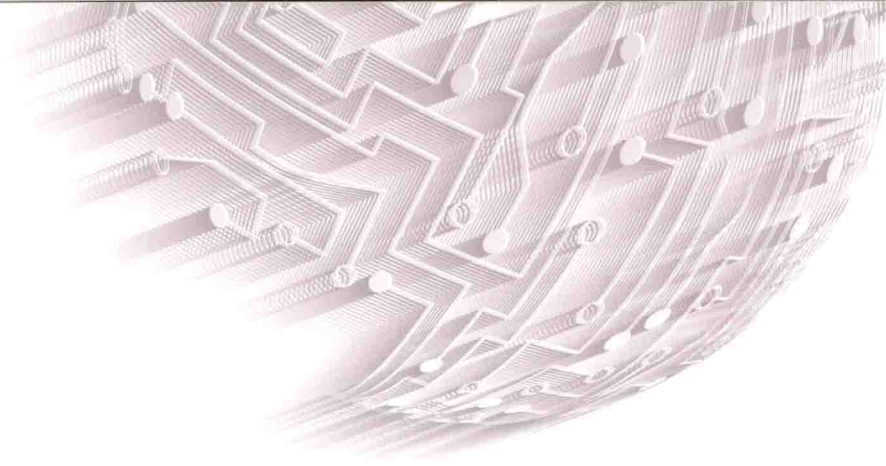




The Optimal Strategy and Algorithms of Stochastic Demand Inventory Routing Problem

随机需求库存—路径问题 最优策略及其算法

赵达 马丹祥 ◎ 著



经济科学出版社
Economic Science Press

国家自然科学基金(编号: 71361006)

中国博士后科学基金(编号: 2014M552205)

中西部综合实力提升计划(海南大学)

海南省自然科学基金(编号: 714257)

海南大学科研启动基金(编号: KYQD1303)

The Optimal Strategy and Algorithms of Stochastic Demand Inventory Routing Problem

随机需求库存-路径问题 最优策略及其算法

赵达 马丹祥 ◎ 著



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

随机需求库存一路径问题最优策略及其算法 / 赵达,
马丹祥著. —北京: 经济科学出版社, 2014. 8
ISBN 978 - 7 - 5141 - 4888 - 6

I. ①随… II. ①赵… ②马… III. ①企业 - 物资配
送 - 最优化算法 IV. ①F252. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 176097 号



责任编辑: 段 钢
责任校对: 徐 颖
版式设计: 齐 杰
责任印制: 邱 天

随机需求库存一路径问题最优策略及其算法

赵 达 马丹祥 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: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

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: //jjkxcs. tmall. com](http://jjkxcs.tmall.com)

北京万友印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 11.25 印张 150000 字

2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 4888 - 6 定价: 38.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191502)

(版权所有 翻印必究)

前 言

在当前的市场环境中，企业通常会通过融入供应链来参与到市场竞争之中。而在整个供应链管理过程中，作为“第三利润源泉”的物流管理尤其受到企业界和学术界的重视。在传统的物流管理中，对于库存的管理往往会采用零售商管理库存模式，在该模式下不可避免地会出现随着供应层级的增加需求信息被逐渐放大的现象，即“牛鞭”效应（Bull Whip Effect），这种现象导致供应链各层的库存量增加、成本升高。为了解决上述问题，学者们提出了另外一种供应商管理库存（Vendor Managed Inventory, VMI）的管理模式。VMI 模式以系统的、集成的思想进行库存管理，从而有效地解决了“牛鞭”效应。但对于供应商而言，如何同时对物流环节中最为重要的配送和库存管理做出更有效率的决策则成为成功实施 VMI 必须要解决的问题。库存—路径问题（Inventory Routing Problem, IRP）就是在如何协调优化配送和库存这两个物流环节的

现实需求推动下成为热点的研究领域。

IRP 是典型的 NP-hard 问题,尤其在需求不确定情况下,对于决策者的挑战更大。在已有的 IRP 问题研究中,大部分都是在确定性需求的假设下进行的,然而企业所面对的实际需求往往都是随机变化的,这就使得对随机需求库存—路径问题 (Stochastic Demand Inventory Routing Problem, SDIRP) 的研究成为迫切需要。本书根据配送的方式的不同,将 SDIRP 问题分为三类进行研究,即基于直接配送策略下的随机需求库存—路径问题 (Stochastic Demand Inventory Routing Problem with Direct Deliveries, SDIRPDD)、无车辆配送能力限制的 SDIRP 问题以及一般结构的 SDIRP 问题。主要内容如下:

