

考虑 DNCVaR- 利润 - 客户满意度的分销网络设计多目标优化模型

钟昌宝¹, 魏晓平², 聂茂林³, 姜殿玉³

(1. 常州大学 经济管理学院, 常州 213164; 2. 中国矿业大学 管理学院, 徐州 221008;
3. 淮海工学院 商学院, 连云港 222001)

摘要 借鉴金融工程中条件风险价值理论, 提出了分销网络条件风险价值的概念和计算公式, 并用之度量分销网络风险水平. 构建了以 DNCVaR、利润、客户满意度为目标的分销网络设计多目标优化模型, 该模型不仅能体现供应链核心企业风险偏好度, 而且还能解决分销网络风险水平 - 分销中心设立 - 分销中心购买量 - 分销中心服务对象 - 分销点购买量组合决策问题, 并应用多项式目标优化技术进行了多目标组合. 这些工作为 CVaR 与分销网络设计优化决策类问题的结合研究作了有益的探索, 且算例的优化决策结果也说明了文中构建的模型能有效解决上述组合决策问题.

关键词 分销网络设计; 分销网络条件风险价值; 多项式目标优化技术; 多目标优化模型

Multi-objective optimization model of distribution network design considering DNCVaR-Benefit-Customer satisfaction

ZHONG Chang-bao¹, WEI Xiao-ping², NIE Mao-lin³, JIANG Dian-yu³

(1. School of Economics & Management, Changzhou University, Changzhou 213164, China;
2. School of Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;
3. School of Business, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222001, China)

Abstract By means of the theory of CVaR (condition value at risk) in financial engineering, the author proposed the concept and calculation formula of CVaR of distribution network, which was then utilized to evaluate the risk level of distribution network. A multi-optimization model of distribution network design taking DNCVaR, benefit and customer satisfaction as objectives was developed, which can not only reflect the risk preference of supply chain core enterprise, but also resolve combinational decision problem of distribution network risk level-construction of distribution center-purchase quantity of distribution center-serving object of distribution center-purchase quantity of distribution outlet. Based on polynomial optimization technique, this model can deal with the combination of multi-objectives. These work provide helpful exploration for both the CVaR and the decision-making problem of distribution network design optimization. The result of the optimization decision model of an example indicates that the model constructed in this paper can effectively resolve the combinational decision problem mentioned above.

Keywords distribution network design; CVaR of distribution network; polynomial goal programming; optimization model of multi-objectives

1 引言

随着计算机信息技术、互联网技术等各种技术在生产、管理领域中快速应用, 客户对产品和服务需求的个性化、多样化, 许多企业相对稳定的生产模式、管理模式及组织结构都面临着严峻的挑战. 面对激烈竞争、快速多变的市场环境, 没有一家企业有足够的能力和资源迅速重组其产品或服务网络, 以抓住稍纵即逝的需求机遇, 因此组建或加盟供应链就成了许多企业的理性选择. 供应链通过供应网络和分销网络控制从供应商的供应商到用户的用户之间的流, 它开始于产品供应的起点, 结束于消费的终点, 其中分销网络是指产品或服务在其所有权转移过程中从生产领域进入消费领域的途径, 一般情况下分销网络可分为单层网络和多层网

收稿日期: 2010-07-10

资助项目: 国家自然科学基金 (70871051, 70772009); 教育部人文社会科学研究规划项目 (10YJA630223); “青蓝工程” 资助

作者简介: 钟昌宝 (1972-) 男, 江苏连云港人, 博士, 副教授, 研究方向: 物流与供应链管理, 风险管理.

络. 供应链核心企业构建分销网络的途径主要包括外包和自建两种, 但由于自建的分销网络具有便于管理、可加快供应链对市场需求变化的快速响应等优点, 所以对于有较强经济实力的供应链核心企业来说, 通常重点考虑自建分销网络.

一个低风险、高效益、满意度好的供应链分销网络会给整条供应链带来强有力的竞争优势, 所以分销网络设计优化一直是供应链设计优化中一个十分重要的内容, 也是供应链设计优化研究中的热点. 国内外许多学者已针对不同的背景、目标和要求对供应链分销网络设计优化模型进行了深入研究^[1-15]. Shu 等^[1]认为通过合理规划整个分销网络的库存、选址和分配决策, 从而使得整个系统的总成本(包括库存、运输与选址成本)最小; Chopra^[2]指出供应链分销网络的成本主要由库存成本、运输成本和设施选址成本等构成; Miranda 等^[3]在有容量限制的设施选址问题中考虑了库存控制策略, 并且通过拉格朗日松弛算法对其进行了求解; 孙会君等^[4]从供应链集成的角度出发, 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; 黄松等^[5]利用 Stackelberg 博弈分析的方法, 建立了一类变质物品的分销网络设计模型, 并使用拉格朗日松弛算法求解; 赵晓煜等^[6]从供应链集成和协调的角度出发, 提出了在多工厂、多产品、多客户环境下, 考虑需求分配的二级分销网络优化设计模型; 王迎军等^[7]研究了由多个制造商、多个分销商组成的分销系统, 并综合考虑了订货成本、运输成本、库存成本和缺货成本等, 建立了一个较为全面的分销系统成本模型; 等等. 这些研究成果各有其特点和优势, 是各位学者多年辛勤耕耘的结晶, 但也存在一定的不足, 如大多数供应链分销网络设计优化模型仅以分销网络总成本最小作为优化目标, 这与现实中实际情况不相符, 因为现实中分销网络的多参与主体、跨地域和多环节的特征, 使分销网络容易受到来自外部环境和链上各实体内部不利因素的影响, 形成供应链分销网络风险, 而这些模型中恰恰没有考虑分销网络风险水平, 所以这些模型并不完全适用具有风险规避或偏好的分销网络设计优化.

