

配送系统优化中 两级定位-路径问题 建模及算法

陈久梅 著



科学出版社

配送系统优化中 两级定位-路径问题建模及算法

陈久梅 著

国家自然科学基金项目（71101159）
电子商务及供应链系统重庆市重点实验室开放
基金项目（2013ECSC0101）
联合资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以配送系统优化中的两级定位-路径问题为研究对象,借鉴国内外最新研究成果,清晰界定研究问题,提炼数学建模的假设条件,在此基础上,从车流、节点、边等不同角度分别建立对应的数学模型,模型求解方面尝试使用 Lingo 软件直接进行求解,但当求解问题规模较大时,其求解非常困难。对此,分别设计了求解的人工蜂群算法、粒子群算法及人工鱼群算法,算法中融入了路径重连策略及变邻域搜索策略,并用算例进行了验证。

本书适用于物流管理、物流工程、管理科学与工程、工商管理 etc 经济管理专业教学、科研人员,也可供从事物流管理工作的政府经济部门和企事业单位管理人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

配送系统优化中两级定位-路径问题建模及算法 / 陈久梅著. — 北京: 科学出版社, 2014

ISBN 978-7-03-040363-6

I. ①配… II. ①陈… III. ①物流配送-系统优化-研究 IV. ①F252.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 067541 号

责任编辑: 李 莉 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 阎 磊 / 封面设计: 无极书装

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 720 × 1000 B5

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 10

字数: 219 000

定价: 52.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着社会的发展和经济全球化的加剧,企业之间的竞争越来越激烈。为了提高自身的竞争力,越来越多的企业将目光着眼于配送系统的优化。配送系统优化主要包括战略层的设施定位问题和战术层的车辆路径问题(vehicle routing problem, VRP)。在过去的几十年里,学者们对设施定位问题和车辆路径问题分别进行了大量研究。但有研究表明,将这两个问题分开优化,不但会延长配送系统优化时间,而且很容易陷入子问题最优、整体次优,从而增加配送总成本。因此,作为设施定位问题和车辆路径问题的集成问题,定位-路径问题(location-routing problem, LRP)逐渐成为研究热点。

已有研究大多针对一级定位-路径问题(one-echelon location-routing problem, 1E-LRP),即假设物品从供应点直接运送到需求点,不经过中转。然而,随着人们消费水平的提高,需求逐渐从少品种大批量向多品种小批量方式转变。为适应这种变化,需要在供应点与需求点之间设置中转站,以便将从供应点运来的少品种大批量物品在中转站进行拆包、拼装、配载等活动完成中转,满足需求点小批量多品种的需要。如此便形成了两级定位-路径问题(two-echelon location-routing problem, 2E-LRP)。近年来,各种启发式算法在非确定性多项式困难(non-deterministic polynomial-time hard, NP-hard)问题求解中的成功应用,引起了学术界对包括多个 NP-hard 子问题的两级定位-路径问题研究的重视。

本书以配送系统优化中的两级定位-路径问题为研究对象,建立了该问题的两下标、三下标及集分割数学模型,在给出算法基本模块基础上,详细设计了求解该问题的人工蜂群(artificial bee colony, ABC)算法、粒子群(particle swarm optimization, PSO)算法及人工鱼群(artificial fish swarm algorithm, AFSA)算法,并分别进行了实验分析。全书共7章。第1章为绪论,主要介绍了研究背景及意义、文献综述及主要研究内容。第2章介绍了配送系统优化中所用到的基本理论,包括配送系统的内涵、构成及优化;定位-路径问题的问题描述、分类及常用求解算法;介绍了三类启发式算法,即传统启发式算法、元启发式算法和混合启发式算法。第3章在给出问题描述及假设条件的基础上,分别建立了两级定位-路径问题的两下标车流模型、两下标节点模型、两下标边/节点集分割模型、两下标边集分割模型以及三下标节点模型。第4章给出了书中所用算法共用基本模块的详细信息,具体包括三个方面的内容:一是初始解生成方式;二是邻域解生成过程中用