第 1 章首先对 IRP 问题的研究背景及意义进行了分析,给出了 IRP 问题一般的数学表达形式,分析了 IRP 问题与车辆路径问题 (Veichel Routing Problem, VRP) 的差异。进而根据 IRP 问题自身的特点对其进行了分类,并依据需求特征、配送方法、求解算法等特点对现有的文献进行了综述,在总结前人研究结论的基础上分析了 IRP 问题现有研究中存在的不足,同时给出了本书的研究思路和主要研究工作。

第 2 章对 SDIRPDD 问题进行了研究,首先,证明分别在无约束、存在车辆数约束以及同时存在上述两类约束情况下 SDIRPDD 问题最优平稳策略形式为 (s, S) 结构,

并给出了相应的算法。其次,通过具体数值算例将采用上述算法得到的最优策略与一类常用策略进行了对比,验证了算法的有效性。最后,利用该算法对直接配送物流系统中配送车辆的数量进行了一定的分析。

第3章以一类客户需求相对配送车辆能力而言很小情况下的SDIRP问题为研究对象,在一定条件下证明了该问题的最优库存策略形式为与SDIRPDD问题最优策略类似的 (s', S') 结构,并给出了该最优策略中各参数的上、下界。在此基础上,设计了两种启发式算法对该问题进行了优化。最后,通过具体数值算例,将通过上述两种算法得到的优化策略与固定配送路径策略进行了比较,在验证了算法有效性的同时也对上述固定配送路径策略在解决SDIRP问题时的适用条件进行了分析。

第4章对一般结构下的SDIRP问题进行了研究,设计了一类基于 (s, S) 库存策略和修正C-W节约算法的启发式分解算法。该算法将SDIRP分解为SDIRPDD和VRP两个相互影响的子问题,在SDIRPDD子问题上应用第2章的结论得到了属于平稳策略类的库存方案;同时在VRP子问题上又提出了修正的C-W节约算法。最后,本书在此算法的基础上提出了一种改进算法,以求解具有时间窗约束的SDIRP问题并通过算例验证了上述两个算法的有效性。

第5章结论部分对全书进行了总结,并指出了进一步

的研究方向。

本书的出版得到了国家自然科学基金 (71361006)、中国博士后科学基金 (2014M552205)、海南省自然科学基金 (714257)、中西部综合实力提升计划 (海南大学) 以及海南大学科研启动基金 (KYQD1303) 等项目的资助, 在此表示感谢。

由于笔者水平有限, 谬误和不妥之处在所难免, 敬请学术界同仁和读者给予批评指正。

赵达

2014 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究意义与背景	1
1.2 问题的界定及特征	4
1.2.1 IRP 问题的定义	4
1.2.2 IRP 问题的数学模型及其性质	6
1.3 IRP 问题的分类	9
1.4 IRP 问题国内外研究现状	13
1.4.1 静态路径 IRP 问题研究现状	14
1.4.2 动态路径 IRP 问题研究现状	20
1.4.3 其他 IRP 问题研究现状	31
1.5 现有研究中的不足及本书的研究内容	33
1.5.1 现有研究中存在的问题	33

1.5.2	本书的研究内容	35
1.5.3	小结	38
第2章	直接配送策略下 SDIRP 问题	39
2.1	问题的提出	40
2.2	问题描述	41
2.2.1	问题的基本描述与假设	41
2.2.2	问题的成本结构	44
2.3	SDIRPDD 问题最优平稳策略的形式	45
2.3.1	无约束 SDIRPDD 问题的最优平稳 策略形式	46
2.3.2	有约束 SDIRPDD 问题的最优平稳 策略形式	49
2.4	求解 SDIRPDD 问题的算法	52
2.4.1	确定客户受到车辆数约束影响的 概率	53
2.4.2	求解有约束 SDIRPDD 问题的 算法	56
2.5	数值分析	57
2.6	小结	63
第3章	无车辆配送能力限制的 SDIRP 问题	64
3.1	引言	65

