

基于遗传算法的一类带缓冲区的混合生产调度

徐 智 席裕庚 韩 兵

(上海交通大学自动化研究所·上海, 200030)

摘要: 提出带缓冲区的混合生产的一种调度模型, 将离散生产所需的半成品原料的生产分解为连续生产过程各生产线的分段式生产任务, 并给出快速调度方法, 再利用遗传算法和分派规则求解离散生产调度问题. 仿真算例表明了该方法的有效性.

关键词: 缓冲区; 混合生产; 混合调度; 遗传算法

文献标识码: A

Scheduling Hybrid Production with Buffer Based on Genetic Algorithm

XU Zhi, XI Yugeng and HAN Bing

(Institute of Automation, Shanghai Jiaotong University · Shanghai, 200030, P.R. China)

Abstract: This paper presents a scheduling model for a kind of hybrid production process. An effective scheduling method is presented, which gives the scheduling continuous production lines which produce the inter-mediums needed in discrete production process. Then the scheduling in discrete production is obtained by the combination of genetic algorithm and dispatch rule. The simulation of an actual example indicates that the method is effective.

Key words: buffer; hybrid production; hybrid scheduling; genetic algorithm

1 引言 (Introduction)

现代化生产的一个重要特点是生产的大规模化. 如何安排各部门的生产是影响企业的效率及产品的质量的重要因素. 研究如何安排生产的调度问题越来越受到重视. 但由于并行的机器生产线及产品加工的路径不确定的情况已成为普遍现象, 造成调度问题的高复杂性和高难度. 目前的研究主要集中在离散生产调度^[1,2]. 离散生产调度常常假设离散加工的半成品原料是充分给定的. 但从实际出发可知, 连续生产过程及时生产离散生产所需的半成品原料是离散生产能够进行的必要条件. 同时, 由于缓冲区的存储容量有限, 因此离散生产对缓冲区的半成品原料的消耗又是连续生产能继续的条件. 现有文献研究连续生产调度问题的方法常是基于离散化的批处理方式. 文献[3]给出基于混合整数规划方法的解决批处理的调度问题. Christos 研究了连续过程的产出学习优化问题, 得到了无约束条件下的优化结果^[4]. 遗传算法是一种性能比较好的随机寻优算法, 较适合在并行生产线及产品加工路径不确定的情形下的调度问题求解. 但目前的文献大都将

其应用于离散生产的调度. 文献[5]给出基于遗传算法的离散 Job Shop 生产调度方法, 得到较为满意的调度结果. 文献[6]利用进化算法给出基于离散化的化工生产过程批处理调度.

本文就一类带缓冲区的混合生产过程的最早完工时间指标 (Makespan) 的调度问题, 进行分析、求解. 连续生产调度直观的方法是安排各条生产线以最大的生产能力进行生产, 但实际的情况往往是, 一条生产线虽能生产多种半成品原料, 但在任意时刻最多只能生产一种半成品原料. 此时就难以确定各时刻该生产线应该生产何种半成品原料. 此外, 缓冲区存储容量有限的约束, 更增加了调度的难度. 混合生产的离散生产部分的调度常常是一个 NP-hard 问题, 当其所需的半成品原料不能及时供给时, 整个离散生产常不得不全部延期. 上述混合生产的调度问题寻优是一个极具挑战性的问题. 本文以遗传算法为离散生产调度的寻优工具, 将其个体所需的半成品原料的生产作为连续生产部门的生产任务, 同时求出连续生产过程在满足缓冲区、连续生产能力等约束下的调度结果, 并求出完成上述任务实际所需

的最短时间.在此基础上,可求得个体的适应度函数值.由于计算个体适应度函数值的次数较多,而半成品原料任务的调度求解次数与之相同,因此寻找可快速、准确的算法来进行连续生产调度是十分重要的.

2 带缓冲区的混合生产过程的调度问题的描述 (Scheduling problem of hybrid production with buffer)

典型的带缓冲区的混合生产不但有离散生产过程,还有为离散生产所需的半成品原料而生产的连续生产,储存容量有限的缓冲区是连接两生产过程的纽带.连续生产过程的生产线生产的半成品原料全部进入缓冲区,只有缓冲区中已经储存有足量的离散生产所需半成品原料时,离散生产才可以进行.本文假定半成品进入、离开缓冲区的所需时间不计.当缓冲区中无储存空间时,连续生产就不能再继续.该生产过程的示意图如图 1.

