

基于 DR-System 的存贮路径问题研究

王 莺 李 军

西南交通大学，经济管理学院，成都 610031

摘 要：本文研究的是基于 DR-System 的存贮路径问题，即综合考虑配送中心订货成本、配送成本、配送中心和客户库存持有成本的最小化问题。本文提出并运用启发式算法来求解该问题。首先把问题分解为两个子问题，即配送中心的订货问题和客户的配送问题，分别求解得到问题的初始解；然后，通过分析客户配送提前对总成本的影响，来改进初始解，从而得到该问题的一个满意解。

关键词：库存，配送，存贮路径问题

中图分类号：F253.4

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2006)01-0050-06

Study on the Inventory

Routing Problem Based on DR-System

WANG Ying LI Jun

School of Economics and Management ,

Southwest Jiaotong University , Chengdu 610031 , China

Abstract : This paper studies the inventory routing problem that is based on DR-System. In order to minimize depot center ' s order cost, holding cost, delivery cost and customer ' s holding cost, a heuristic method to solve the problem was applied. First, the problem was divided into two sub-problems which are a distribution center ' s ordering problem and a delivery problem to obtain the initial feasible solutions; then, how the distribution center ' s ordering decisions are affected was analyzed if the delivery schedules for customers are changed to get a satisfying solution to the problem.

Key words : Inventory, delivery, inventory routing problem

收稿日期：2005-06-30.

基金项目：国家自然科学基金资助项目（70271022），高等学校博士学科点专项科研基金资助项目（20030613016）。

作者简介：王 莺（1979-），女，浙江人，博士生，成都信息工程学院电子商务系助教，主要从事物流工程的研究。

0 引言

由于科学技术的不断进步和经济的全球化发展,以顾客为中心的供应链管理面临着更为复杂的竞争环境和更为强劲的竞争对手,合作与一体化管理的重要性越来越得到承认,通过对生产与作业层次进行一体化管理,可以提高库存管理能力、市场反应能力,进而提高生产效率。正是基于此,提出了基于 DR-System (Depot and Retailer System) 的存贮路径问题。

存贮路径问题^[1] (Inventory Routing Problem, 简称 IRP) 主要研究库存补充和运输之间的协调问题,是指对一系列客户需求点,确定对各客户点补充库存的数量和时间以及车辆的行驶路径。在计划期内满足一定的约束条件(货物需求量、需求时间,库存水平等)情况下,使系统总运行费用(订货费、存贮费、缺货损失费、运输费等)极小。也称一个仓库、多个零售点系统配送问题(One Warehouse, Multi-retailer Distribution Problem)。

IRP 问题在近二十几年受到广泛的研究,比如常见的两阶段法^[1],基于分层分解思想的算法^[2]等,都是基于 R-System 的 IRP。基于 R-System 的 IRP 是假设所有的客户需求由一个决策者(如配送中心)管理,属于集中型策略,不考虑配送中心的库存保管费用和订货费用,或配送中心没有库存(如沃尔玛的转运中心),只考虑需方库存费用和运输费用。随着供应链管理的一体化,供应链管理客户库存(Vendor Management Inventory, VMI)模式应用的推广,不仅需要考虑客户的库存和配送成本,还需要综合考虑配送中心库存成本和订货策略。过去的研究多是基于 R-System,很少有将配送中心及其客户作为一个完整的系统加以考虑的。而基于 DR-System 的 IRP 正是在 R-System (Retailer System) 的基础上,考虑配送中心和客户的库存存储费用和订货费用,同时,配送中心的再订货点也是个决策变量。

1 问题的描述

基于 DR-System 的存贮路径问题是根据需求预

测而非客户订单来确定计划。由于配送中心和客户本身都可以维持库存,配送中心必须确定每个计划期内对每个客户配送货物的数量和配送路线,同时为满足客户的需求,配送中心必须向供应链上一级的生产商或供应商订货,而其订货的频率与数量由库存持有成本和固定订货成本共同决定,同时其订货策略也将对客户的库存控制产生影响。某个客户配送量的大小不仅取决于该客户自身的需求,还与其他客户需求量有关。一方面,由于配送中心必须有足够的库存以满足客户的需求,客户的需求就会对配送中心库存存量产生影响,进而影响其订货量;另一方面,客户的库存持有状况也会限制客户的库存补充数量和配送路线,因此,这又动态地影响了其订货策略。

