

基于 Petri 网与 SimEvents 的推式生产系统建模与仿真

蒋南云^{1,2} 汪立海² 郑伟² 祁玉青¹

(南京工业大学经济与管理学院¹ 南京 210009; 东南大学自动化学院² 南京 210096)

摘要 以推式生产系统为例,应用 Petri 网进行系统建模,在 SimEvents 平台下进行仿真;并分析系统参数设置与系统性能之间的关系。实验结果验证了建模技术及仿真平台的有效性,为今后生产系统性能分析及参数设置提供了一种思路,具有现实的应用价值。

关键词 推式生产 Petri 网 SimEvents 仿真
中图分类号 TP391.7; **文献标志码** A

Petri 网是一种“数形”结合的建模方法,能有效地处理离散及连续系统的建模与性能分析问题,应用于许多领域。近年来,越来越多的国内外学者应用 Petri 网对生产系统各环节进行建模与仿真。Kiritzis 等^[1]通过 Petri 网模型对制造系统规划进行成本估计。Robert Y. 和 Alan A.^[2]应用广义随机 Petri 网对复杂制造系统的基本模块建模。江志斌^[3]在分析几种离散事件动态系统建模技术的基础上,认为 Petri 网是描述制造系统静态结构和动态变化特性的较好方式,并给出了应用案例。张怀等^[4]以拓展型面向对象 Petri 网(EOPN)为工具对半导体晶圆制造系统建立模型。

由于 Petri 网是一种可视化建模支持工具,如果仅用它来对制造系统仿真与分析,难度高、工作量大、耗时长。因此,一些学者应用 Petri 网对生产系统建模,应用其他仿真软件进行仿真分析。目前常用的仿真工具有 VC++、Matlab、Witness、eM-Plant 等。刘振娟^[5]针对一个水槽模型,建立了混合 Petri 网的过程描述模型,并采用 Visual C++ 做了一个可视化建模工具,实现对过程的仿真。盛定高^[6]应用 Petri 网对变速箱生产系统建模,并运用 Witness 仿真软件对模型进行仿真,实现变速箱的工艺路线优化。吴玉波^[7]应用 Petri 网及 Matlab 下的 Stateflow 与 Simulink 模块对混杂系统进行建模与分析。

但 Matlab/Simulink 模块不是专门针对离散系统的仿真分析工具,MathWorks 公司于 2006 年新推出了 Matlab 在离散事件动态系统的扩展仿真模块 SimEvents,利用队列和服务台来建模并且进行离散事件系统仿真^[8],可以仿真整个系统中实体数据在系统各个部分中的传递流程。目前应用 Matlab/SimEvents 工具分析离散事件动态系统的研究很少。孙晓峰和王中杰^[9]应用 SimEvents 对网络系统中节点、链路等网络构件进行建模。在生产系统研究领域,曹静静和汪峰^[10]将 Petri 网和 SimEvents 相结合应用到半导体晶圆生产线建模中,并通过对已有调度方案进行仿真从而验证模型的正确性,但没有对生产系统参数及性能进行讨论分析。因此本文利用 Petri 网对生产系统建模并运用 SimEvents 工具分析系统参数设置与系统性能之间的关系,为生产系统建模与仿真提供一个有效可行的新思路。

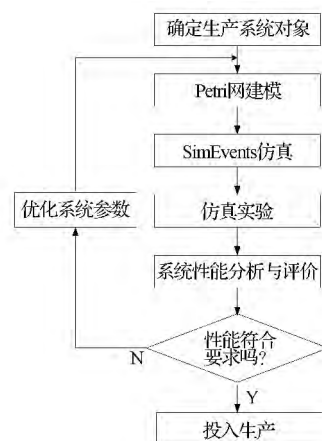


图1 生产系统建模与仿真步骤
Fig. 1 Modeling and simulation step

2014年5月26日收到 江苏省高校哲学社会科学研究基金
(2014SJB079)、国家自然科学基金(71171110)、
国家自然科学基金(71371097)资助

第一作者简介:蒋南云(1982—),女,汉族,江苏省南京市人,硕士/博士研究生,讲师。研究方向:计算机集成制造,计算机仿真。E-mail: jiangnanyun@163.com。

