

两级供应链分销模型研究

郜振华, 徐小明

(安徽工业大学 管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要: 本文探讨了最具代表性的两级供应链的分销模型, 在前人研究的基础上通过构建与求解连续近似模型, 得出分销中心的数目及其服务区域的面积, 并通过模型的解来分析整个系统的成本结构。算例表明, 模型的求解结果与事实相符, 且将订货费、建设费、运营费、运输费一同考虑更能精确描述系统的成本结构。

关键词: 分销模型; 连续近似模型; 两级供应链; 供应链管理

中图分类号: T B491 文献标识码: A 文章编号: 1002- 980X(2010) 09- 0119- 04

在经济全球化的今天, 竞争日益激烈、客户需求日趋个性化、产品更新换代周期日益缩短, 面对不断变化的市场环境, 企业要想寻求生存和发展, 只有以市场为核心去适应环境, 并及时对市场做出反应, 以低成本、高速度、在正确的时间、正确的地点为客户提供满意的产品和服务。而当前人们比较热心于两级供应链分销模型的研究, 正是达到上述目标的关键步骤之一。企业建立两级供应链分销渠道的途径主要包括通过选择合适的分销商销售和建立企业自己的分销系统两种。由于建立自己的分销系统具有便于管理、对市场需求变化的响应速度快等优点, 所以对于有较强经济实力的企业来说, 通常重点考虑自建分销系统。本文的思路, 即是通过连续近似模型构造两级供应链(供应商—分销中心—零售商), 在保证长期运营时供应链成本最优的同时, 确定分销中心的数量及位置。

所谓连续近似模型, 考虑客户点在空间分布上是连续的, 而不关注每一个需求点的精确信息。当离散的数据足够庞大时, 完全可以用连续的函数来近似表示。正是利用这种方法, 我们可建立简单的、形式上并不精确的模型。这种方法的一个主要目的就是利用尽可能少的信息来获得问题的较满意解决方案, 也使我们能够权衡各种费用之间的比重。由于不依赖每个客户的具体地点及相关需求信息, 连续近似模型对于设计新区域内或固定区域内扩展市场的分销系统特别有用, 而且连续模型易于扩展和修改。

国外学者对于连续近似模型研究由来已久: Newell 等^[1-2]建立了基于环形的分销模型框架, 主要是针对工厂在研究区域中心的情况, 服务区域首先被分割成以工厂为圆心的环形, 再将环形分割成

多个扇形区域, 每个扇形区域内的客户由一个车辆来提供服务; Daganzo 等^[3]建立了考虑“路由失败”的一对多连续近似模型。所谓“路由失败”就是车辆在到达每个服务点时, 所剩下的载货量不小于这一点的需求量, 由于需求量的不确定性, 会出现到达某一服务点后, 发现该点需求量大于车辆所剩下的载货量的情况; Hall 等^[4]考虑了多对一直运情况建立一模型, 以确定车辆在各源之间收集货物的最优频率, 使得库存费用和收集货物的运输费用总和最小; Rosenfield 等^[5]对固定设施的建设费用和运输费用进行权衡, 建立了一个基于连续近似方法的网络设计模型, 并在此基础上建立了一个决策支持系统; Verter 等^[6]建立了一个较为具体、实用的连续近似模型, 他的模型目标函数中包括了分销系统的固定费用、运营费用和运输费用。国内学者张长星等^[7]从客户服务因素—周期服务水平出发, 构建了整合库存控制的分销网络设计的连续近似模型; 罗锦珠等^[8]对供应链链条中的信息流、物流和资金流进行设计、规划和控制, 从而提高供应链中各成员的效率和效益; 孙会君等^[9]利用双层规划模型描述了二级分销网络优化问题, 充分考虑了网络决策部门及客户双方的自身及共同利益; 金海和等^[10]针对需求拖动式供应链, 在考虑需求分布的情况下提出了分销配送网络的优化模型。

