

企业生产采购协同计划干扰管理研究

马慧民¹, 叶健飞²

(1. 上海电机学院 商学院, 上海 201306; 2. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 为了有效应对生产采购协同计划中的需求变化这一扰动, 提出了扰动度量方法, 构建了考虑生产与采购计划偏离度和总成本最小化生产采购协同计划干扰管理模型, 设计了用于求解该问题的知识进化算法方案, 阐明了实现该算法的过程. 当干扰事件发生时, 系统能快速响应需求量的变化, 并调整生产与采购计划. 对实例进行了仿真, 并与重调度结果比较, 验证了本干扰管理方案的可行性与有效性. 结果表明干扰管理可以有效降低计划偏离度, 并合理控制成本.

关键词: 生产计划; 采购计划; 协同计划; 干扰管理; 知识进化算法

中图分类号: F 406; TP 29 **文献标志码:** A

Disruption Management for Enterprise Coordinated Production-purchase Planning

MA Huimin¹, YE Jianfei²

(1. Business School, Shanghai Dianji University, Shanghai 201306, China;

2. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to effectively deal with the disturbance of demand changes in the coordinated production-purchase planning, a method of measuring disturbance was put forward, and a disruption management model of the coordinated production-purchase planning problem, considering the production-purchase plan deviation and the minimum cost was constructed. The problem was solved by designing a method based on the knowledge evolution algorithm. The realization process of the algorithm was illustrated. When disruptions occur, the system can respond quickly to the changes in consumers' demand, and readjust the production plan at once. The disturbance case was simulated, and the results were compared with those of a plan rescheduling to verify the feasibility and effectiveness of the disruption management project. It is found that the disruption management can remarkably reduce the deviation of plan and control the cost.

Key words: production planning; purchase planning; coordinated planning; disruption management; knowledge evolution algorithm

在日益激烈的市场竞争环境下,企业执行计划的过程中,不可避免地会出现一些干扰事件,比如需求的变化、产能的变动等.面对突发的干扰事件,如何快速建立一个多方满意的应对方案,最大限度地减少干扰事件对企业协同计划的影响,保证企业的顺利经营,是企业迫切需要解决的问题.

企业在运营过程中,有两个非常重要的环节,就是产品生产与原材料采购环节.如何制定好这两个环节的计划是企业能否正常运营的关键.企业的生产计划和采购计划涉及到生产费用、原材料采购费用、产品和原材料库存费用、生产调整费用和采购订货费用,涵盖面广,必须协调统一考虑.如果在生产采购协同计划执行过程中,出现了干扰事件,比如顾客需求量变化等,使原计划变得不可行,那么就必须及时制订出新的计划,一方面满足原来的最优化目标,另一方面要使新计划对系统的扰动减小到最低.本文研究的重点就在于探索这样一个处理干扰事件的办法,以最小的扰动尽快恢复系统的运行.

1 文献综述

在生产计划和干扰管理建模方面,国内外学者进行了广泛研究.翟勇洪等^[1]对生产计划问题进行了研究;潘逢山等^[2]阐述了生产调度问题干扰管理模型和算法研究;马慧民等^[3]提出了一种知识进化算法解决生产采购协同计划问题;胡祥培等^[4]详细介绍了干扰管理,并对模型构建、算法研究进展进行了阐述.以上几篇文献介绍了干扰管理理论,阐述了生产采购协同计划问题,构建了经典的数学模型,提出了优秀的算法,为进一步研究奠定了良好的基础.但是,现有模型算法大多是针对确定性环境提出的,问题所处环境一旦发生变化,模型与算法将不再适用,难以满足干扰管理解决动态实时问题的需要.

