

过度自信视角下基于协调规划法的联合库存成本分摊

陈 燕, 陈胜利, 戴雪婷, 袁 婷

摘 要: 库存成本控制是当代供应链管理的重要过程。考察供应链中各参与者的过度自信行为, 研究制造商—批发商—零售商三级库存控制模型, 分析制造商、批发商和零售商可能组成的联盟形式, 并求解出各种联盟形式下的最优订货量和最优成本, 给出了基于协调规划法的成本分摊模型。借助 Matlab 软件进行数值仿真分析, 发现利用协调规划法进行成本分摊是一种既能满足个体合理性和集体合理性, 又能体现更强公平性的良好成本分摊方法。

关键词: 过度自信; 联合库存; 协调规划法; 成本分摊

中图分类号: F275.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-0169(2016)01-0162-08

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2016.01.016

一、引 言

在当代供应链管理过程中, 库存控制是其中重要的一个环节, 为了减少存货积压或是供不应求等情况造成的损失, 管理人员应该设计适当的订货量以使成本最小化。研究表明, 联合库存可以有效降低企业库存成本, 随之而来的问题是如何合理地分摊联合库存成本。近年来, 不少学者已在此方面做了相关的研究^{[1][2][3]}。

但多数研究均是基于参与人完全理性的假设, 而在实际的供应链订货活动中, 参与人往往是有限理性的。一般情况下, 供应链中的各个参与者并不能准确的估计需求量, 他们只能依据历史数据和自身的经验做出决策。当某一企业发展到了成熟期时, 已经积累了不少的经验, 相关决策人员也已具备较强的数据分析能力, 此时该企业的决策者通常会过度相信自己判断的正确性, 认为自己对市场需求的估计是精准的, 他们所认为的市场需求随机波动的方差比实际值小, 我们称这样的企业决策者具有过度自信倾向。

目前, 已有不少学者将过度自信行为应用在了报童模型中。Ren 等^[4]通过实验构建了过度自信的报童模型。赵道致等^[5]在传统 VMI 模型中引入供应商过度自信系数探讨其影响作用, 并设计了数量折扣契约进行协调。周永务等^[6]采用回购契约对需求期望与方差都存在偏差的过度自信模型进行协调。谢勇等^[7]通过算例证明: 过度自信程度越大, 其导致的利润损失越严重。石岿然等^[8]研究了零售商过度自信的两级供应链模型, 并引入收益共享契约使得供应商利润有所增加。禹海波等^[9]通过引入一个均值增加、方差缩小的变换刻画决策者的过度自信水平。肖迪等^[10]探讨了不同决策模式下基于过度自信视角的库存策略。

作者简介: 陈燕, 中国地质大学 (武汉) 资源学院博士研究生 (湖北 武汉 430074); 陈胜利, 西安财经学院管理学院副教授 (陕西 西安 710100)

然而, 上述基于参与者过度自信的研究多是构建的供应商—零售商两级供应链模型, 而对于三级供应链库存控制及其联合库存问题却鲜有研究。本文构建基于参与者过度自信的制造商—批发商—零售商三级供应链库存控制模型, 并计算独立决策以及不同联盟形式下决策的最优订货量和联合库存成本。此外, 在以往对联合库存成本分摊的研究中, 多数学者采用契约的方法进行分摊。而实际上, 契约的方法并不能满足个体合理性和联盟合理性的要求, 且缺乏对公平原则的适应性。本文采用较为新颖的协调规划法对联合库存成本进行分摊。协调规划法作为一种基于合作博弈理论知识的分摊方法, 不仅能够满足联盟合理性的要求, 对公平原则具有较强的适应性, 还具有明确的经济意义、符合单调性等诸多优点。由于其计算过程的复杂性, 本文借助 Matlab 软件对其进行数值仿真分析。

二、模型假设

考察由单一制造商、批发商和零售商构成的三级供应链库存控制模型。制造商、批发商和零售商均已发展成熟, 其各自的决策者具有足够的自信, 均认为自己能够准确估计市场需求量, 称制造商、批发商和零售商均为过度自信者。具体假设如下:

假设 1: 在独立决策模型中, 所有企业的决策信息均为私有信息。当企业结成联盟后, 各种信息是所有联盟成员的共同知识。

假设 2: 市场需求量 $X(a \leq X \leq b)$ 为随机变量, 且服从均匀分布 $X \sim U(a, b)$, 其分布函数和概率密度函数分别为: $F_0(X) = \frac{X-a}{b-a}$, $f_0(X) = \frac{1}{b-a}$ 。容易计算得知 X 的期望和方差分别为: $E(X) = \frac{a+b}{2}$, $D(X) = \frac{(b-a)^2}{12}$ 。

假设 3: 零售商由于过度自信, 对市场的需求量估计存在偏差, 假定其对市场需求的估计量为: $X_\lambda = \lambda_r X + (1-\lambda_r)E(X)$, $0 \leq \lambda_r \leq 1$, λ_r 为零售商的过度自信水平; 当 $\lambda_r = 1$ 时, 零售商无过度自信行为, 其估计的需求量等于实际需求; $\lambda_r = 0$ 时, 零售商过度自信, 认为需求量是一个确定值 $E(X)$ 。随着 λ_r 的增大, 过度自信水平逐渐降低。通过简单计算可知 $X_\lambda \sim U(a_\lambda, b_\lambda)$, 其中 $a_\lambda = (a + b + \lambda_r a - \lambda_r b)/2$, $b_\lambda = (a + b + \lambda_r b - \lambda_r a)/2$; 其分布函数和概率密度函数分别为: $F_1(X_\lambda) = \frac{X_\lambda - a_\lambda}{b_\lambda - a_\lambda}$, $f_1(X_\lambda) = \frac{1}{b_\lambda - a_\lambda}$ 。

假设 4: 零售商在估计市场需求 X_λ 后制定自己的订购计划 Q_r , 然后以价格 p_w 从批发商处订购产品; 随后再以价格 p_r 向市场消费者销售产品。若供过于求, 则会产生库存, 单位库存成本为 c_r 。

假设 5: 批发商根据以往的订单情况制定自身的订购计划 Q_w , 然后以价格 p_m 从制造商处订购产品, 其单位库存成本为 c_w 。在独立决策模型中, 批发商实际面临的零售商订购量 Q_r 为随机变量, 假定 $Q_r \sim U(a_r, b_r)$; 但由于批发商过度自信, 其估计会产生偏差, 同假设 2 类似, 可将批发商估计的需求量设为 $Q_r^\lambda = \lambda_w Q_r + (1-\lambda_w)E(Q_r)$, λ_w 为批发商的过度自信水平, Q_r^λ 的分布函数和概率密度函数分别为 $F_2(Q_r^\lambda)$ 和 $f_2(Q_r^\lambda)$ 。

假设 6: 制造商生产产品的边际成本为 w_m , 根据以往的订单情况制定生产计划 q_m , 其单位库存成本为 c_m 。在独立决策模型中, 制造商实际面临的订购量 Q_w 为随机变量, 假定 $Q_w \sim U(a_w, b_w)$; 但由于制造商过度自信, 其估计会产生偏差, 同假设 2 类似, 可将制造商估计的需求量设为 $Q_w^\lambda = \lambda_m Q_w + (1-\lambda_m)E(Q_w)$, λ_m 为制造商的过度自信水平, Q_w^λ 的分布函数和概率密度函数分别为 $F_3(Q_w^\lambda)$ 和 $f_3(Q_w^\lambda)$ 。

有关价格、需求量、期望等变量的下标 1、2、3、4 分别表示 $\{M, W, R\}$ 、 $\{(M, W), R\}$ 、 $\{M, (W, R)\}$ 、 $\{(M, W, R)\}$ 模式下的结果。

三、模型求解

(一) $\{M, W, R\}$ 决策模型

此种模式下, 制造商、批发商和零售商均不合作, 各企业的决策信息均为私有信息, 即制造商不知道批发商的订购计划, 而批发商也不知道零售商的订购计划, 所有企业只能根据以往的经验确定自身的生产或采购计划。

零售商首先根据以往的市场需求情况对市场需求做出一个估计量 X_λ , 然后确定其自身的订购计划 Q_r 。依据第 2 节中的假设可得零售商的利润期望值和成本期望值:

$$E_1[\Pi_R(Q_r)] = p_r \cdot \min[Q_r, X_\lambda] - c_r \int_0^{Q_r} (Q_r - X_\lambda) f_1(X_\lambda) dX_\lambda - p_w Q_r = p_r \int_0^{Q_r} X_\lambda f_1(X_\lambda) dX_\lambda + p_r \int_{Q_r}^{\infty} Q_r f_1(X_\lambda) dX_\lambda - c_r \int_0^{Q_r} (Q_r - X_\lambda) f_1(X_\lambda) dX_\lambda - p_w Q_r \quad (1)$$

$$E_1[C_R(Q_r)] = p_r \int_{Q_r}^{\infty} (X_\lambda - Q_r) f_1(X_\lambda) dX_\lambda + c_r \int_0^{Q_r} (Q_r - X_\lambda) f_1(X_\lambda) dX_\lambda + p_w Q_r \quad (2)$$

