

文章编号: 1001-0920(2010)08-1211-04

## 托盘共用系统托盘回收随机规划模型研究

任建伟, 章雪岩

(西南交通大学 物流学院, 成都 610031)

**摘要:** 介绍了托盘共用系统的研究现状, 并在现有托盘共用系统的基础上, 提出一个改进的托盘共用系统. 基于改进的托盘共用系统, 建立了托盘共用系统托盘回收随机规划模型, 模型中考虑了需求和运输能力不确定等因素, 采用机会约束规划方法对模型进行了确定性等价转换. 通过算例进行了数值求解和数值分析, 验证了模型的有效性, 得出了一些有意义的结论.

**关键词:** 托盘回收; 托盘共用系统; 机会约束规划

**中图分类号:** F760.3

**文献标识码:** A

## Pallet recovery stochastic programming model of pallet pool system

REN Jian-wei, ZHANG Xue-yan

(School of Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China. Correspondent: Ren Jian-wei, E-mail: renjianwei309@126.com)

**Abstract:** A traditional pallet pool system is introduced and a modified pallet pool system is proposed. Then a stochastic programming model is established considering the uncertainty of pallet demand and transport capacity, which is solved by using the chance constrained programming method. Finally, the model is analyzed by numerical simulation, and the simulation result shows the effectiveness of the model, and the significant conclusion is obtained.

**Key words:** Pallet recovery; Pallet pool system; Chance constrained programming

### 1 引言

托盘是整合供应链、提高物流效率的重要工具. 目前, 我国还存在托盘利用率低的现象, 造成这种现象的一个重要原因是托盘回收问题没有解决. 很多专家提出建立托盘共用系统以解决托盘回收问题<sup>[1,2]</sup>, 但对托盘共用系统中托盘回收的方法一直没有深入研究.

### 2 托盘共用系统

#### 2.1 托盘共用系统研究现状

托盘拥有量是衡量一个国家物流现代化水平的标志, 我国目前托盘拥有量约1亿左右, 与美国拥有15~20亿相比有很大差距<sup>[1]</sup>. 由于我国托盘标准不统一、托盘质量差等原因, 托盘作业还没有实现一贯化, 无法有效利用托盘来提高物流作业效率.

实现托盘作业一贯化的难点在于托盘的回收, 目前国外主要采用托盘共用系统的方式来解决该问题<sup>[3-7]</sup>. 托盘共用系统<sup>[1-7]</sup>(PPS)是指: 一个组织(公司或国家机构或行业联盟)在各地建立托盘运营中

心, 负责托盘的回收、维护和调度; 需要托盘的企业可以向就近的托盘运营中心租用所需数量的托盘, 将托盘货物单元保持原态送达最终收货地点; 卸载货物后将托盘还给就近的托盘运营中心并付必要的租金. 该系统的优势在于: 1) 托盘使用企业无需持有托盘, 只需租用, 减少了初期投资, 节约了管理成本; 2) 托盘可以循环利用, 减少了浪费; 3) 托盘由托盘组织统一管理和调度, 可以实现规模效应且降低了运营成本, 同时减少不必要的空盘运输.

托盘共用系统的建立具有十分重要的现实经济价值和社会价值<sup>[2]</sup>. 但是, 我国目前仅有中国物流与采购联合会的吴清一、李太平以及孟国强等几位专家就托盘共用系统进行了研究.

#### 2.2 改进的托盘共用系统

目前设计的托盘共用系统具有优越性, 但也存在缺点. 收货方只能将托盘返回本地的托盘运营中心, 而不能继续租用, 造成了不必要的空盘运输(将托盘运回托盘运营中心), 因此有必要对其进行改进. 图

收稿日期: 2009-06-21; 修回日期: 2009-08-09.

