单产品物流网络系统的联合决策模型①

唐加福[1] , Yung Kai-leung[2] , 刘士新[1]
(1. 东北大学信息科学与工程学院 教育部流程工业综合自动化重点实验室 , 沈阳 110004 ;
2. 香港理工大学工业与系统工程学系 , 香港)

摘要 : 考虑全球制造环境下单产品在多个供应商和多个用户之间的联合物流决策问题 ,包括供应商指定的生产任务、生产批量、供应商和用户之间的年运输量和订货批量. 联合决策过程可以看作是两层决策 ,其中第一层是供应商指定的生产任务和生产批量的联合决策(APLS) ,第二层是运输和订货批量的联合决策(TOQ) . 因此 ,提出了基于两层分解的启发式算法来求解这样的联合决策模型(JDM) . 结合实际例子对模型和算法进行了仿真分析 ,结果证明了基于两层分解的启发式算法的有效性.

关键词 : 联合决策 ; 生产分销合作 ; 启发式算法 ; 两层分解 ; 供应链管理
中图分类号 : O22　**文献标识码** : A　**文章编号** : 1007 - 9807(2005)02 - 0054 - 07

0　引　言

随着网络和信息技术的发展 ,全球制造成为可能而且在不久的将来将成为制造企业的主流模式. 作为全球制造系统的一部分 ,物流网络系统可以看作一个由多个供应商生产多种产品满足多个用户的生产分销网络. 这里的供应商可以是零件加工厂、装配厂或者是仓库 ,用户可以是装配厂、分销中心、零售商、客户. 多年来 ,许多文献单独考虑了经济生产批量、运输批量和订货批量问题. 目前 ,一些学者致力于研究供应链中生产与分销系统的合作[1～4]. 这些研究工作重点集中于生产与运输的联合决策[5～9]、生产与库存的联合决策[2,10]、运输和库存的联合决策[11～13]等. 决策模型分为基于 EOQ[5,6,12,14]和分解方法[2,9,11,17,18]. 由于此类决策问题的特点是规模大 ,决策变量多 ,决策变量之间的相关性强以及非线性关系 ,关于生产、运输、订货批量的联合决策很少考虑;由于此类联合决策问题的大规模、非线性特点 ,其求解算法以追求近似最优为主 ,因而分解算法和启发式算法作为解决此类决策问题的实用算法受到关注和欢迎.

Benjamin[15]假设每个供应商每年的生产量是事先指定的常量 ,讨论了在多生产商/ 多用户的生产 - 分销网络中单个产品的生产、运输和订购批量的联合决策问题 ,使生产、运输和库存总费用最小. 文中分别分析了单供应商/ 单用户和多供应商/ 多用户的情况 ,并提出了一个启发式算法求解这样的非线性优化问题. 在实际的多生产商/ 多用户的生产 - 分销网络中 ,给定每个用户的年需求率 ,每个供应商在其能力范围内每年要生产哪种产品、生产多少来满足需求是一个优化问题 ,而不是预先指定的常量. 在这种环境下 ,问题变得比所讨论的更加复杂[15] ,因为它不仅要考虑每个供应商的生产批量 ,每年运输产品的数量和用户每次向供应商订购的产品数量 ,而且要根据系统的总需求和每个供应商的生产能力 ,考虑每个供应商每年要生产的产品种类及数量. 由于生产批量、每年的运输数量和订购数量依赖于每年分配的生产数

① 收稿日期 : 2003 - 05 - 09 ; 修订日期 : 2004 - 05 - 28.
基金项目 : 国家自然科学基金资助项目(70471028 ; 70301007 ; 70431003) ; 教育部科技研究重点资助项目(104064) ; 教育部优秀青年教师资助计划(2002 - 350) ; 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 ; 辽宁省自然科学基金资助项目(20022019) .
作者简介 : 唐加福(1965 —) ,男 ,湖南东安人 ,博士 ,教授 ,博士生导师.

量,求解过程变得更加复杂. 同时,确定每个供应商生产的产品品种和数量时,不是由其自身的参数来确定,要考虑到供应商与用户之间的运输费用结构和每个用户的需求结构. 这样在建立决策模型时,不能从生产和分销各自的利益角度考虑,需要从集成的角度考虑生产 - 分销系统的总体利益,即从系统的角度考虑系统的总费用最优. 这种运作模式对全球制造企业、分布式企业和虚拟(扩展企业)的生产与分销管理、物料采购与供应具有应用价值.

