

佩特利网和 逻辑控制器图形 表示工具 (GRAFCET)

Du Grafcet aux réseaux de Petri

〔法〕 R · 大卫 H · 奥兰 著

机械工业出版社

佩特利网和逻辑控制器 图形表示工具(GRAFCET)

(法) R·大旦 H·奥兰 著

黄建文 赵不贿 译

龙建国 校



机械工业出版社

法国学者 R. 大卫和 H. 奥兰所著的《Du Gtrafcet aux réseaux de Petri》是一本关于 Petri 网和 Gtrafcet 理论及应用的较好教材,是法国各大学关于该课程的主要参考书之一。这本书也被一些国际同行所推荐。

本书介绍佩特利网的基本概念和特性;学习非自主网,在网中引入事件及时间干预;介绍连续网和混合网;讲述有色网,一种把复杂系统简化的表示法;详细地解释 Gtrafcet。在最后的总结中讨论了诸模型的应用领域。

本书是为自动化、计算机、电气工程、机械工程等专业的教师、学生及自学读者而写的,为此全书给出了大量习题,并附有习题解答。

Du Gtrafcet aux réseaux de Petri/René David Hassane Alla

© Hermès Paris, 1989 Editions Hermès 51, rue Rennequin 75017 PARIS

图书在版编目(CIP)数据

佩特利网和逻辑控制器图形表示工具(GRAFCET)=Du Gtrafcet aux réseaux de Petri/(法)R·大卫 H·奥兰著;黄建文等译. —北京:机械工业出版社, 1995. 10

ISBN 7-111-04869-5

I. 佩… II. ①大… ②奥… ③黄… III. ①计算机网络, Petri net-图形显示系统-软件工具②控制元件:逻辑元件-图形显示系统-软件工具 IV. ①TP393②TP311. 56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 14689 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王福俭 版式设计:张世琴 责任校对:张力

封面设计:郭景云 责任印制:卢子祥

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1996 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm_{1/16}·15.75 印张·373 千字

0 001—1 000 册

定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

译者的话

由数学家 C. A. 佩特利博士所开创的关于佩特利网的研究方向,已有了丰富的成果。特别是在离散事件动态系统的研究工作中,它一直是主要的建模工具。

法国学者 R. 大卫和 H. 奥兰所著的《Du Grafcet aux réseaux de Petri》是一本关于 Petri 网和 Grafcet 理论及应用的较好教材,是法国各大学关于该课程的主要参考书之一。这本书也被一些国际同行所推荐。

作为佩特利网家族的工具之一,Grafcet 的主要贡献是对逻辑控制器的输入、输出及其间关系清晰地建模。约在 1980 年,它首先作为法国国家标准的形式出现,后来成为可编程控制器编程语言等国际标准的蓝本,因而对 Grafcet 的了解是很有价值的。

该书法语第一版,于 1989 年末,由法国 HERMES 出版公司出版。对原版作了诸多更正后,1992 年出版英译本(全名为《Petri Nets Grafcet Tools for modelling discrete event systems》)继而出版法语第二版。在中国计算机学会佩特利网专业委员会陆维明、袁崇义等教授的鼓励下,在中国机械工业出版社及 HERMES 出版公司的支持下,我们按法文第一版翻译了全书,又参照英译本作了全面的修改,介绍给我国的读者。

在本书翻译期间,译者有机会与原著者及中国访法学者龙建国博士进一步讨论了翻译过程中的学术问题。特别要感谢龙建国博士对译文所做的大量的严谨的校审工作。并感谢法国 BESANCON 自动化实验室、GRENOBLE 自动化实验室及 TOULOUSE 国立应用科学学院电气工程系等对本书的问世给予的多方面的支持。

最后要提及的是江苏理工大学的同事们对译者的帮助。愿本书的出版,能为我国应用基础科学的教育事业,为我国和国际教育界、学术界的交流尽微薄的力量。

由于译者水平所限,疏漏之处敬请读者指正。

译者

1994.7

E1570/110

中文版序言

佩特利网(Petri nets/Réseaux de Petri;PNs/RdP)是德国当代数学家 C. A. 佩特利定义的一种通用的数学模型,用以描述存在于条件与事件间的关系。这一工作进行于 1960~1962 年间,此后各国学者,例如美国 MIT(麻省理工学院)及欧洲的众多大学,对网作了大量的研究。1980 年以来,“佩特利网理论及应用欧洲讨论会”每年召开一次年会,交流新的研究成果。法国的科研人员为此做出了贡献。早在 1972~1973 年,已利用佩特利网模型来描述逻辑控制器,它对 Grafcet 的建立产生了影响。

