供应链分销系统优化及仿真[①]

王迎军, 高峻峻
(东北大学工商管理学院, 沈阳 110004)

摘要: 研究多个制造商多个分销商组成的分销系统, 综合考虑库存成本、订货成本、运输成本和缺货成本, 建立了较为全面的分销网络成本模型, 以分销商满足市场需求时的服务水平作为优化问题的约束条件, 求解成本优化问题. 然后, 给出了求解上述最优订货量的方法, 并用仿真方法分析了价格参数及订货比例系数对总成本的影响. 结论表明: 随着运价参数 b 的降低, 总成本下降幅度较大; 分销商在地理位置方面的特征, 会影响分销商在不同供应商之间的最优订货比例, 该比例不是越大越好, 也不是越小越好, 最优比例是居中的某个数值.

关键词: 供应链; 分销系统; 需求不确定; 最小成本模型; 仿真
中图分类号: F273 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2002)05-0079-06

0 引 言

分销系统的优化问题越来越引起人们的关注[1-6], 各种文献通过选择不同的方案设定供应链管理的外部环境来分析分销系统. 文[7]讨论在各种条件下的价格折扣问题时, 分析了多个分销商、常量需求、生产调度与分销商订货规模的关系以及购买/制造策略四种情况下的供应商的年利润优化问题, 并选择合适的折扣数量. 其缺陷是没有综合考虑各种成本, 没有把供应链作为整体来讨论. 也有的模型仅考虑了库存成本、订货成本和运输成本, 而没有将缺货成本考虑进去[8]. 后来在考虑各类成本的同时, 用服务水平来约束和控制分散的多水平系统, 但未考虑系统中运输成本的影响[9]. 文[10]弥补了这一缺陷, 作者研究的运输-库存模型不再简单假设单位运输成本为订货量的线性函数, 且把运输时间作为提前期的一部分, 分析由运输成本、持有成本、订货成本、缺货成本组成的总成本的优化问题, 提出的库存和运输联合决策的物流系统成本模型, 用目标缺货量作为约束, 但其仍局限于由一个制造商、一个分销商组成的"一对一"系统, 没有分析多分销商情况下的优化问题. 于是, "多对多"分销系统日益引起学者的重视[11-14], 他们就单个制造商、多个处于相同地位的分销商、一个中心仓库的库存系统优化问题进行分析, 常用 Poisson 分布描述市场需求.

本文针对由多个制造商和多个分销商组成的分销网络的物流成本优化问题, 假设多个制造商(如企业集团的成员)生产同一种产品, 在综合考虑各类成本(库存成本、订货成本、运输成本和缺货成本)的基础上, 以分销网络的物流成本为最小化目标, 把服务水平(而不是缺货量)作为约束条件进行建模, 并通过仿真分析模型的应用效果.

1 基本模型

一个低成本高效益的分销系统将会给整条供应链提供强有力的竞争优势. 图1是"多对多"(由多个制造商和多个分销商组成的)的供应链分销系统的示意图. 该分销系统中的供应链上游企业是由 n 个生产同类产品的制造商组成, 下游企业是由 m 个销售同类产品的分销商组成. 为避免或

① 收稿日期: 2001-06-19; 修订日期: 2002-07-18
基金项目: 中国博士后基金资助项目
作者简介: 王迎军(1965-), 男, 辽宁沈阳人, 副教授, 博士后.

减少风险, 各个分销商每年都会按一定比例向不同的制造商订货

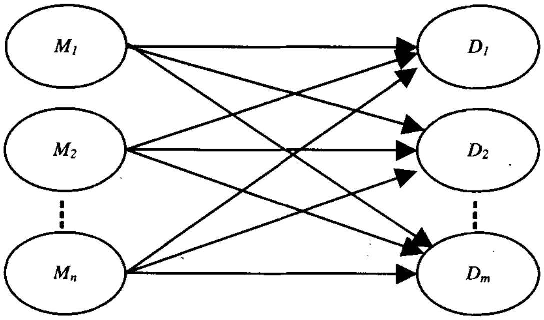

图1 分销网络示意图

在此分销系统中, 制造商和分销商之间一直具备良好的供应链合作伙伴关系, 制造商可以根据分销商的订单实现JIT生产, 且双方的最终目的都是为了最大程度地满足顾客需求 因此, 忽略了制造商的缺货成本和库存持有成本; 年总成本由分销系统的运输成本、分销系统的库存持有成本(即分销商的库存持有成本)、分销系统的订货成本(制造商和分销商的订货成本和)及分销系统的缺货成本(分销商的缺货成本)四部分组成