鉴于此, 本文拟在前人研究成果的基础上, 将近几年发展起来的金融风险度量工具——条件风险值方法, 引入到具有风险规避或偏好特性的供应链分销网络优化问题的研究, 即利用条件风险值作为度量分销网络风险水平的指标, 从而建立分别以分销网络风险损失、利润和客户满意度为目标的多目标优化模型, 目的是寻求一定风险水平、利润水平及客户满意度水平条件下的分销网络最佳优化策略. 由于文中构建的模型是一个非常复杂的非线性整数混合规划多目标优化模型, 所以我们使用多项式目标优化技术把多目标模型转化为单目标模型后再进行求解, 最终力求为当前的供应链决策者提供一个实用价值高、结果准确与现实需求相符的分销网络设计优化决策模型.

2 研究对象、假设及符号说明

2.1 研究对象、假设

二级分销网络是最具有代表性的分销组织形式, 它是指制造商具有多分厂, 有多个需求地, 并考虑在这些需求地中选择若干个建立分销中心, 没有被选中的只能作为分销点存在, 且每个分销点只能由一个分销中心服务. 因此本文研究的供应链分销网络结构如图 1 所示, 图中有向线段表示相邻层节点企业之间的物流, 箭头方向表示物流的方向, 虚箭线表示一种假设.

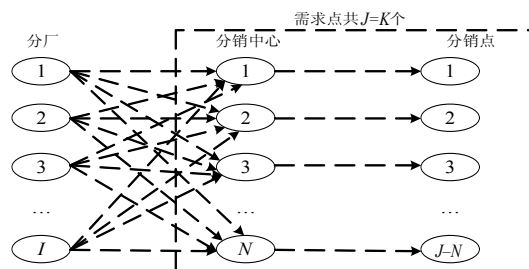


图 1

假设: 1) 在一个供应链分销网络系统中, 有 I 个分厂提供 L 种产品且质量符合需求; 一个分厂可向若干分销中心供货, 但一个分销点只能由一个分销中心供货. 2) 有 J 个需求点, 其中有若干个需求点 j 符合建分销中心, 其余是分销点且无库存, 每个分销中心仓库的容量足够大不发生缺货. 3) 如果需求点订货量大于真实需求量时, 则会产生损失; 订货量与实际需求量差额越大, 损失也就越大, 分销网络风险也越大.

2.2 数学符号及含义说明

用 L 代表产品序号集合, 即 $l = 1, 2, \dots, L$; 用 i, j, k 分别代表产品生产分厂、分销中心需求点、分销点需求点的序号, 即 $i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K; Y_{kl}$ 为第 k 个需求点对第 l 种产品的需求量, 是随机整数变量.

模型常量: d_{il} 为第 i 个分厂生产第 l 种产品的单位成本; u_j 为在第 j 个需求点建设分销中心所发生的固定成本; v_j 为在第 j 或 k 个需求点建设分销点所发生的固定成本; a_{jkl} 为第 l 种产品由第 j 个需求点运输到第 k 个需求点的单位成本 (也可假设单位成本不受产品品种影响); c_{ijl} 为第 l 种产品由第 i 分厂运输到第

j 个需求点 (分销中心) 的单位成本 (也可假设单位成本不受产品品种影响); g_{kl} 为第 k 个需求点的第 l 种的单位经营成本; G_{kl} 为第 k 个需求点的第 l 种产品订货不足而造成的机会收益损失; p_{kl} 为第 k 个需求点的第 l 种产品基准价格; P_{kl} 为第 k 个需求点的第 l 种产品弹性变动价格; t_{jl} 为第 j 个需求点的第 l 种产品单位库存管理费用; q_{il} 为第 i 个分厂生产第 l 种产品的能力; λ_{kl} 为第 k 个需求点的第 l 种产品的价格递减系数; \bar{Y}_{kl} 为第 k 个需求点对第 l 种产品的期望需求量; M_{\min}, M_{\max} 分别为预设立的分销中心数量的上、下限; N_{\min}, N_{\max} 分别为各分销中心负责供货的分销点数量的上、下限; ω 为决策损失函数不超过的阈值。

模型决策变量: z_{ijl} 为第 i 个分厂向第 j 个需求点 (分销中心) 运送第 l 种产品的数量且取整数; x_j 表示第 j 个需求点是否建分销中心 (1 表示是, 0 表示否), $x_j = 1$ 表示第 j 个需求点建分销中心; y_{jk} 为 $\{0, 1\}$ 变量, $y_{jk} = 1$ 表示第 j 个需求点 (分销中心) 负责向第 k 个需求点 (分销点) 供货, $y_{jk} = 0$ 表示第 j 个需求点 (分销中心) 不负责向第 k 个需求点 (分销点) 供货; X_{kl} 为第 k 个需求点对第 l 种产品的订货量且取整数。