本文考虑一个配送中心和多个客户的配送系统,整个系统仅处理单一货物品种,所有的产品都经过配送中心,用配送中心的车辆将产品瞬时送至各个客户点;整个系统充分保证货物供应,即不允许客户缺货现象发生;车辆的配送也统一由配送中心控制,且所有车辆都是同质的,但车辆有容量装载限制。客户都有一个无限容量的仓库,各个客户的需求是具体的、确定的,相互独立,没有销售出去的产品变为客户的库存,对于配送中心,没有配送出去的产品产生库存成本;客户和配送中心的库存成本为线性成本,整个配送计划期是有限的、离散的时间周期。本文以这种需求确定的存贮路径问题为研究对象,建立优化模型并求解,以确定配送中心订货时间、订货数量以及每个客户的配送数量和配送路线,使总成本(包括配送中心固定订货成本、配送中心库存持有成本、客户库存持有成本、以及运输成本)最小。

令 T 为计划期的数量; n 为客户数量,变化从 1 到 n ; 0 表示配送中心; d_{kt} 为在 t 计划期客户 k 对产品的需求量; I_{k0} 为客户 k 关于产品的初始库存; W 为配送车辆的最大容量; O 为配送中心在每次订货的固定订货成本; h_k 为客户 k 的每单位产品的库存持有成本; c_{kl} 为从客户 l 到客户 k 的直接运输成本(假设 $c_{kl} = c_{lk}$); v_t 为在第 t 计划期车辆每次运行的固定成本;(车辆固定成本包括部分的车辆折旧、资产成本、

驾驶员工资、订货成本和保险等,车辆每次行使都会产生固定成本。)

有关变量设定为: x_t 为配送中心在第 t 计划期订购产品的数量; q_{kt} 为在 t 计划期配送给客户 k 的产品数量; r_{lkt} 为在 t 计划期直接从客户 l 到客户 k 的配送次数; I_{kt} 为在 t 计划期客户 k 所拥有产品的库存;

$$y_t = \begin{cases} 1 & \text{在 } t \text{ 计划期必须订购产品,即 } ,x_t > 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

则基于 DR-System 的存贮路径问题可以描述为(模型):

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T O_t y_t + \sum_{t=1}^T h_0 I_{0t} + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^n h_k I_{kt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l=0}^n \sum_{k \neq l} c_{lk} r_{lkt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^n v_l r_{l0t} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_t \leq M_t y_t \quad \forall t \quad (2)$$

$$I_{0t} = I_{0t-1} + x_t - \sum_{k=1}^n q_{kt} \quad \forall t \quad (3)$$

$$I_{kt} = I_{kt-1} + q_{kt} - d_{kt} \quad k = 1, \dots, n \quad \forall t \quad (4)$$

$$\sum_{l=0}^n r_{lkt} = \sum_{l=0}^n r_{klt} \quad k = 1, \dots, n \quad \forall t \quad (5)$$

$$\sum_{l \in S} \sum_{k \in S} r_{lkt} = \sum_{j \in S} \sum_{k \in S} \frac{q_{kt}}{W} \quad \forall S \subseteq \{1, \dots, n\} \quad \forall t \quad (6)$$

$$y_t \in \{0, 1\} \quad x_t \geq 0 \quad \forall t \quad (7a)$$

$$q_{kt} \geq 0 \quad I_{kt} \geq 0 \quad \forall t \quad (7b)$$

$$r_{lkt} \geq 0 \text{ 且为整数} \quad \forall t \quad (7c)$$

目标函数表示总成本的最小化,其中第一项为配送中心的固定订货成本。由于客户的需求是确定的,而可变订货成本与数量呈线性关系,因此,可变订货成本也是固定的,是常数,所以,在目标函数中就忽略了可变订货成本;第二项为配送中心的库存持有成本;第三项为客户的库存持有成本;第四项表示车辆的行驶费用;第五项为车辆配送的固定成本。(2)式是每个计划期内配送中心订购产品数量限制。参数 M 是足够大的正数。约束式(3)和(4)分别是配送中心和客户的库存平衡约束。约束式(5)~(7)定义了一个车辆路径问题,即在 t 阶段必须配送给客户 k 的数量为 q_{kt} ,其中,约束(5)保证配送车辆离开每个