到的邻域搜索基本模块、搜索策略、变邻域搜索 (variable neighborhood search, VNS) 及其中的开放/关闭算子; 三是路径重连过程中分别以“中转站”“路径”和“边”为对象的处理模块。第 5 章在介绍人工蜂群算法的基础上, 设计了求解两级定位-路径问题的基本人工蜂群算法、路径重连人工蜂群算法、变邻域人工蜂群算法以及路径重连变邻域人工蜂群算法, 并分别用算例进行了实验分析。第 6 章在介绍粒子群算法的基础上, 设计了求解两级定位-路径问题的路径重连粒子群算法及路径重连变邻域粒子群算法, 并分别用算例进行了实验分析。第 7 章在介绍人工鱼群算法的基础上, 设计了求解两级定位-路径问题的人工鱼群算法, 并用算例进行了实验分析。

本书内容是国家自然科学基金项目(71101159)、电子商务及供应链系统重庆市重点实验室开放基金项目(2013ECSC0101)部分研究成果的体现。在项目研究和本书的撰写过程中, 得到了重庆工商大学商务策划学院、电子商务及供应链系统重庆市重点实验室相关领导和同事的关心和支持。特别要感谢黄辉教授、龚英教授、曾波博士对本书写作提出很好的建议, 感谢吴汶书、胡籍、陈镜羽、陈颢、程成、张焱等同学为本书的撰写收集整理材料、编写程序及进行校对工作, 感谢我的爱人、父母和女儿在本书撰写期间给予的理解、支持与鼓励!

在本书撰写过程中, 参考了大量国内外文献资料, 并在书中尽量注明和列出。在此, 向相关作者表示衷心感谢!

由于作者水平有限, 时间仓促, 书中存在不足之处在所难免, 恳请有关专家、读者批评指正!

陈久梅

2013 年 12 月于重庆工商大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 研究现状	2
第 2 章 基本理论概述	9
2.1 配送系统概述	9
2.2 LRP 概述	11
2.3 启发式算法概述	15
第 3 章 2E-LRP 建模	19
3.1 问题描述	19
3.2 假设条件	20
3.3 符号说明	20
3.4 数学建模	21
第 4 章 算法基本模块	44
4.1 初始解生成	44
4.2 邻域搜索	50
4.3 路径重连	76
第 5 章 求解 2E-LRP 的人工蜂群算法	96
5.1 基本人工蜂群算法概述	96
5.2 求解 2E-LRP 的基本人工蜂群算法	99
5.3 求解 2E-LRP 的路径重连人工蜂群算法	105
5.4 求解 2E-LRP 的变邻域人工蜂群算法	114
5.5 求解 2E-LRP 的路径重连变邻域人工蜂群算法	119
第 6 章 求解 2E-LRP 的粒子群算法	123
6.1 基本粒子群算法概述	123

6.2 求解 2E-LRP 的路径重连粒子群算法	125
6.3 求解 2E-LRP 的路径重连变邻域粒子群算法	130
第 7 章 求解 2E-LRP 的人工鱼群算法	135
7.1 基本人工鱼群算法	135
7.2 求解 2E-LRP 的路径重连人工鱼群算法	138
参考文献	143

第1章 绪 论

1.1 研究背景及意义

随着互联网的发展和信息技术的日新月异,传统商务活动中的信息流、资金流、商流可以通过互联网方便实现,但贸易活动的最终完成还需依赖高效的物流活动,所以从某种程度上说物流是商务活动的重要组成部分,是资金流和信息流的载体与基础^[1]。据工业和信息化部网站 2013 年 2 月 4 日公布的《2012 年我国物流业运行形势报告》显示,2012 年我国物流业运行形势总体良好,社会物流总额和物流业增加值均保持较快增长,但社会物流总费用依然偏高。其中,全国社会物流总额 177.3 万亿元,按可比价格计算,同比增长 9.8%;全国社会物流总费用 9.4 万亿元,同比增长 11.4%,社会物流总费用与 GDP 的比率为 18%^[2]。

配送作为物流活动的一个关键环节,是体现现代物流服务水平的重要标志。配送通过将用户所需的各种物品集中起来组配后向用户发货,以及将多个用户的小批量物品集中起来发货等方式,提高了末端物流的经济效益^[3]。现阶段,我国配送还比较落后,配送企业鱼目混杂、发展参差不齐,基础设施不完善,配送效率低下,造成了配送成本高、服务质量差。这已成为制约物流业发展的瓶颈。同时,由于实际配送活动受诸多因素影响(如客户分布区域、道路网络、车辆通行限制、送达时间要求、车流量变化等),导致实际操作中,难以制订配送计划、难以选择配送路径、难以按时交货、配送绩效评价基准不明确,以及物品在配送过程中的遗失和损坏等^[4]。在此背景下,研究如何运用科学方法对配送系统进行优化已成为企业界和学术界必须解决的重要课题。

