问题:路网中路段的阻抗是个与时间无关的随机变量。
- (3) 时变路网的最短路径问题:路网中路段的阻抗随时间的变化而变化,是依赖于时间的确定型函数,也称为时间依赖型最短路径问题或动态路网最短路径问题。
- (4) 随机时变路网的最优路径问题:路网中路段的阻抗是依赖于时间的随机变量或随机分布函数。

2.1.2 静态路网的最短路径问题^[1]

基于静态路网的传统最短路径算法已经十分完善,基于串行计算的最短路径算法,已经几乎达到理论上的时间复杂度极限^[4-5]。

1958年,美国数学家、动态规划的鼻祖 Bellman 率先研究了最短路径问题^[6]。1959年, Dijkstra 提出了著名的 Dijkstra 算法^[7],该算法需要搜索网络中大量节点,且仅适用于网络边权重非负的网络。1962年, Ford 提出了 Ford 算法^[8],可以解决网路边权重含负值情况下的最短路径问题。Dijkstra 算法和 Ford 算法是最短路径问题中最经典的两类算法,前者属于标号设置(Label Setting, LS)算法,后者属于标号修改(Label Correcting, LC)算法。

1962年, Floyd 提出了 Floyd 算法^[9],可用于求解网络中所有节点之间的最短路径。