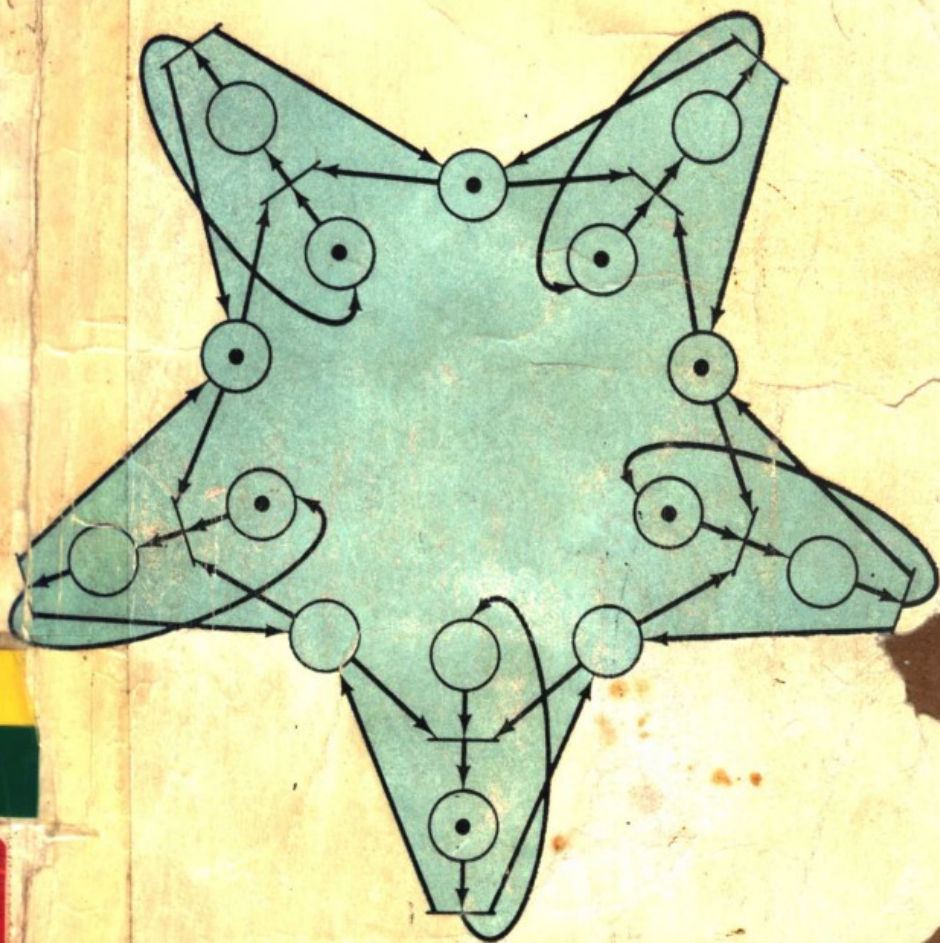


JAMES L. PETERSON 著 吴哲辉 译

# PETRI 网理论与系统模拟



中国矿业大学出版社

高等学校教学参考用书

PETRI网理论  
与 系 统 模 拟

(美) J. L. Peterson 著

吴哲辉 译

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书系统地介绍了Petri网的基本概念,系统的Petri网模型, Petri网分析的问题和分析方法, Petri网语言, 增广Petri网和Petri网子类等内容。对于基本概念和基本理论的叙述十分通俗易懂, 对特殊网理论的前沿课题也作了较详尽的介绍。可以作为计算机科学与技术、系统科学与工程、数学等专业的研究生、本科高年级学生和其他科技工作者学习Petri网理论的入门教材或参考书。

责任编辑 胡玉雁

### 高等学校教学参考用书 PETRI网理论与系统模拟

(美)J. L. Peterson 著 吴哲辉 译

---

中国矿业大学出版社出版发行  
江苏省新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷  
开本850×1168毫米1/32 印张9.5 字数238千字  
1989年12月第一版 1989年12月第一次印刷  
印数: 1—1200册