本文考虑单一产品在一个包括多个供应商、多个用户的物流网络系统中的年生产任务分配、生产批量、运输计划和订购批量的联合决策问题. 目标是在满足各用户需求的情况下,决定各供应商每年生产产品的数量,生产批量以及每年的运输数量和用户向供应商订货批量,使生产 - 分销系统的总费用最小. 这样的物流网络联合决策问题广泛存在于物料订购和生产分销管理的研究领域.

1　问题的描述

在一个包含多个零件加工厂和多个装配厂的全球制造企业里,多个零件加工厂每年生产某种零件供应多个装配厂的需求. 这样的全球制造企业被看作多个供应商、多个用户的生产 - 分销网络. 本文考虑的物流网络系统是一个集成生产与分销网络,包括分布于全球不同区域(地区)的多个供应商以给定的生产率生产某种产品,并供应分布于不同地区具有给定需求率的多个用户.

在实际的生产分销网络里,给定每个用户对某种类产品的年需求,每个供应商在其能力范围内生产多少,如何生产(批量),如何安排每个供应商与用户之间的运输活动,以及每个用户如何向每个供应商订货(批量)以满足系统总的需求和生产、运输的能力平衡,应该是一个生产任务分配、批量确定、运输和订货批量确定的联合决策. 因此,生产 - 分销网络中的集成决策是在满足总需求的情况下,决定供应商每年的生产数量和生产批量,供应商和用户的年运输数量和每次用户向供应商订货的数量,使总费用最小. 考虑的系统总费用包括各供应商的生产和存储费用,各供应商与各用户间的运输费用,各用户的库存和订货费用三大部分.

假设在一个生产 - 分销型物流网络系统中,m 个供应商,生产某种类型的产品来满足 n 个用户. 每一个供应商、用户分别用 i 和 j 表达. 每个供应商的生产能力依赖于他所拥有的机器数量以及每个机器的生产率. 为方便起见,假设每个供应商以给定的生产率生产该产品. 每个用户每年有固定的零件需求,供应商的总能力要大于用户年总需求. 不同的供应商生产相同的零件可能有不同的单位费用.

2　单产品联合决策模型

2.1　参数

H_i ——单位产品在供应点 i 的年库存维持费($/件);

P_i ——供应点 i 年生产率(件);

Q_i ——供应点 i 年生产能力(h);

I_j ——用户 j 订购产品的订货费用($);

G_j ——单位产品在用户 j 的年库存维持费用($/件);

C_{ij} ——从供应点 i 到用户 j 的单位产品运输费用($);

r_i ——产品在供应点 i 的单位生产费用($);

u_i ——在供应点 i 生产单位产品需要的生产能力(h);

K_i ——产品在供应点 i 的生产装设费用($);

D_j ——用户 j 对产品的年需求量(件);

D —— $\sum_j D_j$,产品的年总需求量(件);

2.2　决策变量

z_i ——产品在供应点 i 的生产批量(件);

S_i ——产品在供应点 i 分配的年生产数量(件);

X_{ij} ——用户 j 向供应点 i 每次订购产品的数量(件);

Y_{ij} ——从供应点 i 到用户 j 的年运输产品数量(件);

2.3 单产品联合决策模型建立

系统的总费用包括三部分,即供应商的生产与库存费用、运输费用和用户的订货与库存费用,分别用 F_1、F_2 和 F_3 表示. 对每个供应商来说,由于生产的产品满足多个用户的需求,不同用户的需求率可能有很大差别,其订货批量可能差别很大,这就给供应商的库存计算带来一定困难. 事实上,给定供应商的生产任务分配、生产批量和各用户的订货批量情况下,各供应商的库存随时间变化如锯齿状.