客户(包括配送中心)的配送次数等于它到达这个客户的次数,约束(6)车辆容量限制。

2 算法描述

众所周知,作为 IRP 问题的算法基础,车辆路径问题(VRP),是一个 NP 难题,因此,IRP 问题的规模和复杂性使得很难在合理的时间内得到最优解,本文提出了反复迭代这种近似算法来求得全局的一个满意解。

首先,把存贮路径问题分解为两个子问题——配送中心的订货问题和客户的配送问题。先求解配送中心的订货计划,利用得到的结果再求客户配送计划,从而得到一个初始解。然后,分析当客户配送计划(包括车辆路线和客户配送量)变化时,是否可以改进初始解。

2.1 订购计划

首先确定配送中心的订购计划来最小化其订购和库存持有成本,即计算当客户的配送量等于需求量 $q_{kt} = d_{kt}$,且满足约束(2)和(3),寻找 x_t, y_t 和 I_{0t} 的值来最小化 $\sum_{t=1}^T (O_t y_t + h_k I_{0t})$ 。

令 $D_t = \sum_k d_{kt}$,为第 t 期配送中心需要的订购量。

这就相当于求解一个无库存能力约束的批量问题(uncapacitated lot size problem)。它要解决的目标,就是既要保证客户需求的适时、按质、足量的供应,而且又要使存储、订货成本最小。这里采用简便的启发式优化算法改进的 PPB 法^[8](Part-Period Balancing Rule),即在订货期间里的保管费用要尽可能到接近订货费用。

2.2 配送计划

在求得了配送中心订购计划以后,每个计划期按客户需求求解对所有客户的配送问题,即求解确定型的 VRP 问题,就可以确定配送中心向各个客户配送产品的数量以及配送优化路线,该配送问题的数学模型可以表示为:

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^n h_k I_{kt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l=0}^n \sum_{k \neq l} c_{lk} r_{lkt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^n v_l r_{l0t}$$

满足模型 中的约束式 (4) ~ (7)。

这是一个 T 阶段标准 VRP 问题，可以采用成熟的一些启发式算法来求解，本文采用遗传算法。到此就可以得到存贮路径问题的一个初始解，这个初始解实际也是没有采用供应链一体化管理、实施 VMI 管理模式时，整个物流系统的费用。

2.3 订购计划和配送计划的合并调整

与一般 IRP 问题不同，基于 DR-System 的存贮路径问题需要兼顾客户的配送成本和库存持有成本。本文通过分别将客户的配送时间提前来改进前面得到的初始解。如将客户 k 在第 t 计划期的配送提前到第 t' 计划期进行配送，则客户 k 在 t' 时期的配送数量为 $q_{kt} + q_{kt'}$ ，而 t 时期的配送数量为 0。这样，由于向客户 k 的配送计划发生改变，需要重新分析 t 时期和 t' 时期的车辆配送问题，有可能降低配送成本。但相应地，由于配送时间的提前，将会增加库存费用（包括客户和配送中心），因此，需要对总成本进行重新计算。

显然，在第 t 期配送成本会减少，而在第 t' 期配送成本会增加，因此，需要分别重新计算第 t 期和第 t' 期变化后的配送成本，并与原来的配送成本进行比较。对于库存成本，由于客户配送的提前，增加库存成本为：提前配送量 \times 单位库存持有成本 $\times (t - t')$ 。

对于配送中心的固定订购成本，还需考虑这种调整是否影响其订购策略，如果不影响，则固定订购成本不变，否则需重新计算配送中心的订购计划，其订购费用变化为：

配送中心订购固定成本 \times 订购次数变化；

具体操作步骤如下：

Step 1：逐个将客户的下一次配送 t 提前到当前计划期 $t'(t' < t)$ ，计算配送成本、相关客户的库存费用和配送中心订货费用的变化，判断这种调整是否有总成本的节约。若是，保存相关信息；若否，转 Step3；