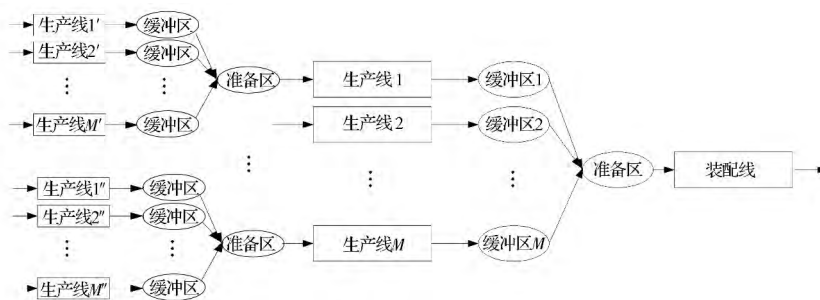


图2 生产系统结构图

Fig. 2 Structure of manufacture system

1 生产系统建模仿真方法

生产系统建模仿真方法如图1所示。下面本文就按照图1中所示步骤对推式生产系统进行建模仿真及性能分析。

2 推式生产系统描述

推式生产是一种传统的典型生产方式,计划部门根据市场需求,对于最终产品的生产进行分解,将相应的生产任务和提前期传达给各个生产部门,各生产部门均按照计划组织生产,生产出产品后按照计划把产品送达下游生产线,总体生产是一种从工序最初的上游生产线向工序最终的装配线的“推动”的过程。其生产系统结构一般如图2所示。为方便分析,可将生产系统进行简化,简化后如图3所示,上游有 $R-1$ 条生产线,生产线之间无工序交叉,每条生产线有对应的缓冲区;下游为一条装配线,对上游生产线生产的产品进行装配。整个生产系统可生产多种不同种类产品。

3 推式生产系统 Petri 网建模

针对图3的推式生产系统,应用 Petri 网建模技

术建立生产系统模型,如图4所示。

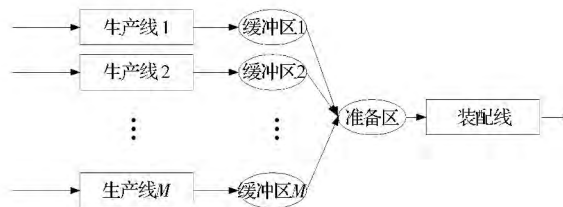


图3 生产系统结构简化图

Fig. 3 Simplified structure of manufacture system

图中库所 D 表示客户需求,库所 C_i ($i=1, \dots, M$)和 C 表示生产计划部门根据客户需求计算得到的生产计划下达指令, C_p 是产品交付指令,库所 B_i ($i=1, \dots, M$)表示生产线 i 的原材料缓冲区,库所 S_i ($i=1, \dots, M$)表示生产线 i 忙碌,Idle S_i ($i=1, \dots, M$)表示生产线 i 空闲,库所 P_i ($i=1, \dots, M$)代表生产线 i 的完工零部件缓冲区, B 代表 M 元生产线 i 完成的零部件准备区, S 表示装配线忙碌,Idle S 表示装配线空闲, P 代表装配线完成的成品。在库所 B_i ($i=1, \dots, M$)中初始托肯数 R_i 为生产线 i 的原材料初始库存量,库存 B 中的初始托肯数 R 为装配线待装配的零部件初始库存量。