---

ISBN 7-81021-299-0

---

TP·13 定价: 1.90元

## 译 者 的 话

Petri网是一种系统描述和分析的工具。同其他一些描述工具相比较，它尤其便于描述并发现象和模拟平行系统。对于一个系统，如果能构造出它的Petri网模型——系统的数学表示，并对这个Petri网模型进行分析，就可以揭示出被模拟系统在结构和动态行为方面的许多重要信息。这些信息可用于对系统的性能评估，或对系统提出改进设计的建议。

Petri网的概念最早是由西德的C. A. Petri博士于1962年提出来的。70年代以后，Petri网理论在欧美一些国家得到了迅速的发展，并被广泛地应用于计算机科学技术和其他许多学科领域。如今，Petri网不仅常被用于作为各种计算机系统的形式描述、性能评估和辅助设计的手段，而且在工程技术、化学、经济和法律等领域内，也有许多成功的应用实例。

就出版的时间而论，本书是世界上第一本关于Petri网理论的专门著作。作者J. L. Peterson教授曾对Petri网理论作过许多深入的研究工作。他搜集了关于Petri网理论及应用的大量论文和研究报告，总结了当时已经比较成熟的特殊网理论的研究成果，写成这部著作。本书的特点是：对于基本概念、基本理论写得通俗易懂；对于特殊网理论的一些前沿课题，也作了系统的、深入的介绍；对同Petri网相近的一些描述工具，作了介绍和比较；而且书中还列举了大量的Petri网应用实例。因此，本书既可以作为初学者了解和学习Petri网的基本内容的入门教材，也为Petri网研究者提供了许多研究课题并介绍了大量的参考文献。对于那些仅希望以Petri网作为一种工具，解决本专业的实际问

DAA 01/01

• i •

题的科技工作者来说，本书也提供了基本方法和范例。

由于出版时间较早(1981年)，本书未收入70年代后期(也是由C.A.Petri博士)提出，并于80年代迅速发展起来的通用网论的内容。可以说，这是本书的一个不足之处。当然，这是历史条件所限。本书的翻译工作是1983年开始的，并于1984年初基本译完。译者认为，从及时反映国际科技发展的角度来说，当时翻译并在我国出版这本书，是比较适宜的。由于种种原因，这份译稿五年后才得到出版。同近几年来迅速发展的Petri网理论研究成果相比，显得晚了一点。但由于国内直到目前还未有一本关于Petri网的著作(不论是专著还是译著)出版，许多科技工作者(特别是青年计算机工作者)希望学习Petri网的基本理论而又无处得到较系统的书籍和资料。基于这种情况，译者认为，现在出版这份译稿还是有意义的。

谨向给予本译稿出版机会的中国矿业大学出版社致以衷心的感谢。同时要感谢王培良和王美琴同志，他(她)们仔细地阅读过本书的初译稿，并提出了许多宝贵的意见和建议。

由于译者水平所限，译书难免会有一些错误或不确切之处。欢迎读者批评指正。

本译书的出版，得到国家自然科学基金的资助。

吴哲辉

1989年1月

## 序 言

从1962年Petri博士的学位论文提出以来，Petri网理论已经有了很大的发展。然而，关于Petri网的论述很不容易看到，它们只是分散在一些研究报告和学术论文当中。尽管如此，Petri网的应用却不断增长。可以预期，每一个计算机科学家都要求懂得一点基本的Petri网的理论，将成为一种趋势。

本书把分散在各处的有关的Petri网理论的主要内容集中在一起，并用互相协调和相容的方式来叙述它们。这种表达和组织既适合于专业人员的自学，也适合于组织计算机科学专业的研究生学习。Petri网理论可以应用于许多领域（如第三章所述），其基本知识对于计算机科学、系统分析和工程专业来说，已成为必不可少的。

对于那些希望得到马上可以应用的Petri网资料的学生和专业人员来说，第一章到第四章，以及第七章是非常重要的。这几章都适合于自学，并提供了足够的Petri网理论的基础知识，以使它们能直接应用于广泛的领域。

本书也可用作研究班学习Petri网的课本。头四章的定义和应用是易于学习的，其余各章则可以把学生引导到当前研究的前沿。每一章都附有习题，这是为了对所述的概念提供实践练习和加强理论基础。此外，“进一步研究的课题”栏目指出了进行新的研究的一些路子。其中许多课题不难发展成为硕士或者博士学位论文。