3 分销网络风险水平度量工具 —— 分销网络条件风险价值

在某种程度上, 分销网络设计和投资组合存在一定的相似性. 首先, 它们都有一个组织者, 分销网络设计的组织者是核心企业, 投资组合的组织者是投资人; 其次, 它们的目的之一都是通过设计或组合, 降低风险水平, 实现一定程度上的增值; 再次, 影响增值的因素是随机的, 影响分销网络增值的因素主要有制造商、分销商、市场供求、价格等, 影响投资组合增值的因素主要有投资人、市场供求、利率等; 最后, 研究对象都是时间序列, 投资资产价格的变化是一个时间序列, 产品的市场需求量也是一个时间序列. 基于以上分析, 我们认为可以将分销网络设计过程和投资决策过程相提并论, 故可以用 CVaR 技术来度量分销网络风险水平. 关于 CVaR 技术内容参见文献 [16-17].

1) 分销网络风险价值 (DNVaR)

分销网络风险价值指的是在一定期间内, 在一定的置信性水平 $1 - \beta$ 下分销网络可能的最大损失. 用数学公式表示为

$$Prob(\Delta P \leq \text{DNVaR}) = 1 - \beta \quad (1)$$

其中, $Prob$ 为分销网络的损失小于可能损失上限的概率; ΔP 为分销网络在一定期间内的可能价值损失额; DNVaR 为置信水平 $1 - \beta$ 下分销网络风险可能的损失上限.

2) 分销网络条件风险价值 (DNCVaR)

分销网络条件风险价值是指在正常市场条件下和一定的置信性水平 $1 - \beta$ 上, 测算出分销网络在给定的时间内预期损失超过 DNVaR 的条件期望值, 也就是超额损失的平均水平或期望值. 用数学公式可以表示为

$$\text{DNCVaR}_\beta = E \{L(x, y) | L(x, y) \geq \text{DNVaR}_\beta\} = \omega + ((1 - \beta)K)^{-1} \sum_{k=1}^K (L(x, y^k) - \omega)^+ \quad (2)$$

其中, E 为分销网络的损失超过最大损失部分的均值; $L(x, y)$ 为分销网络在一定期间内的损失函数, 其中 x 为确定性变量, y 为随机变量; DNVaR 为置信水平 $1 - \beta$ 下分销网络风险可能的损失上限; ω 、 K 分别为决策损失不超过的阈值、情景样本容量.

通过分销网络风险水平的评价, 可以预估出分销网络的风险暴露程度或风险损失大小, 提前做好风险防范准备. 置信水平的选择在一定程度上反映了供应链核心企业 (决策者) 对风险的不同偏好 (态度): β 值越大, DNCVaR 越大, 表明决策者对风险的偏好程度越高; β 值越小, DNCVaR 越小, 表明决策者对风险的偏好程度越低; $\beta = 0$ 时, DNCVaR 等于随机损失的期望值, 风险为中性.

4 考虑 DNCVaR、利润、客户满意度的分销网络设计多目标优化模型

4.1 分销网络的 CVaR、收益及客户满意度度量

1) 分销网络的 CVaR 度量

根据 2.1 节中的三个假设, 设 $L(X, Y)$ 为分销网络的决策平均损失函数, 其中 $X = (X_{1l}, X_{2l}, \dots, X_{kl})^T$, $Y = (Y_{1l}, Y_{2l}, \dots, Y_{kl})$, $\bar{Y} = (\bar{Y}_{1l}, \bar{Y}_{2l}, \dots, \bar{Y}_{kl})$, $Y^r = (Y_{1l}^r, Y_{2l}^r, \dots, Y_{kl}^r)$ ($r = 1, 2, \dots, R$). 一般来说, 分销网络期望整体平均损失越小越好, 其中平均损失包括订购了而未售出产品的平均生产成本 (各分厂)、运输成本 (分厂到分销中心及分销中心到分销点)、库存管理成本 (分销中心)、经营成本 (分销中心及分销点) 以及订货不足而造成的机会收益损失. 假设这些损失均为线性函数, 则决策损失函数可如式 (3) 所示. b_{jl} 、 s_{jl} 分别第 j 个分厂的第 l 种产品的平均单位生产成本和平均单位运输成本; X_{jl} 是第 j 个需求点 (分销中心) 的订

销量, X_{kl} 是第 k 分销点 (非分销中心) 的订货量.

$$L(X, Y) = \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L (b_{jl} + s_{jl} + t_{jl} + g_{jl}) x_j \max(X_{jl} - Y_{jl}, 0) + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1, k \neq j}^K \sum_{l=1}^L ((b_{jl} + s_{jl} + t_{jl}) y_{kj} + g_{kl}) (1 - x_j) \max(X_{kl} - Y_{kl}, 0) + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1, k \neq j}^K \sum_{l=1}^L a_{jkl} (1 - x_j) y_{kj} \max(X_{kl} - Y_{kl}, 0) + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L G_{kl} \max(Y_{kl} - X_{kl}, 0) \quad (3)$$

其中: $b_{jl} = \sum_{i=1}^I z_{ijl} d_{il} / \sum_{i=1}^I z_{ijl}$, $s_{jl} = \sum_{i=1}^I z_{ijl} c_{ijl} / \sum_{i=1}^I z_{ijl}$.

