西安电子科技大学硕士论文

论文题目

姓名： 段江涛

专业：

**目录**

[第1章 绪论 1](#_Toc368989891)

[1.1 研究背景和意义 1](#_Toc368989892)

[1.2 本文完成的主要工作 4](#_Toc368989893)

[第2章 Petri网 5](#_Toc368989894)

[2.1 Petri网基本概念 5](#_Toc368989895)

[参考文献 7](#_Toc368989896)

# 绪论

## 研究背景和意义

一个制造系统可以看作是若干制造活动的集合，各个制造活动通过合作，按照一定的规则重复使用资源，最终完成产品的生产。这些活动包括工件的加工、传输及信息处理等。资源可以是任意制造活动需要具备的条件。制造系统的每个流程说明了各个活动的资源使用情况以及这些活动使用资源的优先级。

Petri网是是对制造系统的一种数学模型描述，Petri网建模理论和方法是自动制造系统研究的重要手段。Petri网既有严格的数学表述方式，也有直观的图形表达方式。Petri网是一种双枝有向图，包括两种节点：库所 (place)、变迁(transition)，分别以圆圈和矩形表示；库所和变迁之间用有向弧连接，同一类型的节点之间不能用有向弧连接；库所中的小黑点或数字称为托肯(token)。用Petri网建模制造系统时，用库所表示条件或者状态，用变迁表示事件[ ]。图 1‑1的网模型表示机器人移动工件的系统，p\_1代表机器人的状态，p\_2代表工件的状态，p\_1中有一个托肯时表示机器人就绪，p\_2中有托肯时表示有工件就绪。因此，当p\_1和p\_2中都有托肯时机器人可以开始移动工件，即一个变迁的输入库所表示该变迁对应事件发生的前提条件。



图 1‑1机器人移动工件的Petri网模型

制造系统Petri网模型的建立一般可分为以下几步[1]：

1. 将各种产品的加工工序和所需资源分别列出；
2. 根据工艺要求，排出工序加工的先后顺序；
3. 为了表示工序的状态，需要为各个工序生成相应的标记过的库所；然后为上述库所加入表征工序启动的输入变迁，称之为工序的起始变迁；再为上述库所加入表征工序终止的输出变迁，或者称之为终止变迁。通常一个当前工序的终止变迁和下一个工序的起始变迁是一样的。在Petri网的运行过程中，如果有托肯被包含在工序所在的库所中，那么这表明相应的工序处于执行过程中。如果有多个托肯被包含在工序库所中，那么要完成该工序的话，其所需资源应该有多重加工能力。例如，用于表示机器人的库所中在初始状态下有一个托肯，表示该机器人最多同时可夹持一个工件。一个工序开始的标志是起始变迁的发射的完成，相应地，该工序的终止的标志是终止变迁的发射的完成。
4. 针对特定的工序，其工序中包含的每一种资源都需要有对应的库所(对于库所未建立的情况而言)，这种对应的库所叫做资源库所。然后需要为各个资源库所建立起指向其参与工序的起始变迁的输出弧；然后为资源库也添加输入弧，输入弧的起点对应着对应资源所在工序的终止变迁。
5. 根据系统的物理特性(如加工数量、设备加工能力等)，为Petri网添加初始标识。

若不能为一个制造系统建立良好的Petri网模型，基于Petri网的分析、验证、性能评价以及控制都无从谈起。

系统的死锁问题是自动制造系统控制器设计时所必须考虑和解决的问题，这一点在高度自动化生产系统中至关重要。因为死锁造成的整个或部分系统的停顿，在有些情况下并不只是单纯降低生产率，而是可能造成重大经济损失乃至产生灾难性后果。因此，自动制造系统中死锁的描述、分析、控制和求解对系统控制的实现和正常运行无疑是至关重要的。目前，随着自动化水平的提高，自动制造系统中死锁问题越来越受到关注。

死锁问题的研究起源于操作系统中的资源分配问题[ ][ ]。尽管人们深入研究了操作系统、多处理器计算机系统以及分布式数据库中的死锁处理方法，但由于物理背景的差异，这些方法有的还不能直接应用于制造系统中。一般认为，死锁产生的主要原因是：系统资源不足、进程允许推进的顺序不当、资源分配不当。Coffman等给出了系统死锁的四个必要条件[3]。

1. 相互抑制：一个资源每次只能被一个进程使用。
2. 持有并等待：持有资源的进程允许申请其他资源。
3. 非剥夺条件：除非资源被释放，否则一个资源不允许被强行剥夺。
4. 循环等待：若干进程形成了一个进程链，该进程链中的每一个成员等待着他的下一个进程持有的资源。

研究表明，前三个条件是由系统和资源的物理特性决定的，而第四个条件却可因对资源的请求、分配和释放随时间而变化。只要发生死锁这四个条件必然满足。反之，只要有一个条件不满足，系统就不会发生死锁。

基于Petri网理论的自动制造系统的死锁处理方法可分为四种，忽略死锁、死锁检测与恢复、死锁避免和死锁预防。死锁的检测和恢复是一种被动的方法，基于Petri网技术的死锁避免策略的基本思想是，在系统的每一个可达状态下，使用一种在线的控制策略来确定变迁的发射。这种方法的目的是使得系统能够顺利完成所有的加工进程而不会陷入死锁[ ][ ]。死锁避免需要在线决策，过于进取的策略往往不能完全避免死锁，过于保守的策略会使得系统的许可行为受到严重影响。死锁预防是一种静态方法，使用一种离线计算的机制控制资源的请求，保证系统不会发生死锁，一旦这种无死锁的控制机制建立起来，系统在这种机制下运行就永远不会进入死锁状态。一般来说，死锁预防策略的缺点主要是保守性，使系统的生产率和关键资源的利用率降低，但是这种方法可应用于安全性要求高的系统。

