第 15 卷 第 5 期 控 制 与 决 策 2000 年 9 月
Vol. 15 No. 5 CONTROL AND DECISION Sept. 2000

准时化分布需求计划方法*

王 玮 (清华大学自动化系 北京 100084)
汪定伟 (东北大学信息科学与工程学院)
柴跃廷 (清华大学自动化系)

摘 要 在引入准时化生产思想的基础上, 提出有限资源约束下的准时化分布需求计划问题, 并建立了原始数学模型; 然后通过数学推导, 将其转换成一个线性规划问题, 提出了准时化分布需求计划方法。计算结果表明, 所提出方法能够合理地制定出极小化产品的提前/ 拖期惩罚费用、运输费用和生产成本费用总额的分布需求计划。

关键词 准时化, 供应链管理, 分布需求计划, 线性规划
分类号 F 224.3

JIT Distribution Requirement Planning Approach

Wang Wei (Tsinghua University)
Wang Dingwei (Northeastern University)
Chai Yueting (Tsinghua University)

Abstract The JIT distribution requirement planning problem with the limited supply capacity is proposed by introducing the JIT philosophy, and the model is constructed. By means of mathematical deduction, the model can be transformed into a linear programming problem and the JIT distribution requirements planning approach is presented. The computational results show that the algorithm can make a better distribution requirements planning to minimize the total supply cost, the transportation and the earliness/ tardiness penalty.

Key words just-in-time, supply chain management, distribution requirement planning, linear programming

1 引 言

日益激烈的全球化市场竞争, 使企业必须面对不断改变和不可预测的市场环境。为从根本上改变企业的市场应变能力, 人们提出一些新的经营管理模式[1]。目前, 供应链管理已成为现代企业为适应复杂的市场环境, 获取国际竞争优势的重要使能手段之一, 并已引起人们的广泛关注[2, 3]。

分布需求计划在供应链管理中起着重要作用。文献[3, 4]就分别面向分布式的单货栈、多零售商问题, 研究了需求计划方法。由于实际生产中更常见的是分布式多货栈、多零售商式的分销网, 因此研究多货栈、多零售商式的分布需求计划问题具有重要的实际意义。

本文在引入准时化生产思想[5]的基础上, 提出有限资源能力下的极小化产品的提前/ 拖期惩罚费用、运输费用和生产成本费用总额的分布需求计划问题, 并建立了原始优化模型; 然后通过数学推导, 将模型转换成一个线性规划问题。计算结果表明, 所提出方法能够快速、准确地编制出分布需求计划, 从而为实际生产应用奠定了基础。

2 问题描述

设由多个货栈组成的某供应网络, 在计划期

* 国家 863 计划 CIMS 主题项目(863 - 511 - 944 - 006 和 863 - 511 - 930 - 003)
1999 - 08 - 20 收稿, 1999 - 11 - 03 修回

$[1, T]$ 内面向 l 家零售商提供 n 种产品。已知零售商 k 订购产品 i 的数量为 q_k^i, 交货期为 d_k^i, 交货地点为 A_k, $k = 1, 2, \cdots, l$; $i = 1, 2, \cdots, n$。由于不同地区的产品原材料价格不同, 使得同种产品在不同厂家生产的成本有所差异, 从而导致不同货栈提供的产品在价格上也不同。已知货栈 j 供应的产品 i 的单价为 f_j^i, 在 t 时刻供应能力为 $b_j^i(t)$, 货栈所在地点为 B_j, $j = 1, 2, \cdots, m$; $t = 1, 2, \cdots, T$。

由于各货栈供应的产品单价和运输价格不同, 使得供应中心为追求低成本, 其供应能力通常与零售商指定各货栈完成的产品供应任务不平衡, 从而导致货栈向零售商提前或拖期交货。而提前/拖期交货不仅降低了供应链的服务质量, 而且提前交货将增加零售商的存储费用, 拖期交货又要向其支付违约附加费用。因此供应中心的经营目标是: 计划期内在有限的供应能力条件下, 面向零售商的订货需求, 合理地制定出准时化分布需求计划, 使产品的供应成本费用总额, 即提前/拖期惩罚费用、产品运输费用和产品生产成本费用总额达到极小。

一般情况下, 产品的提前和拖期罚款与其供应单位的单价成正比, 运输价格与其运输时间成正比。设提前和拖期单位时间的惩罚因子分别为 α 和 β (一般 $\alpha < \beta$), 产品 i 的单位时间运输价格因子为 γ_i。

