文章编号：1000-8152(2002)02-0249-04

供应链中二级分销网络优化设计的模糊机会约束规划模型*

赵晓煜　汪定伟
（东北大学信息科学与工程学院·沈阳，110006）

摘要：提出了供应链中二级分销网络优化设计的模糊机会约束规划模型.模型中将各个需求地对产品的需求量以及各分厂的生产能力等难于确定的参数看成是模糊参数，并进一步讨论了如何将模型中的机会约束清晰化、文中还讨论了采用启发式算法同分枝定界法相结合以提高问题的求解速度.

关键词：供应链；分销网络；模糊机会约束规划
文献标识码：A

Fuzzy Chance Constrained Programming Model for Bi-level Distribution Network Design in the Supply Chain

ZHAO Xiaoyu　and　WANG Dingwei
(School of Information Science and Engineering, Northeastern University · Shenyang, 110006, P.R.China)

Abstract: A fuzzy chance constrained programming model for bi-level distribution network design in the supply chain is put forward, in which both customers' demands for products and production capacity of branch plants are treated as fuzzy parameters. The way to convert chance constraints to their respective crisp equivalents is also discussed. To speed up the process of solving the problem, a heuristic algorithm is hybridized with conventional branch-and-bound method.

Key words: supply chain; distribution network; fuzzy chance constrained programming

1　引言(Introduction)

在传统制造环境下的供应链管理中，重点考虑的是对采购和制造环节的管理.进入 80 年代，供应链的重心正逐渐向需求侧转移，供应链表现为由市场和客户需求驱动的"需求链".在面向客户的制造业环境中，企业的驱动力已由生产转向通过分销和服务提供的附加值.因此，合理地建立分销网络，加强对分销环节的管理，是在当前客户驱动的竞争环境下，提高客户满意度，增强企业竞争力的重要途径.在对分销网络进行设计和重组的过程中，定量模型得到了广泛的应用[1~3]，其形式主要为确定性混合整数规划模型.但实际上，此类问题中有些参数往往是难于确定的，一种解决方法是将这类参数看成是模糊参数.

本文根据 Zadeh 的可能性理论[4,5]，在 Liu 和 Iwamura工作的基础上[6,7]，提出了带有模糊参数的二级分销网络设计的模糊机会约束规划模型，并讨论了通过对模糊约束的清晰化，将模型转化成确定性模型.同时还提出了将启发式算法与分枝定界法相结合以提高模型求解的速度.

2　数学模型(Mathematical model)

二级分销网络是制造企业中最具代表性的分销组织形式，下面对二级分销网络的建立问题加以描述：具有分布式多工厂的某制造企业在各地共设有 N 个分厂.该企业共有 M 个需求地，考虑在这些需求地中选择若干个建立大型分销中心，而在没有被选为分销中心的需求地建立小型分销点，且每个分销点只能由一个分销中心供货.这是一个由分销中心和分销点构成的二级分销网络的建立问题，必须确定：1）选择哪些需求地建立分销中心，每个分销中心负责为哪些分销点供货；2）各分销中心由哪些分厂供货，如何安排运输流.设计分销网络所追求的目标是使在计划期内建立分销网络所需的固定费用及产品的运输费用的总和最小.

以往人们在进行分销网络设计时，一般采用确定性的定量模型来描述问题，即模型中的参数均为确定的数值.但实际上有些参数，如产品需求量，往往难于确定，所以人们通常使用"需求量在 a 吨左

* 基金项目：国家 863 计划 CIMS 主题(863-511-844-011)和国家自然科学基金(68694005)资助项目.
收稿日期：2000-03-31；收修改稿日期：2001-01-10.

右"这样的模糊语言,因而在建模时将其作为模糊参数更符合实际情况.在本文中,对产品需求量和各分厂的生产能力均看成是模糊数.