假定产品在生产批量期间允许订货,即一个批量的产品从其生产开始到完成期间是逐件陆续下线,不是一次成型. 可以证明供应商的平均库存费用为 $(1 - S_i/P_i)H_i z_i + (1/2)H_i\sum_j X_{ij}$,其中前一部分是年平均累积库存费用,后一部分是用户的订货平均库存费用. 于是可以得到供应商的生产与库存费用 F_1

$$F_1(S,z,X) = \sum_i [r_i S_i + [1 - S_i/P_i]\cdot H_i z_i + K_i S_i/z_i + (1/2)H_i\sum_j X_{ij}] \tag{1}$$

各供应商到各用户的总运输费用 $F_2(Y)$ 和用户的订货与库存费用 $F_3(X,Y)$ 分别为

$$F_2(Y) = \sum_i\sum_j C_{ij}Y_{ij} \tag{2}$$

$$F_3(X,Y) = \sum_i\sum_j [(1/2)G_j X_{ij} + I_j Y_{ij}/X_{ij}] \tag{3}$$

于是,以总费用最小为目标的单产品生产 - 分销联合决策模型可以描述为如下非线性规划模型(JDM):

$$\mathrm{Min}\ W = F_1(S,z,X) + F_2(Y) + F_3(X,Y) \tag{4}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_i Y_{ij} = D_j \quad \forall j = 1,2,\cdots,n \tag{5}$$

$$\sum_j Y_{ij} = S_i \quad \forall i = 1,2,\cdots,m \tag{6}$$

$$\sum_i S_i = \sum_j D_j = D \tag{7}$$

$$0 \le S_i \le Q_i/u_i \quad \forall i = 1,2\cdots,m \tag{8}$$

$$0 \le z_i \le S_i \quad \forall i = 1,2,\cdots,m \tag{9}$$

$$0 \le X_{ij} \le Y_{ij} \quad \forall i,j \tag{10}$$

其中,式(4) 是最小化整个物流网络中生产、运输和库存总费用. 约束(5) 和(6) 分别代表各用户的需求和运输平衡方程和各供应商的生产和运输平衡方程. 等式约束(7) 表达了生产和需求的平衡方程. 式(8) 是各供应商的生产能力约束. 式(9) 和(10) 表达了决策变量的非负约束和保证生产批量不能超过每年的生产任务和订货数量不能超过每年的运输数量约束.

3 基于启发式的两层分解算法

模型(JDM) 是一个带有分式的既非凸也非凹的非线性规划模型. 可以用传统的非线性规划求解技术求解,例如 GINO、梯度搜索法、高斯牛顿法等,但这些方法只能找到局部最优解,而且随着供应商、用户的增加,决策变量和约束迅速增加,计算和求解过程变得更加复杂和困难. 例如,给出 10 个供应商,50 个用户,模型有 1 100 决策变量,传统的非线性求解技术很难求出最优解. 另外,这个决策问题实际上是生产分配、批量、运输计划和订货批量四个决策子问题的集成问题,所有这些子问题被分为两层,上层是生产分配和批量的确定问题,下层是运输与分配和订货批量子问题. 基于此特点,本文提出基于启发式的两层分解算法求解模型(JDM). 其基本思想是:首先用一个分配启发式求解各供应商的生产分配与批量的联合决策(APLS),然后将确定的生产分配作为常数,代入 JDM 中,变成一个订货批量与运输计划的联合决策,用基于线性规划的迭代启发式求解.

3.1 生产分配和批量确定的联合决策

单产品的生产分配和批量确定的联合决策问题(APLS) 可以表示为

$$\begin{cases} \mathrm{Min}\ TC_1 = \sum_i [r_i S_i + (1 - S_i/P_i)\cdot \\ \qquad H_i z_i + K_i S_i/z_i] \\ \text{s.t.}\quad 式(7)、(8)、(9) \end{cases} \tag{11}$$

APLS 表示在满足用户总需求的情况下,确定每个供应商生产每种产品的数量以及生产批量,使总的生产和库存费用最小. 它可以分解为两个相关的子问题,即分配问题和批量确定问题. 分配问题决定分配供应商的生产任务满足用户需求,批量确定问题是在给定每种产品的生产任务后确定生产批量. 由于 APLS 的目标函数是既非凸、也非凹的非线性规划模型,可以用两步启发式算法来求解. 其基本思想是首先假定每年的生产任务 S_i,通过解无约束非线性优化问题,确定每个供应商对每种产品的生产批量. 然后,通过求解分配问