1.1 基本假设及符号含义

建立标准分销网络模型所作的假设

· 分销商的库存系统采用连续检查控制策略;

· 各制造商的产品为同类产品;

· 分销商了解顾客需求的差异性且其年需求量可以根据历史数据预测出来;

· 不考虑制造商的库存持有成本和缺货成本;

· 分销商每年向不同制造商订货的比例是确定的;

· 日平均需求量、订货提前期独立服从正态分布①, 它们的均值和方差可以估计;

· 运输服务由第三方物流中心来实现小批量运送(通过配货);

· 各分销商的年需求量很大, 故可假设年需求量是订货量的整数倍

文中用到的符号的含义如下:

M_i—— 制造商 i ($i = 1, 2, \cdots, n$);

D_j—— 分销商 j ($j = 1, 2, \cdots, m$);

R_j—— 分销商D_j的年需求量(件);

r_{ij}—— 在分销商D_j的年需求量R_j中, 由制造商M_i供应的货物量($r_{ij} = R_j\lambda_{ij}$);

q_{ij}—— 在分销商D_j的订货量Q_j中, 由制造商M_i来供应的货物量($q_{ij} = Q_j\lambda_{ij}$);

r_{ij}/q_{ij}—— 分销商D_j每年向制造商M_i的订货次数;

λ_{ij}—— 由制造商M_i供应分销商D_j的货物量占其年需求量的比例(%);

Q_j—— 分销商每次订货的固定订货量(件/次);

S_j—— 分销商D_j的再订货点水平(件);

SS_j—— 分销商D_j的安全库存(件);

k_j—— 分销商D_j的安全库存因子;

α_j—— 分销商D_j的目标缺货风险(%);

ES_j—— 分销商D_j的预期缺货量(件);

K_{mi}—— 制造商M_i ($i = 1, 2, \cdots, n$) 每次订货的过程成本(元/次);

K_{dj}—— 分销商D_j ($j = 1, 2, \cdots, m$) 每次订货的过程成本(元/次);

V—— 各制造商M_i ($i = 1, 2, \cdots, n$) 所生产的产品出厂价格(元/件);

W_j—— 分销商D_j ($j = 1, 2, \cdots, m$) 的单位库存持有成本占单位价值的百分比(%);

Y_j—— 分销商D_j ($j = 1, 2, \cdots, m$) 的在运库存持有成本占单位价值的百分比(%);

B_j—— 分销商D_j ($j = 1, 2, \cdots, m$) 的预期缺货成本占单位价值的百分比(%);

b_j—— 延期订货比例(%);

w—— 单位质量(kg/件);

$f(Q_j)$—— 单位距离的运价函数(元/km);

d—— 运价折扣(%);

L_{ij}—— 制造商M_i到分销商D_j之间的路程(km);

ESL_j—— 第j个分销商的预期服务水平;

TSL_j—— 第j个分销商的目标服务水平;

$J(Q_1, Q_2, \cdots, Q_m)$—— 分销网络年预期总成

① 当市场需求趋于平稳时, 其分布接近于正态分布, 因此在理论推导及仿真中做正态分布假设

本;

γ_j—— 分销商D_j提前期中固定不变的订货处理时间(天);

L_j—— 分销商D_j的提前期(天),是均值与方差分别为μ_{L_j}和σ_{L_j}的随机变量;

