

基于模糊规划的间歇过程生产调度建模

张虹, 李歧强

(山东大学控制科学与工程学院, 济南 250061)

[摘要] 通过对现有生产调度模糊模型的分析, 针对间歇生产过程, 提出了一种新颖的参数模糊的通用模糊规划建模方法, 模糊模型采用2种基于普通遗传算法的模糊算法, 即模糊模拟和SFA算法。该方法中, 参数隶属函数选取灵活, 采用合适的模糊表示方式。最后通过实例验证了该模糊建模方法是一种有效的方法。

[关键词] 生产调度; 模糊规划; 间歇生产过程; 隶属函数

[中图分类号] TP273 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)10-0065-06

1 引言

在生产调度系统中, 存在大量的不确定因素, 这可用随机性、模糊性等来表示。利用模糊理论和随机理论来对生产调度问题进行建模势在必行, 因此数学规划发展已成了一个大分支——不确定规划, 包括随机规划和模糊规划^[1, 2]。在调度规则中, 常常包含着人的经验和知识, 这些经验知识具有模糊性。调度专家可以用模糊的、直觉的调度知识获得满意的调度结果, 因此有必要将这种模糊推理过程融入到调度决策中。应用模糊数学融合进决策者的意愿对其进行建模, 恰当合理地表述了其实际情况。

近年来, 许多学者针对生产调度系统, 建立了确定性调度模型^[3~6]。由于生产调度系统的复杂性、不确定性, 为了进行有效的调度, 不少文献对模型本身及其解法进行了研究, 也提出了相应的模糊规划模型^[7, 8], 然而这些模型大都是面向具体的调度过程。为此, 笔者在对生产调度系统进行详细的分析基础上, 提出一种通用的模糊建模方法。

2 生产系统的模糊性分析

实际问题中约束条件是带有弹性的。一般问题

都是用清晰系数或硬约束来做的, 得到的确定性方案不能完全表述具有模糊性质的生产调度系统。这些模糊因素大都体现在约束条件中, 也有可能性能指标中有所体现。

对生产调度问题, 一般存在如下模糊性:

1) 加工期的模糊性 生产过程中, 原料的特性及其供给状况、设备的性能及其使用条件、能源的供应和废品的出现以及工人的技术水平和主动性、积极性等等, 均会影响加工完成进度, 因此加工期是不确定的, 存在模糊性。

2) 交付期的模糊性 迄今为止, 所有调度问题均被认为, 工件的交付期是固定的、清晰的。实际并非如此, 工件的交付期与客户的满意度关系甚为密切, 不同客户对工件的交付期要求不同, 并非都要求其严格固定, 在开放车间(open shop)调度中更是如此。交付期的模糊性实际上普遍存在。理解和充分利用交付期的满意度, 可充分发挥设备的利用率等, 尤其有利于供不应求、满负荷运行状态的生产进度安排。

3) 产品的外部需求量和销售量的模糊性 众所周知, 市场是动态变化的。市场对产品的需求受产品价格、供求、国家政策、人们生活质量等众多

[收稿日期] 2003-10-22; **修回日期** 2003-12-17

[基金项目] “八六三”高技术计划资助项目(2001AA413420), 山东省自然科学基金资助项目(Y2003G01)

[作者简介] 张虹(1978-), 女, 山东蒙阴县人, 山东大学硕士研究生

因素的影响。由于市场的波动,产品的销售量在未来的一段时间内也是不定的。

4) 产品销售价格和原料价格的模糊性 价格被认为是一个定值。但市场需求瞬息万变,价格的动态性易知,销售价格和原料价格都是模糊变量。

5) 存贮容量的模糊性 存货是指企业在生产经营过程中为销售或耗用而储备的物资。在现代企业中,存货不仅品种繁多,且占用的资金数量也很大。一个好的存贮策略,既可以使总费用减小,又可避免因缺货影响生产和销售。目前,生产系统最优存贮容量的研究很多,为了确定最优存贮容量常需要确定存贮容量的上下限,而存贮容量的上下限往往也是不确定的,是模糊变量。

