

供应链中二级分销网络的优化设计模型¹

赵晓煜, 汪定伟

(东北大学信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘要:从供应链的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。模型体现了在设计分销网络时,根据制造企业各分厂的生产能力和各客户区(需求地)对不同产品的需求情况,合理的将对产品的需求分配到各个分厂,制定相应的生产计划,以降低生产和分销环节的总费用。文中还讨论了采用启发式算法同传统的分枝定界法相结合以提高问题的求解速度,并给出了一个数值例子。

关键词:供应链; 需求分配; 分销网络

中图分类号: F410

文献标识码: A

文章编号: 1007-9807(2001)04-0022-05

0 引言

面对日益增加的竞争压力和多样化的市场需求,随着市场的全球化趋势,制造企业逐渐形成了多供应商、多地点制造、多客户的新的供应链模式。

供应链主要包括三个阶段,即采购、制造和分销。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^[1]。因此,合理的建立分销网络,加强对分销环节的管理,是在当前客户驱动的竞争环境下,提高客户的满意度,增强企业竞争力的重要途径。

由于供应链管理的复杂性,在早期对供应链进行优化的过程中,一般是将供应链的三个阶段分别加以研究,并以足够的库存作为各阶段之间的缓冲。但随着研究的深入,人们认识到如果对供应链的各个阶段加以集成和协调,将会明显的降低整个供应链的运营费用,提高客户服务水平,从

而增强企业的竞争力^[2]。

本文提出了分布式制造企业的二级分销网络的优化设计模型,体现了在分销网络的设计过程中,同时考虑将产品需求合理的分配到企业的各个分厂,制定相应的生产计划,使分销网络的结构与企业的生产能力分布相协调,以降低生产和分销环节的总费用。

1 数学模型

市场分销渠道决策是企业管理部门面临的最重要的决策之一,一个企业的渠道决策直接影响到其他每一个市场营销决策。

制造企业建立分销渠道的途径主要包括通过中间分销商销售和建立企业自己的分销网络两种^[3]。企业在建立分销网络时往往将这两种方式相结合。由于建立企业自己的分销网络具有便于管理、可加快企业对市场需求变化的响应速度等优点,所以对于有较强经济实力的企业来说,通常重点考虑自建分销网络。

随着市场的全球化趋势,制造企业必须为地理上分散的多个客户提供产品和服务;由

¹ 收稿日期:2000-03-29;修订日期:2000-12-06。

基金项目:国家863计划CIMS主题资助项目(863-511-844-011);国家自然科学基金资助项目(68694005)。

作者简介:赵晓煜,1973-11,男,博士生。

于用户需求的多样性, 必须制造用以满足用户需求的多种产品; 为了加快响应速度, 往往建立多个分厂。下面对分布式多工厂、多产品、多客户环境下制造企业的二级分销网络设计问题加以描述。

具有分布式多工厂的某制造企业在各地设有多个分厂, 各分厂可生产该企业产品集合中的某些产品。该企业有多个需求地, 为加强对分销环节的管理, 考虑在这些需求地中选择一些建立大型分销中心(以下简称分销中心), 而在没有被选为分销中心的需求地建立小型分销点(以下简称分销点), 并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, 如图 1 所示。

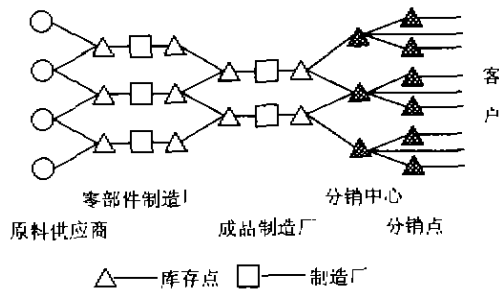


图 1 供应链中的二级分销网络

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) 如何根据需求情况合理的安排各分厂的生产, 即确定各分厂生产产品的种类和数量, 同时决定如何安排运输流。

下面给出考虑需求分配的二级分销网络的优化设计模型, 这也可以看成是一类选址—分配(LA)问题。(以 LAMIP 表示)

