

文章编号: 1671-1637(2009)06-0092-05

基于 p -中位模型的单目标物流配送时间点决策

白 杨, 朱金福

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘要: 为了确定最佳的配送时间点, 利用 p -中位模型, 研究单配送目标物流配送的时间点决策问题, 建立了最少配送次数、最短配送时间和运费有折扣情况下最低运输成本的数学模型, 并以航空货物配送为例, 利用 ILOG 优化软件分别计算了 3 种模型的配送时间点。计算结果表明: 实现最少配送次数需要的平均配送时间是最短平均配送时间的 1.6 倍, 在运费有折扣情况下实现最低运输成本所需配送时间比没有折扣情况下的略长; 货主或者物流服务商可以根据客户要求选择相应的模型, 确定配送时间点, 实现最优决策。

关键词: 物流配送; p -中位模型; 时间点决策; 成本优化

中图分类号: F505 **文献标志码:** A

Time points decision of single target logistics delivery based on p -median model

BAI Yang, ZHU Jirfu

(School of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: In order to decide the best delivery time points, three cases of single delivery target were studied by using p -median model, the mathematical models of least delivery times, minimum delivery time and minimum transportation cost under the condition of freight discount were build, and taking air cargo transportation as a case, their delivery time points were calculated by using ILOG optimization software. Analysis result shows that the average delivery time of least delivery times is 1.6 times higher than the average minimum delivery time, and the delivery time of realizing minimum transportation cost under the condition of freight discount is longer than that without freight discount. So consignors or logistics service providers can choose the models to decide the best delivery time points according to customer requirements. 6 tabs, 17 refs.

Key words: logistics delivery; p -median model; time points decision; cost optimization

Author resumes: BAI Yang (1977-), female, lecturer, doctoral student, +86 25-84895388, baiyang@nuaa.edu.cn; ZHU Jirfu (1955-), male, professor, +86 25-84895388, zhujf@nuaa.edu.cn.

0 引 言

配送问题可描述为对一系列装货点和卸货点, 组织适当的行车线路, 使车辆有序地通过它们, 在满

足一定的约束条件(如货物需求量、发送量、交发货时间、车辆容量限制、行驶历程限制、时间限制等)下, 达到一定的目标(如路程最短、费用最少、时间尽量少、使用车辆尽量少等)。根据已有的研究成果,

收稿日期: 2009-08-01

基金项目: 中国民用航空总局应用技术项目(MHRD0622)

作者简介: 白 杨(1977-), 女, 河南信阳人, 南京航空航天大学讲师, 管理学博士研究生, 从事现代物流管理研究。

导师简介: 朱金福(1955-), 男, 江苏金坛人, 南京航空航天大学教授。

物流配送问题主要包括3个方面:配送网络结构设计^[1-3]、配送设施选址设计^[4-5]和配送线路优化设计^[6]。多数学者从成本的角度(配送成本、库存成本)研究配送问题^[7-11]。在配送问题求解方法中,主要有启发式算法^[12]、分支定界法^[13]、遗传算法^[14-16]和计算机仿真^[17]等多种方法。

以上研究主要是从空间的角度来探索如何实现最低的配送费用、最短的配送路径或者配送时间。但在配送活动中,存在这样一种情况,对于一些时间价值高的商品,为了能够有效地满足产品生产的需要和企业零库存的要求,必须科学地计划其装运和配送任务,需要确定最佳的配送时间点。如货物被送至货站,货主需要确定在何时将货物从货站运回自有仓库,这就必须要考虑货物何时到达、地面运输时间、货物处理时间和运输费用等因素,制定最优的配送计划,或者生产商根据客户的订单及配送要求,如何安排生产和配送计划的问题。因此,需要从时间角度来分析在实现配送距离最短、配送时间最短或者配送成本最低的目标情况下,对配送时间点进行优化选择。本文利用 p -中位模型来研究单目标物流配送的时间点决策问题。

所谓 p -中位模型即在 s 个节点中选择 p 个服务中心,由此 p 个服务中心对其他的 $s-p$ 个服务对象提供服务的总成本最小。在物流设施选址问题中常用 p -中位模型,其解决的问题是:选择合适的设施位置,指派客户到相应的设施中去。本文将 p -中位模型用于时间点决策,即在 s 个时间节点中选择 p 个时间点进行货物配送,以实现配送次数最少、配送时间最短或者运输成本最低的目标。

