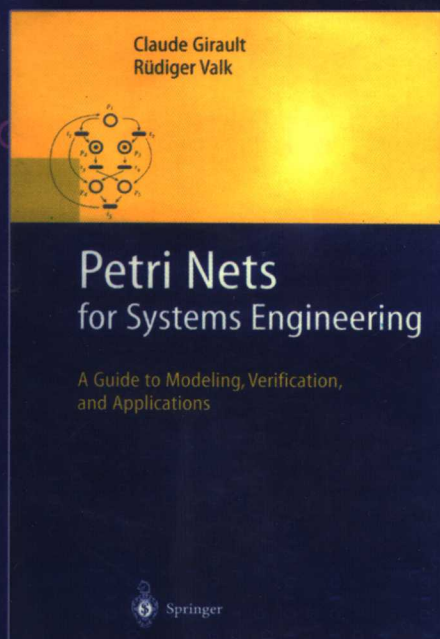


系统工程Petri网

——建模、验证与应用指南

Petri Nets for Systems Engineering

A Guide to Modeling, Verification, and Applications



[法] Claude Girault 著
[德] Rüdiger Valk

王生原 余鹏 霍金键 译
袁崇义 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

系统工程 Petri 网

——建模、验证与应用指南

Petri Nets for Systems Engineering
A Guide to Modeling, Verification, and Applications

[法] Claude Girault 著
[德] Rüdiger Valk

王生原 余 鹏 霍金健 译
袁崇义 审校

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是一本关于Petri网的建模、验证与应用的优秀的教学与研究参考书。全书分为5个部分共27章,首先讲解了Petri网的基本概念,通过实例介绍了常量弧网、库所/变迁网和有色网的基本定义。作者接着讨论了如何应用Petri网来构造系统,并给出了各种建模的方法。书中介绍了对Petri网模型进行验证的主要方法,其中包括基于状态空间的方法和模型检验、结构方法以及使用演绎和进程代数的一些高级方法;讲解了Petri网的确认和执行,其中不仅涉及到软件生命周期的相关内容,而且详细介绍了在复杂系统的开发过程中如何使用Petri网进行建模和分析。最后,作者对Petri网的三个不同应用领域(柔性制造系统、 workflow管理系统和电信系统)进行了深入的研究。本书的内容全面,结构清晰,并通过大量实例讲解了各种概念、方法与应用。

本书可以作为计算机相关专业本科生和研究生的教材或参考书,也可作为从事软件系统研究的人员的宝贵参考资料。

Translation from the English language edition:

Petri Nets for Systems Engineering: A Guide to Modeling, Verification, and Applications by Claude Girault and Rüdiger Valk.

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003.

Springer-Verlag is a company in the BertelsmannSpringer publishing group.

All Rights Reserved.

Authorized Simplified Chinese language edition by Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2005.

本书中文简体字翻译版由斯普林格出版公司授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-3950

图书在版编目(CIP)数据

系统工程Petri网——建模、验证与应用指南/(法)吉奥特(Girault, C.)等著;王生原等译.
北京:电子工业出版社,2005.6

(国外计算机科学教材系列)

书名原文: Petri Nets for Systems Engineering: A Guide to Modeling, Verification, and Applications

ISBN 7-121-00781-9

I.系... II.①吉... ②王... III.计算机网络-教材 IV.TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第032155号

责任编辑:冯小贝

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:28.75 字数:736千字

印 次:2005年6月第1次印刷

定 价:53.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版说明

21世纪初的5至10年是我国国民经济和社会发展的关键时期,也是信息产业快速发展的关键时期。在我国加入WTO后的今天,培养一支适应国际化竞争的一流IT人才队伍是我国高等教育的重要任务之一。信息科学和技术方面人才的优劣与多寡,是我国面对国际竞争时成败的关键因素。

当前,正值我国高等教育特别是信息科学领域的教育调整、变革的重大时期,为使我国教育体制与国际化接轨,有条件的高等院校正在为某些信息学科和技术课程使用国外优秀教材和优秀原版教材,以使我国在计算机教学上尽快赶上国际先进水平。