配送系统优化是运用运筹学、图论、网络分析、组合数学等理论,研究配送系统中配送中心选址、配送车辆优化调度、配送线路优化等问题。这些问题可抽象为学术界所研究的设施定位问题(facility location problem, FLP)、VRP、LRP,其中 LRP 是 FLP 和 VRP 的集成问题。目前针对 FLP、VRP 方面的研究成果非常丰富,详见本章 1.2 节。但 Salhi 和 Rand^[5]研究指出将 FLP、VRP 分开进行优化的做法往往会求得配送系统的次优解。Stenger 等^[6]进一步研究表明,FLP 和 VRP 两者之间存在强烈的相互依存关系。因此,有必要研究配送系统优化中的 LRP。

LRP 的求解难度非常大,导致该问题的研究进展相当缓慢。近二十年来,组

合优化理论和启发式算法方面研究成果的大量出现,以及 FLP 和 VRP 方面分别取得的相当丰富的研究成果,为 LRP 数学模型的构建、求解思路及算法设计等方面提供了重要参考。与此同时,随着集成物流管理理念被越来越多的企业所接受,LRP 在各相关领域得到了特别的关注,并取得了较丰富的研究成果。然而,已有研究主要集中在一级定位-路径问题上,即在一级设施与需求点组成的配送系统中,设施如何定位,从设施到需求点的车辆如何调度,车辆行驶路径如何安排。近年来,随着我国经济飞速发展,城市化进程不断加快,市区交通阻塞、环境污染、市民生活质量不高等问题日益严重。多数大中城市对于物流活动中所使用的大货车进入市区采取了一系列的限制措施。同时,电子商务“最后一公里”配送的问题日益突出。因此,在设施点与需求点之间建立中转站(为方便叙述,以下将设施点称为“配送中心”,需求点称为“顾客”),将大货车从配送中心运来的物品,在中转站由可以进入市区的小货车进行中转,如此形成由“配送中心”“中转站”“顾客”构成的两级配送系统。其中配送中心、中转站选址、配送中心与中转站之间、中转站与顾客之间的车辆调度,以及车辆行驶路径安排可抽象为两级定位-路径问题。目前该问题的研究成果相对较少。本书对此进行研究,其成果将进一步丰富配送系统优化领域的理论研究,且对配送系统的实际应用将发挥一定的指导作用,降低配送成本,从而有效促进城市物流、电子商务物流等的发展。

1.2 研究现状

1.2.1 配送系统优化研究现状

目前,国内外学者对配送系统优化的研究取得了较多成果,研究对象主要有:FLP、VRP 和 LRP。LRP 的研究将在 1.2.2 节进行详细介绍,在此就 FLP 及 VRP 的研究进行综述。

1. FLP

FLP 是管理科学领域的一个经典问题。该问题最早是由 Weber^[7]提出,他将设施选址问题描述为:确定一个仓库位置,使得仓库与各个客户之间的总运输距离最短。后来,随着物流业的发展,FLP 的研究逐渐扩展到物流活动的各个环节,包括生产场地、仓库、配送中心、店铺等的选址^[8]。FLP 方面的研究成果非常丰富,详见文献[9]和文献[10]。在此,从选址方法的角度,结合近期文献对 FLP 的研究进行综述。选址方法主要可分为综合评价法以及数学模型法^[11]。

1) 综合评价法

设施选址的综合评价法主要有层次分析法、模糊综合评价、灰色系统评价和

多元统计分析等。

Yang 和 Lee^[12]针对新设施选址及现有设施搬迁的 FLP, 提出了一种层次分析法。李佑珍^[13]针对物流中心选址问题, 应用了层次分析法就提出的若干个候选方案进行评价选择。胥文华^[14]运用层次分析法、数据包络分析法和数学模型相结合的思想求解奥运物流中心的二阶段选址。Deluka-Tibljša 等^[15]针对实际车辆停车设施选址问题, 提出了基于层次分析法的多准则分析方法, 实验分析了五个潜在设施点的情形。