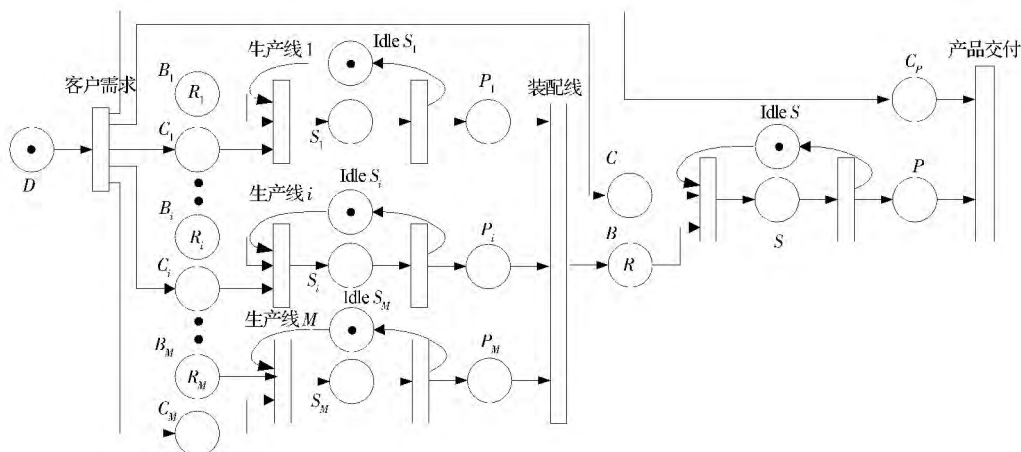


图4 推式生产系统 Petri 网

Fig. 4 Petri net model for push control system

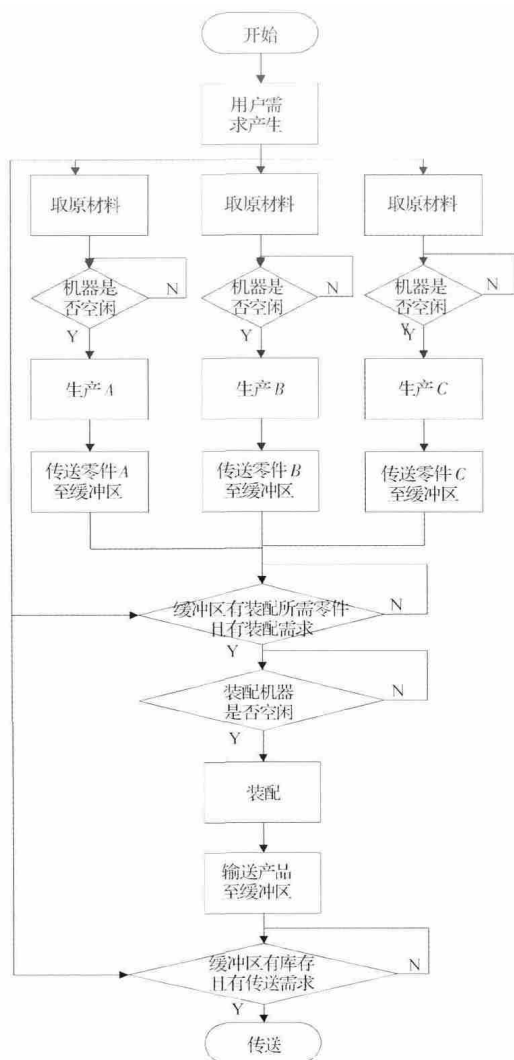


图5 推式生产系统仿真设计流程图
Fig. 5 Design flow for push control system

4 推式生产系统在 SimEvents 平台下的仿真

4.1 仿真流程设计

在推式生产系统中,决定系统状态的系统参数是装配线待装配的零部件初始库存数量,即 B 中的初始托背数 R ,这里我们称之为基本库存。因此在仿真过程中,调整基本库存参数以观察系统生产率及缓冲区零部件数量。对不同的生产系统,上游生产线生产时间和下游装配线的装配时间可能不同,因此本文也需观察不同的生产时间差异对系统性能的影响。为了简化分析,以下讨论假定顾客需求有限且原材料数量充足。图5表示推式生产系统仿真模型的设计思路及流程。

4.2 仿真模型建立

上述建立的 Petri 网模型在 SimEvents 环境下的仿真模型如图6所示。模型的主体是一个 Stateflow 模块,图6中的 Time-Based Entity Generator1 脉冲发生器有两个用途:一是作为仿真时启动 Stateflow 状态图的触发事件,二是作为定时器的时间基准。Divide1 模块用来观察生产率。produce part A/B/C 模块和 Assemble 模块的具体内容分别如图7和图8所示。其中 Stock 模块用来调整基本库存参数。