T_j—— 分销商D_j的运输时间(天),是均值与方差分别为μ_{T_j}和σ_{T_j}的随机变量;

d_j—— 分销商D_j的日需求量(件),是均值与方差分别为μ_{d_j}和σ_{d_j}的随机变量;

c_j—— 分销商D_j的提前期需求量(件),是均值与方差分别为μ_{c_j}和σ_{c_j}的随机变量

1.2　基本模型的建立

分销网络的预期年总成本包括分销网络的订货成本C_o、分销商的库存持有成本C_h、分销网络的运输成本C_t、分销商的缺货成本C_s,它们分别表示如下

$$C_o = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} K_{mi} \cdot \frac{R_j\lambda_{ij}}{Q_j\lambda_{ij}} + \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} K_{dj} \cdot \frac{R_j\lambda_{ij}}{Q_j\lambda_{ij}} \tag{1}$$

$$C_h = \sum_{j=1}^{m}\left(\frac{Q_j}{2} + SS_j\right)\cdot V \cdot W_j + \sum_{j=1}^{m}(\mu_{t_j} \cdot \mu_{d_j})\cdot V \cdot Y_j \tag{2}$$

$$C_t = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} f(q_{ij}) L_{ij} \frac{R_j\lambda_{ij}}{Q_j\lambda_{ij}} \cdot (1-d) \tag{3}$$

$$C_s = \sum_{j=1}^{m} b_j \cdot ES_j \cdot \frac{R_j}{Q_j} \cdot V \cdot B_j + \sum_{j=1}^{m}(1-b_j) ES_j \cdot \frac{R_j}{Q_j} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} V \cdot \lambda_{ij}\right) \tag{4}$$

式(1)表示第i个制造商发生的总订货次数,与制造商每次订货发生的订货过程成本(K_{mi})相乘,得到制造商全年的订货成本,同理可以得到分销商全年的订货成本;式(2)用分销商的平均库存量($Q_j/2 + SS_j$)、单位产品价值与单位库存持有成本占单位产品价值的百分比的乘积表示全年库存持有成本,μ_{t_j}和μ_{d_j}分别表示表示运输时间、日需求量的均值;式(3)中$f(s)\cdot(1-d)$是运载量为s运价折扣为d时的运价函数,其幂函数形式为$f(s)\cdot(1-d) = a(w\cdot s)^b(1-d)$($a,b$为待定参数,$a>0$, $-1<b<0$),$R_j\lambda_{ij}/Q_j\lambda_{ij}$表示全年的订货次数,得到了分销网络全年的运输成本;式(4)表示分销网络全年的缺货成本,它由对应于忠诚顾客的延期交货成本和对应于非忠诚顾客的销售额损失两部分组成,第1项表示延期订货成本,其中b_jES_j表示每次订货将被延期交货的货物量,第2项表示所发生的销售额损失,$(1-b_j)ES_j$表示每次订货所发生的销售额损失

为了寻找使得分销网络的全年总成本$J(Q_1, Q_2, \cdots, Q_m)$尽可能小,同时满足服务水平约束的$Q_1, Q_2, \cdots, Q_m$,得到如下分销网络的成本最小化模型

$$\begin{aligned}
\min J(Q_1,Q_2,\cdots,Q_m) = & \sum_{j=1}^{m}\left[\left(\sum_{i=1}^{n}K_{mi} + n\cdot K_{dj}\right)\cdot\frac{R_j}{Q_j}\right] + \\
& \sum_{j=1}^{m}\left(\frac{Q_j}{2} + SS_j\right)\cdot V \cdot W_j + \\
& \sum_{j=1}^{m}(\mu_{t_j}\cdot\mu_{d_j})\cdot V \cdot Y_j + \\
& \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} a(w\lambda_{ij}Q_j)^b \cdot \frac{R_j}{Q_j}\cdot L_{ij}\cdot(1-d) + \\
& \sum_{j=1}^{m} b_j\cdot ES_j\cdot\frac{R_j}{Q_j}\cdot V\cdot B_j + \sum_{j=1}^{m}(1-b_j)\cdot \\
& ES_j\cdot\frac{R_j}{Q_j}\cdot V \\
\text{s.t.}\quad & ESL_j(Q_j) \geq TSL_j \\
& Q_j > 0
\end{aligned} \tag{5}$$