1 模型假设与参数设定

现实中的物流配送问题十分复杂,为了便于建模和求解,需要对现实问题进行一些归纳、抽象和简化。在物流配送问题研究时,可作以下假设。

(1) 货物配送作业包括货物处理与运输。从物流中心向单一客户送货,物流中心和客户的位置确定,物流中心必须将属于该客户的货物无条件地送到。由于地理位置确定,不考虑运输网络中车流量的限制,那么从物流中心到客户的地面运输时间就是确定的。

(2) 配送时间点即为货物处理后可装车的时间。假设每隔 15 min 可以进行一次货物的装载,那么从中午 12 点到 24 点,可选择的配送时间点共有 48 个。

(3) 货物在物流中心的处理时间固定。

(4) 总配送时间等于货物处理时间、等待时间与运输时间之和。由于货物处理时间和运输时间确定,所以配送时间就由等待时间决定。

(5) 货主可以根据运单了解货物到达物流中心的时间和货运量。

(6) 每辆配送车的最大载质量一定,每次装运量都不超过卡车的载运量,运输车辆只配送单一客户的货物。

根据以上假设,该单目标配送问题实际可以描述为从可选择装载配送的时间点中选择若干次来完成货物的配送,实现最小配送次数、最短配送时间或最低配送成本的目标。如果利用 p -中位模型来研究单目标物流配送问题,需要解决的问题就是:从可选配送时间点中确定配送的次数和时间;指派货物到相应的配送时间点中去。根据以上的建模思想,设定参数如下。

(1) $x_{ij} \in \{0, 1\}$, x_{ij} 为 1 表示第 j 批到达的货物被安排在第 i 次配送中完成配送,否则等于 0。
 $y_i \in \{0, 1\}$, y_i 为 1 表示第 i 个配送时间点被选择,否则为 0。

(2) T_{ij} 为第 j 批到达的货物在第 i 次配送中总的配送时间,包括等待时间、处理时间和运输时间。如果知道了货物到达时间和选择配送的时间点,那么 T_{ij} 就是确定的。

(3) m 为总的可选配送时间点; \bar{p} 为配送次数; n 为货物到达的批次; T 为可接受的最大配送时间。

(4) c_1 为最低运费; c_k 为不同折扣点 k 收取的运费; c_q 为最大运费; w 为货物质量; W_1 为收取最低运费的质量。

(5) 参数 $z_{ik} \in \{0, 1\}$ 表示如果在第 i 个配送时间点装载配送的货物总质量是 $W_{k-1} \leq w < W_k$, $2 \leq k \leq q-1$ 时, z_{ik} 为 1, 否则为 0, q 为最大运费质量节点。

(6) $t_i \in \{0, 1\}$ 表示如果在第 i 个配送时间点装载配送的货物总质量大于等于 W_1 时, t_i 为 1, 否则为 0。

在配送系统优化中,可选择目标如下。

(1) 最少配送次数: 由于运输时间固定,在使用车辆和运费率确定的情况下,最少配送次数可以实现最低的配送成本。但是由于货物到达物流中心的时间确定,如果配送次数少,那么一批货可能就会等待比较长的时间才能装运,就使得配送时间增长。

(2) 最短配送时间: 配送时间缩短,可以更好地满足客户的需求,但是由于它与配送次数的背反关

系,会导致配送次数增多,从而增加配送成本。

(3) 运费有折扣情况下的最低运输成本: 如果运费存在折扣,就可以在等待货物装满之后再行配送,这样就需寻求配送次数和配送时间的平衡。

根据以上目标,本文分别建立数学模型进行分析,并根据货主的不同情况来寻求最佳的解决方案。

2 配送模型

2.1 最小配送次数模型

$$\min Z_1 = \bar{p} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$T_{ij} x_{ij} \leq T \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq y^i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m y^i = \bar{p} \quad (5)$$

该模型是在满足最大配送时间要求下求最少配送次数。式(1)为目标函数,表示总配送次数最小,式(2)确保每批到达的货物只安排一次配送,式(3)表示总的配送时间不能超过可接受的最大配送时间,式(4)确保没有被选上的时间点不会进行货物配送,式(5)是总配送次数。由于配送次数减少,有可能导致某些货物会等待较长的时间,而不能实现快速配送目的。

