

7-30-2020

Modeling and Scheduling of Reentrant Automatic Assembly Equipment Based on CPN Tools

Zhang Mei

1. School of Automation Science and Control Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; ;2. Engineering Research Centre for Precision Electronic Manufacturing Equipment of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

Guangsen Chen

1. School of Automation Science and Control Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; ;2. Engineering Research Centre for Precision Electronic Manufacturing Equipment of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

You Jia

1. School of Automation Science and Control Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; ;2. Engineering Research Centre for Precision Electronic Manufacturing Equipment of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Scheduling of Reentrant Automatic Assembly Equipment Based on CPN Tools

Abstract

Abstract: The idea about treating automatic immunoassay detection equipment as a reentrant dual-armed automatic assembly equipment was brought forward. *Using timed colored Petri nets (TCPN) to model the equipment according to its detection, the performance of model and simulation experiment were evaluated. To optimize the detection process, DPC dynamic feeding strategy and LSPON, FIFO scheduling strategy were designed. Based on that, a hybrid control strategy was proposed to schedule the model more efficiently.* Batch-detecting projects of different scale examples were scheduled on the platform of CPN tools according to the strategies above. The simulation results illustrate the reasonability and feasibility of the combination of TCPN model and strategies mentioned previously.

Keywords

reentrant automatic, assembly equipment, modeling and scheduling, Petri nets, CPN tool

Recommended Citation

Zhang Mei, Chen Guangsen, You Jia. Modeling and Scheduling of Reentrant Automatic Assembly Equipment Based on CPN Tools[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(12): 2927-2934.

基于 CPN Tools 的可重入自动组合设备的建模与仿真

张梅^{1,2}, 陈广森^{1,2}, 游佳^{1,2}

(1. 华南理工大学自动化科学与工程学院, 广州 510640; 2. 华南理工大学精密电子制造装备教育部工程研究中心, 广州 510640)

摘要: 提出将全自动免疫分析检测设备看作一种可重入的双臂自动组合设备。采用时间着色的 Petri 网(TCPN)对该类检测设备的检测过程进行建模, 并利用 CPN tools 评价模型性能及仿真实验。为优化检测过程, 设计了 DPC 动态投料策略和 LSPON、FIFO 调度策略, 并综合两类策略提出复合控制策略对 TCPN 模型进行调度求解。针对不同规模的批量检测项目实例在 CPN tools 平台上结合提出的不同策略进行调度。仿真结果验证了 TCPN 模型与所提出策略相结合调度方法的合理性。

关键词: 可重入; 自动组合设备; 调度; Petri 网; CPN tools

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 12-2927-09

Modeling and Scheduling of Reentrant Automatic Assembly Equipment Based on CPN Tools

Zhang Mei^{1,2}, Chen Guangsen^{1,2}, You Jia^{1,2}

(1. School of Automation Science and Control Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Engineering Research Centre for Precision Electronic Manufacturing Equipment of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The idea about treating automatic immunoassay detection equipment as a reentrant dual-armed automatic assembly equipment was brought forward. Using timed colored Petri nets (TCPN) to model the equipment according to its detection, the performance of model and simulation experiment were evaluated. To optimize the detection process, DPC dynamic feeding strategy and LSPON, FIFO scheduling strategy were designed. Based on that, a hybrid control strategy was proposed to schedule the model more efficiently. Batch-detecting projects of different scale examples were scheduled on the platform of CPN tools according to the strategies above. The simulation results illustrate the reasonability and feasibility of the combination of TCPN model and strategies mentioned previously.

Keywords: reentrant automatic; assembly equipment; modeling and scheduling; Petri nets; CPN tool

引言

半导体制造将自动组合装置广泛应用于如蚀刻、沉积、平板印刷等晶圆制造加工中, 通常由若干加工设备和搬运设备有效地组成一体, 实现了全自动化操作, 大大提高了生产效率。而在医疗检测

行业, 为缩短检测时间, 提高检测精度, 减少人为干涉, 全自动的免疫分析检测设备也越来越地被应用在医疗服务中, 但国内 85% 医疗检测设备都是从国外引进的, 国内对这类设备研究较少。

全自动免疫分析检测设备主要由温育振荡器, 洗板机, 检测仪 3 个设备模块和机械臂、加样臂两个运输设备模块组成。该设备的检测过程经常会重复访问温育振荡器、洗板机等设备, 即具有可重入性^[1]。本文将自动组合装置的概念引进免疫分析检测设备的研究中, 将全自动免疫分析检测设备看作