佩特利网的模型是丰富的,且应用十分广泛。本书介绍的佩特利网模型包括时延、解释、随机、有色、连续网等。

Grafcet(逻辑控制器图形表示工具)是法国 AFCET(控制论、经济及技术协会)下属的逻辑系统组,于 1975 年在 M. BLANCHARD 教授的倡导下,决定建立逻辑控制器定义及标准化委员会,以适应描述日益复杂的逻辑控制器的需要。该标准的实施对当前及未来的微处理器的发展无疑是有益的。一些分散的标准化研究工作在已有的或待建立的共同模型中取得了共识。24 个成员单位中,一半属于学术机构,一半属于企业及大公司。委员会的工作内容主要分为三类:流程图;具有并发的逻辑系统表示(包括佩特利网);状态图及派生工具。

ADEPA(国家生产自动化发展公司)的任务是鼓励和协助中小企业自动控制的发展,决定以 GRAFCET 进行技术教育并作为标准。1987 年,稍加修改后,成为一种国际标准,已有欧洲、加拿大、日本等 20 多国声明采用。

本书是为教师和学生写的,为此全书给出了大量的习题,并附有习题解答。建议在阅读的同时,配合做习题。我们力求以简单的方式介绍佩特利网,坚持以直觉的办法让人理解其主要特性,而对其表达仍然是规格化的,以使不同层次的读者能够接受。希望更深入地了解其中理论的读者,可参阅书后参考文献中列举的论著。本书的大量例题将有助于应用佩特利网。

教材中涉及 Grafcet 部分,加强了实用性,但我们坚持在引入概念时,保持其原定义及严格的理论观点。在大多数情况下,Grafcet 也是一种佩特利网,所以书中用了原始图示法和标准图示法等两种方法,便于读者把两者联系起来并相互转换。很多工程人员(自动化/计算机科学等),在其职业生涯中,需要同时熟悉 Grafcet 和佩特利网。

第 1 章集中介绍佩特利网的基本概念和特性;第 2 章学习非自主网,在网中引入事件及时间干预;第 3 章介绍连续网和混合网;第 4 章陈述有色网,一种把复杂系统简化的表示法;第 5 章具有独立性,详细解释 Grafcet。最后的总结,讨论诸模型的应用领域。

在此作者感谢诸位同事对法语版的帮助:C. COMMAULT, Y. DALLERY, Y. FREIN M. JACOMINO, P. LADET, M. BLANCHARD, P. CASPI, G. MEMMI, M. SILVA, J. M. TOULOTTE, R. VALETTE, J. ZAHND 等。他们仔细阅读本书,并提出了建议。书中引用了许多研究者的成果,他们创造性的工作丰富了本书的内容。在 LAG 工作的同事们,为本书的问

世给予了各方面的协助。

我们不能读懂中文译本,但我们对中国的朋友和同事黄建文(她主持了翻译工作)、龙建国、赵不贿等充满信心。十分感谢他们的巨大劳动,并感谢中国机械工业出版社和中国佩特利网研究会对本书的支持。

R·大卫

H·奥兰

1993. 11

主要符号

PN	佩特利网
P-timed PN	P 时延 PN
T-timed PN	T 时延 PN
Q	未标识 PN
R	自主 PN(标识的)
P_i, P	PN 的第 i 个位置, 位置集
T_j, T	PN 的第 j 个变迁, 变迁集
M, M_k	PN 的标识
M_0	PN 的初始标识
$M(P_i), m_i$	位置 P_i 的标识
$M^a, M^s(P_i)$	可用(有效)标识(P-时延 PN)
$M^u, M^u(P_i)$	不可用(无效)标识(P-时延 PN)
$M^r, M^r(P_i)$	预定标识(T-时延 PN)
$M^o, M^o(P_i)$	未预定标识(T-时延 PN)
$\langle P_i, \{T_1, T_2, \dots\} \rangle$	结构冲突
$\langle P_i, \{T_1, T_2, \dots\}, M \rangle$	标识 M 下的有效冲突
$M_1[T_1]M_2$	变迁 T_1 激发后标识从 M_1 变成 M_2
$M_1[S]M_2$	序列 S 激发后标识从 M_1 变成 M_2
S, S_k	激发序列
$\underline{S}$	激发序列 S 的特征向量
F^T	F 的转置向量或转置矩阵
$(a, b, \dots, v)$	向量 $[a, b, \dots, v]^T$
W	关联矩阵
$\cdot M_0$	初始标识下的可达标识集
$A_{\max}(T_1, T_2)$	T_1 对于 T_2 的最大同步进程
T^*	变迁集 T 上的独异点
oT_j	T_j 的输入位置集
T_j^o	T_j 的输出位置集
oP_i	P_i 的输入变迁集
P_i^o	P_i 的输出变迁集
E^k	外部事件
e	恒发生事件
E_j	与变迁 T_j 联系的事件(= E 或 e)
C_j	与变迁 T_j 联系的条件
R_j	与变迁 T_j 联系的接收性($R_j = E_j \cdot C_j$)
d_k	与位置 P_k 联系的时限(P-时延 PN)或

CFS

EFS

 M^*, D^*, F^*, Pr^*

CCPN

VCPN

 V_j $v_j(t), v_j$ $C_k = \langle b, v, r \rangle$ T_j/C_k a, a' $\uparrow a, \downarrow a$ A A^* i $\langle j \rangle$ x_i $t/i/\Delta$ 与变迁 T_k 联系的时限 (T 时延 PN)