近几年来,不确定性协同计划的干扰管理研究逐渐成为研究的难点和热点问题,该领域相关学者作过一些有益的研究.Gill^[5]介绍了不确定性条件下的码头装卸生产配送设施的要求;Bidhandi等^[6]介绍了在不确定的条件下,采用一种改进的随机方法规划集成供应链的方法.运用干扰管理解决不确定企业协同计划问题,大连理工大学的胡祥培、王旭坪教授研究团队取得了一系列研究成果,该团队在干扰管理问题上颇有建树.孙丽君等^[7]针对需求变动下的物流配送干扰管理问题,提出一种解决该问题的基于知识的求解方法;王旭坪等^[8]研究了物流配

送过程中顾客需求变动所引发的干扰问题;蒋丽等^[9]针对客户需求变动导致物流配送计划无法实现的问题,设计了最小化客户不满意度、配送成本和路径偏离程度的扰动恢复模型;王雅楠^[10]设计了一种新的混合启发式算法解决物流配送过程中需求量变动的干扰管理问题.解决不确定性因素,除了运用干扰管理办法,也可以采用重调度方法,比如乔非等^[11]针对半导体生产中设备故障引发的问题,研究了重调度的解决方案.基于已有研究成果,物流配送领域的干扰管理问题研究已有很多成果,但是企业协同计划由于其复杂性和多变性,还鲜有研究,尚有许多问题需要解决.一方面需要研究在干扰发生时,如何快速评价其对系统的影响,并量化对整个协同计划的扰动;另一方面,需要研究如何快速制定对企业影响最小的调整方案.

本文在已有生产采购协同计划求解方法的基础上,融合干扰管理理论和建模方法,针对生产采购协同计划过程中的顾客需求量变动这一扰动问题进行研究,构建兼顾计划偏离度和成本最小化的扰动恢复模型,并应用知识进化算法,求解上述干扰管理模型,以实时生成不确定环境下的干扰管理决策方案.

2 生产采购协同计划的干扰管理模型

2.1 问题描述

在企业中,工厂生产产品,供应商提供生产所需原材料.按生产采购协同计划正常进行时,工厂为满足顾客需求生产产品,同时为满足生产需求采购原材料.在生产进行到某一时刻,顾客需求量突然发生变化造成整个系统受到干扰,在不能改变干扰事件发生当天及以前时刻的生产和采购计划的同时,要求制定对整个计划影响最小和费用最省的调整方案.

假设在生产过程中,企业已经按照需求制定好了生产和采购协同计划.在计划执行过程中,收到客户需求变动的信息,这时原计划变得不可行,必须快速调整计划.当干扰发生时,本文在不允许缺货、不允许加班的情况下,对生产和采购计划进行局部调整,以满足各时段的客户需求.

2.2 扰动度量

由于生产采购协同计划干扰管理的目标是使扰动对系统影响最小,同时保持成本尽量低,所以在构建模型时,要把扰动和成本量化,并把二者最小化作为目标函数.因此在建立模型时,要度量计划偏离度

和总成本,解释如下:

a. 计划偏离度是度量新计划与原计划的偏差程度,比较新计划与原计划同一产品在同一时段的生产量的不同次数.假设生产计划变动次数为 K_{it}^0 ,采购计划的变动次数为 K_{it}^1 .变动次数越多,表明干扰事件对系统扰动越大.

b. 总成本表示整个生产配送过程的总花费.包括生产费用、生产调整费用、产品库存费用、采购费用、采购调整费用和采购库存费用.在保持计划偏离度最小的同时,如果产生了过高的成本,也不是企业能承受的.因此在追求最小扰动的同时,还要控制成本.

2.3 干扰管理模型

以作者之前发表的文献[3]中生产采购协同计划问题模型为原型,构建干扰管理模型.假设由一家工厂生产 I 种产品,生产总周期为 T .生产所需的原材料由一家供应商提供,原材料根据采购量的大小享有价格折扣.假设一单位产品需要一单位原材料,供货提前期和生产提前期为 0,产品和原材料的初始库存和期末库存都为 0,不允许缺货且不允许加班,则扰动恢复模型如下:

目标函数 1

$$\min \left(\sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T K_{it}^0 + \sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T K_{it}^1 \right) \tag{1}$$