本文即是在 Verter 等研究的基础上, 将客户的各种信息表示成在固定区域内的连续函数, 并将分销系统中各种费用表示成这些函数的表达式, 在此基础上建立了一个较为具体、实用的两级供应链的分销模型。并将分销中心的订货费用连同建设费用、存储费用、运输费用一起考虑, 通过求解此模型

收稿日期: 2010- 05- 23

作者简介: 郜振华(1972—), 男, 安徽濉溪人, 安徽工业大学管理科学与工程学院副教授, 博士, 研究方向: 物流系统优化;
徐小明(1985—), 男, 安徽宿州人, 安徽工业大学管理科学与工程学院硕士研究生, 研究方向: 物流系统优化。

可以得到分销中心的数目及其服务区域的面积,而且还可通过模型的解来分析整个系统的成本结构。

1 假设和符号

考虑供应商自建分销中心时,为使得整个供应链系统长期运营的总成本最小,必须根据研究区域内零售商需求均值密度、分销中心的建设及运营费用等已知条件,确定分销中心的个数、所服务区域面积、分销中心位置等。模型的假设条件有:

①所有分销中心所服务的区域大小均相同,且零售商只向本区域的分销中心订货;

②分销中心的建立没有地区差异性,也即在任何地方建立的分销中心的建设费用和与运营费用相关的系数相同;

③在模型中所有的参数在服务区域内连续,且变化缓慢。也即两个非常邻近的客户将拥有相同的需求模式。

下面介绍一下本文所用符号的含义: M , 整个市场区域; n , 分销中心的数目; (x_i, y_i) , 分销中心 i 的坐标; y_i , 分销中心 i 的服务区域; A_i , y_i 的面积; $u(x, y)$, 坐标点 (x, y) 单位面积单位时间的需求均值; $f(x, y)$, 在坐标点 (x, y) 建立分销中心单位时间的建设费用和运营费用; Q_i , 分销中心 i 的每次订货量; $\varphi(x)$, 分销中心向工厂订 x 单位货物的订货费, 在这里假设订货费为一常量, 即 $\varphi(x) = v$; $\beta(x_i, y_i)$, 是与分销中心容量相关的常数; $b(x, y)$, 运输单位货物从工厂到 (x, y) 分销中心的费用, 即内部运输费率; $c(x, y)$, 位于 (x, y) 的分销中心为客户提供服务的单位路程运输费用, 即外部运输费率。

2 分销模型的构建

分销中心 i 在单位时间内的订货费用表示如下:

$$\frac{u(x_i, y_i) A_i}{Q_i} \varphi(Q_i) \quad (1)$$

单位时间内分销中心的建设和运营费用与分销中心容量相关, 表达式可表示为:

$$f(x_i, y_i) = F(x_i, y_i) + \beta(x_i, y_i) Q_i \quad (2)$$

式(2)中, $F(x_i, y_i)$ 为在点 (x, y) 建立分销中心的建设费用, $\beta(x_i, y_i) Q_i$ 为在点 (x, y) 建立分销中心的运营费用, $\beta(x_i, y_i)$ 是与分销中心容量相关的常数。

分销中心单位时间的外部运输(从分销中心到零售商)费用的计算相当复杂, 它和服务区域的形状、车辆的容量和送货方式有着直接的联系。为了能将运输费用清楚简便地表达出来, 在这里假设分

销中心位于所服务区域的中心, 运输费用和里程成正比, 且分销中心一次只对一个零售商进行运输服务。

分销中心 i 单位时间的外部运输费用可表示为:

$$\iint_{y_i} \frac{2c(x_i, y_i)u(x, y)}{3} \sqrt{\frac{A_i}{\pi}} dx dy = 0.38c(x_i, y_i)u(x_i, y_i)A_i^{3/2} \quad (3)$$