对于模糊规划有不同的定义方法[5,8],本文把带有模糊参数的数学规划称为模糊规则.在企业总的生产能力可以满足市场总需求的前提下,给出如下二级分销网络设计的模糊线性规划模型(用FLP表示).

$$[\mathrm{FLP}]: \min\Big(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} C_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{M}[S_j y_{jj} + W_j(1-y_{jj})] + \sum_{j=1}^{M}\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{M} T_{jk}\tilde{D}_k y_{jk}\Big), \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{M} x_{ij} \leqslant \tilde{P}_i,\ i = 1,\cdots,N, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{M} y_{jk} = 1,\ k = 1,\cdots,M, \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{M} y_{jk} \leqslant (M-1)y_{jj},\ j = 1,\cdots,M, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} \cong \sum_{k=1}^{M} y_{jk}\tilde{D}_k,\ j = 1,\cdots,M, \quad (5)$$

$$x_{ij} \geqslant 0,\ y_{jk} \in \{0,1\},\ \forall i,j,k. \quad (6)$$

模型中符号的意义如下.

下标:

i:分厂序号;j,k:需求地序号.

决策变量:

x_{ij}:由第 i 个分厂到第 j 个需求地的货运量;

y_{jj}:0-1变量,表示第 j 个需求地是否被选为分销中心(1—选,0—不选)$(1-y_{jj})$ 则表示第 j 个需求地是否建立分销点;

y_{jk}:0-1变量$(j \neq k)$,表示是否由第 j 个需求地(必须是分销中心)向第 k 个需求地(分销点)运送货物.

常数:

C_{ij}:产品由第 i 个分厂到第 j 个需求地的单位运价;

T_{jk}:产品由第 j 个需求地到第 k 个需求地的单位运价;

S_j:在第 j 个需求地建立分销中心所需的固定费用;

W_j:在第 j 个需求地建立分销点所需的固定费用;

$\tilde{P}_i$:第 i 个分厂的模糊生产能力;

$\tilde{D}_k$:第 k 个需求地的模糊需求量.

约束条件(2)表示在计划期内各分厂的总供货量不应超过其生产能力;约束(3)表示一个需求地或者被选为分销中心,或者作为分销点并由某一被选为分销中心的需求地供货;约束(4)保证了只有被选为分销中心的需求地,才能向其它的需求地供货;约束(5)表示各分厂对某分销中心的供货量应满足由该分销中心供货的各个需求地(含本地)的总需求.

在本文中,分别用三角模糊数$(D_{k1}, D_{k2}, D_{k3})$$(k = 1,\cdots,M)$和$(P_{i1}, P_{i2}, P_{i3})$$(i = 1,\cdots,N)$来表示各地对产品的模糊需求量 $\tilde{D}_k$ 和各分厂的模糊生产能力 $\tilde{P}_i$.由于存在模糊参数,使目标函数(1)和约束条件(2)、(5)均没有明确的意义.在Liu和Iwamura工作的基础上[6,7],将模型FLP进一步表示成如下的机会约束规划模型(用FCCP表示).

$$[\mathrm{FCCP}]: \min \bar{f} \quad (7)$$

s.t.

$$\mathrm{Pos}\Big\{[h_0(x_{ij}, y_{jj}) + \sum_{j=1}^{M}\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{M} T_{jk}\tilde{D}_k y_{jk}] \leqslant \bar{f}\Big\} \geqslant \alpha, \quad (8)$$

$$\mathrm{Pos}\Big\{\sum_{j=1}^{M} x_{ij} \leqslant \tilde{P}_i\Big\} \geqslant \beta,\ i = 1,\cdots,N, \quad (9)$$

$$\mathrm{Pos}\Big\{\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = \sum_{k=1}^{M} y_{jk}\tilde{D}_k\Big\} \geqslant \gamma,\ j = 1,\cdots,M. \quad (10)$$

其它约束同模型FLP中的(3)、(4)和(6).

其中,$h_0(x_{ij}, y_{jj}) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} C_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{M}[S_j y_{jj} + W_j(1-y_{jj})]$. $\mathrm{Pos}\{\cdot\}$表示$\{\cdot\}$中事件成立的可能性.模型中目标机会约束(8)表示所求的目标值 $\bar{f}$ 应该是在保证置信水平至少是 α 时所取的最小值;机会约束(9)和(10)表示约束得到满足的可能性至少应达到给定的置信水平 β 和 γ.