3　模型建立

根据零售商 k 的交货地点 A_k 和货栈 j 的所在地点 B_j, 易知货栈 j 供给零售商 k 产品所需的运输时间, 这里记为 s_{kj}。

定义 1　$z_{kj}^i(t)$ 为供应中心指定货栈 j 在 t 时刻完成零售商 k 产品 i 的订货量, $p_j^i(t)$ 为货栈 j 在 t 时刻产品 i 的计划供应量。

定义 2

$$h_k^i(t) = \begin{cases} q_k^i, & t = d_k^i \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \tag{1}$$

于是, 分布式多货栈、多零售商供需问题可用模型 SC_0 表示为

$$\begin{aligned} SC_0:\ \min \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \Big\{ & \alpha f_j^i \Big[\sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau) - \sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(\tau)\Big]^+ + \beta f_j^i \Big[\sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(\tau) - \\ & \sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau)\Big]^+ + \sum_{k=1}^{l} f_j^i z_{kj}^i(t) + \sum_{k=1}^{l} \gamma_i s_{kj} z_{kj}^i(t) \Big\} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{j=1}^{m} z_{kj}^i(t - s_{kj}) = h_k^i(t) \tag{3}$$

$$p_j^i(t) \le b_j^i(t) \tag{4}$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(t) \le \sum_{t=1}^{T} b_j^i(t) \tag{5}$$

$$p_j^i(t) \ge 0, \quad z_{kj}^i(t) \ge 0 \tag{6}$$

其中, $i = 1, 2, \cdots, n$; $j = 1, 2, \cdots, m$; $k = 1, 2, \cdots, l$; $t = 1, 2, \cdots, T$。

在模型 SC_0 中, 目标函数的第 1 项为产品提前交货惩罚费用, 第 2 项为产品拖期交货惩罚费用, 第 3 项为产品生产成本费用, 第 4 项为产品运输费用。约束条件(3) 表示所有货栈应共同完成各零售商的产品订货量, (4) 表示各货栈的产品计划供应量应满足其供应能力, (5) 表示指定各货栈完成的产品总订货量应满足其总供应量。

4　模型转换

由于模型 SC_0 的目标函数是非连续的, 不能用普通的数学规划方法来求解, 因此进行如下模型转换:

设 $x_j^i(t)$ 为货栈 j 在 t 时刻产品 i 的超供应量, $y_j^i(t)$ 为货栈 j 在 t 时刻产品 i 的欠供应量, 即

$$x_j^i(t) = \Big[\sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau) - \sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(\tau)\Big]^+$$

$$y_j^i(t) = \Big[\sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(\tau) - \sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau)\Big]^+$$

于是

$$\sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau) = \sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(t) + x_j^i(t) - x_j^i(t-1) - y_j^i(t) + y_j^i(t-1) \tag{7}$$

模型 SC_0 转换成

$$SC:\ \min \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \Big[\alpha f_j^i x_j^i(t) + \beta f_j^i y_j^i(t) + \sum_{k=1}^{l} (f_j^i + \gamma_i s_{kj}) z_{kj}^i(t)\Big] \tag{8}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{j=1}^{m} z_{kj}^i(t - s_{kj}) = h_k^i(t) \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(t) + x_j^i(t) - x_j^i(t-1) - y_j^i(t) + y_j^i(t-1) \le b_j^i(t) \tag{10}$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(t) \le \sum_{t=1}^{T} b_j^i(t) \tag{11}$$

$$\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(t) + x_j^i(t) - x_j^i(t-1) -$$

$$y_j^i(t) + y_j^i(t-1) \geq 0 \tag{12}$$

$$z_{kj}^i(t) \geq 0, \quad x_j^i(t) \geq 0, \quad y_j^i(t) \geq 0 \tag{13}$$

虽然模型SC 比模型SC_0的变量多, 但由于目标函数是线性的, 可用通用的线性规划软件来求解。

下面证明模型 SC 与模型 SC_0 等价。

引理 1　若(x^*, y^*, z^*) 为模型 SC 的最优解, 则有$x^*(t)y^*(t) = 0$。

证明　设(x^*, y^*, z^*) 为模型SC 的最优解, 但对于某个g 和k, 存在$x_g^*(k)y_g^*(k) > 0$。

不失一般性, 设$x_j^*(k) > y_j^*(k)$, 令

$$\bar{x}_j(t) = \begin{cases} x_j^*(t) - y_j^*(t), & j = g, t = k \\ x_j^*(t), & \text{其　它} \end{cases}$$