收稿日期: 2014-08-26 修回日期: 2015-03-06;
基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2014zz0033, x2zd-D2153910); 广州市科技重大专项计划—产学研专项资助(2012Y5-00004);
作者简介: 张梅(1977-), 女, 安徽, 副教授, 硕士, 研究方向为智能优化方法研究、生物医学工程。

<http://www.china-simulation.com>

• 2927 •

一种可重入的双臂自动组合设备。

Petri 网适合用于离散系统的模型描述, 既具有直观易懂的图形描述能力, 也有严格的数学描述能力。近年来, 采用 Petri 网对自动组合设备进行建模成为研究的热点^[2]。

本文采用时间着色的 Petri 网对全自动免疫分析检测设备进行建模。引入时间和颜色的概念, 在一定程度上增强了基本 Petri 网的描述能力。对变迁赋予时间延时, 可以记录任务完成时间。给托肯赋予颜色可以描述不同资源或者不同时刻的资源状态, 进一步简化模型。利用 CPN tools 仿真平台对模型进行了实现, 并在模型调度中设计了 DPC (Divided-period Constant Work In Process) 动态投料策略、LSPON 和 FIFO 调度策略以及两者相结合的复合控制策略, 得到较优的调度方案。

1 免疫分析检测设备特点分析

1.1 免疫分析检测设备

免疫分析检测设备用于检测分析个体生命中的化学物质, 为疾病的检查分析以及个体的健康状态提供重要的信息依据。该设备主要由温育振荡器、洗板机、检测仪 3 个设备模块和机械臂、加样臂 2 个运输设备组成, 各组成模块如表 1 所示。

表 1 设备资源介绍表

设备号	设备	资源数目	作用
1	加样臂	1	添加试剂
2	机械臂	1	加盖、去盖、移板
3	温育振荡器	3	温育, 振荡
4	洗板机	2	洗板
5	检测仪	1	检测

本文对该检测设备上最常见的检测过程^[3]—酶联免疫吸附分析法(ELISA)检测乙型肝炎病毒表面抗原(HBsAg)进行调度研究, 其操作流程示意图见图 1, 数字表示操作顺序。

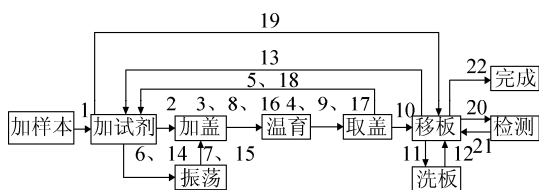


图 1 ELISA 检测 HBsAg 的操作流程示意图

1.2 免疫分析检测设备及检测过程特点分析

该免疫分析检测设备最突出的特点就是拥有复杂的双臂结构, 设备模块间没有缓冲区, 设备模块内存在并行机, 并且在检测过程中存在可重入性, 具体分析如下。

1) 双臂结构: 自动组合设备双臂结构普遍都是功能相同的两个机械臂^[4-6], 调度时只要考虑机械臂是否空闲。而本文中的机械臂和加样臂执行的功能完全不同, 且双臂占用同 X 轴轨道, 需进一步考虑碰撞问题。

2) 无缓冲区: 该免疫分析检测设备模块间没有缓冲区。对于批量的检测项目, 只有合理调度才能保证整个检测过程无死锁地正常运行。

3) 并行机: 分析表 1 可知, 洗板机和温育振荡器模块都存在多台并行设备, 与大多数自动组合设备的并行腔类似^[7]。合理分配并行设备, 对提高整个检测过程的效率起至关重要的作用。

4) 可重入性: 大多数自动组合设备的可重入流程如下^[8]:

$$(m_1, \dots, (m_j, m_{j+1})^k, \dots, m_i) \quad (1)$$

其中 $1 < j < i$; m_i 代表加工模块 i ; k 表示重入次数; 重入 m_j 、 m_{j+1} 的次数都为 k 。

但是本文研究的检测设备可重入流程如下:

$$((m_1, m_2)^{k_1}, m_1^{k_2}, m_3) \quad (2)$$

其中 m_1 代表温育振荡器; m_2 代表洗板机; m_3 代表检测仪; $k_2 = 0$ 或 1 ; 重入 m_1 的次数为 $k_1 + k_2$; 重入 m_2 的次数为 k_1 。

该设备的重入方式由具体检测项目的检测流程决定, 可能是 (m_1, m_2) 流程的重复, 也可能是 (m_1, m_2) 的流程重复后又访问 m_1 。可见, 对不同设备的重入并不是单一方式, 而是多种重入情况。