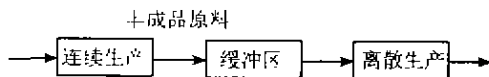


图 1 带缓冲区的混合生产过程

Fig. 1 Hybrid production with buffer

本文考虑的调度目标是为连续生产过程各个生产线及离散生产过程的各个机器制定生产计划,不违背半成品原料及加工工艺等约束,使混合生产能够进行,并用最短的时间完成全部生产任务.本文所用的符号含义如下:

连续生产过程:

有 m_1 条生产线,分别记为 $cm_1, cm_2, \dots, cm_{m_1}$, 可生产 n_1 种半成品原料.共有 b 批生产任务;

$x_{ij}(t)$ —— t 时刻第 i 条生产线生产第 j 种半成品原料的速率;

$x_{ij}^{\max}, x_{ij}^{\min}$ ——第 i 条生产线生产第 j 种半成品原料的最大、最小生产速率;

$y_{j,k}$ ——第 k 批第 j 种半成品原料的需要量;

T_l ——第 l 批任务完成时刻与第 $l+1$ 批任务完成时刻之间的最小时间间隔;

$C_j(t)$ —— t 时刻缓冲区中第 j 种半成品原料的数量;

$C^{\max}$ ——缓冲区的容量;

e_k ——第 k 批任务的完成时刻.

其中, $i \in I = \{1, 2, \dots, m_1\}, j \in M = \{1, 2, \dots, n_1\}, k \in \mathbb{N} = \{1, 2, \dots, b\}, l \in \mathbb{N} \setminus \{b\}$.

由于所考虑的调度问题指标是 Makespan, 显然作为混合生产的重要组成部分,连续生产调度的目

标是用最短的时间及时生产出离散生产所需的半成品原料.因此连续生产调度问题为,求解出一组 $x_{ij}(t)$,能够在最短的时间内生产出所有的 b 批任务的全部半成品原料,同时必须满足生产能力约束、生产线不能同时生产多种半成品原料的约束、缓冲区约束以及各批任务之间的时间间隔约束等,即

$$\min_{x_{ij}(t)} J_1^* = T, \quad (1)$$

$$\text{s.t. } T = e_b, \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_{ij}^{\min} \leq x_{ij}(t) \leq x_{ij}^{\max} \\ \text{或 } x_{ij}(t) = 0, \forall i \in I, j \in M, \end{cases} \quad (3)$$

$$C_j(t) = C_j(0) + \sum_{i=1}^{n_1} \int_0^t x_{ij}(\tau) d\tau - y_{jk} \int_0^t u_k(\tau) d\tau. \quad (4)$$

其中

$$u_k(t) = \delta(t - e_k), \forall i \in \mathbb{N}, j \in M, t \in [0, T], \quad (5)$$

$$C_j(t) \geq 0, \forall j \in M, t \in [0, T], \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{n_1} C_j(t) \leq C^{\max}, \forall j \in M, t \in [0, T], \quad (7)$$

$$e_{i+1} - e_i \geq T_i, \forall i \in \mathbb{N} \setminus \{b\}, e_i \geq 0, \quad (8)$$

$$\sum_{j,k \in M} (x_{ij}(t) x_{ik}(t)) = 0, \forall i \in I, t \in [0, T]. \quad (9)$$

其中,(3)式表明生产能力的约束.若生产线 i 在 t 时刻生产 j 种半成品原料,则其速率受到上下限的约束.若 t 时刻不生产 j 种半成品原料,则 $x_{ij}(t)$ 可为 0. (4) 式描述缓冲区中第 j 种半成品原料的动态变化. (5) 式表示缓冲区中半成品原料数量必须为非负数. (6) 式表示任一时刻缓冲区中所有的半成品原料的总和不出缓冲区容量限制. (7) 式描述相邻批任务之间的间隔约束. (8) 式表明任一生产线在 t 时刻最多只能生产一种半成品原料.