电子工业出版社秉承多年来引进国外优秀图书的经验,翻译出版了“国外计算机科学教材系列”丛书,这套教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多,既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。这些教材涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。同时,我们也适当引进了一些优秀英文原版教材,本着翻译版本和英文原版并重的原则,对重点图书既提供英文原版又提供相应的翻译版本。

在图书选题上,我们大都选择国外著名出版公司出版的高校教材,如Pearson Education培生教育出版集团、麦格劳-希尔教育出版集团、麻省理工学院出版社、剑桥大学出版社等。撰写教材的许多作者都是蜚声世界的教授、学者,如道格拉斯·科默(Douglas E. Comer)、威廉·斯托林斯(William Stallings)、哈维·戴特尔(Harvey M. Deitel)、尤利斯·布莱克(Uyless Black)等。

为确保教材的选题质量和翻译质量,我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本系列教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师、博士,也有积累了几十年教学经验的老教授和博士生导师。

在该系列教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括对所选教材进行全面论证;选择编辑时力求达到专业对口;对排版、印制质量进行严格把关。对于英文教材中出现的错误,我们通过与作者联络和网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订。

此外,我们还将与国外著名出版公司合作,提供一些教材的教学支持资料,希望能为授课老师提供帮助。今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

电子工业出版社

教材出版委员会

- 主任** 杨芙清 北京大学教授
中国科学院院士
北京大学信息与工程学部主任
北京大学软件工程研究所所长
- 委员** 王 珊 中国人民大学信息学院院长、教授
- 胡道元 清华大学计算机科学与技术系教授
国际信息处理联合会通信系统中国代表
- 钟玉琢 清华大学计算机科学与技术系教授
中国计算机学会多媒体专业委员会主任
- 谢希仁 中国人民解放军理工大学教授
全军网络技术研究中心主任、博士生导师
- 尤晋元 上海交通大学计算机科学与工程系教授
上海分布计算技术中心主任
- 施伯乐 上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授
中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长
- 邹 鹏 国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师
教育部计算机基础课程教学指导委员会副主任委员
- 张昆藏 青岛大学信息工程学院教授

译者序

《系统工程 Petri 网——建模、验证与应用指南》一书是由法国、德国、荷兰和西班牙的 24 位专家集体创作而成。虽然本书的各个章节由不同的作者执笔,但是全书的结构和内容却是经他们在若干次会议上无数次讨论的结果。译者有幸认识其中的几位,并且熟悉或了解他们的工作。作为大学教授或科研人员,本书的各位作者都有着多年的教学实践和科研(特别是 Petri 网的应用研究)经验。经由这些作者撰写而成的一本书,无疑值得所有从事计算机应用(特别是软件工程)的人员阅读。

中文书名中的“系统”一词是指以计算机应用为背景的系统,因此将本书译为《软件工程 Petri 网》也无不可。这是一本由实例引入概念和方法的著作,其内容深入浅出,只要读者有一些计算机应用的实践经验以及一定的数学基础,就可以轻松地学习到 Petri 网的相关知识,学会使用 Petri 网进行建模,通过 Petri 网进行分析,以及学会抽象和形式化地处理应用问题。如果读者还不了解什么是 Petri 网,不知道为什么要学习和应用 Petri 网,不妨先阅读一下本书的前言和第一章。译者不想在这里重复作者对本书写作动机和目标的阐述,也不想通过介绍 Petri 网的很多特别之处(优点)来吸引读者;译者只想在这里指出阅读本书时可能会遇到的问题,希望有助于读者更快、更深入地理解本书的内容。