现有的Petri网模型死锁预防策略主要是通过对网模型的信标添加控制库所来获得具有活性的Petri网控制器，这种方法的优劣主要从三个方面评判：行为许可性、计算复杂性和结构复杂性。行为许可性是指通过添加控制库所得到的具有活性的控制器，可能会将某些许可的系统行为排除在外，排除的许可行为越少，该控制器的行为许可性就越好，如何设计一个最大许可(maximally permissive)或者说最优(optimal)控制器一直是人们感兴趣的问题；目前有一些基于区域理论的最优控制器的研究[2]。计算复杂度主要是指控制器的设计需要求解所有的信标，理论上，一个Petri网中信标的数量和网规模成指数关系；为了解决计算复杂性和行为许可性的问题，基于MIP的死锁检测与信标求解方法得到了应用。结构复杂性是指具有活性的Petri网控制器中控制库所的个数和网规模在理论上成指数关系，因为一个信标需要添加一个控制库所，控制器结构复杂性增加了系统控制实现以及控制验证和确认的开销，一般来说，人们希望获得结构复杂度最低的控制器，目前有一些死锁避免策略只对基本信标添加控制库所，通过调节控制深度(和控制库所的初始标识有关)来保证控制器的活性[1]。

死锁避免策略(DAP)是在线的控制策略。近几年，很多学者提出了死锁避免策略。由于自动制造系统需要更高的灵活性和更高的效率，相比死锁预防策略，死锁避免策略能够更好地满足该要求。但是，对于一般的自动制造系统，即使是最简单的顺序资源分配系统，计算它的最优或者最大许可行为的死锁避免策略都是NP-hard的，因为确定每个可达状态的安全性是NP-hard的。因此，有学者针对某些自动制造系统的Petri网模型，提出了最大许可行为的死锁避免策略，这些策略的计算复杂度是可以接受的。针对顺序自动制造系统，Reveliotis等[ ]提出了一个多项式复杂度的死锁避免策略，该策略的提出基于图论概念。Fanti等得到死锁发生的充分条件，并提出一些控制策略，该策略基于状态概念，通过禁止一些变迁的发射，以保证网的活性。

目前，多项式复杂度的最优死锁避免策略的研究已取得一些进展。文献[2]证明不含有单位容积资源的S3PR网只包含两种状态，安全状态和死锁状态。并提出该类网的死锁避免策略，且该策略具有多项式复杂度，在每个可达状态下通过仅向前看一步决定变迁的发射。邢科义等[ ]针对S3PR网，提出了一般多项式复杂度的死锁避免策略，其中S3PR网的限制条件是其ξ-resource的容积大于一，同时基于最优资源变迁回路(PTRC)提出该死锁避免策略的在线判断方法。

## 本文完成的主要工作

对于死锁预防策略，目前主要的方法是添加控制库所获得活性控制器，希望获得计算复杂度小，结构复杂度低，行为许可性好的控制策略，最好的结果是获得最优控制器，这里的最优控制器是指最大行为许可的活性控制器(记为Mp)。本文针对满足某个条件的S3PR网模型，通过给每个严格极小信标添加一个控制深度为一的控制库所的控制策略，能够获得一个Mp，并且给出一个网具有Mp的充要条件。由于需要给每个严格较小信标都添加一个控制库所，得到的控制器结构比较复杂。针对该类网还研究了多项式复杂度的死锁避免策略，且该策略只需要在当前可达状态下向前看一步即可确定变迁的发射。

本文的主要内容安排为：第二章选择性地介绍Petri网的基本概念和基本性质，包括Petri网的基本数学表示、P不变式、信标、基本信标、从属信标等。第三章首先介绍S3PR网，在此基础上提出本文需要的一些定义，主要包括资源变迁回路、清空前状态等。第四章简单介绍区域理论，在此基础上提出一种死锁预防策略；并基于可达图分析，提出一个网模型在该策略下具有活性控制器的充要条件。此外，第四章还提出弱从属S3PR网概念，并从结构上分析该类网具有的特殊性质，最终针对满足一定条件的弱从属S3PR网，重点研究了多项式复杂度的死锁避免策略[18]。第五章总结全文，并总结了论文研究过程中遇到的一些问题，包括论文研究的不足之处以及后续工作中可能的几个研究方向。

# Petri网

本章主要介绍Petri网的基本概念和基本性质，主要包括Petri网的基本定义、数学表达方法、可达状态集合、结构不变式以及信标等。本章知识是Petri网理论研究的基础，Petri网理论的基本概念和定义有很多不同形式的表述，但是不同形式的定义一般没有本质的区别，本章所介绍的Petri网的基本定义和基本性质主要参考[ ]的形式。

## Petri网基本概念

Petri网作为一种形式化，图形化的数学工具，涉及到很多方面的知识，具体包括集合论，矩阵论，图论和随机过程等。本节主要介绍在本文工作中直接或间接涉及到的基本定义，为后续的工作做好准备。

见表 2‑1，

见表 2‑2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目1 | |  |  |  |
|  |  |
|  | |  |  |  |
|  | |  |  |  |

表 2‑1 表描述

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目1 | |  |  |  |
|  |  |
|  | |  |  |  |
|  | |
|  | |  |  |  |

表 2‑2 表2描述

# 参考文献

* 1. Zhou M C, DiCesare F. Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing System [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers. 1993.
  2. DiCesare F, Harhalakis G, Porth J M, et al. Practice of Petri Nets in Manufactring [M]. London: Chapman and Hall, 1993.