完全激发序列

扩展激发序列

随机 PN 中的均值 (标识, 停顿时间, 激发频率, 状态概率)

恒定速度连续 PN

速度变化连续 PN

与变迁 T_j 联系的最大激发速度与变迁 T_j 联系的瞬时激发速度

有色 PN 的颜色

变迁 T_j 对于颜色 C_k 的激发

布尔变量与它的补 (斜体字符)

变量 a 的上升沿和下降沿

位置动作

脉冲动作

一个 grafcet 中的步数号

一个 grafcet 中的变迁数号

当步 i 为活性时值等于 1 的布尔变量布尔变量, 相对于步 i 延时一个 Δ 的时限

目 录

译者的话

中文版序言

主要符号

第 1 章 佩特利网(Petri; Nets—PN)	(1)
1.1 基本概念	(1)
1.2 特殊的 PN	(4)
1.3 PN 的性质	(10)
1.4 标识图及可覆盖树	(20)
1.5 线性代数法	(23)
1.6 简化方法	(28)
1.7 其它结果	(37)
1.8 PN 的直观性	(39)
1.9 小结	(41)
第 2 章 非自主 PN	(43)
2.1 同步 PN(Synchronized PN)	(43)
2.2 时延 PN(Timed PN)	(53)
2.3 解释 PN(Interpreted PN)	(61)
2.4 随机 PN(Stochastic PN)	(69)
第 3 章 连续与混合 PN	(77)
3.1 自主连续 PN(Autonomous Continuous PN)	(77)
3.2 时延连续 PN(Timed Continuous PN)	(82)
3.3 恒定速度的连续 PN(CCPN)	(86)
3.4 速度变化的连续 PN(VCPN)	(95)
3.5 离散事件系统的建模	(97)
3.6 混合 PN(Hybrid PN)	(98)
3.7 小结	(107)
第 4 章 有色 PN	(111)
4.1 直观表示	(111)
4.2 有色 PN 的定义	(114)
4.3 建模	(116)
4.4 应用举例	(121)
4.5 有色 PN 的性质	(123)
第 5 章 逻辑控制器图形表示工具——Grafcet	(126)
5.1 基本元素	(126)
5.2 状态的演变	(128)
5.3 用 Grafcet 描述系统的例子	(130)

5.4 动作与接收性.....	(137)
5.5 Grafcet 的描述性算法	(144)
5.6 宏步与伪宏步.....	(152)
5.7 宏动作.....	(157)
5.8 Grafcet 的描述能力	(162)
5.9 小结.....	(167)
总结	(168)
习题	(170)
第1章	(170)
第2章	(176)
第3章	(180)
第4章	(181)
第5章	(183)
习题解答	(194)
第1章	(194)
第2章	(206)
第3章	(212)
第4章	(217)
第5章	(221)
参考文献	(233)

第1章 佩特利网(Petri Nets—PN)

佩特利网(PN)表现出两个令人感兴趣的特点:第一,它能对具有并行(Parallelism)、并发(concurrency)、同步(synchronization)、资源分享(resource sharing)等特性建立模型并使之形象化;第二,其理论结果十分丰富,这些网的性质曾得到广泛的研究,且仍然被广泛地研究着,本书末尾提供了大量的参考文献。本章首先以十分直观的方式提出网的主要性质;然后,介绍得到这些性质的方法,而不进行严密的论证;最后通过例子,描述PN的应用。有兴趣深入研究有关理论的读者,可查阅引证的参考文献。^①

这些网的主要应用者是计算机和自动控制的科学工作者,然而这一工具是通用的,足以对性质十分不同的现象建模,这点将通过例子加以阐明。

1.1 基本概念

1.1.1 位置、变迁和弧(place, transition, arc)

PN有两种结点:位置(place)和变迁(transition,或称为转移)(图1-1)。位置用圆表示,变迁用短线表示(有些作者以小方块表示),位置与变迁由弧线连接。位置的数量是一个非零的有限值,变迁的数量也是非零及有限的(在有些情况下须考虑无位置或无变迁的退化(degeneration)PN)。有向弧连接一个位置到一个变迁或一个变迁到一个位置。