3.2	问题描述	66
3.2.1	问题的基本描述	66
3.2.2	问题的成本结构	67
3.3	无车辆配送能力约束下 SDIRP 问题最优策略的形式	68
3.3.1	配送成本固定条件下 SDIRP 问题的最优策略	69
3.3.2	配送成本可变条件下 SDIRP 问题的最优策略	70
3.3.3	关于考虑车辆配送能力约束的 SDIRP 最优策略形式的思考	73
3.4	求解 SDIRP 问题的算法	75
3.4.1	配送成本变动对于 SDIRP 问题最优库存策略的影响	76
3.4.2	无车辆配送能力约束下 SDIRP 问题的求解算法	79
3.5	数值分析	81
3.5.1	配送成本分配方式对算法的影响	84
3.5.2	算法比较	86
3.6	小结	89
第4章	一般结构下的 SDIRP 问题	90
4.1	引言	91

4.2	问题的描述	92
4.2.1	问题的基本描述	92
4.2.2	问题的成本构成	93
4.3	基于马尔可夫决策过程的求解算法	93
4.3.1	马尔可夫决策过程的定义	94
4.3.2	无限阶段折扣模型	98
4.3.3	无限阶段折扣模型的算法及 相关结论	101
4.3.4	问题模型的建立	104
4.3.5	MDP 模型的分析	106
4.3.6	分解算法的思路	108
4.3.7	基于 MDP 的 SDIRP 问题算法	112
4.4	SDIRP 问题的策略结构及其算法	118
4.4.1	基于 SDIRPDD 的库存子问题最优 策略	118
4.4.2	基于 VRP 的路径子问题及其 算法	119
4.4.3	求解 SDIRP 问题的策略迭代算法	124
4.5	具有硬时间窗约束的 SDIRP 问题	125
4.5.1	问题描述	126
4.5.2	具有硬时间窗约束 SDIRP 问题的 求解思路	128

4.5.3 具有硬时间窗约束 SDIRP 问题的 求解算法	129
4.6 算例分析	132
4.6.1 算法有效性分析	134
4.6.2 时间窗约束对策略的影响分析	136
4.7 小结	136
第5章 结论与展望	139
5.1 本书的主要工作	139
5.2 本书的创新之处	141
5.3 有待进一步研究的问题	142
译名对照表	144
参考文献	147
后记	165

第 1 章

绪 论

1.1 研究意义与背景

近年来，随着科学技术的不断进步和经济的全球化，产品的寿命周期越来越短，品种数量飞速增长，同时客户对于产品的要求也越来越高。为了应对上述市场变化，企业不得不改变传统的以企业个体利益最大化为目标的管理思想，只有更多地参与到上、下游企业的合作当中才能获得更大的竞争优势，才能有更大的生存空间。在上述背景下，供应链管理的思想在企业中得到了广泛的应用。供应链管理的理念强调企业之间更多的合作，将有限的资源用于发展自身的核心竞争力。通过终端客户需求的拉动，使得整个供应链上的信息流、物流、商流得以和谐的运作，

从而发挥整条供应链的最大效用，以达到提高企业的竞争力的目的。

在整个供应链管理中，被视为“第三利润源泉”的物流管理更是备受企业和学术界关注。受到供应链管理思想的影响，现代物流管理的范畴也已经超越了单个企业，向上、下游不同企业联合、不同物流功能协作的方向发展。但在被企业广泛使用的零售商管理库存模式中由于需求信息在不同阶段之间传递的过程中发生扭曲，使得在供应链内由零售商到生产商订货量的逐层递增，从而产生了“牛鞭”效应（Bull-whip effect）。为了有效地解决该问题，学者们提出了一种基于供应链的库存管理模式，即供应商管理用户库存（Vendor Managed Inventory, VMI）策略，VMI打破了传统的各自为政的库存管理模式，以系统的、集成的思想对库存进行管理，使得市场的真实需求信息可以在整条供应链上准确的传递。对于供应商而言，在VMI策略下如何充分利用自己的资源，同时对占物流成本2/3的库存和运输（配送）这两个最为重要的物流环节进行有效的管理，做出更有效率、更加灵活的决策是实施VMI过程中必须要解决的关键。供应商所面对的上述联合优化库存和配送环节的问题，即为库存—路径问题（Inventory Routing Problem, IRP）。在供应链上游企业的迫切需求推动下IRP问题成为供应链与物流管理中重要的研究领域。

