

带时间窗的随机库存—运输整合优化研究*

段风华, 何小年

(湖南涉外经济学院 电气与信息工程学部, 长沙 410205)

摘要: 针对单配送中心—多客户配送系统, 建立带时间窗约束的单周期随机需求库存—运输整合优化 (ITIO) 问题模型。运用禁忌搜索算法, 求解无时间窗约束的算例, 结果表明库存—运输整合优化策略在总成本和车辆数上都优于全选最佳和全选次优策略, 证明 ITIO 问题的研究具有理论意义和实际价值。同时, 与遗传算法求解结果的比较表明, 禁忌搜索算法求解此类问题具有优势。求解引入时间窗约束的算例, 结果显示既满足时限要求, 又比其他两种策略节省了库存—运输总成本, 使得本模型及其求解算法更贴近实际应用要求。

关键词: 库存; 运输; 整合优化; 随机需求; 时间窗; 禁忌搜索

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)01-0197-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.055

Stochastic inventory-transportation integrated optimization with time windows

DUAN Feng-hua, HE Xiao-nian

(School of Electric & Information Engineering, Hunan International Economics University, Changsha 410205, China)

Abstract: The model of single-cycle inventory-transportation integrated optimization (ITIO) with time windows was constructed for one-center & multi-client distribution system. The results of the example without time windows by tabu search algorithm show that ITIO is superior to best-select and suboptimal-select strategy on total cost and total number of vehicles used, and therefore prove the theoretical and practical values of ITIO. Meanwhile, a comparison with results by genetic algorithm shows that the tabu search algorithm has an advantage while solving this kind problem. Furthermore, the time windows was added into the ITIO and the problem was solved. The results obtained not only meet clients' time limits, but save the total cost of inventory-transportation compared with best-select and suboptimal-select strategy, which promotes the ITIO model and its algorithm to be more closely applicable.

Key words: inventory; transportation; integrated optimization; stochastic demand; time windows; tabu search

0 引言

库存—运输整合优化 (inventory-transportation integrated optimization, ITIO) 研究的是在同时考虑库存与运输相互影响的前提下, 如何联合优化配送和库存这两个独立的物流环节, 确定补货策略和配送运输策略, 使得库存和运输的总成本最小。对这些问题的讨论最早出现在 20 世纪 70 年代, 如 Merron^[1] 在 1979 年曾论述过同时优化库存和运输问题的重要性及其带来的经济效益, 但未提出具体解决方法。至 80 年代, 对其讨论有所增多, 而近十年来, 国内外在库存—运输问题方面涌现出不少研究成果, 其内容主要集中在随机需求、多周期、求解算法以及它们这些方面某种程度的综合研究上^[2-8]。部分文献对库存—运输问题增加某种约束条件进行建模和求解研究^[9-14], 使 ITIO 问题研究更加接近物流实践需求。在各种约束条件中, 除个别文献涉及时间约束外^[16-17], 暂未发现其他这方面的研究成果, 而现代经济生活中, 时间约束往往极其重要。本文尝试从运输环节对带时间约束的单周期随机需求库存—运输问题建模, 并运用禁忌搜索算法求解, 使其更相符合于实际需求。

1 问题与假设

考虑由一个配送中心和 n 个客户构成的配送系统, 配送货物品种单一, 车辆容量为 Q , 车辆的固定费用为 F_f , 货物必须在指定的时间内到达, 违反时间窗则要接受一定惩罚。租用的车辆从配送中心出发, 送货完毕仍需返回配送中心, 不考虑车辆行驶距离的限制, 每个客户必须送货, 各客户需求量随机。没有初始库存, 每个客户需求量小于 Q , 客户售出每单位产品得利为 C_u (若缺货, 则损失 C_u), 若不能售出, 每单位产品亏损 C_0 。