也可以认为,PN是一个二元图(又称偶图, bipartite graph),其位置和变迁交替地连接在弧线所形成的路径上,每条弧在它的各终端有一个结点。

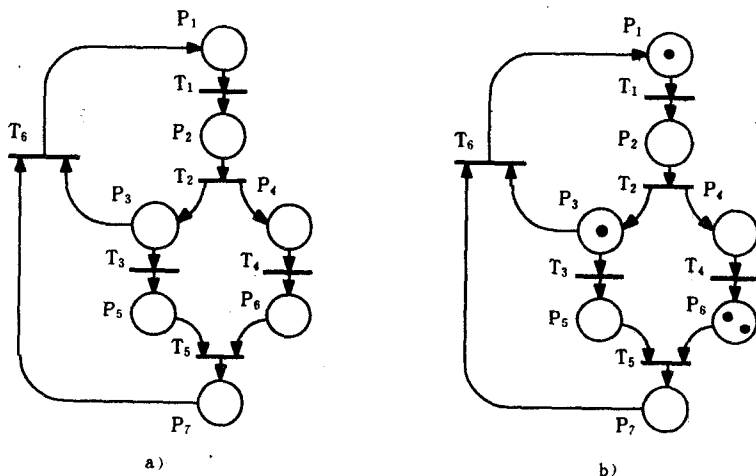


图1-1 PN

a)未标识 b)已标识

图1-1a表示有7个位置、6个变迁及15条有向弧的PN。将位置集记为P,变迁集记为T。

① 参考文献目录列于书末,当课文提及姓名时,所提供的有关信息(姓名,讨论的主题,论文…)足够确定正在谈论的问题的参考书目。

对所研究的例子, $P = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7\}$, $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6\}$ 。

从 P_3 到 T_3 有一有向弧, 因此, 位置 P_3 称为变迁 T_3 的上游(upstream)或输入(input)。从 T_3 到 P_5 有一有向弧, 因此, 位置 P_5 称为变迁 T_3 的下游(downstream)或输出(output)。同样地, 一个变迁也可说成是位置的输入(上游)或输出(下游)。无输入位置的变迁称为源变迁(source transition), 无输出位置的变迁称为并变迁(或称为沉陷变迁, sink transition)。

1.1.2 标识(marking)

图 1-1b 表示一个已标识的 PN, 各位置包含整数(正或零)个标记(tokens, marks)。位置 P_i 中的标记数用 $M(P_i)$ 或 m_i 表示。在上例中, $m_1 = m_3 = 1, m_6 = 2, m_2 = m_4 = m_5 = m_7 = 0$ 。网标识 M 可用标识向量定义, 即 $M = (m_1, m_2, \dots, m_7)$ 。对图 1-1b 所表示的 PN, 其标识为 $M = (1, 0, 1, 0, 0, 2, 0)$ 。在某一时刻的标识决定该 PN 的状态。更确切地说, 是决定该 PN 所描述系统的状态。我们将看到, 状态的演变对应于标识的演变, 而标识的演变是由各变迁的激发所引起的。

通常只是考虑已标识的 PN, 将其简称为 PN。对于未标识的 PN, 必要时将特别指明。

1.1.3 变迁的激发(firing)

一个变迁, 如果它的每一个输入位置都包含至少一个标记, 则这个变迁是可激发的(firable)或使能的(enabled)(本章中这两个词是同义词)。一个源变迁总是使能的。图 1-2a、b、c 所示的各种情况下, 激发前因 P_1 及 P_2 都包含至少一个标记, 各变迁是使能的, 而图 1-2d 中因为 P_1 不含任何标记, 变迁 T_1 不被使能。

一个变迁 T_i 的激发, 将导致在其每个输入位置取消一个标记; 而每个输出位置增加一个标记, 如图 1-2 所示。在图 1-2b 中, P_3 在激发前已有一个标记, 激发后, P_3 中有 2 个标记; 图 c, 激发后, P_1 中仍留有一个标记。

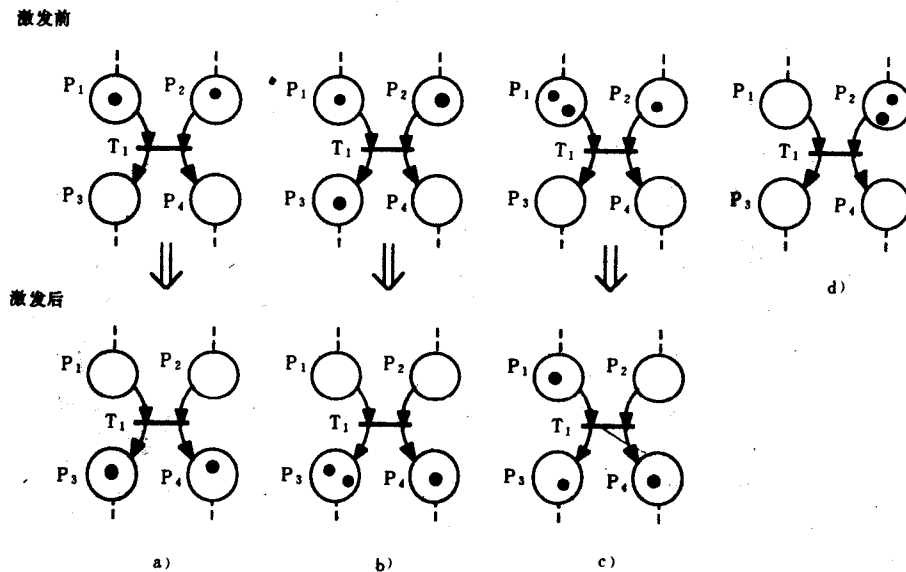


图 1-2 变迁的激发

值得注意的是, 一个变迁使能时, 并不意味着它立即被激发, 只是说明有激发的可能性而已。例如如图 1-1b, 有两个使能的变迁 T_1, T_3 , 虽然并不知它们何时激发, 但知标识的下一个演变将对应于 T_1 或 T_3 的激发(没有其它演变的可能性)。