2　模型的求解

为了求解最优订货量,对式(5)优化指标右端表达式关于Q_j求二阶偏导数,有

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 J}{\partial Q_j^2} = & 2\sum_{j=1}^{n}\left[\left(\sum_{i=1}^{n}KM_i + n\cdot KD_j\right)\cdot R_j\cdot Q_j^{-3}\right] + \\
& a(b-1)\cdot(b-2)w^b\cdot(1-d)\cdot \\
& \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}Q_j^{b-3}\cdot\lambda_{ij}^b\cdot L_{ij}\cdot R_j + \\
& 2\sum_{j=1}^{m}b_j\cdot ES_j\cdot\frac{R_j}{Q_j^3}\cdot V\cdot B_j + \\
& 2\sum_{j=1}^{m}(1-b_j)\cdot ES_j\cdot\frac{R_j}{Q_j^3}\cdot V > 0
\end{aligned} \tag{6}$$

故式(6)右端是下凸函数.因此,可以通过令一阶偏导数为零,找到最优的订货量Q_j,即

由 $\frac{\partial}{\partial Q_j} = 0$ 得

$$
\begin{aligned}
&-\sum_{j=1}^{m}\left[\left(\sum_{i=1}^{n}K_{mi}+n\cdot K_{di}\right)\cdot R_j\cdot Q_j^{-2}\right]+\\
&\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{m}V\cdot W_j+a\cdot(b-1)\cdot\\
&w^{b}(1-d)\cdot\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}Q_j^{b-2}\cdot\lambda_{ij}^{b}\cdot L_{ij}\cdot\\
&R_j-\sum_{j=1}^{m}b_j\cdot ES_j\cdot\frac{R_j}{Q_j^2}\cdot V\cdot B_j-\qquad(7)\\
&\sum_{j=1}^{m}(1-b_j)ES_j\cdot\frac{R_j}{Q_j^2}\cdot V=0
\end{aligned}
$$

通过数值计算求得的 Q_j 就是使总成本最小的最优订货量①.

几点说明:

提前期 L_j 等于订货处理时间 γ_j 与运输时间 T_j 之和, 假设订货处理时间是固定不变的, 则提前期的方差应等于运输时间的方差, 即 $\mu_{Lj} = \gamma_j + \mu_{ij}$, $\sigma_{Lj}^2 = \sigma_{tj}^2$.

提前期需求的不确定性包括日需求量的不确定性和提前期的不确定性, 假设日需求与提前期相互独立, 无交叉订货, 则提前期需求的均值和方差分别为

$$\mu_{cj} = \mu_{Lj}\mu_{dj}$$

$$\sigma_{cj}^2 = \sigma_{dj}^2\cdot\sigma_{Lj}^2+\mu_{Lj}^2\cdot\sigma_{dj}^2+\mu_{dj}^2\cdot\sigma_{Lj}^2$$

再订货点由提前期需求和安全库存的和来表示: $S_j = \mu_{Lj} + SS_j$. 安全库存的计算过程是, 首先根据目标缺货概率 α_j 查标准的概率分布表, 找到相应的安全库存因子 k_j, 然后乘以提前期需求方差 σ_{cj}, 即 $SS_j = k_j\sigma_{cj}$.

预期的服务水平为 $ESL_j = b\left(1-\frac{G(k_j)\sigma_{cj}}{Q_j}\right)+(1-b)\left(1-\frac{G(k_j)\sigma_{cj}}{Q+G(k_j)\sigma_{cj}}\right)$, 函数 $G(k) = \int^{\infty}(t-k)\varphi(t)\mathrm{d}t$, $\varphi(t)$ 是标准正态分布密度函数 式中 $ES_j(k) = G(k_j)\cdot\sigma_{cj}$ 为预期缺货量

3 仿真分析

以两个制造商和两个分销商组成的分销系统为例, 表 1 中列出了模型中用到的参数值(假定分销商 D_1 的目标缺货风险为 $\alpha_1 = 2.3\%$, 分销商 D_2 的目标缺货风险为 $\alpha_2 = 2.5\%$). 在此设定条件下大部分单一产品都是从 20～ 200km 外用卡车运来的, 其中运价费率的参数值是由第三方物流中心的运价确定的