2 模型建立

2.1 期望损失

假设客户 $j(j=1, 2, \dots, n)$ 的需求量为 d (d 为正整数) 的发生概率为 $P_j(d)$ 。当客户 j 的订货量为 Q_j 时, 其订货期望损失 $E_L(Q_j)$ 为

$$E_L(Q_j) = \sum_{d>Q_j} C_u(d-Q_j)P_j(d) + \sum_{d<Q_j} C_0(Q_j-d)P_j(d) \quad (1)$$

取使 $E_L(Q_j)$ 最小的 Q_j 作为最佳订货量。

2.2 订货量的确定

采用边际分析法对式(1)求解得到订货水平满足需求的

收稿日期: 2011-06-26; 修回日期: 2011-07-29 基金项目: 湖南省教育厅科学研究资助项目 (10C0909); 国家自然科学基金资助项目 (70671108)

作者简介: 段风华 (1972-), 男, 湖南沅江人, 副教授, 博士, 主要研究方向为物流系统优化 (1012564884@qq.com); 何小年 (1977-), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向为运筹学。

概率为

$$\sum_{d=0}^Q p(d) = \frac{C_u}{C_u + C_0} \quad (2)$$

然后根据经验分布就可以找出最佳的订货量^[15]。

2.3 配送路径的确定

设车场的编号为 0, 客户的编号分别为 1, 2, …, n。为了构造数学模型, 定义变量为

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{表示车辆 } k \text{ 从点 } i \text{ 行驶到点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{表示点 } i \text{ 的任务由车辆 } k \text{ 完成} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

其中: K 表示所需的车辆数; Q 表示车辆的最大载重量; i, j 表示客户和车场, 其中 i = 0 表示车场; d_{ij} 表示从点 i 到点 j 的直接距离; d_i 表示点 i 的货物需求量。

如果点 i 和点 j 在同一路线且点 j 恰好在点 i 之后服务, 则配送费用为

$$F_d = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K d_{ij} x_{ijk} \quad (3)$$

考虑客户时限要求情形下, 需要对模型增加时间窗。对时间窗的设置为: a_i 为点 i 时间窗的最早时间; b_i 为点 i 时间窗的最晚时间; t_i 为到达点 i 的时间; s_i 为点 i 的服务时间; p₁ 为早于到达点 i 并开始服务的惩罚系数; p₂ 为晚于到达点 i 并开始服务的惩罚系数。如果点 i 和点 j 在同一路线且点 j 恰好在点 i 之后服务, 那么 t_j = t_i + s_i + t_{ij}。则此时的配送费用为

$$F'_d = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K d_{ij} x_{ijk} + p_1 \sum_{i=1}^n \max(a_i - t_i, 0) + p_2 \sum_{i=1}^n \max(t_i - b_i, 0) \quad (4)$$

2.4 ITIO 模型

假设每辆车的固定费用为 F_f, 客户 j 订货量从大到小共有 m 个, 对应 Q_{jv} (v = 1, 2, …, m), 相对应期望损失为 T_{jv} (v = 1, 2, …, m), 定义变量为

$$T_{jv} = \begin{cases} 1 & \text{客户 } j \text{ 以 } Q_{jv} \text{ 为订货量} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

联合式(1)(3)

$$\min TC = \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^m Q_{jv} T_{jv} + F_d + K \times F_f \quad (5)$$

增加了时间窗约束后, 根据式(1)(4), 总费用为

$$\min TC' = \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^m Q_{jv} T_{jv} + F'_d + K \times F_f \quad (6)$$

$$\text{满足: } \sum_{k=1}^K x_{ik} = 1 \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (7)$$

$$\sum_{i=0}^n d_i y_{ik} \leq q \quad k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{0k} = K \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}; i, j \in \{0, 1, \dots, n\}, k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (10)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\}; i \in \{0, 1, \dots, n\}, k \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (11)$$

$$T_{jv} \in \{0, 1\}; j \in \{1, 2, \dots, n\}, v \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (12)$$