离散生产过程:

有 m_2 台机器,分别记为 $dm_1, dm_2, \dots, dm_{m_2}$, 可生产 p 类共 n_2 个最终的离散产品.各机器及工件有如下特点:

1) 每台机器可进行若干操作,不同机器能加工的操作不完全相同,且不同机器完成相同操作的时间也不一定相同;

2) 每类有若干数目的工件,每工件有若干操作,各操作的顺序不可改变,不同类工件所需的操作不完全相同;

3) 相同类工件的到期时间相同,不同类的工件

到期时间不同;

4) 工件在机器上加工时,工件的安装时间与该机器前一加工操作有关.适当的操作序列可以减少机器加工工具的更换,从而减少工件的安装时间.

本文在考虑 Makespan 指标的同时要求工件尽量不超期,为此对超期工件在性能指标中加入惩罚项,于是性能指标为

$$\min Q = \max_{i \in \{1, 2, \dots, n_2\}} L_i + \alpha \sum_{j \in \{1, 2, \dots, n_2\}} \max(0, t_{cj} - t_{dj}),$$

$$t_{ij,g} \leq t_{nj,g+1}, j \in \{1, 2, \dots, n_2\};$$

$$g = 1, 2, \dots, O_j - 1.$$

其中 L_i 为第 i 台机器完成所有操作加工的时间,包括工件安装时间、工件加工时间和机器等待时间; t_{cj}, t_{dj} 分别为第 j 个工件完成加工的时间和到期时间; α 为超期惩罚项加权系数; $t_{ij,g}$ 为第 j 个工件的 g 操作的加工完成时间; $t_{nj,g+1}$ 为第 j 个工件的 $g+1$ 操作的开工时间; O_j 为第 j 个工件总的操作数.

3 混合生产调度问题的求解 (Resolution of hybrid production scheduling)

3.1 混合生产调度的总体思想 (Guide line of hybrid production scheduling)

在本文所研究的混合生产系统中,连续生产的任务是能够及时提供离散生产所需的半成品原料.显见连续生产的任务是由离散生产的各个工件第一个操作的开工时间及所需的半成品原料数量决定的.同时,由于连续生产过程生产的半成品原料是立即进入缓冲区的,且缓冲区中半成品原料的减少只发生在离散生产的各个工件第一个操作的开工时间,而缓冲区容量是有限的,因此连续生产的任务是分段式的.由此可见,连续生产任务调度的基础是离散生产的调度结果.虽然连续生产在整个混合生产中处于从属地位,但由于离散生产的各工件的第一个操作的实际开工时间是由离散调度的开工时间与连续生产过程生产出所需半成品原料时间的最大值决定,因此连续生产调度是混合生产调度的重要组成部分.混合生产调度中离散生产调度与连续生产调度之间的关系示意图如图 2 所示.

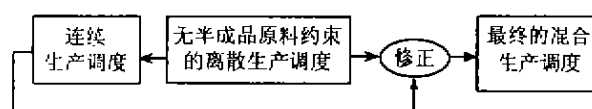


图 2 混合生产中各调度的关系

Fig. 2 Relationships among scheduling

3.2 连续生产过程的调度 (Scheduling for continuous production)

连续生产的目的是能及时提供离散生产所需的

半成品原料.由于离散加工只在各工件的第一个操作时需要半成品原料,因此连续生产的任务是在各工件第一个操作开始加工之前生产出所需的半成品.显见,连续生产的任务是分段式的,且相邻段的间隔不能小于离散部分所给出的间隔.

由于在上述描述连续生产过程调度的数学模型中,式(4)及式(8)是非线性约束,直接求解比较困难.因此将该部分的调度问题作如下的转化.

结论 1 如连续部分调度问题有最优解,则 $\{x_{ij}^{\max}, 0\}$ 中元素的组合必可产生一最优解.

结论 2 连续部分调度问题的最优解可表示为生产线 i 在任一批任务的生产过程中生产 j 产品最多一次.

