



海南大学经济管理系列丛书

动态需求车辆路径问题 实时优化策略研究

DongTai XuQiu CheLiang LuJing WenTi
ShiShi YouHua CeLue YanJiu

熊浩 著



经济科学出版社
Economic Science Press



海南大学经济管理系列丛书

中西部综合实力提升计划（海南大学）资助

动态需求车辆路径问题 实时优化策略研究

DongTai XuQiu CheLiang LuJing WenTi
ShiShi YouHua CeLue YanJiu

熊浩 著



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

动态需求车辆路径问题实时优化策略研究/熊浩著.

—北京: 经济科学出版社, 2014. 5

(海南大学经济管理系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5141 - 4421 - 5

I. ①动… II. ①熊… 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 (2014) 第 045518 号

责任编辑: 刘明晖 李 军

责任校对: 王苗苗

版式设计: 齐 杰

责任印制: 王世伟

动态需求车辆路径问题实时优化策略研究

熊 浩 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 88191217 发行部电话: 88191540

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http://jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京盛源印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 9 印张 130000 字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 4421 - 5 定价: 33.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 88191502)

(版权所有 翻印必究)

前 言

近年来，各种各样动态的交通需求与日俱增，例如，集装箱货物的集散运输、批发市场的零担货运以及快递服务的末端集货和发货；生产商或销售商配送中心的按需补货或者紧急补货；汽车抢修或维修服务的修理员实时响应；出租车或电话叫车服务的车辆调度；警车、救火车、救护车等紧急服务的车辆调度，等等。如何应对这些动态的交通需求、提高车辆出行的效率、缓解城市交通压力，成为迫切需要研究的重要课题。

在国外，动态车辆路径问题与动态需求车辆路径问题几乎没有区别，对动态车辆路径问题的研究主要针对动态需求进行的，并且已经取得了一定的成果。但是，在国内对于动态需求车辆路径问题的研究相对较少，并且动态车辆路径问题的概念与其他车辆路径问题，例如，不确定车辆路径问题、动态网络环境车辆路径问题、车辆路径扰动管理等很容易混淆。

因此，研究动态需求的车辆路径实时优化策略问题，不仅能为企业带来比较明显的经济效益，还能为缓解城市交通压力做出一定的贡献，而且能为完善我国动态车辆路径问题研究理论体系提供帮助。

本书不仅对国外相关研究进行了比较详细的介绍,并进行了一定的比较和分析。通过分析和归纳,进一步提出了一些新的策略构建方法,并构建了新的实时优化策略。针对动态需求车辆路径问题实时优化策略具体开展了如下几方面的工作:

第一章,对本书的研究背景、意义及目标进行了阐述,并着重对国内外的研究进行了综述。

第二章,阐述了动态需求车辆路径问题和实时优化策略的相关概念。把动态车辆路径问题与不确定信息车辆路径问题进行了比较和区分;进一步把动态车辆路径问题分为动态需求车辆路径问题、动态网络环境车辆路径问题和其他动态车辆路径问题;对动态需求车辆路径问题的特点和分类进行了分析。对于实时优化策略,首先归纳出实时优化策略的内涵,然后对实时优化策略优劣的衡量方法(有效性)进行了分析,重点对基于排队论的实时优化策略有效性的进行了分析,最后对已有的策略进行了总结和归纳。

第三章,提出了基于静态子问题规则组合的实时优化策略构建方法。实时优化策略就是将动态问题转化成沿时间轴的一系列静态子问题,并对静态子问题进行决策;静态子问题的转化和求解规则包括:形成规则、计划期规则、执行规则和计算规则等,这些规则的不同组合可以构成多种不同的实时优化策略。并发现了多种具有较好有效性的新策略,包括前瞻性策略和非前瞻性策略,具体为:贪婪 TSP 策略、分区灵活定时分派策略、分区灵活定量分派策略、隐分区灵活定时分派策略、隐分区灵活定量分派策略等。

