

报童投资组合模型中的批发价契约设计

徐绪松¹, 翁 鸣^{1,2}

(1. 武汉大学 经济与管理学院, 武汉 430072; 2. 广西财经学院, 南宁 530003)

摘 要:当风险规避型报童的订货资金有限,却有多种产品可供订购时,供应商需要设计恰当的契约,以引导报童的订货行为,实现最大化自身收益的目的。针对上述问题,本文运用投资组合理论处理报童的决策问题;在此基础上建立了供应商与报童之间的博弈模型,设计了求解最优批发价契约的算法;通过数值算例,说明了最优契约的求解过程。结果表明,与未经优化而随机选择的契约相比,基于该算法求得的契约显著提升了供应商的期望收益。

关键词:报童模型;投资组合;风险规避;多产品订购;批发价契约

中图分类号:F224 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-980X(2008)09-0038-06

报童模型(newsboy model)研究的问题是:每天清晨报童需要在报刊批发商处订购报纸以供当天销售,但此时他并不知道这一天内报纸的需求量是多少,订购过多或过少都是不利的,那么他应该订多少报纸才是最优的选择呢?报童问题是面临随机需求时的单期订货决策问题的典型代表。此类问题十分常见,尤其是在生命周期较短的易逝品产业(例如在饮食、报刊、时尚或运动产品领域)中,不管是在制造阶段还是在零售阶段都会碰到^[1]。随着技术的发展,越来越多的产品(例如电子类产品)的生命周期在缩短。这些产品在生命周期内通常只有一次订货机会,其订货和库存问题都适宜用报童模型来处理。

报童往往可以订购多种而非单一的产品。例如,可供服装零售商订购的就有男装、女装及童装等。这些产品面向不同的人群,有着相互独立的随机需求。为解决这种情况下的订货决策问题,学者们将经典报童模型扩展为多产品报童模型^[2-12],通过在各种产品之间合理分配有限的资金,使报童的期望利润或期望成本最优化。然而现有的成果对于多产品订购问题,都是从报童的角度来研究其订货决策,而没有从供应商的角度,对如何设计契约来协调报童的多产品组合订货行为的问题进行研究^[13]。

现实中的报童通常具有风险规避的特性,他们在进行多产品组合订购决策的时候,必然会综合考虑期望利润和风险,平衡它们之间的关系,之后才能

做出最优选择^[14-18]。根据投资的定义^[19],可以将报童的订货行为看作投资行为,并引入金融学中的投资组合理论来处理。从而,供应商面临的决策问题也转变为如何设计契约来协调报童的投资组合选择行为。

随着社会经济活动的日渐频繁与复杂化,供应链上下游企业之间相互依存的关系越来越紧密。这些企业需要充分合作,才能共同发展,取得“双赢”。而合作的基础在于双方缔结的契约。如果契约设计得当,可以对各方起到良好的激励作用,有利于实现供应链的整体目标;反之,则会损害各方参与合作的积极性,不利于获得供应链的最优绩效。因此当供应商为报童提供了多种可订购产品的时候,他非常需要借助适当的工具来处理契约设计的问题。针对这一客观需求和现有成果的不足,本文要研究的问题是:供应商应该如何设计批发价契约,来引导报童订购适当的产品组合,进而最大化供应商自身净利润。鉴于该问题在供应链管理中的普遍性,因此,本文的研究有着较强的实践意义。

1 问题描述与研究思路

1.1 符号说明

本文所采用的符号规定如下:

$D = (D_1, D_2, \dots, D_N)$, 为市场需求向量, 其中 D_i 为第 i 种产品的市场需求; $p = (p_1, p_2, \dots, p_N)$,

收稿日期:2008-07-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70771083)