[LAMIP]

$$\min \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} + \sum_{i=1}^I \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K b_{ilk} x_{ilk} + \sum_{k=1}^K [S_k y_k + W_k (1 - y_k)] + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L e_{ilk} d_{lj} z_{kl} \right) \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^J \left(c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} \right) \leq P_i \quad (i = 1, \dots, I) \quad (2)$$

$$y_k + \sum_{l=1}^L z_{kl} = 1 \quad (l = 1, \dots, L) \quad (3)$$

$$N_{\min, Y_k} \leq \sum_{l=1, l \neq k}^L z_{kl} \leq N_{\max, Y_k} \quad (k = 1, \dots, K) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ijk} = d_{kj} y_k + \sum_{l=1, l \neq k}^L d_{lj} z_{kl} \quad (j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K) \quad (5)$$

$$x_{ijk} \geq 0, z_{kl}, y_k \in \{0, 1\} \quad (\forall i, j, k, l) \quad (6)$$

模型中符号的意义,

下标:

i —— 分厂序号, $i \in \{1, 2, \dots, I\}$

j —— 产品序号, $j \in \{1, 2, \dots, J\}$

k, l —— 需求地序号, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$

$l \in \{1, 2, \dots, L\}$

决策变量:

x_{ijk} —— 由第 i 个分厂向第 k 个需求地(必须是分销中心)运送的第 j 种产品的数量

y_k —— 0-1 变量, 表示第 k 个需求地是否被选为分销中心(1—选, 0—不选), $(1 - y_k)$ 则表示第 k 个需求地是否建立分销点

$z_{kl}, k \neq l$ —— 0-1 变量, 表示是否由第 k 个需求地(必须是分销中心)向第 l 个需求地(分销点)运送货物

常数:

a_{ij} —— 第 i 个工厂生产第 j 种产品的单位成本

b_{ilk} —— 第 j 种产品由第 i 个分厂到第 k 个需求地的单位运费

c_{ij} —— 第 i 个分厂生产第 j 种产品相对于生产基准产品的占用生产能力系数

e_{ilk} —— 第 j 种产品由第 k 个需求地到第 l 个需求地的单位运费

d_{lj} —— 第 l 个需求地对第 j 种产品的需求量

S_k —— 计划期内在第 k 个需求地建立和经营分销中心所需的固定费用

W_k —— 计划期内在第 k 个需求地建立和经营分销点所需的固定费用

P_i —— 第 i 个分厂基准产品的生产能力

N_{\min} —— 各分销中心分管的分销点数量的下限

N_{\max} —— 各分销中心分管的分销点数量的上限

按如下方法确定参数 c_{ij} 。假设选定第 m ($m \in \{1, \dots, J\}$) 种产品为基准产品, 已知在计

划期内第 i 个分厂若只生产第 m 种产品, 生产能力为 $P(m)$, 即 $P_i = P(m)$; 只生产第 n ($n \in \{1, \dots, J\}$, 且 $n \neq m$) 种产品, 生产能力为 $P(n)$, 则有 $c_{im} = 1, c_{in} = P(m)/P(n)$.

目标函数(1)表示在设计分销网络时, 使在计划期内建立和经营分销网络所需的固定费用以及产品的生产和运输费用的总和最小.

约束条件(2)表示在计划期内各分厂生产的各种产品的总和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; 并且限定了每个分销中心负责分管的分销点数量的上下限; 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)对各种产品的总需求.

这是一类选址—分配(location-allocation)问题, 但与传统的 LA 问题^[1-8]相比有所不同: 1) 选址, (这里是选择分销中心)是在地理位置已知的待选需求地中进行选择. 2) 分配, 是围绕分销中心的双向分配问题. 在确定分销中心时, 既需要将分销点分配到分销中心, 也需要将需求分配到各生产厂. 模型的形式为混合 0-1 整数规划模型.

2 模型的求解

对于大型分布式制造企业来说, 上面讨论的模型往往具有数千个变量和数百个约束条件, 是大规模的混合 0-1 整数规划模型, 下面讨论如何对该模型进行求解.