要懂得Petri网理论的基本概念，只需要很少的基础知识。然而，它比大多数其他课题都接触到计算机科学和数学的更多方

面。对于当前的Petri网理论的完整理解，要求在形式语言与自动机、操作系统、计算机结构和线性代数等方面有很好的基础。可以认为，计算机科学专业的本科毕业生，或者已学习一年以上的此专业的研究生，已具有学习和研究Petri网的必要的基础知识。

显然，在Petri网领域里已取得的成果，比本书所提及的要多得多。我们赞赏进一步的阅读其他资料，并提供了尽可能完整的参考资料目录。

特别需要告知读者，Petri博士还在继续他的研究工作。我们称为“Petri网理论”的，在他的术语中称为“特殊网理论”。这只是他的“通用网论”的一部分（见〔Petri 1973〕，〔Petri 1975〕，〔Petri 1976〕，〔Petri 1979a〕）。

### 致谢

本书创作过程中，得到了许多人的帮助。在专业内容上给以帮助的有：Tilak Agerwala、Michel Hack、Tai-Yuan Hou、C. Matthias Laucht、Dino Mandrioli、Jerre Noe、Gary Nutt和William Riddle。J. C. Browne、K. Mani Chandy、Jim Daniel、Nancy Eatman和R. T. Yeh以及奥斯汀德克萨斯大学的计算机科学系和数学系。麻省理工学院的计算机科学实验室给予了后勤方面的支持，使得我有充足的时间和设备把手稿集中统一。

在整个写作、编辑和修订过程中，我的妻子Jeanne给予了极大的关心和支持。

以计算机为基础的编辑和排版技术的应用，成为本书出版过程中新的和唯一的问题。我非常感谢Prentice-Hall在这方面的支持、耐心和决心，特别钦佩编辑Karen Clemments的智慧和职业作风。

J. L. P

# 目 录

序 言.....	( iii )
第一章 导言.....	( 1 )
1.1 模拟.....	( 1 )
1.2 系统的特性.....	( 2 )
1.3 Petri网的早期发展.....	( 3 )
1.4 Petri网理论的应用.....	( 4 )
1.5 应用Petri网理论与纯Petri网理论.....	( 5 )
1.6 进一步阅读.....	( 6 )
1.7 进一步研究的课题.....	( 7 )
第二章 基本定义.....	( 8 )
2.1 Petri网结构.....	( 8 )
2.2 Petri网图.....	( 11 )
2.3 Petri网的标识.....	( 17 )
2.4 Petri网的运行法则.....	( 20 )
2.5 Petri网状态空间.....	( 26 )
2.6 其他形式的Petri网定义.....	( 30 )
2.7 进一步阅读.....	( 33 )
2.8 进一步研究的课题.....	( 33 )
第三章 用Petri网进行模拟.....	( 35 )
3.1 事件和条件.....	( 35 )
3.2 并发和冲突.....	( 39 )
3.3 计算机硬件.....	( 45 )
3.4 计算机软件.....	( 60 )



3.5	其他系统	( 75 )
3.6	进一步阅读	( 83 )
3.7	进一步研究的课题	( 84 )
<b>第四章</b>	<b>Petri网分析</b>	<b>( 85 )</b>
4.1	关于Petri网分析的问题	( 85 )
4.2	分析技术	( 97 )
4.2.1	可达性树	( 114 )
4.2.2	矩阵方程	( 120 )
4.3	进一步阅读	( 120 )
4.4	进一步研究的课题	( 123 )
<b>第五章</b>	<b>复杂度和可决定性</b>	<b>( 123 )</b>
5.1	分析问题之间的可约性	( 128 )
5.2	可达性问题	( 128 )
5.3	加限制条件的Petri网结构	( 132 )
5.4	活性与可达性	( 136 )
5.5	不可决定的结果	( 142 )
5.6	可达性问题的复杂度	( 155 )
5.7	进一步阅读	( 159 )
5.8	进一步研究的课题	( 160 )
<b>第六章</b>	<b>Petri网语言</b>	<b>( 162 )</b>
6.1	动机	( 162 )
6.2	有关形式语言理论的概念	( 164 )
6.3	Petri网语言的定义	( 166 )
6.4	Petri网语言的性质	( 173 )
6.5	封闭性质	( 178 )
6.6	Petri网语言与其他语言类	( 191 )
6.7	一些补充结果	( 199 )
6.8	进一步阅读	( 201 )