本文研究的 ELISA 检测 HBsAg 可重入流程为

$$((m_1, m_2), m_1, m_3)$$

该检测设备的温育振荡器可以进行温育和振荡两种操作, 同时还充当操作台功能, 加试剂、加盖、去盖等操作都在该设备模块完成。从而检测项目在在该设备模块完成温育或振荡操作前后, 还会存

在加样臂添加试剂操作或者机械臂加盖、去盖操作, 不同于大多数自动组合设备的加工设备只是单一地完成一种操作便释放设备资源, 转移到下一设备, 因此导致占用该设备模块时间较长, 并且在该设备模块期间也要考虑双臂调度问题, 增加了调度问题的复杂性, 调度的合理性对加快该设备资源的释放率也是至关重要的。

1.3 约束条件

为保证检测过程的正常运行, 在调度过程中需要满足以下约束条件。

- 1) 链式约束: 对同一个检测项目, 按照检测流程规定, 每道工序须在其前面工序完成后才开始;
- 2) 不可抢占: 每道工序开始到结束, 不能中断;
- 3) 专一性: 设备同一时间只能进行一道工序;
- 4) 设备模块间无缓冲区: 检测项目必须在下一个设备模块内有空闲设备时, 才可从前一个设备模块中转移到下一个模块中;
- 5) 互锁约束: 加样臂和机械臂在同一个 xyz 平面运行, 应保证两个运输设备不能同时运行。

2 基于 CPN Tools 的检测设备建模

本文采用时间着色的高级 Petri 网^[9-11]对该检测设备的检测过程进行建模。CPN tools 作为专门 TCPN 模型的仿真平台, 不仅可以分析模型的性能, 验证模型的可行性, 而且可以动态地模拟免疫分析检测设备的运行过程, 快速得到调度结果。运用 CPN tools 仿真平台进行建模时, 可以及时进行测试和修改, 提高了建模的效率。

2.1 设备模块模型

该检测设备由温育振荡器、洗板机、检测仪三个设备模块组成。3 个设备模块在 Petri 网中的模型除了设备内部的并行机数表示有差异外, 运行过程的描述基本一致, 以洗板机为例, 如图 2(a)所示。

考虑到设备的运行过程中只需内部设备资源, 不需要运输设备参与, 相对较独立, 可用一个变迁描述运行过程, 从而简化模型, 如图 2(b)所示。

2.2 双臂运输设备模型

由于加样臂和机械臂存在互锁约束, 在调度过程中同一时刻只能运行其中一个。在模型中, 加样臂和机械臂操作的描述类似, 都是由开始变迁, 结束变迁和操作库所组成, 如图 2(c)所示。为简化模型, 将代表加样臂和机械臂的资源库所合并, 通过激发变迁的含义和时延不同区分双臂, 不仅体现了互锁约束, 并且降低了模型的复杂度。例如图 2(d)中, 库所 Arm 中有一个托肯, 代表机械臂和加样臂均空闲, 可以触发机械臂的操作变迁 Take cover(取盖)或者加样臂的操作变迁 Reagent add(加试剂), 具体触发情况由实际检测流程和调度策略决定, 触发哪个变迁代表调用哪种臂资源, 时延变迁 CT done 和 Reagent done 根据相对应的操作时间赋予不同的时延, 在双臂资源库所合并的条件下依然可以清晰地辨别双臂。图 2 中各设备模块模型对应元素的具体含义见表 2。

