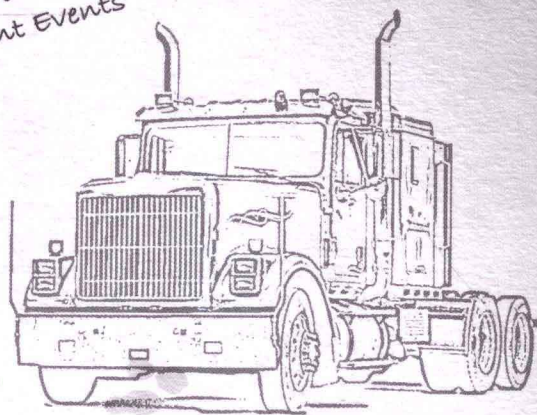


Vehicle Routing Problem Study
Based on Contingent Events



突发事件下的 车辆路径问题研究

唐连生◎著

中国物资出版社

2010 年广西壮族自治区高校质量工程专项物流管理紧缺人才
专业项目资助出版项目

突发事件下的车辆路径问题研究

唐连生 著

中国物资出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

突发事件下的车辆路径问题研究 / 唐连生著. —北京: 中国物资出版社, 2011. 11

ISBN 978 - 7 - 5047 - 3997 - 1

I. ①突… II. ①唐… III. ①突发事件—物流—车辆—运输调度—研究
IV. ①F253. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 195001 号

策划编辑 王宏琴

责任印制 方朋远

责任编辑 王宏琴

责任校对 孙会香 杨小静

出版发行 中国物资出版社

社 址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼 邮政编码 100070

电 话 010 - 52227568 (发行部) 010 - 52227588 转 307 (总编室)

010 - 68589540 (读者服务部) 010 - 52227588 转 305 (质检部)

网 址 <http://www.clph.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京京都六环印刷厂

书 号 ISBN 978 - 7 - 5047 - 3997 - 1/F · 1594

开 本 710mm × 1000mm 1/16 版 次 2011 年 11 月第 1 版

印 张 10.75 印 次 2011 年 11 月第 1 次印刷

字 数 180 千字 定 价 28.00 元

版权所有 · 侵权必究 · 印装差错 · 负责调换

前 言

车辆路径问题是物流管理研究中的一项重要内容，有效解决车辆路径问题不仅可以降低物流配送成本，还能提高客户个性化需求的响应速度、服务质量和客户对物流配送服务的满意度。突发事件容易引起交通堵塞，造成路网中断，增加车辆行程时间，从而引发基于连通可靠性和行程时间可靠性车辆路径问题，极大地增加了物流运输成本，严重损害物流企业的利益，同时还可能引起社会应急救援物流配送及伤病员转移等一系列问题。传统的车辆路径问题模型往往忽略突发事件对配送服务可靠性的影响，使用平均行程时间作为其车辆路线规划前提，但在突发事件背景下是无法真正满足这种要求的。要想合理地反映突发事件下物流配送车辆路线的随机动态性特征，必须构建能够考虑诸多因素的车辆路径问题模型，引入路网可靠性进行分析，从而使模型更贴近实际运行情况。借用路网可靠性的多种概率性能指标，反映物流配送系统的运行特征，为客户定制符合“个性化”需求的物流方案，借此提高物流企业的市场竞争优势。

本书就突发事件引起的基于连通可靠性、行程时间可靠性和应急物流配送的车辆路径问题进行了深入研究，主要研究内容如下：

- (1) 针对基本蚁群算法求解车辆路径问题时收敛速度慢的问题，提



出了一种快速收敛的蚁群算法,利用车辆满载率作为调节因子来控制信息素的变化,使其尽快寻找到最优路径。与基本蚁群算法相比较,在收敛速度和求解质量上具有明显的优越性。

(2) 提出了突发事件前提下基于连通可靠性的车辆路径问题和基于行程时间可靠性的车辆路径问题数学模型,利用蚁群算法中状态转移概率公式,将连通可靠性、行程时间可靠性问题与蚁群算法结合,应用到突发事件下的车辆路径问题中,丰富了车辆路径问题的内容。同时根据问题性质不同设置相应参数,丰富了蚁群算法的参数设定。通过实例分析探索了各参数取值对结果的影响及其合理设定。

