

基于模糊 Petri 网推理的半导体生产线投料控制策略

曹政才^{1,2}, 赵会丹¹, 王永吉²

(1. 北京化工大学信息科学与技术学院, 北京 100029; 2. 中国科学院计算机科学国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 半导体生产线存在大量随机不确定因素, 各种不确定扰动的发生, 往往使已获得优化调度方案在执行过程中失去优良性, 鉴于模糊 Petri 网在知识表达和逻辑推理方面的优势, 本文研究将该思想用于半导体生产线投料控制, 构建投料模糊 Petri 网推理模型, 建立完整的在线投料机制, 以生产线实时信息为依据, 决定系统采取的投料控制行为, 以便尽可能发挥系统的生产能力, 优化系统制造性能. 最后, 以某半导体生产线为例进行投料控制实验, 结果表明, 该策略是可行有效的.

关键词: 半导体生产线; 投料策略; 模糊 Petri 网

中图分类号: TP373 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 07-1545-06

Releasing Control Policy for Semiconductor Wafer Fabrication Based on Fuzzy Petri Nets-Reasoning

CAO Zheng-cai^{1,2}, ZHAO Hui-dan¹, WANG Yong-ji²

(1. College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China;

2. State Key Laboratory of Computer Science, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Because of large amount of stochastic and uncertain factors in semiconductor wafer fabrication (SWF), we often meet with all kinds of disruptions which make the former optimal scheduling scheme lose superiority. Considering the advantage of the fuzzy Petri-net (FPN) on the knowledge expression and logical reasoning, a releasing control policy for SWF based on FPN is proposed. According to the releasing FPN reasoning model and the real-time data collected from the line, the control method can help to take the feasible releasing action to adopted to different conditions. With the releasing strategy, the throughput of the wafer fabrication can be maximized and the system can be optimized to a large extent. Finally, the effectiveness of this proposed method is confirmed by simulation.

Key words: semiconductor wafer fabrication; releasing strategy; fuzzy Petri nets

1 引言

半导体生产线是目前世界上公认最复杂的制造过程之一, 其投料控制是自动化、工业工程和管理工程等领域热点研究方向^[1,2]. 迄今在该方向研究已取得很多成果: 文献[3]提出固定在制品投料策略, 采用排队网络算法估计 WIP 值, 控制 WIP 数量保持在一个理想水平上, 结果表明有效的 WIP 估计能显著改善调度效果; 文献[4]给出避免饥饿投料策略, 该策略的目标是确保足够的工件及时到达瓶颈设备以避免瓶颈设备出现饥饿, 当瓶颈设备 WIP 降到事先既定的水平之下时, 需要投入新工件到生产线, 该策略能够降低瓶颈设备的空闲

率、提高产量; 文献[5]将固定在制品方法与工作负荷调整策略相结合, 提出一种 WIPLOAD 投料策略, 结果证明该策略可以减小平均加工周期及其标准差, 提高生产线总体性能.

半导体生产线存在各种各样的不确定性事件(设备情况变化、客户需求变化、加工瓶颈变化等), 不确定性事件发生会影响生产线运行, 造成系统性能指标恶化. 以上投料策略虽各有优点, 但较少考虑生产线实时信息反馈, 对意外事件的承受和处理能力还不够. 因此, 本文提出一种基于模糊 Petri 网的半导体生产线投料控制方法, 以生产线实时数据为依据, 通过在线投料推理机制来决定系统采用的最佳投料控制行为, 以便尽可能发挥

收稿日期: 2010-05-19; 修回日期: 2010-11-20

基金项目: 教育部博士点基金新教师课题(No. 20090010120011); 中央高校基本科研业务费项目(No. ZZ0914); 机械系统与振动国家重点实验室开放课题(No. MSV-2010-19); 机械制造系统工程国家重点实验室开放课题(No. 2010005); 计算机软件新技术国家重点实验室开放课题(No. KFKT2010B11)

系统的生产能力,最后以某半导体生产线为背景,对所提方法进行应用验证.

