

文章编号:1000-582X(2005)11-0050-03

# 基于模拟退火算法的单机提前拖期模型\*

石为人,李容,江道平,金艳

(重庆大学自动化学院,重庆 400030)

**摘要:**针对实际加工过程中作业时间的不确定性,建立了模糊加工时间的单机提前/拖期模型.目标函数在考虑了任务的提前/拖期惩罚、安装时间惩罚以及模糊加工区间限值惩罚的基础上,求取最优加工时间,使目标函数值达到最小.并用模拟退火技术确定了任务的最优加工顺序,最后给出了仿真实例.

**关键词:**提前/拖期模型;模糊加工时间;模拟退火;排序

**中图分类号:**TP301

**文献标识码:**A

提前/拖期生产计划方法是准时化(JIT)生产思想与制造资源计划(MRP-II)相结合的产物,是企业在CIMS环境下进行准时生产、准时交货,编制主生产计划的一种重要方法.随着JIT生产技术的成功应用,以准时化为目标的提前/拖期生产调度问题成为一个引人注目的研究领域.为了准确的描述准时化生产计划问题,笔者建立了加工时间为模糊区间的带有提前/拖期惩罚因子的单机生产计划模型,并利用模拟退火算法进行加工顺序的最优排序.

## 1 问题描述

在工程计划中,各工序的作业时间一般有工序的最短完成时间、实际加工时间和工序的最长完成时间第3种时间<sup>[1]</sup>.

设单机作业下  $n$  个等待加工的彼此独立的任务集合  $N$ ,任务  $i(i \in N)$  的交货期为  $d_i$ ,最短完成时间  $p_i^a$ ,最长完成时间  $p_i^b$ ,完成加工时间  $p_i$ , $p_i^a \leq p_i \leq p_i^b$ .并有如下假设:任务同时等待加工;任务不允许中断;机器每次只能加工一个任务.

优化目标函数定义为:

$$f(\delta, p) = \sum_{1 \leq i \leq n} [\alpha_i E_i + \beta_i T_i + \theta(p_i^b - p_i) + \gamma F_i]. \quad (1)$$

其中:  $E_i = \max(0, d_i - c_i)$ ;  $T_i = \max(0, c_i - d_i)$ ;  $\delta$  为任意一个加工顺序;  $p$  为加工时间,  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ ;  $E_i$  为任务  $i$  的提前量;  $T_i$  为任务  $i$  的拖期量;  $F_i$  为从任务  $i$  转到任务  $i+1$  的安装时间;  $\alpha_i$  为提前完工惩罚系数;  $\beta_i$  为拖期完工惩罚系数;  $\gamma$  为安装时间惩罚系数;  $\theta$  为实际加工时间偏离最长加工时间惩罚系数;  $d$  为交货期,  $d = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ ,  $d = d_i, i = 1, 2, \dots, n$ ;  $c$  为完成期,  $c = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ ,  $c = c_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

提前完工导致存储代价,拖期完工导致延迟代价.图1通过比较需要的生产速度和发货速度形象的表明了存储代价延迟代价的概念<sup>[2]</sup>.其中,实线表示所需生产水平的累积值,虚线表示计划生产的累积值.

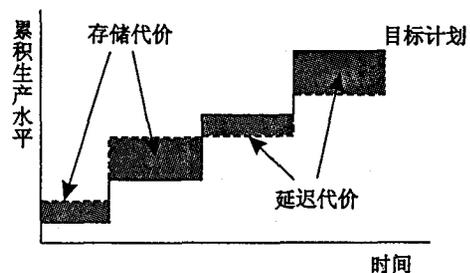


图1 存储和延迟代价

由图1可知,在实际生产中,拖期完工往往会使企业面临高额罚款,而提前完工只是增加库存,故拖期完工的惩罚系数应显著大于提前完工的惩罚系数,即

\* 收稿日期:2005-05-18

作者简介:石为人(1948-),男,重庆人,重庆大学教授,主要从事群决策与分布式智能系统的研究.

$\beta \gg \alpha$ .

优化目标是寻找最优加工时间  $p^*$ , 最优排序  $\delta^*$ , 极小化  $f(\delta, p)$ .