5 仿真实验及分析

以下2个仿真实验,通过设置生产时间、装配时间以及基本库存量等参数,观察参数变化时生产率与完工件的结果并进行分析。

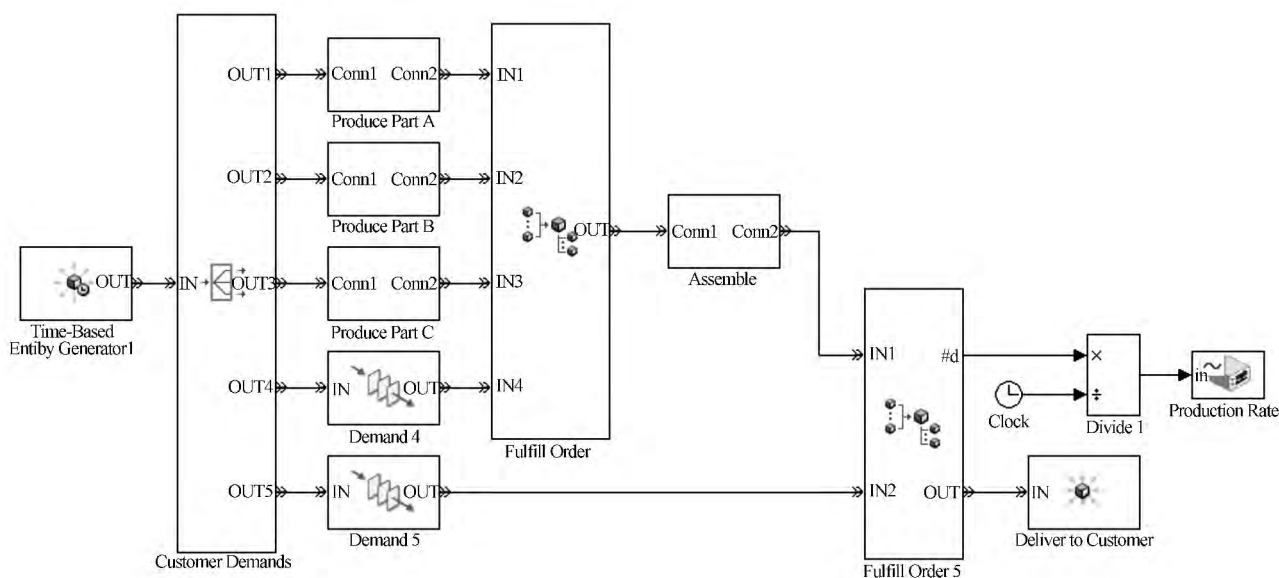


图6 推式生产系统 SimEvents 仿真模型
Fig. 6 Simulation model for push control system by SimEvents

