

对 DES 实行优化控制的一种方法

张 军 英

(西安电子科技大学计算机系 710071)

摘 要

对一类离散事件系统 (DES), 本文分析了其影响加工效率的因素, 提出了优化控制的指标, 并根据局部优化与全局优化相结合的原则提出了一种次优控制的方法, 计算复杂度的分析表明了它的可行性和有效性, 计算机仿真结果表明优化的闭环 DES 有一个从动态到静态最终稳定的过程, 但只有当生产过程进入程序化生产后总加工效率才能随生产的进行而不断提高。

关键词: 离散事件系统, 最优控制, 次优控制。

一、引 言

近十年来, 对离散事件系统 (DES) 的研究越来越受到重视^[1], 其典型应用领域是柔性制造系统, 但目前的研究多处于对系统的分析阶段。本文讨论如下一类 DES 的优化控制问题。考虑 n 台不同的机床 M_1, M_2, \dots, M_n 加工 m 种不同的产品 P_1, P_2, \dots, P_m 的系统, 每种产品仅备有一个托盘, 且都要经过 n 部机床的顺序加工, M_i 加工 P_j 的作业时间及 P_j, M_i 的投入时间已知, 分别为 $T(i, j), T(0, j)$ 和 $T(i, 0)$ ($i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$), M_i 加工 P_j 的开始时间记为 $X(i, j)$, 称为状态^[2]。选择产品 P_1, P_2, \dots, P_m 的适当加工顺序, 使加工过程的总加工效率最大则是对系统进行优化控制的要求。

二、影响加工效率的因素及控制指标提法

对于 P_1, P_2, \dots, P_m 按顺序加工的情况, 事件发生的过程如图 1 所示, 其中

$$\begin{cases} X(i, j) = \max\{X(i-1, j) + T(i-1, j), X(i, j-1) + T(i, j-1)\} & i = 1 \sim n, j = 1 \sim m, \\ X(0, j) = 0, & j = 1 \sim m, \\ X(j, 0) = 0, & j = 1 \sim n. \end{cases} \quad (1)$$

当 $X(i-1, j) + T(i-1, j) > X(i, j-1) + T(i, j-1)$ 时, 有

$$X(i, j) = X(i-1, j) + T(i-1, j). \quad (2)$$

因此 M_i 在加工完 P_{j-1} 后还需等待 $X(i, j) - [X(i, j-1) + T(i, j-1)]$ 时间才能开始加工 P_j , 这是机床等待产品的情况; 当 $X(i, j-1) + T(i, j-1) \geq X(i-1, j) + T(i-1, j)$ 时, 有