$$\bar{y}_j(t) = \begin{cases} 0, & j = g, t = k \\ y_j^*(t), & \text{其　它} \end{cases}$$

$$\bar{z}_j(t) = z_j^*(t)$$

于是, 对于任意的j 和t, 有

$$\bar{x}_j(t) \geq 0, \quad \bar{y}_j(t) \geq 0, \quad \bar{z}_j(t) \geq 0$$

且　$\bar{x}_j(t) - \bar{y}_j(t) = x_j^*(t) - y_j^*(t)$

故$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ 满足模型 SC 的约束条件。将$(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ 代入 $F(x, y, z)$, 可推得

$$F(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) = F(x^*, y^*, z^*) - (\alpha + \beta) f_j^i y_j^*(t) \leq F(x^*, y^*, z^*)$$

这与(x^*, y^*, z^*) 是模型SC 的最优解相矛盾。因此, 当(x^*, y^*, z^*) 为模型 SC 的最优解时, $x^*(t)y^*(t) = 0$。(证毕)

定理 1　如果(x, y, z) 是模型SC 的最优解, 且

$$p_j^i(t) = \sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(t) + x_j^i(t) - x_j^i(t-1) - y_j^i(t) + y_j^i(t-1) \tag{14}$$

则p 也是 SC_0 的最优解。

证明　因为(x, y, z) 是模型SC 的最优解, 所以在满足 SC 的可行域内。比较 SC 的约束条件(9) ～(11) 与 SC_0 的约束条件(3) ～(5), 易知p 也在SC_0的可行域内。

由式(14), 对于所有的i, j, t, 有

$$\left[\sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau) - \sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(\tau)\right]^+ = \left[x_j^i(t) - y_j^i(t)\right]^+$$

由此并据引理 1 知

$$\left[\sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau) - \sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(\tau)\right]^+ = x_j^i(t)$$

同理

$$\left[\sum_{\tau=1}^{t}\sum_{k=1}^{l} z_{kj}^i(\tau) - \sum_{\tau=1}^{t} p_j^i(\tau)\right]^+ = y_j^i(t)$$

比较模型SC 与模型SC_0的目标函数, 可以看出式(2) 和式(8) 完全等价。因此p 也是SC_0的最优解。(证毕)

5　求解算法

经过模型转换后, SC 已成为普通的线性规划模型, 从而可用通用的线性规划软件进行求解。具体求解步骤如下:

Step1: 根据已知的零售商订货情况和货栈的供应能力约束, 构造模型 SC;

Step2: 调用通用线性规划程序, 计算 x^*, y^*, z^* 和 $F(x^*, y^*, z^*)$;

Step3: 由式(14) 计算出各货栈在每时段的各产品计划供应量。

6　计算结果

对上述算法以 Visual C++ 编程, 在PC/586 计算机上对大量例题进行计算, 均取得了满意的结果。下面给出一个小规模的例子。

设由 2 个货栈组成的供应网络在计划期[1, 5] 内向 2 家零售商提供 2 种产品。已知各货栈供应的产品单价及供应能力如表 1 所示, 且各货栈提前 / 拖期惩罚因子分别为 $\alpha = 0.1$ 和 $\beta = 0.5$, 各产品的单位时间运输价格因子分别为 $\gamma_1 = 1$ 和 $\gamma_2 = 0.5$。

表 1　各货栈供应产品的有关数据

j	1	2	j	1	2	j	1	2
f_j^1	10	8	$b_j^1(3)$	15	10	$b_j^2(2)$	10	8
f_j^2	5	6	$b_j^1(4)$	12	10	$b_j^2(3)$	8	6
$b_j^1(1)$	12	8	$b_j^1(5)$	12	10	$b_j^2(4)$	10	6
$b_j^1(2)$	12	8	$b_j^2(1)$	10	8	$b_j^2(5)$	10	6

零售商订购的产品数量、交货期及产品运输时间如表 2 所示。

表 2　订货汇总及其运输时间

k	1	2	k	1	2	k	1	2
q_k^1	60	35	d_k^1	3	5	s_{k1}	1	3
q_k^2	40	25	d_k^2	4	4	s_{k2}	2	1