题确定生产任务. 给定供应商 i 的生产任务分配, 确定最优生产批量为

$$z_i = \begin{cases} \sqrt{K_i S_i / [(1 - S_i/P_i) H_i]} & S_i \neq P_i \\ P_i & S_i = P_i \end{cases} \quad i = 1, 2, \cdots, m \tag{12}$$

约束 (9) 可以等价地表示为: 当 $S_i \neq P_i$ 时

$$K_i \delta_i \le S_i [1 - (S_i/P_i)] H_i \quad \forall i = 1, 2, \cdots, m \tag{13}$$

其中: δ_i 是 0 - 1 变量, 当 $S_i > 0$, $\delta_i = 1$, 当 $S_i = 0$, $\delta_i = 0$. 因此, 原问题 APLS 的目标函数有上下限

$$\sum_i (r_i S_i + 2 K_i x_i) \le TC_1 \le \sum_i [(r_i + 2H_i) S_i - 2(H_i/P_i) S_i^2] \tag{14}$$

考虑约束条件 (13), APLS 模型等价于分配问题 (AP)

$$\begin{cases} \text{Min} \quad TC_1 = \sum_i [r_i S_i + 2\sqrt{K_i S_i (1 - S_i/P_i) H_i}] \\ \text{s.t.} \quad 式 (7)、(8)、(13) \end{cases} \tag{15}$$

显然 AP 也是一个非线性规划问题, 因为目标函数第 2 项是非线性的. 尽管如此, 从式 (14) 可以发现, 目标函数近似于线性. 为简便起见, 可以用如下的分配启发式算法近似求解. 其基本思想是首先对各供应商按 r_i 递增的顺序重新排序, 然后按此顺序依次分配, 直到所有需求均被分配完为止. 分配过程中, 检验生产能力和批量约束. 具体步骤如下:

Procedure 分配启发式算法 (AH) 求解 APLS

步骤 1　供应商重新排序, 使之满足 $r_1 \le r_2 \le r_3 \le \cdots \le r_m$;

步骤 2　令 t 代表待分配的供应商下标, $R_t = \sum_{i=1}^{t} S_i$ 是已经分配的生产量, $t = 0$, $R_t = 0$;

步骤 3　$t = t + 1$, 对 t 个供应商按如下方式分配任务

If $R_{t-1} < D$, set $S_t = \min\{D - R_{t-1}, Q_t/u_t\}$
　If $S_t > P_t$, set $S_t = P_t$
　End if
　按式 (12) 计算批量 z_t
　$R_t = R_{t-1} + S_t$, 转步骤 4
Else $S_t = 0$, $R_t = R_{t-1} + S_t$, $z_t = 0$
End if

步骤 4　If $t < m$, 转步骤 3; 否则, 转步骤 5;

步骤 5　按式 (11) 计算目标函数 TC_1, stop.

3.2　单产品运输和订货批量的联合决策

在分配每个供应商年生产任务和确定生产批量后, 下一步就是决定各用户的产品需求是如何实现的, 即来自于哪些供应商, 每次订多少货, 使总的分销费用最小. 这就是运输和订货数量联合决策问题. 这个联合决策问题 (TOQ) 可以描述为

$$\begin{cases} \text{Min} \quad W_2 = \sum_i \sum_j (1/2) H_{ik} X_{ijk} + F_2(Y) + F_3(X, Y) \\ \text{s.t.} \quad 式 (2)、(3)、(5)、(6)、(10) \end{cases} \tag{16}$$

TOQ 是具有分式的非线性规划模型, 因此对于大规模问题, 用启发式算法要比传统的非线性规划方法更容易被人们接受.

与批量决策 APLS 相似, 对于供应商 i 和用户 j, 给定年运输量 Y_{ij}, 最优订货数量 X_{ij} 为

$$X_{ij} = \sqrt{2 I_j Y_{ij} / (G_j + H_i)} \quad \forall (i, j) \tag{17}$$

令 F_{ij} 为 W_2 中与 i, j 相对应的库存和订货费用.

$$F_{ij} = \sqrt{2 I_j Y_{ij} (G_j + H_i)} \quad \forall (i, j) \tag{18}$$

约束 (10) 可等价写成

$$2 I_j / (G_j + H_i) \delta(Y_{ij}) \le Y_{ij} \le \min\{S_i, D_j\} \quad \forall (i, j) \tag{19}$$

当 $Y_{ij} > 0$, $\delta(Y_{ij}) = 1$, 否则为 0.