6.9	进一步研究的课题	(201)
<b>第七章</b>	<b>扩充的和加限制条件的 Petri 网模型</b>	<b>(203)</b>
7.1	Petri 网模型的局限性	(204)
7.2	扩充	(210)
7.3	增广 Petri 网与寄存器机	(215)
7.4	Petri 网子类	(218)
7.5	进一步阅读	(222)
7.6	进一步研究的课题	(224)
<b>第八章</b>	<b>平行计算的有关模型</b>	<b>(225)</b>
8.1	有限状态机	(228)
8.2	标识图	(228)
8.3	计算图	(228)
8.4	P/V 系统	(231)
8.5	信息传输系统	(234)
8.6	UCLA 图	(241)
8.7	向量加法与置换系统	(245)
8.8	增广 Petri 网模型	(249)
8.9	进一步阅读	(249)
8.10	进一步研究的课题	(250)
<b>附录</b>	<b>袋论简述</b>	<b>(251)</b>
	<b>加注释的参考文献目录</b>	<b>(255)</b>

# 第一章 导 言

Petri网是研究系统的一种工具。Petri网理论用一个Petri网作为一个系统的模型——一个系统的数学表示。然后，对这个Petri网进行分析，可以揭示出被模拟的系统在结构和动态行为方面的重要信息。这些信息可以用来对被模拟的系统进行估价并提出改进（或改变）系统的建议。因此，Petri网理论的发展是建立在Petri网在系统的模拟和设计的应用基础上的。

## 1.1 模拟

Petri网的应用是通过模拟实现的。在许多研究领域，对一种现象不是直接地，而是通过它的模型来进行研究。一个模型即是一种表示方法——通常是数学表示法，这种表示法保留了被研究的对象或系统的重要特性。人们希望对于这种表示法的处理能够得到对被模拟的现象的新的认识，而又免除直接处理被模拟的现象本身可能出现的危险、资耗或不方便。应用模型来进行研究的例子很多，其中包括天文（应用模型来研究星球的产生、消亡以及星球之间的相互作用，而直接研究会耗费很长的时间、巨大的物力和能量）、核物理（作为研究对象的原子和亚原子粒子只存在很短的瞬间）、社会学（对人的团体的直接处理会引起伦理问题）、生物学（应用生物系统的模型可以减少必要的空间、时间和食物）等等。

大多数模拟问题用到数学。许多物理现象的重要性能可以用数字来描述，而这些性能之间的关系可以表示为方程或不等式。特别是在自然科学和工程上，诸如质量、位置、动量、加速度和

力等性能都可以用数学方程来描述。要能成功地使用模拟方法，就要求懂得被模拟的现象和模拟技能两方面的知识。因此，数学能够发展成为一门学科，部分原因就在于它能用于构造其他学科现象的模型。譬如，微积分发展的直接原因，就在于对大量的连续变化的性能(如物理学上的位置、速度、加速度等)模拟的需要。

高速计算机的发展大大地增加了模拟技术的应用和实用性。用一个数学模型来表示一个系统，并把这个模型转化为计算机指令，然后让计算机运行，这就使得对更大、更为复杂的系统的模拟成为可能。计算机在模拟中扮演两种角色：第一，用作计算工具；第二，它本身是被模拟的对象。

## 1.2 系统的特性

计算系统是复杂的，它是由许多互相作用的部件组成的大系统。每一个部件都可能十分复杂，因为它与其他部件之间能够相互作用。许多其他系统也是这样。经济系统、法律系统、交通控制系统，以及化学系统等都包含着许多可以互相作用的部分，因而也都是复杂的。