目标函数 2

$$\min \left(\sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T (P_{it}Q_{it} + S_{it}Y_{it} + H_{it}^0I_{it}^0) + \sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T (R(U_{it}) + F_{it}Z_{it} + H_{it}^1I_{it}^1) \right) \tag{2}$$

s. t.

$$I_{i,t-1}^0 + Q_{it} - I_{it}^0 = d_{it}, \tag{3}$$

$$i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T$$

$$I_{i,t-1}^1 + U_{it} - I_{it}^1 = Q_{it} \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^I (a_{ij}Y_{it} + b_{ij}Q_{it}) \leq C_{jt}, j = 1, 2, \dots, R \tag{5}$$

$$R(U_{it}) = r_{in}U_{it}, DIS_{i,n-1} \leq U_{it} \leq DIS_{in} \tag{6}$$

$$Q_{it} \leq MY_{it} \tag{7}$$

$$U_{it} \leq MZ_{it} \tag{8}$$

$$|Q_{it} - Q_{it}^0| \leq MK_{it}^0 \tag{9}$$

$$|U_{it} - U_{it}^0| \leq MK_{it}^1 \tag{10}$$

$$Y_{it} \in \{0, 1\} \tag{11}$$

$$Z_{it} \in \{0, 1\} \tag{12}$$

$$K_{it}^0 \in \{0, 1\} \tag{13}$$

$$K_{it}^1 \in \{0, 1\} \tag{14}$$

$$Q_{it} \geq 0 \tag{15}$$

$$U_{it} \geq 0 \tag{16}$$

$$I_{it}^0 \geq 0 \tag{17}$$

$$I_{it}^1 \geq 0 \tag{18}$$

$$I_{i0}^0 = I_{iT}^0 = 0 \tag{19}$$

$$I_{i0}^1 = I_{iT}^1 = 0 \tag{20}$$

模型中各符号的含义如表 1 所示.

表 1 模型中各符号的定义

Tab.1 Symbols definitions in the model

模型符号	定义
I	产品总数
T	总时间
T_0	干扰发生时间
R	可用资源数
K_{it}^0	生产计划调整变量
K_{it}^1	采购计划调整变量
P_{it}	产品 i 在第 t 期的生产费用
Q_{it}	产品 i 在第 t 期的生产量
S_{it}	产品 i 在第 t 期的生产调整费用
Y_{it}	产品 i 在第 t 期的生产调整变量
H_{it}^0	产品 i 在第 t 期到第 $t + 1$ 期的单位库存费用
H_{it}^1	原材料 i 在第 t 期到第 $t + 1$ 期的单位库存费用
I_{it}^0	产品 i 在第 t 期末的工厂库存量
I_{it}^1	原材料 i 在第 t 期末的工厂库存量
F_{it}	原材料 i 在第 t 期的采购订货费用
Z_{it}	原材料 i 在第 t 期的采购调整变量
DIS_{in}	原材料 i 在第 n 个折扣区间上的数量限制
r_{in}	原材料 i 在第 n 个折扣区间的单价
U_{it}	原材料 i 在第 t 期的采购量
U_{it}^0	原材料 i 在第 t 期的原计划采购量
Q_{it}^0	原材料 i 在第 t 期的原计划生产量
d_{it}	产品 i 在第 t 期的需求量
a_{ij}	产品 i 上单位产品在第 j 个资源上的准备工时
b_{ij}	产品 i 上单位产品在第 j 个资源上的加工工时
C_{jt}	资源 j 在第 t 期的可用工时
M	非常大的正数

目标函数式(1)表示新制定的计划与原计划相比变动次数最小.目标函数式(2)表示新制定的计划总生产费用、生产调整费用、产品库存费用、原材料采购费用、采购调整费用、原材料库存费用之和最小.约束式(3)表示产品的当期库存等于上期库存加上当期生产量减去当期需求量.约束式(4)表示原材料的当期库存等于上期库存加上当期采购量减去当期生产量.约束式(5)表示每一期产品生产耗用工时要满足生产能力限制.约束式(6)表示采购价格随采购量的不同有不同的优惠.约束式(7)表示只有当生