学习过代数理论的人都会知道,线性方程组中的变量只代表某个数值,只有在使用线性方程组解决应用问题时才将变量与问题中的物理对象联系起来。Petri 网也是这样,在研究和学习 Petri 网时不需要了解构成 Petri 网的元素的物理含义。Petri 网有它自己的一套体系和一套层次,并且有着相当完整的知识结构。本书只从实用的角度引入 Petri 网的概念和各种 Petri 网系统,通过实例来解释它们。这种方式的优点是直观、易于被读者接受;缺点是不太符合 Petri 网自身的体系,同时也欠缺深度。这里可能会出现的问题是,读者也许很容易理解各章的具体内容,但是却很难形成整体认识。译者的建议是,如果读者尚不了解 Petri 网,那么不妨先阅读一些以介绍 Petri 网为主要内容的著作或文章,例如本书的参考文献[Mur89]和[Pet81],或者参阅译者的专著之一——《Petri 网原理与应用》(即将由电子工业出版社于近期出版)。对于了解 Petri 网的一部分读者来说,如果在阅读完本书之后仍然不能完整和深入地掌握 Petri 网的概念与应用,那么也可以参考以上提及的文献或专著。[Mur89]和[Pet81]都是很容易理解的入门教材,具有一定英文基础的读者都可以轻松地阅读。

在本书的翻译过程中,我们为了统一风格,先将专有名词翻译出来,如将“marking”译为“标识”,将“token”译为“托肯”。某些技术名词在不同场合有不同的译法,例如“model”一词,我们根据不同的上下文将其翻译为“模型”、“建模”或“模拟”。还有一些术语在翻译时较难找到十分恰当的汉语词汇与之相对应,因此我们采用了保留英文术语的方式,如“on-the-fly verification”直接翻译成“on-the-fly 验证”。

参加本书翻译工作的有霍金健(第一部分和第五部分)、余鹏(第二部分和第四部分)、王生原(第三部分)。最后,由袁崇义教授对全书的译文进行了校对和整理。由于译者的水平有限,文中难免有不妥之处,敬请读者不吝赐教。

前 言

目前,基于计算机的系统几乎成为现代生活各个方面必不可少的组成部分。然而,正如我们所知道的,这些系统都不够正确可靠。软件开发项目不能按期完成,而且费用还会超支。尽管计算机系统在规模上超过已开发的所有传统复杂系统,但是质量标准上的分歧似乎却无法统一。人们反复论证应该把传统的工程方法和标准用于软件开发的需要,于是创立了软件工程。虽然在这一领域已取得了显著的进步,可是还不存在强大的建模方法能把建模技术、分析技术和实现技术统一起来。此外,尽管图形建模技术日益引起人们的重视,但是其中没几个建立在形式化方法的基础上。

本书力求结合 Petri 网与系统建模和实现的过程,因为 Petri 网能满足人们许多急迫的需求。本书对 Petri 网的介绍将从最基本入手,并讨论如何在系统建模和验证中应用 Petri 网。最后,书中选择了若干应用领域来阐述这些方法。

本书的写作与 MATCH 项目密切相关。我们想要感谢该项目的所有参与者对这本书的写作理念和设计所做出的贡献。为了确定本书的结构和内容,我们召开了多次会议以及许多分会。特别是对参与正文撰写、文稿校对、提出意见或建议的人员,以及他们对复杂的通信过程所进行的维护工作,我们深表谢意。

Rainer Mackenthun 花费了许多精力来组织常用的文献目录。Berndt Farwer 解决了编辑章节的问题,并且去除了许多不一致性;没有他辛勤细致的工作,要完成此书是不可想像的。同样还有很多朋友为我们提供了帮助,我们在此向他们一同表示感谢。

本书的写作目的

如前言中提到的,本书的写作目的是为了展示如何应用 Petri 网来满足系统建模、验证及实现方面的众多需求。我们首先通过那些对于系统工程师来说是必要的特征来讲解 Petri 网,然后再介绍一些重要领域,比如建模的概念及验证的技术。

Petri 网用于系统建模的优点是众所周知的:

- Petri 网提供了一种以图形和数学为基础的形式化建模方法。与此对照,其他类似的技术只是很好地发展了其中一方面的特性,而另一方面的特性则是以不太系统化的方法进行弥补。这两个方面就像硬币的两面,其重要性犹如系统开发过程中需要图形工具,同时也需要数学工具。
- 如今已存在许多种用于 Petri 网设计和分析的算法,并且已有强大的计算机工具用来辅助该过程的实施。
- 对于大规模和复杂系统的有效设计来说,抽象和层次化设计是至关重要的。Petri 网提供了抽象和求精的机制,并可以很好地集成到基本模型中。
- 人们开发了大量的商业或学术研究领域中的工具,可用来设计、模拟和分析基于 Petri 网的系统。它们当中有许多已达到了工业水准。

- Petri 网已经在许多应用领域中使用,因而在建模领域有着较高水平的专用技术。
- 在基本网形式化方法的基础上,已经发展了不同种类的 Petri 网模型。一方面,这些模型满足了不同应用领域的需求;而另一方面,又为相互交流以及将方法和工具从一个领域应用到另一个领域提供了方便。当前,除了基本模型之外,还有许多扩展模型(如时间的、随机的、高级的及面向对象的 Petri 网),可以满足所有能够想到的应用领域的特殊需求。

在进行总体介绍之后,本书的内容将偏向于软件和硬件的开发过程。它在一定程度上涵盖了软件生命周期中的建模、确认以及执行阶段的细节,而涉及软件生命周期中这些阶段的成果在参考文献中是难以见到的。另外,本书在一些研究方面(如验证)的讲解达到了相当的深度,这可以通过书中有关这些方面的一些深入研究而体现出来。尽管所涵盖领域的科学成熟度在不断发生变化,本书还是做出了涵盖完整方法的选择。这样,某些部分体现了真实的研究成果,而其他部分则局限于相应领域的一个概述,内容多来自于参考文献。

在本书的简介之后是第一部分,即 Petri 网——基本概念。该部分介绍了一些本质的特性,如局部性和并发、图形表示和代数表示、细化和组合等。然后通过一个例子,以直观的方式介绍了常量弧网、库所/变迁网以及有色网。主要的形式定义是在第 4 章和第 5 章引入的,特别是关联矩阵,以及某些基本性质(如可达图、线性不变量、活性和可逆性)。第一部分的最后一章对第二部分到第五部分的更高级主题进行了总览。

第二部分——建模,介绍了应用 Petri 网来构造系统的方法。该部分的起始章节给出了一些介绍性的且更复杂的例子。读者可以从中获取关于 Petri 网特殊潜能的某些较深入的知识。这些例子涵盖了基本网、库所/变迁网和有色网。接着,本部分对设计方法学进行了更加系统的介绍。自底向上方法从构造简单网开始,通过合并而得到越来越复杂的网,直至获得所期望的模型。与此相对的是自顶向下方法,它是将网分解成更小的部分。在实际工作中,必须将两种方法混合起来使用。然后,本书讲解了各部分之间不同的通信机制,以及不同部分之间的互连技术。作者还在本部分比较了面向状态风格的建模与面向事件的建模,并通过三个案例对系统的方法进行了阐述。

第三部分——验证,对 Petri 网模型验证的主要方法进行了概述。其中各章涵盖了状态空间搜索和模型检验,结构方法(如不变量、线性代数技术和归约方法),以及使用演绎和进程代数的一些高级方法。该部分的写作意图是为了反映验证技术的现状,但是由于篇幅所限而没有详细讨论。对于有兴趣深入了解的读者,可以进一步阅读相关的文献。

在本书中,有着更多实践背景的系统工程师将对第四部分更感兴趣,即确认和执行。这一部分不仅涉及到软件生命周期,而且对于在大系统的开发中实际使用 Petri 网模型给出了详细的分析。这主要表现在这种抽象模型产生的代码可以实际执行。该部分还概述了用来支持软件和系统开发过程的工具。

本书的最后一部分(第五部分——应用领域)致力于对三个不同的应用领域进行深入的研究,所覆盖的范围考虑到了所有这些不同领域各自的开发阶段,这些领域包括柔性制造系统、 workflow 管理系统以及电信系统。