混合整数规划模型是在供应链设计及重组过程中一种被经常采用的定量模型, 在早期的研究中, 由于受计算能力的限制, 分解算法的研究和应用十分广泛. 即将大规模的混合整数规划模型在迭代求解的过程中分解成易于求解的小规模问题. Geoffrion 和 Graves 讨论了用 Benders 分解方法求解他们提出的混合整数规划形式的分销网络设计模型^[9]; 而 Brown 则提出了用 Primal 目标分解方法求解生产—分销网络的综合设计问题^[10].

Arntzen 建立了用于描述 DEC 公司供应链决策的大规模混合整数规划模型, 并且讨论了用

几种非传统的方法对该模型进行求解. 这些方法包括: 弹性约束法, 行分解方法, 串行问题求解方法, 弹性分枝枚举法. 研究结果证明, 以上几种方法相结合, 可在较短的时间内以较高的精度完成对该模型的求解^[11].

Van Roy 提出了某石化公司的生产和分销网络设计模型, 并且讨论了用一种数学规划求解软件——MPSARX 来求解该问题. 通过模型预处理及加入基于多项式理论的强截枝条件等方法来提高分枝定界法的求解效率. 实际运算结果表明, 采用上述方法可以在合理的时间内完成对模型的求解^[12].

由 Land Doig 和 Dakin 等人提出的分枝定界法, 因其方法灵活且便于计算机求解, 已经成为求解整数规划的重要方法. 但在求解规模较大的问题时, 其计算工作量相当可观, 有时很难在合理的时间内求得最优解. 为了提高求解的速度和效率, 各种近似算法和启发式算法得到了广泛的应用, 但利用这些方法求得的结果只是近优解. 因此, 我们在求解上述模型时, 考虑将传统的分枝定界法同启发式算法相结合, 以提高模型的求解速度.

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, 截枝的条件是当前分枝无解或其目标值不优于与当前的上界. 若在求解前能获得一个较佳(较小)的上界, 则可在求解过程中尽早的截去不可能产生更优解的分枝. 这样能显著的减少分枝数和迭代次数, 从而提高求解的效率. 通过对 LAMIP 模型中限制变量 y_k 和 z_k 取值的约束条件(3)和(4)的分析可知, 可行的 y_k 和 z_k 是容易获得的. 在确定了 y_k 和 z_k 后, LAMIP 简化成关于变量 x_{ij} 的运输问题, 并且有 $x_{ij} = 0$ ($k \in K, \forall i, j$), 其中集合 $K = \{k | y_k = 0\}$. 模型中的待求决策变量大为减少, 并且可以利用已知方法(如表上作业法)来求解.

因此, 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的上界, 以提高求解效率.

具体的步骤如下.

step1 通过启发式搜索获得模型的近优解
for($r = 1; r \leq R; r++$) //
 R 为终止步数

;

1. 根据约束条件(3)和(4),产生可行的 y_r 和 z_{rj} ;

在产生 y_r 和 z_{rj} 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.

2. 确定 y_r 和 z_{rj} 后,原问题简化为运输问题,利用伏格尔法求解,得到 c_{rj} 和目标函数值 f_r ;

step2 取 $\bar{f} = \min(f_r) \quad (r = 1, \dots, R)$.

step3 以 \bar{f} 为上界,利用分枝定界法求解 LAMIP 模型.

step4 输出最优解和目标函数值.

利用 Visual C++ 6.0 开发出基于上述方法

的分销网络优化计算软件包,计算了大量的数值例子,并同采用了其他求解方法的软件包进行了比较.结果表明:同直接采用分枝定界法的软件包(由 Frontline Systems 公司的 John Watson 和 Dan Fylstra 开发)相比,本文提出的方法的平均求解时间可减少 70% 左右;与前面提到的 MPSARX 软件包^[12]相比平均求解时间减少 10% 左右.通过比较可以看出:由于该算法是针对问题特点而设计的,因此对于此类问题有更高的求解效率.