2.2 最短配送时间模型

$$\min Z_2 = \left[\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m T_{ij} x_{ij} \right] / \bar{p} \quad (6)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad (7)$$

$$x_{ij} \leq y^i \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m y^i = \bar{p} \quad (9)$$

式(6)为目标函数,表示平均配送时间最小,式(7)~(9)为约束条件。最小配送次数模型和最短配送时间模型都具备 p -中位模型的特点,可利用 p -中位模型求解方法来对以上 2 个模型进行求解。在实际操作中,如果每次配送的时间间隔不是非常的小,货物到达的批次也不是非常的多,其运算规模不大的情况下,往往可采用精确求解算法,获得数学意义的最优解。

2.3 运费有折扣情况下的最低运输成本模型

物流服务商通常会根据配送货物的多少给予运费的折扣,如果存在运费折扣的情况,作为决策者就必须综合考虑配送次数和配送时间,使得总配送费

用最低。根据运输量的多少,服务商通常会要求不同的运费,一般包括最低运费、折扣运费率和最大运费,见表 1。

表 1 运费与质量关系

Tab. 1 Relationship between freight and weight

运费	质量区间
c_1	$0 \leq w < W_1$
c_k	$W_{k-1} \leq w < W_k (2 \leq k \leq q-1)$
c_q	$w \geq W_{q-1}$

运费有折扣情况下的最低运输成本模型为

$$\min Z_3 = \sum_{i=1}^m \left[\left(\sum_{k=2}^{q-1} c_k z_{ik} \right) \left(\sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \right) + c_1 z_{i1} + c_q z_{iq} \right] \quad (10)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad (11)$$

$$T_{ij} x_{ij} \leq T \quad (12)$$

$$x_{ij} \leq y^i \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^q z_{ik} = y^i \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \geq W_{r-1} z_{ir} \quad r = 2, 3, \dots, q \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j x_{ij} - W_1 \leq M t_i \quad (16)$$

$$z_{i1} t_i = 0 \quad (17)$$

式(10)为目标函数,表示最小运输成本, w_j 为第 j 批到达的货物质量。式(11)~(13)与前模型中的含义相同,式(14)是将一次配送的货物按照质量对应到相关的价格区间,式(15)是确定运输总质量要大于其所在价格区间的最小质量,式(16)~(17)表示当选择在第 i 个时间点配送的货物质量大于等于 W_1 时, z_{i1} 为 0,其中 M 是一个极大的正数。该模型是一个非线性的整数规划模型,可用来实现最小运输成本条件下的配送次数的优化。

3 算例分析

根据航空物流的运作流程,在货物到达目的地机场后,货主按照飞机降落的时间安排货物的运输,实现零库存、准时制等要求。为了地面运输的高速便捷,货主或者货运代理会将自己的仓库(生产地点)定位在机场的周边,尽可能使路线简单,不出现拥堵的现象。航空物流配送服务具备本文研究的单目标配送问题的特点,运输时间比较固定,需要决策的是配送次数或者配送成本,而配送成本又由配送

次数或者运量来决定, 它们之间有着密切的关系, 因此, 本文以航空货物配送为例进行分析。

本文根据某航空承运人与货运代理之间的运输协议, 获得相关数据, 利用以上 3 个模型进行配送优化, 在计算之前作以下假设。

(1) 货物最长可接受的配送时间为 6 h。

(2) 货运航班从上午八点开始到下午七点结束, 具体时间由航班时刻表决定, 每个航班都可能承担该代理商或货主的货物, 数据通过调查统计可知。

(3) 配送时间包括货物处理时间、等待时间和运输时间。按照操作流程, 货物到达机场后需要进行整理, 假设理货时间平均为 2 h。在装车运输之前为等待时间, 由于航空货站到达货代仓库的距离确定, 在不考虑运输拥堵的情况下, 运输时间确定, 假设为 1.25 h, 因此, 总配送时间主要由等待时间决定。

(4) 设定可进行配送的时间间隔为 15 min, 如果第一次配送是在 12 点进行, 那么每隔 15 min 就是一个备选配送的时间点。

(5) 现有可装运货物不超过一辆卡车的运量。

从以上假设可知, 一批货物在到达机场后, 最短配送时间为 195 min, 即等待时间为 0, 最长配送时间为 360 min, 等待时间为 165 min。航班到达的时间见表 2; 卡车运费按照运量给予不同的折扣, 见表 3, 其中货物质量不大于 550 kg 时, 单一运费为 350 元。