式(3)中, $\frac{2}{3} \sqrt{\frac{A_i}{\pi}}$ 表示从分销中心 i 到其客户的平均距离。

综合以上的分析, 可将分销系统的连续近似模型表示为如下规划模型:

$$\min_{x_i, y_i, A_i} \left\{ \sum_i 0.38c(x_i, y_i)u(x_i, y_i)A_i^{3/2} + \sum_i [F(x_i, y_i) + \beta(x_i, y_i)Q_i] + \sum_i u(x_i, y_i)A_i \left[\frac{\varphi(Q_i)}{Q_i} + b(x_i, y_i) \right] \right\} \quad (4)$$

$$\text{s. t. } \bigcup_i y_i = M; \quad (5)$$

$$(x_i, y_i) \in y \quad \forall i. \quad (6)$$

上述模型中, 约束(5)表示各分销中心所服务区域之和应为整个供应链服务的区域; 约束(6)表示各分销中心应在所服务的区域内。

模型中的决策变量为分销中心的数目 n 、位置 (x_i, y_i) 和分销中心所服务区域的边界 y_i 或面积 A_i 。目标函数中的第1项表示由分销中心到零售商的运输费用; 第2项表示分销中心的运营费用; 第3项表示订货费以及从供应商到分销中心的运输费用。

式(4)对 Q_i 求导可以得出:

$$Q_i = \sqrt{\frac{v \cdot A_i \cdot u(x_i, y_i)}{\beta(x_i, y_i)}} \quad (7)$$

将式(7)代入式(4)中, 得到消去 Q_i 的目标函数:

$$\min_{x_i, y_i, A_i} \left\{ \sum_i 0.38c(x_i, y_i)u(x_i, y_i)A_i^{3/2} + \sum_i F(x_i, y_i) + \sum_i u(x_i, y_i)A_i b(x_i, y_i) + \sum_i (\sqrt{\beta(x_i, y_i)} + 1) \sqrt{v \cdot A_i \cdot u(x_i, y_i)} \right\} \quad (8)$$

3 模型求解

上述模型难于求解, 即使分销中心的数目、位置和服务区域的形状已知, 模型仍是复杂的非线性规划。有效的求解方法只有对其简化, 求近似解。求解的步骤是首先确定最优的服务区域, 然后确定各个分销中心的其它变量。

由于各个参数在服务区域内变化缓慢, 因此通

过连续近似模型能够得出分销系统较好的满意解。
下面对式(8)中的第2项做如下推导:

$$\begin{aligned} \sum_i F(x_i, y_i) &= \sum_i F(x_i, y_i) \iint_i \frac{1}{A_i} dx dy \\ &= \sum_i \iint_i \frac{F(x, y)}{A_i} dx dy \quad (\text{因为 } F(x, y) \text{ 变化缓慢}) \\ &= \sum_i \iint_i \frac{F(x, y)}{A_s(x, y)} dx dy \quad (A_s(x, y) = A_i \quad \forall (x, y) \in y_i) \\ &= \iint_i \frac{F(x, y)}{A_s(x, y)} dx dy. \end{aligned} \tag{9}$$

同理, 式(8)可表示为(在这里省去 (x, y)),

$$\begin{aligned} \min_{A_s} TC &= \\ \iint \left\{ 0.38cu \sqrt{A_s} + \frac{F}{A_s} + ub + (\sqrt{\beta} + 1) \sqrt{\frac{uw}{A_s}} \right\} dx dy. \end{aligned} \tag{10}$$

由式(10)可知, 求出最优的服务区域面积 A_s 即求解了原问题, 因为分销中心数目 n 是最优解 A_s 的一个导出值, 而分销中心位置 (x_i, y_i) 也可由 A_s 确定(例如重心法)。对式(10)求导得:

$$\begin{aligned} \min_{A_s} TC' &= 0.38cu \sqrt{A_s} + \frac{F}{A_s} + ub + (\sqrt{\beta} + 1) \sqrt{\frac{uw}{A_s}}. \end{aligned} \tag{11}$$

要达到最小, 必须满足式(12):

$$\frac{dT C'}{dA_s} = \frac{0.19cu}{\sqrt{A_s}} - \frac{F}{A_s^2} - \frac{(\sqrt{\beta} + 1) \sqrt{uw}}{2 \sqrt{A_s^3}} = 0. \tag{12}$$