陆琳琳和张仁颐^[16]建立了包含企业采购与销售的整个上下游物流活动的物流中心选址模型, 综合考虑选址过程中的非费用因素, 采用模糊评价法对选址方案进行评价。Safari 等^[17]提出基于顺序偏好的模糊扩展方法求解设施选址问题。

闫莉和张立新^[18]针对设施选址中同时存在成本因素与非成本因素的特点, 提出用灰色关联分析法进行选址评价。高洁和李锦飞^[19]针对影响物流中心选址因素的特点, 提出利用灰色关联分析方法对物流中心选址进行决策分析。

王明宪等^[20]采用综合主成分分析和神经网络方法, 降低神经网络规模, 提高神经网络的泛化能力, 在解决非线性系统的物流中心选址问题中显示了较高的精度和效率。陈荣和李月^[21]在综合考虑定量指标和定性指标相结合的评价指标体系下, 采用距离综合评价法对物流中心选址问题进行了求解。

榻文怡^[22]采用层次分析法和模糊综合评价对各方案进行指标评价, 找出最优选址。夏景虹^[23]首先建立枢纽型物流中心选址的评价指标体系, 将灰色关联分析引入到层次分析法中, 采用变权综合的方法对各方案进行评价。Kumar 和 Kumanan^[24]提出了一个由模糊综合评价和层次分析法集成的多准则决策方法, 求解供应链网络中的 FLP。Kabir 和 Sumi^[25]采用集成改进的德尔菲法和基于顺序偏好的模糊扩展层次分析法求解 FLP。

2) 数学模型法

FLP 的数学模型主要有双层规划模型、鲍姆尔沃尔夫模型、P-中值模型以及混合整数规划模型等。

孙会君和高自友^[26]在充分考虑物流规划部门与客户双方利益及选址地点对路线安排影响的基础上, 采用双层规划模型描述并求解了物流配送中心的选址问题。Küçükaydin 等^[27]针对一个公司在新的市场设置新设施, 而该市场已有属于竞争对手设施的情形, 建立了设施选址的双层混合整数非线性规划模型。Gan 等^[28]针对配送中心和零售商组成的供应链, 以最大限度地提高设施覆盖区域以满足客户需求为目标, 建立该问题的双层规划模型, 并应用遗传算法 (genetic algorithm, GA) 进行了求解。

夏文汇等^[29]运用鲍姆尔沃尔夫模型定量研究了企业产品包装物流运输中心的选址问题。

Weaver 和 Church^[30]针对交通网络中设施选址问题, 提出一个向量赋值的广义 P-中值模型。Chen 等^[31]针对不确定性设施选址问题, 提出一种以最大限度减少预期后悔与内生选择子集的 P-中值模型。严冬梅等^[32]针对客户需求随着时间变化的物流中心的动态选址问题, 采用改进的 P-中值方法建立动态选址模型。Weng 等^[33]针对应急设施选址问题, 建立了 P-中值选址模型的改进模型, 并用安徽省作为模型的一个应用实例进行了验算。

Haug^[34]提出一种多周期、混合整数规划数学模型, 优化海外制造的选址, 以最大限度提高母公司的税后利润。刘海燕等^[35]分析了物流系统中库存管理、运输、配送中心之间的联系, 应用最优化方法建立了物流配送中心选址的混合整数规划模型。Mounir 等^[36]针对配电系统中设施定位问题和客户覆盖分布系统设计的核心问题, 建立了连续选址模型、网络选址模型和混合整数规划模型进行求解。

2. VRP

VRP 是指对于一系列发货点和(或)收货点, 组成适当的行车路径, 使车辆有序地通过它们, 在满足一定约束条件的情况下, 达到一定的目标^[37]。由于其特有的魅力及其与运筹学理论研究和实际生产的紧密联系, 自 1959 年被 Dantzig 和 Ramser 提出以来^[38], VRP 很快引起了运筹学、管理学、计算机应用、组合数学、图论等学科专家学者的高度重视。他们对该问题进行了大量的理论研究和实验分析, 取得了相当丰富的研究成果, Bruce 等^[39]、Kumar 和 Panneerselvam^[40]等都进行了详尽的阐述。Fisher^[41]将 VRP 的研究分为三个阶段, 以下列出各阶段的代表性文献。

1) 古典的 VRP 研究阶段(1959~1970 年)