一个变迁的可激发是不可见的,尽管时间的概念尚没有引进 PN(PN 不是时延的或同步的),认为一个变迁的激发具有零时间间隔,将有助于理解不可见性的概念。

【习题 1.1】

1.1.4 自主和非自主 PN (autonomous, non-autonomous PN)

图 1-3 表示季节循环,一个位置对应于一个季节,从一个季节变换到下一个季节对应于一个变迁。图中的标识表示处于春季。可以看出,整个 PN 只有变迁 T_1 是使能的,它是下一个被激发的变迁,激发后的标识将对应于夏季,但并未指出变迁将在什么时候激发。该 PN 仅以定性的方式表达了季节的循环变化。当 PN 以自主的方式描述某一系统的演变,即其激发时刻未知或不予指明时,称这种网为自主的 PN。用“自主”一词是为了把这种 PN 与非自主的 PN 加以区分。

图 1-4 表示状态周期性变化的系统。例如一台电动机,首先处于停止状态,然后起动,再停止等等。图 1-4 的标识对应于系统的停止状态,此时只有 T_1 是使能的,仅当外界事件(即起动指令)发生时, T_1 才被激发。这是一个非自主 PN。

一个非自主 PN 描述一个系统的运行(functioning),其演变受到外界事件与(或)时间的限制。一个非自主 PN 是同步的与(或)时延的。

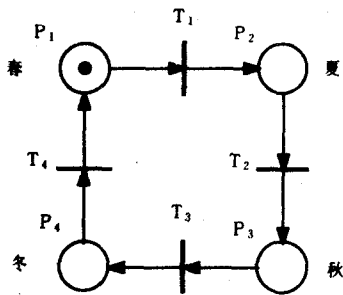


图 1-3 自主 PN

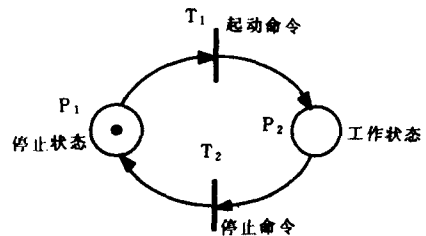


图 1-4 非自主 PN

本章研究自主 PN,第 2 章将讨论非自主 PN。

1.1.5 基本特性

研究 PN 的目的,是用它来描述和分析系统。1.3 节将详细说明其性质,此处先给出一些基本特性。

被描述系统的演变,由标识的演变来表示。活的(live)PN(在演变过程中不会成为不可激发的变迁),特别是非死锁(deadlock-free)PN 的概念是重要的。网中若不再具有可激发的变迁时,称发生死锁(deadlock),几乎每种死锁情况,均对应于一个设计拙劣或建模有缺点的系统。

冲突(conflict)的概念常会出现。当一个位置是两个或多个变迁的输入位置时,我们称存在着一个冲突结构。图 1-1 给出了一个例子。图中 P_3 是 T_3 和 T_6 的一个输入位置。 P_3 中只有一标识,而这两个变迁都是使能的,只有两者之一能被激发。因此,在两个变迁间存在着一个冲突。这一概念涉及到需要作出的决策(decision)。例如,在公用资源分享的情形下,会遇到冲突的情况。

PN 中的标识数可增加或减少(直至 0)。一般来说,PN 具备有界(bounded)性质(标识数为有限值)。安全网(safenets)是一种重要的特殊情形,其中每个位置最多有一个标记。

1.2 特殊的 PN

1.2.1 特殊结构

有些 PN 具有特殊结构, 亦即它们具有一般的 PN 所不具备的特征和性质。本节介绍的所有 PN 均具有结构特征, 涉及未标识 PN, 如图 1-5 所示。

1.2.1.1 状态图 (state graph)

一个未标识的 PN 是一个状态图, 当且仅当它的每个变迁, 只有一个输入位置和一个输出位置。

图 1-6a 是未标识的 PN, 根据上述定义, 由于它的每个变迁只有一个输入和一个输出位置, 这是一个状态图。图 1-6b 示出一种经典的状态图表示方法, 与图 a 包含同样的信息。在图 b 作一条单向弧 (看作变迁) 对应于图 a 中的一组具有输入弧及输出弧的变迁。

应该看到, 若对状态图进行标识, 当且仅当该 PN 只包含一个标记时 (图 1-6c) 其性质等效于传统的状态图 (任一时刻处于唯一的状态)。图 1-6d 中变迁的激发, 可能产生 6 种不同的标识, 显然不能等效于一种三状态的机器。

状态图 (及以下定义的事件图) 中, 所有弧的“权”均为 1 (至今所考虑的 PN 都隐含这一性质)。推广的 PN (generalized PN), 其中的“权”与弧有关, 将在 1.2.2 节中介绍。