基于上述的两个结论,可将连续生产调度问题转化为如下的线性规划问题:

$$\min J_2^* = e_{n_2}, \forall l \in \mathbb{N}, i \in I, j \in M \setminus \{n_1 + 1\},$$

(9)

$$\text{s.t. } z_{ilj} \geq 0, \forall l \in \mathbb{N}, i \in I, j \in M \setminus \{n_1 + 1\},$$

(10)

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n_1+1} z_{ilj} + e_{l-1} = e_l, \\ \forall l \in \mathbb{N}, i \in I, j \in M \setminus \{n_1 + 1\}, \end{cases}$$

(11)

$$\begin{cases} C_j(e_{l-1}) + \sum_{j=1}^{n_1} (z_{ilj} x_{ij}^{\max}) - y_{jl} = C_j(e_l), \\ \forall l \in \mathbb{N}, i \in I, j \in M, \end{cases}$$

(12)

$$C_j(e_l) \geq 0, \forall l \in \mathbb{N}, j \in M,$$

(13)

$$\sum_{j=1}^{n_1} (C_j(e_l) + y_{jl}) \leq C^{\max}, \forall l \in \mathbb{N}, j \in M, \quad (14)$$

$$e_{l+1} - e_l \geq T_l, \forall l \in \mathbb{N} \setminus \{b\}, e_l \geq 0. \quad (15)$$

其中, $e_0 = 0$. 新引入记号 z_{ilj} 代表第 l 批第 i 条生产线生产第 j 种产品的时间长度,且 $l \in \mathbb{N}, i \in I, j \in M \setminus \{n_1 + 1\}$. 上述的第 $j = n_1 + 1$ 种产品是为解决问题特意构造的虚拟产品, z_{li, n_1+1} 代表第 i 条生产线在生产第 l 批任务过程中的停工等待状态.

由于上述的问题是线性规划问题,因此可快速求解得出调度结果.

3.3 离散生产过程的调度 (Scheduling for discrete production)

就离散生产部分而言,所研究的混合生产系统的 Makespan 问题是有柔性加工路径的 Job Shop 调度问题.即每个操作可能有多台机器可加工,因而工件的各操作分配到哪台机器上加工也是问题求解的

重要部分.从该角度出发可将有柔性加工路径的 Job Shop 调度问题分为两部分.即首先将各工件的每个操作分配到相应的能加工此操作的机器上,再决定各工件在相应机器上的加工次序及开工时间.在第一部分,当系统有 m_2 台机器,每工件有 O_i 个操作时,在不考虑解的可行性情况下,搜索的解空间大小

为 $(m_2)_{\sum_{i=1}^n O_i}$.即使在考虑解的可行性时,解空间虽有减少,但仍十分巨大,常规方法难以求解.而在第二部分中决定各工件的加工次序和开始时间时,必须满足各工件各操作的加工次序及任一时刻被加工的工件只能由一台机器加工等硬约束.

鉴于上述的离散生产调度问题是有柔性加工路径的 Job Shop 调度问题,本文采用遗传算法和分派规则相结合的调度算法.利用遗传算法适宜搜索较大解空间的特点,来解决工件的各个操作分配到合适的机器上的问题.利用分派规则的简单、高效性,来满足工件的操作顺序的约束,从而得到各台机器上待加工的工件的加工次序和开工时间.即经过遗传编码、分派仿真、适应度计算及遗传进化等操作可得最优的离散生产调度.

3.3.1 遗传编码(Gene coding)

在用遗传算法对工件的操作进行编码时,可用若干 bit 来表示一个操作被分配的机器的编号.所需的 bit 位数由离散生产的机器总数 m_2 决定.本文采用常用的二进制编码方式.因此,只要 z 个 bit 即可,其中 $2^z \geq m_2$.一个染色体(个体)应包含各工件的所有操作,所以个体的大小应为 z 和全部工件的总操作数之积.本文按工件的编号对工件的各操作进行编码,依次对工件 1、工件 2 等进行编码,直到所有工件全部操作都被编码.