作者简介:徐绪松(1945—),女,湖北武汉人,武汉大学经济与管理学院技术经济及管理研究所教授,博士生导师,研究方向:投资科学与资本市场、复杂科学管理。

为市场零售价格向量,其中 p_i 为第 i 种产品的市场零售价格,假设它由市场决定; $q = (q_1, q_2, \dots, q_N)$, 为订货量向量,其中 q_i 为报童向供应商订购的第 i 种产品的数量; $c = (c_1, c_2, \dots, c_N)$, 为产品生产成本的向量,其中 c_i 为供应商生产第 i 种产品的单位生产成本; $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N)$, 为报童成本向量,其中 θ_i 为报童获得一单位第 i 种产品花费的成本(除批发价外); $s = (s_1, s_2, \dots, s_N)$, 为产品残值向量,其中 s_i 为在销售季末未能售出的每一单位第 i 种产品的残值; $w = (w_1, w_2, \dots, w_N)$, 为批发价向量(即批发价契约),其中 w_i 为供应商给出的第 i 种产品的批发价; $T = (T_1, T_2, \dots, T_N)$, 为转移支付向量,其中 T_i 为在第 i 种产品上报童给予供应商的转移支付; $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N, \omega_{N+1})^T$ 表示一个投资组合, ω_i 为资金在第 i 种产品上的分配比率; π_i 为供应商的期望利润; π_i 为报童的期望利润。

1.2 零售商的多产品订购(投资组合)问题

在本文中,假定供应商向报童提供的是批发价契约。下面,本文将描述供应商和报童之间的博弈。博弈参与人为单一供应商和单一报童,其中供应商是风险中性的,报童是风险规避的。设不管报童订货量有多大,供应商都有能力供货,且博弈开始前双方是信息对称的,从而供应商不能借口产能不足或其他原因拒绝向报童提供某种产品,也不能逼迫报童订购某种产品,而只能以契约来提供适当的激励,引导报童的订货行为。博弈中的行动顺序是:首先由供应商向报童提供 N 种可订购产品以及相应的批发价契约;然后报童根据契约来选择一个投资组合(即订购一个产品组合)。此博弈是一个斯坦克伯格(Stackelberg)博弈,其中供应商的行动空间是一个契约集合,报童的行动空间是一个投资组合集合,或等价为一个产品组合集合。

先从报童的角度考虑。设报童的资金量为 A , 在单一供应商处有 N 种可供订购的产品,第 i 种产品的市场需求 D_i 为随机变量,其分布函数和概率密度函数分别为 F_i 和 f_i (其均值和方差分别记为 μ_i 和 σ_i^2)。 q_i^0 是在无资金约束且报童为风险中性时的最优订货量。假定报童的资金量有限,不足以对每种产品都订足 q_i^0 的数量,即 $\sum_{i=1}^N (w_i + \theta_i) q_i^0 \geq A$ 。这种情况下,报童必须考虑这样一个问题:对于每一种产品,

应该各订购多少数量(这等价于在该产品上分配多少资金)对自己来说才是最优的。

报童问题与投资组合问题分别是生产运作领域和金融领域各自发展起来的经典问题,它们之间存在着差异。在投资组合问题中,通常假定投资者购买的资产带来的收益率是不变的,也就是说,不管投资者购买多少单位,其收益率都是 μ_i , 方差 σ_i^2 也保持不变。但在报童问题中,报童的收益率的均值和方差都是订货量的函数。然而,从本质上说,如果报童是风险规避的,并且可以选择订购多种产品,那么他将资金分成若干份,分别投入不同的产品中,可以达到分散投资风险的目的,这意味着他确实面临着构建最优投资组合的问题。正是因为两者问题的这种本质上的相似性,在报童问题的研究中引入投资组合理论是合理和可行的。本文运用均值-方差分析框架来刻画报童面临的决策问题,将其描述为一个收益率的均值和方差随订货量变动的投资组合问题。

根据批发价契约的规定,供应商给出的第 i 种产品的批发价是 w_i , 因此 $T_i = w_i q_i$ 。报童出售一单位第 i 种产品得到的利润是 $p_i - w_i - \theta_i$, 但在所订购的每一单位该产品上均要付出 $w_i + \theta_i - s_i$, 他在第 i 种产品上的净收益是 $(p_i - s_i) \min(q_i, D_i) - (w_i + \theta_i - s_i) q_i$ 。由于 $E \min(q_i, D_i) = q_i - \int_0^{q_i} F_i(y) dy$, 故报童在第 i 种产品上的期望净收益是 $\pi_{i, net} = (p_i - w_i - \theta_i) q_i - (p_i - s_i) \int_0^{q_i} F_i(y) dy$, 这会占用他的资金量 $(w_i + \theta_i) q_i$ 。换言之,他将资金投入第 i 种产品的净收益率是:

$$R_i = \frac{(p_i - s_i) \min(q_i, D_i) - (w_i + \theta_i - s_i) q_i}{(w_i + \theta_i) q_i} \quad (1)$$