**作者简介:** 任建伟(1982—), 男, 山西寿阳人, 博士生, 从事物流规划的研究; 章雪岩(1957—), 男, 江苏常州人, 教授, 从事物流规划、企业信息管理等研究.

1 为一个改进的托盘共用系统, 在该系统中收货方也可以是发货方, 可利用收到的托盘发货. 运作流程如下: 1) A 地区的发货方甲从 A 地区托盘运营中心租用托盘, 并装载货物运送到 B 地区的收货方乙. 2) 如果乙恰好有货物发往 A 地区, 则乙可以向甲租用托盘, 装载货物后运送到 A 地区的收货方丙. 3) 丙卸载货物后将托盘返回给 A 地区的托盘运营中心. 事实上如果丙正好有货物发往 B 地区, 可以向乙租用, 如此继续. 当然甲可以把托盘出租给 B 地区的任何一个需要托盘的用户, 而不一定是收货方乙. 改进的托盘共用系统与原先的托盘共用系统相比, 可以避免两次空盘运输, 能有效地提高托盘利用率、降低托盘回收费用.

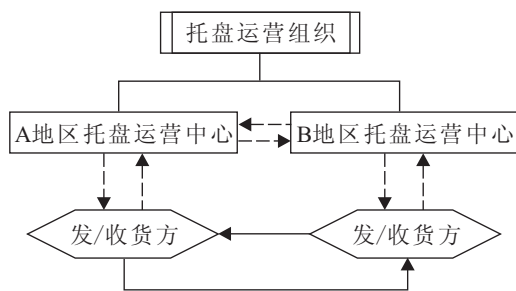


图 1 改进的托盘共用系统运作流程

### 3 托盘共用系统托盘回收随机规划模型

#### 3.1 基本假设

托盘共用系统托盘回收随机规划模型考虑的是上述改进的托盘共用系统. 假设:

1) 托盘共用系统中的托盘均为同一型号. 我国实际应用的托盘型号很多, 但新出台的国家标准 GB/T 2934-2007《联运通用平托盘主要尺寸及公差》中确定了 1 200 mm×1 000 mm 和 1 100 mm×1 100 mm 两种托盘规格, 且特别说明前一种为优先推荐规格.

2) 将托盘共用系统内的所有托盘运营中心和收/发货方划分为两类: 需盘点和供盘点. 在改进的托盘共用系统中任何一个发货方在其将货物送到目的地后, 均可将托盘继续出租给需要租用托盘的客户, 因此托盘共用系统内无论是托盘运营中心还是收/发货方均可看作是托盘需求方或托盘供给方. 将供盘点记为  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), 需盘点记为  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ).

3) 托盘需求方的所有需求均应被满足, 若托盘供给方的可供给托盘不能满足需求, 则可向托盘共用系统外的托盘租赁企业租用托盘, 租用数量没有限制, 但是应付租金, 单位租金确定.

4) 托盘的需求和托盘运输能力是独立的随机变量, 且已知其分布函数.

5) 托盘运输路线确定, 且运输方式为单一确定的

运输方式.

6) 运输、库存、租赁等各种单位成本已知.

7) 仅考虑某一时间段内的最优化托盘回收方案.

#### 3.2 参数及决策变量描述

(1) 决策变量

$X_{ij}$  为从供盘点  $i$  运送到需盘点  $j$  的空托盘量;  $H_i$  为供盘点  $i$  需要从系统外租用的空托盘量.

(2) 其他变量和参数

1) 确定变量和参数:  $C_{ij}$  为供盘点  $i$  到需盘点  $j$  的单位运输成本;  $C_h$  为向系统外租用托盘的单位租金;  $K_i$  为时间段结束时, 供盘点  $i$  的托盘库存量;  $C_i$  为供盘点  $i$  的单位库存成本;  $S_i$  为供盘点  $i$  的托盘供给量;  $D_j$  为需盘点  $j$  的确定性托盘需求量;  $A_{ij}$  为供盘点  $i$  到需盘点  $j$  的确定性最大运输能力;  $K_{0i}$  为供盘点  $i$  的最大库存量.