6) 人类决策行为的模糊性 人们在实践活动中获得的知识不可避免地带有模糊性,往往利用这些模糊知识去分析、解决问题。决策者一般具有模棱两可的知识、经验和信息,不一定能据此获得最优解,而且人们掌握的是一些不完全的信息,这些信息很难归结为某一个精确的值。在这种情况下,更自然地采用模糊集合来表示所得到的信息。

3 间歇过程生产调度的模糊建模方法

模糊建模是指从模糊信息的描述到建立一个适当的模糊数学模型的过程。1993年Kondili以STN为工具,提出了基于间歇化工过程的确定性调度模型MILP (mixed integer linear programming)^[5],较为详尽地考虑了在间歇化工过程中出现的种种情况,不失为生产过程的确定性调度模型的典范。笔者针对MILP模型,研究利用模糊规划的思想,分析其中存在的模糊信息以及出现的形式(模糊目标、模糊约束或模糊参数等)和方式(非精确的量化形式或者是含糊不清的语言等),把其中的约束条件和目标方程中的参数模糊化,采用非精确的量化形式,以隶属函数表示,建立了基于模糊参数生产调度的模糊线性规划模型(MIFCLP, mixed integer fuzzy coefficient linear programming)。其他MIFLP (mixed integer fuzzy linear programming)模型多数是针对某些参数或系数(如销售价格、外部需求量等)提出的,这是前者与后者的不同特点。

3.1 适于模糊的参数

与生产系统的模糊性分析相对应,为便于建

模,可用设备加工能力的模糊性来表达加工期的模糊性。设备的加工能力 \tilde{V}_{li} 及其最大加工能力 \tilde{V}_{li}^U 和最小加工能力 \tilde{V}_{li}^L ,往往受设备的耗损程度、加工时间长短等因素制约,因此是模糊变量,可用铃型函数等表示。在模型中,交付期的模糊性最终可用产品的需求量来表示。由于生产调度是在短期内实现的,外部需求量 \tilde{S}_{jt} 和产品的销售量 \tilde{P}_{jt} 是一个相对稳定的决策变量,即在某段区间内是稳定的,而低于或高于此段的可能性是逐渐减少的,因此可用铃型函数、高斯函数等表示。

销售价格 μ_j 和原料价格 η_j 是模糊变量,可用铃型函数等表示。存贮容量 I_j 及其上限 I_j^U 和下限 I_j^L 是模糊变量,由于生产调度系统中,存贮量有个最佳值或区间,不足或超过这个最佳值都不是决策者想要的,因此可用铃型函数等表示,可凭经验确定最佳值或最佳区间。

人类决策行为的模糊性在模型中主要体现在隶属函数、偏好及方案的选择上(见3.3节)。

综上所述,需要模糊的变量为:设备的加工能力 \tilde{V}_{li} 、产品的外部需求量 \tilde{S}_{jt} 、销售量 \tilde{P}_{jt} 、原料价格 μ_j 、销售价格 η_j 和存贮容量 I_j 。

在文献[5,6]的生产调度清晰模型的基础上,建立模糊调度模型,由此得到生产调度的模糊模型(清晰模型和符号定义见文献[5,6])。

3.2 生产调度的模糊模型

假设:有 N 种产品,有 N_E 种能源,各加工设备所需能源是已知的; $B_{lit} \in R^+$ 为 t 时刻开始在设备 i 上加工的作业 l 批量; $X_{lit} \in \{0, 1\}$, $X_{lit} = 1$ 表示 t 时刻在设备 i 上开始作业 l 的加工,加工中或未加工皆为零; $I_{jt} \in R^+$ 为 t 时刻开始的单位时间内化工产品 j 的存贮量, I_{j0} 为调度期开始前化工产品 j 的存贮量; $G_{Ekl} \in R^+$, $G_{Ekl}^U \in R^+$, $k = 1, 2, \dots, N_E$ 分别为 t 时刻开始的单位时间内能源 k 的需求量和最大供应量, $G_{Ek}^U \in R^+$ 为调度期内能源 k 的最大消耗量; $\tau \in R^+$ 为划分的调度时间间隔,一个调度时间间隔称为一个单位时间, $\tau_{li} \in R^+$ 为设备 i 处理作业 l 所需的加工时间数(时间间隔的个数); $\theta_{lj} \in R^+$ 和 $\bar{\theta}_{lj} \in R^+$ 分别为作业 l 的产出和消耗化工产品 j 的比例系数 $\sum_j \theta_{lj} = 1, \forall l$ 和 $\sum_j \bar{\theta}_{lj} = 1, \forall l$; $\alpha_{kl} \in R^+$, $\beta_{kl} \in R^+$ 分别为单位