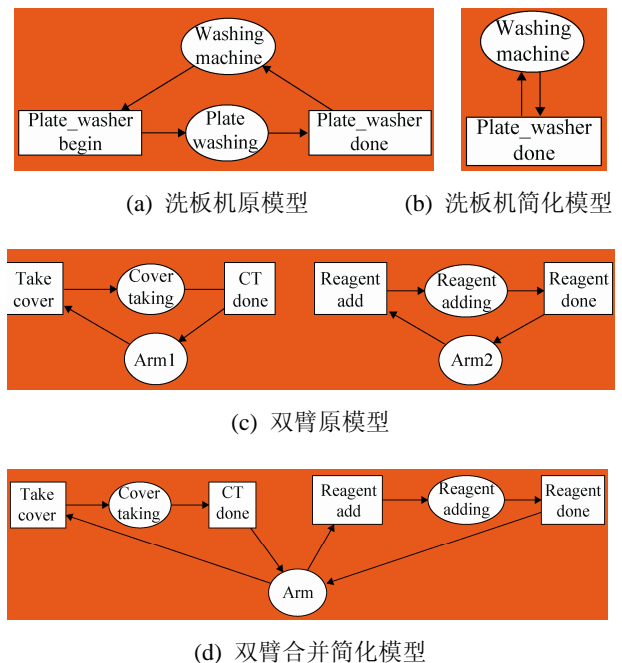


图 2 设备模块模型

2.3 检测过程总模型

本文针对图 1 中 ELISA 检测 HBsAg 的检测过程在 CPN tools 中用 TCPN 建模, 如图 3 所示。

对模型中的操作库所设置相应的颜色集, 区分

不同项目以及同一项目的不同重入阶段。根据表 1 对资源库所设置相应的托肯数代表设备资源数。根据实际操作时间给变迁赋予相应的时间延迟,可计算总完成时间。设置输入输出弧的判别条件,使项目按满足链式约束的检测流程顺序进行。

整个检测过程中进行多次加试剂和移板操作,并且对于这两种操作存在多种类型的前置操作,在模型中用同一变迁描述复杂多变加试剂和移板操作较困难。为了区分不同阶段不同类型的前置操作的加试剂以及移板操作,采用多个变迁表示同一

操作,区别不同路径转移来的托肯。

表 2 设备模块模型库所、变迁含义介绍表

库所	含义	变迁	含义
Plate_washing	洗板中	Plate_washer begin	洗板开始
Washing machine	洗板机资源	Plate_washer done	洗板结束
Plate washer	洗板	Cover Taking	取盖中
Take cover	取盖	CT done	取盖完成
Arm/Arm1/Arm2	臂资源	Reagent add	加试剂
Reagent adding	加试剂中	Reagent done	试剂完成

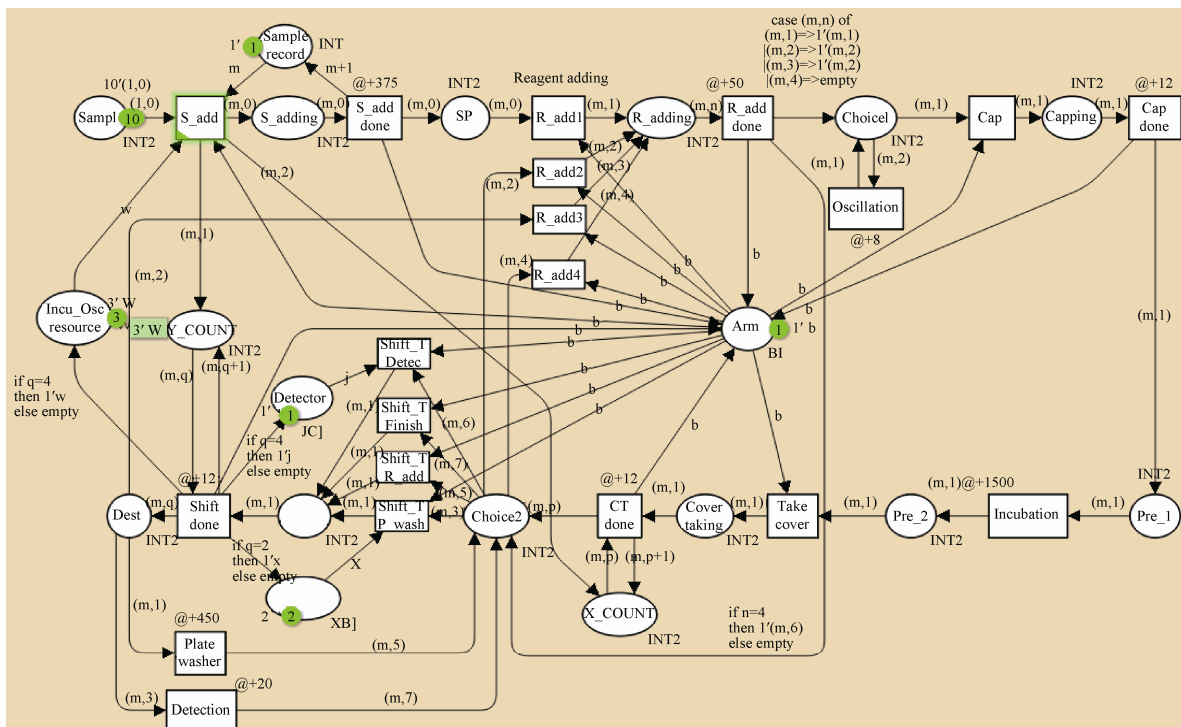


图 3 基于 CPN tools 仿真平台的检测过程 TCPN 总模型

模型中各元素意义见表 3。颜色集定义如下:

closet INT=int;

colset INT2=product INT*INT timed;

closet BI=with a|b timed; //臂资源

closet WZ=with W; //温育资源

closet XBJ=with X; //洗板机资源

closet JCJ=with J; //检测仪资源

var j:JCJ; var x:XBJ; var w:WZ; var m, n, p, q:

INT;

进一步扩展,当多类项目同时检测时,不同类

项目的检测路径不一样,主要体现在重入方式的差异,即式(2)中 k_1, k_2 取值不同。考虑在模型中运用颜色集区分和控制不同类型项目的不同重入方式下的运行,从而达到简化模型的目的。

在单一类型项目建模采用的两维颜色集的基础上,增加一维表示项目的类别,同时根据增加的颜色信息相应地修改弧条件,使得不同类项目按原本设定的检测路径检测。

多类型项目总模型三维颜色集定义修改为:

var z,m,n,p,q:INT;

colset INT3 =product INT*INT*INT timed;

模型中的具体颜色集为(i,j,k), 其中: “i”表示项目类别, 为新增颜色; j, k 与二维颜色集中含义一致。“j”表示所有项目中第 j 个项目的编号; “k”表示项目所进行过程中指导触发相应变迁的控制

位。由于可重入的检验过程需重复访问同一资源, 重入同一库所, 因此通过库所 X_COUNT, Y_COUNT 以及变迁 R_add done 的输出弧条件改变 k 值, 代表当前为第 k 次重入, 从而根据该控制位实现触发不同变迁。图 4 给出加试剂子模块。

表 3 仿真模型在 CPN tools 中元素具体表示

库所	具体含义	变迁	具体含义
Sample	样本资源	S_add	加样本
S_adding	加样中	S_add done	加样本完成
Sample record	加样本次数记录	R_add1~R_add4	不同阶段加试剂
SP	加完样本的资源	R_add done	加试剂完成
R_adding	加试剂中	Oscillation	振荡
Choice1	资源路径选择	Cap	加盖
Capping	加盖中	Cap done	加盖完成
Pre_1	加完盖资源	Incubation	温育
Incubating	温育中	Incubation done	温育完成
Pre_2	温育完成的资源	Take cover	取盖
Cover taking	取盖中	CT done	取盖完成
Choice2	资源路径选择	Shift_TDetec	移板到检测处
Detector	检测机资源	Shift_T Finish	移板到项目完成处
Plate_shifting	移板中	Shift_TR_add	移板到加试剂处
Washing machine	洗板机资源	Shift_TP_wash	移板到洗板处
Arm	臂资源	Shift done	移板完成
Dest	在目的地	Plate washer	洗板
Incu_Oscresource	温振模块资源	Detection	项目检测
X(Y)_COUNT	记录器---项目路径选择依据	---	---