(3) 旅行时间直接影响到顾客对应急物流配送服务的满意度,具有模糊旅行时间的车辆路径问题应考虑模糊约定时间对客户满意度的影响,应用线性加权法综合多个目标函数,通过实例分析了蚁群算法参数取值对结果的影响。

(4) 针对突发事件下灾难发生时应急物流的特点,提出了一种用于解决突发事件下物流配送车辆路径多目标优化问题的蚁群聚类优化算法。结合蚁群的墓地构造行为特点,利用改进 LF 蚁群聚类模型,以节点需求未得到满足的不满意度最小和路由时间最短为优化目标,应用线性加权方法将多目标问题转化为单目标问题,用 LF 蚁群聚类算法按约束条件进行聚类,最终确定车辆具体的出行线路。

目前,突发事件下车辆路径问题的研究刚刚起步,其适用性还未能被实际应用证实,求解的技术也远没有达到成熟的地步。但是,基于连通可靠性和行程时间可靠性的分析必然会给应急物流带来深远的影响。结合我国的国情,将路网可靠性理论与车辆路径问题有机结合,可以在很大程度上改善现有的应急物流服务状况,提高国

家的抗灾救援能力，具有广阔的实际应用前景。随着智能交通系统的发展，将群集智能技术应用于物流规划问题同样具有重要的理论和现实意义。

作 者

2011 年 9 月

目 录

1 绪 论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 车辆路径问题及其研究现状	3
1.2.1 车辆路径问题分类	3
1.2.2 国外研究现状	4
1.2.3 国内研究现状	20
1.3 存在问题及研究方向	22
1.4 本书主要研究内容	25
2 蚁群算法原理及其改进	28
2.1 蚁群算法的原理	28
2.2 蚁群算法	30
2.2.1 蚁群算法的发展概况	30
2.2.2 蚁群算法的变量和参数	32
2.2.3 状态转移概率	34
2.2.4 信息素轨迹强度更新	35
2.3 蚁群算法的改进	36



2.3.1 状态转移概率公式的改进	36
2.3.2 信息素更新策略的改进	37
2.4 改进蚁群算法求解 VRP 的基本步骤	37
2.5 实例分析	39
2.6 小结	43
3 基于连通可靠性的车辆路径问题研究	45
3.1 连通可靠性的基本概念	45
3.2 路网连通可靠性及其计算方法	47
3.3 基于连通可靠性车辆路径问题的数学模型	48
3.4 基于连通可靠性的车辆路径问题的蚁群算法	50
3.4.1 状态转移概率公式	50
3.4.2 信息素轨迹更新	52
3.5 数值计算及分析	53
3.6 小结	59
4 基于行程时间可靠性的车辆路径问题研究	61
4.1 引言	62
4.2 行程时间可靠性及其近似算法	63
4.2.1 用户均衡分配模型系统的行程时间可靠性	64
4.2.2 行程时间可靠性的近似算法	65
4.3 基于行程时间可靠性的 VRP 数学模型	66
4.4 VRPTTR 的蚁群算法	68
4.4.1 状态转移概率公式的改进	69

4.4.2 信息素更新策略	70
4.5 实例分析	71
4.6 多种可靠性混合的车辆路径问题	75
4.6.1 多种可靠性混合的车辆路径问题数学模型	75
4.6.2 蚁群算法的状态转移概率公式	77
4.6.3 数据仿真与分析	80
4.7 小结	85
 5 基于信息熵蚁群算法的 FTTVRP 问题研究	86
5.1 引言	87
5.2 相关模糊理论及 FTTVRP 的数学模型	88
5.2.1 模糊理论	88
5.2.2 FTTVRP 的多目标数学模型	89
5.2.3 多目标函数的处理	91
5.3 基于信息熵的蚁群算法	92
5.3.1 信息熵的基本概念和性质	92
5.3.2 基于信息熵的蚁群算法	92
5.3.3 信息素更新策略和改进	93
5.4 计算实例	94
5.5 小结	96
 6 突发事件下物流配送问题的蚁群聚类算法研究	98
6.1 引言	98
6.2 问题假设和数学模型	100