因此，必须抛开被模拟的系统的各自特点，突出它们的共同性。这些共同点应是那些系统的共同模型的性能。一个基本思想是，系统由分离着的、互相作用的分支组成。每个分支本身又可能是一个系统，它的行为可以单独进行描述，无需依赖于系统的其他分支，只要与其他分支之间没有意义明确的相互作用。每个分支有它自己当前的状态。一个分支的状态是为描述它的(将来的)行为所必须的有关信息的抽象。一个分支的状态往往依赖于它本身过去的行为。因此，一个分支的状态可能由始至终地变更着。对于一个分支的模拟，“状态”的概念是十分重要的。例如，在一个银行的排队系统模型中，可能有好几个出纳员和好几个顾

客；出纳员可能是闲着(等待着顾客)或者忙着(服务于顾客)；同样地，一个顾客也可能是闲着(等待着出纳员)或者忙着(一个出纳员正为他服务)。在一个医院的模型中，一个病人的状态可以为病危、病重、好转、临床治愈或彻底治愈等。

一个系统的各个分支之间呈现出并发性或平行性。在一个系统中，一个分支的动作可以同另一个分支的动作同时出现。譬如，在一个计算机系统中，读卡机、行印机与磁带机等外部设备可以在计算机的控制下同时运转。在经济系统中，厂家生产着一些产品，零售商出售着另一些产品，而顾客使用着的又是另外一些产品。

在一个系统中，动作的并发性产生出某些难以处理的问题。由于系统的各个分支的相互作用，动作必须同步地出现。当互作用发生的时候，信息或者物质从一个分支到另一个分支的传输要求所涉及的分支的动作要同步。这就可能引起一个分支等待另一个分支的现象。不同分支的动作时间可能千差万别，因而使得不同分支的相互作用难以描述。

### 1.3 Petri网的早期发展

Petri网这种模型的提出，是专门用于模拟这样的一类系统，即系统中含有相互作用的并行分支。在Carl Adam Petri的早期论文[1962a]中，Petri网已被提出。在他的博士学位论文“Kommunikation mit Automaten”(自动机通讯)中，Petri阐述了一台计算机中的两个异步分支间的通讯理论的基础。他特别注意到事件之间因果关系的描述。他的论文是Petri网理论发展的奠基石。

Petri的论述引起了A.W.Holt和其他在ADR(应用数据研究)公司信息系统理论课题组的人们的注意。许多关于Petri网的早期理论、记号和表示法，都是由信息系统理论课题组导出或拟

订的。这些早期成果，发表在这个课题组的最后研究报告〔Holt et al. 1968〕和另一篇题为“事件与条件”〔Holt and Commoner 1970〕的报告中。这些文章展示了如何用 Petri 网来模拟和分析具有并行分支的系统。

Petri的工作也引起了麻省理工学院(M.I.T.)的MAC课题组的注意。由Jack B. Dennis教授指导的计算结构研究组在Petri网理论方面作了大量的研究工作并发表了许多文章，其中包括几篇Ph.D学位论文和大量的研究报告以及摘要(见参考资料目录)。计算结构研究组已举行过两次Petri网方面的重要会议：1970年在Woods Hole举行了讨论并行系统和并行计算的MAC课题组会议；1975年在M.I.T.举行了论Petri网和相关方法的会议。这两个会议对于传播Petri网理论的结果和方法起了一定的作用。

最近几年来，Petri网的应用和研究大大地扩展了。1977年在巴黎成立了Petri网的专题学术委员会。1979年在汉堡出现了通用网理论的现代学科。一个专致于Petri网的学术团体已在德国(指联邦德国——译者注)形成。Petri网的研究和应用正在变得越来越广泛。

#### 1.4 Petri网理论的应用

实践中应用Petri网来设计和分析系统，可以从几个途径来实现。一种是把Petri网作为辅助分析的工具。在这种方法中，用常规的设计来详细说明一个系统，然后构造出这个系统的Petri网模型并对其进行分析。分析中所遇到的任何问题都指明了设计中的缺陷，此时必须修改设计以克服这些缺陷。对修改过的设计再构造模型并进行分析，如此循环往复，直到分析不出有什么不可接受的问题为止。这种方法可以用图1.1进行说明。请注意这种方法也可以用来分析一个当前正在运转的系统。