将式 (3) 代入式 (2), 可以得式 (4).

$$\text{DNCVaR}_\beta = \omega + ((1 - \beta)R)^{-1} \sum_{r=1}^R (L(X, Y^r) - \omega)^+ \quad (4)$$

在 DNCVaR_β 中如引入虚拟变量 $h_r, r = 1, 2, \dots, R$, 则函数 DNCVaR 就可以用以下线性函数和约束来代替.

$$\text{线性函数: } \text{DNCVaR} = \omega + ((1 - \beta)R)^{-1} \sum_{r=1}^R h_r; \quad \text{线性约束: } \begin{cases} h_r \geq L(X, Y^r) - \omega, \\ h_r \geq 0. \end{cases}$$

相关研究结果表明^[16-17]: 这个变形提供了一种很好的数值上稳定的技术, 不仅规避了需要已知变量的具体分布形式才能计算 DNCVaR_β 的难点, 而且还可以通过一系列的过程转化, 将最初的 DNCVaR_β 函数转化为线性目标函数和线性约束, 也使得优化问题便于解决.

2) 分销网络利润度量

分销网络的整体利润可用其变动销售收入与各种成本 (建分销中心、分销点的固定费用, 生产成本, 运输成本, 经营成本, 库存管理成本等) 的差值表示. 计算公式如式 (5) 所示.

$$IN = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L X_{kl} P_{kl} - \left(\sum_{j=1}^J [u_j x_j + v_j (1 - x_j)] + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L d_{il} \sum_{j=1}^J z_{ijl} + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J x_j c_{ijl} z_{ijl} + \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{k=1, k \neq j}^K a_{jkl} X_{kl} y_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L g_{kl} X_{kl} + \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \left(x_j T_{jl} \sum_{i=1}^I z_{ijl} \right) \right) \quad (5)$$

其中: 设产品销售价格随订购量变动, 即 $P_{kl} = p_{kl} - \lambda_{kl} X_{kl}$.

3) 分销网络客户满意度度量

分销网络客户满意度是指分销网络所订购的产品满足用户需求的程度. 因此在一段时间内, 分销网络客户满意度可用分销网络上各种产品的订货量与需求量缺口的比值表示 (平均缺货率). 在计算公式中, 为了消除订货量、需求量等量纲本身的差异, 采用偏差的绝对值与其对应的需求量作比值, 计算公式如式 (6) 所示.

$$\text{MANYI} = \frac{1}{KL} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{|X_{kl} - y_{kl}|}{y_{kl}} \quad (6)$$

依据式 (6), 我们可计算整个分销网络客户满意度等于各种需求状态下的分销网络客户满意度的均值, 计算公式如式 (7) 所示.

$$\text{MANYI} = \frac{1}{RKL} \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{|X_{kl} - y_{rkl}|}{y_{rkl}} \quad (7)$$

4.2 构建考虑 DNCVaR、利润、客户满意度的分销网络设计多目标优化模型

据以上分析, 借鉴相关文献的建模思想, 给出了一种考虑 DNCVaR、利润、客户满意度的分销网络设计多目标优化模型, 模型如式 (8) 至式 (20) 所示.

$$\min \quad \text{DNCVaR}_\beta = \omega + [(1 - \beta)R]^{-1} \sum_{r=1}^R h_r \quad (8)$$

$$\max \quad IN = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L X_{kl} P_{kl} - \left(\sum_{j=1}^J [u_j x_j + v_j (1 - x_j)] + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L d_{il} \sum_{j=1}^J z_{ijl} + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J x_j c_{ijl} z_{ijl} + \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{k=1, k \neq j}^K a_{jkl} X_{kl} y_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L g_{kl} X_{kl} + \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \left(x_j T_{jl} \sum_{i=1}^I z_{ijl} \right) \right) \quad (9)$$

$$\min \quad MANYI = \frac{1}{RKL} \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{|X_{kl} - y_{rkl}|}{y_{rkl}} \quad (10)$$

$$\text{s.t.} \quad M_{\min} < \sum_{j=1}^J x_j < M_{\max} \quad (11)$$

$$h_r \geq L(X, Y^r) - \omega (r = 1, 2, \dots, R) \quad (12)$$

$$h_r \geq 0 \quad (13)$$

$$x_k + \sum_{j=1, j \neq k}^J y_{jk} = 1 (k = 1, 2, \dots, K) \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^J y_{jk} = 1 (k = 1, 2, \dots, K) \quad (15)$$

$$x_j X_{jl} + \sum_{k=1, k \neq j}^k y_{jk} X_{kl} = \sum_{i=1}^I z_{ijl} (j = 1, 2, \dots, J; l = 1, 2, \dots, L) \quad (16)$$