公式 (2) 中的第一项可看作是零售商因供不应求而造成的机会成本损失, 第二项是零售商因供过于求而产生的库存成本, 第三项是零售商从批发商处订购产品的费用。

令 $\frac{dE_1[C_R(Q_r)]}{dQ_r} = c_r F_1(Q_r) - p_r [1 - F_1(Q_r)] + p_w = 0$, 计算得到零售商的最优订购量:

$$Q_{r1}^* = \frac{a_\lambda c_r + b_\lambda p_r + a_\lambda p_w - b_\lambda p_w}{c_r + p_r} \quad (3)$$

将其带入公式 (1) 和公式 (2) 中计算即可以得到零售商的最优利润期望值 $E_1[\Pi_R^*(Q_r)]$ 和最优成本期望值 $E_1[C_R^*(Q_r)]$ 。

批发商根据以往的零售商订购量做出一个估计量 $Q_r^{\lambda_r}$, 然后确定其自身的订购计划 Q_w 。依据第 2 节中的假设可得制造商的利润期望值和成本期望值:

$$E_1[\Pi_W(Q_w)] = p_w \cdot \min[Q_w, Q_r^{\lambda_r}] - c_w \int_0^{Q_w} (Q_w - Q_r^{\lambda_r}) f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} - p_m Q_w = p_w \int_0^{Q_w} Q_r^{\lambda_r} f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} + p_w \int_{Q_w}^{\infty} Q_w f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} - c_w \int_0^{Q_w} (Q_w - Q_r^{\lambda_r}) f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} - p_m Q_w \quad (4)$$

$$E_1[C_W(Q_w)] = p_w \int_{Q_w}^{\infty} (Q_r^{\lambda_r} - Q_w) f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} + c_w \int_0^{Q_w} (Q_w - Q_r^{\lambda_r}) f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} + p_m Q_w \quad (5)$$

令 $\frac{dE_1[C_W(Q_w)]}{dQ_w} = c_w F_2(Q_w) - p_w [1 - F_2(Q_w)] + p_m = 0$, 可计算得到批发商的最优订购量:

$$Q_{w1}^* = \frac{a_{\lambda_r} c_w + b_{\lambda_r} p_w + a_{\lambda_r} p_m - b_{\lambda_r} p_m}{c_w + p_w} \quad (6)$$

将其带入公式 (4) 和公式 (5) 中即可得到批发商的最优利润期望值 $E_1[\Pi_W^*(Q_w)]$ 和最优成本期望值 $E_1[C_W^*(Q_w)]$ 。

制造商根据以往的批发商订购量做出一个估计量 $Q_w^{\lambda_w}$, 然后确定其自身的订购计划 Q_m 。依据第 2 节中的假设可得批发商的利润期望值和成本期望值:

$$E_1[\Pi_M(q_m)] = p_m \cdot \min[q_m, Q_w^{\lambda_w}] - c_m \int_0^{q_m} (q_m - Q_w^{\lambda_w}) f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} - w_m q_m = p_m \int_0^{q_m} Q_w^{\lambda_w} f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w}$$

$$+ p_m \int_{q_m}^{\infty} q_m f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} - c_m \int_0^{q_m} (q_m - Q_w^{\lambda_w}) f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} - \omega_m q_m \quad (7)$$

$$E_1[C_M(q_m)] = p_m \int_{q_m}^{\infty} (Q_w^{\lambda_w} - q_m) f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} + c_m \int_0^{q_m} (q_m - Q_w^{\lambda_w}) f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} + \omega_m q_m \quad (8)$$

令 $\frac{dE_1[C_M(q_m)]}{dq_m} = c_m F_3(q_m) - p_m [1 - F_3(q_m)] + \omega_m = 0$, 可计算得到制造商的最优生产量:

$$q_{m1}^* = \frac{a_{\lambda_w} c_m + b_{\lambda_w} p_m + a_{\lambda_w} \omega - b_{\lambda_w} \omega_m}{c_m + p_m} \quad (9)$$