6.3 蚁群聚类算法	104
6.3.1 BM 聚类和 LF 聚类	104
6.3.2 改进 LF 蚁群聚类算法	106
6.4 算例	108
6.5 小结	110
7 广西应急物流三级配送体系研究	112
7.1 概述	112
7.2 广西应急物流配送体系现存问题	113
7.2.1 缺乏专业化的应急组织机构	113
7.2.2 应对各种灾害的预案准备不足	114
7.2.3 物资储备不足	114
7.2.4 应急车辆运输管理不足	114
7.2.5 信息保障不足	115
7.2.6 缺乏专业的应急物流人才	115
7.3 广西应急物流配送体系建设措施	116
7.3.1 建立应急物流配送控制中心	116
7.3.2 建立完善的应急物流配送信息平台	116
7.3.3 联合军事部门	117
7.3.4 联合第三方物流	117
7.3.5 严格执行国家法律法规	118
7.3.6 资源管理	118
7.4 三级配送管理模式	120
7.4.1 第一级配送体系	120

7.4.2 第二级配送体系	121
7.4.3 第三级配送体系	122
7.4.4 三级配送体系综合管理	123
7.5 小结	123
 8 结论与展望	 124
8.1 本书研究的主要结论	124
8.2 本书的主要创新点	127
8.3 展望	127
 参考文献	 129
附录 R210 数据文件内容	152
后 记	157

1 绪 论

1.1 研究背景及意义

“非典”、禽流感、南方雪灾、四川地震等自然灾害、重大交通事故和恐怖袭击等突发事件的发生促使人们开始关注商品流通的应急研究^[1-3]，特别是物流运输行业的车辆路径选择问题研究^[4-10]。根据美国商业部门的统计研究表明，在整个物流运营成本中，美国在物流的花费有高达 58% 消耗在运输方面，降低运输成本也是我国物流行业面临的普遍问题。本书主要考虑突发事件背景下，综合路网可靠性数据和客户需求情况合理安排车辆出行路线，同时对突发事件下应急救援物流配送的车辆路径问题进行了初步的研究。当某一个地区因为突发事件被暂时封闭后，将引发路网连通可靠性问题，相应地引起车辆在路网上行程时间的延迟。对于长期封闭路段，路过该地区的车辆将不得不绕道而行，无形中增加物流成本。车辆路径问题（Vehicle Routing Problem, VRP）也是物流管理研究中的一项重要内容，根据北美和欧洲的统计，由于大规模使用运筹学和数学规划方法进行物流配送规划，在运输费用方面可以节约 5% ~ 20%^[34]，经济效益明显。可见，车辆路径问题得到恰当的解



决,不仅可以降低物流配送的成本,还能提高客户需求的响应速度、服务质量和客户对物流配送服务的满意度。

突发事件不断发生,揭示了交通运输网络是物流企业最重要的生命线^[11],灾难发生后的救援工作则完全依赖于交通运输网络所提供的运输能力,以及能否及时可靠地将人力和物资运送到事发地点^[12]。智能交通系统(Intelligent Transport System, ITS)、全球定位系统(Global Positioning System, GPS)等信息技术的迅速发展给管理者和司机提供更多的路况资料^[13-15],也对物流配送服务可靠性提出了更高的要求^[16-21]。目前人们应对突发性危机主要依赖于市场信息体系的完备性和政府导向,由突发事件引起的交通堵塞将极大地增加物流运输成本,严重损害物流企业的利益。这种情况下,如何选择合适的配送路线^[22,23],提高物流配送的可靠性^[24,25]和客户满意度^[26]就成为了我们所关注的重要问题。

突发事件的出现,向物流行业的管理者们提出了更为稳定、可靠的物流配送网络服务水平的要求。在突发事件环境下,客户对配送服务满意度评价指标的一个重要特征就是服务可达性,特别是在不确定环境下服务可达性与司机的经验判断密切相关,具有很多的不确定因素。突发事件环境下有多种因素影响司机的路径选择行为,如个人偏好、路网状况和经验判断等,因此服务可达性是随机变化的,同时,多种不确定因素也随机改变着路网的状态,如交通事故、自然灾害以及日常的交通拥堵、道路改造维护等,最终造成商品无法在预定时间内送达顾客手中,造成服务满意度下降、甚至失去客户的后果。传统的车辆路径问题模型往往忽略突发事件对配送服务可靠性的影响,使用平均行程时间作为其车辆路线规划前提,在突发事件下是无法真正满足这种要求的。要想合理地反映物流配送车辆路线的随机动态性特征,就必须对构建能够考虑