考虑到式 (19), TOQ 等价于

$$\begin{cases} \text{Min} \quad W_2 = \sum_i \sum_j F_{ij} + C_{ij} Y_{ij} \\ \text{s.t.} \quad 式 (5)、(6)、(19) \end{cases} \tag{20}$$

很容易证明 TOQ 的最优解有如下性质.

性质 1　对任意一组供应商 i 和用户 j, $\dfrac{C_{ij} Y_{ij}}{F_{ij}} \ge \dfrac{C_{ij}}{H_i + G_j}$ 成立的充分必要条件是 $Y_{ij} > 0$, 当且仅当式 (19) 左边等式成立, $\dfrac{C_{ij} Y_{ij}}{F_{ij}} \ge \dfrac{C_{ij}}{H_i + G_j}$ 取等式.

性质 1 说明对于任一组供应商 i 和用户 j, 如果有运输流, 则运输费用相对于库存费用和订货费用起主导作用, 而且随着 $B_{ij} = C_{ij} / (H_i + G_j)$ 的增加而增加. 给定一组供应商 i 和用户 j, 令 $w_{ij} = F_{ij} + C_{ij} Y_{ij}$. 从性质 1, 可以看出 $w_{ij} \le (H_i + G_j + C_{ij}) Y_{ij}$, 因此通过求解如下运输问题 (TP) 得到 W_2 的上限.

$$\begin{cases} \text{Min}\ W_2^{up} = \sum_i \sum_j (H_i + G_j + C_{ij})\, Y_{ij} \\ \text{s.t.}\ \text{式}(5)、(6)、(19) \end{cases} \qquad (21)$$

模型 TP 可以看作古典的平衡运输问题,只不过增加了一个约束(19). 可以用运输单纯型法(TSM)求解,最优解 Y_{ij}^0 是 TOQ 的一个可行解,并给出了目标函数的一个上限.

给定 X_{ij},TOQ 的目标函数 W_2 中的第一部分是一个常量. 忽略此常量部分, W_2 是 Y_{ij} 的一个线性函数,TOQ 模型转化为 LP 模型(TOQ-LP)

$$\begin{cases} \text{Min}\ \sum_i \sum_j A_{ij} Y_{ij} \\ \text{s.t.}\ \text{式}(5)、(6)、(19) \end{cases} \qquad (22)$$

其中

$$A_{ij} = I_j / X_{ij} + C_{ij} \qquad (23)$$

基于订货批量表达式(17)和 TOQ-LP 的解,本文提出基于 LP 的启发式方法来近似求解 TOQ 模型. 其主要思想是,从可行解 Y_{ij}^0 出发,得出相应的订货数量 X_{ij} 的表达式(17),然后代入式(23)构造模型 TOQ-LP,通过求解 TOQ-LP,得到一个迭代量 Y_{ij}. 重复上述过程便能得到一个 TOQ 的近优解. 算法步骤如下:

Procedure 运输启发式(TH)求解 TOQ 问题

步骤 1 设置起始迭代次数 $t = 0$,通过求解 TPD 找到初始可行解 Y_{ij}^0,把它代入式(17)决定 X_{ij}^0,由式(16)计算初始目标函数值 W_2^0;

步骤 2 通过执行下面的步骤确定 TOQ(16)的可行局部最优解;

步骤 2a 把 X_{ij}^t 代入式(23),确定系数 A_{ij}^t

步骤 2b 通过解带有系数 A_{ij}^t 的 TOQ-LP,找到新的可行解 Y_{ij}^{t+1}

步骤 2c 把 Y_{ij}^{t+1} 代入式(17)确定 X_{ij}^{t+1},由式(16)计算相应的目标函数值 W_2^{t+1}

步骤 3 检查终止条件,如果 $Y_{ij}^{t+1} = Y_{ij}^t$ 或者 $t = \text{Iter}$(预先指定的最大迭代数),停止;否则,$t = t + 1$ 转到步骤 2;

步骤 4 确定目标函数的值 $W_2 = \min\{W_2^t\}$.