这个阶段的算法多数注重针对具体问题的车辆路径安排, 没有或者不太注意路径长度或者费用的最小化, 而且处理的客户规模通常比较小, 可移植性较差。Clarke 和 Wright^[42]提出了求解 VRP 的 C-W 节约算法。Knight 和 Hofer^[43]研究了有容量约束且需求按顺序到达的 VRP。Christofides 和 Eilon^[44]针对有容量约束和最大行驶距离有约束的 VRP, 提出了分支定界法、节约算法及 3-opt 法进行求解。

2) 基于数学规划和网络分析的 VRP 研究阶段(1970~1990 年)

在这个阶段中, 数学规划和网络分析的方法有了一定的发展, 人们开始用数学规划和网络的最大流和最小流来研究 VRP。Christofides 等^[45]采用状态空间松弛法和拉格朗日整数规划松弛, 求解有时间约束的旅行商问题和车辆路径问题。Laporte 和 Nobert^[46]针对同质车辆且需求非负情形下的 VRP, 建立整数规划模型, 采用分支定界法进行求解, 求解问题规模达到 50。Laporte 等^[47]针对非对称有容量约束的 VRP, 提出包含两个分支规则和三个分区规则的精确算法, 求解问题规模多达 260。Agarwal 等^[48]针对 VRP 建立了集分割模型。

3) 基于智能算法的 VRP 研究阶段 (1990 年 ~)

这个阶段大多采用智能算法进行求解。智能算法可移植性强,能在合理的时间内给出问题的最优解或可行解,而且智能算法能处理规模较大的 VRP。此阶段的文献主要围绕针对 VRP 及其扩展问题设计单一基本智能算法、单一算法的改进算法、多种算法的混合算法。求解 VRP 的算法有模拟退火算法^[49,50] (simulated annealing, SA)、禁忌搜索算法^[51,52] (tabu search, TS)、遗传算法^[53]、粒子群算法^[54,55]、蜂群算法^[56]、蚁群算法^[57]、自适应变邻域搜索算法^[58]等,还有改进遗传算法^[59]、离散粒子群和模拟退火混合算法^[60]、粒子群和蛙跳混合算法^[61]、模拟退火和禁忌搜索混合算法^[62]、遗传算法和粒子群混合算法^[63]等;求解 VRP 扩展问题,如求解带时间窗 VRP (VRP with time windows, VRPTW) 的禁忌搜索算法^[64,65]、遗传算法^[66,67]、模拟退火算法^[68]、文化基因算法^[69]等;求解同时取货和送货 VRP (VRP with simultaneous pickup and delivery, VRPSD) 的遗传算法^[70]、粒子群算法^[71]、变邻域搜索^[72]、模拟退火算法^[73]等;求解有能力约束 VRP (capacitated VRP, CVRP) 的量子进化算法^[74]、文化基因算法^[75]、人工蜂群算法^[76]、自适应大规模邻域搜索算法^[77]等;求解开放 VRP (open VRP, OVRP) 的禁忌搜索算法^[78,79]等;求解动态 VRP (dynamic VRP, DVRP) 的人工蜂群算法^[80]、粒子群算法^[81,82]、分散搜索算法^[83];求解其他扩展问题的,如多中心 VRP^[84] (multi-depot VRP, MDVRP)、带货物权重的 VRP^[85] (weighted VRP, WVRP) 等。

1.2.2 LRP 研究现状

Maranzana^[86]定义了集成考虑 FLP 和 VRP 的 LRP。LRP 自提出以来,得到了学术界的广泛关注,并取得了相当丰富的研究成果。Min 等^[87]、Nagy 和 Salhi^[88]先后对 LRP 的研究进行了综述。在此基础上,结合近年来的研究成果,从 LRP 求解算法角度对 LRP 的研究进行综述,LRP 的求解算法主要有精确算法和启发式算法两种。

1. 精确算法

Laporte 和 Nobert^[89]针对单一设施和车辆数量有限的 LRP,建立了两下标混合整数规划模型,用分支定界法进行求解。Laporte 等^[90~92]将单一配送中心拓展为多个配送中心,研究 LRP 以及多中心和有容量约束的 LRP,采用分支定界法求解两下标混合整数规划模型。Belenguer 等^[93]建立了有容量约束的定位-路径问题的两个混合整数规划模型,并采用分支切割法进行求解,而 Contardo 等^[94]针对有容量约束的 LRP,建立两下标车流模型,提出新的有效不等式,并采用分支定界算法进行求解。

