

文章编号: 1001-0920(2004)02-0216-03

多智能体协作方法及其应用研究

吴继伟¹, 杨定鹏², 萧蕴诗¹

(1. 同济大学 信息与控制工程系, 上海 200092; 2 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 将复杂系统分解成由多个智能体构成的合作多智能体系统, 建立了多智能体系统的决策模型, 能动态实时地计算每一时刻智能体的决策局势, 适应环境的动态变化。采用多智能体方法对半导体生产进行调度, 提高了半导体生产线设备的利用率, 缩短了单位工件的加工时间。

关键词: 智能体; 多智能体系统; 协作协调; 半导体生产调度

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Research on multi-agent system coordination and its application

WU Jiwei¹, YANG Ding-peng², XIAO Yun-shi¹

(1. Department of Information and Control Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2 School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China Correspondent: WU Jiwei, E-mail: wujwei@sina.com)

Abstract: A decision model of multi-agent system was formalized by decomposing a complex system. The complex system was converted into the coordination problem in multi-agent system, which adopted to the variance in environment through calculating the decision situation dynamically. The simulation of scheduling problem in semiconductor production shows that the method can shorten the production time of the certain workpiece and is suitable for is small batch production.

Key words: agent; multi-agent system; cooperation and coordination; semiconductor production scheduling

1 引言

半导体加工过程非常复杂。一条生产线由多个加工中心构成, 加工是带重入型的, 各道加工工序间相关性大, 加工过程中会出现设备的随机性失效和修复以及紧急定单, 操作人员的工作状况以及现场的许多不可测因素, 都会增加整条生产线的随机性和动态性^[1]。目前, 基于规则的调度方法必须在生产前确定而不能动态调整, 缺乏灵活性。多智能体技术对于处理分布式系统具有许多优点, 能将求解问题的不同子任务分配到各个智能体, 具有良好的鲁棒性和求解效率; 系统可扩展性强, 提供了分散控制、应急和并行处理^[2]。因此, 多智能体技术为半导体生

产调度提供了一条新的思路。

本文研究在效用一致条件下的多智能体协作问题。把复杂系统分解成由多个智能体构成的合作多智能体系统, 在决策理论的基础上^[3,4]建立了合作多智能体系统的决策模型, 使得智能体在与其他智能体和环境的交互中, 能根据这些模型得到一个最优的行动策略。该方法能动态实时地计算每一时刻智能体的决策局势, 适应环境的变化。根据对半导体生产过程特性的分析, 建立了半导体生产的多智能体模型, 通过仿真实验验证了该方法的有效性。

2 多智能体协作问题描述

在一个合作的多智能体系统中, 由于各个智能

收稿日期: 2002-10-08; 修回日期: 2002-12-31

作者简介: 吴继伟(1974—), 男, 浙江东阳人, 博士生, 从事过程控制、多智能体系统等研究; 萧蕴诗(1946—), 男, 湖北十堰人, 教授, 博士生导师, 从事过程控制、CMS 等研究。

体的目标一致, 系统可看作一个团队工作组

定义 1 一个团队工作组 T 可用一个 5 维组对策表示为

$$T = N, (S_i), (A_i), (U_i), U. \quad (1)$$

其中: N 表示系统中智能体集合; S_i 表示智能体 i 的可能状态集合(信念集); A_i 表示智能体 i 的可能行动集合; U_i 表示在联合观测 $S_1 \times \dots \times S_i \times \dots \times S_N$ 下, 采取联合行动 $A_1 \times \dots \times A_i \times \dots \times A_N$ 时智能体 i 获取的效用; U 表示多智能体工作组在各个智能体联合观测 $S_1 \times \dots \times S_i \times \dots \times S_N$ 下, 采取联合行动 $A_1 \times \dots \times A_i \times \dots \times A_N$ 时获取的团队效用函数, 且

$$U(S, A_1, A_2, \dots, A_N) = f(U_1, U_2, \dots, U_N). \quad (2)$$

在合作环境下, 多智能体系统协作系统的设计主要包括以下几部分:

- 1) 系统特性分析: 将复杂系统的问题求解分解成由多个智能体组成的多智能体联合决策问题, 确定每个智能体的行动集和信念集;
- 2) 建立多智能体决策模型: 根据智能体的信念状态以及智能体之间的协作特性, 确立多智能体之间以对策矩阵描述的对策模型, 形成多智能体系统的矩阵决策模型后, 可根据动态规划进行求解;
- 3) 给定特定决策模型: 按照一定的决策原则确定智能体的行动策略