表 2 航班到达时间

Tab. 2 Arriving times of flights

航班序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
到达时间	8:00	9:00	10:00	11:00	13:00	15:00	16:00	17:00	19:00

表 3 卡车运费

Tab. 3 Freights of truck

质量/kg	运费/(元·kg ⁻¹)	质量/kg	运费/(元·kg ⁻¹)
550 < w ≤ 1 000	0.60	2 500 < w ≤ 3 500	0.45
1 000 < w ≤ 1 500	0.55	3 500 < w ≤ 4 500	0.40
1 500 < w ≤ 2 500	0.50	w > 4 500	0.35

调查可知每个航班所载运该代理商的货物平均质量为 550 kg, 在计算中按照这个数值随机产生每个航班载运该代理商的货物质量, 共产生 4 组数据。使用优化软件 ILOG/CPLEX9.0 分别计算 3 个模型, 计算结果见表 4、5、6。根据航班量、航班到达时间和配送间隔时间可知, 备选时间点为 56 个, 最多可选 9 个, 由于时间的不可逆性, 在计算规模上要小于一般的 p -中位选址问题, 因此, 本文利用 ILOG 优化软件直接求解, 在可接受时间内获得最优解, 其

中最小配送次数模型计算时间平均为 102.8 s, 最短配送时间模型计算平均需 101.4 s, 最低配送成本模型计算平均需要 184.7 s。

表 4 最小配送次数

Tab. 4 Least delivery times

序号	最小配送次数	平均配送时间/min	配送时间点
1	4	350.0	12:45, 15:45, 18:45, 21:15
2	4	344.0	12:30, 15:30, 18:30, 21:15
3	4	359.0	12:30, 14:45, 17:30, 21:00
4	4	329.0	12:15, 15:15, 18:15, 21:15
平均	4	345.5	

由表 4 可知, 如果要达到最大等待时间不超过 360 min 的要求, 那么 9 个航班的货物至少需要 4 次配送, 平均配送时间为 345.5 min。由表 5 可知, 平均最短配送时间为 211.75 min, 需要 8 次配送, 几乎每批货物到达后就要配送, 只需等待很短的时间。由表 6 可知, 在有运费折扣情况下, 以最低运输成本为目标的配送也需要 4 次配送, 平均运输成本为 2 722 元, 平均配送时间为 348.5 min, 相对于最少配送次数的优化结果, 配送时间要长一些。

表 5 最短配送时间

Tab. 5 Minimum delivery times

序号	配送次数	平均配送时间/min	等待时间/min
1	7	220.00	25.00
2	8	210.00	15.00
3	8	212.00	17.00
4	9	205.00	10.00
平均	8	211.75	16.75

表 6 最低运输成本

Tab. 6 Minimum transportation cost

序号	最低成本/元	平均配送时间/min	配送时间点
1	2 557	355.0	12:45, 15:45, 18:45, 21:30
2	2 867	350.0	12:30, 15:45, 18:30, 21:15
3	2 543	359.0	12:45, 14:30, 17:30, 21:00
4	2 921	331.0	12:15, 15:15, 18:15, 21:15
平均	2 722	348.5	

4 结 语

由于配送问题复杂, 本文探讨了单物流中心、单配送目标、纯送货、有时限要求的配送问题。在假设地面运输时间一定、理货时间确定的条件下, 设定每隔 15 min 可进行一次配送, 依据货物到达时刻和货运量, 从备选配送时间点中确定配送的时间和次数。论文根据 p -中位模型, 分别建立了最少配送次数、

最短配送时间和运费有折扣情况下的最低运输成本的优化模型, 并利用 ILOG 优化软件进行求解。本文为物流配送服务商制定配送计划, 确定精确的配送时间提供了参考。作为物流服务商, 可以根据客户的要求, 按照不同的优化目标进行操作, 给客户提供的服务。但配送中有可能存在货物到达物流中心时间的变化, 或者客户订单的变更, 因此, 对该问题还需进一步的研究。

参 考 文 献 :

References :