Step 2：选择使总成本减少最大的一次转换来替

代原来的配送计划和配送中心的订货计划，同时更新总成本及相关信息，返回 Step 1；

Step 3： $t' = t' + 1$ ；

Step 4：当 $t' = T$ ，输出相关配送、订货、库存详细信息，终止。

3 算 例

本文设计了与所阐述的 DR-System 的 IRP 问题特性相同的物流算例，并按照前面所述的求解思路、方法和技术来求解该问题，并探讨之。

假设的物流配送系统由一个配送中心和 9 个需求客户组成。对于配送中心，其每次订货的固定费用为 $O = 58$ ，单位产品的库存成本无论在配送中心还是客户都为 $h_k = 0.4$ 。配送中心初始库存为 0，以配送中心为坐标系的坐标原点 0，随机产生 9 个客户的横坐标和纵坐标，同时给出每个客户的初始库存 I_{k0} 和每个计划期（每周）确定的消耗量 d_{kt} 。各个客户的位置和初始库存见表 1，每周需求量见表 2。车辆的最大装载容量为 $W = 40$ ，车辆每次出发的固定费用为 $v_t = 20$ 。

表 1 客户基本情况

Tab.1 Clients' basic situations

客户编号	横坐标 x	纵坐标 y	初始库存
1	46	30	4
2	82	90	2
3	56	17	5
4	95	15	11
5	48	26	3
6	4	58	6
7	71	79	2
8	92	60	8
9	12	21	7

首先，根据改进的 PPB 法，得到配送中心初始的最佳订货批量和订货时间，总共需要进行 6 次订购，订购费用为 $6 \times 58 = 348$ ，库存费用为 $409 \times 0.4 = 163$ ，订购计划总费用： $348 + 163.6 = 511.6$ 。

表2 每周需求量

Tab.2 Requirement per week

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
客户1	17	6	6	33	8	7	14	14	9	10
客户2	6	34	15	2	4	5	12	15	15	11
客户3	12	21	4	13	2	11	5	14	11	14
客户4	18	4	14	15	7	9	8	17	16	6
客户5	22	7	9	16	13	6	5	13	8	21
客户6	9	14	11	12	5	14	17	10	21	13
客户7	15	9	11	18	8	10	13	9	10	7
客户8	21	11	6	26	21	8	21	5	13	15
客户9	9	5	7	12	14	8	8	11	10	24
合计	129	111	83	147	82	78	103	108	113	121

然后根据每周各个客户的需求量 $q_{kt} = d_{kt}$, 分别求每周的一个车辆路径问题。这样, 可以计算得到总配送费用为 7 186。IRP 问题的初始解, 即把订购和配送分开考虑, 没有实现供应链管理一体化的总成本 = 511.6 + 7186 = 7 697.6。

最后, 采用订购计划和配送计划的合并调整, 通过调整向客户配送的配送时间, 进而合并配送数量, 利用整车运输以实现规模经济效益。经过反复迭代, 得到最终的客户配送量、车辆的配送计划和配送中心的订购计划, 见表 3、4、5。

表3 最终的客户配送量

Tab.3 Final delivery volumes of clients

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
客户1	13	45	0	0	15	0	14	23	0	10
客户2	38	0	15	6	0	5	27	0	15	11
客户3	7	25	0	13	2	16	0	14	25	0
客户4	11	0	29	0	7	17	0	17	16	6
客户5	19	7	9	16	24	0	0	21	0	21
客户6	3	14	28	0	0	14	17	10	34	0
客户7	13	9	11	18	8	10	13	19	0	7
客户8	13	11	3	26	21	8	26	0	13	15
客户9	2	5	7	34	0	0	8	11	10	24
合计	119	116	105	113	77	70	105	115	113	94

表4 最终车辆运输计划表

Tab.4 Final schedule of vehicle transportation

Week	配送路线		
1	0-3-5-1-0	0-9-2-0	0-6-7-8-4-0
2	0-1-0	0-7-8-1-6-0	0-9-5-3-0
3	0-8-7-2-9-0	0-4-5-0	0-6-0
4	0-2-7-5-0	0-8-3-0	0-9-0
5	0-5-1-0	0-7-8-4-3-0	
6	0-8-2-7-6-0	0-4-3-0	
7	0-1-6-0	0-7-2-0	0-8-9-0
8	0-1-4-0	0-3-5-0	0-7-6-9-0
9	0-3-2-0	0-4-8-9-0	0-6-0
10	0-1-5-0	0-2-9-0	0-7-8-4-0

配送中心的订货计划为:

表5 最终配送中心订货计划

Tab.5 Final ordering plan of the delivery centre

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合计
需求量	119	116	105	113	77	70	105	115	113	94	1027
订购量	235	0	218	0	147	0	220	0	207	0	1027
剩余量	116	0	113	0	70	0	115	0	94	0	508

此时, 配送中心订购费用 = $5 \times 58 = 290$, 总库存成本为 203.2, 总运输成本为 5793, 存贮路径问题的总费用为: $290 + 203.2 + 5793 = 6286.2$ 。订购费用由于订购次数的减少而减少, 总库存成本虽然增加了 $203.2 - 163.6 = 39.4$, 但运输费用的节约值为 $7186 - 5793 = 1393$, 节约了 $1393 / 7186 = 19.83\%$, 从总体上看实施 IRP 的费用有了明显的下降, 下降幅度为 $(7697.6 - 6386.2) / 7697.6 = 18.33\%$ 。

4 结 论

在传统的供应链管理中, 库存控制和运输问题这两个供应链的重要组成部分常常被分开研究, 从而忽视了两者的相互联系和相互影响。各个企业也各自为政, 只追求自身利益最大化, 这无疑不利于整个供应链企业在竞争中取得主导优势地位。本文通过对基于 DR-System 的存贮路径问题的研究, 可以看到对供应链的各组成部分进行整合尤其是库存和运输可以获

得更大效益。

当然, IRP 问题是典型的 NP 难题, 涉及到经济学、运筹学、应用数学、组合优化、计算机应用、运输管理与物流科学等众多学科, 是组合优化等领域的

前沿与热点研究问题。本文仅对客户需求的存贮路径问题进行了研究, 关于 IRP 问题还有很多重要问题有待于进一步研究。

参考文献

[1] Campbell ,A., Clarke ,L., Kleywegt ,A., Savelsbergh , M. The inventory routing problem [J]. Atlanta , GA 30332-0205 , 1997.

[2] Dror , M., Ball , M., Golden , B. A computational comparison of algorithms for the inventory routing problem [J]. Annals of Operations Research. 1985 , (1): 3-23.

[3] Federgruen , A. and Zipkin , P. A combined vehicle routing and inventory allocation problem [J]. Operations Research , 1984 , 32 (5): 1019-1036.

[4] Golden ,B., Assad ,A.and Dahl ,R. Analysis of a large scale vehicle routing problem with an inventory component [J]. Large Scale Systems. 1984 , 7 (2-3): 181-190.

[5] Chien , T., Balakrishnan , A. and Wong , R. An integrated inventory allocation and transportation vehicle routing problem [J]. Science. 1989 , 23 (2): 67-76.

[6] 玄光男(日本),程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京:科学出版社,2000

[7] 李 军. 物流配送 - 车辆优化调度理论与方法[M]. 北京:中国物资出版社,2001,129-134.

[8] 金锡万. 一种动态批量的启发式算法[J]. 现代管理,1996,14(3):27-29.

[9] 张远福,时连强. 车辆路径问题的一个启发式算法[J]. 河北建筑科技学院学报,2002,19(5):81-84.

上接第 30 页

4 结束语

物流公共信息平台是一个由多个工商企业、物流企业和政府部门参与的复杂系统,不同的参与者对物流公共信息平台有不同的需求。通过对物流公共信息平台的需求分析和功能设计,分析了可能采用的三种

物流公共信息平台多系统互连模式,每种互连模式有其各自适用的范围,其中,多级网络体系结构较符合我国物流公共信息平台发展目标和功能架构的要求。同时分析了多系统互连的关键技术。只有对这些关键技术进行深入的研究并且提出可解决方案,我国物流公共信息平台的发展才能取得长足进展。

参考文献

[1] 刘兴景,戴 禾,杨东援. 物流公用信息平台系统分析[J]. 交通与计算机,2001,19(1):34-38.

[2] 崔南方,刘英姿,赵振峰. 区域物流公共信息平台系统设计[J]. 科技进步与对策,2004(8):142-144.

[3] 董千里,袁 毅. 区域综合物流信息平台的功能与构建研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2002,2(1):74-78.

[4] 王孝坤,杨东援,张 锦等. 物流公共信息平台需求分析及其体系结构[A]. 交通运输工程领域博士研究生国际创新论坛会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,2005.