3 数值例子

某制造企业有 3 个分厂 ($I = 3$),该企业的两种主要产品 ($J = 2$) 可以在任一分厂加工制造,共有 10 个需求地 ($K = L = 10$),模型中数据如下:

表 1 各分厂到各需求地的运输费用 b_{rjk} (斜杠前后分别为 $j = 1$ 和 $j = 2$ 的运输费用)

$k \backslash k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	115/138	190/228	330/396	250/300	210/252	210/252	230/276	200/312	310/372	350/420
2	320/384	280/336	170/204	190/228	230/276	290/348	350/420	240/288	150/180	90/108
3	270/324	330/396	370/444	290/348	230/276	270/324	130/156	155/186	215/258	270/324

表 2 各需求地之间的运输费用 c_{jk}

$k \backslash k$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	70/84	200/240	140/168	100/120	110/132	160/192	155/186	195/234	240/288
2	70/84	0	135/152	80/96	85/102	140/168	205/246	150/192	165/198	190/228
3	200/240	135/152	0	75/90	140/168	210/252	285/342	190/228	130/156	105/126
4	140/168	80/96	75/90	0	70/84	140/168	210/252	130/156	95/114	110/132
5	100/120	85/102	140/168	70/84	0	70/84	145/174	80/96	95/114	145/174
6	110/132	140/168	210/252	140/168	70/84	0	75/90	60/72	130/156	190/228
7	160/192	205/246	285/342	210/252	115/174	75/90	0	110/132	290/348	255/306
8	155/186	160/192	190/228	130/156	80/96	60/72	110/132	0	85/102	150/180
9	195/234	165/198	130/156	95/114	95/114	130/156	290/348	85/102	0	65/78
10	240/288	190/228	105/126	110/132	145/174	190/228	255/306	150/180	65/78	0

表 3 计划期内在各需求地建立和经营分销机构所需的固定费用

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_k	60 000	70 000	60 000	40 000	45 000	72 000	64 000	58 000	47 000	62 000
W_k	12 000	14 000	12 000	8 000	9 000	10 400	12 800	11 600	9 400	12 400

表 4 基准产品生产能力和 P_i

i	$j = 1$
1	12 000
2	8 800
3	13 800

表 5 产品的单位生产成本 a_{ij}

$i \backslash j$	1	2
1	500	550
2	480	590
3	517	600

表 6 生产能力系数 α_{ij}

$i \backslash j$	1	2
1	1	1.1
2	1	1.3
3	1	1.2

* 在本例中,选择第一种产品作为基准产品,即 $c_{11} = 1 (i = 1, 2, 3)$.

表 7 各需求地对各种产品的需求量 $d_{ij}(i=1, \dots, 10, j=1, 2)$

$i \setminus j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1 700	3 000	1 500	900	2 100	570	890	1 230	1 600	490
2	1 500	3 100	1 380	1 000	2 300	420	1 020	880	1 270	670

取 $N_{min} = 2, N_{max} = 3$; 即每个分销中心分管的分销点最少为 2 个, 最多为 3 个。

利用前述改进的分枝定界法求解该问题, 得到问题的解如下: 目标函数的最优值为: $f^* = 20\ 657\ 786.92$ 。表 8 和表 9 给出了决策变量的最优解。

表 8 结构变量的最优解

y_1	y_8	y_{10}	z_{12}	z_{13}	z_{35}	z_{36}	$z_{5,7}$	$z_{7,8}$	$z_{7,9}$	其它 0-1 变量
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

表 9 产品分配变量 x_{ij} 的最优解

x_{111}	x_{112}	$x_{1,2,3}$	$x_{2,3,10}$	x_{315}	x_{326}	$x_{5,7,8}$	其它 x_{ij}
5 590	5 620	4 490	4 064.6	3 900	3 600	237.4	0

根据计算结果, 在第 1、8、10 号需求地建立分销中心, 而在 2、3、4、5、6、7、9 号需求地建立分销点。1 号需求地分管 2、7 号需求地; 8 号需求地分管 5、6 号需求地; 10 号需求地分管 3、4、9 号需求地。并按照计算结果安排生产和运输。

4 结论

本文提出的考虑需求分配的分销网络的优化设计模型, 是期望能对供应链的生产和分销环

节加以集成和协调, 以降低生产和分销环节的总费用。

对供应链的各个阶段加以集成和协调, 可以从整体上优化物流和资金流, 提高供应链的效率。随着信息技术的飞速发展, 为改善供应链中的信息流, 并对供应链加以集成和协调提供了技术上的有力支持。同时, 计算技术与方法的日益进步, 为以合理的代价求解大规模复杂的模型提供了可能。