- [1] CHEUNG R K M, POWELL W B. Models and algorithms for distribution problems with uncertain demands[J]. *Transportation Science*, 1996, 30(1): 43-59.
- [2] VROBLEFSKI M, RAMESH R, ZIONTS S. Efficient lot sizing under a differential transportation cost structure for serially distributed warehouses[J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, 127(3): 574-593.
- [3] 李昆鹏, 马士华. 基于 JIT 配送的 3PL 运输协调调度问题建模与分析[J]. *中国管理科学*, 2008, 16(1): 73-79.
LI Kunpeng, MA Shihua. Modeling and analysis of synchronized 3PL transportation scheduling problem in context of JIT delivery[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2008, 16(1): 73-79. (in Chinese)
- [4] 赵秋红, 高洋, 郝蒙浩. 准时配送与分销中心的设置决策[J]. *管理评论*, 2007, 19(5): 47-50, 39.
ZHAO Qiu hong, GAO Yang, XI Meng hao. Analysis on the relation of JIT delivery and DC's setting[J]. *Management Review*, 2007, 19(5): 47-50, 39. (in Chinese)
- [5] 韩庆兰, 梅运先. 基于 BP 人工神经网络的物流配送中心选址决策[J]. *中国软科学*, 2004(6): 140-143.
HAN Qing lan, MEI Yur xian. Distribution center: BP artificial neural network based site selection[J]. *China Soft Science*, 2004(6): 140-143. (in Chinese)
- [6] LEUNG S C H, WU Y, LAI K K. A robust optimization model for a cross border logistics problem with fleet composition in an uncertain environment[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2002, 36(11/12/13): 1221-1234.
- [7] GEN M, SYARIF A. Hybrid genetic algorithm for multi time period production/distribution planning[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2005, 48(4): 799-809.
- [8] HAUGHTON M A, STENGER A J. Comparing strategies for addressing delivery shortages in stochastic demand settings[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 1999, 35(1): 25-41.
- [9] GEUNES J, ZENG A Z. Impacts of inventory shortage policies on transportation requirements in two stage distribution systems[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 129(2): 299-310.
- [10] 王平, 唐喜平, 李云. 一类多源点物流配送优化模型的探讨[J]. *系统工程理论与实践*, 2003, 23(3): 87-91.
WANG Ping, TANG Xi ping, LI Yun. Approach for a multi source logistics delivery optimum model[J]. *Systems Engineering theory and Practice*, 2003, 23(3): 87-91. (in Chinese)
- [11] GEUNES J, SHEN Z J M, EMIR A. Planning and approximation models for delivery route based services with price sensitive demands[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 183(1): 460-471.
- [12] THANGIAH S R, FERGANY A, AWAN S. Real time split delivery pickup and delivery time window problems with transfers[J]. *Central European Journal of Operations Research*, 2007, 15(4): 329-349.
- [13] MAZDEH M M, SARHADI M, HINDI K S. A branch and bound algorithm for single machine scheduling with batch delivery minimizing flow times and delivery costs[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 183(1): 74-86.
- [14] 郎茂祥, 胡思继. 用混合遗传算法求解物流配送路径优化问题的研究[J]. *中国管理科学*, 2002, 10(5): 51-56.
LANG Mao xiang, HU Si ji. Study on the optimization of physical distribution routing problem by using hybrid genetic algorithm[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2002, 10(5): 51-56. (in Chinese)
- [15] 张潜, 高立群, 胡祥培, 等. 物流配送路径多目标优化的聚类改进遗传算法[J]. *控制与决策*, 2003, 18(4): 418-422.
ZHANG Qian, GAO Li qun, HU Xiang pei, et al. Research on multi objective vehicle routing problem of optimization based on clustering analysis and improved genetic algorithm[J]. *Control and Decision*, 2003, 18(4): 418-422. (in Chinese)
- [16] 戴树贵, 潘荫荣, 胡幼华. 基于最小费用的物流配送模型及其混合单亲遗传算法[J]. *计算机应用*, 2005, 25(11): 2681-2684.
DAI Shu gui, PAN Yin rong, HU You hua. A logistics delivery model based on the least cost and its hybrid partheno genetic algorithm[J]. *Computer Applications*, 2005, 25(11): 2681-2684. (in Chinese)
- [17] PATEL M H, DESSOUKY Y, SOLANKI S, et al. Air cargo pickup schedule for single delivery location[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2006, 51(3): 553-565.