将其带入公式 (7) 和公式 (8) 中即可得到制造商的最优利润期望值 $E_1[\prod_M^*(q_m)]$ 和最优成本期望值 $E_1[C_M^*(q_m)]$ 。

(二) $\{(M, W), R\}$ 决策模型

此种模式下, 零售商独立决策, 确定自己的订购计划 Q_r 。制造商和批发商合作结成联盟, 制造商无库存, 所有可能产生的库存货物均由批发商负责, 即 $q_m = Q_w$; 制造商和批发商共同估计零售商可能的订购量 $Q_r^{\lambda_r}$, 并确定生产量 q_m ; 最后双方共同承担成本损失。依据假设可得如下所示的利润期望值和成本期望值:

$$E_2[\prod_R(Q_r)] = p_r \cdot \min[Q_r, X_{\lambda_r}] - c_r \int_0^{Q_r} (Q_r - X_{\lambda_r}) f_1(X_{\lambda_r}) dX_{\lambda_r} - p_w Q_r \quad (10)$$

$$E_2[C_R(Q_r)] = p_r \int_{Q_r}^{\infty} (X_{\lambda_r} - Q_r) f_1(X_{\lambda_r}) dX_{\lambda_r} + c_r \int_0^{Q_r} (Q_r - X_{\lambda_r}) f_1(X_{\lambda_r}) dX_{\lambda_r} + p_w Q_r \quad (11)$$

$$E_2[\prod_{M,W}(q_m)] = p_w \cdot \min[q_m, Q_r^{\lambda_r}] - c_w \int_0^{q_m} (q_m - Q_r^{\lambda_r}) f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} - \omega_m q_m \quad (12)$$

$$E_2[C_{M,W}(q_m)] = p_w \int_{q_m}^{\infty} (Q_r^{\lambda_r} - q_m) f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} + c_w \int_0^{q_m} (q_m - Q_r^{\lambda_r}) f_2(Q_r^{\lambda_r}) dQ_r^{\lambda_r} + \omega_m q_m \quad (13)$$

同第 3 节 (一) 中计算相类似可得最优生产量以及最优利润期望值和最优成本期望值:

$$Q_{r2}^* = \frac{a_{\lambda_r} c_r + b_{\lambda_r} p_r + a_{\lambda_r} p_w - b_{\lambda_r} p_w}{c_r + p_r} \quad (14)$$

$$q_{m2}^* = \frac{a_{\lambda_w} c_w + b_{\lambda_w} p_w + a_{\lambda_w} \omega_m - b_{\lambda_w} \omega_m}{c_w + p_w} \quad (15)$$

将其带入公式 (10) — (13) 中即可得到零售商的最优利润期望值 $E_2[\prod_R^*(Q_r)]$ 和最优成本期望值 $E_2[C_R^*(Q_r)]$, 以及联盟 (M, W) 的最优利润期望值 $E_2[\prod_{M,W}^*(q_m)]$ 和最优成本期望值 $E_2[C_{M,W}^*(q_m)]$ 。

(三) $\{M, (W, R)\}$ 决策模型

此种模式下, 制造商独立决策, 确定自己的生产计划 q_m 。批发商和零售商合作结成联盟, 批发商无库存, 所有可能产生的库存货物均由零售商负责, 即 $Q_w = Q_r$; 批发商和零售商共同确定订购量 Q_w ; 最后双方共同承担成本损失。依据假设可得如下所示的利润期望值和成本期望值:

$$E_3[\prod_{W,R}(Q_w)] = p_r \cdot \min[Q_w, X_{\lambda_r}] - c_r \int_0^{Q_w} (Q_w - X_{\lambda_r}) f_1(X_{\lambda_r}) dX_{\lambda_r} - p_m Q_w \quad (16)$$

$$E_3[C_{W,R}(Q_w)] = p_r \int_{Q_w}^{\infty} (X_{\lambda_r} - Q_w) f_1(X_{\lambda_r}) dX_{\lambda_r} + c_r \int_0^{Q_w} (Q_w - X_{\lambda_r}) f_1(X_{\lambda_r}) dX_{\lambda_r} + p_m Q_w \quad (17)$$

$$E_3[\prod_M(q_m)] = p_m \cdot \min[q_m, Q_w^{\lambda_w}] - c_m \int_0^{q_m} (q_m - Q_w^{\lambda_w}) f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} - \omega_m q_m \quad (18)$$

$$E_3[C_M(q_m)] = p_m \int_{q_m}^{\infty} (Q_w^{\lambda_w} - q_m) f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} + c_m \int_0^{q_m} (q_m - Q_w^{\lambda_w}) f_3(Q_w^{\lambda_w}) dQ_w^{\lambda_w} + \omega_m q_m \quad (19)$$