参 考 文 献:

- [1] Davis T. Effective supply chain management [M]. Sloan Management Review, Summer 1993, 35-46
- [2] Burns L D, Hall R W, Blumenfeld D E, et al. Distribution strategies that minimize transportation and inventory cost [J]. Operations Research, 1985, 33(3): 469-490
- [3] Cohen M A, Lee H L. Strategic analysis of integrated production-distribution system: Model and methods [J]. Operations Research, 1988, 36(2): 216-228
- [4] Douglas J T, Paul M G. Coordinated supply chain management [J]. European Journal of Operational Research, 1996, 94: 1-15
- [5] [美] Kotler P, Armstrong G 著. 营销学导论 [M]. 俞利军译. 北京: 华夏出版社, 1997, 484-186
- [6] Cooper L. Location-allocation problems [J]. Operation Research, 1963, 11(2): 331-343
- [7] Daskin M S, Jones P C. A new approach to solving applied location/allocation problems [J]. Micro-computers in Civil Engineering, 1993, 8: 409-421
- [8] Francis R, White J. Facility layout and location: An analytical approach [M]. New York: Prentice Hall Press, 1974
- [9] Geoffrion A M, Graves G W. Multicommodity distribution system design [J]. Management Science, 1974, 20(7): 822-844
- [10] Brown G G, Graves G W, Henczarenko M D. Design and operation of a multicommodity production/distribution system using primal goal decomposition [J]. Management Science, 1987, 33(11): 1469-1480

(下转至第 72 页)

avior And Organization, 1994, 35(2):239-242

- [7] 国家统计局和国家科委. 中国科技统计年鉴[R]. 北京: 中国统计出版社, 1996, 121-142
- [8] Liu Guoxin, Wan Junkang. The Incentive to Innovation and R&D Spillover. Paper of ISMOT, International Academic Publishers, 1998, 121-126
- [9] Liu Guoxin, Wan Junkang. Discuss on the innovation mix [R]. The Paper of '97 International Conference on Management Science & Engineering, Harbin Institute of Technology Press, 1997, 659-665
- [10] 刘国新, 万君康. 产业组织对技术创新行为与绩效的影响分析[J]. 经济理论与经济管理, 1995, (5): 31-34

Relativity between R&D investment and scale of firms

LIU Guo-xin, LI Bo

The Business School, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China

Abstract: Based on the achievements acquired by scholars worldwide in research on the relativity between R&D investment and firm's scale, this paper establishes a distinctive and synthetic index, called "Relative Elasticity of R&D Expenditure". Thereby, this paper analyses deeply the relation between R&D investment intensity and scale of firms in USA, China and Wuhan, compares their similarities and differences of R&D department in large and medium-sized firms, and then draws strongly explanatory conclusions.

Key words: elasticity of R&D expenditure; scale of firms; R&D intensity

(上接第26页)

- [11] Arntzen B C, Brown C G, Harrison T P, Trafton L L. Global supply chain management at digital equipment corporation [J]. Interface, 1995, 25(11): 69-93
- [12] Van Roy T J. Multi-level production and distribution planning with transportation decision fleet optimization [J]. Management Science, 1989, 35(12): 1443-1453

Optimization model for bi-level distribution network design in supply chain management

ZHAO Xiao-yu, WANG Ding-wei

School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110006, China

Abstract: Distribution channel decision is one of the most important decisions in supply chain management (SCM) because it has direct effects on other marketing decisions. In this paper, from the standpoint of integration and coordination of the supply chain, an optimization model for bi-level distribution network design in which demand allocation is considered is put forward. Demand for products are allocated to branch plants by their respective production capacity and demands of customer zones, productions are planned to reduce the total cost of production-distribution system. To speed up the solution of the problem, a solution method that hybridizes heuristic algorithm with conventional branch-and-bound method is presented. According to the problem's characteristics, a heuristic algorithm is used to find a near optimal solution, then the near optimal solution is used as the upper bound in branch and bound to find optimal solution. At the end of this paper, a numerical example is given.

Key words: supply chain management; demand allocation; distribution network