3.3.2 分派规则(Dispatching rules)

根据以上的编码,一个个体的值决定了工件的操作应在哪一台机器上加工,然后可利用分派规则来决定每台机器上各工件加工的次序及开工时间.在仿真时,每台机器都有一足够大的专用缓冲区来存放待加工的工件.在仿真开始时,按各工件的第一个操作所分配的加工机器将工件分配到相应机器的缓冲区中,每台机器根据分派规则从各自的缓冲区中取出一工件加工,加工结束后,除该工件的所有操作都已完成而被移出系统外,按该工件相邻的下一个操作所分配的机器将其移入对应机器的缓冲区中.当某机器一旦空闲,只要其缓冲区中有工件待加工,就应按分派规则从它的缓冲区中取出工件来加

工.分派规则有多种,但由于工件有不能过期的约束,因此本文采用最早到期分派规则(EDD)来决定各工件在相应机器上的加工次序和开工时间,即从各机器的工件缓冲区中选择具有最早到期的工件来加工.

3.3.3 适应度计算(Fitness calculation)

根据 EDD 分派的仿真结果,可以计算出每一个体相对应的优化指标值 Q ,进而可以确定它的适应度值 f .本文寻求的是最小化目标函数值,而遗传算法是最大化适应度值,因此应用一变换函数将个体的优化指标值 Q 映射为它的适应度值.文中采用的映射函数为 $f = 1000 - Q$.显然,只要 Q 的系数为负数就可达到映射目的.映射函数中的 1000 只是为了避免个体的适应度值出现负值.易知,最大的适应度值即为所寻的最小的目标函数值.

3.3.4 遗传进化(Evolution)

采用简单遗传算法来寻优.若第 i 个体的适应度值为 f_i ,则它被选中的概率为 $f_i / \sum f_i$,即采用赌盘方法选择个体.并采用单点交换方式进行个体的交配.由于交换后有可能出现非可行解(即将操作赋予不能加工此操作的机器),因此必须检查解的可行性.如产生不可行解则放弃该次交配运算.同样在进行变异操作时,也必须检查解的可行性,如产生不可行解则不进行该次变异运算.在每一代的进化中,从群体中以与每个个体的适应度值成比例的概率选择两个个体作为下一代个体的父辈,按概率 P_c 进行交配操作,所产生新的个体,再以概率 P_m 进行变异操作,从而产生新一代的个体.

3.4 混合生产过程的调度(Scheduling for hybrid production)

由求解混合生产调度的总体思想可知在离散生产的调度中,应当根据连续生产的调度结果来修正离散生产调度的适应度值.即在不考虑半成品原料供给时所得的离散调度结果的优化指标值 Q 是伪最优值,因为未考虑可能因离散加工所需的半成品原料的供应不及时而导致的延期.为了能够真实地反映实际的生产过程,必须考虑连续生产过程的半成品原料的生产问题,并修正原来的 Q .在此基础上可得到最优的混合调度结果.修正的方法如下:

3.4.1 优化指标值修正(Adjustment)

由于工件第一个操作的实际开工时间为,离散部分调度的开工时间与连续生产过程生产出足量半成品原料所需时间的最大值.因此按如下的修正方案可以得到可行的离散加工调度,即找出原来不考

虑半成品原料约束时得到的离散调度结果中所有工件的第一个操作的开工时间,将它们从小到大依次排列,再将它们和连续生产过程生产相对应的半成品原料完工时间比较,取最大值作为修正后的开工时间.对于其它操作,只要其开工时间在上述的被延期修正的工件的第一个操作开工时间之后,则将它们开工时间也做相同的延期修正.进而得到实际的离散加工的优化指标值 Q^* .

在计算适应度时应将 3.3.3 中映射函数的 Q 用

表 1 4 台机器加工各操作所需的安装时间

Table 1 Setup time of machines

	dm_1					dm_2					dm_3				dm_4		
	O	A	B	C	F	O	B	C	D	E	O	B	D	F	O	E	F
O	0	1.5	2.0	1.8	2.1	0	1.7	1.9	1.6	2.0	0	1.3	1.3	1.2	0	1.9	2.1
A	1.4	0	0.1	1.5	1.8												
B	1.9	1.7	0	1.6	1.9	1.6	0	1.8	2.0	1.8	1.4	0	1.5	1.6			
C	1.7	1.6	1.5	0	1.7	1.5	1.4	0	1.6	1.9							
D						1.4	1.5	1.7	0	1.3	1.5	1.7	0	1.3			
E						1.2	1.7	1.2	1.3	0					1.5	0	1.8
F	2.0	1.4	1.3	1.2	0						1.4	1.6	1.2	0	1.7	1.4	0