$$N_{\min} x_j \leq \sum_{k=1}^K y_{jk} \leq N_{\max} x_j (j = 1, 2, \dots, J) \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^J z_{ijl} \leq q_{il} (i = 1, 2, \dots, I; l = 1, 2, \dots, L) \quad (18)$$

$$\min(y_{kl}) \leq X_{kl} \leq \varphi \max(y_{kl}) (k = 1, 2, \dots, K; l = 1, 2, \dots, L) \quad (19)$$

$$x_j, y_{jk} \in \{0, 1\}, 0 \leq z_{ijl} \quad (20)$$

目标函数说明: 目标函数 (8) 是要求在一定风险态度下, 分销网络期望平均损失最小 (风险最小); 目标函数 (9) 是表示分销网络利润最大; 目标函数 (10) 是表示分销网络客户满意度最大。

约束条件说明: 约束 (11) 表示预设设立的分销中心有上、下限要求; 约束 (12)、(13) 分别是分销网络期望损失、限制损失值约束; 约束 (14) 表示一个需求点或者被选为建分销中心, 或者作为分销点并由某一被选择为分销中心的需求点供货; 约束 (15) 表示每个分销点仅有一个分销中心为其提供服务; 约束 (16) 表示各分厂对某分销中心的供货量满足由该分销中心供货的各个需求点需求总量; 约束 (17) 表示只有被选为分销中心的需求点才能向其它需求点供货, 且有上下限; 约束 (18) 表示各分厂供应的各产品的总和不超过生产能力且各需求点订购量也不能超过各分厂的供应能力; 约束 (19) 表示各需求点的订购量在最大最小需求量内; 约束 (20) 表示决策变量的取值范围。

4.3 基于 PGP 的多目标优化模型求解

拟对 4.2 节中的多目标优化模型进行求解, 一个简单而有效的办法就是将多目标模型转化为单目标模型, 即分别考虑不同目标的实现, 最后再将这些单目标组合在一起。目前求解多目标模型的方法有评价函数法、交互规划法、分层求解法等, 但这些方法或多或少存在一些不足, 所以我们采用 Lai 等^[18] 2006 年提出的多项式目标优化技术 (polynomial goal programming, PGP) 来求解该多目标优化模型, 该优化技术相比较于上述方法具有以下优点和改进: 一是供应链核心企业能根据实际需要独立计算不考虑其他目标函数的单一目标对应的决策值; 二能反映期望值与满意水平之间的差距并避免主观赋权等带来的弊病; 三能体现供应链核心企业对不同目标的偏好程度并影响最终决策值。

设 d_1 、 d_2 、 d_3 为目标变量, 分别代表期望风险损失 DNCVaR、利润 IN 、客户满意度 $MANYI$ 与对应的满意水平 $mDNCVaR$ 、 mIN 、 $mMANYI$ 之间的偏差。而满意水平表示在不考虑其它目标条件下一个特定单目标的最优水平, 且这些满意水平可以由三个独立的子模型 (P1、P2、P3) 来确定, 其中: 模型 P1、P2、P3 分别表示在约束条件下实现分销网络条件风险价值最小的目标、利润最大的目标以及客户满意度最大的目标。这样分销网络设计多目标优化模型可利用 PGP 转化为单目标综合决策, 转化后的单目标综合模型见 P4。

在模型 P4 中, 引入的三个参数 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 , 分别体现供应链核心企业 (决策者) 对风险、利润及客户满意度的不同偏好, 其取值称为偏好集。如: 当 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 取 (1, 1, 1) 时, 意味着供应链核心企业 (决策者) 将风险、利润及客户满意度三个因素视为同等重要; 当 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 取 (1, 1, 0) 时, 意味着供应链核心企业 (决

策者) 只考虑风险水平、利润大小而不考虑客户满意度如何; 当 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 取 $(0, 1, 1)$ 时, 意味着供应链核心企业 (决策者) 只考虑利润大小及客户满意度高低而不考虑风险水平; 当 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 取 $(3, 3, 1)$ 时, 意味着供应链核心企业 (决策者) 更加看重风险水平及利润大小; 当 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 取 $(1, 3, 3)$ 时, 意味着供应链核心企业 (制造商) 更加看重利润大小及客户满意度高低; 当 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 取 $(3, 1, 3)$ 时, 意味着供应链核心企业 (制造商) 更加看重风险水平及客户满意度高低. 另外在模型 P4 中, 为消除风险、利润及客户满意度量纲的差异, 采用了偏差与对应的满意水平作比值.

根据 Lai 的工作, 模型 (P4) 的求解可分两个步骤来完成: 首先, 求解模型 (P1)、(P2) 及 (P3) 得到满意水平 $mDNCVaR$ 、 mIN 、 $mMANYI$; 其次, 将这些满意水平代入模型 (P4), 进而求得目标函数的最小值及最优的决策变量值.