仿真模型中的主要参数值见下表 1

表 1 模型中的主要参数值

参数	参数值	参数	参数值
R_1	360	W_1	60%
R_2	480	W_2	65%
w	70	Y_1	15%
V	8 500	Y_2	15%
a	132.917	K_{m1}	25
b	-0.642 8	K_{m2}	25
d	10%	K_{d1}	15
γ_j	3	K_{d2}	15
μ_{t1}/σ_{t1}	1/0.52	B_1	10%
μ_{t2}/σ_{t2}	1/0.68	B_2	10%
μ_{d1}/σ_{d1}	1/1.64	b_j	90%
μ_{d2}/σ_{d2}	1.33/1.85	μ_{L1}/σ_{L1}	4/10.52
μ_{c1}/σ_{c1}	4/6.635 6	μ_{L2}/σ_{L2}	4/0.68
μ_{c2}/σ_{c2}	5.22/7.560 5		

3.1 关于运价参数 b 的敏感性分析

关于运价参数 b 的敏感性分析可参考下图(运价参数 b 一般取负值):

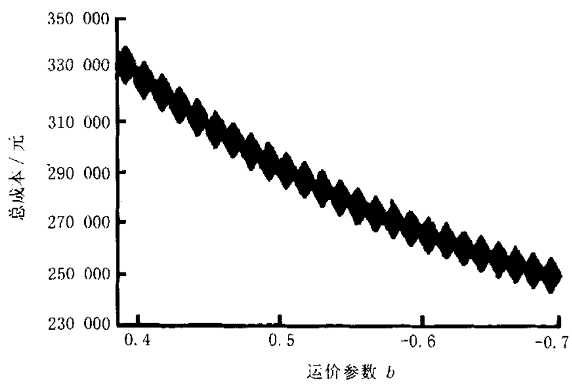

图 2 运价参数 b 的敏感性分析图

① 如果服务水平达到或超过了目标值, 那么所求得的 Q_j 即为最优订货量; 如果未达到目标服务水平, 则令 $Q_j = Q_j + 1$, 直至满足目标服务水平的约束为止

仿真结果说明, 随着 b 的降低, 总成本下降, 而且下降的幅度较大 这是因为 b 的下降导致单位产品运价下降, 于是运费降低(参考图 3), 运输频率增加 订货量减少, 库存量下降, 其必然结果就是库存持有成本减少. 因为库存持有成本占总成本的比例较大, 所以总成本下降的幅度较大①.

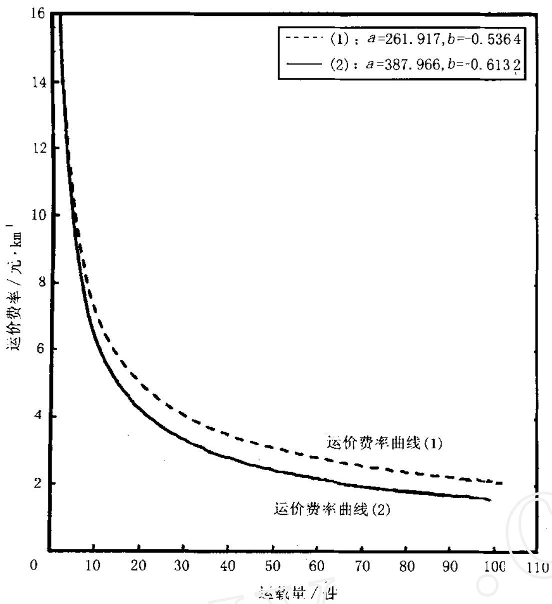

图 3　单位里程运价费率图

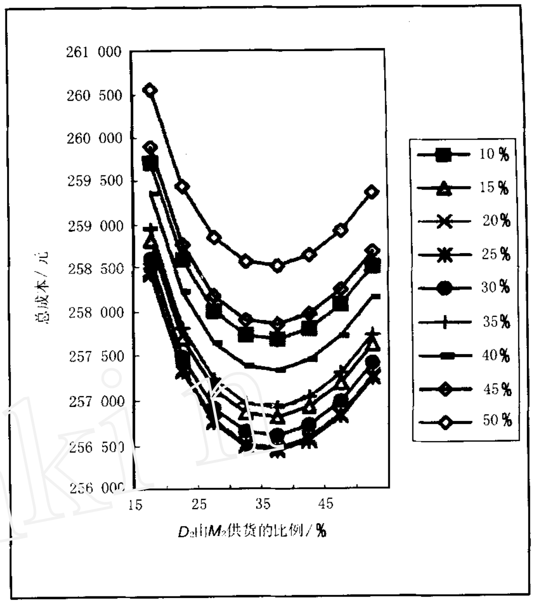

图 4　订货比例的敏感性分析图

3.2　关于订货比例的敏感性分析

随着分销商向制造商订货比例的变化, 分销网络的总成本会发生很大的变化 订货比例不是越大越好, 也不是越小越好, 而是居中的某个值 分销商、制造商之间地理位置的不同会影响到分销网络的总成本 具体仿真结果可以参考图 4 中各条曲线