表 2 给出各机器加工相应的操作时间.3 类工件的到期时间分别为 300,400 和 200.有 15 个工件要加工.工件的编号如下:1 至 5 号为第 1 类工件,6 至 10 号为第 2 类工件,11 至 15 号为第 3 类工件.各类每个工件需且仅需在其第 1 个操作时需求半成品原料.每类工件均需 3 种半成品原料.第 1 类工件每工件需 3 种半成品原料分别为 24,20 和 25;第 2 类工件每工件需 3 种半成品原料分别为 20,19 和 20;第 3 类工件每工件需 3 种半成品原料分别为 11,27 和 26.

表 2 4 台机器加工相应操作的时间

Table 2 Processing time of machines

	A	B	C	D	E	F
dm_1	12.25	21.45	18.53			12.44
dm_2		18.45	16.12	15.45	18.32	
dm_3		19.54		21.45		18.67
dm_4					16.43	17.45

连续生产部分有 2 条生产线,可生产离散生产所需的 3 种半成品原料.缓冲区的总容量为 100,且 3 种原料初始储存量均为 10.连续生产第一条生产线生产 3 种半成品原料的最大速率依次分别为 10,5,5,最小速率分别为 3,1,1.第二条生产线生产 3 种半成品原料的最大速率依次分别为 5,5,15,最小速率分别为 1,2,4.

由于离散生产部分有 4 台机器,因此每个操作

Q^* 替代.

4 仿真算例(Simulation)

离散生产部分有 4 台机器,编号分别为 dm_1 , dm_2 , dm_3 及 dm_4 .各自能进行的操作依次为:(A,B,C,F)、(B,C,D,E)、(B,D,F)及(E,F).工件有 3 类,编号分别为 Job_1 , Job_2 及 Job_3 .各类工件所需的操作分别为:(A,C,B,D)、(B,D,E)及(B,A,F).机器处于空闲等待状态为操作 O.4 台机器加工工件的安装时间见表 1.

对应的编码只需 2 bit.15 个工件共有 50 个操作,所以个体的编码长度为 100 bit.在遗传算法中取种群的大小为 30,交换概率 $P_c = 0.8$, $P_m = 0.1$,进化的代数数为 300 代. $\alpha = 1000$,遗传算法得到的最优调度结果为图 3.图 4 给出假定半成品原料能及时供给时的离散生产的调度图.其中图 3、图 4 从上到下分别表示离散生产过程的机器 dm_1 至 dm_4 的 Gantt 图.

应当指出,对于由半成品原料供给不及时所致的延期,本文采用的方法并不能保证其结果最佳.在图 3 中可以看到,第二台机器的 3C 和 9D 操作之间的延期完全可以取消,同样第三台机器的 7B 和 3B 操作之间的延期亦可为 0.最优的延期方法为,只有在半成品原料不足或工件紧邻的上一操作未完成这样的硬约束不满足时,才停工,否则,按图 4 所示的次序加工,直到上述的硬约束不满足为止.但本文的延期方法简单易行,可确保加工的顺利进行.同时,其调度的结果常接近或等于最优的延期方法.例如,由于第二台机器的 5D 操作在第一台机器的 5B 操作之后,因此,即使第二台机器在 9D 操作时不延期,最终的目标函数值仍然不变.

连续生产的生产线的调度结果如表 3 所示.其中的 1 至 15 是按 15 个工件的开工时间从小到大的顺序排列, No.1 至 No.3 是 3 种半成品原料的编号,“停”行的表项值为机器处于停工状态的时间,其它数值表示相应的生产时间.