4 实例计算

应用模型于某电子制造企业中的零件购买问题,并对这个问题用启发式求解方法和传统的非线性规划技术 ——半牛顿法(Quasi-Newton method, QNM)进行比较.

在某电子制造企业,有三个部件加工厂分布在不同的地区(用 1、2 和 3 表示)生产某种零件,供应四个装配厂(用 A、B、C、D 表示). 模型的参数如表 1 所示,各启发式算法与半牛顿法的比较如表 2 所示,两层分解算法和半牛顿法对实例的仿真结果如表 3 所示.

表 1 零件购买基本数据 (年=3 600 h)

Table 1 Basic data of the part procurement problem

零件工厂	运输费用($。件$^{-1}$)				单位费用/$	单位能力需求/h	年能力/h	年生产率/件	装设费用/$	库存维持费用/$
	A	B	C	D						
1	1.33	0.69	0.53	1.05	14.5	0.20	9 500	47 500	1 500	0.4
2	0.98	1.23	1.68	1.73	13.5	0.20	9 500	47 500	1 500	0.4
3	1.15	0.98	1.13	1.25	13.0	0.20	15 000	75 000	1 500	0.4
年需求/件	12 000	9 000	109 000	2 000						
订货费/$	20.00	20.00	20.00	20.00						
库存费/$	0.12	0.12	0.12	0.12						

表 2 启发式算法与 QNM 算法的比较

Table 2. Comparison of the heuristics and QNM

子问题	目标函数/费用			CPU 时间/s		TH & QNM			CPU 时间/s	
	AH	QNM	误差/%	AH	QNM	TH	QNM	误差/%		
APLS	1 762 200	1 766 000	0.216	1	18	-	-	-		
TOQ	-	-	-			160 780	160 780	0.000 0	3	31

表 3　两层分解算法（TLD）和QNM下的决策结果比较

Table 3 Comparison of the results between Two-layer decomposition(TLD) and QNM

生产任务分配与批量				
	生产分配 /件		生产批量 /件	
供应商	TLD	QNM	TLD	QNM
1	9 500	9 500	3 853	6 673
2	47 500	47 500	47 500	47 500
3	75 000	75 000	75 000	75 000
总费用 /$				
TMD	1 922 980			
QNM	1 926 780			
误差 / %	0.197			

年运输量 与 订货批量				
link	年运输量 /件		订货批量 /件	
	TLD	QNM	TLD	QNM
1–A	0	0	0	0
1–B	0	0	0	0
1–C	9 500	34 000	855	855
1–D	0	0	0	0
2–A	12 000	12 000	961	961
2–B	9 000	9 000	832	832
2–C	24 500	15 000	1 373	1 373
2–D	2 000	2 000	392	392
3–A	0	0	0	0
3–B	0	0	0	0
3–C	75 000	60 000	2 404	2 404
3–D	0	0	0	0

从表 2 可以看出,两个启发式算法分别求解 APLS 和 TOQ 模型时均到达了最优解,QNM 方法在求解 APLS 模型时只得到近优解,与最优解的误差是 0.216 %. 就求解模型所需要的 CPU 时间来说,两个启发式算法均比 QNM 快很多. 对随机产生的不同规模 5 ×5、10 ×10、10 ×20、20 ×20 的实例进一步的计算实验表明,启发式算法的最好解要优于 QNM,计算时间的优越性更为明显,这种优势随着计算规模的增加表现得更为突出. 类似地,对两层分解算法(TLD) 和 QNM 的比较,也得到相似的结论. 特别地,两层分解算法(TLD) 的计算时间随问题的规模增长不明显,而 QNM 随问题的规模增长较为明显.

6　结论

供应链管理的核心问题是生产与分销的合作问题. 本文讨论了针对单产品的多个供应商、多个用户之间的生产分配、生产批量以及运输和订货数量联合决策问题. 提出了两层分解和启发式算法来求解这样的联合决策(JDM) 问题. 第一层是应用分配启发式求解生产任务分配和生产批量的联合决策问题(ALPS) ,第二层是应用运输启发式求解运输数量和订货数量的联合决策问题. 仿真结果显示了启发式 TLD 方法是容易实现而且是有效的方法,特别是针对大规模问题.