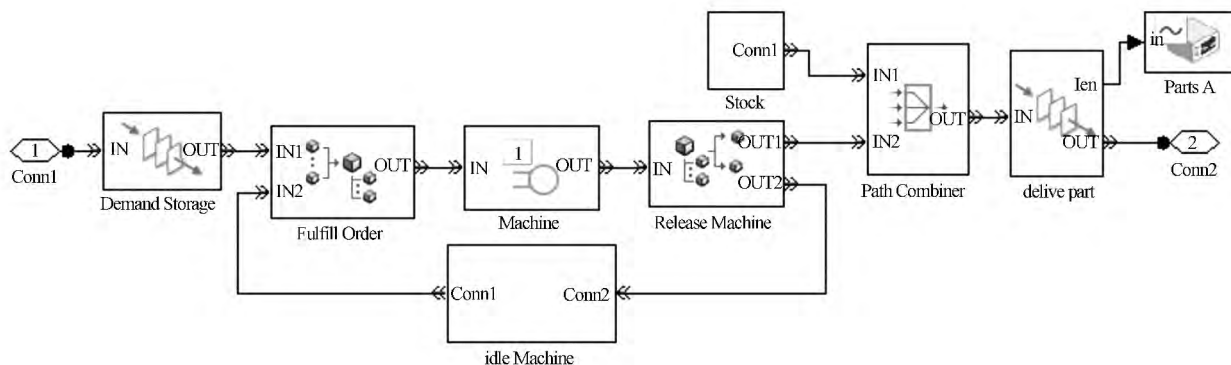


图 7 生产子系统(produce part A/B/C)模型

Fig. 7 Simulation model for produce part A/B/C subsystem

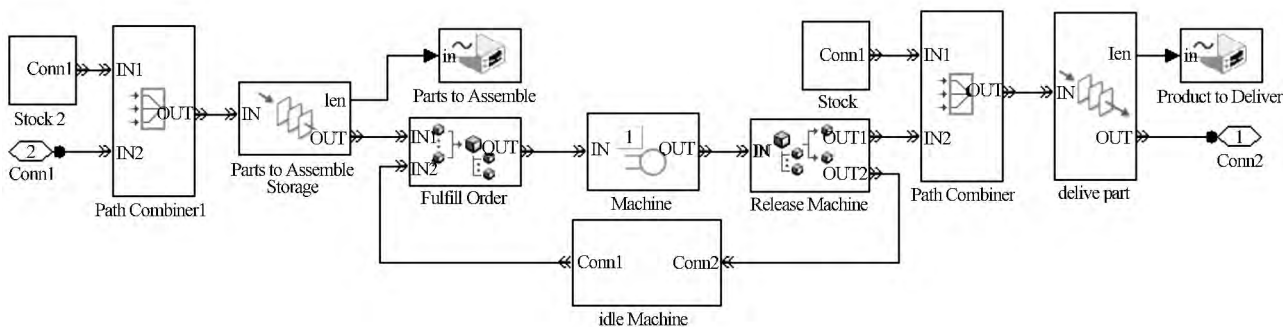


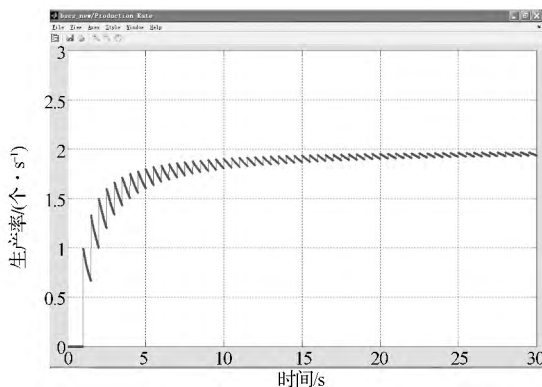
图 8 装配子系统(Assemble)模型

Fig. 8 Simulation model for assemble subsystem

5.1 实验一

当上游 3 条生产线生产时间与下游装配线生产时间相等时(均设为 0.5 s),由于推式生产系统生产率仅受参数基本库存量影响,设置不同的基本库存量 S ,观察生产率变化。

5.1.1 $S=0$ 时生产率(图 9)

图 9 $S=0$ 时生产率Fig. 9 Production rate when $S=0$

5.1.2 $S=10$ 时缓冲区数量和生产率(图 10、图 11)

5.1.3 分析

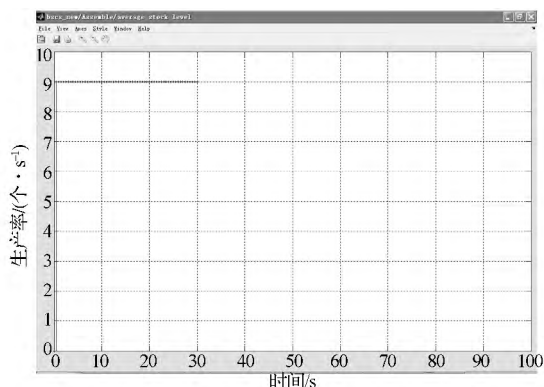


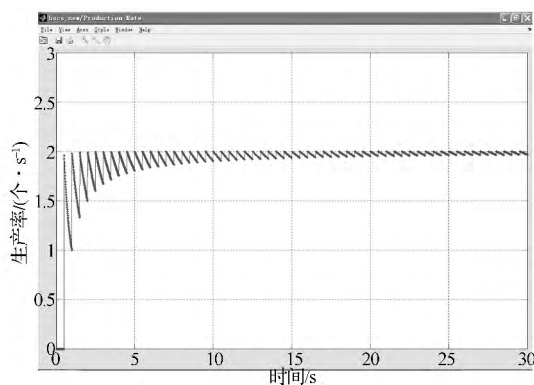
图 10 缓冲区零件数量

Fig. 10 Number of parts in buffer

由以上仿真结果可得:由于基本库存的不同,会影响生产系统的初期生产率,但对长期生产率无影响,长期生产率取决于生产线的生产时间;在单个零件的生产时间等于装配时间时,各缓冲区无积压。