诸多因素的车辆路径问题模型，引入可靠性理论进行分析，从而使模型更贴近实际运行情况。借用交通运输网络可靠性的多种概率性能指标，反映物流配送系统的运行特征，为客户定制符合“个性化”需求的物流方案，借此提高物流企业的市场竞争优势。因此，研究突发事件下的车辆路径问题具有重要的理论意义和现实意义。

由于 VRP 问题在现实中具有广泛的应用，因而寻找其实际而有效的算法就显得颇为重要。目前人们普遍认为，VRP 是强 NP - hard 难题，没有任何高效的精确算法能够解决，因此大量学者把精力放在了寻找和构造高质量的近似算法上。尽管有指数级的算法可作精确计算，但对于大规模问题的求解存在运算能力不足或求解失效。因此，人们退而求其次，转向寻找近似算法或启发式算法。经过几十年的努力，取得了相当的进展。许多社会性动物（如蚁群^[27,28]、蜂群^[29]、鸟群^[30]、鱼群^[31]等）的自组织行为引起了人们的广泛关注，通过对这种群集智能行为进行数学建模并用计算机进行仿真，通过模拟社会性动物群集工作时的智能行为特征，可以近似获得 VRP 问题的相对满意解。本书通过研究突发事件条件下物流配送车辆路径问题，探讨其相关模式及群集智能求解算法，期望能够用来指导在突发事件影响下车辆出行的排程与路线制定。

1.2 车辆路径问题及其研究现状

1.2.1 车辆路径问题分类

自车辆路径（Vehicle Routing Problem, VRP）问题被提出后，引起



世界各国学者广泛关注。许多学者从不同角度,按不同标准对该问题进行了分类。西南交通大学李军教授根据是否考虑时间和空间将该问题分为 VRP、VSP 和 VRSP 混合问题^[32]。按照车辆路径问题的几个主要影响因素(容量、回程、时间窗、捡货),从 VRP 问题约束演化相关性的角度,将 VRP 问题划分为有容量限制的 VRP^[38-45](Capacited Vehicle Routing Problem, CVRP)、有回程的 VRP^[47-49](VRP with Backhaul, VRPB)、有时间窗限制的 VRP^[51,52](VRP with Time Windows, VRPTW)、含集货送货的 VRP (VRP with Pickup and Delivery, VRPPD)^[50]四个大类,由这四类典型 VRP 根据各参变量变化又衍生出有距离限制的 VRP^[55](Distance - Constrained Vehicle Routing Problem, DCVRP)、有回程和时间窗的 VRP (VRPTW with Backhaul, VRPBTW)^[72]以及有时间窗的集货送货 VRP^[56](VRPTW with Pickup and Delivery, VRPPDTW)。根据需求和时间的特性划分,又可以将 CVRP 分为模糊 VRP^[53](Fuzzy VRP, FVRP)、动态 VRP (Dynamic VPR, DVRP)^[54]和随机 VRP^[46](Stocchastic VRP, SVRP)。其相互间的内在衍生关系如图 1-1 所示。

1.2.2 国外研究现状

1. 车辆路径问题一般模型及算法

VRP 问题来源于交通运输,由 Dantzig 和 Ramser^[33,37]最早于 1959 年提出,它是组合优化问题中一个典型的 NP-hard 问题,用于研究亚特兰大炼油厂向各加油站发送汽油的运输路径优化问题。随后的几十年里,VRP 问题不断得到扩充和发展。通常用图 $G = (V, E)$ 来描述该问题,在图 $G = (V, E)$ 中, $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$, $E = \{(i, j), i \neq j, i, j \in V\}$, 节点 0 表示仓库 (depot), 其他节点为客户。每个客户的需求为 q_i , 边