同第 3 节 (一) 中的计算相类似可得最优生产量以及最优利润期望值和最优成本期望值:

$$Q_{w3}^* = \frac{a_{\lambda} c_r + b_{\lambda} p_r + a_{\lambda} p_m - b_{\lambda} p_m}{c_r + p_r} \quad (20)$$

$$q_{m3}^* = \frac{a_{\lambda} c_m + b_{\lambda} p_m + a_{\lambda} w_w - b_{\lambda} w_m}{c_m + p_m} \quad (21)$$

将其带入公式 (16) — (19) 中即可得到联盟 (W,R) 的最优利润期望值 $E_3[\prod_{W,R}^*(Q_w)]$ 和最优成本期望值 $E_3[C_{W,R}^*(Q_w)]$, 以及制造商的最优利润期望值 $E_3[\prod_M^*(q_m)]$ 和最优成本期望值 $E_3[C_M^*(q_m)]$ 。

(四) $\{(M,W,R)\}$ 决策模型

此种模式下, 制造商、批发商和零售商合作结成联盟, 批发商可以知道零售商的订购计划, 而制造商也可以知道批发商的订购计划, 三者共同确定产量 q_m ; 从而制造商和批发商均无库存, 所有可能产生的库存货物均由零售商负责, 即 $q_m = Q_w = Q_r$; 最后由三者共同承担成本损失。依据假设可得大联盟的利润期望值和成本期望值分别为:

$$E_4[\prod_{M,W,R}(q_m)] = p_r \cdot \min[q_m, X_{\lambda}] - c_r \int_0^{q_m} (q_m - X_{\lambda}) f_1(X_{\lambda}) dX_{\lambda} - w_m q_m \quad (22)$$

$$E_4[C_{M,W,R}(q_m)] = p_r \int_{q_m}^{\infty} (X_{\lambda} - q_m) f_1(X_{\lambda}) dX_{\lambda} + c_r \int_0^{q_m} (q_m - X_{\lambda}) f_1(X_{\lambda}) dX_{\lambda} + w_m q_m \quad (23)$$

同第 3 节 (一) 中的计算相类似可得最优生产量以及最优利润期望值和最优成本期望值:

$$q_{m4}^* = \frac{a_{\lambda} c_r + b_{\lambda} p_r + a_{\lambda} w_m - b_{\lambda} w_m}{c_r + p_r} \quad (24)$$

将其带入公式 (22) 和公式 (23) 中即可得到联盟 (M,W,R) 的最优利润期望值 $E_4[\prod_{M,W,R}^*(q_m)]$ 和最优成本期望值 $E_4[C_{M,W,R}^*(q_m)]$ 。

四、基于协调规划法的库存成本分摊

在前一节描述的 $\{(M,W,R)\}$ 决策模型中, 制造商、批发商和零售商合作结成大联盟, 此时所有的成员都会尽最大努力使联盟获得的收益最大化或损失最小化。联盟行动所产生的成本需要由各成员共同承担, 且分摊结果需满足集体合理性的要求, 集体合理性是指各成员所分摊的成本之和应等于联盟所产生的总成本, 如下所示:

$$\sum_{i \in N} x(i) = C(N) \quad (25)$$

同时, 只有当 $\{(M,W,R)\}$ 模式的大联盟分给企业的成本小于企业通过 $\{M,W,R\}$ 模式的独自行动所承担的成本时, 企业才愿意结成联盟, 故分摊结果需要满足个体合理性的要求:

$$x(i) \leq C_i, \forall i \in N \quad (26)$$

协调规划法在同时满足集体合理性和个体合理性的要求下, 也满足联盟理性的要求, 即 $\{(M,W,R)\}$ 模式的大联盟分给企业的成本小于企业通过结成 $\{(M,W),R\}$ 或 $\{M,(W,R)\}$ 模式的小联盟时所承担的成本。此外, 协调规划法也是一种充分考虑公平原则的分摊方法, 故其基本形式如下所示:

$$\min \left\{ F = \sum_{j \in M} \sum_{i \in N} k_j | d_{ij} - r_{ij} |^p \right\}$$

$$s. t. \begin{cases} x(i) \leq C_i, & \forall i \in N \\ \sum_{i \in S} x(i) \leq C(S), & \forall S \subset N \\ \sum_{i \in N} x(i) = C(N), \\ x(i) \geq 0, & \forall i \in N \end{cases} \quad (27)$$