本书的写作属于 MATCH 项目的一个部分,这是一个由人力资本和机动性主导的项目,它的资助者是欧盟(European Union)。在这个项目的实现目标中,包括组织两个互补的高级暑期学校以及出版两本书。一本书关注于性能的建模和评价,而本书则是考虑建模和验证。

本书体现了四个 Petri 网研究组的合作成果。这四个研究组来自 Eindhoven 大学、Hamburg 大学、Paris VI 大学和 Zaragoza 大学。参与的作者有(以字母顺序排列):

- W. van der Aalst(第 25 章)
- P. Barril(第 20 章)
- T. Basten(第 16 章)
- J.-M. Colom(第 5 章和第 15 章)
- A. Diagne(第 10 章和第 11 章)
- C. Dutheillet(第 14 章)
- W. El Kaim(第 21 章)
- J. Ezpeleta(第 24 章)
- B. Farwer(第 16 章)
- M.-P. Gervais(第 26 章)
- C. Girault(编辑工作)
- M. van de Graaf(第 25 章)
- S. Haddad(第 13 章和第 15 章)
- J.-M. Ilić(第 14 章)
- F. Kordon(第 19 章和第 21 章)
- R. Mackenthun(第 10 章和第 11 章)
- D. Moldt(第 19 章)
- D. Pointreud(第 14 章)
- M. Silva(第 5 章)
- M.-O. Stehr(第 16 章)
- E. Teruel(第 5 章和第 15 章)
- R. Valk(编辑工作,第 1 章 ~ 第 4 章,第 8 章)
- I. Vernier-Mounier(第 14 章)
- M. Voorhoeve(第 9 章 ~ 第 11 章)

本书的结尾给出了参考文献的目录信息,前面章节所给出的参考文献可以在这里找到。

目 录

第一部分 Petri 网——基本概念

第 1 章 引言	2
第 2 章 Petri 网的实质特征	4
2.1 局部确定性和并发	5
2.2 图形表示和代数表示	7
2.3 并发、冲突和混感	10
2.4 细化和组合	11
2.5 网射	16
第 3 章 直观模型	21
3.1 常量弧网	21
3.2 库所/变迁网	23
3.3 有色网	25
3.4 折叠	28
第 4 章 基本定义	30
4.1 库所/变迁网的形式化定义	30
4.2 常量弧网的形式化定义	31
4.3 有色网的形式化定义	33
第 5 章 性质	40
5.1 基本性质	40
5.2 分析方法介绍	44
第 6 章 本书总览	55

第二部分 建 模

第 7 章 引言	60
第 8 章 实例解说建模和分析技术	62
8.1 网、优化和抽象	62
8.2 库所/变迁网和资源管理	67
8.3 有色网、抽象和展开	72
第 9 章 技术	77
9.1 构建块	77
9.2 结合网	79

9.3	高级网	82
9.4	分解网	85
9.5	小结	85
第 10 章	方法	86
10.1	面向状态建模	86
10.2	面向事件的建模	97
10.3	面向对象建模	106
第 11 章	实例研究	115
11.1	面向状态的方法	117
11.2	面向事件的方法	120
11.3	面向对象方法	125
第 12 章	小结	130

第三部分 验证

第 13 章	引言:验证所涉及的问题	132
13.1	网的分类	132
13.2	性质	135
13.3	方法分类	137
13.4	验证过程	142
13.5	概述	143
第 14 章	基于状态空间的方法与模型检验	144
14.1	性质、时态逻辑及公平性	144
14.2	on-the-fly 方法	155
14.3	基于偏序的方法	158
14.4	符号化和参数化方法	174
14.5	实现问题	192
14.6	综合及一般性总结评注	197
第 15 章	结构方法	199
15.1	网系统归约	200
15.2	线性代数技术	205
15.3	虹吸和陷阱	214
15.4	网子类的分析	216
15.5	不变量和有色 Petri 网的归约	222
第 16 章	演绎与基于进程代数的方法	229
16.1	代数网的重写语义	230
16.2	断言推理	244
16.3	授权逻辑	262