由于 $A_s \neq 0$, 式(12)可化为一个一元三次方程, 因此根据卡尔丹公式, 当 $\Delta > 0$ 时, (12)式的一个实数解为:

$$\begin{aligned} A_s^* &= \left[\sqrt[3]{\frac{q}{2} + \sqrt{\Delta}} + \sqrt[3]{\frac{q}{2} - \sqrt{\Delta}} \right]^2. \tag{13} \\ \text{式(13)中: } \Delta &= \left(\frac{q}{2} \right)^2 + \left(\frac{p}{3} \right)^3, q = -\frac{5.26F}{cu}, p \\ &= -\frac{(\sqrt{\beta} + 1) \sqrt{uw}}{0.38cu}. \end{aligned}$$

将 A_s^* 代入式(10)中, 即可求得最小的总成本。

4 算例及结果分析

本文将利用若干算例来验证模型及其解法的可行性, 并利用算例的计算结果分析模型中各参数变化对解产生的影响。在设计算例时, 区域内各参数随坐标变化幅度不大, 在这里就抽象为常数。在列表中, No 用来表示问题的序号, u 的单位为台/单位面积·月, L 的单位为月, c 的单位为千元/单位距离, b 的单位为千元/台, M 、 A_s 的单位为单位面积, TC 、 V 的单位为千元, r_i 、 Q_i 的单位为台。

表1 算例的参数值与计算结果

No	u	c	F	β	b	v	M	A _s	Q _i	TC
1	1000	0.5	1000	0.05	0.2	100	25	6.7006	3660.8	24764
2	800	0.5	1000	0.05	0.2	100	25	7.5290	3470.8	20901
3	2000	0.5	1000	0.05	0.2	100	25	4.7599	4363.4	42249
4	1000	1	1000	0.05	0.2	100	25	4.5568	3018.9	35297
5	1000	0.5	2000	0.05	0.2	100	25	9.4727	4352.6	28041
6	1000	0.5	1000	0.1	0.2	100	25	6.7505	2598.2	25050
7	1000	0.5	1000	0.05	0.4	100	25	6.7006	3660.8	29764
8	1000	0.5	1000	0.05	0.2	200	25	6.9500	5272.6	26309
9	1000	0.5	1000	0.05	0.2	100	50	6.7006	3660.8	49527
10	1000	0.25	1000	0.05	0.2	100	25	9.9815	4468.0	18070

为了进行比较, 在设计不同问题时, 只依次变化其中一项或两项参数。通过对计算结果进行分析, 可以看出:

- 1) 系统总成本随外部运输费率的增加(由 No4 和 No1 比较可得) 而显著增加, 这说明外部运输费用在总成本中占有较大的比重。随着外部运输费率的增加, 分销中心的服务面积减小, 这主要是外部运输费用和分销中心运营费用相互平衡的结果。
- 2) 随着需求均值的增加总成本显著增加(由 No3 和 No1 比较可得), 同时分销中心的服务面积减小, 每次订货量增加。
- 3) 系统总成本随分销中心的订货费率提高而

大幅提升, 但对分销中心的服务面积影响不大。而对分销中心的订货量的影响较大, 随订货费的增加而增加。

- 4) 系统的总成本随内部运输费率、研究区域总面积和分销中心的运营费用增加也大幅增加, 且总成本的增长与研究区域总面积成倍数关系。但三者对分销中心的服务面积、订货量影响较小。

5 结束语

本文构建的供应链两级分销模型中, 将订货费连同建设费、运营费、运输费一同考虑, 求解得出分销中心的数目及其服务区域的面积, 并通过模型分

析了整个系统的成本结构。具体算例的求解结果验证了此模型的结果不仅与事实相符,而且更能精确描述系统的成本结构。在今后的研究中,本文所提出的模型还可应用于多个供应商参与以及包含多个产品的供应链。

参考文献

[1] NEWELL G F, DAGANZO C F. Design of multiple vehicle delivery tours I: a ring radiat network[J]. Transportation Research B, 1986, 20B: 345-364.