式中, i 为参与者序号; j 为所采用的公平原则序号; M 为各参与者经协商选定的公平原则的集合, $M = \{1, \dots, m\}$; d_{ij} 为根据公平原则 j 参与者 i 分摊成本的参数指标; r_{ij} 为根据原则 j 参与 i 者的参数指标的合理值; k_j 为公平原则 j 的权重; $1 \leq p \leq \infty$, 通常取 $p=1$ 。

本文采用企业费用效益比尽量接近总体费用效益比的公平原则, 对制造商、批发商和零售商结成 $\{(M, W, R)\}$ 模式的大联盟时的成本分摊方案进行研究。依据第三节中的计算结果和公式 (27) 可以得到如下所示的成本分摊模型。假定单个参与者的成本或利润期望值不受其他参与者是否联盟的影响, 故其中单个参与者的成本或利润期望值取自 $\{(M, W, R)\}$ 模式下的结果; 而制造商和批发商联盟的成本或利润期望值取自 $\{(M, W), R\}$ 下的结果。批发商与零售商联盟的成本或利润期望值取自 $\{M, (W, R)\}$ 下的结果; 制造商、批发商和零售商形成的大联盟的成本或利润期望值取自 $\{(M, W, R)\}$ 中的结果:

$$\begin{aligned} \min & \left[\frac{x_m}{E_1[\prod_M^*(Q_r)]} - r \right]^2 + \left[\frac{x_w}{E_1[\prod_W^*(Q_w)]} - r \right]^2 + \left[\frac{x_r}{E_1[\prod_R^*(q_m)]} - r \right]^2, \\ r &= \frac{E_4[C_{M,W,R}^*(q_m)]}{E_4[\prod_{M,W,R}^*(q_m)]} \\ s. t. & \begin{cases} x_m \leq E_1[C_M^*(q_m)] \\ x_w \leq E_1[C_W^*(Q_w)] \\ x_r \leq E_1[C_R^*(Q_r)] \\ x_m + x_w \leq E_2[C_{M,W}^*(q_m)] \\ x_w + x_r \leq E_3[C_{W,R}^*(Q_w)] \\ x_m + x_w + x_r = E_4[C_{M,W,R}^*(q_m)] \\ x_m, x_w, x_r \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (28)$$

五、数值分析

在上一节中给出了公式 (28) 所示的基于协调规划法的联合库存成本分摊模型, 由于该非线性规划问题计算的复杂性, 本文在此给出各参数的具体数值, 并借助 MATLAB 软件求解不同过度自信水平下的成本分摊方案, 分析基于协调规划法的成本分摊模型的优势以及过度自信水平对分摊结果的影响。假设制造商生产产品的单位成本 $w_m = 60$, 向批发商销售的单位价格 $p_m = 100$, 制造商库存成本 $c_m = 1$, 其所面临的需求分布 $Q_w \sim U(100, 200)$; 批发商向零售商销售产品的单位价格 $p_w = 160$, 库存成本 $c_w = 2$, 需求分布 $Q_r \sim U(100, 200)$; 零售商向消费者销售产品的单位价格 $p_r = 240$, 库存成本 $c_r = 3$, 需求分布 $X \sim U(100, 200)$ 。依据前两节中的相关公式, 借助 MATLAB 软件可求得如表 1、表 2 和表 3 所示的不同过度自信水平下的最优期望值和最优成本分摊方案。