5.2 实验二

长期生产率取决于生产时间,但在仿真 1 中上游生产时间与下游装配时间相同,无法分辨两者对生产率的决定作用。因此我们设基本库存量固定为 0 时,改变生产时间和装配时间之间的关系,观察缓

图 11 $S=10$ 时生产率Fig. 11 Production rate when $S=10$

缓冲区零件数量及生产率。

(1) 上游生产线的生产时间为 0.1 s, 下游装配线的生产时间为 0.2 s 时, 缓冲区数量与生产率如图 12、图 13 所示。

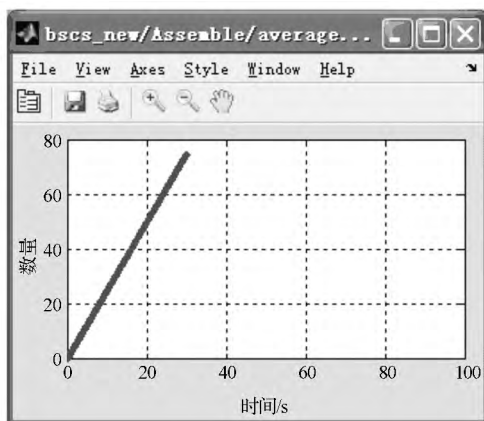


图 12 缓冲区零件数量

Fig. 12 Number of parts in buffer

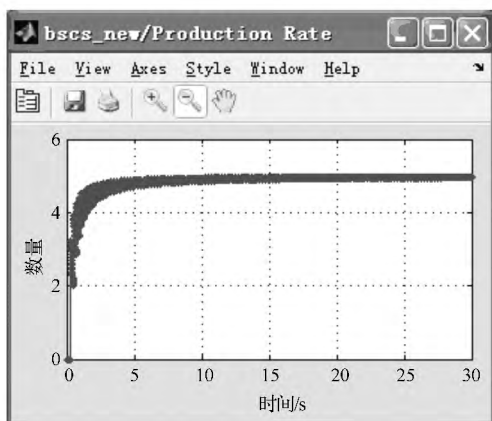


图 13 生产率

Fig. 13 Production rate

(2) 上游生产线的生产时间为 0.4 s, 下游装配线的生产时间为 0.1 s 时, 缓冲区数量与生产率如图 14、图 15 所示。

图 14、图 15 所示。

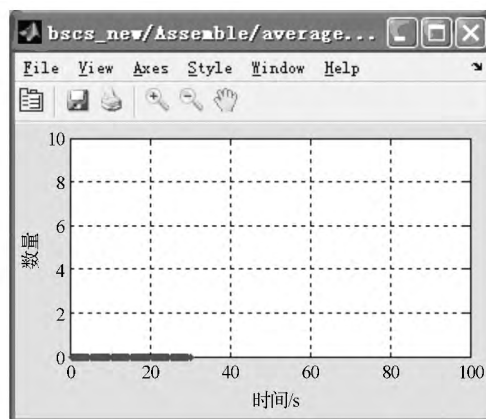


图 14 缓冲区零件数量

Fig. 14 Number of parts in buffer

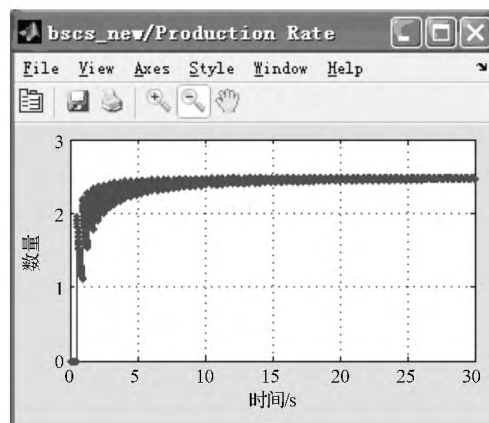


图 15 生产率

Fig. 15 Production rate

(3) 分析。

由实验二可得, 当上游生产线生产时间小于下游装配线生产时间时, 缓冲区零件数量急剧上升, 生产率很快从 0 上升到 5; 当上游生产线生产时间大于下游装配线生产时间时, 各缓冲区数量一直为 0 均无积压, 生产率由 0 上升至 2.5。两种情况下生产率上升速度基本相同, 长期生产率受限于生产时间与装配时间的最大值。