2 半导体生产线投料控制的模糊 Petri 网模型

2.1 模糊 Petri 网的定义

FPN 的结构定义^[6]为一个 7 元组:

$$FPN = \{P, T, I, O, \gamma, \tau, S_0\}$$

其中: $P = P_U \cup P_D = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 是一个有限库所集合, P_U 和 P_D 分别表示推理条件集和结论集;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 是一个有限变迁集, 表示推理规则;

$I: P \times T \rightarrow [0, 1]$ 为输入函数, 表示库所到变迁的连接情况和每个连接权系数;

$O: T \times P \rightarrow [0, 1]$ 为输出函数, 表示变迁到库所的连接

情况和每个连接权系数;

$\tau: T \rightarrow (0, 1]$ 为 T 的一个关联函数, 表示变迁节点的引发阈值;

$\gamma: P \rightarrow (0, 1]$ 为 P 的一个关联函数, 表示库所节点的触发阈值;

$S_0: P \rightarrow [0, 1]$ 为 P 的一个关联函数, 表示库所节点的初始标记, 即条件命题的可信度.

2.2 面向半导体投料控制的模糊 Petri 网建模过程

图 1 投料 FPN 建模过程图, 该建模过程包括四个关键环节: (1) 分析生产线上影响投料的各种生产指标和意外事件, 确定投料 FPN 条件库所集; (2) 针对发生的不确定性事件更改投料, 确定结论库所集; (3) 同时汇总推理规则, 确定变迁集; (4) 建立投料 FPN 模型.

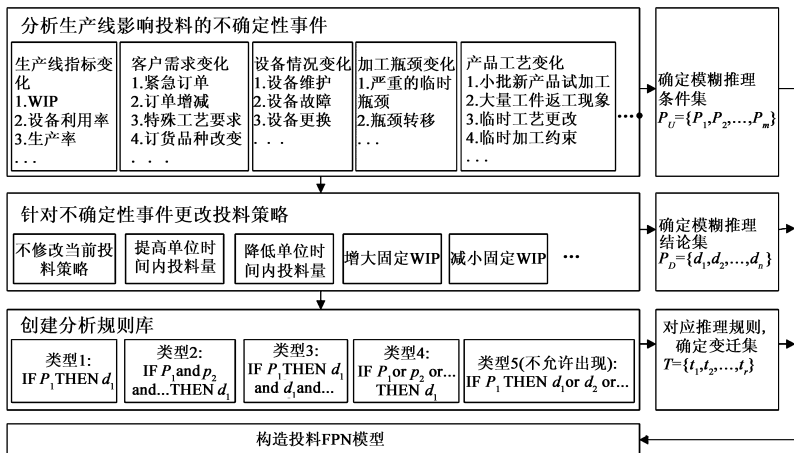


图1 投料 FPN 建模过程

3 半导体生产线投料机制

3.1 基于 FPN 模型的模糊推理

模糊推理就是确定模糊命题之间的因果关系, 即由条件命题 p_j 的可信度推算结论命题 p_k 的可信度. 基于 FPN 的模糊推理为一迭代算法, 采用矩阵并行运算的形式进行. 基于文献^[7]的 FPN 形式化推理过程可用图 2 流程表示.

在投料 FPN 模型基础上, 构建完整的半导体生产线投料机制, 如图 3 所示. 根据该投料机制, 生产线正常运作时, 利用投料 FPN 推理模型进行周期性决策判定; 一旦意外事件发生, 则立即启动该模型, 根据各结论库所的可信度, 判定是否修改并自行修改投料计划.

3.2 FPN 模型参数设置

FPN 模型的参数设置主要包含: 库所/变迁的阈值 γ/τ 、 I/O 参数、初始标识 S_0 . S_0 参数设置的过程, 即 FPN 模型推理条件模糊化的过程. 通过合适的隶属函数将“瓶颈设备故障”、“生产线 WIP 高”、“缓冲区工件队列长”、“紧急订单”等推理条件模糊化后对应于 FPN 模

型库所元素的初始标识. FPN 模型的库所包含条件库所和结论库所, 结论库所的初始标识均为 0.