第四章,对完全动态需求车辆路径问题实时优化策略进行了研究。该类问题以平均系统时间最短为目标,比较适合

应用非前瞻性策略：分区灵活定量 TSP 策略、分区灵活定时 TSP 策略、隐分区灵活定量 TSP 策略和隐分区灵活定时 TSP 策略等。本章对这些策略进行了较具体的步骤设计，并进行了比较简单的仿真。

第五章，对带时间窗的动态需求车辆路径问题实时优化策略进行了研究。该类问题属于多目标问题，其目标包括：车辆闲置时间、拒绝顾客数和平均路径长度，这三者之间的关系错综复杂，很难衡量某一特定策略的优劣。因此，本章对第四章提出的前瞻性策略和非前瞻性策略都进行了应用分析，并对贪婪 TSP 策略和灵活定量 TSP 策略进行了仿真分析，仿真结果显示后者具有更好的优化效果。

第六章，对多阶段动态需求车辆路径问题实时优化策略进行了研究。对多阶段动态需求车辆路径问题的基本概念、分类进行了梳理，根据每个阶段内的决策次数，将其分成单决策多阶段问题和多决策多阶段问题。分别进行了较具体的策略设计，对于前者根据其特征构建了平均距离策略，后者应用非前瞻性实时优化策略进行了策略设计。通过仿真分析和已有的策略进行比较，这两种策略都能取得较好的效果。

最后，在第七章中进行了总结，并对进一步工作的方向进行了简要的讨论。

熊浩

2014 年 3 月

目

录

第一章 引言	1
第一节 研究背景与研究意义	1
一、研究背景	1
二、现实意义	2
三、理论意义	3
第二节 国内外研究动态	4
一、动态车辆路径问题基础研究	4
二、完全动态需求车辆路径问题策略研究	9
三、带时间窗的动态车辆路径问题策略研究	11
四、多阶段动态车辆路径问题策略研究	13
五、国内外研究总结	15
第三节 主要研究内容及研究目标	16
一、研究内容	16
二、研究目标	17
三、拟解决的关键科学问题	18
第四节 拟采取的研究方案及创新	19
一、研究方案	19
二、研究方法和技术路线	22
三、特色与创新之处	23
第二章 动态需求车辆路径问题的概述	26
第一节 动态车辆路径问题的相关概念辨析	26

一、不确定性车辆路径问题	26
二、车辆路径干扰管理问题	28
三、时变网络环境下的车辆路径问题	29
四、动态车辆路径问题	29
第二节 动态需求车辆路径问题的概念	31
一、动态需求车辆路径问题定义	31
二、动态需求车辆路径问题特征	33
三、动态需求车辆路径问题分类	34
第三节 基于排队论的策略有效性分析	36
一、策略有效性分析的概念	36
二、策略的一般下界	38
三、策略的比较	39
第四节 本章小结	43
第三章 实时优化策略构建方法及新策略研究	44
第一节 实时优化策略构建方法研究	44
一、实时优化策略基本结构	44
二、静态子问题的规则	46
三、实时优化策略构建方法	50
第二节 贪婪 TSP 策略	51
一、策略概述	51
二、有效性分析	52
三、策略构建	53
第三节 分区灵活分批 TSP 策略	53
一、策略概述	53
二、有效性分析	55
三、策略构建	56
第四节 隐分区灵活分批 TSP 策略	58
一、策略概述	58
二、有效性分析	60