2) 随机变量:  $\alpha_j$  为需盘点  $j$  的随机需求量;  $\beta_{ij}$  为供盘点  $i$  到需盘点  $j$  的随机运输能力.

#### 3.3 数学模型

借鉴集装箱空箱调度模型和逆向物流模型<sup>[8,9]</sup>, 托盘共用系统托盘回收模型可表示为

$$\min C =$$

$$\min \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^m C_h H_i + \sum_{i=1}^m C_i K_i \right). \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n X_{ij} \leq S_i + H_i; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq D_j + \alpha_j; \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq A_{ij} + \beta_{ij}; \quad (4)$$

$$K_i = S_i + H_i - \sum_{j=1}^n X_{ij}; \quad (5)$$

$$K_i \leq K_{0i}; \quad (6)$$

$$X_{ij}, H_i, K_i, S_i, D_j, A_{ij} \in N \cup \{0\}; \quad (7)$$

$$C_{ij}, C_h, C_i, K_{0i} \geq 0; \quad (8)$$

$$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

模型中, 目标函数(1)表示托盘回收总成本最低, 包括运输成本、向系统外租用托盘成本和库存成本. 约束条件中式(2)为供给约束; 式(3)为需求约束; 式(4)为运输能力约束; 式(5)和(6)为库存量约束; 式(7)~(9)为取值约束.

#### 3.4 模型求解

约束条件(3)和(4)中含有随机变量, 因此模型实际没有意义. 本文将借鉴文献[10,11]提供的方法, 将模型转化为机会约束规划模型.

分别给约束条件(3)和(4)设定置信水平  $\delta_j$  和  $\gamma_{ij}$ , 并将其表示为机会约束

$$\Pr \left\{ \sum_{i=1}^m X_{ij} - D_j \geq \alpha_j \right\} \geq \delta_j, \quad (10)$$

$$\Pr \{X_{ij} - A_{ij} \leq \beta_{ij}\} \geq \gamma_{ij}. \quad (11)$$

将机会约束(10),(11)转化为确定等价形式

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} - D_j \geq \eta_j, \quad (12)$$

$$X_{ij} - A_{ij} \leq \omega_{ij}. \quad (13)$$

其中:  $\eta_j = \inf\{\eta_j | \eta_j = \varphi_j^{-1}(\delta_j)\}$ ,  $\varphi_j^{-1}(\delta_j)$  为随机需求变量  $\alpha_j$  的分布函数的逆函数;  $\omega_{ij} = \sup\{\omega_{ij} | \omega_{ij} = \varphi_{ij}^{-1}(1 - \gamma_{ij})\}$ ,  $\varphi_{ij}^{-1}(1 - \gamma_{ij})$  为随机运输能力  $\beta_{ij}$  的分布函数的逆函数.

### 4 算例分析

假定改进的托盘共用系统中存在 3 个供盘点 (a, b, c), 2 个需盘点 (d, e). 向系统外租用托盘的单位租赁成本为 1, 其他参数值如表 1~表 4 所示.

表 1 运输成本

	需盘点 d	需盘点 e
供盘点 a	2	3
供盘点 b	3	2
供盘点 c	4	1

表 2 运输能力

	需盘点 d	需盘点 e
供盘点 a	100/ N(20,4)	300/ N(20,9)
供盘点 b	200/ N(20,4)	0/ N(20,9)
供盘点 c	100/ N(20,4)	200/ N(20,9)

表 3 库存

	库存成本	最大库存
供盘点 a	1	200
供盘点 b	2	220
供盘点 c	3	300

表 4 需求和供给

	确定供给	确定需求	随机需求
供盘点 a	100	0	0
供盘点 b	120	0	0
供盘点 c	200	0	0
需盘点 d	0	300	N(10, 4)
需盘点 e	0	200	N(10, 9)

设机会约束(10)的置信水平为 0.9, 则机会约束(10)可表示为

$$\Pr \left\{ \sum_{i=1}^m X_{ij} - D_j \geq \alpha_j \right\} \geq 0.9. \quad (14)$$