2. 启发式算法

早期采用精确算法求解 LRP 的文献较多,但由于 LRP 为 NP-hard 问题^[95],其求解非常困难。近年来使用精确算法求解 LRP 的文献较少,大多数文献采用启发式算法进行求解。

Tuzun 和 Burke^[96]提出两阶段禁忌搜索方法求解有容量约束的 LRP (capacitated LRP, CLRP)。Albareda-Sambola 等^[97]采用禁忌搜索算法求解设施点容量有限的 LRP。Prins 等^[98]建立了 LRP 的整数线性规划模型,其中设施选址阶段采用拉格朗日松弛进行求解,多节点车辆路径优化阶段采用禁忌搜索算法进行求解。蒋泰和杨海珺^[99]建立了带软时间窗 LRP (LRP with soft time windows, LRPSTW) 的混合整数规划模型,提出了基于禁忌搜索算法的两阶段启发式算法对其进行求解。魏晓明^[100]在基本 LRP 模型基础上添加时间窗约束,建立了带时间窗 LRP (LRP with time windows, LRPTW) 的数学模型,设计了求解的禁忌搜索算法。

Wu 等^[101]研究了多中心有容量约束的 LRP,考虑到其求解的复杂,将其分解为 FLP 和 VRP 两个子问题,并以顺序迭代方式,采用模拟退火算法分别求解每个子问题。李有兰^[102]在考虑车辆固定成本、设施建设成本的情况下,建立了随机需求 LRP 问题的数学模型,运用模拟退火算法对其进行了求解。Yu 等^[103]采用模拟退火算法求解 CLRP 问题。徐丽蕊^[104]建立了有集货和送货需求的 LRP (LRP with simultaneous pickup and delivery, LRPSPD) 的数学模型,设计两阶段启发式算法进行求解。第一阶段为 FLP,采用禁忌搜索算法,第二阶段为集配货一体化的 VRP,采用模拟退火算法进行求解。

楚艳娟^[105]将三层 LRP 问题分解成多个一般 LRP 子问题,然后针对 LRP 子问题设计一阶段求解的遗传算法。郑斌等^[106]建立了应急物资需求模糊的多目标 LRP 的数学模型,并提出了一种多目标遗传算法对其进行求解。Jin 等^[107]采用混合遗传算法将 LRP 作为整体进行求解,其中采用了禁忌搜索算法以提高求解效率。代颖等^[108]建立了应急资源需求和应急救援时间范围均模糊的多目标 LRP 的数学模型,提出了混合多目标遗传算法对其进行求解。李守英等^[109]建立了带时间窗和模糊搜救时间 LRP 的数学模型,并采用遗传算法进行求解。赵海娟^[110]建立了应急物流模糊多目标 LRP 模型,并设计了求解的多目标遗传禁忌混合算法。代颖和马祖军^[111]基于机会约束规划方法建立了应急物流系统中带时间窗的随机 LRP 的数学模型,设计了结合禁忌搜索和蒙特卡罗方法的混合遗传算法对其进行求解。孙华丽等^[112]建立了基于随机机会约束规划的多目标应急物流 LRP 问题的数学模型,设计了改进遗传算法对其进行求解。

此外,求解 LRP 的算法还有大规模邻域搜索算法^[113]、贪婪随机自适应搜索过程^[114] (greedy randomized adaptive search procedure, GRASP)、文化

基因算法^[115]等。

1.2.3 2E-LRP 研究现状

如 1.2.2 节所述,前人对 LRP 做了大量研究。该问题集成了 FLP 和 VRP,但大多假设从配送中心出发进行整车运输,将物品运送给顾客,交货完后再从顾客处直接返回,即 1E-LRP。但在实际生活中,随着经济水平的提高,人们需求大幅度的提高、城市对大货车进出市区的限制以及顾客从少品种大批量到多品种小批量需求的转变,需要在配送中心与顾客之间增加中转站进行中转,由此形成了所谓的 2E-LRP。