对应的净收益率均值是:

$$\bar{R}_i = \frac{(p_i - w_i - \theta_i) q_i - (p_i - s_i) \int_0^{q_i} F_i(y) dy}{(w_i + \theta_i) q_i} \quad (2)$$

净收益率方差是:

$$\sigma_i^2 = \frac{p_i^2 E\{\min(q_i, D_i)^2\} - (p_i^2 - s_i^2) [q_i - \int_0^{q_i} F_i(y) dy]^2}{(w_i + \theta_i)^2 q_i^2} \quad (3)$$

$$= \frac{s_i^2 (q_i)^2 - 2 p_i^2 \int_0^{q_i} y F_i(y) dy + (p_i^2 - s_i^2) [2 q_i - \int_0^{q_i} F_i(y) dy] \int_0^{q_i} F_i(y) dy}{(w_i + \theta_i)^2 q_i^2} \quad (3)$$

由于投资组合的分量 ϖ 和 q_i 之间的关系是 $\varpi A = (w_i + \theta_i) q_i$, 因此, 用 ϖ 来表示的第 i 种产品

$$\delta_i(\varpi) = \frac{s_i^2 \left(\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i} \right)^2 - 2 p_i^2 \int_{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}}^{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}} y F_i(y) dy + (p_i^2 - s_i^2) \left[\frac{2 \varpi A}{w_i + \theta_i} - \int_{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}}^{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}} F_i(y) dy \right] \int_{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}}^{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}} F_i(y) dy}{(\varpi A)^2} \quad (4)$$

进一步, 投资组合 $\varpi = (\varpi, \varpi, \dots, \varpi_N, \varpi_{N+1})^T$ 导致的收益率方差是:

$$\delta^2(\varpi) = E\{[R(\varpi) - \bar{R}(\varpi)]^2\} = \sum_{i,j} \varpi_i \varpi_j \delta_{ij} \quad (5)$$

假定产品需求之间不相关, 则 $\delta^2(\varpi) = \sum_{i=1}^N \varpi_i^2 \delta_i^2$ 。即

$$\delta^2(\varpi) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{s_i^2}{A^2} \left(\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i} \right)^2 - \frac{2 p_i^2}{A^2} \int_{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}}^{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}} y F_i(y) dy + \left(\frac{p_i^2 - s_i^2}{A^2} \right) \left[\frac{2 \varpi A}{w_i + \theta_i} - \int_{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}}^{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}} F_i(y) dy \right] \int_{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}}^{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}} F_i(y) dy \right) \varpi_i^2 \quad (6)$$

投资组合 $\varpi = (\varpi, \varpi, \dots, \varpi_N, \varpi_{N+1})^T$ 导致的净收益率是:

$$R(\varpi) = \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{p_i - s_i}{A} \right) \min \left(\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}, D_i \right) - (w_i + \theta_i - s_i) \frac{\varpi}{w_i + \theta_i} \right] \quad (7)$$

从而, 净收益率均值为:

$$\bar{R}(\varpi) = \sum_{i=1}^N \left[(p_i - w_i - \theta_i) \frac{\varpi}{w_i + \theta_i} - \left(\frac{p_i - s_i}{A} \right) \int_{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}}^{\frac{\varpi A}{w_i + \theta_i}} F_i(y) dy \right] \quad (8)$$