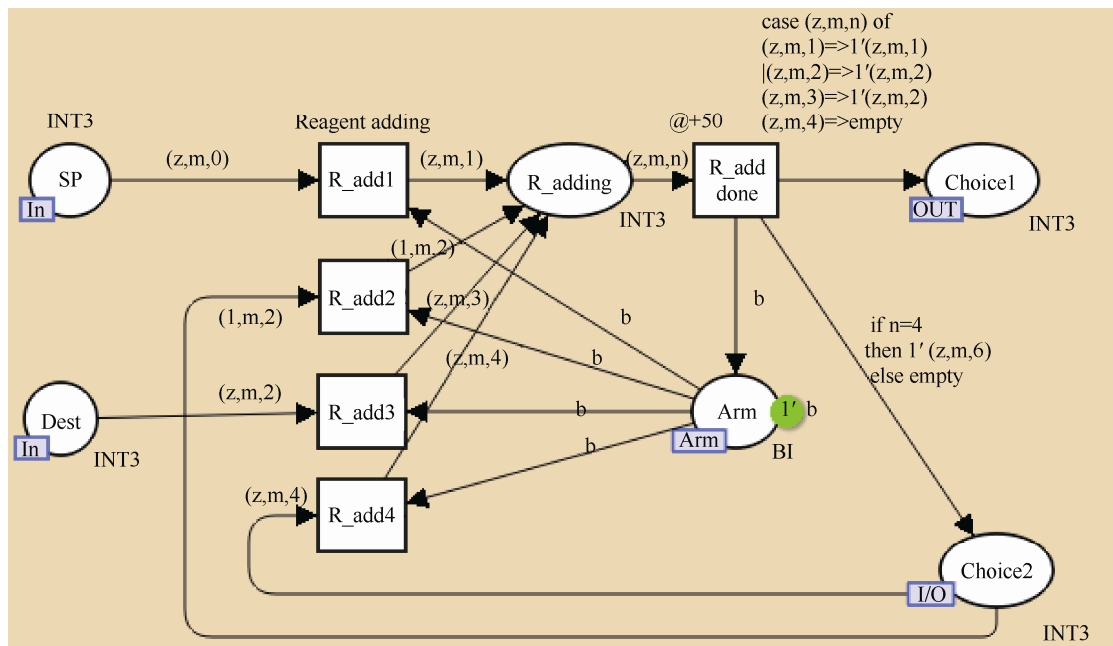


图 4 加试剂子模型

将图 3 中变迁 R_add1 到库所 R_add done 上弧判断条件由(m, 1)在图 4 中对应修改为(z, m, 1), 表示第 z 类项目, 所有项目中的第 m 个项目, 控制位为 1 即第一次重入该库所的弧满足触发变迁的条件。

2.4 性能分析

利用 CPN tools 软件本身携带的分析工具---State Space(SS)对 TCPN 模型进行状态分析, 对模型的主宿属性、活性、公平性等性能进行评价。

由图 5 状态分析结果(部分)可知, 初始标识并不是主宿标识(Home Markings), 即整个检测过程是不可逆的。死锁标志(Dead Markings), 表示检测流程运行到这一步时终止。Dead Transition Instances 代表的是死变迁, 即在任何发生序列中都不能触发的。此模型中其值为 None, 说明所有变迁都能触发。Live Transition Instances 指的是活变迁, 即在任何可达标识下, 该类变迁都在一个可发生的序列中, 而此模型中其值为 None, 表示不存在始终可以被触发的变迁。由公平性(Fairness Properties)中可看出, 该模型不存在可发生的无限变迁序列, 反映模型中变迁的发生的概率都是公平的。此外, 分析报告中截取了 CPN 模型中部分库所的有界属性(Boundedness Properties), 即模型是有界的, 符合实际情况。因此可得出结论: 该模型是有界的且具有活性, 即模型设计得合理。

State Space		
Nodes: 99959	Arcs: 100139	Secs: 300 Status: Partial
Scc Graph		
Nodes: 99959	Arcs: 100139	Secs: 4
Home Properties		
Home Markings	Initial Marking is not a home marking	
Liveness Properties		
Dead Markings	6969 [99959, 99958, 99957, 99956, 99955,...]	
Dead Transition Instances	None	
Live Transition Instances	None	
Fairness Properties		
No infinite occurrence sequences		
Boundedness Properties		
Best Integer Bounds	Upper	Lower
Arm 1	1	0
Capping 1	1	0
.....		

图 5 状态分析图

3 投料策略与调度策略

对可重入的自动组合设备运行过程控制问题的研究主要包括投料策略和调度策略 2 个方面。

投料策略决定新项目进入运行过程的时间、数量、顺序以及方式等, 分为静态和动态两种投料方式。静态方式为根据事先设定的速率进行投料, 如固定时间间隔投料等, 不能适应实际变化。动态方式指根据运行过程的某一性能指标制定启发式的投料方式, 如 Spearman 等人^[12]提出的 CONWIP (Constant Work In Process)方法。

调度策略安排各类项目在各类设备上的加工序列和开始时间。调度策略的优劣直接关系到整个运行过程的性能, 其中启发式调度策略得到广泛应用。启发式调度策略操作简单, 容易得到近似最优解, 能够较好地弥补其他调度算法搜索盲目性和非法性等缺点, 提高搜索的效率和质量。

根据检测过程的自身特点, 基于 CONWIP 投料策略设计了 DPC 投料策略, 同时应用先到先服务规则(FIFO)以及下道工序加工时间最长规则(LSPON)两种启发式调度策略与 TCPN 模型相结合求解。综合考虑将投料策略与调度策略联系起来组合复合控制策略, 更全面地优化检测过程, 更符合实际需要。

