

94,21(4)

1-5

petri网

计算机网

计算机科学 1994Vol. 21No. 4

Petri 网研究:机遇与挑战*)

陆维明

林 闯

TP393

(中国科学院数学研究所 北京 100080)

(国家信息中心信息科学与应用研究所)

A

摘要 本文是文[2]的姐妹篇,以国际动态为背景展示研究工作可以取得成就的方面,也试图就她面临的难点进行建设性的讨论。

科学家 Petri 的著名论文^[1]掀起了以他名字命名的 Petri 网研究热潮,欧美率先,随后在国际计算机界、通讯界、自动化界、……引起了广泛兴趣、研究与应用。我国学术界从文革结束之后始逐渐跟上国际步伐,大学、研究机构以及工业界对网论与应用有不少成果;在中国计算机学会中设立了 Petri 网专业委员会,从组织上承认、保证、支持国内 Petri 网的研究、推广应用,也有利于国际交往^[1]。

众所周知,科学家图灵关于图灵机的思想为电子计算机的诞生奠定了理论基础;而一切计算模型均以能被证明与图灵机等价作为其具有最高计算能力的标志,通常所提及的 Petri 网在引入禁止弧之后,由于这是称之为“零测试”的引入已被证明其模型的能力与图灵机等价。

人们对 Petri 网之所以感兴趣不仅是它可以与至高无上的图灵机等价,更是因其图形表示的直观性、真并发语义^[1]以及丰富的研究成果,特别是它已被公推为一种很好的并行计算模型;据预测,并行计算是跨世纪热门研究方向^[1]。

提到电脑,人们在不断提高其运算速度,扩充其存储能力,增加外部设备,方便用户使用的人机界面,……,但它的性能到底会如何是社会各界均关心的论题。

1982 年,科学家 Toffoli 断言^[2]:随着电脑扩充,部件与部件间距离加大,由于信号传输速度不会超过光速,计算一定会丢失速度,不可克服。

Toffoli 论断发表十年来没有人公开挑战,此论断以不可动摇的物理学定律作后盾,似乎有道理。不过,Toffoli 没有注意到,恰在他断言之 20 年前,即 1962 年, Petri 写道^[1]:

采用组织手段,你可以克服物理限制!……,并发性是系统组织中的基础、本质和必然。

其实,在此之前年轻的 Petri 就曾以相同的观点建议在具有奠基性作用的著名程序设计语言 ALGOL 60 中加入并行语句的成分,遗憾的是这类以后在各种程序设计语言中大量引入的功能成份在那时却未被理解与接受。

遵循 Petri 的观点,我们还相信系统组织中的并行性是可能没有限制的。现以可无限扩充的并行栈说明系统结构扩大时光速限制对系统性能完全没有作用。此并行栈示于图 1。

考察图 1 中的第 j 个模块, M_j , 它包含推入与弹出的动作,还附有两个存贮单位存,与缓,前者是栈深度为 j 的元素存放处,后者是缓冲存贮。现按弹出动作运行一下模块 M_j : 首先‘存,弹至缓,’动作发生,即本模块存贮存,中元素上弹入上一模块(M_{j-1})的缓冲存贮缓,中,模块状态从‘存满缓空’进入‘存空缓空’,进一步‘存,+,弹至缓,’动作发生,即下一模块(M_{j+1})存贮存,中元素上弹入本模块的缓冲存贮缓,中,模块状态转为‘存空缓满’,再发生‘缓至存’动作,即缓,中元素转移至存,模块运行一个周期,仍回到图中现在的状态,但存,中存放的元素已是 M_{j+1} (下一模块)中弹上来的,而它运行前存放的元素已上弹至 M_{j-1} (上一模块)。推入过程与弹出过程完全对称勿须细析。

很明显,这种系统结构的模块间并行性极好,模块一致,连接方式一致,不论栈大栈小,推入或弹出一个元素所耗费的仅只是一个模块的运行周期,即光速限制不影响大系统性能,没有丢失速度。的确,我们利用了具有无限并行性的组织方式克服了

* 国家自然科学基金与中国科学院管理、决策、信息系统实验室资助。陆维明 研究员,研究兴趣为 Petri 网、软件工程、算法设计与分析。林闯 研究员,研究兴趣为 Petri 网、系统性能分析、逻辑与推理。论文收到日期:94-04-05。

物理上的限制(比如,光速限制):

按照 Petri 网研究创始人早在三十多年前指出的办法,这里构造的并行栈虽只是非常简单的 Petri 网系统,但给人们的启迪却是极其深邃的。首先,我们有理由认为 Toffoli 的观点过于悲观,不说放弃,起码需要修正;其二,大系统,甚至复杂大系统只要充分发挥其并行性,其性能有可能不会因为大而复杂有所降低;其三,也许是更重要的, Petri 网作为优秀的并行计算模型应当为并行系统的设计、分析、实现领域的专家更广泛地接受。