时间内设备 i 运行所消耗的第 k 种能源的固定系数和随批量变化的比例系数, $\delta_k \in R^+$ 为第 k 种能源的单位费用; $h_j \in R^+$, $k_j \in R^+$ 分别为化工产品 j 的单位存贮费用和生产每单元化工产品 j 所需要的工时; $C^n \in R^+$, $C^0 \in R^+$ 分别为正常和加班工时费; $r \in N$, $\alpha \in N$ 分别为 t 调度期内的正常和加班生产工时, $O_P \in N$ 为 t 调度期内的所有作业集合, N 为自然数集合; $L_O(j) \subset O_P$, $L_I(j) \subset O_P$ 分别为产出和消耗的化工产品 j 的作业集合; $I_l \subset M_E$ 为加工作业 l 的设备集合; $L_i \subset O_P$ 为设备 i 上加工的作业集合; $P_{C_j}^U, P_{C_j}^L, j = 1, 2, \dots, N$ 分别为调度期内化工产品 j 的最高产量和最低产量 (或消耗量); $P_C, M_E = \{P_{C_i}, i = 1, 2, \dots, N\}$ 分别为所有化工产品和设备的集合; $M_R(j) \subset P_C$ 作为原料的化工产品集合, $M_D(j) \subset P_C$ 为所有加工设备生产的化工产品的集合; $O(j) \subset M_E, I(j) \subset M_E$ 分别为生产和消耗化工产品 j 的加工设备集合; T_o^U 为调度期内最大加班工时。

各集合有如下关系:

$$\begin{aligned} M_R(j) \cup M_D(j) &= P_C, \\ M_R(j) \cap M_D(j) &\neq \emptyset, \\ O(j) \cap I(j) &= \emptyset, \end{aligned}$$

$$\left\{ \left[\bigcup_{j=1}^N O(j) \right] \cup \left[\bigcup_{j=1}^N I(j) \right] \right\} = M_E$$

3.2.1 约束条件

1) 设备分配

$$\sum_{l \in L_i} \sum_{t'=t+1}^{t+\tau_{ij}-1} X_{l'it'} - 1 \leq M(1 - X_{lit}), \quad l \in L_i, \forall i, t \quad (1)$$

2) 产品的产量与消耗约束

$$P_{C_j}^L \leq \sum_{l \in L_O(j)} \theta_{lj} \sum_{t=1}^H \sum_{i \in I_l} B_{lit} \leq P_{C_j}^U, \quad j \in M_D(j) \quad (2a)$$

$$0 \leq \sum_{l \in L_I(j)} \bar{\theta}_{lj} \sum_{t=1}^H \sum_{i \in I_l} B_{lit} \leq P_{C_j}^U, \quad j \in M_D(j) \quad (2b)$$

3) 生产设备的容量约束

$$X_{lit} \underline{V}_{li}^L \leq B_{lit} \leq X_{lit} \underline{V}_{li}^U, \quad i \in I_l, \forall l, t \quad (3)$$