研究 2E-LRP 的文献最早可追溯到 1980 年, Jacobsen 和 Madsen^[116]针对丹麦地区报纸配送提出 2E-LRP 问题,设计三个序列启发式算法对其进行求解。由于 2E-LRP 研究文献较少,以下按时间先后顺序进行综述。Madsen^[117]提出求解 2E-LRP 的三个新的启发式方法,并求解了 4500 个客户的报纸配送系统。Perl 和 Daskin^[118]针对两级仓库的 LRP,建立了混合整数线性规划模型,并采用启发式算法对其进行求解。Alumur 和 Kara^[119]为危险品的配送建立了多目标 2E-LRP 混合整数规划模型,并用 CPLEX 软件对其进行求解。Ambrosino 等^[120]针对 2E-LRP 提出两阶段启发式算法,即先采用启发式算法确定初始可行解,然后通过大规模邻域搜索技术对其进行改进。Sterle^[121]针对城市货物配送的 2E-LRP 问题,建立了数学模型,并采用禁忌搜索算法对其进行求解。Zegordi 和 Nikbakhsh^[122]建立了 2E-LRP 的数学模型,提出基于模拟退火算法的启发式算法。Nikbakhsh 和 Zegordi^[123]建立了带软时间窗的 2E-LRP 的四下标数学模型,采用启发式算法获得初始解,通过搜索此解的六个邻域并采用 Or-opt 方法对其进行改进。Nguyen 等^[124]提出了四个构造算法和一个启发式算法求解车辆和设施节点有容量约束的 2E-LRP,求解思路是先采用扩展的最近邻方法构造巨回路,并运用分裂程序获得初始解,然后采用扩展 C-W 节约算法对结果进行比较,最后采用局部搜索进行分析。Nguyen 等^[125]提出贪婪随机自适应搜索过程和进化迭代局部搜索混合启发式算法求解 2E-LRP。Crainic 等^[126]分析了 2E-LRP 中中转站定位规则、仓库位置、中转站数量、中转站平均可达性等几个参数对配送总成本的影响。Nguyen 等^[127]采用嵌入多阶段迭代的禁忌搜索算法求解 2E-LRP。Boccia 等^[128]将 2E-LRP 分解成两个 LRP,每个 LRP 进一步分解成 FLP 和 VRP,并提出多阶段迭代嵌入的禁忌搜索算法进行求解。Zujun 和 Ying^[129]考虑两级多产品分销系统随机用户需求的集成优化问题,建立了定位-库存-路径问题模型,提出了混合遗传算法结合启发式规则和 C-W 算法进行求解。金莉等^[130]采用嵌入拉格朗日启发式算法的分支定界方法求解了一个钢材销售企业三级物流网络中的 2E-LRP。Crainic 等^[131]将 2E-LRP 分解为两个 LRP 子问题,每个子问题被分解为有容量约束的 FLP 和多节

点 VRP, 并采用禁忌搜索算法对其进行求解。王绍仁和马祖军^[132]针对震后紧急响应阶段应急物流系统优化中的 2E-LRP, 提出了一种基于两阶段分段思想的“三角”启发式算法进行求解。Nguyen 等^[133]提出采用带禁忌表和路径重连的多起点迭代局部搜索算法求解了 2E-LRP。Nguyen 等^[134]采用带学习过程和路径重连的贪婪随机启发式算法求解 2E-LRP。Contardo 等^[135]针对有容量约束的 2E-LRP, 建立了两下标车流模型, 采用分支切割法求解其下界, 并提出自适应大规模邻域搜索快速求解得到其上界。Schwengerer 等^[136]针对 2E-LRP, 提出了一种变邻域搜索策略, 即在 7 种基本邻域结构基础上, 根据参数扰动大小设计了 21 个具体的邻域结构, 在搜索过程中动态调用不同的邻域结构进行邻域搜索。Dalfard 等^[137]针对有容量约束和最大路径长度约束的 2E-LRP, 提出混合遗传模拟退火算法, 并将求解结果与采用 LINGO 软件的求解结果进行比较。Rahmani 等^[138]针对多产品同时取货送货的 2E-LRP, 建立混合整数线性规划模型, 并用启发式算法进行求解。

第2章 基本理论概述

2.1 配送系统概述

2.1.1 配送系统的内涵

配送系统是由多个既相互区别又相互联系的单元结合起来,为有效完成配送任务而形成的综合体。配送系统和一般系统一样,具有输入、转换、输出和信息反馈四大功能,通过输入和输出功能与外部环境进行交换,并与环境相依存。具体来说,外部环境向系统输入劳力、手段、资源、能量、信息,系统以自身所具有的特定功能,将输入进行必要的转化,使之成为有用的产成品,输出供外部环境使用^[139,140]。