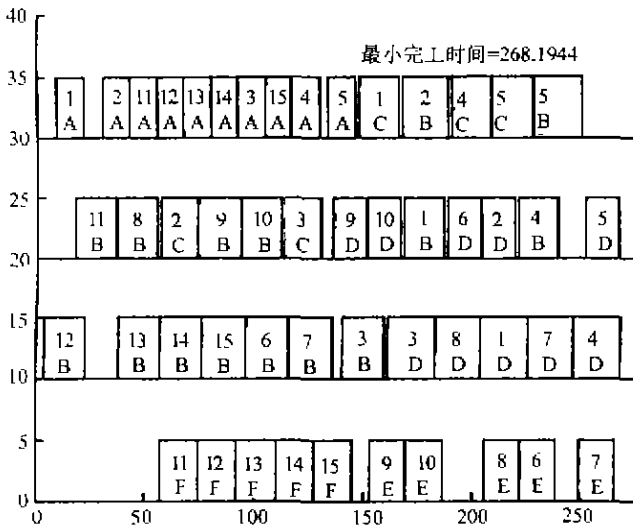


图3 最优的 Gantt图
Fig. 3 Gantt of hybrid production

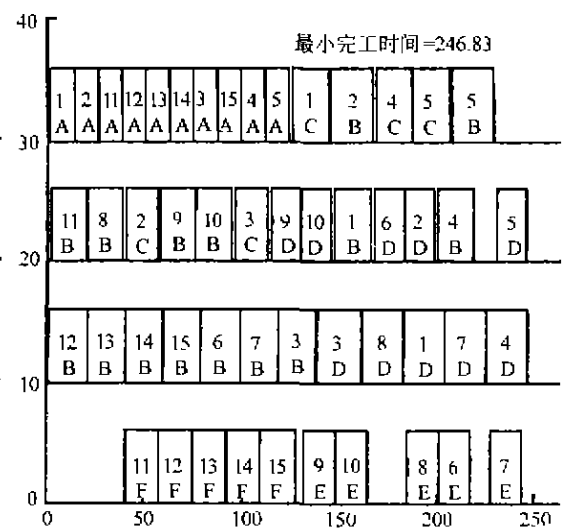


图4 无半成品原料约束的 Gantt图
Fig. 4 Gantt without inter-mediums restriction

表3 连续生产的生产线的调度结果

Table 3 Scheduling for continuous production (单位 0.001)

连续生产过程的第一条生产线															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
No.1	1250	1250	1100	1507	1059	920	0	0	159	1180	1147	2000	666	1120	2286
No.2	2261	2261	2311	3966	2554	0	3895	33139	248	3528	223	1009	4076	0	1853
No.3	0	0	0	2804	1392	0	5200	4361	931	4121	0	0	4304	0	3466
停	0	0	0	3772	1395	0	10445	9865	662	6251	0	0	10494	0	4646
连续生产过程的第二条生产线															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
No.1	0	0	0	2841	1187	0	4374	3708	0	41460	0	0	5228	0	3761
No.2	2006	2006	1956	4167	2513	0	4307	3641	202	4959	0	1793	3724	0	2148
No.3	1506	1506	1456	1069	1345	920	0	0	1303	293	1370	1297	445	1120	1401
停	0	0	0	3972	1355	0	10858	1019	496	6682	0	0	10142	0	4941

5 结语 (Conclusion)

本文提出了一种带缓冲区的混合生产的调度问题模型,并采用简单遗传算法和 EDD 分派规则来求解.通过将个体所需的半成品原料的生产作为连续生产部门的生产任务,求出连续生产完成上述任务实际所需的最短时间,从而得到离散生产各操作实际的开工时间,进而可求得个体的适应度函数值.由于离散生产所需的半成品原料任务的调度运算次数较多,因此给出了可快速求解连续生产调度的方法.最后的仿真给出应用上述方法得到的算例的调度结果.文中的调度算法是静态调度算法,求解的运算量较大.如何将问题转化成求解规模较小的动态调度问题将是下一步研究的方向.