产调整变量大于0时才生产.约束式(8)表示只有当采购调整变量大于0时才采购.约束式(9)和式(10)分别表示只有当各周期新制定的生产计划和采购计划与原来的生产计划和采购计划不同时才对系统产生扰动.约束式(11)和式(12)分别表示生产调整变量和采购调整变量只能取0和1.约束式(13)和式(14)分别表示生产计划调整变量、采购计划调整变量只能取0和1.约束式(15)和式(16)分别表示生产量和采购量不能为负.约束式(17)和式(18)分别表示产品和原材料的供货不能中断.约束式(19)和式(20)分别表示产品和原材料的初始和期末库存均为0.

3 干扰管理模型求解算法

3.1 编码

本文采用知识进化算法^[12]求解干扰管理模型,使用 Y_{it} 和 Z_{it} 构造0,1编码的假说, Q_{it} , I_{it}^0 , U_{it} , I_{it}^1 , K_{it}^1 , K_{it}^0 的值由式(21)—(28)来确定,即

Q_{it} = \begin{cases} 0, & Y_{it} = 0 \\ \sum_{m=t}^{t_1} d_{im}, & Y_{it} = 1 \end{cases} \tag{21}

式中, $i=1,2,\cdots,I;t=T_0+1,\cdots,T$.当 $t=T$ 时, $t_1=T$,否则, t_1 由式(22)确定,即

t_1 = \begin{cases} \min\{p-1|Y_{ip}=1\}, & \exists Y_{ip}=1 \\ T, & \forall Y_{ip}=0 \end{cases} \tag{22}

式中, $t<T;p=t+1,\cdots,T$.

I_{it}^0 = \sum_{m=1}^{T_0} Q_{im}^0 + \sum_{m=T_0+1}^t Q_{im} - \sum_{m=1}^t d_{im} \tag{23}

U_{it} = \begin{cases} 0, & Z_{it} = 0 \\ \sum_{m=t}^{t_1} Q_{im}, & Z_{it} = 1 \end{cases} \tag{24}

式中,当 $t=T$ 时, $t_1=T$,否则, t_1 由式(25)确定,即

t_1 = \begin{cases} \min\{p-1|Z_{ip}=1\}, & \exists Z_{ip}=1 \\ T, & \forall Z_{ip}=0 \end{cases} \tag{25}

式中, $t<T;p=t+1,\cdots,T$.

I_{it}^1 = \sum_{m=1}^{T_0} U_{im}^0 + \sum_{m=T_0+1}^t U_{im} - \sum_{m=1}^t Q_{im} \tag{26}

K_{it}^0 = \begin{cases} 0, & Q_{it} = Q_{it}^0 \\ 1, & Q_{it} \neq Q_{it}^0 \end{cases} \tag{27}

K_{it}^1 = \begin{cases} 0, & U_{it} = U_{it}^0 \\ 1, & U_{it} \neq U_{it}^0 \end{cases} \tag{28}

3.2 适应值计算

采用加权和法处理扰动恢复模型中的两个目标函数,采用罚函数法处理资源约束,每个群体空间中认知个体在进化的每一代对生产采购协同计划扰动问题假说的适应值为

f(X_{n,j}^k) = \alpha \left(\sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T K_{it}^0 + \sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T K_{it}^1 \right) + \beta \left(\sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T (P_{it}Q_{it} + S_{it}Y_{it} + H_{it}^0I_{it}^0) + \sum_{i=1}^I \sum_{t=T_0+1}^T (R(U_{it}) + F_{it}Z_{it} + H_{it}^1I_{it}^1) \right) + M \sum_{j=1}^R \sum_{t=T_0+1}^T \left(\max \left\{ 0, \sum_{i=1}^I (a_{ij}Y_{it} + b_{ij}Q_{it}) - C_{jt} \right\} \right) \tag{29}

式中, M 为一充分大的正数; α,β 分别为两个目标函数的权重系数.

本文采用知识进化算法的通用流程,具体可参见文献^[12].