1.2.1.2 事件图 (event

在 PN 中	可以发现	不能发现
状态图		
事件图		
无冲突		
自由选择		
简单		
纯		

图 1-5 特殊结构的说明

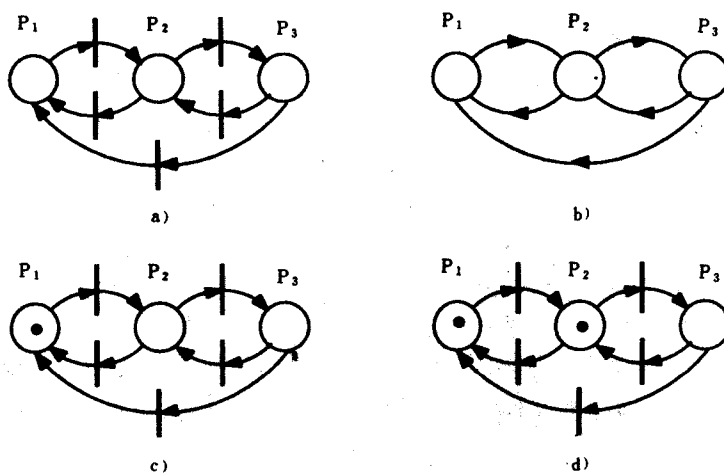


图 1-6 状态图

a) 未标识 b) 状态图的传统表示 c)、d) 已标识

graph)

一个 PN 是一个事件图,当且仅当它的每个位置只有一个输入变迁和一个输出变迁。有些作者称事件图为变迁图或标识图(后者可能会与标识 PN 相混淆)。事件图与状态图是对偶的。

1.2.1.3 无冲突的 PN(conflict-free PN)

这是一种每个位置最多有一个输出变迁的 PN。冲突(确切地说是结构冲突)指存在一个位置 P_i ,它至少有两个输出变迁 $T_1, T_2, \dots$,该冲突用位置变迁集对表示: $\langle P_i, \{T_1, T_2, \dots\} \rangle$ 。

1.2.1.4 自由选择(free choice)PN

存在两种定义:自由选择及扩展自由选择 PN。

对一个自由选择 PN 而言,在每个冲突 $\langle P_i, \{T_1, T_2, \dots\} \rangle$ 中,变迁 $T_1, T_2, \dots$ 除 P_i 以外,没有其它的输入位置。

对一个扩展自由选择 PN 而言,在每个冲突 $\langle P_i, \{T_1, T_2, \dots\} \rangle$ 中,所有的变迁 $T_1, T_2, \dots$ 都具有相同的输入位置集,例如,若 T_1 有 P_1 及 P_2 两个输入位置,则 T_2 也有 P_1 及 P_2 两个输入位置等等。

1.2.1.5 简单(simple)PN

简单 PN 指网中的每个变迁最多受一个冲突影响。若 PN 中有变迁 T_1 及两个冲突,如 $\langle P_1, \{T_1, T_2, \dots\} \rangle$ 与 $\langle P_2, \{T_1, T_3, \dots\} \rangle$,则该 PN 不是简单 PN。

备注 1.1 简单 PN 集包含自由选择 PN 集;自由选择 PN 集本身包含无冲突 PN 集;无冲突 PN 集包含事件图集。状态图包含于自由选择 PN 集中。

状态图中,可能有冲突(或决策),但不存在同步。事件图中可能有同步,但不存在冲突。

1.2.1.6 纯(pure)PN

如果 P_i 既是 T_j 的输入位置又是 T_j 的输出位置,则该 P_i, T_j 被称为自回路(selfloop)。一个 PN 若不存在自回路,则称为纯 PN。

图 1-5 是非纯网的两个例子。其中之一, P_3 是 T_3 的输入位置又是 T_3 的输出位置。在另外一个例子中, P_4 是 T_4 的输入位置又是输出位置。变迁 T_3 与 T_4 称为自回路变迁或非纯变迁, P_3 与 P_4 称为自回路位置或非纯位置。

性质 1.1 所有非纯 PN 可以变换成纯 PN。

下面将叙述这一变换的可能性。

初次阅读的读者,可立即进入 1.2.2 节,无须费力去了解下段内容。

该性质通过图 1-7 来说明。图 1-7a 是一最基本的非纯网,该网通过两步操作变换成纯 PN (见图 1-7b)。首先用两个变迁和一个位置代替非纯变迁 T_1 ,其中 T'_1 (起始变迁)是位置的输出变迁, T''_1 (结束变迁)是位置的输入变迁。然后加入位置 P_0 ,其作用是保证 T'_1, T''_1 按顺序激发(即 T'_1 和 T''_1 的激发之间,没有另外 T'_1 的激发)。为此, P_0 作为 T'_1 的输入位置, T''_1 的输出位置,并含有一个标记。当 T'_1 激发后,将不再是使能的。无论 P_1 中的标记有多少,因 P_0 中已无标记, T'_1 不再激发,唯一可能激发的变迁只有 T''_1 。