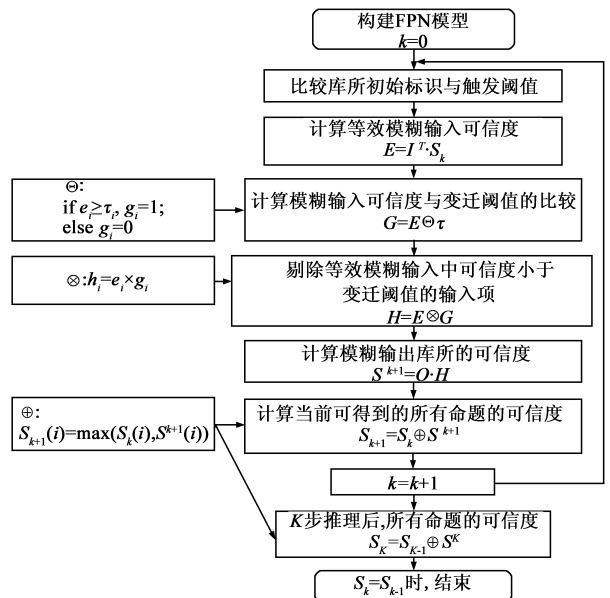


图2 FPN模型的形式化推理过程

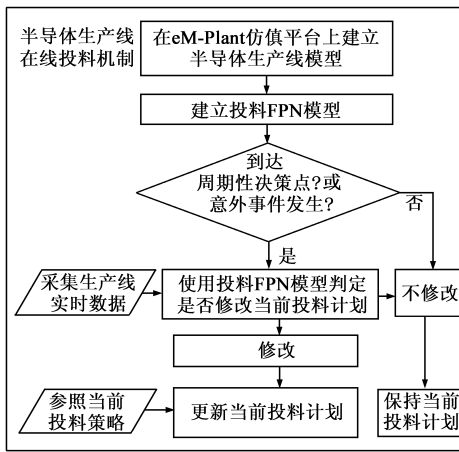


图3 半导体生产线在线投料机制

4 仿真

为了验证投料策略的性能,以 Hewlett Packard 硅片生产中心实验室的半导体生产线 HP24 模型作为对象进行投料控制研究.在 eM-Plant 仿真平台上,每天 24 小时不间断仿真计算,仿真时间为 1 年.仿真过程中设定紧急订单、设备故障和订单增减等突发状况,与固定 WIP 投料对比生产系统性能指标.固定 WIP 设定为 33 卡(正常状态下除正常设备维护外无其它意外事件发生经大量仿真得到的最优 WIP 值).工件调度规则分别采用以下 4 种:FIFO、EDD、SRPT 和 CR.

通过分析可提炼如下决策规则:

- (1)如果平均 WIP 远高于瓶颈设备满负荷时经验平均 WIP,则系统平均 WIP 高;
- (2)如果平均 WIP 远低于瓶颈设备满负荷时经验平均 WIP,则系统平均 WIP 低;
- (3)如果平均 WIP 在经验值附近波动,则系统平均 WIP 正常;
- (4)如果平均 WIP 高,则考虑修改当前投料计划,降低投料速率;
- (5)如果平均 WIP 低,则考虑修改当前投料计划,提高投料速率;
- (6)如果系统含单台瓶颈设备且瓶颈设备利用率偏低(如 90%),则系统瓶颈设备利用率低;
- (7)如果系统含单台瓶颈设备且瓶颈设备利用率偏高(如 95%),则系统瓶颈设备利用率高;
- (8)如果系统含多台瓶颈设备且其中(如 1/2)设备利用率偏低(如 90%),则系统瓶颈设备利用率低;
- (9)如果系统含多台瓶颈设备且其中(如 2/3)设备利用率偏高(如 95%),则系统瓶颈设备利用率高;
- (10)如果瓶颈设备利用率低,则考虑修改当前投料计划,提高投料速率;
- (11)如果瓶颈设备利用率高且对应缓冲区工件队

列长,则考虑修改当前投料计划,降低投料速率;

(12)如果瓶颈设备故障,考虑修改当前投料计划,降低投料速率;

(13)如果瓶颈设备故障且距下一次修改投料计划点远,则考虑修改当前投料计划,降低投料速率;

(14)如果可能是瓶颈设备故障且故障修复时间长,则考虑修改当前投料计划,降低投料速率;

(15)如果单台非瓶颈设备故障且故障修复时间长,则考虑不修改当前投料计划;

(16)如果单台非瓶颈设备故障且生产线平均 WIP 正常,则考虑不修改投料计划;

(17)如果多台非瓶颈设备故障(如 1/5 以上),则考虑修改投料策略,降低投料速率;

(18)如果客户追加订货,则考虑修改当前投料计划,提高投料速率;

(19)如果客户追加订货且瓶颈设备利用率高,则考虑不修改当前投料计划;

(20)如果客户减少订货,则考虑修改当前投料计划,提高投料速率;

(21)如果客户订货品种更换,则改投订单;

(22)如果出现紧急订单,则改投订单;

(23)如果生产线返工工件多,则考虑修改当前投料计划,降低投料速率;