3 模糊约束的清晰化(Crisp equivalents of fuzzy constraints)

求解模糊机会约束规划的一种方法是把各机会约束转化为相应的清晰等价类.参考文献[5]和[6],给出如下的可能性定义.

$$\mathrm{Pos}\{\tilde{r} \leqslant z\} = \sup\{\mu_{\tilde{r}}(x) \mid x \in \mathbb{R}, x \leqslant z\}, \quad (11)$$

$$\mathrm{Pos}\{\tilde{r} \geqslant z\} = \sup\{\mu_{\tilde{r}}(x) \mid x \in \mathbb{R}, x \geqslant z\}, \quad (12)$$

$$\mathrm{Pos}\{\tilde{r} = z\} = \mu_{\tilde{r}}(z). \quad (13)$$

其中,z 是FCCP模型中决策变量的函数.下面对

FCCP模型中的几类机会约束的清晰化分别加以讨论.

情况Ⅰ 对于模糊目标机会约束(8),因为 $\tilde{D}_k$ 均为三角模糊数,又因为 $y_{jk}\geq 0$,根据三角模糊数的加法和乘法运算,等式左边中括号内的表达式仍为三角模糊数,可表示成

$$\Big(h_0(x_{ij},y_{jj})+\sum_{j=1}^{M}\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{M}T_{jk}y_{jk}D_{k1},$$
$$h_0(x_{ij},y_{jj})+\sum_{j=1}^{M}\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{M}T_{jk}y_{jk}D_{k2},$$
$$h_0(x_{ij},y_{jj})+\sum_{j=1}^{M}\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{M}T_{jk}y_{jk}D_{k3}\Big).$$

为将(8)清晰化,给出如下引理.

引理1 设三角模糊数 $\tilde{r}$ 为 (r_1,r_2,r_3),其隶属函数以 $\mu_{\tilde{r}}(x)$ 表示,则对任意给定的置信水平 $\alpha(0\leq\alpha\leq 1)$,当且仅当 $z\geq(1-\alpha)r_1+\alpha r_2$ 时,有 $\mathrm{Pos}\{\tilde{r}\leq z\}\geq\alpha$ 成立.

证 由定义(11)可知,若 $\mathrm{Pos}\{\tilde{r}\leq z\}\geq\alpha$ 成立,则必有 $\sup\{\mu_{\tilde{r}}(x)\mid x\in\mathbb{R},x\leq z\}\geq\alpha$.由此可知必有 $z\geq K_\alpha$(其中 $K_\alpha=\inf\{K\mid K=\mu_{\tilde{r}}^{-1}(\alpha)\}$).对于三角模糊数,有 $(K_\alpha-r_1)/(r_2-r_1)=\alpha\Rightarrow K_\alpha=(1-\alpha)r_1+\alpha r_2$,因此有 $z\geq(1-\alpha)r_1+\alpha r_2$. 证毕.

由引理1可知,目标机会约束(8)可转化为如下的清晰等价类.

$$h_0(x_{ij},y_{jj})+\sum_{j=1}^{M}\sum_{\substack{k=1\\k\neq j}}^{M}T_{jk}y_{jk}[(1-\alpha)D_{k1}+\alpha D_{k2}]\leq\bar{f}. \tag{14}$$

情况Ⅱ 约束(9)是具有 $\mathrm{Pos}\{z\leq\tilde{r}\}\geq\beta$ 形式的模糊机会约束,为将其清晰化,给出如下引理.

引理2 设三角模糊数 $\tilde{r}$ 为 (r_1,r_2,r_3),则对任意给定的置信水平 $\beta(0\leq\beta\leq 1)$,当且仅当 $z\leq(1-\beta)r_3+\beta r_2$ 时,有 $\mathrm{Pos}\{z\leq\tilde{r}\}\geq\beta$ 成立.