4 仿真实验

为了验证模型和算法的有效性,本文设计了一个实例.选取文献^[3]中的生产相关系数,构成了本实验的数据.生产相关参数参见文献^[3]中的表2和表3;采购相关参数参见文献^[3]中的表4和表5.文献^[3]中的最优初始方案如表2所示.

表2 原最优计划
Tab.2 Original optimal plan

项目号	各周期生产批量					各周期采购批量				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	67	0	0	0	0	67	0	0	0	0
2	42	0	0	20	0	42	0	0	20	0
3	12	57	0	0	0	12	57	0	0	0
4	12	50	0	0	0	12	50	0	0	0
5	12	54	0	0	0	66	0	0	0	0
总成本	4 184									

下面研究干扰事件下的最优调整方案,设定两种扰动方式.

扰动一:需求量增加.干扰发生在第一时刻,项目5第二时段需求增加50.

扰动二:需求量减少.干扰发生在第二时刻,项目2第四时段需求减少10.

采用VB 6.0(Visual Basic 6.0)编写程序,参数设置如下:群体空间数为5,每个群体空间的规模为5,最大进化代数50,认知参数 $c_1=0.8,c_2=c_3=$

0.05, $c_4 = 0.095$. 另外目标函数中权重系数 $\alpha = 0.995, \beta = 0.005$. 该程序在 Intel Core 2 2.2 GHz, 2G 内存的电脑上独立运行 20 次, 得出最优结果. 两种扰动最优结果在 20 次中分别出现了 19 次和 18 次, 平均耗时 1 s, 平均最优进化代数分别为 35.6 代和 19.3 代. 依据结果, 制定了以上两种扰动下的新的生产采购协同计划. 为了验证干扰管

理的有效性, 采用重调度方法得出新的协同计划, 该方法的思想是: 当干扰事件发生后, 对原系统进行重新建模和调整, 通过对原执行方案的全局调整, 实现对干扰事件的快速处理. 将重调度结果与干扰管理结果进行对比, 如表 3 和表 4 所示. 从结果可以看出, 干扰管理方法可以有效降低计划偏离度, 并兼顾控制成本.

表 3 干扰管理和重调度处理结果比较(扰动一)

Tab.3 Results comparison between disruption management and rescheduling (disruption 1)

项目号	干扰管理一										重调度一									
	各周期生产批量					各周期采购批量					各周期生产批量					各周期采购批量				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	67	0	0	0	0	67	0	0	0	0	67	0	0	0	0	67	0	0	0	0
2	42	0	0	20	0	42	0	0	20	0	42	0	0	20	0	42	0	0	20	0
3	12	57	0	0	0	12	57	0	0	0	12	57	0	0	0	12	57	0	0	0
4	12	50	0	0	0	12	50	0	0	0	12	50	0	0	0	12	50	0	0	0
5	12	61	43	0	0	66	50	0	0	0	12	61	43	0	0	66	7	43	0	0
偏离次数						3										4				
总成本						4 767										4 764				

表 4 干扰管理和重调度处理结果比较(扰动二)

Tab.4 Results comparison between disruption management and rescheduling (disruption 2)

项目号	干扰管理二										重调度二									
	各周期生产批量					各周期采购批量					各周期生产批量					各周期采购批量				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	67	0	0	0	0	67	0	0	0	0	67	0	0	0	0	67	0	0	0	0
2	42	0	0	10	0	42	0	0	10	0	42	0	0	0	10	42	0	0	0	10
3	12	57	0	0	0	12	57	0	0	0	12	57	0	0	0	12	57	0	0	0
4	12	50	0	0	0	12	50	0	0	0	12	50	0	0	0	12	50	0	0	0
5	12	54	0	0	0	66	0	0	0	0	12	54	0	0	0	66	0	0	0	0
偏离次数						2										4				
总成本						4 104										4 093				

5 结束语

在已有研究的基础上, 研究企业生产采购协同计划中的干扰管理问题, 构建了基于计划变动次数和成本最小化的数学模型, 采用知识进化算法, 得出了扰动影响下新的生产采购协同计划, 并与重调度方案进行了对比. 结果表明, 本文提出的干扰管理方案能有效减少计划偏离度, 并且不至于使成本增加过多. 实验证明了干扰管理的有效性和可行性, 为进一步解决不确定环境下企业协同计划领域的干扰管理问题提供了思路.