由于最大容量和最小容量往往是一个不确定值, 可以用模糊数表示。

4) 存贮容量约束

$$0 \leq I_{jt} \leq \underline{I}_j^U, \quad \forall j, t \quad (4)$$

式 (4) 表示 t 时刻化工产品 j 的存贮量应满足的约束, 其中 \underline{I}_j^U 是存贮容量上限, 是个不确定值, 具有模糊性。

5) 能源供应约束

$$G_{Ekl} = \sum_{i \in O_P} \sum_{i \in I_l} \sum_{t'=0}^{\tau_{li}-1} (\alpha_{ki} X_{lit-t'} + \beta_{ki} B_{li,t-t'}) \leq G_{Ekl}^U, \quad \forall k, t \quad (5a)$$

$$\sum_{k=1}^H G_{Ekl}^U \leq G_{Ek}^U, \quad \forall k \quad (5b)$$

6) 物料平衡约束

$$I_{jt} = I_{j,t-1} + \sum_{l \in L_O(j)} \theta_{lj} \sum_{i \in I_l} B_{li,t-\tau_{li}} - \sum_{l \in L_I(j)} \bar{\theta}_{lj} \sum_{i \in I_l} B_{lit}, \quad \forall j, t \quad (6)$$

式 (6) 表示 t 时刻化工产品 j 的存贮量与 $t-1$ 时刻化工产品 j 的存贮量之差等于 t 时刻产品出产量与 t 时刻产品的消耗量之差。

7) 原料供应约束

$$P_{jt} + I_{jt} \geq \sum_{l \in L_I(j)} \bar{\theta}_{lj} \sum_{i \in I_l} B_{lit}, \quad j \in M_R(j), \quad \forall t \quad (7)$$

由于市场作用, 供需情况是不断变化变化的, 因此产品的外部供应量是一个模糊变量。

8) 产品需求约束

$$I_{jt} + \sum_{l \in L_O(j)} \theta_{lj} \sum_{i \in I_l} B_{li,t-\tau_{ij}} \geq \underline{S}_{jt}, \quad j \in M_R(j), \quad \forall t \quad (8)$$

式 (8) 表示存贮、加工量与产品的外部需求之间应满足的关系, 由于市场作用, 外部需求量时刻都在变化, 是不确定值, 故用模糊数表示。

9) 加班工时约束

$$\sum_{t=1}^H \sum_{j \in M_D(j)} k_j P_{Cjt} - r \leq T_o^U \quad (9)$$

3.2.2 性能指标

最大利润

$$J_1 = \sum_{t=1}^H \sum_{j=1}^N (\mu_j \underline{S}_{jt} - \eta_j \underline{P}_{jt}) - \sum_{t=1}^H \sum_{k=1}^{N_E} \delta_k G_{Ekt} - \sum_{t=1}^H \sum_{j=1}^N h_j I_{jt} - (C^n r + C^0 (\sum_{t=1}^H \sum_{j \in M_D(j)} k_j P_{Cjt} - r)) \quad (10)$$

式 (1) 至式 (10) 形成了生产调度的 MIFCLP 模型。

3.3 模糊信息的描述与表达

在上述模糊模型中, 有 6 类变量具有模糊性,

将其描述为可以计算的数学形式尤为重要。因为模糊是由于概念上的模糊性或各种模糊因素的影响而造成定性处理时的不确定性，它反映了人们对模糊概念或模糊信息的认识，强调了人在系统综合评价中的重要性。

一般模糊规划中常将模糊数表达为L-R型^[9]或三角型^[10]。为便于计算，大多数文献以三角模糊数为主。三角模糊数的表达与计算比较方便，但纵观其所有的表达方式，更加普遍的情况是将其表达为一个区间数，在此区间内隶属度为1，其他地方为0。由此假设所引起的丢失信息之多，势必影响整个模型的最优解或满意解。还有一点就是其隶属函数需要分段表示，较为复杂。在很多情况下，铃型或高斯函数对问题的表达更加符合实际，且便于计算。

例子中，隶属度函数均采用铃型径向基函数（也可采用其他隶属函数，如高斯函数和薄板样条函数等）为

$$\mu_{A_i}(x_i) = f_{ik}(x_i) = 1 / (1 + ((x_i - c_{ik}) / a_{ik})^{2b_k}) \quad (11)$$