三、策略构建	61
第五节 本章小结	61
第四章 完全动态需求车辆路径问题实时优化策略	63
第一节 概述	63
一、完全动态需求问题描述	63
二、策略分析	64
第二节 分区灵活分批 TSP 策略	65
一、分区灵活定量 TSP 策略步骤	65
二、分区灵活定量 TSP 策略仿真分析	66
三、分区灵活定时 TSP 策略步骤	71
四、分区灵活定时 TSP 策略仿真分析	72
第三节 隐分区灵活分批 TSP 策略应用	74
一、隐分区灵活定量 TSP 策略步骤	74
二、隐分区灵活定量 TSP 策略仿真分析	75
三、隐分区灵活定时 TSP 策略步骤	79
四、隐分区灵活定时 TSP 策略仿真分析	79
第四节 本章小结	81
第五章 带时间窗的动态需求车辆路径问题实时 优化策略	82
第一节 概述	82
一、问题描述	82
二、目标函数分析	83
第二节 贪婪 TSP 策略应用	84
一、策略概述	84
二、策略步骤	84
三、仿真分析	87
第三节 灵活分批 TSP 策略应用	96
一、策略概述	96

二、策略构建	97
三、仿真分析	97
第四节 本章小结	99
第六章 多阶段动态需求车辆路径问题实时 优化策略	100
第一节 概述	100
一、问题描述	100
二、策略分析	101
第二节 单决策多阶段问题	102
一、概述	102
二、策略分析	102
三、仿真分析	103
第三节 多决策多阶段问题	106
一、概述	106
二、策略分析	107
三、策略步骤	108
四、仿真分析	109
第四节 本章小结	112
第七章 结论与展望	113
第一节 主要结论及创新	113
第二节 进一步研究的方向	115
参考文献	117
后 记	130

第一章

引言

第一节 研究背景与研究意义

一、研究背景

近年来，随着城市经济的发展和规模的不断扩大，各种各样动态的交通需求与日俱增。例如，集装箱货物的集散运输、批发市场的零担货运以及快递服务的末端集货和发货；生产商或销售商配送中心的按需补货或者紧急补货；汽车抢修或维修服务的修理员实时响应；出租车或电话叫车服务的车辆调度；警车、救火车、救护车等紧急服务的车辆调度，等等。这些与日俱增的动态交通需求构成了日益突出的城市交通拥堵的主要原因之一，如何应对这些动态的交通需求、提高车辆出行的效率，成为迫切需要研究的重要课题。

并且，随着计算机网络、通信技术的飞速发展，电子数据交换 EDI、地理信息系统 GIS、全球定位系统 GPS 等技术逐渐得到了普及，使得车辆和调度中心都可以实时更新车辆路径相关信息。另外，智能交通和物联网等新技术的发展更为动态需求车辆路径问题的发展带来新的发展机遇。因此，对于动态需求的实时优化成为可能，并且必将成为未来发展的趋势。在这种时代背景下选择研究基于动态需求的车辆路径实时优化策略问题，不仅是对车辆路径问题（VRP）系统理

论的一种完善,更能为企业带来比较明显的经济效益。

二、现实意义

本项目具体可以应用于以下几个领域:

1. 城市配送

随着城市产业布局的调整以及城市工商业发展模式的日趋多元,使得小批量、多频次、时效性强的直接配送、住宅配送以及“门到门”配送需求日益增长。这些新的需求特点对城市配送提出了更高的要求,只有通过车辆路径实时优化策略才能应对这些多样的动态需求。

2. 快递服务

随着人们生活水平的提高、现代消费方式的不断升级、电子商务技术的广泛应用,快递服务越来越成为生活和工作的的重要组成部分。而快递服务的两端(收货和取货)面临的都是要求较高的动态顾客需求,需要运营公司对需求能实时响应。所以,动态车辆路径的实时优化效果成为影响快递服务质量的重要因素。

3. 出租车电话叫车服务

出租汽车电话叫车服务在发达国家是比较通行和成功的一种运营方式,在我国也有很多城市已经开始试运行。北京奇华出租汽车电话调度中心和北京金银建出租汽车电话调度中心投入运行后,日均电话叫车量达到12 500~13 500次。但是,如何通过车辆路径的实时优化策略来提高车辆运行效率、增加调度公司的车辆调度的效益,是制约电话叫车服务发展和普及的主要因素。