将报童的效用定义为 $u(\bar{R}, \delta^2) = \bar{R} - k \cdot \delta^2$, 参数 k 反映了报童的风险规避程度。报童需要在各种产品间做出权衡, 选择各种产品最恰当的订货量(等价于选择在各种产品上分别投入多少资金), 并且不一定要把所有资金都花在订货上。报童如果花费在订货上的资金小于自己拥有的资金量, 则相当于他把剩余资金投入了一种收益率的均值和方差均为零的资产。假设有 N 种可供订购的产品, 把剩余资金视为用于购买了收益率均值和方差均为零的第 $N+1$ 种产品, 产品的收益率表示为 $R = (R_1, R_2, \dots, R_N, 0)^T$, 其期望值 $\bar{R} = (\bar{R}_1, \bar{R}_2, \dots, \bar{R}_N, 0)^T$ 。 ϖ 的分量满足 $\sum_{i=1}^{N+1} \varpi_i = 1$ 。 l 为分量全部为 1 的 $N+1$ 维列向量。从而, 基于均值 - 方差的报童投资组合模型表示如下。

$$P1: \max_{\varpi} u[\bar{R}(\varpi), \delta^2(\varpi)]$$

$$s.t. \quad \varpi^T l = 1, 0 \leq \varpi \leq 1, \varpi \leq \frac{(w_i + \theta_i) q_i^0}{A}$$

的净收益率方差是:

Eeckhoudt、Gollier 和 Schlesinger 指出, 若不考虑资金约束, 风险规避的报童的订购量少于风险中性的报童的订购量(根据本文给出的条件, $q_i^0 = F_i^{-1} \left(\frac{p_i - w_i - \theta_i}{p_i - s_i} \right)$ [14]), 故投入第 i 种产品的资金 ϖA 不应超过 $(w_i + \theta_i) q_i^0$ 。此外, 本研究不允许卖空, 所以对报童的上述优化问题施加约束 $0 \leq \varpi \leq \min[1, \frac{(w_i + \theta_i) q_i^0}{A}]$ 。

1.3 供应商的契约设计问题

博弈论指出, 博弈参与人在选择自己的最优行动时, 必须考虑对手的反应。因此, 在得出零售商对批发价契约的反应后, 本节将描述供应商如何设计契约以使报童选择的投资组合能够最大化供应商的期望收益的问题。

设供应商给出批发价契约 $w = (w_1, w_2, \dots, w_N)$, 报童的对策 $\varpi^* = (\varpi_1^*, \varpi_2^*, \dots, \varpi_N^*, \varpi_{N+1}^*)^T$, 通过求解本文第 1.2 节中的报童投资组合模型得到。也就是说, 报童的决策 ϖ 是根据供应商的决策 w 做出的。从理论上说, 在双方的行动空间内存在一个最优反应对应(而不一定是函数)。换言之, 对于某一个批发价契约, 可能存在着多个最优的投资组合, 这些投资组合给报童带来的效用是一样的。为简化讨论, 假定报童按某种规则对这些能带来等效用的投资组合排序, 并且供应商是了解此排序规则的, 从而供应商可以预测到报童对于某个给定的批发价契约将会选择的投资组合。

在批发价契约下, 供应商的利润函数是:

$$\pi_{s, net} = \sum_{i=1}^N (w_i - c_i) q_i = \sum_{i=1}^N \frac{(w_i - c_i) \varpi A}{w_i - \theta_i} \quad (9)$$

因而, 供应商面临的最优化问题是:

$$P2: \max_w \pi_{s, net}[\varpi(w)] = \sum_{i=1}^N \frac{(w_i - c_i) \varpi A}{w_i - \theta_i}$$

2 批发价契约的求解

从第 1.3 节的分析了解到, 供应商面临的契约设计问题非常复杂, 难以得出以解析式表达的最优批发价契约 w^* 。对于博弈双方来说, 求出近似于最优的“满意”解即可, 这么做可以节约大量的决策成

本。下面运用枚举的办法来求解,即对每一批发价契约 w , 求出报童的最优反应 α , 然后求出在 α 下供应商的净利润。如此不断进行, 遍历所有可能的契约, 最后得到能够给供应商带来最高收益的那一个契约。基于上述思想, 本文给出以下枚举搜索算法 (以伪 C 语言描述) 来求解供应商的优化问题。