其中， $\{$ 对于 a_{ik}, b_{ik}, c_{ik} 而言, $k, i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ 为参数集。参数 c 确定了函数的中心，参数 a 确定了函数的宽度，参数 a 和参数 b 共同确定了函数的斜度。

4 模糊算法

模糊算法主要有2种。一种是在给定置信水平的情况下采用模糊模拟的思想（即对模糊集进行抽取），具体内容可以参考文献[1, 2]。另一种模糊算法是将模糊约束和模糊目标等同考虑^[7]。

虽然模糊模拟在经过多次采样之后，可能得到一个较好的解，有可能是最优解，但其效率太低，尤其是求解大规模问题时耗时会巨大，与转化为普通规划后的求解算法相比，失去了其优越性。大多数情况下，模糊约束和模糊目标的重要性不同，因此后者考虑的情况不周全。究其原因，主要是尚未充分有效地利用原问题中的信息。所以，综合二者特点，提出一种既能考虑到目标和约束的不同重要程度，又能避免模拟的低效率的算法，即普通模糊算法（SFA, simple fuzzy algorithm），步骤如下：

Step 1 初始化任务参数和遗传算法参数，包括种群规模 n_{pop} 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 和进

化代数 n_{gen} 等；

Step 2 初始产生 n_{pop} 个满足一定置信度水平的染色体；

Step 3 对染色体进行交叉和变异操作，同样需要检验是否满足一定置信水平；

Step 4 在此置信水平上，计算所有染色体的目标值；

Step 5 根据目标值使用基于序的评价函数计算所有染色体的适应度（即目标值）；

Step 6 用旋转赌轮选择染色体；

Step 7 重复步骤 Step 3 至 Step 6 直到达到预先设定的停止规则；

Step 8 把最好的染色体作为最优解。

为了采用以上算法并且体现置信水平，需要将MIFCLP模型化为如下的模糊机会约束规划模型：

$$\begin{aligned} \max & \bar{f}, \\ \text{s.t.} & \text{Pos} \{f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\xi}) \geq \bar{f}\} \geq \alpha, \\ & \text{Pos} \{g_j(\mathbf{x}, \boldsymbol{\xi}) \leq 0, \\ & j = 1, 2, \dots, p\} \geq \beta_j \end{aligned} \quad (12)$$

其中， \mathbf{x} 是决策向量， $\boldsymbol{\xi}$ 是模糊参数向量， $f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\xi})$ 是目标函数， $g_j(\mathbf{x}, \boldsymbol{\xi}) \leq 0$ 是约束函数。目标值 \bar{f} 应该是目标函数 $f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\xi})$ 在置信水平 α 下所得的最大值。 $\text{Pos}\{\cdot\}$ 表示 $\{\cdot\}$ 中事件的可能性。 α 是决策者可接受的模糊最优解的满意度， β_j 是通过询问决策者关心的变量和约束得到的体现约束重要性的满意度。在给定模糊集中，采用可能性理论与模拟的思想来搜寻最优解。

5 实例仿真

实例为一批处理化工过程的调度问题，生产调度的清晰模型采用文献[11]的实例模型，如图1所示；实例数据如表1所示。实例中共有5个任务，3种原料，2种产品和4种中间产品。用UDM方式把调度期分为5等份，即 $H=5$ ；设备 i 处理作业 l 所需的加工时间数统一设为 $\tau_{li} = 1$ ；设有4台设备（Unit），设备1和设备4分别用于加热（Task 1）和分离（Task 5），设备2和设备3都可进行加工任务 Task 2, Task 3, Task 4；中间产品 S4, S5, S6, S7 的初始库存 I_0 均为 40 kg，原料和最终产品的存贮量不受限制，不计其存贮费用；其他费用考虑为每完成单位批量的生产消耗资金 0.2 元（包括能源、工时、机器折旧等费用）。