4. 道路应急运输

道路运输应急体系是国家应急体系的重要组成部分,在处理自然

灾害、事故灾难、社会公共事件、重点物资运输等突发事件中发挥着基础性和不可替代的重要作用。在 2003 年的“非典”、2004 年煤电油运紧张、2008 年的雨雪冰冻灾害、“5·12”汶川大地震和北京奥运会等重大应急事件中道路运输均做出了重要贡献。但是,由于道路运输覆盖范围广、通达程度深、时效性强、机动灵活等特点决定了该类问题必须利用实时策略进行响应。

5. 应急维修服务

近年来,我国汽车销售的快速增长使汽车后市场持续升温,汽车救援服务市场也日益呈现出前所未有的活力。据统计,2007 年仅北京地区车辆救援案例就达到 120 万余起,比 2006 年提升了近 20%。汽车消费群体和厂商对汽车服务的需求,给中国的汽车后市场带来了巨大机遇和挑战。如何应用先进的动态需求车辆路径优化策略,提高网络整体救援水平,构建高效的道路救援保障体系,是专业汽车救援服务机构的当务之急。

总之,基于动态需求的车辆路径实时优化策略研究,一是能降低车辆空驶率、降低燃油消耗和排放污染、缓解道路交通拥堵;二是能充分利用车载科技装备,提高运输行业信息化水平,为顾客提供“门到门”的优质服务;三是能通过政府、行业主管部门、相关运营商、运输服务企业等多方努力和支持,推进车辆路径调度计划由传统运营方式向现代运营方式的转变,将“人文交通、科技交通、绿色交通”的理念融入现代交通运输业中。

三、理论意义

传统的车辆路径研究一般是针对静态车辆路径问题^[1-4]:假定在构造路径之前,所有的信息(包括顾客信息、车辆信息、路况信息和路径制定者信息)都是确定的,并且各种信息均与时间无关。在这样的假定下,安排的路径也是相对固定的。如果仍然使用静态车辆路径策略来解决动态需求的车辆路径问题,将会使车辆对动态需求无

法及时响应,或者使车辆路径具有较大的盲目性而导致无效运输。

然而,动态车辆路径问题的研究还处于发展和探索阶段,虽已取得了一定的成果,但仍然有待进一步完善。目前,关于动态需求车辆路径问题的理论研究的不足主要表现在以下两个方面:

(1) 缺少关于动态需求车辆路径问题实时优化策略的构建方法研究。目前的策略构建主要沿用传统静态问题的算法研究思维模式,该模式旨在追求单次静态优化的最优结果。但是将动态需求车辆路径问题的策略不仅需要关注单次静态子问题的优化结果,更应关注多次静态子问题优化的平均效果。因此,动态问题实时优化策略包含的内容更加广泛和复杂。

(2) 三种典型的动态需求车辆路径问题的策略仍有较大改进空间,且不同类型的动态需求车辆路径问题的策略研究可以相互借鉴融合。三种典型的动态需求车辆路径问题分别为:完全动态需求车辆路径问题、带时间窗的动态需求车辆路径问题和多阶段动态需求车辆路径问题。

总之,现代社会高效运转的机制对动态需求车辆路径问题(DD-VRP)的需求越来越大,且随着通信和信息处理技术的发展,使处理动态需求信息,实时安排车辆路径成为可能。在这种时代背景下选择研究动态需求车辆路径问题实时优化策略研究,不仅是对车辆路径问题系统理论的一种完善,更具有现实的应用意义。

第二节 国内外研究动态

一、动态车辆路径问题基础研究

(一) 车辆路径问题的研究趋势

20世纪60~80年代,VRP问题开始出现。丹齐格、富尔克森和约翰逊(Dantzig, Fulkerson and Johnson, 1954)的文章被公认为最

早开始研究 VRP 的文献, 该文章研究了大规模的 TSP 问题并给出了求解方法^[5]。其后出现了大量关于 TSP 的文献, TSP 是 VRP 的特例。克拉克和赖特 (Clarke and Wright, 1964) 首次提出了多车辆的问题, 这就是 VRP 问题, 因此被作为最早的 VRP 文献^[6]。

