

随机需求环境下网状供应链运作中 多级库存控制问题研究

陈 倩

(西南交通大学 经济管理学院,四川 成都 610031)

[摘 要]针对供应链库存控制问题研究的重要性和不足,从供应链运作的实际环境出发,假设客户需求和订货前置时间随机变化,并在此条件下研究了网状供应链运作中多级库存控制问题。在给出了网状供应链结构的基础上,重点研究了网状供应链多级库存控制中的费用函数关系,从订货费用、仓储费用和运输费用三个方面研究了供应链节点企业的库存总费用,并将多级库存控制问题转化为为节点企业寻找和求解最优订货临界点和最优订货批量的问题,基于此构建了供应链多级库存控制模型并对该模型有效性的检验提出了相应的方法。

[关键词]随机需求环境;网状供应链;多级库存;库存控制

[中图分类号]F253;F274

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X(2017)06-0153-04

Study on Multi-echelon Inventory Control in Netted Supply Chain in Stochastic Demand Environment

Chen Qian

(School of Economics & Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In this paper, in view of the importance and jarring shortfall of the study on supply chain inventory control, starting from the practical environment of supply chain operation and assuming that customer demand and ordering lead time would change stochastically with time, we studied the multi-echelon inventory control problem in the operation of the netted supply chain, then by presenting the structure of the netted supply chain, focused on the cost function relationship in the multi-echelon inventory control of the netted supply chain and the total inventory cost of the supply chain nodal enterprises from the aspects of ordering cost, warehousing cost and transportation cost, and at the end, converted the multi-echelon inventory control problem into the optimal critical ordering point problem and the optimal ordering quantity problem of the nodal enterprises, on which basis, we built the supply chain multi-echelon inventory control model and verified its effectiveness.

Keywords: stochastic demand environment; netted supply chain; multi-echelon inventory; inventory control

1 引言

以计算机通信技术为支撑的电子商务环境和经济全球化的快速发展,使得供应链管理成为了企业有效应对和参与全球竞争的一种有效模式,因此供应链成本在企业生产经营总成本中的比重不断增加。在供应链成本的组成结构中,库存成本又占有十分突出的地位,一般要占到供应链成本的三分之一,供应链中的库存可以产成品、在制品、原材料等多种形式或几种形式的组合

而存在于供应链的各个节点环节中,库存管理对于整合供应链系统的成本和客户服务水平有着重要影响。

供应链中存在的复杂交易行为和利益关系,使得要为多级库存系统寻找最优库存策略变得十分困难,大多数关于多级库存的研究都对其关系进行了简化假设,使得其研究结果缺乏实用性。为此本文以网状供应链结构和随机需求环境为基础,分析了该供应链中各个节点之间所发生的订货费用、仓储费用和运输费用,并以需求随机变化为条件,研究了既定客户服务水平下供应链

[收稿日期]2017-04-10

[作者简介]陈倩(1991-),女,四川雅安人,西南交通大学经济管理学院硕士研究生,研究方向:公司治理。

最优订货批量和订货时机的确定方法,以降低供应链的库存成本、提高供应链的协调柔性和竞争力。

2 网状供应链的结构

根据供应链的不同发展阶段,可以分为生产型供应链、分配型供应链和代理型供应链,每种阶段的供应链可以由多个不同的节点企业组成,但不管哪种类型的供应链,都可以实现将上游产品向下游客户的输送功能。典型的网状供应链的结构如图1所示。图1中从上游供应商至中间生产制造企业再至下游分销商、零售商和客户之间的物流流向用箭头表示,第 m ($m=1,2,\dots,n$)层供应商可以为第 $m+1$ 层的多个供应商供应原材料,而属于同一层次的供应商之间不发生供应关系,即不存在物流流向,另外物流流向始终从供应商上游流向下游,不存在逆向的物流流动关系。

在如图1所示的网状供应链结构中,需求随机变化环境下的多级库存控制问题实质上就是为每个供应链节点寻找最优的订货临界点和最优的订货批量,并且满足整个供应链系统的库存费用最小。