利用本文提出的准时化分布需求计划方法编制出的需求计划结果如表 3 所示。

比较表 3 和表 1, 可以清楚地看出本文提出的准时化分布需求计划方法, 完全可以做到在供应能

表 **3** 计算结果(极小化目标函数值为 1 671.7)

j	1	2	j	1	2	j	1	2
$x_j^1(1)$	12	0	$y_j^2(3)$	10	5	$z_{1j}^2(5)$	0	0
$x_j^1(2)$	0	5	$y_j^2(4)$	0	0	$z_{2j}^2(1)$	10	0
$x_j^1(3)$	0	15	$y_j^2(5)$	0	0	$z_{2j}^2(2)$	0	0
$x_j^1(4)$	0	0	$z_{1j}^1(1)$	0	11	$z_{2j}^2(3)$	0	15
$x_j^1(5)$	0	0	$z_{1j}^1(2)$	49	0	$z_{2j}^2(4)$	0	0
$y_j^1(1)$	0	3	$z_{1j}^1(3)$	0	0	$z_{2j}^2(5)$	0	0
$y_j^1(2)$	25	0	$z_{1j}^1(4)$	0	0	$p_j^1(1)$	12	8
$y_j^1(3)$	10	0	$z_{1j}^1(5)$	0	0	$p_j^1(2)$	12	8
$y_j^1(4)$	0	10	$z_{2j}^1(1)$	0	0	$p_j^1(3)$	15	10
$y_j^1(5)$	0	0	$z_{2j}^1(2)$	0	0	$p_j^1(4)$	10	10
$x_j^2(1)$	0	8	$z_{2j}^1(3)$	0	0	$p_j^1(5)$	5	10
$x_j^2(2)$	10	4	$z_{2j}^1(4)$	0	35	$p_j^2(1)$	10	8
$x_j^2(3)$	0	0	$z_{2j}^1(5)$	0	0	$p_j^2(2)$	10	8
$x_j^2(4)$	0	0	$z_{1j}^2(1)$	0	0	$p_j^2(3)$	8	6
$x_j^2(5)$	0	0	$z_{1j}^2(2)$	0	12	$p_j^2(4)$	10	5
$y_j^2(1)$	0	0	$z_{1j}^2(3)$	28	0	$p_j^2(5)$	0	0
$y_j^2(2)$	0	0	$z_{1j}^2(4)$	0	0			

力平衡的前提下, 极小化产品提前/ 拖期惩罚费用、运输费用和产品生产成本费用的总额, 从而实现了供应链准时化供应并获取最大利润的经营目标。

7 结 论

分布需求计划是供应链管理中的一项重要研究工作。本文提出的准时化分布需求计划方法, 不仅能有效地编制出准时化分布需求计划, 实现供应产品准时化控制策略, 而且为供应链管理问题的研究提供了一条有效途径。所提出的方法运算速度快捷而准确, 具有很强的实用意义, 从而能够极大地提高企业在市场竞争中的应变能力。

参 考 文 献

1 真彤, 祁国宁. 敏捷制造的总体技术研究. 计算机集成制造系统, 1999, 3: 1～10

2 Bdganha M P, Cohen M A. The stabilizing effect of inventory in supply chains. Opera Res, 1998, 46(3): 72～83

3 Beamon B M. Supply chain design and analysis: Models and methods. Int J Prod Eco, 1998, 55: 281～294

4 Jukka Korepla, Antti Lehmusvaara. A customer oriented approach to warehouse network evaluation and design. Int J Prod Eco, 1999, 59: 135～146

5 Sugimori Y, Kusunoki K, Cho F *et al*. Toyta production system and Kanban system materialization of just-in-time and respect-for human system. Int J Prod Res, 1977, 15: 553～564

作 者 简 介

王 玮 女, 1964 年生。清华大学自动化系博士后研究人员。研究方向为生产计划与调度理论, 供应链管理与决策等。

汪定伟 男, 1949 年生。东北大学信息科学与工程学院教授, 博士生导师。研究方向为生产计划与调度理论, 智能优化算法, 供应链管理与决策等。

柴跃廷 男, 1964 年生。清华大学自动化系副教授。研究方向为管理信息系统, 供应链管理与决策等。

(上接第 564 页)

作 者 简 介

李 力 男, 1976 年生。1999 年毕业于华中理工大学提高班, 获学士学位, 现为华中理工大学控制科学与工程系硕士研究生。目前研究方向为过程控制, 故障诊断, 非线性系统, 神经网络, 智能控制等。

方华京 男, 1955 年生。1991 年在华中理工大学获博士学位, 现为华中理工大学控制科学与工程系教授, 博士生导师。研究领域为鲁棒控制理论与应用, 控制系统故障检测与诊断技术等。