对于供应链核心企业 (决策者) 来说, 上面构建的多目标优化模型往往具有多个变量和数个约束条件, 是大规模的混合 0-1 整数非线性规划模型, 许多学者研究并提出了若干种用于求解大规模混合整数规划模型的方法, 但相关研究结果证明: 改进的分枝定界法可在较短的时间内以较高的精度完成对混合整数规划模型的求解, 故我们采用该方法进行模型求解^[19]. 另外在计算分销网络条件风险价值时, 需要已知分销网络中每个需求点过去若干个需求量数据, 这些数据完全可通过收集、整理相关数据得到.

$$\begin{cases}
 \min & DNCVaRINMANYI = \left| \frac{d_1}{mDNCVaR} \right|^{\lambda_1} + \left| \frac{d_2}{mIN} \right|^{\lambda_2} + \left| \frac{d_3}{mMANYI} \right|^{\lambda_3} \\
 \text{s.t.} & h_r \geq L(X, Y^r) - \omega(r = 1, 2, \dots, R) \\
 & h_r \geq 0 \\
 & M_{\min} < \sum_{j=1}^J x_j < M_{\max} \\
 & x_k + \sum_{j=1, j \neq k}^J y_{jk} = 1 (k = 1, 2, \dots, K) \\
 & \sum_{j=1}^J y_{jk} = 1 (k = 1, 2, \dots, K) \\
 & x_j X_{jl} + \sum_{k=1, k \neq j}^K y_{jk} X_{kl} = \sum_{i=1}^I z_{ijl} (j = 1, 2, \dots, J; l = 1, 2, \dots, L) \\
 & N_{\min} x_j \leq \sum_{k=1}^K y_{jk} \leq N_{\max} x_j (j = 1, 2, \dots, J) \\
 & \sum_{j=1}^J z_{ijl} \leq q_{il} (i = 1, 2, \dots, I; l = 1, 2, \dots, L) \\
 & \min(y_{kl}) \leq X_{kl} \leq \phi \max(y_{kl}) (k = 1, 2, \dots, K; l = 1, 2, \dots, L) \\
 & x_j, y_{jk} \in \{0, 1\}, 0 \leq z_{ijl} \\
 & \omega + [(1 - \beta)R]^{-1} \sum_{r=1}^R h_r - d_1 = mDNCVaR \\
 & \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L X_{kl} P_{kl} - \left(\sum_{j=1}^J [u_j x_j + v_j (1 - x_j)] + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L d_{il} \sum_{j=1}^J z_{ijl} + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J x_j c_{ijl} z_{ijl} \right) \\
 & + \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \sum_{k=1, j \neq k}^K a_{jkl} X_{kl} y_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L g_{kl} X_{kl} + \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L \left(x_j t_{jl} \sum_{i=1}^I z_{ijl} \right) + d_2 = mIN \\
 & \frac{1}{RKL} \sum_{r=1}^R \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \frac{|X_{kl} - y_{rkl}|}{y_{rkl}} - d_3 = mMANYI \\
 & d_1 \geq 0, d_2 \geq 0, d_3 \geq 0
 \end{cases}$$

5 数值算例

1) 算例数据

为计算方便, 算例中的部分数值是假定的, 在实际应用中, 应通过实际观测值或统计值来校正. 假设某制

造商有 4 个分厂 ($i = 4$), 为满足市场需求各分厂都生产 3 种产品 ($l = 3$), 该分销网络中共有 8 个需求点 ($j = k = 8$), 制造商需在这些需求点中建若干个分销中心以满足市场需要. 模型中其他数据如表 1 至表 7 所示 ($M_{\min} = 2, M_{\max} = 5; N_{\min} = 2, N_{\max} = 5$).

表 1 各分厂生产各种产品的单位生产成本 d_{il} 、

		生产能力 q_{il}					
		1		2		3	
i		d_{il}	q_{il}	d_{il}	q_{il}	d_{il}	q_{il}
1	16	6500	12	5600	14	5800	
2	14	5600	10	5400	13	6400	
3	13	5700	14	6400	18	5900	
4	12	6200	15	5600	13	5500	

表 2 l 产品由 j 需求点运送到 k 需求点的单位成本 $a_{jkl}(l = 1, 2, 3)$

j, k	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1.96	1.8	2.09	2.45	2.24	1.63	2.27
2	1.96	0	3.56	3.13	1.78	2.06	0.68	1.45
3	1.8	3.56	0	0.99	1.02	0.84	1.83	1.45
4	2.09	3.13	0.99	0	1.81	1.92	0.92	0.86
5	2.45	1.78	1.02	1.81	0	0.83	0.61	1.94
6	2.24	2.06	0.84	1.92	0.83	0	1.38	1.94
7	1.63	0.68	1.83	0.92	0.61	1.38	0	1.27
8	2.27	1.45	1.45	0.86	1.94	1.94	1.27	0

表 3 k 需求点的 l 种产品的单位经营成本 g_{kl} 、

		价格变动系数 λ_{kl}					
		1		2		3	
k		g_{kl}	λ_{kl}	g_{kl}	λ_{kl}	g_{kl}	λ_{kl}
1	0.6	0.05	0.75	0.088	0.72	0.08	
2	0.84	0.01	0.96	0.04	0.93	0.033	
3	0.9	0.025	1.02	0.055	0.87	0.018	
4	0.93	0.033	0.84	0.01	1.14	0.085	
5	0.75	0.088	0.81	0.003	0.78	0.095	
6	0.93	0.033	0.9	0.025	1.05	0.063	
7	1.05	0.063	1.08	0.07	0.96	0.04	
8	1.14	0.085	1.11	0.078	1.05	0.063	