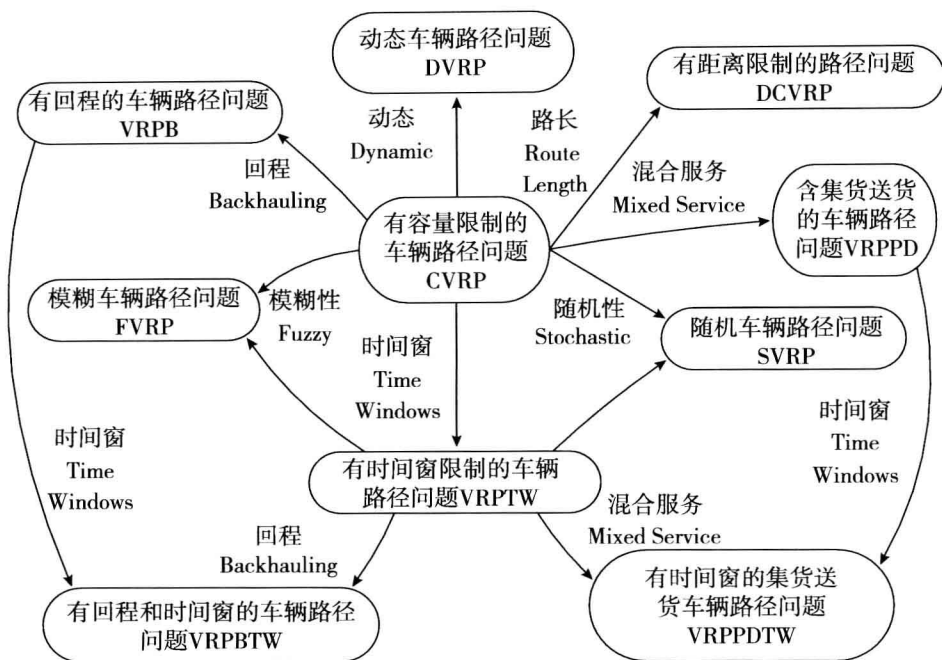


图 1-1 基本车辆路径问题分类及其内在联系

(i, j) 对应的距离或运输时间或成本为 C_{ij} ，所有车辆运输能力为 Q ，车辆从仓库出发，完成运输任务后回到仓库，每个顾客只能接受一次服务，问题的研究目标是：对一系列顾客需求点设计适当的路线，使车辆有序地通过，在满足一定的约束条件（如货物需求量、发送量、交发货时间、车辆容量限制、行驶里程限制、时间限制等）下，达到一定的优化目标（如里程最短、费用最少、时间尽量短、车队规模尽量小、车辆利用率高等）。

在运用 VRP 模型对实际问题进行研究时，需要考虑以下几个方面的问题：

- ①仓库：仓库的级数，每级仓库的数量、地点和规模。
- ②车辆：车辆的型号和数量，每种车的容积和运输费用，出发时间



和返回时间,司机休息时间,最大的历程和时间限制。

③时间窗:由于各处的工作时间不同,需要各个地点协调。

④顾客:顾客需求,软硬时间窗,装载或卸载,所处的地理位置,分离需求,优先等级。

⑤道路信息:车流密度,道路交通费用,距离或时间属性。

⑥货物信息:货物的种类多少,兼容性,货物的保鲜。

⑦运输规章:工人每天的工作时间,车辆的周期维护。

Golden^[34,78]给出的VRP的数学模型如下:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{v=1}^{NV} c_{ij} x_{ij}^v + \left(\sum_v f_v \sum_j x_{1j}^v \right) \quad (1-1)$$

约束条件:

$$\sum_i \sum_v x_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, 3, \dots, N) \quad (1-2)$$

$$\sum_j \sum_v x_{ij}^v = 1 \quad (i = 2, 3, \dots, N) \quad (1-3)$$

$$\sum_{i=1} x_{ip}^v - \sum_{j=1} x_{pj}^v = 0 \quad (p = 1, 2, \dots, N; v = 1, 2, \dots, NV) \quad (1-4)$$

$$\sum_i q_i \left(\sum_j x_{ij}^v \right) \leq Q \quad (v = 1, 2, \dots, NV) \quad (1-5)$$

$$\sum_i t_i^v \sum_j x_{ij}^v + \sum_i \sum_j t_{ij}^v x_{ij}^v \leq T_v \quad (v = 1, 2, \dots, NV) \quad (1-6)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^v \leq 1 \quad (v = 1, 2, \dots, NV) \quad (1-7)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{1i}^v \leq 1 \quad (v = 1, 2, \dots, NV) \quad (1-8)$$

$$X = \{x_{ij}\} \in V \quad (x_{ij} = \sum_v x_{ij}^v) \quad (1-9)$$

$$x_{ij}^v = 1 \text{ 或 } 0 \quad \text{for all } v, i \text{ and } j \quad (1-10)$$

VRP 时间窗约束:

$$\underline{a}_j \leq a_j \leq \bar{a}_j \quad \text{即到达时间} \in [\underline{a}_j, \bar{a}_j]$$