上面叙述的在系统设计中应用Petri网的通常方法要求在被

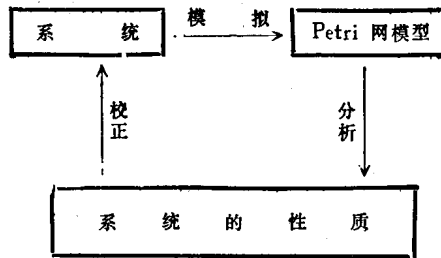


图1.1 Petri网在系统的模拟和分析中的应用。首先，构造出系统的Petri网的模型，然后对这个模型进行分析。从分析中所得到的对系统的理解可导出一个较好的系统。研究的目的在于发展用Petri网对系统进行模拟和分析的自动化技术。

设计的系统和Petri网模型之间不断进行转换。现在，另一种方法已经提出。在这种更为直接的方法中，整个设计和说明过程都用Petri网来实现。分析技术就是用来创造出一个没有错误的Petri网，然后，把Petri网表示转换成为一个实际工作系统。

应用Petri网设计流程的两种不同方法，为Petri网的研究工作者提出了不同类型的问题。对于第一种，必须发展模拟技术以便把一个系统转换成一个Petri网表示，对于第二种，必须发展实现技术，以便把一个Petri网转换成一个系统。对两种情况，都需要分析技术来确定Petri网模型的性质。因此，在Petri网理论的发展中，主要地致力于研究Petri网本身的性质。

### 1.5 应用Petri网理论与纯Petri网理论

Petri网的研究工作已经沿着两个方向发展。应用Petri网理论主要从事用Petri网模拟、分析和洞察系统的研究。要在这方面取得成功，必须对应用的领域，对Petri网及其模拟技术有深厚的知识。

纯Petri网理论是为发展应用Petri网理论所需要的基本概念、技术和手段所作的研究。虽然对Petri网研究的动力是建立

在应用的基础上，但必须有一个Petri网理论的牢固基础，才能使其应用成为可能。基于这一点，对Petri网的多数工作，集中在基础理论的研究、发展手段和方法上。这些理论、手段和方法，可能某时候将应用来解决实际问题。在本书中，我们涉及到Petri网理论的两个方面(纯的和应用的)，但主要在于阐述基本理论。所提及的应用，主要目的在于显示Petri网理论的多方面的功能，以便推动分析技术的发展。

我们不打算在深度上涉及到所有有关Petri网课题的范围，但希望能在Petri网的术语、概念、方法、结果和历史发展方面提供一个牢固的基础，使计算机科学家和研究生能了解和运用日益增长着的有关Petri网的文献，并应用这些理论于更广的范围。在第二章我们开始提出一些正式定义和例子，然后，在其余各章进一步展示它们的用途和功能。加了注释的参考文献目录，提供了Petri网领域的大多数参考资料。

## 1.6 进一步阅读

Petri网诞生于Petri的学位论文[Petri 1962a]，但美国的大多数这方面的成果是建立在信息系统理论课题组的最后研究报告[Holt, et al 1968]的基础上的。后者把Petri的学位论文翻译成英语，并大大地拓展了Petri的结论。Holt和Commener的论文“事件与条件”[1970]也属于早期工作的一部分。Petri在1962年IFIP专业会议上发表了一篇短文[Petri 1962b]，这篇文章是建立在他的学位论文的思想基础上的。

本书沿用的叙述方法，基本上是M.I.T的计算结构研究组提出的，并由Dennis[1970a]、Patil[1970a]和其他人的文章所发展，最后由Hack的文章[1975c]提炼到新的高度。Keller也是一位很有影响的人，他提出过向量置换系统的研究报告[Keller 1972]和在模拟方面的新观点。



## 1.7 进一步研究的课题

追溯Petri网理论的起源和发展情况。起点显然是Petri。然而，这种思想方法怎样流入美国？谁最先接受这种思想方法？怎样在美国发展起来的。用公开发表的研究报告、论文、学位论文或摘要的日期及其参考文献中的引用情况排定发展顺序，也可能还要走访几位关键性人物，如Petri、Holt、Dennis、Petil等等。