$$X(i, j) = X(i, j-1) + T(i, j-1). \tag{3}$$

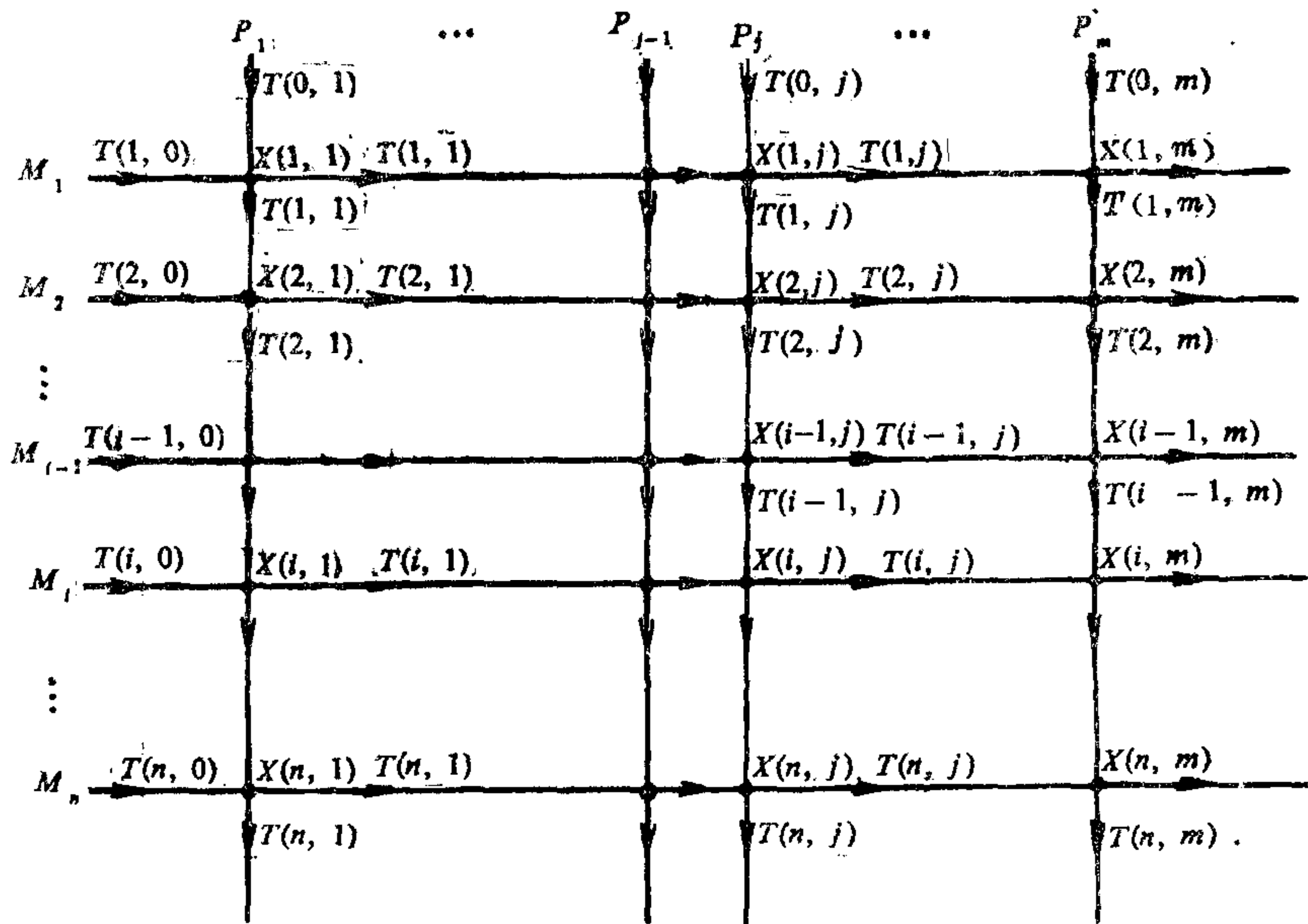


图 1 P_1, P_2, \dots, P_m 顺序加工时的事件图

因此 P_j 在被 M_{i-1} 加工完后还需等待 $X(i, j) - [X(i-1, j) + T(i-1, j)]$ 时间才能开始被 M_i 加工, 这是产品等待机床的情况。上述两种情况都将使生产时间延长, 降低加工过程的加工效率。

定义 1. 按 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_j}$ 顺序加工产品过程中 M_i 机床的作业时间 $u_i^{k_1 k_2 \dots k_j}$ 和闲置时间 $c_i^{k_1 k_2 \dots k_j}$ 分别定义为在 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_j}$ 投入系统到被系统释放过程中, M_i 加工各产品的作业时间之和, M_i 等待各产品加工及各产品等待 M_i 加工的时间之和。

定义 2. n 部机床 M_1, M_2, \dots, M_n 按 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_j}$ 顺序加工产品过程的总加工效率 $\eta^{k_1 k_2 \dots k_j}$ 定义为

$$\eta^{k_1 k_2 \dots k_j} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i^{k_1 k_2 \dots k_j}}{\sum_{i=1}^n u_i^{k_1 k_2 \dots k_j} + \sum_{i=1}^n c_i^{k_1 k_2 \dots k_j}}. \tag{4}$$

对图 1 所示的事件图, 有

$$\eta^{12 \dots m} =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T(i, j)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \{T(i, j) + X(i, j) - [X(i-1, j) + T(i-1, j) + X(i, j) - X(i, j-1) + T(i, j-1)]\}}. \tag{5}$$

由此,可以得到优化控制的控制指标为:寻找产品 P_1, P_2, \dots, P_m 的最优加工顺序 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_m}$, 使 $\eta^{k_1 k_2 \dots k_m}$ 为最大.