参 考 文 献:

[1] Glover F, Jones G, Karney D, *et al*. An integrated production, distribution and inventory planning system[J]. Interfaces, 1979, 9: 21 —35.

[2] Cohen M A, Lee H L. Strategic analysis of integrated production-distribution systems: Models and methods[J]. Operations Research, 1988, 36(2): 216 —227.

[3] Thomas D J, Griffin P M. Coordinated supply chain management[J]. European Journal of Operations Research, 1996, 94: 1—5.

[4] Tayur S, Ganeshan R, Magazine M. Quantitative Models for Supply Chain Management[M]. London: Kluwer Academic Publisher, 1999.

[5] Blumenfelf D E, Burns L D, Daganzo. Synchronizing production and transportation schedules[J]. Transportation Research, Part B, 1991, 25(1): 23 —37.

[6] Hahm J, Yano C A. The economic lot and delivery scheduling problem: The single item case[J]. International journal of Production Economics, 1992, 28: 235 —252.

[7] Chien T W. Determing profit-maximizing production/ shipping policies in a one-to-one direct shipping, stochastic demand environ

ment[J]. European Journal of Operations Research, 1993, 64: 83—102.
[8]Hall R W. On the integration of production and distribution: Economic order and production quantity implications[J]. Transportation Research, Part B, 1996, 30(5): 387—403.
[9]Fumero F, Vercellis C. Synchronized development of production, inventory and distribution schedule[J]. Transportation Science, 1999, 33(3): 330—340.
[10]Williams J F. Heuristics techniques for simultaneous scheduling of production and distribution in multi-echelon structures: Theory and empiriacl comparisons[J]. Management Science, 1981, 27: 336—352.
[11]Speranza M G, Ukovich W. Minimizing transportation and inventory costs for several products on a single link[J]. Operations Research, 1994, 42(5): 879—893.
[12]Bertazzi L, Speranza M G. Models and algorithms for the minimzation of inventory and transportaion costs: A survey[A]. In: New Trends in Distribution Logistics[C]. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 1999. 137—157.
[13]Qu W W, Bookbinder J H, Iyogun P. An integrated inventory-transportation system with modified periodic policy for multiple products[J]. European Journal of Operations Research, 1999, 115: 245—269.
[14]Blumenfeld D E, Burns L D, Diltz J D, *et al*. Analyzing trade-offs between transportation, inventory and production costs on freight networks[J]. Transportation Research, Part B, 1985, 19: 361—380.
[15]Benjamin J. An analysis of inventory and transportation costs in a constrained network[J]. Transportation Science, 1989, 23(3): 177—183.
[16]**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 Huijun, Gao Ziyou. Bi-level optimization model for supply chain distribution system[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(3): 66—70. (in Chinese)
[17]Fumero F, Vercellis C. Integrating distribution, machine assignment and lot sizing via Lagrange relaxation[J]. International Journal of Production Economics, 1997, 49: 45—54.
[18]Sharp J F, Snyder J C, *et al*. A decomposition algorithm for solving the multi-facility production-transportation problem with nonlinear production costs[J]. Econometric, 1997, 38: 490—506.

Joint decisions model for logistic network systems with single product

TANG Jia-fu[1], *YUNG Kai-Leung*[2], *LIU Shi-xin*[1]
1. Dept. of Systems Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China;
2. Dept. of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, China

Abstract: The joint decisions of production assignment, lot sizing, transportation and order quantity for single product in a production-distribution network system with multiple suppliers and multiple destinations are discussed in this paper. The joint decision addressed in this paper is in effect a two layer decision procedure, of which the upper layer is the joint decision in production assignment and lot sizing(APLS), and the lower layer is a joint transportation and order quantity(TOQ) problem. Subsequently, a two-layer decomposition method combined with several heuristics is developed to solve the joint decision model(JDM), by which an assignment heuristics and an improved linear programming-based heuristics are adopted to solve APLS and TOQ model respectively. A numerical example is illustrated in the paper.

Key Words: joint decisions; production/distribution coordination; heuristics; two-layer; supply chain management