(1) 输入。配送活动的开展必须从配送系统外部获取足够的资源才能确保配送服务目标的实现。这些需从外部输入的资源主要包括与配送相关的信息、设施设备、资金、从业人员、能源等。

(2) 转化。配送系统的转化是指配送系统内部对输入进行的处理,具体包括配送系统的构建,拣选、加工、包装、分割、组配等配送业务活动,以及配送信息处理、配送管理活动等。配送系统的转换是配送系统运行的核心。配送系统依靠转换将输入转变为输出。

(3) 输出。配送系统的输出是指配送系统经过各种转化后输出结果的过程,具体包括配送物品的位移、各种配送服务项目、统计资料分析、经济效益核算等。

(4) 信息反馈。配送系统运行后,对输出结果进行认真总结,将其反馈作为下一次系统运行的输入,使系统能有所改进、提高,以致趋于完善。

2.1.2 配送系统的构成

配送系统由配送网络子系统、配送运营子系统、配送政策与管理子系统、配送信息子系统构成^[141]。

(1) 配送网络子系统。配送网络子系统通常由配送节点和各节点之间的运输路线构成。其中配送节点主要包括供应点、配送中心、客户需求点等,运输路线主要指运输工具在节点之间的运行轨迹,反映了节点间物品的传递关系^[142]。

(2) 配送运营子系统。配送运营子系统是由实施完成拣选、加工、包装、分

割、组配等配送业务的业务操作系统，以及对该系统进行计划、组织、协调、控制的管理系统构成，该系统一般由企业操控。

(3) 配送政策与管理子系统。配送政策与管理子系统是对配送业的引导、规划、规范、监督、鼓励、限制等出台的政策和规划，该系统体现了政府对配送基础设施规划和市场介入程度。

(4) 配送信息子系统。配送信息子系统是具有配送信息收集、传送、储存、加工、维护功能的人机系统。该子系统是配送系统的重要组成部分，能协调配送的各功能要素，从而辅助实现整个配送系统的控制。

2.1.3 配送系统优化

1. 配送系统优化的内涵

配送系统优化是指如何合理、有效地使用或配置各种配送资源，使实现预定目标所需的费用最小（或资源最少），或者所获得的收益（或效益）最大。以下列出配送系统优化定量研究中最常见的几个问题：①确定设施点的数量、位置和容量，即设施选址（location）决策，记为问题 1；②确定设施点与顾客的对应关系，即配送业务的分派（allocation）决策，记为问题 2；③构建设施点至顾客的运输网络，即路径安排决策，记为问题 3。

问题 1 即为 FLP，问题 1+问题 2 即为定位-配给问题（location-allocation problem, LAP），问题 3 即为 VRP，问题 1+问题 2+问题 3 即为 LRP。图 2.1 为配送系统优化中各问题的示意图。

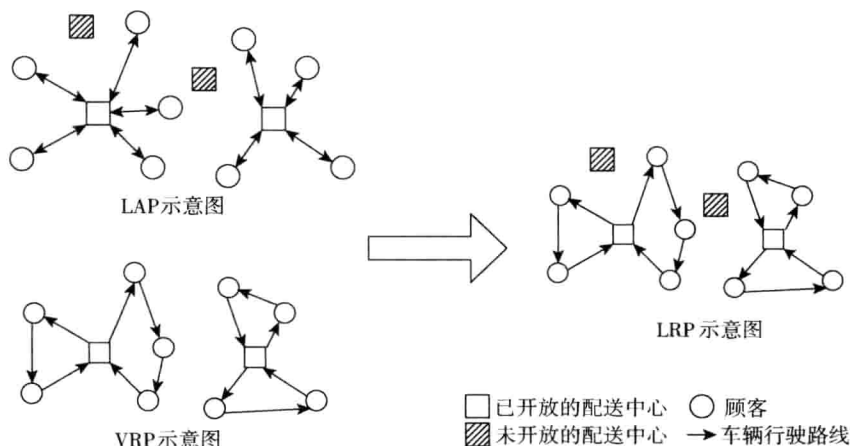


图 2.1 配送系统优化问题示意图