3 半导体生产线调度问题研究

根据半导体生产线的特性, 可将整个生产线设计成由多个智能体(各个加工中心)组成的多智能体系统, 各个智能体根据当前的生产情况, 用动态规划方法选择加工工件。一个简化的半导体生产线模型如图 1 所示

该模型由两个加工中心 M 1 和 M 2 组成, 加工 3 种产品 P1, P2 和 P3, 每种产品的加工过程分别由不同的箭头流向表示 P1-In, P2-In, P3-In 表示 3 种待

加工产品的加工材料输入, P1-Out, P2-Out, P3-Out 表示 3 种加工材料经过加工后的成品输出。每个加工中心的设备前缓冲区数目表示在这个加工中心可能进行加工的工件类型种类, 如加工中心 M 1 有 5 个设备前缓冲区, 记为 $b_1^1, b_2^1, b_3^1, b_4^1, b_5^1$; 加工中心 M 2 有 5 个设备前缓冲区, 记为 $b_1^2, b_2^2, b_3^2, b_4^2, b_5^2$ 。每个缓冲区中放置的工件类型都不一样

每个缓冲区都是加工中心存放工件的库所。在同一时刻, 加工中心只能选择一个缓冲区工件进行加工, 因此各个缓冲区中间工件竞争使用加工中心。每个缓冲区都有一定的容量, 记为 F_k^i , 表示第 i 个加工中心第 k 个缓冲区的缓冲区长度。缓冲区中有一定数量的待加工工件, 记为 L_k^i , 表示第 i 个加工中心第 k 个缓冲区的待加工工件长度。剩余空间记为 R_k^i , 表示第 i 个加工中心第 k 个缓冲区的剩余缓冲区长度, $R_k^i = F_k^i - L_k^i$ 。

3.1 建立多智能体决策模型

加工中心(智能体)在完成一批工件加工任务后, 必须对下一步加工的工件进行决策。对 M 1 而言, 可选择 $\{b_1^1, b_2^1, b_3^1, b_4^1, b_5^1, \text{Null}\}$ 集合中的任何一个行动, Null 表示加工中心处于空闲状态。同理, 对于 M 2, 可选择 $\{b_1^2, b_2^2, b_3^2, b_4^2, b_5^2, \text{Null}\}$ 集合中的任何一个动作。两个加工中心采取一定的联合行动来获取相应的报酬。每一时刻每个加工中心的行为选取的决策局势可描述为

		M 2					
		b_1^2	b_2^2	b_3^2	b_4^2	b_5^2	Null
M 1	b_1^1	$u_{1,1}$...			$u_{1,6}$
	b_2^1		$u_{2,2}$				
	b_3^1			$u_{3,3}$			
	b_4^1				$u_{4,4}$		
	b_5^1					$u_{5,5}$	
Null	$u_{6,1}$...			$u_{6,6}$	

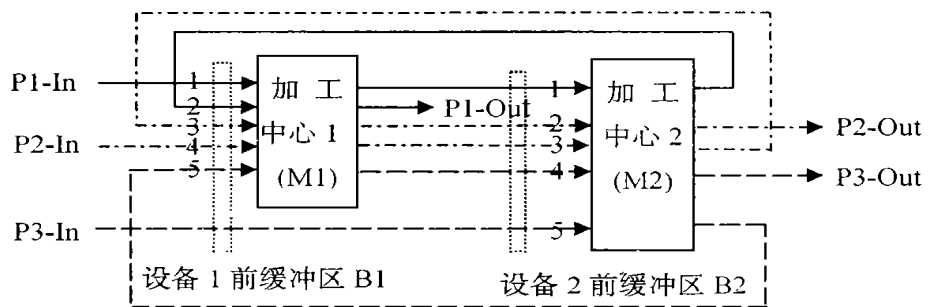


图 1 可重入半导体生产线模型

3.2 效用函数的确定

在M 1 的每个设备前缓冲区中, 待加工工件的效用为 $V_{k,Ini}^1$, 加工后的效用为 $V_{k,Fin}^1$, 该工件加工成成品所需加工的工序数为 N , 则工件经过每一道工序后增加的效用为