[2] NEWELL G F, DAGANZO C F. Design of multiple vehicle delivery tours II: other metrics[J]. Transportation Research B, 1986, 20B: 365-376.

[3] DAGANZO C F, HALL R W. A routing model for pickups and deliveries: no capacity resrtictions on the secondary items[J]. Transportation Science, 1993, 27: 315-329.

[4] HALL R W. Determining vehicle dispatch frequency when

shipping frequency differs among suppliers[J]. Transportation Research B, 1985, 19B: 421-431.

[5] ROSENFELD D B, ENGELSTEIN I, Feigenbaum D. An application of sizing service territories[J]. European Journal of operational Research, 1992, 63: 164-172.

[6] DASCI A, VERTER V. A continuous model for production distribution system design[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 129: 287-298.

[7] 张长星, 党延忠. 分销网络设计的连续近似模型[J]. 系统工程学报, 2003, 18(5): 447-451.

[8] 罗锦珠. 合理库存是供应链赢利的关键点[J]. 技术经济, 2005(8): 43-46.

[9] 孙会君, 高自友. 基于双层规划的供应链二级分销网络优化设计模型[J]. 管理工程学报, 2004, 18(1): 68-71.

[10] 金海和, 陈剑, 赵纯均. 分销配送网络优化模型及其求解算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, 42(6): 739-742.

Study on Distribution System Model with Two echelon Supply Chain

Gao Zhenhua, Xu Xiaoming

(School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan Anhui 243000, China)

Abstract: This paper discusses the most representative distribution model with two echelon supply chain. On the basis of previous research, it constructs a continuous approximation model and solves it to get the amount of distribution center and the sizes of their service area. And then it analyzes the cost structure of the whole system through the solution of this model. Examples show that the results of the model solution are consistent with the facts. And considering ordering charges together with construction cost, operating cost and transportation cost, the cost structure of system could be described more accurately.

Key words: distribution model; continuous approximation model; two echelon supply chain; supply chain management

(上接第 16 页)

[7] 顾前, 杨旭华, 王万良, 等. 基于复杂网络的城市公共交通网络研究[J]. 计算机工程, 2008, 34(20): 266-268.

[8] 孙敏, 潘郁. 多资源复杂网络的应急调度研究[J]. 运筹与管理, 2009, 18(6): 165-169.

[9] 杨洪勇, 张嗣瀛. 基于复杂网络的禽流感病毒传播[J]. 系统仿真学报, 2008(18): 13-16.

[10] 陈亮, 陈忠, 李海刚, 等. 基于复杂网络的企业员工关系网络演化分析[J]. 上海交通大学学报, 2009(9): 1388-1393.

[11] 刘夫云, 祁国宁, 杨青海. 基于复杂网络的零部件用量预测方法[J]. 机械工程学报, 2006, 42(6): 1-6.

[12] 刘夫云, 杨青海, 祁国宁, 等. 基于复杂网络的产品族零部件通用性分析方法[J]. 机械工程学报, 2005, 41(11): 76-

79.

[13] 林福永, 孙凯. 复杂网络关系流与行为关系定理——一般系统结构理论在复杂网络中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007(9): 136-141.

[14] 段文奇, 陈忠, 惠淑敏. 基于复杂网络的网络效应新产品扩散模式[J]. 上海交通大学学报, 2007(7): 1069-1073.

[15] 范如国, 许烨, 基于复杂网络的产业集群演化及其治理研究[J]. 技术经济, 2008(9): 76-81.

[16] 孙敏敏, 高光锐, 任俊义. 基于复杂网络的山东汽车制造业集群实证研究[J]. 技术经济, 2009(9): 125-129.

[17] 张永安, 王甲. 基于复杂网络视角集群创新网络研究进展与评述[J]. 生产力研究, 2009(18): 193-196.

Complex Network

Zheng Xiaojing, Xu Xusong

(School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The complex network model and its corresponding parameters are introduced, and the several applications are specified. Then the two key aspects in economics and management researching, flowing and topologic of complex network, and the thought for studying them are described.

Key words: complex network; statistical parameter; flow; topical structure