表 1 不同过度自信水平下的最优期望值

$\lambda_m = \lambda_w = \lambda_r$	0. 1	0. 2	0. 3	0. 4	0. 5	0. 6	0. 7	0. 8	0. 9
$E_1[\prod_M^*(q_m)]$	105 486	47 549	28 282	18 682	12 950	9 150	6 456	4 452	2 909
$E_1[\prod_W^*(Q_w)]$	166 593	74 426	43 799	28 557	19 470	13 459	9 206	6 053	3 632
$E_1[\prod_R^*(Q_r)]$	246 973	10 8817	62 971	40 202	26 664	17 742	11 457	6 820	3 283
$E_1[C_M^*(q_m)]$	15 532	16 895	17 387	17 661	17 849	17 993	18 113	18 216	18 310
$E_1[C_W^*(Q_w)]$	25 607	27 974	28 801	29 243	29 530	29 741	29 908	30 047	30 168
$E_1[C_R^*(Q_r)]$	41 327	44 783	45 929	46 498	46 836	47 058	47 215	47 330	47 417
$E_2[C_{M,W}^*(q_m)]$	13 771	16 340	17 369	18 013	18 504	18 917	19 286	19 628	19 951
$E_3[C_W^*, p(Q_w)]$	23 646	27 480	29 004	29 951	30 666	31 266	31 801	32 293	32 759
$E_4[\prod_{M,W,R}^*(q_m)]$	274 365	136 951	91 096	68 131	54 323	45 092	38 478	33 498	29 608
$E_4[C_{M,W,R}^*(q_m)]$	11 612	15 451	16 980	17 932	18 652	19 257	19 796	20 294	20 764

表 2 不同过度自信水平下的最优期望值 (续表 1)

	$\lambda_m = 0. 3$ $\lambda_w = 0. 3$ $\lambda_r = 0. 7$	$\lambda_m = 0. 3$ $\lambda_w = 0. 7$ $\lambda_r = 0. 7$	$\lambda_m = 0. 7$ $\lambda_w = 0. 3$ $\lambda_r = 0. 3$	$\lambda_m = 0. 7$ $\lambda_w = 0. 7$ $\lambda_r = 0. 3$	$\lambda_m = 0. 3$ $\lambda_w = 0. 7$ $\lambda_r = 0. 3$	$\lambda_m = 0. 7$ $\lambda_w = 0. 3$ $\lambda_r = 0. 7$	$\lambda_m = 0. 3$ $\lambda_w = 0. 5$ $\lambda_r = 0. 7$	$\lambda_m = 0. 7$ $\lambda_w = 0. 5$ $\lambda_r = 0. 3$
$E_1[\prod_M^*(q_m)]$	15 407	15 407	10 694	10 694	28 282	6 456	15 407	10 694
$E_1[\prod_W^*(Q_w)]$	43 799	9 206	43 799	9 206	9 206	43 799	19 470	19 470
$E_1[\prod_R^*(Q_r)]$	11 457	11 457	62 971	62 971	62 971	11 457	11 457	62 971
$E_1[C_M^*(q_m)]$	19 003	19 003	16 693	16 693	17 387	18 113	19 003	16 693
$E_1[C_W^*(Q_w)]$	28 801	29 908	28 801	29 908	29 908	28 801	29 530	29 530
$E_1[C_R^*(Q_r)]$	47 215	47 215	45 929	45 929	45 929	47 215	47 215	45 929
$E_2[C_{M,W}^*(q_m)]$	17 369	19 286	17 369	19 286	19 286	17 369	18 504	18 504
$E_3[C_{W,R}^*(Q_w)]$	31 801	31 801	29 004	29 004	29 004	31 801	31 801	29 004
$E_4[\prod_{M,W,R}^*(q_m)]$	38 478	38 478	91 096	91 096	91 096	38 478	38 478	91 096
$E_4[C_{M,W,R}^*(q_m)]$	19 796	19 796	16 980	16 980	16 980	19 796	19 796	16 980

表 3 不同过度自信水平下的最优成本分摊方案

λ_m	λ_w	λ_r	最优成本分摊方案	λ_m	λ_w	λ_r	最优成本分摊方案
0. 1	0. 1	0. 1	(3 871, 3 871, 3 871)	0. 3	0. 3	0. 7	(6 599, 6 599, 6 599)
0. 2	0. 2	0. 2	(5 150, 5 150, 5 150)	0. 3	0. 7	0. 7	(6 599, 6 599, 6 599)
0. 3	0. 3	0. 3	(5 660, 5 660, 5 660)	0. 7	0. 3	0. 3	(5 660, 5 660, 5 660)
0. 4	0. 4	0. 4	(5 977, 5 977, 5 977)	0. 7	0. 7	0. 3	(5 660, 5 660, 5 660)
0. 5	0. 5	0. 5	(6 217, 6 217, 6 217)	0. 3	0. 7	0. 3	(5 660, 5 660, 5 660)
0. 6	0. 6	0. 6	(6 419, 6 419, 6 419)	0. 7	0. 3	0. 7	(6 599, 6 599, 6 599)
0. 7	0. 7	0. 7	(6 599, 6 599, 6 599)	0. 3	0. 5	0. 7	(6 599, 6 599, 6 599)
0. 8	0. 8	0. 8	(6 765, 6 765, 6 765)	0. 7	0. 5	0. 3	(5 660, 5 660, 5 660)
0. 9	0. 9	0. 9	(6 921, 6 921, 6 921)				