戈尔登、马尼安蒂和阮 (Golden, Magnanti and Nguyen, 1972) 被认为是最早以“vehicle routing”为标题的研究^[7]。后来, 戈尔登和斯图尔特 (Golden and Stewart, 1978) 将不确定概率论引入 VRP 问题^[8]; 随后, 所罗门 (Solomon, 1983) 加入了时间窗约束, 并介绍了一系列的基准问题, 后来被称为“Solomon Instances”^[9]。

由于计算的复杂, 且计算机技术的局限, 关于随机、动态和模糊的 VRP 问题研究很少涉及。这一时期比较典型的文献有拉波特和诺贝尔 (Laporte and Nobert, 1987)^[10], 阿萨德 (Assad, 1988)^[11]和拉波特 (Laporte, 1992)^[12]。

在 90 年代, VRP 问题得到更进一步的研究。这一时期的研究, 得益于个人计算机的飞速发展。这一时期, 出现了各类求解混合优化问题的启发式算法, 这些算法也被用来解决 VRP 问题。拉波特和让德罗等 (Laporte and Gendreau et al., 1998) 研究了 VRP 的启发式应用: 模拟退火、确定性退火、禁忌搜索、遗传算法、蚂蚁算法、神经网络算法等^[13]。这一时期的代表性文献有: 奥斯曼和凯利 (Osman and Kelly, 1996)^[14], 奥斯曼和拉波特 (Osman and Laporte, 1996)^[15], 欧瑞格、马聂佐和科洛尼 (Dorigo, Maniezzo and Coloni, 1996)^[16], 阿尔茨和伦斯特拉 (Aarts and Lenstra, 1997)^[17], 拉洛弗和拉古纳 (Glover and Laguna, 1997)^[18]和寇儿朵 (Cordeau, 2002)^[19]等等。

在 20 世纪 90 年代之后, SVRP 逐渐开始得到重视。在已知的文献中, 库克和拉塞尔 (Cook and Russell, 1978) 是最早开始研究随机车辆路径问题 SVRP 的^[20]。该类问题一般包括: 旅行商概率问题 PTSP (Jaillet 1985, 1988)^[21-22]、车辆路径概率问题 PVRP (Bertsimas et al., 1991, 1993)^[23-25]、随机车辆路径问题 SVRP (Gendreau et al., 1999)^[26]。综述类文献有让德罗、拉波特和塞金 (Gendreau,

Laporte and Seguin, 1996b)^[27], 耀煌 (Yaohuang, 2002)^[28]等; 方法研究的文献有尼古拉·塞科曼迪 (Nicola Secomandi, 2009)^[29]、克拉拉·诺沃亚 (Clara Novoa, 2009)^[30]等。另外还有时间依赖旅行商问题 TD-TSP、时间依赖车辆路径问题 TD-VRP (Malandraki 1989, 1992)^[31-32]等。

动态车辆路径问题的研究起步相对较晚且发展较慢。虽然较早就出现了相关文献, 如普萨拉蒂 (Psaraftis, 1988)^[33]。但是, 只有在 90 年代后期, 随着计算机技术的发展之后, DVRP 研究才慢慢取得了一定的成果。主要文献有: 鲍威尔 (Powell, 1995)^[34], 让德罗和波蒂 (Gendreau and Potvinm, 1998)^[26], 克莱维特和扎韦尔斯贝格 (Kleywegt and Savelsbergh, 1999)^[35], 拉森 (Larsen, 2000)^[36], 拉森、马德森和所罗门 (Larsen, Madsen and Solomon, 2002)^[37]等。