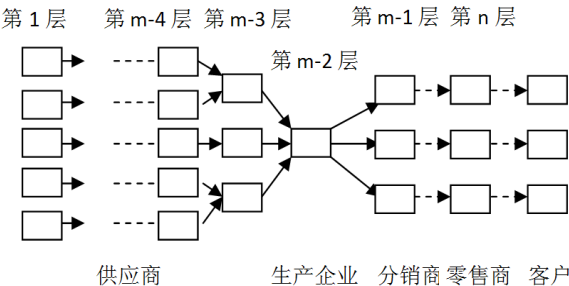


图1 一个典型的网状供应链结构

3 随机需求环境下网状供应链运作中多级库存控制模型的构建

3.1 模型假设

根据网状供应链的结构和相关问题的分析,为了模型构建中的便利,本文做如下几个假设:(1)网状供应链中有且只有一个种类的核心产品,并且其价格 P_e 为恒定值;(2)供应链中每个节点之间的需求量随机动态变化,但变化规律服从Poisson分布;(3)当供应链中低层节点的库存量达到某个临界值时,会向其相邻的上游节点发出订货请求;(4)供应链中单位数量的原材料或物资在单位时间内的仓储费用不变,但处于不同位置的节

点企业其存储费用可以不同,但都为一个已知定值。

3.2 多级库存费用函数关系的确定

图2给出了网状供应链结构中各节点之间的物流流向关系, h 是一个处于第 $m-2$ 层的供应商,图中箭头表示供应链节点之间的物流流向。

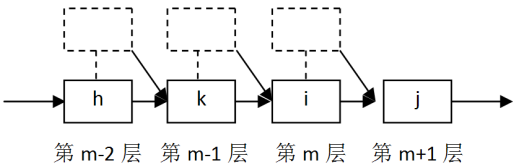


图2 网状供应链结构中各节点之间的物流流向关系

供应链中供应商 i 的订货前置时间由下面三个要素决定:(1)原材料物资从第 $m-1$ 层供应商 k 处周转到第 m 层供应商 i 处所需要的时间;(2)如果第 $m-1$ 层的供应商 k 的仓库出现缺货状态,则第 m 层供应商 i 就需要花费时间等待,这个时间段也是前置时间的一部分;(3)订单生产时间。供应链运作的实践数据表明,由于仓库缺货而产生的等待时间在前置时间中所占的比例很小,订单的生产时间受生产能力的约束通常为一定值,所以原材料物资周转时间的分布函数也就是供应链前置时间的分布函数,两者可以近似地视为等同关系。令 $Q_m^{(k,i)}$ 为第 m 层的供应商 i 向第 $m-1$ 层供应商 k 的订货批量, $\beta_m^{(k,i)}$ 为第 $m-1$ 层供应商 k 履行第 m 层的供应商 i 订单的执行率, $E_m^{(k,i)}$ 为第 $m-1$ 层供应商 k 和第 m 层的供应商 i 之间的缺货期望值,因此在单个供应链订货周期之内出现仓库缺货的目标值可以表示为 $(1-\beta_m^{(k,i)})Q_m^{(k,i)}$ 。

考虑到供应链要满足一定的客户服务水平,那么管理者就要确保仓库缺货的目标值大于等于缺货期望值,也就是关系式 $(1-\beta_m^{(k,i)})Q_m^{(k,i)} \geq E_m^{(k,i)}$ 成立。

令 $S_m^{(k,i)}$ 为第 m 层的供应商 i 每天对第 $m-1$ 层供应商 k 原材料物资的需求数量,其服从泊松分布 $P(\gamma)$ 且均值为 $\mu S_m^{(k,i)}$; $Z_m^{(k,i)}$ 为第 m 层的供应商 i 向第 $m-1$ 层供应商 k 进行订货的前置时间; L_m^i 为第 m 层的供应商 i 的临界库存数量,即订货临界点; $E_t(L_m^i)$ 为 t 周期内的缺货期望值,另外假设订货前置时间具有 $P(Z_m^{(k,i)}=t_m)=P_{t_m}$ 的分布函数,于是在关系式 $Z_m^{(k,i)}=t_m$ ($t_m=1,2,\dots,u$)成立的条件下,需求量 $S_m^{(k,i)}$ 的Poisson分布函数为 $P(\gamma_m t_m)$,于是 t 周期内的缺货期望值为:

$$E_{t_m}(L_m^i) = \sum_{i=L_m^i}^{\infty} \frac{(i-L_m^i)e^{-\gamma_m t_m} (\gamma_m t_m)^i}{(i!)}$$

$$E_m^{(k,i)} = \sum_{t_m} E_{t_m}(L_m^i) P_{t_m}$$

接下来分析供应链系统中库存环节的各项费用:

(1) 供应商 i 的订货费用。令 $Fe_m^{(k,i)}$ 为第 m 层供应商 i 单次向第 $m-1$ 层供应商 k 进行订货时发生的订货费用, $Y_m^{(k,i)}$ 为第 m 层供应商 i 对第 $m-1$ 层供应商 k 物资原材料的年需求数量, 则 $Y_m^{(k,i)} = 365\mu S_m^{(k,i)}$, 那么第 m 层供应商 i 一年的订货费用 Fy_m^i 为:

$$Fy_m^i = \frac{\sum_{k=1}^{u_{m-1}} Fe_m^{(k,i)} Y_m^{(k,i)}}{Q_m^{(k,i)}}$$

式中 u_{m-1} 为第 $m-1$ 层的供应商数量。

(2) 供应商 i 的仓储费用。令 $\mu Z_m^{(k,i)}$ 为第 m 层供应商 i 向第 $m-1$ 层供应商 k 订货的前置时间平均值; 在前置时间 $Z_m^{(k,i)}$ 内, 第 m 层供应商 i 对第 $m-1$ 层供应商 k 的原材料物资的需求数量为 X_m^i , 其均值为 μX_m^i ; 第 m 层供应商 i 每年存储来自第 $m-1$ 层供应商 k 的单位原材料物资费用为 $Fec_m^{(k,i)}$; 那么第 m 层供应商 i 在订货前置期间内对第 $m-1$ 层供应商 k 的原材料物资的平均需求数量为 $\mu Z_m^{(k,i)} \mu S_m^{(k,i)}$, 可以进行周转的库存数量为 $Q_m^{(k,i)}/2$, 安全库存数量为 $L_m^i - \mu X_m^i$, 另外考虑存储费用的资金成本也就是年利息 lx_m^i , 那么第 m 层供应商 i 每年的仓储费用 CH_m^i 为:

$$CH_m^i = lx_m^i + \sum_{k=1}^{u_{m-1}} (\mu Z_m^{(k,i)} \mu S_m^{(k,i)} + Q_m^{(k,i)}/2 + L_m^i - \mu X_m^i) Fec_m^{(k,i)}$$

式中 u_{m-1} 表示网状供应链中第 $m-1$ 层的供应商节点数量。

(3) 供应商 i 的运输费用。令 $LC_m^{(k,i)}$ 为第 $m-1$ 层供应商 k 向第 m 层供应商 i 运输货物时需要行走的总路程长度, 它是订货批量 $Q_m^{(k,i)}$ 和运输效率的函数, $YFe_m^{(k,i)}$ 为第 $m-1$ 层供应商 k 和第 m 层供应商 i 之间单位货物单位路程的运输费用, 那么在一年中第 m 层供应商 i 从第 $m-1$ 层供应商 k 处接受货物所发生的总运输费用 ZYF_m^i 为:

$$ZYF_m^i = \sum_{k=1}^{u_{m-1}} LC_m^{(k,i)} Y_m^{(k,i)} YFe_m^{(k,i)}$$

式中 u_{m-1} 表示网状供应链中第 $m-1$ 层的供应商节

点数量。

3.3 多级库存控制模型

供应链中第 m 层供应商 i 的总库存费用为其订货费用、仓储费用和运输费用的总和, 因此, 随机需求环境下整个供应链的库存成本等于所有节点企业的库存成本之和, 因此该问题就转化成了为供应链中的每个节点企业寻找最优的订货临界点和最优的订货批量, 这样才能保证整个供应链的库存成本最小。设整个网状供应链系统每年的库存成本期望值为 A , 那么就有:

$$\min A = \sum_{m=2}^n \sum_{i=1}^{u_m} (Fy_m^i + CH_m^i + ZYF_m^i)$$

s.t.

$$E_{m-1}^{(h,k)} \leq (1 - \beta_{m-1}^{(h,k)}) Q_{m-1}^{(h,k)}$$

$$E_m^{(k,i)} \leq (1 - \beta_m^{(k,i)}) Q_m^{(k,i)}$$

$$E_{m+1}^{(i,i)} \leq (1 - \beta_{m+1}^{(i,i)}) Q_{m+1}^{(i,i)}$$

式中 u_m 表示供应链中第 m 层的供应商数量, n 为供应链中供应商的总层数。

值得注意的是, 该模型同样适用于研究供应链中分销商与零售商、生产企业与分销商之间的最优订货临界点和最优订货批量。

4 多级库存控制模型的检验

对本文所构建的多级库存控制模型输入相应的参数值 (诸如订货前置时间分布、市场客户需求、订货费用、仓储费用、运输费用、订单执行效率等), 就可以得到供应链中各节点企业的最优订货临界点和最优订货批量, 将求得的值代入关系式 $E_m^{(k,i)} = \sum_{t_m} E_{t_m}(L_m^i) P_{t_m}$ 即可求得缺货率的期望值。为了检验模型的有效性和正确性, 本文引入下面两个评价指标:

一是误差率, 用 ER 表示, 令其为:

$$ER = \frac{\mu E_m^{(k,i)} - \eta_m^{(k,i)}}{\mu E_m^{(k,i)}} \times 100\%$$

式中 $\mu E_m^{(k,i)}$ 为平均期望缺货率, $\eta_m^{(k,i)}$ 为理论上的缺货率。

二是偏差率, 用符号 ξ 表示, 令其为:

$$\xi = \frac{\mu E_m^{(k,i)} - \eta_m^{(k,i)}}{\sigma E_m^{(k,i)}} \times 100\%$$

式中 $\mu E_m^{(k,i)}$ 为平均期望缺货率, $\eta_m^{(k,i)}$ 为理论上的缺

货率, $\sigma E_m^{(k,i)}$ 为期望缺货率的标准差。本文以如图3所示的供应链三级库存模型为例检验所构建的多级库存控制模型的正确性和有效性。

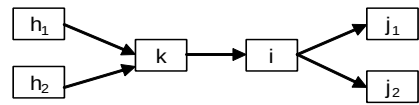


图3 供应链三级库存模型

假设供应链中供应商 j_1 和 j_2 的物资原材料每天需求数量分别满足以下两种分布: $\beta(20)$ 、 $\beta(10)$, 这两种分布分别记为 A_1 、 A_2 , j_1 和 j_2 的订货前置时间 (t) 也服从两种分布, 即方差均值均为2的伽马分布, 记为 A_1' , 方差为1均值2的伽马分布, 记为 A_2' , 同时假设供应链中所有节点企业的订单执行率为97%, 对多级库存控制模型进行检验, 模型检验输入数据见表1。表1中的每一列数据代表依次检验输入, 根据每一列的数据结合多级库存控制模型和误差率、偏差率计算公式都可以算出误差率和偏差率。计算结果显示误差率和偏差率的均值都小于5%, 见表2, 说明本文所构建的多级库存模型具有一定的实际应用价值。

5 结语

目前关于供应链库存控制问题的研究多集中在两级库存控制问题上, 并且它们大多都假设了订货前置时间和客户需求函数具有连续分布或某种良好分布的特性, 这对于实际供应链运作中复杂的情形和随机不确定环境下的问题解决是不利的。为此本文将供应链库存控制问题从二级提升到了多级库存控制问题, 并将问题置于随机需求环境中, 同时订货前置时间也随机变化,

表1 模型检验输入数据样表

检验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
j_1 的需求分布	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1
j_2 的需求分布	A_1	A_1	A_1	A_2	A_2	A_2	A_2	A_1	A_1	A_1	A_2	A_1
j_1 的订货前置时间分布	A_1'	A_1'	A_2'	A_1'	A_1'	A_2'	A_2'	A_2'	A_1'	A_1'	A_2'	A_1'
j_2 的订货前置时间分布	A_1'	A_2'	A_1'	A_1'	A_1'	A_2'	A_2'	A_2'	A_1'	A_2'	A_1'	A_1'
其他订货前置时间	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'	A_1'
订单执行率	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97

表2 误差率和偏差率均值

检验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
误差率 ER 均值	0.041	0.038	0.021	0.019	0.027	0.029	0.045	0.047	0.031	0.039	0.044	0.037
偏差率 ξ 均值	0.027	0.024	0.016	0.013	0.025	0.027	0.041	0.045	0.028	0.034	0.036	0.033

在此基础上研究了多级库存控制问题并构建了相应的模型, 将订货费用、仓储费用和运输费用作为总库存费用进行考虑, 最后对该模型的有效性和适用性进行了检验, 可以对供应链库存多级控制决策提供一定的帮助。

[参考文献]

[1]李艳冰,高德华.面向供应链的多级库存控制模型改进研究[J]. 经济师,2006,(7).

[2]金海和,郭仁拥.供应链多级库存随机模型及其优化研究[J]. 计算机集成制造系统,2007,(2).

[3]卫忠,徐晓飞,战德臣,邓胜春.协同供应链多级库存控制的多目标优化模型及其求解方法[J]. 自动化学报,2007,(2).

[4]戢守峰,李佳,李峰,等.周期性需求下多级库存缺货控制模型研究[J]. 东北大学学报(自然科学版),2007,(6).

[5]周曙光,田征.多级库存控制策略的分析[J]. 大连海事大学学报,2003,(1).

[6]高丽芳,杜秀华.一种考虑相关需求的多级库存控制优化模型[J]. 计算机仿真,2005,(8).