按照第 3.4 节介绍的方法对约束(14)进行处理, 得

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} - D_j \geq \eta_j = \varphi_j^{-1}(0.9) =$$

$$\sigma_i(\varphi^{-1}(0.9)) + \mu_i = 1.282\sigma_i + \mu_i. \quad (15)$$

设机会约束(11)的置信水平为 0.95, 则机会约束(11)可表示为

$$\Pr \{X_{ij} - A_{ij} \leq \beta_{ij}\} \geq 0.95. \quad (16)$$

按照第 3.4 节介绍的方法对约束(16)进行处理, 得

$$X_{ij} - A_{ij} \leq \omega_{ij} = \varphi_{ij}^{-1}(1 - 0.95) =$$

$$\sigma_{ij}(\varphi^{-1}(1 - 0.95)) + \mu_{ij} = -1.645\sigma_{ij} + \mu_{ij}. \quad (17)$$

#### 4.1 数值求解

利用 Lingo 软件对模型进行求解, 经过 16 次迭代, 得到全局最优解 1 128, 决策变量的解如表 5 所示.

表 5 最优方案

	需盘点 d	需盘点 e	租赁
供盘点 a	107	83	90
供盘点 b	105	15	0
供盘点 c	0	215	15

由分析结果可知, 托盘回收的最低成本为 1 128, 最优调运方案为: 供盘点 a 向需盘点 d 供应 107 个托盘, 向需盘点 e 供应 83 个托盘; 供盘点 b 向需盘点 d 供应 105 个托盘, 向需盘点 e 供应 15 个托盘; 供盘点 c 不向需盘点 d 供应托盘, 向需盘点 e 供应 215 个托盘; 供盘点 a 需向系统外租用 90 个托盘; 供盘点 c 需向系统外租用 15 个托盘.

如果将置信水平均设为 1, 则随机规划问题退化为确定的整数规划问题. 利用 Lingo 软件求解, 经过 6 次迭代, 得到全局最优解 1 100, 决策变量的解如表 6 所示.

表 6 最优方案

	需盘点 d	需盘点 e	租赁
供盘点 a	80	100	80
供盘点 b	120	0	0
供盘点 c	0	200	0

#### 4.2 数值分析

在其他条件不变的情况下, 分别将需求点 d 和需求点 e 的需求约束的置信水平  $\delta_1$  和  $\delta_2$  设为 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 并分别计算需盘点 d 的托盘需求量、需盘点 e 的托盘需求量、向系统外租赁托盘量以及托盘回收总成本, 计算结果如图 2~图 4 所示.

分析计算结果, 可以得出如下结论:

1) 需盘点的托盘需求数量受到置信水平的影响. 当置信水平提高时, 需盘点的的需求量增加; 当置信水平减小时, 需盘点需求数量减少.