16.4	线性逻辑和 Petri 网	268
16.5	利用进程代数验证 Petri 网模型	277
第 17 章	小结	290

第四部分 确认和执行

第 18 章	引言	292
第 19 章	系统工程和确认	293
19.1	软件生命周期和确认	293
19.2	确认	294
19.3	一种方法——原型建立	295
19.4	工具	298
第 20 章	网的运行	301
20.1	集中控制	303
20.2	将控制分发给库所	304
20.3	将控制分发给边	308
20.4	多线程和同步	309
20.5	异步	310
20.6	小结	311
第 21 章	代码生成	312
21.1	对于代码生成的 Petri 网方法	313
21.2	Petri 网的划分算法	317
21.3	Petri 网中代码生成的一些方面	323
21.4	高级网中的代码生成	333
21.5	小结	337
第 22 章	小结	339

第五部分 应用领域

第 23 章	引言	342
23.1	工作中应用 Petri 网	342
23.2	应用领域	342
第 24 章	柔性制造系统	345
24.1	领域概览	345
24.2	在 FMS 中使用 Petri 网	348
24.3	设计方法	352
24.4	小结	363
第 25 章	workflow 系统	364
25.1	领域概述	364

25.2	动机	366
25.3	设计方法学	368
25.4	workflow分析	375
25.5	实例学习:Sagitta-2000 案例	385
25.6	小结	386
第 26 章	电信系统	388
26.1	领域概述	388
26.2	动机	391
26.3	设计方法学	392
26.4	分析	401
26.5	小结	404
第 27 章	小结	405
27.1	公共建模问题	405
27.2	共享的分析结果	406
术语表	407
参考文献	422

1

第一部分

Petri 网——基本概念

第 1 章 引 言

第 2 章 Petri 网的实质特征

第 3 章 直观模型

第 4 章 基本定义

第 5 章 性 质

第 6 章 本书总览

第1章 引言

由于 Petri 网的良好特性和各种应用,我们可以使用多种方式对其进行介绍。在这一部分,我们先来关注动作行为的建模。一般情况下,动作依赖于一组称为局部环境的条件和约束。Petri 网通过局部环境的改变来对行为建模。这种局部确定性是 Petri 网在模拟并发行为时取得巨大优势的基础。然而,一个普遍的误解是 Petri 网不能用来模拟一个没有丝毫并发行为的应用系统。Petri 网还有其他的很多特性,比如图形化的表示形式结合 Petri 网的文字描述以及细化和抽象的能力。这些特性保证了我们利用 Petri 网能够建造良构(well-structured)的系统模型。这些特性以及用于系统分析的建模方法和工具,将在本书的后续章节中进行介绍。

在第 2 章,我们将集中讲解一组基本特性,即局部确定和并发、图形化表示形式结合代数/文本的描述方式、冲突和混惑、细化和组合。细化不仅用于应用系统的建模,同时在不同抽象程度的 Petri 网模型之间进行转换。细化的概念和网射(net morphisms)密切相关,而网射是一般的代数结构之间映射的一个实例,其中商集(quotient)是抽象(abstraction)的数学术语。在第一次阅读本书时,因为与细化和抽象相关的定义已经在 2.4 节进行了介绍,所以 2.5 节中关于网射的内容可以省略。

同时,Petri 网的基本概念也在第 2 章进行了介绍,并对其行为进行了基本的说明。在第 3 章中,将给出库所/变迁网(place/transition net)和有色网(coloured net)的基本模型。作为学习起点,我们详细介绍了常量弧网(arc-constant net)的模型,因为此模型的性质和前面提到的模型密切相关。

第 4 章给出了第 3 章介绍的三种网模型的形式化定义,但是和第 3 章介绍的顺序有所不同:首先是库所/变迁网,接着是常量弧网,最后是有色网,这也反映了随着复杂度提高的模型的关系。我们采用类似的方式来介绍这三种模型:在给出网模型的形式定义之后,说明了关联矩阵和相应的变迁发生规则。因为有色网系统模型的复杂性,我们主要关注这个模型的关联矩阵表示,并且对关联矩阵的各种表示方法进行了比较。