模型中, 式(4)表示优化目标, 即最低库存运输成本; 式(5)表示每个客户只能被访问一次; 式(6)表示载重量的限制; 式(7)表示有 K 辆车离开车场; 式(8)表示车辆 k 是否从点 i 到点 j; 式(9)表示点 i 的任务是否由车辆 k 完成; 式(10)表示每个客户只能确定一个订货量。

3 模型求解算法

本文 ITIO 模型采用禁忌搜索算法求解。算法设计为: 采

用自然数编码, 随机产生初始解。算法中 0 表示车场; 1, …, n 表示客户。每个客户的订货量, 最佳订货量用“1”表示, 次优订货量用“2”表示。以 2-Opt 作为邻域结构。

解评价方面, 本文的优化目标是整合的库存—运输成本最低, 为了充分对解空间进行搜索, 算法接受导致不可行解的变换。当违反了车辆装载能力限制时, 其不可行性的程度可以通过引入一个惩罚值而将该约束条件包含到目标函数中去进行度量, 即

$$\sum_{v=1}^m T_v + F_d + p \sum_{k=1}^K E_Q(k)$$

其中: $\sum_{v=1}^m T_v$ 为期望损失之和; F_d 为配送费用; E_Q(k) 为线路 k 上超出车辆载重量部分; p 是惩罚系数。

本文使用的停止准则为, 最大迭代步数 10000 + 40 × n, 当前最好解保持不变的最大连续迭代步数 5000 + 10 × n。

4 实例分析

本文采用文献[15]中的算例(表 1), 运用禁忌搜索算法: a) 求解无时间约束的模型(5); b) 修改程序, 求解有时间约束的模型(6)。算法用 Delphi 语言编程, 并在 Pentium® 2.80 GHz 微机上实现。

4.1 初始数据

已知有一个配送中心, 12 个售货点, 车型单一, 车辆容量为 60, 配送费用与距离成正比, 单价为 5, 车辆的固定费用为 40。具体数据如表 1 所示。

表 1 初始数据

售货点	配送中心	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
坐标	30,40	37,52	49,49	52,64	20,26	40,30	21,47	17,63	31,62	52,33	51,21	42,41	31,32	
最佳订货		7	30	16	9	21	15	19	23	11	5	19	29	204
期望损失		12	18	12	13	9	13	8	15	22	10	11	13	156
次优订货		6	24	13	7	17	12	15	18	9	4	15	24	164
期望损失		13	20	15	14	12	15	9	18	23	12	13	14	178

4.2 实验 1

在不考虑时间窗约束的情况下, 按全选最佳订货量、全选次优订货量和 ITIO 三种类型对算例分别求解(表 2)并与文献[15]的结果进行比较(表 3)。

表 2 结果显示, 以全选最佳策略为参照对象, 全选次优策略增加 1.04% 费用, 但节约了 25% 的车辆; ITIO 策略节约了 4.46% 的费用, 且节约了 25% 的车辆。表 3 结果显示, 相较于遗传算法, 采用全选最佳订货量情形下, 本算法节约总成本 9.11%; 采用全选次优订货量情形下, 本算法节约总成本约 8.98%, 且节约 25% 车辆; 采用 ITIO 策略情形下, 本算法节约总成本 13.07%, 且节约 25% 车辆。这表明 ITIO 策略能够有效降低库存费用和所使用的车辆数, 同时也显示本算法具有优越性。表 2 结果显示, 以全选最佳策略为参照对象, 全选次优策略增加 1.04% 费用, 但节约了 25% 的车辆; ITIO 策略节约了 4.46% 的费用, 且节约了 25% 的车辆。表 3 结果显示, 相较于遗传算法, 采用全选最佳订货量情形下, 本算法节约总成本 9.11%; 采用全选次优订货量情形下, 本算法节约总成本约 8.98%, 且节约 25% 车辆; 采用 ITIO 策略情形下, 本算法节约总成本 13.07%, 且节约 25% 车辆。这表明, ITIO 策略能够有效降低库存费用和所使用的车辆数, 同时也显示本算法具有优越性。