三、优化产品加工顺序的方法

为实现对这类 DES 的最优控制,需对 P_1, P_2, \dots, P_m 作全排列计算 η 值, 并比较选择,这对较大的 m 和 n 值,即使用计算机计算也相当费时.

为了使计算量不至过大,同时保证产品加工顺序的次优控制,这里采取一种对需加工的产品进行逐步排序的方法.即第一步在 P_1, P_2, \dots, P_m 中选择第一个要加工的产品 P_{k_1} , 使 n 部机床加工 P_{k_1} 这个产品的加工效率为最大;第二步在剩余的 $m-1$ 个产品中选择第二个要加工的产品 P_{k_2} , 使 n 部机床按 P_{k_1}, P_{k_2} 的顺序加工这两个产品的总加工效率最大;依次类推.在已经选择了 l 个产品的优化加工顺序 $P_{k_1}, P_{k_2}, \dots, P_{k_l}$ 之后,每下一个要加工的产品(第 $l+1$ 个) $P_{k_{l+1}}$ 都选为使加工这 $l+1$ 个产品的总加工效率

为最大的那个产品,即设 $u_L = \sum_{i=1}^n u_i^{k_1 k_2 \dots k_l}$, $c_L = \sum_{i=1}^n c_i^{k_1 k_2 \dots k_l}$, 则选择使

$$\eta^{(k_1 k_2 \dots k_l) k_{l+1}} = \frac{u_L + \sum_{i=1}^n u_i^{k_{l+1}}}{\left(u_L + \sum_{i=1}^n u_i^{k_{l+1}}\right) + \left(c_L + \sum_{i=1}^n c_i^{k_{l+1}}\right)} \Big|_{P_{k_{l+1}}} \rightarrow \max \quad (6)$$

的那个产品作为下一个要加工的产品.最终得到产品的优化加工顺序.明显地这是一个将整体优化与局部优化有机地结合起来的次优排序控制方法.

笔者在 IBM-PC 机上用 Turbo Pascal 语言编制了用上述方法对 DES 进行优化控制的仿真程序,并进行了大量的仿真实验.现用加工时间矩阵分别为

$$T_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 5 \\ 3 & 2 & 3 \\ 4 & 3 & 0 \end{pmatrix}, T_2 = \begin{pmatrix} 9 & 9 & 7 \\ 8 & 9 & 7 \\ 7 & 9 & 7 \end{pmatrix},$$

$$T_3 = \begin{pmatrix} 6 & 5 & 4 \\ 2 & 7 & 3 \end{pmatrix}, T_4 = \begin{pmatrix} 9 & 5 & 2 \\ 7 & 3 & 1 \\ 6 & 4 & 2 \end{pmatrix}$$

表 1 最优控制与次优控制的比较

加工时间矩阵	最优控制		次优控制	
	最优产品加工顺序	加工效率	次优产品加工顺序	加工效率
T_1	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.75000000	$P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$	0.67741935
T_2	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.72000000	$P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$	0.70588235
T_3	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.79411765	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.79411765
T_4	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.57352941	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.57352941

的 DES 系统优化控制为例说明大量仿真实验的结果。生产一套产品的次优控制结果与最优控制结果的比较详见表 1。由表 1, 次优控制的总加工效率总是小于等于最优控制的加工效率, 大量实验结果表明次优控制的总加工效率一般小于最优控制总加工效率的 1.1

表 2 产品成套生产的仿真结果

system	set num	optimal parts sequence [#]	set validity	whole validity
T_1	1	$P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$	0.67741935	0.67741935
	2	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.67741935	0.67741935
	3	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.60000000	0.64948454
	4	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.51219512	0.60869565
	5	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.44680851	0.56756757
	6	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.39622642	0.52941176
	7	$P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$	0.32812500	0.48675497
	8	$P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$	0.30000000	0.45161290
	9	$P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$	0.27631579	0.42187500
	10	$P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$	0.25609756	0.39622642
T_2	1	$P_3 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$	0.70588235	0.70588235
	2	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.96000000	0.81355932
	3	$P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$	0.91139241	0.84375000
	4	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.96000000	0.87009063
	5	$P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$	0.91139241	0.87804878
	6	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.96000000	0.89072165
	7	$P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$	0.91139241	0.89361702
	8	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.96000000	0.90140845
	9	$P_1 \rightarrow P_3 \rightarrow P_2$	0.91139241	0.90250696
	10	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.96000000	0.90794451
T_3	1	$P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow P_3$	0.79411765	0.79411765
	2	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.83076923
	3	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.84375000
	4	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.85039370
	5	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.85443038
	6	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.85714286
	7	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.85909091
	8	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.86055777
	9	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.86170213
	10	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.87096774	0.86261981
T_4	1	$P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$	0.57352941	0.57352941
	2	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.67241379	0.61904762
	3	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62234043
	4	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62400000
	5	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62500000
	6	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62566845
	7	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62614679
	8	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62650602
	9	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62678571
	10	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$	0.62903226	0.62700965