4　结论

本文研究了在需求不确定条件下, 由多个制造商和多个分销商组成的分销系统的成本优化问题 首先, 给出了较为全面合理的成本模型, 用数值方法求解使供应链分销系统的总成本最小这一带约束的优化问题, 得到满足目标服务水平要求的最优订货量, 最后的仿真分析说明了该模型的应用效果及模型对环境的适应性

未来研究方向包括:

(1) 考虑总成本时加入制造商的库存持有成本和缺货成本;

(2) 考虑制造商和分销商之间存在仓库的情况;

(3) 在分销商的库存策略为周期检查策略的情景下优化分销网络成本

参 考 文 献:

[1]　Chopra S, Meindl P. Supply chain management strategy, planning, and operation [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001

① 上述仿真方法是在表 1 设定的外部环境下得到的仿真结果; 如果外部环境发生变化, 可能得到有一定差异的仿真结果

[2] Daganzo C F. Logistics Systems Analysis[M]. second revised and enlarged edition, New York: Springer, 1996
[3] Daganzo C F. Logistics systems analysis[M]. third edition. New York: Springer, 1999
[4] Tayur S, Magazine M, Ganeshan R. Quantitative Models for Supply Chain Management [M]. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1998
[5] Chase R B, Aquilano N J, Jacobs R. Production and operations management: Manufacturing and services [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998
[6] Larsen E R, Morecroft J D W, Thomsen J S. Complex behavior in a production-distribution model [J]. European Journal of Operational Research, 1999, 119: 61- 74
[7] Weng Z K, Wong R T. General models for the supplier's all-unit quantity discount policy [J]. Naval Research Logistics, 1993, 40: 971- 991
[8] Ganeshan R. Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model [J]. Int. J. Production Economics, 1999, 59: 341- 354
[9] Diks E B, Kok A G. Multi-echelon systems: A service measure perspective [J]. European Journal of Operational Research, 1996, 95: 241- 264
[10] Tyworth J E, Zeng A Z. Estimating the effects of carrier transit-time performance on logistics cost and service [J]. Transpn. Res A., 1998, 32: 89- 97
[11] Bylka S. A dynamic model for the single-vendor, multi-buyer problem [J]. Int. J. Production Economics, 1999, 59: 297- 304
[12] Barnes-Schuster D, Bassok Y. Direct shipping and the dynamic single-depot/multi-retailer inventory system [J]. European Journal of Operational Research, 1997, 101: 509- 518
[13] Gullu R. A two-echelon allocation model and the value of information under correlated forecasts and demands [J]. European Journal of Operational Research, 1997, 99: 386- 400
[14] Axsater S, Zhang W. A joint replenishment policy for multi-echelon inventory control [J]. Int. J. Production Economics, 1999, 59: 243- 250
[15] 赵晓煜, 汪定伟. 供应链中二级分销网络的设计模型. 管理科学学报, 2001, 4(4): 22- 26

Optimization and simulation of distribute systems in a supply chain

WANG Ying-jun, GAO Jun-jun
School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110004, China

Abstract: In this paper, a multi-manufacturer-multi-distributor system is studied. By synthesizing inventory cost, ordering cost, transit cost as well as shortage cost, a comprehensive cost model of distribute systems is established under the restriction of service level, on which the distributor satisfies the market. Hence, the cost minimization problem is solved, and the optimal ordering quantities are calculated for the aforementioned scenarios. Furthermore, simulation results of the cost model on the pricing parameter and the ordering rate parameter are proposed. In detail, the total cost will decrease relatively fast when the pricing parameter, *b*, decreases. The geographic characteristic of the distribute system will influence the optimal ordering rate between the suppliers. The optimal ordering rate is a medium number, rather than the biggest or the smallest.

Key words: supply chain; distribute systems; demand uncertainty; cost minimization model; simulation