图 1-7c 是非纯网的一般情况, P_1 为 T_2 的输入位置,也是输出位置。其变换与上述相似,见图 1-7d。首先用 T'_j, T''_j 及一个中间位置代替非纯变迁 T_j ,然后加入包含一个标记的位置 P_0 ,它是所有 T'_j 的输入位置,所有 T''_j 的输出位置。由图可见 T_j 的激发,已被激发 T'_j 和依次激发 T''_j 所代替。

图 1-7d 将纯变迁 T_1 也展开成被一个位置隔开的两个变迁 T'_1 和 T''_1 , P_0 是为了避免在

T'_2 和 T''_2 先后激发之间产生激发 T'_1 的可能(由 P_0 中仅含一个标记来保证)。注意,若增加弧(译注:原文误为变迁) $P_0 \rightarrow T_1$ 和 $T_1 \rightarrow P_0$,而没有展开 T_1 ,其结果将是一个非纯网。

总之,纯 PN 的激发顺序(图 1-7d)对应于非纯 PN 的激发顺序(图 1-7c),是通过应用不可分开的序列 $T'_1 T''_1$ 取代 T_1 而实现的。

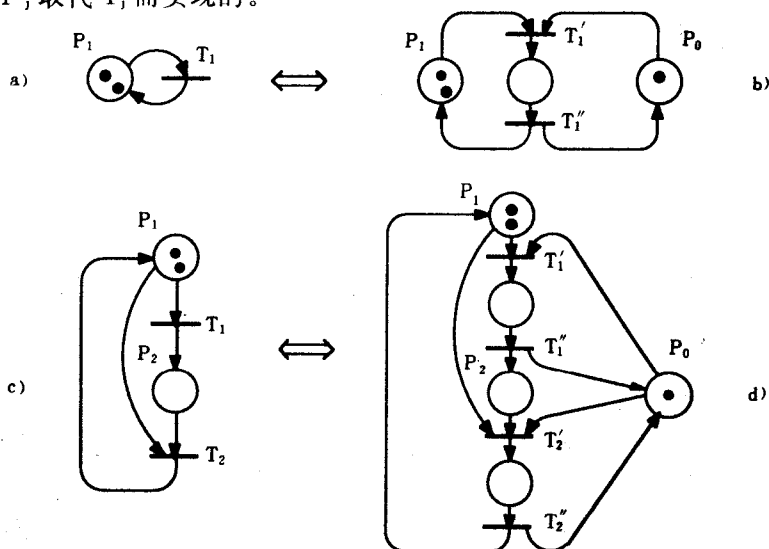


图 1-7 非纯网变成纯网

【习题 1.2】

1.2.2 缩写与扩展(abbreviations and extensions)

这里所介绍的 PN 类型,不能严格地对应由前已展示的运行规则。缩写是一种简化的表示法,目的是为了减轻图形表示的负担。一个缩写的 PN 往往能与一个普通 $PN^\ominus$ (即标识的自主 PN,其运行规则按 1.1 节的定义)相对应。扩展对应于增加了运行规则的模型,目的是使原始模型更加丰富,能够处理更多的应用问题。普通 PN 的大部分性质稍加改动,可在缩写中保留,但这些性质在扩展中并不完全保留。

1.2.2.1 推广(generalized)PN

在推广 PN 网中,权(严格的正整数)与弧相关。图 1-8 是一推广 PN,其中弧 $P_1 \rightarrow T_1$ 的权为 3,弧 $T_1 \rightarrow P_4$ 权为 2。所有未标明权的弧其权为 1。当弧 $P_i \rightarrow T_j$ 有权 p 时,表示 P_i 至少应包含 p 个标记, T_j 才是使能的。当 T_j 激发时,将有 p 个标记从 P_i 中取走。若弧 $T_i \rightarrow P_1$ 有权 P ,则当 T_i 激发时,将有 p 个标记加入到位置 P_i 中。

如图 1-8a 和 b 所示,变迁 T_1 不是使能的,因为 P_1 中标记数小于 3。图 c 中,变迁 T_1 使能,因为 P_1 包含 3 个标记, P_2 中多于 1 个标记。 T_1 激发后,从 P_1 取走 3 个标记,从 P_2 取走 1 个标记;并使 P_3 增加 1 个标记, P_4 增加 2 个标记,得到图 1-8d 的标识。

【习题 1.3】

性质 1.2 所有的推广 PN 可以变换成普通 PN。

一些作者已提出了变换的原理,其中之一如图 1-9 所示。初次阅读本书的读者可立即转入

$\ominus$ 一个 PN,按照本书的术语,它同时是推广的与有限容量的,在原 Petri 的术语中被称作位置/变迁网(或 P/T 网)。研究最广泛的是 P/T 网的子类,它既非推广的,也非有限容量的,在许多文章中这种子类网(在此称之普通 PN)叫做位置/变迁网,或 P/T 网,或就叫做 PN。