求解最优批发价契约的枚举搜索算法:

```
op = ( $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ );
// 初始化最优批发价契约
for (  $w_1 = \alpha_1; w_1 \leq \bar{w}_1; w_1 = \alpha_1 + step_1$  )
    for (  $w_2 = \alpha_2; w_2 \leq \bar{w}_2; w_2 = \alpha_2 + step_2$  )
        ...
        for (  $w_N = \alpha_N; w_N \leq \bar{w}_N; w_N = \alpha_N + step_N$  )
            {
                 $\alpha = \text{FindPortfolio}(w)$ ;
                // 求报童对于契约  $w$  的最优对策
                (即他所选的投资组合)
                 $s = \text{SupplierProfit}(\alpha)$ ;
                //  $s$  是契约  $w$  给供应商带来的净利润
                 $\alpha = \text{FindPortfolio}(op)$ ;
                // 求报童对于契约  $op$  的最优对策
                 $s_{\max} = \text{SupplierProfit}(\alpha)$ ;
                //  $s_{\max}$  是契约  $op$  给供应商带来的净利润
                if ( $s > s_{\max}$ )
                     $op = w$ ;
                // 若契约  $w$  比契约  $op$  给供应商带来的净利润更大, 则更新  $op$  的值
            }
}
```

其中, $step_i$ 是第 i 种产品的批发价递增的步长, $\bar{w}_i$ 和 α_i 分别是第 i 种产品的批发价取值范围的上、下界, 且有 $\alpha_i = c_i$, $\bar{w}_i = p_i - \theta_i$ 。这是因为若供应商把价格 w_i 制定得低于自己的生产成本 c_i , 他会亏本; 而报童卖出一单位产品, 赚到的净利润为 $p_i - w_i - \theta_i$, 报童也不能亏本, 故必须有 $p_i - w_i - \theta_i \geq 0$, 即 $w_i \leq p_i - \theta_i$, 所以也不能把价格制定得高于 $p_i - \theta_i$ 。

当供应商给出求解优化问题 P2 而得的契约时, 报童会选择求解优化问题 P1 而得的投资组合。而优化问题 P2 的解正是在考虑到报童的反应的情况下求得的, 是对报童可能的反应的最优对策。将优化问题 P1 和 P2 的解分别记为 w^* 和 α^* , 供应商和报童均没有偏离此最优策略的动机, 这时候, 他们

之间的博弈处于均衡状态。

3 数值分析

本小节用数值算例说明供应商的最优批发价契约的求解。设第 i 种产品的需求 D_i 服从区间 $[0, Q_i]$ 上的均匀分布。令 $N = 2$, $p = (78, 91)$, $s = (0, 12)$, $c = (17, 30)$, $\theta = (6, 17)$, $Q = (10^4, 5 \times 10^3)$, $A = 2 \times 10^5$ 。经计算可知, $\alpha_1 = 17$, $\bar{w}_1 = 72$, $\alpha_2 = 30$, $\bar{w}_2 = 74$, 并取批发价递增的步长 $step = 1$ 。

基于第 2 节给出的算法编制程序, 运用 Matlab 7.0 求解。图 1 显示了当供应商面对风险中性的报童 ($k = 0$) 时, 其期望净利润的变化及最优决策。从图 1 中可以直观地看出, 供应商给出的最优批发价契约是 $w^* = (52, 64)$, 他获得的净利润为 150240。而报童选择的最优投资组合为 $\alpha^* = (0.7436, 0.2563, 0.0001)$, 即他对第 1 种产品订购的数量为 2564.1, 对第 2 种产品订购的数量为 632.8, 剩余资金仅为 20。

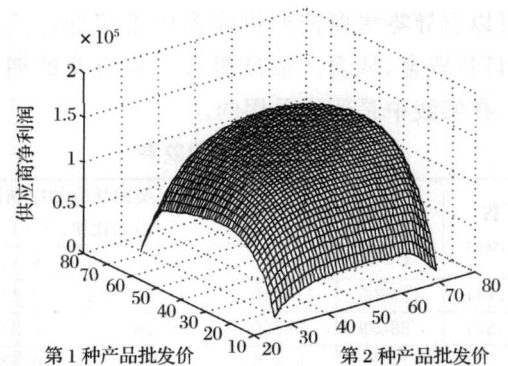


图 1 $k = 0$ 时供应商的期望净利润

图 2 显示了当供应商面对风险规避型报童 ($k = 1$) 时, 其期望净利润的变化及最优决策。从图 2 中可以直观地看出, 供应商给出的最优批发价契约是 $w^* = (45, 50)$, 他获得的净利润为 118320。而报童选择的最优投资组合为 $\alpha^* = (0.5358, 0.3414, 0.1227)$, 即他对第 1 种产品订购的数量为 2101.2, 对第 2 种产品订购的数量为 1019.1, 剩余资金为 24540。