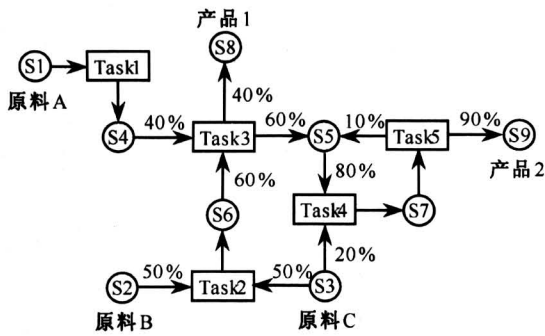


图 1 一个典型的化工批处理过程的状态-任务网 (STN)

Fig.1 State-task network for a classical chemical batch process

在模型中，均不考虑产品的产量与消耗约束、能源约束、原料供应约束、加班约束；性能指标中只考虑最大利润。在文献 [11] 中，按照上述需要模糊的变量对其进行模糊化。决策变量共有 120 个，有 120 个约束方程，模糊化的变量有 23 个。调度问题的求解程序编程语言为 Delphi6.0，是在 Windows 2000 下开发的。清晰模型采用普通的遗传算法进行求解，模糊模型采用 2 种基于普通遗传算法的模糊算法，即模糊模拟和 SFA 算法。程序运行 100 次后得到的统计结果，见表 2。

表 1 实例数据

Table 1 Example data

	S_{81}	S_{82}	S_{83}	S_{84}	S_{85}
估计销量	15	25	10	15	30
	S_{91}	S_{92}	S_{93}	S_{94}	S_{95}
	25	35	55	45	75
设备加工上限	V_{11}^U	V_{12}^U	V_{13}^U	V_{14}^U	V_{15}^U
	100	80	50	200	200
存贮容量上限	I_4^U	I_5^U	I_6^U	I_7^U	
	100	200	150	100	
单位原料费用	η_1	η_2	η_3		
	2	2	2		
单位存贮费用	h_4	h_5	h_6	h_7	
	0.5	0.5	0.5	0.5	
单位产品售价	μ_8	μ_9			
	12	5			
作业 1 产出比例	θ_{14}	θ_{26}		θ_{35}	
系数 θ_{ij}	1.0	1.0		0.6	
	θ_{38}	θ_{47}	θ_{55}	θ_{59}	
	0.4	1.0	0.1	0.9	
作业 1 消耗比例	$\bar{\theta}_{11}$	$\bar{\theta}_{22}$	$\bar{\theta}_{23}$	$\bar{\theta}_{34}$	
系数 $\bar{\theta}_{ij}$	1.0	0.5	0.5	0.4	
	$\bar{\theta}_{36}$	$\bar{\theta}_{43}$	$\bar{\theta}_{45}$	$\bar{\theta}_{57}$	
	0.6	0.2	0.8	1.0	

表 2 清晰模型和模糊模型的结果比较

Table 2 Results comparison between the crisp model and the fuzzy model

指标	清晰模型/%	模糊模型 SFA 算法/%	模糊模型 模糊模拟/%
>900			100
>1000	100	100	
>1100			97
利 >1200	98	93	92
润 >1300	97	85	92
/ >1400	60	61	67
元 >1500	18	41	45
>1600	0	11	23
>1700	0	2	2
>1800	0	0	2
利润范围 /元	1280~1567	990~1727	1092~1818
时间 /s	<1.7	53~67	180

% 表示运行结果高于某一范围的次数占总次数的百分数

由表 2 可以看出，由于模糊因素的存在，对模糊模型的求解是以牺牲时间为代价的。然而对模糊模型，不论模拟、不模拟所得的结果都比清晰模型好很多，清晰方法在 1 600 之后没有解，而模糊的方法都至少有 11% 的解。此例子很明显地表明，模糊模型 MIFCLP 是可行的。

6 MIFCLP 模型的优点

所提出的模糊建模方法是针对模糊规划问题中的参数而言的。它通过对各种类型的生产调度系统的分析，充分有效地考虑这些参数的实际意义，融入专家经验知识，把适于模糊的参数进行模糊化，并且选取合适的隶属函数，从而建立起精简、符合实际的间歇过程生产调度模糊模型，其优点如下：