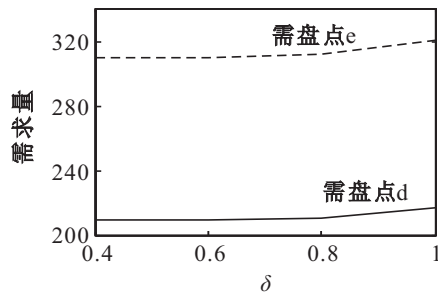


图2 置信水平和托盘需求量关系

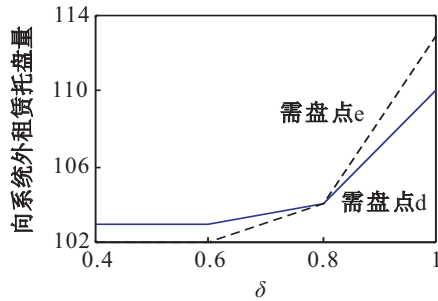


图3 置信水平和向系统外租赁托盘量关系

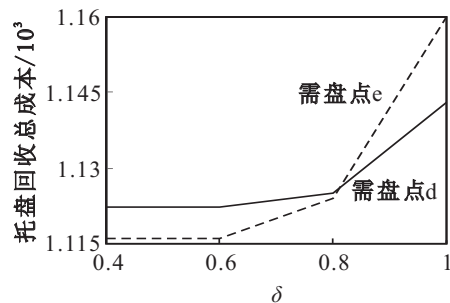


图4 置信水平和托盘回收总成本关系

2) 向系统外租赁托盘的数量受到置信水平的影响. 当置信水平提高时, 需向系统外租赁托盘量增加; 当置信水平减小时, 需向系统外租赁托盘量减少.

3) 托盘回收总成本受到置信水平的影响. 当置信水平提高时, 托盘回收总成本增加; 当置信水平降低时, 托盘回收总成本减少.

究其原因, 当置信水平提高时, 需求约束条件更为严格, 此时若需求量增加, 而托盘共用系统内的供给能力是确定的, 则系统无法满足现有需求. 因此, 需要向系统外租赁更多的托盘, 相应地托盘回收总成本增加.

由以上分析可知: 托盘共用系统运营组织应根据实际情况合理地设置置信水平, 提高模型计算结果的准确性, 保证托盘回收方案的可靠性和有效性.

## 5 结论

本文对托盘共用系统托盘回收问题进行了研究, 托盘回收中存在托盘需求不确定、运输能力不确

定等因素. 根据这些特点, 建立了托盘回收随机规划模型, 采用机会约束规划方法对模型进行了确定性等价转换, 并通过算例进行了数值求解和数值分析, 验证了模型的有效性, 得出了一些有意义的结论. 托盘共用系统的研究还处于初始阶段, 尚有许多问题需进一步研究, 如托盘共用系统运营模式、托盘信息的采集方式、托盘共用系统信息平台的构建等.

## 参考文献(References)

- [1] 吴清一. 论中国托盘共用系统的建立[J]. 物流技术与应用, 2003, 8(12): 1-4.  
(Wu Q Y. Discussion on set up of china pallet pool system[J]. Logistics & Material Handling, 2003, 8(12): 1-4.)
- [2] 李太平. 建立我国物流托盘共用系统面临的问题与对策[J]. 华东经济管理, 2006, 20(5): 58-98.  
(Li T P. Study on the problem of china logistics pallet exchange system and its countermeasure[J]. East China Economic Management, 2006, 20(5): 58-98.)
- [3] Ray C D, Michael J H, Scholnick B N. Supply-chain system costs of alternative grocery industry pallet systems[J]. Forest Products J, 2006, 56(10): 52-57.
- [4] Anon. Pallet pool: The hauliers speak out[J]. Matls Handling & Mgmt, 1969, (9): 30-32.
- [5] Auguston, Karen A. Is the U.S. ready for pallet pooling[J]. Modern Materials Handling, 1991, 46(8): 76.
- [6] Jouglard M, Spink P. Pallet pools pump up productivity[J]. Manufacturing Engineering, 2004, 132(2): 71.
- [7] Murry J. Pallet pool is key to Swedish cargo handling efficiency[J]. The J of ICHCA, 1967, 3(3): 27-29.
- [8] 张得志, 谢如鹤, 黄孝章. 铁路集装箱空箱调度模型及求解算法[J]. 中国铁道科学, 2003, 24(3): 125-129.  
(Zhang D Z, Xie R H, Huang X Z. Dispatch model and solution algorithm of railway empty container[J]. China Railway Science, 2003, 24(3): 125-129.)
- [9] Fleischmann M. Quantitative models for reverse logistics[D]. The Netherlands: Erasmus University Rotterdam, 2001.
- [10] 刘宝碁, 赵瑞清. 随机规划与模糊规划[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.  
(Liu B D, Zhao R Q. Stochastic programming and fuzzy programming[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998.)
- [11] Liu B D, Iwamura K. Chance constrained programming with fuzzy parameters[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998, 94(2): 227-237.