3.1 投料策略

在进行批量检测时, 设备模块间无缓冲区导致检测项目只能在下个步骤所需设备模块存在空闲设备时才能转移。因此无规则地投放新项目必然会造成项目间争夺资源而互相等待的死锁局面。制定合理投料策略是保证检测过程正常运行的必要条件。然而检测过程存在可重入, 增加了新项目投放控制难度。由于温育振荡器资源数决定可运行项目数, 图 3 中模型采用在初始时刻运行与温育振荡器资源数相同的项目数后, 每完成一项目再投入新项目的 CONWIP 动态投放策略, 使运行项目数恒等于温育振荡器资源总数, 保证了检测过程运行的稳定性, 但效率较低。

在 CONWIP 投料策略的基础上, 确保检测过程正常运行的前提下, 增加在线运行项目数可缩短检测时间。分析检测流程发现, 当项目移至检测设备模块时, 将不再占用温育振荡器资源, 操作完成后便直接移板到结束处。因此对投料策略进行适当调整, 采用 DPC 投料策略, 在监测到有项目进入检测步骤时插入一个新项目, 增加检测操作这段时间内在线运行项目, 对整个运行过程实行分时段控制, 根据实际运行情况将在线项目数恒定在两个不同值, 动态跟踪运行过程的变化, 但是仍保证检测过程稳定进行, 同时有效地提高了检测效率。

具体实现为将图 3 的 Incu_Osc resource(温育模块资源)与 Shift done(移板完成)库所连接弧的判断条件改为:

```
if q=3 //代表有项目进行检测工序
then 1`w //释放 1 个‘w’颜色托肯(温育振荡器资源库所)允许新项目进入
else empty //否则没有托肯释放
```

3.2 调度策略

本文选用基于加工时间的 LSPON 规则和基于到达时间的 FIFO 规则在 TCPN 模型中进行调度, 并进行了改进。

3.2.1 规则一: 下道工序加工时间最长优先规则 (LSPON)

温育操作的时间远大于其他操作的时间, 并且温育振荡器资源对在线运行的检测项目是充足的, 不会造成竞争, 安排项目尽早地进行温育操作有利于充分利用温育振荡器资源, 缩短项目完成时间。

温育操作前经常存在加试剂, 加盖等调度机械臂或加样臂的时间较短的操作。根据这一特点对 LSPON 规则进行改变, 赋予温育操作前的一项或者几项紧邻的调度臂资源的操作最高的优先级, 实际上是为了保证项目尽快开始温育操作。例如当温育操作前存在加试剂和加盖两种时间极短的操作时, 同时赋予这 2 种操作最高优先级。

在模型中的实现为: 给臂资源中的托肯赋予

A, B 两种颜色即 closet BI=with A|B timed, 当要进行优先级较高的操作时, 将臂资源中托肯的颜色由初始的“B”改为“A”, 禁止臂资源库所中的托肯流入其它路径, 直到项目进行温育操作后再还原臂资源库所中托肯的颜色。

3.2.2 规则二: 先到先服务(FIFO)规则

可重入的多项目检测流程经常会出现多个项目同时竞争同一资源, 为解决这类问题, 采用 FIFO 规则。检测设备的设备模块间没有缓冲区, 因此并不存在对设备模块输入缓冲区中等待运行的项目采用 FIFO 规则。项目在当前设备模块中完成后, 并且下一设备模块中有空闲设备时, 需要参与双臂资源的竞争队列, 等待进行移板操作。项目一旦能够被转移便意味着可以立即开始下一项操作, 所以在 TCPN 模型中项目积压很多都是对双臂资源的竞争造成的。对于整个操作过程运用 FIFO 规则的实质就是针对双臂资源的规则调度。

在模型中的表达为对图 3 中调用臂资源的“choice1”和“choice2”库所采用 FIFO 规则。增加一种颜色集: colset LIINT=list IINT timed;同时对两个库所“Choice1”和“Choice2”分别定义两个变量: “Jlist”和“Klist”, 其中颜色属性为 LIINT 型。

3.3 复合控制策略

实际上, 投料策略是保证设备平稳运行的重要前提, 对投料的合理控制为后续运用调度策略进行优化调度提供重要保证, 调度策略是在有效的投料策略的基础上进一步提高检测设备的性能, 两者是紧密联系的, 因此本文提出将投料策略和调度策略进行组合形成复合控制策略。针对 CONWIP 和 DCP 两种投料策略, LSPON 和 FIFO 两种调度策略可组成 4 种复合控制策略。