IRP 作为有效实施 VMI 的核心问题, 广泛存在于如石油化工^[1]、工业气体制备^[2]、汽车制造^[2]、连锁超市^[3]、生活用品制造^[4]以及服装制造^[5]等众多的行业中。同时, 该问题的有效解决也可以为企业节约十分可观的成本。早在 20 世纪 80 年代, Bell 等 (1983)^[6]针对液化气生产企业提出了一种库存、路径联合优化策略, 可以节约企业 6% ~ 10% 的运作成本; 而 Golden, Assad 和 Dahl (1984)^[7]针对某一大型的能源企业提出了基于模拟技术的 IRP 优化策略, 可以使企业在提高运输效率 8.4% 的同时降低库存水平 50%, 从而节约近 23% 的运作成本。Guar 和 Fisher (2004)^[8]则对连锁超市的配送、库存系统进行了集成优化, 第一年即节约成本约 4%。

同时, 由于 IRP 问题需要对库存和配送进行联合优化, 求解难度很大。尤其在需求不确定、网络结构较为复杂、具有时间约束等情况下, 其解决更为困难。而且 IRP 问题还同时涉及经济学、运筹学、应用数学、组合优化、计算机软件、计算机应用、运输管理、工业工程与物流科学等众多学科, 是运筹学、组合优化等领域的前沿与热点研究问题。因此, IRP 问题的研究除了具有重要的现实意义外, 还具有很高的理论价值。

在现有 IRP 问题的研究中, 大部分都是在确定性需求的假设下进行的, 然而企业所面对的实际需求往往都是随机变化的, 此时已有研究的方法就不能很好地对问题进行

描述和求解, 这就使得对随机需求库存—路径问题 (Stochastic Demand Inventory Routing Problem, SDIRP) 的研究成为迫切需要。本书主要以不同的配送形式为线索, 研究了三类 SDIRP 问题, 分别是基于直接配送策略下的随机需求库存—路径问题 (Stochastic Demand Inventory Routing Problem with Direct Deliveries, SDIRPDD)、一类无车辆配送能力限制的 SDIRP 问题 (即配送中心采用一辆配送车辆即可服务所有客户的情形) 以及一般配送结构的 SDIRP 问题。

1.2 问题的界定及特征

1.2.1 IRP 问题的定义

IRP 问题自 1973 年由美国学者 Schwarz 提出以来, 已有众多学者对其进行探讨。由于该问题具有多学科交叉的背景, 使得不同学者对于 IRP 的定义侧重点各不相同, 其中, Viswanathan 和 Mathur (1997)^[9] 将 IRP 称为库存与车辆路径集成问题 (Integrated Inventory and Vehicle Routing Problem, IIVRP), 而 Baita 等 (1998)^[10] 则将其定义为动态路径与库存问题 (Dynamic Routing and Inventory Problem, DRAI)。此外, 我国学者袁庆达 (2002)^[11] 以及赵

秋红、汪寿阳和黎建强 (2006)^[12]等, 更多地将 IRP 问题看做是库存—运输联合优化 (Inventory Transportation Integrated Optimization, ITIO) 问题进行研究。但无论上述哪种定义方式, IRP 问题的完整定义都应具有如下的基本特征:

(1) 问题的实际背景: 在 VMI 策略下, 由一个或多个配送中心 (供应商) 长期为物流系统中的客户提供某种 (一种或多种) 产品的配送服务。

(2) 问题的科学实质: IRP 问题就是对物流系统中, 最为重要的两个物流功能运输 (配送) 与库存进行整合优化。

(3) 问题中存在的约束: 由于 IRP 问题涉及库存和配送两个方面, 因此管理中也存在着较多的约束, 主要包括: 与库存相关的客户的库存能力约束以及与配送相关的车辆数约束、车辆配送能力约束以及客户的时间窗约束等。

(4) 问题完整的策略结构: IRP 问题一个完整的策略包括客户的库存策略以及配送中心与之对应的配送策略两部分。其中, 由作为长期决策的库存策略决定各阶段的配送对象及其配送数量, 由短期决策的配送策略决定各阶段的配送路径。

(5) 问题的成本结构: IRP 问题中涉及的成本主要包括与库存相关的库存持有成本、缺货损失成本, 以及与配