从上面的表 1 和表 2 中可以看出,无论各参与者的过度自信水平如何,制造商、批发商和零售商在 $\{M,W,R\}$ 模式下各自行动所需要承担的成本之和高于他们在 $\{(M,W,R)\}$ 模式下通过合作所共同承担的成本。因此,制造商、批发商和零售商更愿意通过合作结成 $\{(M,W,R)\}$ 模式的大联盟。然而,随之而来的问题便是如何在三个参与者之间分摊成本。

本文借助 MATLAB 软件求得如表 3 所示的基于协调规划法的成本分摊方案。从该表中可以看出,无论制造商、批发商和零售商的过度自信水平如何,只要其存在过度自信行为,则基于协调规划法的成本分摊方案都是均分总成本。该结果充分体现了协调规划法的公平原则特点。同时,将分摊结果与 $\{M,W,R\}$ 、 $\{(M,W),R\}$ 和 $\{M,(W,R)\}$ 模式下的结果进行比较,不难看出,在此分摊方案下,制造商、批发商和零售商各自需要承担的成本均小于其独自行动或结成小联盟行动时所需要承担的成本,即同时满足个体合理性和联盟合理性的要求。

六、结束语

本文构建了由单一制造商、批发商和零售商构成的供应链库存控制模型,并假定各参与者均呈现过度自信的行为,即他们不能准确估计需求情况。通过分析可能存在的联盟形式,构建不同联盟形式下的库存控制模型,并计算出各种形式下的最优订货量或产量,以及最优利润期望值和成本期望值。随后给出了基于协调规划法的成本分摊模型。最后给出数值算例,借助 Matlab 软件计算出了精确的分摊结果。通过研究发现,利用协调规划法进行成本分摊,不仅能够满足个体合理性和集体合理性,还具有更强的公平性,是一种良好的成本分摊方法。

在未来的研究中,可以扩展供应链参与者的个数;加入同级竞争者的模型也值得进一步的研究。此外,本文仅讨论了参与者有限理性行为中的过度自信行为,而有关其他有限理性行为的内容,如损失厌恶等,是下一步的研究方向。

参考文献

- [1] Jana, D. K., K. Maity, T. K. Roy. A three-layer supply chain integrated production-inventory model under permissible delay in payments in uncertain environments[J]. *Journal of Uncertainty Analysis and Applications*, 2013, (1).
- [2] Manna, A. K., J. K. Dey, S. K. Mondal. Three-layer supply chain in an imperfect production inventory model with two storage facilities under fuzzy rough environment[J]. *Journal of Uncertainty Analysis and Applications*, 2014, (1).
- [3] 苏菊宁,刘书庆,赵小惠. 随机需求下供应链库存协调策略研究[J]. *系统工程*, 2004, (7).
- [4] Ren, Y. F., R. Croson. Overconfidence in newsvendor orders: An experimental study[J]. *Management Science*, 2013, (11).
- [5] 赵道致,吕昕. 随机需求下基于供应商过度自信的 VMI 模型[J]. *系统工程*, 2011, (29).
- [6] 周永务,刘哲睿,郭金森,等. 基于报童模型的过度自信零售商的订货决策与协调研究[J]. *运筹与管理*, 2012, (21).
- [7] 谢勇,孟楚,王红卫. 过度自信的报童模型研究[J]. *工业工程*, 2013, (16).
- [8] 石岿然,周扬,蒋凤. 考虑零售商过度自信的供应链决策与协调[J]. *工业工程*, 2014, (17).
- [9] 禹海波,王晓微. 过度自信和需求不确定性对库存系统的影响[J]. *控制与决策*, 2014, (10).
- [10] 肖迪,袁敬霞,鲁其辉. 决策者过度自信视角下考虑质量控制的供应链库存策略[J]. *中国管理科学*, 2014, (22).

(责任编辑 孙洁)