证 由定义(12),参考引理1的证明过程,易于证明本引理.

由引理2可知,约束(9)可以转化为如下的清晰等价类

$$\sum_{j=1}^{M}x_{ij}\leq(1-\beta)P_{i3}+\beta P_{i2}. \tag{15}$$

情况Ⅲ 对于模糊机会约束(10),由情况Ⅰ的讨论可知 $\sum_{k=1}^{M}y_{jk}\tilde{D}_k(j=1,\cdots,M)$ 仍为三角模糊数,可表示为 $(\sum_{k=1}^{M}y_{jk}D_{k1},\ \sum_{k=1}^{M}y_{jk}D_{k2},\ \sum_{k=1}^{M}y_{jk}D_{k3})$,为将(10)清晰化,给出如下引理.

引理3 设三角模糊数 $\tilde{r}$ 为 (r_1,r_2,r_3),则对任意给定的置信水平 $\gamma(0\leq\gamma\leq 1)$,当且仅当

$$\begin{cases}z\geq(1-\gamma)r_1+\gamma r_2,\\ z\leq(1-\gamma)r_3+\gamma r_2\end{cases}$$

时,有 $\mathrm{Pos}\{\tilde{r}=z\}\geq\gamma$ 成立.

证 由定义(13)可知,若 $\mathrm{Pos}\{\tilde{r}=z\}\geq\gamma$,必有 $\mu_{\tilde{r}}(z)\geq\gamma$,则 z 必在 $\tilde{r}$ 的 γ 水平截集内.$\tilde{r}$ 的 γ 水平截集为 $[(1-\gamma)r_1+\gamma r_2,(1-\gamma)r_3+\gamma r_2]$.必有

$$\begin{cases}z\geq(1-\gamma)r_1+\gamma r_2,\\ z\leq(1-\gamma)r_3+\gamma r_2.\end{cases}$$

证毕.

由引理3可知,约束(10)可以转化为如下的清晰等价类

$$\begin{cases}\sum_{i=1}^{N}x_{ij}\geq\sum_{k=1}^{M}y_{jk}[(1-\gamma)D_{k1}+\gamma D_{k2}],\\ \sum_{i=1}^{N}x_{ij}\leq\sum_{k=1}^{M}y_{jk}[(1-\gamma)D_{k3}+\gamma D_{k2}].\end{cases} \tag{16}$$

由上面的讨论可知,在将产品需求和生产能力均看成是隶属函数已知的三角模糊数的前提下,FCCP模型中的模糊机会约束均可转化为各自的清晰等价类,该模型转化为确定性模型.下面讨论清晰化后模型的求解.

4 模型求解(Solving problem)

分枝定界法是求解(混合)整数规划的重要方法.通过对分枝定界法的分析可知:对于目标函数极小化的问题,若在求解前能获得一个较佳(较小)的上界,则可在求解过程中减少分枝数和迭代次数,从而提高求解的效率.由模型中约束条件(3)、(4)可知,可行的 y_{jj} 和 y_{jk} 是容易获得的.在确定了 y_{jj} 和 y_{jk} 后,原问题简化为关于变量 x_{ij} 的运输问题,并且对于 $j\in\{j\mid y_{jj}=0,\forall j\}$,有 $x_{ij}=0(\forall i)$,可以利用已知方法来求解.因此,在求解模型时,考虑先用启发式搜索获得较佳的可行解和目标值,并以该目标值作为分枝定界法的上界,以提高求解效率,算法如下.

步1:初始化,置循环计数 $r=1$.

步2:根据约束条件(3)和(4),产生新的可行的 y_{jj} 和 y_{jk}.在产生 y_{jj} 和 y_{jk} 的过程中,加入启发式信息,即选择到各分厂的运费较低的需求地作为分销中心.在确定了分销中心后,选择到各分销中心的运费较低的需求地作为各分销中心分管的分销点.

步3:利用伏格尔法求解相应的简化运输问题,

得到$(x_{ij})_r$和目标函数值$\bar{f}_r$;置$r = r + 1$.