对于 $k = 1$ 的报童, 将批发价递增步长设为 0.1 后重新求解, 得到的结果是 $w^* = (45.7, 49.8)$, $\alpha^* = (0.5323, 0.3430, 0.1247)$ 。供应商获得的净利润为 118370。与批发价契约 (45, 50) 相比, 采用契约 (45.7, 49.8) 令供应商净利润改善的幅度仅为 0.0423%, 而后的求解规模是前者的 100 倍。所

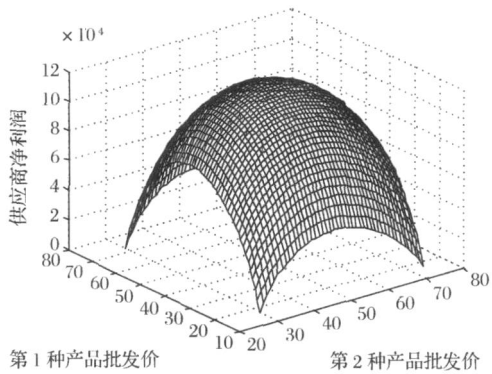


图 2 $k=1$ 时供应商的期望净利润

以对此问题采用的大小为 1 的批发价递增步长是合适的,可以节约可观的决策成本。

下面,将基于本文算法求得的契约与未经优化而从契约集中随机选取的契约进行比较,其结果列于表 1 中。由表 1 可以看出,如果没有适当的决策工具帮助,供应商只能随意选择契约,而这么做意味着较大程度的净利润损失。基于本文算法求得的契约考虑到了零售商对于契约的反应,较好地兼顾了单位产品带来的收益以及零售商订货总量带来的收益,可以引导零售商按照供应商所希望的方式来分配其订货资金,从而大幅度提升了供应商的期望净利润,在实践中是值得采用的。

表 1 最优契约的效果

契约 (w_1, w_2)	供应商期望净利润		最优契约导致的净利润 增加比率(%)	
	$k=0$	$k=1$	$k=0$	$k=1$
(40,48)	129600	115740	15.93	2.23
(54,33)	88639	85860	69.50	37.81
(38,70)	132520	86476	13.37	36.82
(65,46)	113440	81493	32.44	45.19
(64,69)	78590	62075	91.17	90.61
(46,41)	122280	112350	22.87	5.31
(49,60)	146360	110670	2.65	6.91
(23,58)	80928	71511	85.65	65.46
(57,41)	121440	100950	23.72	17.21
(18,37)	32750	34974	358.75	238.31

本文给出的枚举算法的时间复杂度是 $O(M^N)$ (其中 $M = \max(\left\lceil \frac{\overline{w}_i - \underline{w}_i}{\text{step}} \right\rceil + 1)$),比较适用于规模不大的问题(即当产品种类比较少的情况)。

4 结束语

本文研究的是一个在现实中普遍存在的供应链管理问题:面对风险规避型的报童,供应商在提供了多种产品以供订购的时候,应该怎样设计契约,才能激励报童去订购能够最大化供应商期望收益的产品

组合。在这种情况下,现有的研究成果不能为供应商提供决策支持。针对这一不足,本文将报童的订货行为视为投资行为,引入投资组合理论进行处理,由此得出了报童对于供应商给出的批发价契约的最优对策。在考虑此对策的基础上,本文设计了求解最优批发价契约的枚举搜索算法。数值算例说明,与未经优化而随意选定的契约相比,该算法计算所得的契约较大程度地提升了供应商的期望收益,因而该算法是一种适宜的工具,能够为供应商的契约制定决策提供有效的帮助。

在本文工作的基础上,未来的研究可以从两个方面进行拓展:一方面,可以考虑用其他在供应链管理实践中被广泛应用的契约形式(例如回购、数量弹性、销售返款及收益共享等)来协调报童的多产品订购(即投资组合)行为;另一方面,对于大规模的问题(产品种类极多的情形),可以基于遗传、蚁群等智能优化算法来设计契约求解算法,从而降低求解问题的时间复杂度。

参考文献

[1] GALLEGO G,MOON I. The distribution free newsboy problem:review and extensions[J]. The Journal of the Operational Research Society,1993,44(8):825-834.