## 2 最优加工时间

对于每个任务, 加工时间的模糊区间为  $[p_i^a, p_i^b]$ ,  $i \in N$ , 目标为确定最优加工时间  $p^*$ , 使目标函数的值最小, 有:

$$f(\delta, p) = \sum_{1 \leq i \leq r} [\alpha_i(c_{[r]} - c_{[i]}) + \theta_{[i]}(p_i^b - p_i) + \gamma F_i] + \sum_{r+1 \leq i \leq n} [\beta_i(c_{[i]} - c_{[r]}) + \theta_{[i]}(p_i^b - p_i) + \gamma F_i] = \sum_{1 \leq i \leq r} [\alpha_i(i-1) - \theta_{[i]}]p_{[r]} + \sum_{r+1 \leq i \leq n} [\beta_i(n-i+1) - \theta_{[i]}]p_{[r]} + \sum_{1 \leq i \leq n} \theta_{[i]}p_i^b + \sum_{1 \leq i \leq n} \gamma F_i = \sum_{1 \leq i \leq n} \omega_i p_{[i]} + \sum_{1 \leq i \leq n} \theta_{[i]} p_i^b + \sum_{1 \leq i \leq n} \gamma F_i, \quad (2)$$

其中:

$$\omega_i = \begin{cases} \alpha_i(i-1) - \theta_{[i]}, & 1 \leq i \leq r \\ \beta_i(n-i+1) - \theta_{[i]}, & r+1 \leq i \leq n \end{cases} \quad (3)$$

由式 3) 可知:

$\omega_i > 0$  时, 加工时间取模糊区间的最小点;

$\omega_i < 0$  时, 加工时间取模糊区间的最大点;

$\omega_i = 0$  时, 加工时间取模糊区间的任意值.

故最优加工时间  $p^*$  取值公式为:

$$p_{[i]}^* = \begin{cases} p_{[i]}^b & \omega_i < 0 \\ p'_{[i]} & \omega_i = 0 \\ p_{[i]}^a & \omega_i > 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $p'_{[i]}$  为模糊加工区间中任意值,  $p_{[i]}^a \leq p'_{[i]} \leq p_{[i]}^b$ .

## 3 最优排序

### 3.1 模拟退火基本思想

模拟退火<sup>[3]</sup>思想于 1982 年由 Kirkpatrick 等人引入组合优化领域. 它是模拟物理系统退火过程的随机性迭代寻优方法, 具有易实现和全局渐近收敛的特点, 被广泛应用于求解一些 NP 问题.

作为一种通用启发式算法策略, 模拟退火的性能很大程度上取决于算法构建及其参数配置. 模拟退火法在某一初温下, 经过不断的降温, 在全局解空间中随机寻找最优解, 不但接受对目标函数有改善的状态, 还以某种概率接受使目标函数恶化的状态, 得出局部最

优解, 从而较有效的进行全局搜索.

### 3.2 用模拟退火算法求最优加工顺序

由于模拟退火方法接受使目标值变坏的解, 所以最终解有可能比计算过程中遇到的最好解坏<sup>[4]</sup>, 故在此对其稍加改进, 随时保存遇到的最好可行解.

初始设定如下:

1) 通过对  $T$  乘以一个接近 1 的降温系数  $\tau$  来减小  $T$ ;

2) 热平衡次数  $M$ ;

3) 集合  $D$  为曾经达到过的点集,  $D = \Phi$ ;

4)  $S$  的邻域  $N(S)$  指所有两个任务加工顺序互换而其他任务加工顺序不变的集合.

算法如下:

step1: 任选一个初始解  $i \in S$ , 计算  $i$  点目标函数  $f(i)$ , 并作为最好解保存;

step2: 设定初始温度  $T_0$ , 终止温度  $T_f$ ; 令  $k = 0$ , 当前温度  $T_k = T_0$ ;

step3: 对每一邻域进行邻域搜索, 产生邻域解  $j$ , 并计算  $\Delta f = f(j) - f(i)$ ;

step4: 若  $\Delta f \leq 0$ , 令  $i = j, D = D \cup \{i\}$ , 更新最好解, 转 step6;

step5: 产生  $\xi \in \text{random}[0, 1]$ , 若  $\exp(-\Delta f/T) > \xi$ , 则  $i = j, D = D \cup \{i\}, k = k + 1$ ;

step6: 如果  $k = M$ , 则令  $k = 0$ , 转 step7, 否则转 step3;

step7: 令  $T = \tau T$ , 如果  $T \leq T_f$ , 停止; 否则转 step3.