步4: 若$r \leqslant R$,转步2;否则,转步5.

步5: 取$f = \min(\bar{f}_r)(r = 1,\cdots,R)$.

步6: 以f为上界,利用分枝定界法求解模型.

步7: 输出最优解和目标函数值.

由于该算法是根据问题特点而设计的,所以对于此类问题有很好的求解效率.利用上述算法计算了大量的数值例子,取得了满意的结果.

5 结束语(Conclusion)

针对分销网络设计问题中某些参数难于确定这一特点,本文提出了供应链中二级分销网络的模糊机会约束规划模型,目的是使此类问题的描述与实际情况更为接近.而启发式算法同分枝定界法相结合,是在合理的时间内求得此类问题最优解的一种有效的途径.

参考文献(References)

[1] Brown G G, Graves G W and Honczarenko M D. Design and operation of a multicommodity production/distribution system using primal goal decomposition [J]. Management Science, 1987,33(11):1469 - 1480

[2] Geoffrion A M and Graves G W. Multicommodity distribution system design [J]. Management Science, 1974,20(5):822 - 844

[3] Van Roy T J. Multi-level production and distribution planning with transportation decision fleet optimization [J]. Management Science, 1989,35(12):1443 - 1453

[4] Zadeh L A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1978,1(1):3 - 28

[5] Fang Shucheng and Wang Dingwei. Fuzzy Mathematics and Fuzzy Optimization [M]. Beijing: Science Press, 1997,263 - 264 (in Chinese)

[6] Liu Baoding and Zhao Ruiqing. Stochastic Programming and Fuzzy Programming [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998,164 - 172 (in Chinese)

[7] Liu Baoding and Iwamura K. Chance constrained programming with fuzzy parameters [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1998,94(2):227 - 237

[8] Delgado J L and Verdegay M A. A general model for fuzzy linear programming [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989,29(2):21 - 29

本文作者简介

赵晓煜 1972年生.分别于1993年,1996年在东北大学自动控制系获学士和硕士学位.现为东北大学系统工程系博士研究生.主要研究方向为供应链管理,智能化优化方法等. Email: zhaoxymail@mail.china.com

汪定伟 见本刊2002年第2期第238页.

(上接第248页)

参考文献(References)

[1] Banksb S P. Control System Engineering [M]. London: Prentice-Hall Int. Ltd.,1986

[2] Hu Yueming and Zhou Qijie. Variable Structure Control Systems with Distributed Parameters [M]. Beijing: National Defense Industrial Press, 1996

[3] Malek M and Jamashidi M. Time-Delay Systems, Analysis, Optimization and Applications [M] North-Holland, 1987

[4] Hu Yueming and Zhou Qijie. Variable structure control of control systems with delay [J]. Acta Automatica Sinca, 1991,17(5):587 - 591

[5] Zheng Feng, Cheng Mian and Gao Weibing. Variable structure control of time-delay systems [J]. Control Theory and Applications, 1994,11(3):294 - 302

[6] Yue Dong and Liu Yongqing. New design method of variable structure control of delay systems [J]. Control and Decision, 1994,9(4):311 - 314

[7] Jafari Koshkouei A and Zinober A S I. Sliding mode time-delay systems [R]. IEEE Workshop on Variable Structure Systems [M]. Sheffield S10 2TN, UK, 1996

[8] Gao Weibing. Theory and Design Methods of Variable Structure Control [M]. Beijing: Science Press, 1998

本文作者简介

蔡国平 1965年生.1987年于太原重型机械学院本科毕业.1993年在洛阳工学院机械制造专业取得硕士学位.2000年在西安交通大学工程力学系获工学博士学位.现在上海交通大学工程力学系博士后流动站工作.主要研究方向为结构主动控制. Email: caigp@263.net

黄金枝 1941年生.教授.博士生导师.现在上海交通大学建筑工程与力学学院从事科研工作,并任上海建通监理公司总经理.研究兴趣为结构主动控制.