参考文献:

[1] 翟勇洪,梁玲,刘宇熹,等. 面向大规模定制的再制造集约生产计划模型[J]. 上海理工大学学报, 2014, 36(6):603-613.

[2] 潘逢山,叶春明. 生产调度干扰管理模型构建及智能算法研究[J]. 工业工程与管理, 2012, 17(3):85-89.

[3] 马慧民,叶春明,张爽,等. 基于知识进化算法的生产采购协同计划问题研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(12):4621-4623.

[4] 胡祥培,张漪,丁秋雷,等. 干扰管理模型及其算法的研究进展[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(10):40-46.

[5] Gill A. Determining loading dock requirements in

production distribution facilities under uncertainty[J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 57(1): 161-168.

[6] Bidhandi H M, Yusuff R M. Integrated supply chain planning under uncertainty using an improved stochastic approach [J]. Applied Mathematical Modelling, 2011, 35(6): 2618-2630.

[7] 孙丽君, 胡祥培, 于楠, 等. 需求变动下的物流配送干扰管理模型的知识表示与求解[J]. 管理科学, 2008, 21(6): 112-120.

[8] 王旭坪, 杨德礼, 许传磊. 有顾客需求变动的车辆调度干扰管理研究[J]. 运筹与管理, 2009, 18(4): 16-24.

[9] 蒋丽, 丁斌. 多集散点 VRP 客户需求扰动的恢复模型[J]. 系统工程, 2010(12): 12-17.

[10] 王雅楠. 物流配送系统需求量变动的干扰管理模型研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.

[11] 乔非, 李莉, 马玉敏, 等. 基于模糊推理的半导体生产重调度策略研究[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(1): 102-108.

[12] 马慧民, 叶春明, 张爽. 知识进化算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(9): 3282-3284.

(编辑: 丁红艺)

.....

(上接第 288 页)

[2] Gallego-Juárez J A, Riera E, de la Fuente Blanco S, et al. Application of high-power ultrasound for dehydration of vegetables: processes and devices[J]. Drying Technology: An International Journal, 2007, 25(11): 1893-1901.

[3] García-Pérez J V, Cárcel J A, Benedito J, et al. Power ultrasound mass transfer enhancement on food drying [J]. Food and Bioproducts Processing, 2007, 85(3): 247-254.

[4] García-Pérez J V, Cárcel J A, Riera E, et al. Influence of the applied acoustic energy on the drying of carrots and lemon peel [J]. Drying Technology: An International Journal, 2009, 27(2): 281-287.

[5] Cárcel J A, García-Pérez J V, Riera E, et al. Influence of high-intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon[J]. Drying Technology: An International Journal, 2007, 25(1): 185-193.

[6] 杜功焕, 朱哲民, 龚秀芬. 声学基础(下)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.

[7] 赵芳. 超声波辅助污泥热风干燥热湿耦合迁移过程的研究[D]. 南京: 东南大学, 2012: 49-63.

[8] Xu P, Mujumdar A S, Yu B M. Fractal theory on drying: a review [J]. Drying Technology: An International Journal, 2008, 26(6): 640-650.

[9] 赵芳, 陈振乾, 施明恒. 胡萝卜超声波预干燥热湿耦合迁移过程的数值模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 349-354.

[10] 邹邦银. 热力学与分子物理学[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2004.

[11] 董智广, 程道来, 郁鸿凌, 等. 电场对注入气泡和沸腾汽泡影响的研究[J]. 上海理工大学学报, 2012, 34(5): 491-493.

[12] 鲍伟, 马虎根, 张希忠. 流体在螺旋管内对流换热和降压性能的数值模拟[J]. 上海理工大学学报, 2011, 33(1): 84-88.

(编辑: 丁红艺)