4 仿真实验与分析

为了验证设计的投料策略和调度策略的合理性和有效性, 选择项目数分别为 50, 150, 250 的批量 ELISA 检测 HBsAg, 以最小化检测完成时间

为目标,以多次运行得到的平均总完成时间和缩短时间为评价指标,在 CPN tools 仿真平台中对检测设备 TCPN 模型单独运用 CONWIP 和 DPC 投料策略,同时将 CONWIP, DPC 投料策略分别与 LSPON、FIFO 调度策略组合,得到四种复合控制策略,比较各策略性能。从表 5 中可以发现:

1) 设计的 DPC 投料策略明显优于 CONWIP 投料策略,且随着项目规模的增大,缩短的时间更多;

2) 复合控制策略 CONWIP-LSPON, CONWIP-FIFO 比单独采用 CONWIP 投料策略效

果更好,其中 CONWIP-LSPON 策略效果最好,并且项目规模越大,优化效果越明显;

3) 复合控制策略 DPC-LSPON, DPC-FIFO 与单独采用 DPC 投料策略相比更进一步优化检测过程,其中 DPC-LSPON 策略优化结果最理想,随着规模增大,DPC-FIFO 效果变化不明显,但是 DPC-LSPON 变化显著。

综上可得,相比文中其它策略,DPC-LSPON 复合控制策略对该检测设备的 TCPN 模型的调度问题求解得到的调度方案最优,总完成时间最短。

表 5 仿真结果对比

项目数	CONWIP		CONWIP-LSPON		CONWIP-FIFO		DPC		DPC-LSPON		DPC-FIFO	
	平均/s	平均/s	缩短/s	平均/s	缩短/s	平均/s	缩短/s	平均/s	缩短/s	平均/s	缩短/s	
50	99 497	97 133	2 364	98 893	604	98 231	1 266	96 621	1 610	97 211	1 020	
150	288 134	285 162	2 972	286 780	1 354	286 106	2 028	283 594	2 521	284 476	1 630	
250	482 854	477 204	5 650	478 577	4 277	478 457	4 397	474 548	3 909	476 640	1 817	

5 结论

本文提出将全自动免疫分析检测设备的调度问题转化为自动组合设备的调度问题。针对该类检测设备的高度重入性,复杂双臂结构,设备模块内存在并行机以及设备模块间没有缓冲区的复杂特点,采用时间着色 Petri 网建模方法,并在 CPN tools 仿真平台进行模型搭建、性能分析、仿真等工作,验证了模型的合理性。对基本规则做出相应的调整,设计了 DPC 动态投料策略,LSPON 和 FIFO 两种调度策略以及两类策略组合的复合控制策略,最终将这些调度策略运用到医学上批量 ELISA 检测 HBsAg 的调度问题中,通过仿真对比,验证所采用的调度策略是有效的,同时证明复合控制策略相比单独策略性能更好,其中 DPC-LSPON 复合控制策略优化效果最理想,对提高检测过程的效率具有重要实际运用价值。接下来作者将针对更复杂的多类型的检测项目调度问题进行深入的研究,运用文中提到的三维颜色集实现区分不同重入类型的项目,保证项目按流程稳定运行,再进一步结合调度策略提高检测效率。

参考文献:

- [1] 高臣杰. 基于遗传算法的链式约束排序问题的研究 [C]// 第三十一届中国控制会议论文集 B 卷, 2013. 中国: 合肥, 2013: 2406-2410.
- [2] Lee TE. A Review of Scheduling Theory and Methods for Semiconductor Manufacturing Cluster Tools [C]// 2008 Winter Simulation Conference, 2008. USA: WSC, 2008: 2127-2135.
- [3] 石潇铭, 周炳海. 带驻留约束及双臂机械手的集束型设备群调度算法 [J]. 上海交通大学学报, 2013, 47(4): 650-655.
- [4] 王兰兰. 临床免疫学和免疫检验 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003.
- [5] Qiao Y, Wu N Q, Zhu Q H, et al. Cycle time analysis of dual-arm cluster tools for wafer fabrication processes with multiple wafer revisiting times [J]. Computers & Operations Research (S0305-0548), 2015, 53: 252-260.
- [6] Zhou B, Gao Z, Chen J. Scheduling algorithm of dual-armed cluster tools with residency time and reentrant constraints [J]. Journal of Central South University (S2095-2899), 2014, 21(1): 160-166.
- [7] Jung C, Lee T E. An Efficient Mixed Integer Programming Model Based on Timed Petri Nets for Diverse Complex Cluster Tool Scheduling Problems [J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing (S0894-6507), 2012, 25(2): 186-99.

(下转第 2941 页)

<http://www.china-simulation.com>