5.3 结论

从以上仿真实验可以得到以下结论: 客户需求很快能达到各生产线; 待装配零部件初始库存数量 (基本库存) 影响初期生产率, 但从长期来看, 生产率受限于装配时间和生产零件时间的最大值, 与基本库存数量无关; 当装配时间大于生产时间时, 会造成待装配缓冲区积压。这与实际生产情况相符。说明应用 Petri 网及 SimEvents 对生产系统建模及仿真方法的有效性。

6 结束语

以典型的推式生产系统为例,在建立 Petri 网模型的基础上,利用 Matlab 环境下的 SimEvents 仿真平台进行仿真,并分析系统参数与系统性能之间的关系,为提高企业生产率、实现最优生产提供了依据。

参 考 文 献

- 1 Kinitis D, Neuendorf K P, Xirouchakis P. Petri net techniques estimation. *Advances in Engineering Software*, 1999; (30): 375—387
- 2 Al-Jaar Robert Y, Desrochers Alan A. Performance evaluation of automated manufacturing systems using generalized stochastic Petri nets. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1990; 6(6): 621—639
- 3 江志斌. Petri 网及其在制造系统建模与控制中的应用. 北京: 机械工业出版社, 2004
Jiang Zhibin. Petri net and application in modeling and control for manufacture system. Beijing: Machine Press 2004
- 4 张 怀, 江志斌, 郭乘涛, 等. 基于 EOPN 的晶圆制造系统实时调度仿真平台. *上海交通大学学报* 2006; 40(11): 1857—1863
Zhang Huai, Jiang Zhibin, Guo Chengtao, *et al.* An EOPN-based real-time scheduling simulation platform of wafer fabrication system. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2006; 40(11): 1857—1863
- 5 刘振娟, 靳亚铭, 李宏光. 基于混合 Petri 网的图形建模仿真系统. *系统仿真学报*, 2007; 19(4): 742—744
Liu Zhenjuan, Jin Yaming, LI Hongguang. A hybrid Petri net-based modeling and simulating system with GUI. *Journal of System Simulation* 2007; 19(4): 742—744
- 6 盛定高. 基于面向对象 Petri 网的变速箱产品制造过程建模与仿真. *机械设计与制造* 2010; (2): 143—145
Sheng Dingao. Modeling and simulation of motor's production process on object-oriented Petri nets. *Machinery Design & Manufacture*, 2010; (2): 143—145
- 7 吴玉波. 基于微分 Petri 网的混杂系统建模与仿真. 镇江: 江苏大学 2007
Wu Yubo. Model and simulation of hybrid system based on differential Petri net. Zhengjiang: Jiangsu University, 2007
- 8 The MathWorks Inc. Getting started with Sim-Events. <http://www.mathworks.com>, 2006-10-01
- 9 孙晓峰, 王中杰. 基于 MATLAB/SimEvents 的网络仿真研究. *电脑知识与技术* 2007; (23): 1254—1257
Sun Xiaofeng, Wang Zhongjie. Research of network simulation based on MATLAB/SimEvents. *Computer Knowledge and Technology*, 2007; (23): 1254—1257
- 10 曹静静, 汪 峥. 基于 Petri 网与 SimEvents 的半导体晶圆生产线建模与仿真. *工业控制计算机* 2007; 20(12): 42—44
Cao Jingjing, Wang Zheng. Modeling and simulation of wafer fabs based on SimEvents and Petri nets. *Industrial Control Computer*, 2007; 20(12): 42—44

Modeling and Simulation for Push Control System Based on Petri Net and SimEvents

JIANG Nan-yun^{1,2}, WANG Li-hai², ZHENG Wei², QI Yu-qing¹

(Department of Economics and Management, Nanjing University of Technology¹, Nanjing 210009, P. R. China;

Automation Department, Southeast University², Nanjing 210096, P. R. China)

[Abstract] Typical push control systems as studying object was take, and constructed the system model by Petri Net. According to SimEvents module of Matlab, simulation experiments carry out and then analyze the relationship between the system parameters and the system performance. The experiment result shows that the modelling technology and simulation platform are effective. It provides a feasible method for performance analysis and parameter setting in manufacturing systems and has practical value.

[Key words] push control system Petri Net SimEvents simulation