[2] LAU H-S,LAU A H-L. The newsstand problem:a capacitated multiple-product single-period inventory problem[J]. European Journal of Operational Research,1996,94:29-42.

[3] LAU H-S,LAU A H-L. The multi-product multi-constraint newsboy problem:applications, formulation and solution[J]. Journal of Operations Management,1995,13:153-162.

[4] ABDEL-MALEK L,MONTANARI R,MORALES L C. Exact, approximate, and generic iterative models for the multi-product newsboy problem with budget constraint[J]. International Journal of Production Economics,2004,91(2):189-198.

[5] ABDEL-MALEK L,MONTANARI R. An analysis of the multi-product newsboy problem with a budget constraint[J]. International Journal of Production Economics,2005,97(3):296-307.

[6] ABDEL-MALEK L,AREERATCHAKUL N. A quadratic programming approach to the multi-product newsvendor problem with side constraints[J]. European Journal of Operational Research,2007,176(3):1607-1619.

[7] NIEDERHOFF J A. Using separable programming to solve the multi-product multiple ex-ante constraint newsvendor problem and extensions[J]. European Journal of Operational Research,2007,176(2):941-955.

- [8] SILVER E A, MOON I. The multi-item single period problem with an initial stock of convertible units[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 132 (2) : 466-477.
- [9] MOON I, SILVER E A. The multi-item newsvendor problem with a budget constraint and fixed ordering costs[J]. Journal of the Operational Research Society, 2000, 51 (5) : 602-608.
- [10] VAIRAKTARAKIS G L. Robust multi-item newsboy models with a budget constraint[J]. International Journal of Production Economics, 2000, 66(3) : 213-226.
- [11] 文晓巍, 达庆利. 变质产品供应链中多品种的订购策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(2) : 43-48.
- [12] 周艳菊, 邱菀华, 王宗润. 损失约束下多产品报童问题的求解方法研究[J]. 控制与决策, 2007, 22(9) : 1005-1010.
- [13] CACHON G P. Supply chain coordination with contracts [M]// GRAVES S, DE KOK T. Handbook in operation research and management science: supply chain management. North-Holland: The Netherlands, 2003.
- [14] ECKHOUDT L, GOLLIER C, SCHLESINGER H. The risk-averse (and prudent) newsboy[J]. Management Science, 1995, 41(5) : 786-794.
- [15] MARTÍNEZ-DE-ALBÉNIZ V, SIMCH-LEVI D. Mean-variance trade-offs in supply contracts[J]. Naval Research Logistics, 2006, 53: 603-616.
- [16] AGRAWAL V, SESHADRI S. Risk intermediation in supply chains[J]. IIE Transactions, 2000, 32: 819-831.
- [17] AGRAWAL V, SESHADRI S. Impact of uncertainty and risk aversion on price and order quantity in the newsvendor problem[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2000, 2(4) : 410-423.
- [18] 许明辉, 于刚, 张汉勤. 带有缺货惩罚的报童模型中的 CVaR 研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(10) : 1-8.
- [19] 戴维·G·卢恩伯格. 投资科学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.

Wholesale Price Contract Design in Newsboy Portfolio Model

Xu Xusong¹, Weng Ming^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, China)

Abstract : The supplier has to design an appropriate contract to coordinate the risk-averse newsboy's ordering actions when he provides multi-product for ordering, so that his own revenue can be maximized. In order to solve this problem, the portfolio theory is used to support the newsboy's decision making, and a game theoretic model is developed to describe the game between the supplier and the newsboy. An algorithm is presented to get the optimal wholesale price contract. The numerical example shows the procedure of seeking the optimal contract. The result also shows that, compared with the stochastically selected contracts, the optimal contract leads to the remarkable improvement in the supplier's expected revenue.

Key words : newsboy model; portfolio; risk aversion; multi-product ordering; wholesale price contract