$$\Delta V_k^1 = (V_{k,Fin}^1 - V_{k,Ini}^1) / N. \quad (3)$$

假设在M 1 的缓冲区 b_k^1 中, 待加工工件的队列长度为 L_k^1 , 在待加工工件的下一道工序中, 缓冲区的长度为 $F_{k,n}^1$, 相应工件队列长度为 $L_{k,n}^1$, 缓冲区剩余空间长度为 $R_{k,n}^1$, 加工工件离开生产线的工序数为 O_k^1 , 则工件在加工过程中的效用和工件的最终效用与当前的加工阶段相关, 即

$$\begin{cases} V_k^1 = \Delta V_k^1 (\text{Step}_k^1 / N), \\ V_i^2 = \Delta V_i^2 (\text{Step}_i^2 / N). \end{cases} \quad (4)$$

其中 Step_k^1 表示加工工件在加工过程中的步数

考虑以上影响半导体生产的因素, 从而确定效用函数为

$$V_{ak}^1 = \Delta V_k^1 L_k^1 S_{k,N}^1, V_{ak}^2 = \Delta V_i^2 L_i^2 S_{i,N}^2. \quad (5)$$

其中 $S_{k,N}^1$ 表示工件在经缓冲区 b_k^1 后的下一道工序的设备前缓冲区

由式(4) 和(5) 得出加工中心M 1 选择加工 b_k^1 , 加工中心M 2 选择 b_k^2 时的效用为

$$u_{k,i} = \lambda(V_{ak}^1 + V_{ak}^2) + \beta(V_k^1 + V_i^2), \quad (6)$$

其中系数 λ 和 β 表示该加工工件在该阶段加工的重要性权值

考虑两个加工中心的协作关系, 根据两道工序的加工关系(相连的前后两道工序), 可添加一个权值来表示其协作重要性, 则式(6) 变为

$$u_{k,i} = \text{Coeff}(\lambda(V_{ak}^1 + V_{ak}^2) + \beta(V_k^1 + V_i^2)). \quad (7)$$

其中

$$\text{Coeff} = \begin{cases} 1, & \text{两道工序不相连;} \\ 1 + C_o, & \text{两道工序相连} \end{cases} \quad (8)$$

在生产过程任一时刻, 相连两个加工中心的关系可通过一个效用矩阵表示, 矩阵中的每一个元素可由式(8) 计算

4 仿真结果

在图 1 所示的半导体加工模型中, 为简化计算, 假设工件 1 和工件 3 的投料为零输入, 工件 2 的投料为缓冲区满, 即缓冲区 b_4^1 中的工件 2 队列长度为 10, 其他缓冲区的最大长度为 10, 工件 2 在加工前和加工后的效用分别为 10 和 15. 取 $\lambda = 0.5, \beta = 0.5, C_o = 0.2$, 工件 2 在缓冲区 b_4^1 中的平均加工时间为 7,

在缓冲区 b_3^1 中的平均加工时间为 2, 在缓冲区 b_2^1 中的平均加工时间为 5, 在缓冲区 b_1^1 中的平均加工时间为 10

采用不同的生产周期进行仿真, 得出加工时间和工件平均加工时间的关系如图 2 所示. 为了便于比较, 同时给出了设备缓冲区编号小、批优先级别高的 FBFO 方法, 如图 3 所示

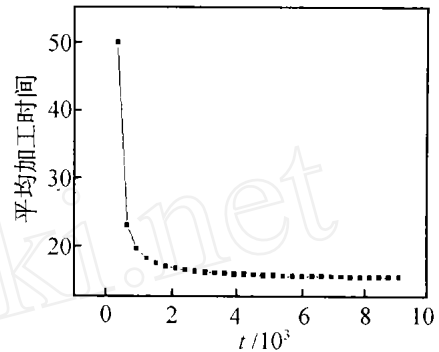


图 2 多智能体方法的工件平均加工时间

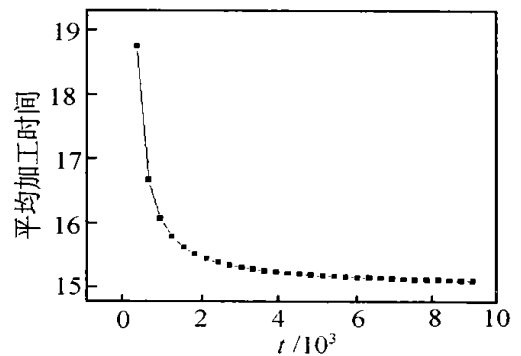


图 3 FBFO 方法的工件平均加工时间

通过图 2 和图 3 可以看出:

- 1) 在生产周期短(或小批量生产) 的情况下, 通过合作多智能体方法能明显缩短单位工件的平均加工时间;
- 2) 效用函数体现了影响半导体生产调度的各种因素, 通过调整智能体的效用函数便可动态调整半导体的生产任务

5 结 论

本文研究在合作环境下多智能体的协作协调方法. 该方法根据需求不断调整各种参数, 能动态实时地计算每一时刻智能体的决策局势, 因而可适应环境变化的要求. 采用多智能体方法对半导体生产进行调度, 提高了半导体生产线设备的利用率, 缩短了单位工件的加工时间. 通过调整影响效用函数的参数, 实现了半导体工件的灵活生产.

(下转第 222 页)

表1 各种优化算法的性能比较

函数	AGA		μ GA		本文算法	
	运算量	阻滞次数	运算量	阻滞次数	运算量	阻滞次数
$f_1(x, y)$	9 478 52	7	9 811. 2	0	4 251. 35	0
$f_2(x, y)$	11 698 0	0	10 061. 0	0	4 883. 37	0

佳状态,而不必强求群体大小和编码长度的一致^[8].表2所示都是针对各自算法较好的实验条件.从表1可以看出:本文算法对两个函数的阻滞次数均为0,说明算法是收敛的;其运算量均小于AGA和 μ GA.

表2 各优化算法的实验条件

函数	群体大小/编码长度			适应度 亲合度	最大评价 次数
	AGA	μ GA	本文算法		
$f_1(x, y)$	100/44	5/44	60/44	0.997	60 000
$f_2(x, y)$	40/24	5/24	50/24	0.001	60 000

5 结 语

本文基于自然免疫系统的机理提出一种进化算法,并对算法的原理、算子和收敛性进行了详细讨论.该算法属随机优化方法,具有并行性特点.用两个测试函数进行了仿真实验,结果表明该算法是有效的,能以较快的速度收敛于函数的全局最优值.

参考文献(References):

- [1] De Castro, Von Zuben. Artificial immune system, Part-I: Basic theory and applications[R]. Campinas: State University of Campinas, 1999.
- [2] De Castro, Von Zuben. Artificial immune system, Part-II: A survey of applications[R]. Campinas: State University of Campinas, 2000.

- [3] J Timmis, M Neal, J Hunt. Artificial immune systems for data analysis[J]. *BioSystems*, 2000, 55(1): 143-150.
- [4] 王磊, 潘进, 焦李成. 免疫算法[J]. *电子学报*, 2000, 28(7): 74-78.
(Wang Lei, Pan Jin, Jiao Licheng. The immune algorithm [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2000, 28(7): 74-78.)
- [5] 王重庆. 分子免疫学基础[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999. 1-115.
- [6] Chun J-S, Jung H-K, Hahn S-Y. 免疫算法与其他模拟进化优化算法的比较研究[J]. 胡朝阳, 文福拴译. *电力情报*, 1998, (1): 61-63.
(Chun J-S, Jung H-K, Hahn S-Y. A study on Comparison of optimization performances between immune algorithm and other heuristic algorithms [J]. *Information on Electric Power*, 1998, (1): 61-63.)
- [7] 余文, 李人厚. 基于单亲生物无性繁殖的一种进化算法[J]. *计算机工程与科学*, 2001, 23(4): 7-10.
(Yu Wen, Li Renhou. A new evolutionary approach based on reproduction of asexual cells [J]. *Computer Engineering and Science*, 2001, 23(4): 7-10.)
- [8] 李人厚. 智能控制理论和方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999. 181-185.

(上接第218页)

参考文献(References):

- [1] 石锦惠. 基于Petri网的半导体生产线调度问题的研究[D]. 上海: 同济大学, 1999.
- [2] 史忠植. 智能主体及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [3] Koller D, Pfeffer A. Representations and solutions for

- game theoretic problems [J]. *Artificial Intelligence*, 1997, 94 (1): 167-215.
- [4] Jose M Vidal, Edm und H Durfee. Recursive agent modeling using limited rationality[A]. *Proc of the First Int Conf on Multiagent Systems[C]*. San Francisco: AAAI Press, 1995. 376-383.