表 4 k 需求点的 l 产品价格 p_{kl} 及订货不足而造成的机会收益损失 G_{kl}

		机会收益损失 G_{kl}					
		1		2		3	
k		p_{kl}	G_{kl}	p_{kl}	G_{kl}	p_{kl}	G_{kl}
1	40	14.08	45	17.60	44	16.90	
2	48	19.71	52	22.53	61	21.82	
3	60	21.12	64	23.94	49	20.42	
4	61	21.82	48	19.71	68	26.75	
5	45	17.60	47	19.01	46	18.30	
6	61	21.82	60	21.12	65	24.64	
7	65	24.64	66	25.34	62	22.53	
8	68	26.75	67	26.05	65	24.64	

表 5 需求点建分销中心的固定成本 u_j 、建分销点的固定成本 v_j

j	1	2	3	4	5	6	7	8
u_j	16000	10000	8000	10000	9000	16000	10000	16000
v_j	1600	1200	1500	3000	2000	2000	1500	3000

表 7 j 分销中心的 l 产品单位库存管理费用 T_{jl}

j, l	1	2	3
1	2.5	2.5	2
2	1	3	1.5
3	1.5	2	2.5
4	2	2	2.5
5	1.5	2.5	1.5
6	1.5	2.5	1.5
7	1	3	2
8	1.5	2	2.5

表 6 l 产品由 i 分厂运送到 j 需求点的单位成本 $c_{ijl}(l = 1, 2, 3)$

i, j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.5	1.8	1.2	1.2	1.5	1.5	1.8	1.2
2	1.2	0.9	1.5	1.5	0.9	0.9	1.2	1.5
3	1.5	1.2	1.2	0.9	1.2	0.9	1.5	0.9
4	0.9	0.9	0.9	1.2	0.6	0.6	0.9	1.2

2) 数值算例求解

把数据带入相关模型中并编写相应的 Lingo 程序, 可得到模型 P4 的最终优化结果, 分别见表 8、9 及 10, 其中 $d_1 = 1066.819; d_2 = 52116.83; d_3 = 0.00965137; \lambda_1 = 3; \lambda_2 = 1; \lambda_3 = 3$.

从计算结果中, 我们不难看出, 在综合考虑分销网络风险水平、利润水平及客户满意程度的基础上, 经过多次迭代优化, 达到了优化的目的, 模型优化值为 0.460263; 需求点 3、5、6 被选中作为分销中心建设且决定了每个分销中心服务的需求点; 各个分销中心向各个分厂订购的产品数量及各个需求点的产品订购数量.

另外针对核心企业 (决策者) 对风险、利润及客户满意度的偏好 ($\lambda_1、\lambda_2、\lambda_3$) 不同, 分别计算了不同偏好集条件下的结果, 具体参数及计算结果见表 11.

表 8 最终选择的分销中心以及其服务的分销点

j	1	2	3	4	5	6	7	8
分销中心	0	0	1	0	1	1	0	0
服务的分销点			3,4		2,5,8	1,6,7		

表 9 分销中心从各分厂订购的数量

产品	分销中心 3				分销中心 5				分销中心 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1				73				109				110
2		284				418				407		
3				735				1022				1003

表 10 分销点的各种产品订购的数量

需求点	1	2	3	4	5	6	7	8
产品 1	37	37	37	36	36	36	37	36
产品 2	120	137	145	139	144	148	139	137
产品 3	310	362	396	339	314	340	353	346

表 11 不同偏好集条件下的 d_1 、 d_2 、 d_3 及目标值

偏好集	偏差			目标值
	d_1	d_2	d_3	DNCVaRINMANYI
$\lambda_1:\lambda_2:\lambda_3$				
3:1:3	1066.819	52116.83	0.009651367	0.4602625
3:3:1	291.3473	47858.57	0.000803977	0.0857971
1:3:3	86.82240	56699.57	0.003093292	0.1306655
1:1:3	37.54950	52812.46	0.003421372	0.4618323

从表 11 四组数据中我们可以发现随核心企业 (决策者) 对风险、利润及客户满意度的偏好不同, 整个供应链分销网络的综合效用也随之不同, 相比较之下当偏好集为 3:3:1 时, 相对应的供应链分销网络综合效用较好, 同时也符合和体现了收益与风险对等原则。

6 结束语

本文在供应链分销网络结构框架的基础上, 建立了考虑 DNCVaR、利润、客户满意度的供应链分销网络设计多目标集成优化模型, 它与传统的供应链分销网络设计优化模型不同的是: 首先采用合理的、科学的风险度量方法对分销网络风险水平进行计量, 然后通过组合决策实现分销网络风险损失、利润和客户满意度三个目标之间的均衡。