倍,但获得产品优化加工顺序所需的计算量却大大减小了.对于需要成套生产产品的情况,计算机仿真呈闭环形式,所得到的优化控制结果列于表 2 中,其中 set num, set validity 和 whole validity 栏的第 i 行分别表示生产的第 i 套产品、生产第 i 套产品的加工效率以及从开始生产到生产了第 i 套产品过程的总加工效率.由表 2 知,随着生产过程的进行,优化的产品加工顺序有一个从动态到静态的过程,最终形成稳定的产品加工顺序.但对有的过程(如 T_1),尽管产品加工顺序逐步稳定下来,但其生产每一套产品的加工效率却逐渐减小,即没有带来生产过程的程序化,其结果是使总加工效率随着生产的产品的套数的增加而减少.而对另一些过程(如 T_2, T_3, T_4),优化的产品加工顺序逐渐稳定下来的同时生产每一套产品的加工效率也逐渐稳定下来,这时生产过程进入程序化,其结果是总加工效率随着生产产品的套数的增加而不断增加.

若按对各种产品进行全排列来获得最优的产品加工顺序,共需计算 $m!(mn)$ 次的状态值、闲置时间和加工时间,并进行 $m!$ 次比较运算.而按本文提出的方法,则共需 $m(m+1)/2$ 次加工效率的计算,每次加工效率的计算只需计算 m 次状态值、闲置时间和作业时间,并进行 $m(m+1)/2$ 次比较运算,所以从计算量上看本文的方法比全排列的方法减小 $\frac{m!(mn)}{m(m+1)/2} \doteq 2n(m-1)!$ 倍,而比较运算也减少 $\frac{m!}{m(m+1)/2} = \frac{2}{m+1} \times (m-1)!$ 倍.由此表明该方法的可行性.

四、结 束 语

本文对一类离散事件系统提出了一种次优控制的方法,这种方法适用于寻找串行加工系统的次优产品加工顺序,若用这种方法寻找批量生产的闭环 DES 的产品加工顺序,得到的是一个从动态到静态最终稳定的产品加工顺序,但只有生产过程进入程序化生产时,总加工效率才能随着生产的进行不断提高.对于无法进入程序化生产的闭环 DES 系统,估计在适当增加托盘数量的情况下能够改善总加工效率.

参 考 文 献

- [1] 王龙、郑大钟,一类柔性制造系统的运行特性,信息与控制,5(1988),1—5.
- [2] 徐心和,“线性”离散事件动态系统,控制与决策,3,4(1987).
- [3] Cohen, G., Dubois, D. and Viot, M., A Linear-System-theoretic View of Discrete-event Processes and Its Use for Performance Evaluation in Manufacturing, *IEEE Trans. Automatic Control*, 3(1985), 210—220.

A METHOD OF REALIZING SUBOPTIMAL CONTROL TO DES

ZHANG JUNYING

(Dept. of Computer, Xidian University, Xi'an 710071)

ABSTRACT

To realize an optimal control of a class of DES (Discrete-Event-System), this paper analyses the causes that affect the operation efficiency, presents a target for optimal control, and, according to the combination of local optimal and global optimal control, suggests an effective suboptimal control method. This method is analysed and proved to be not complex. The computer simulations indicate that the closed-loop DES has a process from dynamic to steady state. However, only when the producing process is programmable, the whole efficiency can be better as the process continues.

Key words: Discrete-Event-System (DES); optimal control; suboptimal control.