1) 模型结构清晰、灵活实用，而将参数全部模糊化后的模型虽然通用，但无疑只是从数学角度来考虑的，而数学上或理论上的最优解未必是符合实际需要的，也可能是实际无法得到的。并且，由于模糊模型的求解更加复杂、耗时，那么全模糊的模型求解时间将很长。而所提出的模糊模型在这个方面有很大改进。

2) 根据实际需要，把某些不确定的因素或参数用相应的模糊数来处理，模糊数（有时称为模糊区间数）的选择灵活；

3) 由于模糊因素的存在, 放宽了约束, 扩大了解的搜索范围, 使得某些或全部性能指标得到改善。尤其对大规模问题, 约束众多, 相互矛盾, 而描述成模糊约束后能解决此问题, 显示其优越性;

4) 在此模型基础上, 可针对具体问题做具体分析, 参考此模糊的方法对其他具体的参数或变量进行相应的模糊化。

7 结语

由于生产调度系统本身的复杂性、不确定性, 基于对模型与实际的差异考虑, 将模糊数的概念引入到生产调度中, 提出了一种通用的模糊建模方法。由于模糊参数是对模型不准确的一种反映, 因此所提出的方法能够比精确系数的方法更好地解决模型与实际的差异。对于大规模问题, 笔者将做进一步研究。为了证明模糊建模的优越性, 因此用了最普通的算法。关于算法部分, 将另行论述。

参考文献

- [1] Liu B. Uncertain programming: optimization theory in uncertain environments [J]. Fuzzy Systems, The Ninth IEEE International Conference, 2000, (2): 941~944
- [2] Liu B, Iwamura K. Fuzzy programming with fuzzy decisions and fuzzy simulation-based genetic algorithm [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, (122): 253~262
- [3] Kondili E, Panteledes C C, Sargent R W H. A general algorithm for scheduling batch operations [A]. Proc of 3rd Intl Symp on Process Systems Engineering [C]. Sydney, 1998. 62~75
- [4] Mockus L, Reklaitis G V. Mathematical programming formulation for scheduling of batch operations based on nonuniform time discretization [J]. Computers Chem Engng, 1997, 21(10): 1147~1156
- [5] Kondili E, Panteledes C C, Sargent R W H. A general algorithm for short-term scheduling of batch operations-I MILP formulation [J]. Computers Chemical Engineering, 1993, 17(2): 211~277
- [6] 李歧强. 生产过程的智能决策与调度 [D]. 杭州: 浙江大学控制系, 1998
- [7] 杨红红, 吴智铭. 模糊需求环境下多工艺批量生产计划[J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(8): 1121~1126
- [8] Rinks D B. The performance of fuzzy algorithm models for aggregate planning under differing cost structures [A]. Gupta M M, Sanches E. Fuzzy Information and Decision Processes [M]. Amsterdam: North-Holland, 1982. 267~278
- [9] Glover F. Futute paths for integer programming and links to artificial intelligence [J]. Computers and Operations Research, 1986, 13: 533~549
- [10] Carlson C M F, Tavares H M F, Formigoni J R F. Parametric mixed linear programming with fuzzy numbers and an application to telecommunications networks planning [J]. Telecommunications Symposium, 1998, (1): 323~328
- [11] 王朝晖, 甘文泉, 陈浩勋, 胡保生. 具有模糊缓冲库存约束的化工批处理过程的调度 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 7: 62~68

Fuzzy Programming Based Modeling of Production Scheduling of Batch Processes

Zhang Hong, Li Qiqiang

(School of Control Science, Shandong University, Jinan 250061, China)

[Abstract] By analyzing certain fuzzy models for production scheduling, the author proposes a general novel fuzzification method based on fuzzy programming for batching production processes and offers a modeling method with fuzzy coefficients. Two fuzzy algorithms based on genetic algorithm, i. e., fuzzy simulation and SFA algorithm, are adopted to solve the fuzzy model. The selection of membership function is flexible, and a proper expression of fuzziness is adopted. Finally, a numerical example demonstrates that the modeling method is valid.

[Key words] production scheduling; fuzzy programming; batching production processes; membership function