### 3.3 仿真算例

考虑某厂收到 6 个不同产品的订货. 选择温度的起始值为 70, 降温系数为 0.9, 热平衡次数 100. 各订货的交货期、完成期、管理价格 (即提前完工惩罚系数)、合同价格 (即拖期完工惩罚系数) 及加工时间见表 1, 机器加工各产品所需安装时间见表 2. 调度结果见图 2, 加工顺序依次为: 6、3、5、4、1、2.

表 1 6 个订货的数据

订货 $i$	交货期 $d_i$ /天	完成期 $c_i$ /天	管理价格 $\alpha_i$ /天	合同价格 $\beta_i$ /天	加工时间 $[p_i^a, p_i^b]$
1	25	33	3	200	[20, 20, 23]
2	30	20	5	350	[15, 18, 25]
3	35	38	2	300	[20, 25, 30]
4	40	42	3	400	[20, 32, 35]
5	60	54	10	500	[40, 47, 55]
6	50	86	7	450	[30, 45, 45]

表2 机器加工各单位产品所需安装时间  $F_i$ 

	0	1	2	3	4	5	6
0	×	2.5	2.1	1.4	1.9	1.8	2.2
1	1.3	×	2.0	2.2	2.3	1.2	1.4
2	2.0	1.4	×	1.5	0.8	2.0	1.0
3	2.5	1.5	2.0	×	1.3	1.6	1.3
4	1.8	1.2	1.7	0.9	×	0.4	2.1
5	1.1	1.6	1.2	1.5	1.8	×	0.6
6	1.3	1.7	1.0	2.1	1.9	1.2	×

注:方向为列一行,单位为天数.

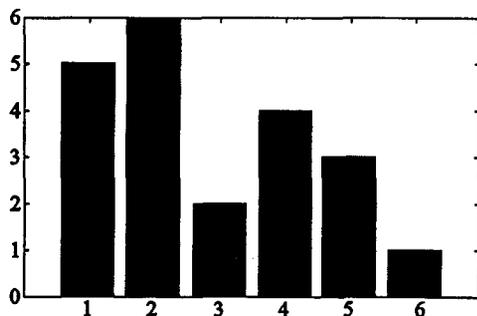


图2 调度结果

#### 4 结 语

针对实际加工过程中作业时间的不确定性,研究

了任务加工时间为模糊区间的单机提前/拖期问题. 目标函数在考虑了任务的提前/拖期惩罚、安装时间惩罚以及模糊加工区间取值惩罚的基础上,确定了最优加工时间. 用模拟退火技术确定了任务的最优加工顺序,并进行了仿真实例验证.

#### 参考文献:

- [1] 陈浩光,杨惠鹤,陈庆华. 模糊计划中处理不确定性的模糊评判模型与方法[J]. 计算机工程与设计,2000,21(2):44-48.
- [2] KIRKPATRICK S. Optimization by Simulated Annealing[J]. Science,1983,220(4 598):671-680.
- [3] 赵天玉. 模拟退火算法及其在组合优化中的应用[J]. 计算机与现代化,1993,3:17-21.
- [4] 李颖娟,汪定伟. 准时化生产计划的半无限规划模型与模拟退火方法[J]. 控制与决策,1998,13(5):603-607.
- [5] 庞哈利,郑秉霖,徐心和. 一种自适应的模拟退火算法[J]. 控制与决策,1999,14(5):477-480.
- [6] 翁妙凤. 解Job-shop 调度问题的混和模拟退火进化规则[J]. 信息与控制,1999,28(2):81-85.

## Single Machine Earliness/Tarliness Model Based on Simulated Annealing Algorithm

SHI Wei-ren, LI Rong, JIANG Dao-ping, JIN Yan

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** To counter the uncertainty of the processing time in the practical production process, this paper builds a single machine earliness/tarliness with fuzzy processing time. Optimum processing time is obtained and the minimum target function is got on the basis of taking penalty coefficients of the task, set-up time and value acquisition in the range of fuzzy processing time into consideration. The optimum processing sequence of the task is set by adopting the technique of simulated annealing and in the end in illustration of it a simulation case is put forward.

**Key words:** earliness/tarliness model; fuzzy processing time; simulated annealing; permutation

(编辑 吕赛英)