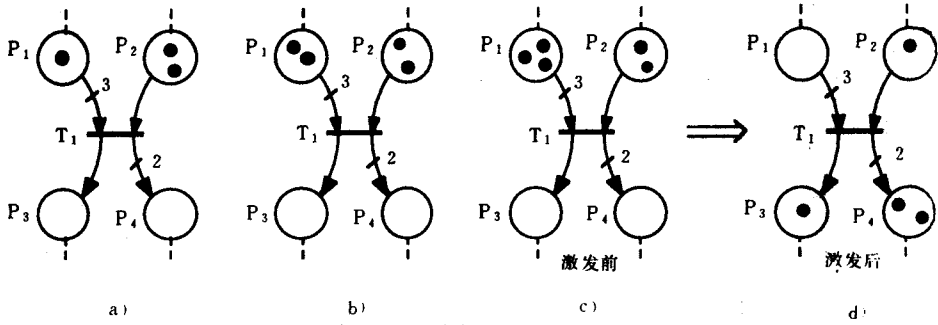


图 1-8 一个推广 PN 的局部

阅读 1.2.2.2 节,无需费力了解下段内容。

图 1-9a 是一个推广 PN, 弧 $T_1 \rightarrow P_1$ 的权是 2, 当前标识是 $M_1 = (0, 1, 1)$, T_1 是唯一使能的变迁, 一旦 T_1 激发, 到达 $M_2 = (2, 0, 0)$ 。

图 1-9b 给出一个普通 PN, 等效为图 1-9a 的推广 PN, 其中激发序列 $T'_1 T''_1$ 代替 T_1 的激发。图 1-9b 中唯一使能的变迁是 T'_1 , 一旦激发,

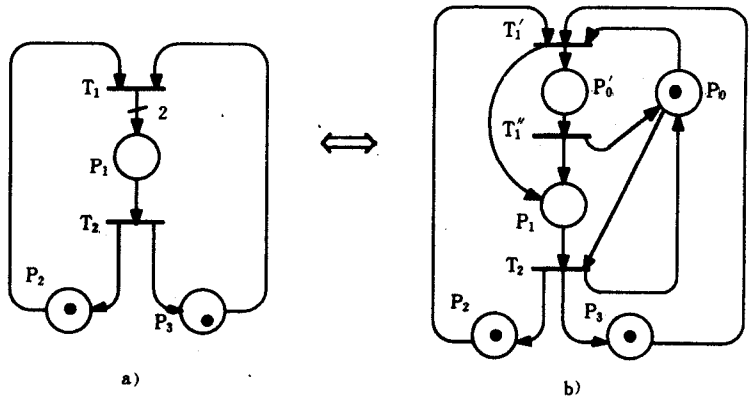


图 1-9 推广 PN 转换为普通 PN

P_1 和 P'_0 中将各有一个标记, 其它位置是空的。接着唯一可激发的变迁是 T''_1 , 一旦 T''_1 激发, P_1 中将有两个标记; P_0 中仍是一个标记。对图 1-9a, 位置 P_1, P_2, P_3 其标识与图 1-9b 所得标识相同。图 b 中加入 P_0, P'_0 是为了确保激发顺序是 $T'_1 T''_1$ 。因 P_0 是 T_2 的输入位置和输出位置, 它阻止了在 T'_1 和 T''_1 的激发之间发生 T_2 的激发。所述的方法可能进一步扩展, 若弧 $T_1 \rightarrow P_1$ 有权 $p > 2$, 弧 $T'_1 \rightarrow P_1$ 将有权 $p-1$, 通过该过程的迭代, 可得到一个普通 PN。若推广 PN 除 T_1, T_2 外, 还有其它的变迁, P_0 应是所有这些变迁的输入和输出位置。可见, 虽然这种转换在理论上是可行的, 但很快地使网变得十分复杂。幸运的是该等效并非必要, 因为普通 PN 的性质适合于推广 PN。

注意: 图 1-9a 的 PN, 不是事件图, 因其中弧 $T_1 \rightarrow P_1$ 的权大于 1。同样, 图 1-9b 的 PN 也不是事件图。

1.2.2.2 有限容量 PN (finite capacity PN)

有限容量 PN 中, 容量 (严格的正整数) 与位置相联系。位置 P_i 的容量表示为 $\text{Cap}(P_i)$, 当 P_i 输入变迁的激发不会导致 P_i 中的标记数超过其容量时, 该激发才能发生 (这一定义对任何 PN 起作用, 但有些作者, 在非纯网中使用稍有不同的定义)。

图 1-10a 的 PN, 其中 P_2 容量为 2。变迁 T_1 使能, 其激发, 导致如图 1-10b 的标识。图 1-10b 中 T_1, T_2 使能, T_1 再次激发后, 如图 c, 这时虽然 P_1 中还有一个标记, 但由于 P_2 的标记已达到它的最大容量, T_1 不能再激发。

性质 1.3 所有的有限容量 PN 可变换为普通 PN。

在纯 PN 的情况下, 变换是很简单的, 如图 1-10d 至 f 所示。我们给 P_2 增加一个互补位置