(24)如果考虑修改投料策略,降低投料速率,且当前投料正常,则启动降低投料速率;

(25)如果考虑修改投料策略,提高投料速率,且当前投料正常,则启动提高投料速率;

(26)如果启动降低投料速率且当前为固定时间投料,则减小单位时间内投料量;

(27)如果启动提高投料速率且当前为固定时间投料,则增大单位时间内投料量;

(28)如果启动降低投料速率且当前为固定 WIP 投料,则减小固定 WIP 值;

(29)如果启动提高投料速率且当前为固定 WIP 投料,则增大固定 WIP 值;

(30)如果可以考虑不修改当前投料计划,则启动不修改当前投料计划;

(31)若减小单位时间内投料量,则投料速率为原速率的(如 9/10);

(32)若增大单位时间内投料量,则投料速率为原速率的(如 11/10);

(33)若减小固定 WIP 值,则更改至原 WIP 的(如 9/10);

(34)若增大固定 WIP 值,则更改至原 WIP 的(如 11/10).

图 4 为投料 FPN 推理模型.图中: $T = \{t_1 \sim t_{34}\}$ 分

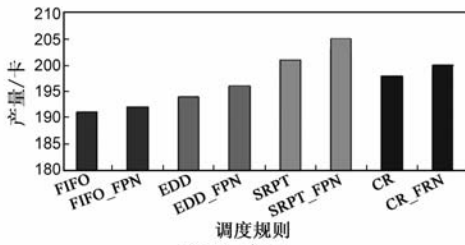


图10 产量

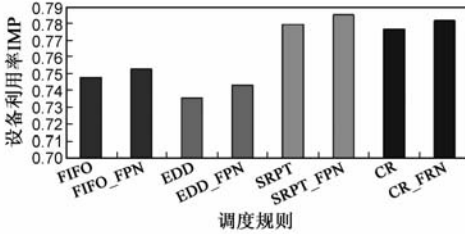


图11 设备(瓶颈设备IMP)利用率

5 结论

针对半导体制造环境的高度不确定性,本文将模糊推理的思想引入半导体生产线投料控制,提出基于模糊 Petri 网推理的半导体生产线投料策略.仿真结果表明,与固定投料方式相比,FPN 投料能在降低产品的平均加工周期、提高准时交货率的基础上提高设备利用率,不仅使系统的制造能力得到充分发挥,而且提高生产线对于突发事件的应对和承受能力.

参考文献

- [1] Bahaji N, Kuhl M E. A simulation study of new multi-objective composite dispatching rules, CONWIP, and push lot release in semiconductor fabrication[J]. International Journal of Production Research, 2008, 46(14): 3801 - 3824.
- [2] 曹政才, 乔非, 吴启迪. 半导体生产线建模方法与调度策略研究进展[J]. 电子学报, 2006, 34(12A): 2518 - 2525.
- [3] Cao Z C, Qiao F, Wu Q D. Research progress of modeling

methods and scheduling strategies for semiconductor wafer fabrication[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(12A): 2518 - 2525. (in Chinese)

- [3] Lin Y H, Lee C E. A total standard WIP estimation method for wafer fabrication [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131(1): 78 - 94.
- [4] Wu M C, Huang Y L, Chang Y C, etc. Dispatching in semiconductor fabrications with machine-dedication features [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 28(9): 978 - 984.
- [5] Chao Q, Sivakumar A L. Job release based on WIPLOAD control in semiconductor wafer fabrication[A]. Proceedings of the Electronic Packaging Technology Conference[C]. USA: IEEE Press, 2006. 665 - 670.
- [6] 汪洋, 林闯, 曲扬等. 含有否定命题逻辑推理的一致性模糊 Petri 网模型[J]. 电子学报, 2006, 34(11): 1955 - 1960.
- [7] Wang Y, Lin C, Qu Y et al. Consistent fuzzy Petri nets model for logic programs with negation[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(11): 1955 - 1960. (in Chinese)
- [7] 贾立新, 薛钧义, 茹峰. 采用模糊 Petri 网的形式化推理算法及其应用[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(12): 1263 - 1266.
- Jiao L X, Xue J Y, Ru F. Fuzzy Petri net based formalized reasoning algorithm with applications [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, 37(12): 1263 - 1266. (in Chinese)

作者简介



曹政才 男, 1974 年出生于黑龙江富裕县. 博士, 副教授, 主要研究方向: 复杂系统建模、优化与控制.

E-mail: giftzc@163.com