借助金融工程中风险价值和条件风险价值的概念和计算公式, 提出了分销网络风险价值及条件风险价值的概念和计算公式, 并在此基础上建立具有风险规避或偏好的分销网络设计多目标集成优化模型。由于多目标优化模型在求解过程中要么求解时间过长要么很难得到最优解, 所以文中利用 PGP 技术把多目标优化转化为单目标优化, 使得求解时间和解的质量都得到很大程度的改变。从模型算例分析的决策结果可以看出, 模型决策结果比较合理, 具有集成性、客户导向性等特点, 能有效解决风险损失 - 分销中心设立 - 分销中心购买量 - 分销中心服务对象 - 分销点购买量组合决策问题, 可以全面、动态地反映供应链分销网络的集成决策问题。

文中的模型在实际应用中可根据需要进行拓展。决策方面可以考虑更多层级, 灵活设定时间段的数量。同样, 还可以考虑多个随机因素, 三个或更多个目标的情况。

参考文献

- [1] Shu J, Teo C P, Max S Z J. Stochastic transportation-inventory network design problem[J]. Operations Research, 2005, 53(1): 48-60.
- [2] Chopra S. Designing the distribution network in a supply chain[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2003, 39(2): 123-140.
- [3] Miranda P A, Garrido R A. Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2004, 40(3): 183-207.
- [4] 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.

- Sun H J, Gao Z Y. An optimization model for two-echelon distribution network design in supply chain based on bi-level programming[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2004, 18(1): 68–71.
- [5] 黄松, 杨超. 基于 Stackelberg 博弈的变质物品分销网络设计模型 [J]. *中国管理科学*, 2009, 17(6): 123–128.
Huang S, Yang C. Distribution network design model for deteriorating items based on stackelberg game[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2009, 17(6): 123–128.
- [6] 赵晓煜, 汪定伟. 供应链中二级分销网络的优化设计模型 [J]. *管理科学学报*, 2004, 4(4): 22–26.
Zhao X Y, Wang D W. Optimization model for bi-level distribution network design in supply chain management[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2004, 4(4): 22–26.
- [7] 王迎军, 高峻峻. 供应链分销系统优化及仿真 [J]. *管理科学学报*, 2002, 5(5): 7–11.
Wang Y J, Gao J J. Optimization and simulation of distribute systems in a supply chain[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2002, 5(5): 7–11.
- [8] 唐凯, 杨超. 随机多阶段分销网络设计模型 [J]. *中国管理科学*, 2007, 15(6): 98–103.
Tang K, Yang C. A stochastic multistage distribution network design model[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2007, 15(6): 98–103.
- [9] 钟磊钢, 李云岗, 张翠华. 基于价格弹性的双层规划二级分销网络模型 [J]. *计算机集成制造系统*, 2006, 12(10): 1596–1599.
Zhong L G, Li Y G, Zhang C H. Bi-level programming secondary distribution network model based on price elasticity[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2006, 12(10): 1596–1599.
- [10] 孙会君, 高自友. 供应链分销系统双层优化模型 [J]. *管理科学学报*, 2003, 6(3): 66–70.
Sun H J, Gao Z Y. Bi-level optimization order for distribution system of supply chain[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2003, 6(3): 66–70.
- [11] 田厚平, 郭亚军. 分销系统中的多主多从 Stackelberg 主从对策问题研究 [J]. *管理工程学报*, 2005, 19(4): 74–78.
Tian H P, Guo Y J. The analysis on stackelberg problem with multiple leaders-followers in distribution system[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2005, 19(4): 74–78.
- [12] 刘承水. 分销网络优化模型及算法研究 [J]. *中国管理科学*, 2008, 16(10): 58–62.
Liu C S. Study on optimization model for distribution system and its algorithm[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2008, 16(10): 58–62.
- [13] 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.
Zhang C X, Dang Y Z. Continuous approximation model of distribution network designing[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2003, 18(5): 447–451.
- [14] 赵志刚, 顾新一. 多仓库多分销点的二级分销网络的优化 [J]. *系统仿真学报*, 2008, 20(5): 1209–1213.
Zhao Z G, Gu X Y. Optimization for two-echelon distribution network with multi-depository and multi-distribution place[J]. *Journal of System Simulation*, 2008, 20(5): 1209–1213.
- [15] 桂贤, 杜纲. 不确定条件下供应链二级分销网络的优化研究 [J]. *北京理工大学学报*, 2007, 9(1): 86–90.
Gui X, Du G. An optimization study of two-echelon distribution network under uncertainty in supply chain[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2007, 9(1): 86–90.
- [16] Pflug G C. Some remarks on the value-at-risk and the conditional value-at-risk[C]// Uryasev S. *Probabilistic Constrained Optimization: Methodology and Application*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [17] Rockafellar R T, Uryasev S. Optimization of conditional value-at-risk[J]. *The Journal of Risk*, 2000, 2(3): 21–41.
- [18] Lai K K, Yu L, Wang S Y. Mean-variance-skewness-kurtosis-based portfolio optimization[C]// *Proceedings of the First International Multi-symposiums on Computer and Computational Sciences*, 2006(2): 292–297.
- [19] 郭辉, 徐浩军. 基于 LINGO 的多目标攻击空战决策研究 [J]. *系统仿真学报*, 2009, 21(16): 5244–5246.
Guo H, Xu H J. Study on air action decision of multi-target attack based on Lingo[J]. *Journal of System Simulation*, 2009, 21(16): 5244–5246.