第 2 章到第 4 章通过一个简单的例子(即赛车的起始过程)而连接起来。这个例子阐明了通信顺序进程的一般情形。

Petri 网的一些重要性质将在第 5 章进行介绍,例如有界性(boundedness)、活性(liveness)和可逆性(reversibility)。由于这些都是实际系统的重要性质,因此我们提出了如何在大规模的系统中验证这些性质的问题。在库所/变迁网模型系统中介绍的可达图技术,原则上可以用来检验这些性质。但是,因为可达图方法一般都具有很高的复杂性,所以我们需要更多的结构化方法。第 5 章只给出了一些如何将线性代数方法作为证明手段的提示。

这种证明手段的一个例子是用 Petri 网建模的生产单元。第 5 章的几乎所有的方法都会在后续章节中给出更加详细的说明,尤其是在第三部分。

第 6 章给出了本书剩余章节的概述。本章目的是希望为有经验的读者在决定是否进一步阅读本书时提供一些建议,同时为其他读者简要介绍本书后续章节中将要讨论的各方面内容和问题。

Petri 网模型由 Carl Adam Petri 于 1962 年在他的博士论文中提出 [Pet62]。今天,关于此专题的论文和专著的数量已经是数以万计。本书引用了很多相关的论文和专著,其中大部分资料可以在如下网址查看:<http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/pnbib/index.html>。库所/变迁网(P/T 网)模型的概念是在 1980 年([JV80])提出的,其目的是为了将这个模型和不带标记的网模型(参见定义 2.2.1)以及其他模型区分开来。高级网是在 1981 年以谓词/变迁网([GL81])和有色网([Jen81])的形式提出的。在 20 世纪 90 年代共出版了三卷关于有色网的专著,即 [Jen92b]、[Jen94]和 [Jen97]。

第 2 章 Petri 网的实质特征^①

在这一章中,我们要介绍一个基本模型,它是通过提取一个简单例子中的建模信息而得到的。通过这个小例子, Petri 网的一些实质特征将呈现出来,即局部确定性、并发、图形化和代数的表示形式。为了进行说明,我们选用一个小例子,其中几个对象相互协调共同完成一个过程。类似情形也出现在其他领域内,例如从计算机化的集成制造领域到办公自动化领域。在我们的例子中,一场比赛在几辆赛车之间展开。当发令员收到所有赛车都已经就绪的信号以后,他就发出开始信号,这时所有赛车便可以出发了。为了简单起见,我们将这个例子限定为只包含一个发令员和两辆赛车(参见图 2.1)。

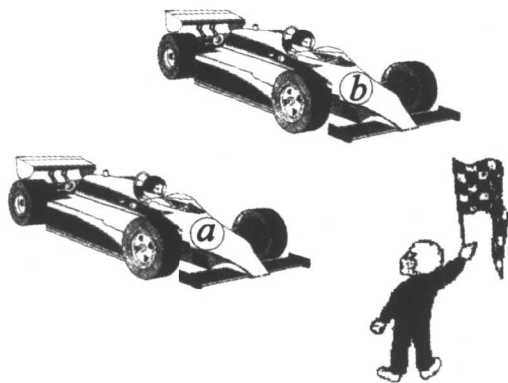


图 2.1 两辆赛车的起始过程

先设想一个计算机应用(比如仿真过程或是赛程控制),可以确认下面这些基本条件和动作:

1. 条件表:

- p_1 : 赛车 a 处于比赛前的准备状态
- p_2 : 赛车 a 处于等待开始信号的状态
- p_3 : 赛车 a 收到开始信号后,进入比赛状态
- p_4 : 由赛车 a 发出的准备就绪信号
- p_5 : 由赛车 a 收到的开始信号
- p_6 : 发令员处于等待状态,直到所有赛车都已就绪为止
- p_7 : 由发令员发出的开始比赛的信号
- p_8 : 由赛车 b 发出的准备就绪信号
- p_9 : 由赛车 b 收到的开始信号
- p_{10} : 赛车 b 处于比赛前的准备状态

^① 作者:R. Valk。