参考文献 (References)

- [1] Chang Shichung and Liao Dayin. Scheduling flexible flow shops with no setup effects [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1994, 10(4): 112 - 22
- [2] Watson Edward F. An application of discrete-event simulation for batch-process chemical-plant design [J]. Interfaces, 1997, 27(11/12): 35 - 50
- [3] Kondili E, Pantelides C C and Sargent R W H A general algorithm for short-term scheduling of batch operations I: MILP formulation [J]. Computers Chem. Engng., 1993, 17(2): 211 - 227
- [4] Christos G C. Optimal policies for the "yield learning" problem in manufacturing systems [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1996, 41(8): 1210 - 1213

(下转第 685 页)

表 3 结果比较

Table 3 Results of comparison

属性项	文献[6]中	本文
	RS 方法 准确率	RNN 方法 准确率
s1, s2, s5 ~ s12	93%	98.2%
s1, s2, s5, s6, s7, s8, s9, s10	*	98.2%
s2, s6, s7, s8, s9	*	100%
s6, s7, s8, s9, s10	*	100%
s1, s7, s8, s9, s10	*	100%

* 文献[6]P149:注意,用最小子集从系统 s1 中不可能使对象的分类质量为最大值(等于1)。

4 结论(Conclusions)

该系统综合了粗糙集理论和神经网络原理的优点:

① 利用粗糙集理论化简样本及条件属性,使得神经网络的输入端数量大大减少,简化了神经网络结构,提高了系统的速度;

② 通过粗糙集理论对条件属性求核,较好地消除了样本中噪音数据的干扰,提高了系统的准确率;

③ 采用该系统进行故障诊断,由于条件属性项大大减少,使得系统工作成本降低,诊断速度加快,实时性增强;

④ 由于神经网络有良好的容错性和扩展性,能有效地消除故障诊断中的误报和漏报现象。

使用该系统的注意事项:

① 系统性能与所选择的学习样本质量有关;

② 由于该系统在属性量化中采用了相关的领域

知识,当诊断对象变化时,该部分应做相应的调整。

参考文献(References)

- [1] Han Zhenxiang, Zhang Qi and Wen Fushuan. A survey on rough set theory and its application [J]. Control Theory and Applications, 1999, 16(2): 153 - 157 (in Chinese)
- [2] Wang Jue, Miao Duoqian and Zhou Yujian. Rough set theory and its application: A survey [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1996, 9(4): 337 - 344 (in Chinese)
- [3] Zeng Huanglin. Rough Set Theory and Its Application [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1998 (in Chinese)
- [4] Pawlak Z. Rough sets, rough relations and rough functions [J]. Fundamenta Informaticae, 1996, 27(2,3): 103 - 108
- [5] Chen Zunde. Intelligent system combined rough set with artificial neural network and its application [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 1999, 12(1): 1 - 5 (in Chinese)
- [6] Ryszard Nowicki. Evaluation of vibroacoustic diagnostic symptoms by means of the rough sets theory [J]. Computers in Industry, 1992, 20(2): 141 - 152
- [7] Jiao Licheng. Neural Network Computation [M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science & Technology University Press, 1996 (in Chinese)
- [8] Lou Shuntuan and Shi Yang. System Analysis and Design Based on MATLAB - Neural Network [M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science & Technology University Press, 1998 (in Chinese)

本文作者简介

郝丽娜 1968 年生, 东北大学在职博士生, 主要研究方向为智能系统及应用, CIMS 工程应用等

徐心和 1940 年生, 东北大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为离散事件动态系统与混合系统, 计算机控制与仿真, 混合系统、人工智能与机器人学等。

(上接第 680 页)

- [5] Fang Jian and Xi Yugeng. Static scheduling for job shop based on genetic algorithm [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 1997, 31(3): 49 - 52
- [6] Bernd Gross and Peter Roosen. Total process optimization in chemical engineering with evolutionary algorithms [J]. Computers Chem. Engng. 1998, 22(S): 805 - 808

本文作者简介

徐智 1974 年生, 1995 年毕业于哈尔滨船舶工程学院自动控

制系, 1998 年获哈尔滨工程大学自动控制系硕士学位, 现为上海交通大学控制理论与控制工程专业博士生, 研究方向为混合生产调度等。

席裕庚 见本刊 2001 年第 2 期第 170 页

韩兵 1958 年生, 1987 和 1993 年毕业于西北大学航天工程系, 分别获硕士和博士学位, 现为上海交通大学自动化所副教授, 研究方向为控制系统故障诊断与容错控制, 计算机集成制造系统, 生产过程调度, 发表论文 20 余篇。