在国内, 90 年代末期才开始引入车辆路径问题的研究, 并也逐渐得到重视^[38-42]。近十多年的时间经历了国外几个阶段的发展。无论是从算法的研究, 还是各种类型车辆路径的扩展都得到了比较广泛的研究^[43-56], 每年关于车辆路径问题的研究文献数量成倍增长。

但是, 关于随机车辆路径问题和动态车辆路径问题的研究在国内都相对较晚, 2002 年由谢秉磊先后在其发表文章和博士论文中将动态车辆路径问题和随机车辆路径问题引入国内^[57-58], 2005 年郑丽群、王德东和李大卫等^[59]以及杨世坚和陈韬^[60]也先后对随机车辆路径问题进行了综述, 认为随机车辆路径问题的研究重点仍然是区别于静态车辆路径问题的算法研究。后来, 陆续引起其他一些学者的关注, 但相关的研究仍然不多^[61-65]。并且, 目前关于动态车辆路径问题的研究比较注重不确定环境的车辆路径问题^[66-69]。

总之, 在国外动态车辆路径问题已经引起相当的重视, 相对能够找到较多的参考文献; 而国内相关文献相对较少。

(二) 动态车辆路径问题的特征及分类研究

普萨拉蒂 (Psaraftis, 1988) 最早提出了动态旅行商问题 DTSP,

并将 DVRP 定义为“安排车辆路径以满足实时出行的顾客需求”^[70-71]。后来,逐渐出现一些其他相关的动态车辆路径问题,例如,动态修理员问题 DTRP (Bertsimas and Van Ryzin 1990)^[25]、动态车辆路径问题 DVRP、动态旅客取送问题 DARP (Madsen et al., 1995)^[72]和带时间窗动态车辆路径问题 DVRPTW 等。在国内,谢秉磊等(2002)较早对动态车辆路径研究的进行了综述,并将 DVRP 定义为“在系统信息实时更新的情况下,安排车辆路径以满足系统要求达到的目标”^[58]。后来,肖增敏、李军(2004)也对 DVRP 和动态网络车辆路径的现状与展望进行了探讨^[69]。熊浩、胡列格(2009)对车辆载重实时减少的动态车辆路径进行了研究^[73]。

普萨拉蒂(Psarafitis, 1988, 1995)提出了 DVRP 相对于传统静态 VRP 的 12 条特性以及不确定信息的 4 种分类^[70-71]。鲍威尔(Powell, 1995)描述了 DVRP 的 3 个特征:有参数随时间变化、运营活动与时间相关、决策需要随时间反复多次进行^[74]。比安奇·所奥诺拉(Bianchi Leonora, 2000)对动态与静态车辆路径进行了比较,给出了时间、信息、目标函数、策略四个方面的区别^[75]。詹保罗·吉亚尼等(Gianpaolo Ghiani et al., 2002)对动态车辆路径问题的适用情况、定义分类及策略进行了一定的总结归纳^[76]。

另外,关于动态车辆问题的分类,普萨拉蒂最先提出了动态度的概念,后来拉森等(Larsen et al., 2002)给出了基于动态程度的动态车辆路径问题的分类:弱动态度、中动态度和强动态度,相应的动态度分别为:20%~30%、30%~80%、80%以上^[45]。拉森(2007)又根据动态度和系统目标,重新定义了以上三种类型的 DVRP,并分析了系统目标、优化策略的评价方法等^[77]。

目前关于动态车辆路径问题的定义和特征的研究,主要是与静态车辆路径的对比,认为与静态相对的就是动态车辆路径问题。但是,动态车辆路径问题与不确定信息车辆路径问题之间的关系很少进行比较分析;并且,在国内,动态车辆路径问题也包含动态网络环境车辆路径问题,而实际上国外的研究却往往是针对动态需求进行研究。所以,有必要提出动态需求车辆路径问题的概念(针对需求信息动态