当今,并行系统(包括并行计算机系统)的成果累累^[7],为了研究更实用、高性能的这类系统, Petri 网系统的历史性机遇正向我们招手。

综观近两年国际上对 Petri 网应用与理论的研究^{[8]~[12]},我们认为网人(此领域人员的爱称)主要在三个方面做出了很好的成绩。

1. 应用的深度与广度。比如为自动化办公 workflow 建立模型,直接为提高办公自动化的效率服务;用 Petri 网作为 AI 系统中的推理分析工具,不同技术的结合以改善系统性能; Petri 网工具的模拟技术,大量网软件工具出现,模拟分析实际系统取得较好效益;一种适于结构化分析设计技术(SADT)的网工具已在一些发达国家的工程技术界广泛应用(仅波音公司一次就购买此种网工具 100 套)……。

2. 降低模型的复杂程度。网人为此作出过许多努力,从八十年代初,谓词网、着色网等一系列高级 Petri 网提出了,模型描述的规模显著地简化了。在高

级 Petri 网中,模型的简化抽象过程通过抽取共同点来完成,网模型图结构形象直观,相同子结构的重叠或一个子结构代表多个子结构成为简化模型的基本方法。这样的高级 Petri 网已非常适合分布、并行、具有同构子结构的系统模型。

但是,要做的事还不少。几年前,一个计算机科学家(兼著名学术刊物 Acta Informatica 执行主编)与笔者提到他要用一张象足球场那么大的纸才能将他,要研究的系统用 Petri 网表示出来^[13];一位中国科学院院士(曾获国家自然科学壹等奖)问笔者能否象用程序设计语言编程那样一块一块地用 Petri 网为系统建模^[14];一个网人在一次国际会议上作邀请报告时曾提到^[15]:

只有解决了或更有可能地避免了 Petri 网可达集的爆炸问题, Petri 网的应用才能真正成功。

他们的观点是反映了 Petri 网模型用于实际问题时往往由于太复杂而令使用者产生畏难情绪。我们仅从文[8]~[12]就可以看到网人在为 Petri 网建立层次结构模型、模块式结构模型等工作中做出了不少成绩,特别是文[10]。用‘曙光已经出现,光明就在前头。’来形容当前的状况可能是合适的。

3. 减少对模型的分析难度(包括寻找新的分析算法)。与降低模型的复杂程度相仿,对于 Petri 网系统的性能分析一般与系统的可达状态集关系密切,解决状态爆炸或者避开状态爆炸均是可取的途径。一种高级网的结构分析算法效率颇高(参见文[12] pp69-88),从方法论上说它既是为了要解决状态爆炸

的困难,又是某种意义上避开了状态爆炸的陷阱。实质上说当网人开发出层次式结构的 Petri 网模型或者模块式结构的 Petri 网模型时,对相对独立的层次或相对独立的模块作性能分析可能代表了对整个模型的分析,我们可以称之为‘分而治之’或‘各个击破’策略取得了成功。

在文[15]中,作者除了引述 Petri 网应用的美好前景外,还提出了一些具有普遍意义的问题。这里试图做一些针对性的剖析或建议。

1. 关于 Petri 网模型的多个变种问题。随着应用对象的不同在初等网系统上,位置变迁网系统上加上时间

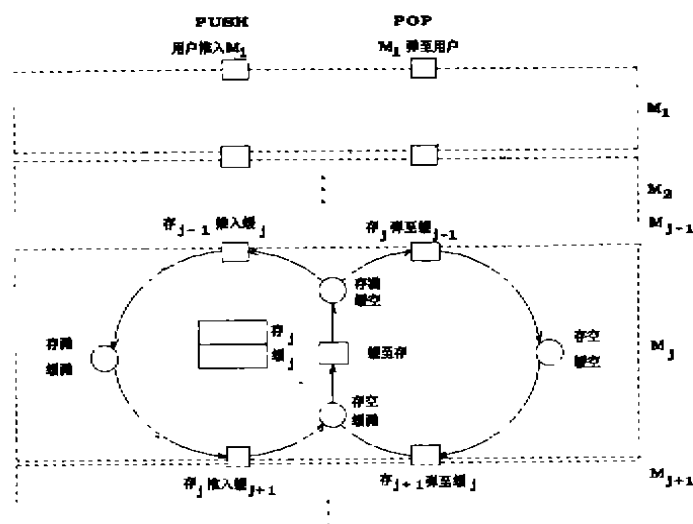


图 1 可无限扩充的并行栈

因素的模型引入了,名称也随时间约束定义的不同而异,常见的有时间(time)、加时(timed)、随机(stochastic)Petri网系统。提高Petri网模型描述能力与简洁性的努力导致高级Petri网系统的引入;常见的有着色^[16]、谓词变迁^[17]Petri网系统。这两者的结合有随机高级Petri网系统^[18]。

其实,模型的变种、演化、发展是正常现象,比如,数理逻辑有多少种?代数有多少种?Petri网模型的这些变种实在是只少不多,问题的实质所在是引入变种应有扎实的数学、物理基础且保持网模型的基本特性与功能,而不可随心所欲。这就是在浩瀚的文献中我们可以看到更多的不同的Petri网系统模型的定义与名称,但为科技界接受并真正具有生命力与价值的并没有多少种。

比如,文[19]提出了平均值演算,它是著名且研究颇红火的时段演算^[20]的一种扩展演算,具有严格的数学基础。作者论述了用平均值演算和状态等类演算及推理规则,可以对组合电路和时间自动机(见图2)进行描述和推理;还以煤气燃烧器系统为例,把用时段演算描述的基于状态的规格说明转化为用平均值演算描述的基于事件的规格说明,并证明了精化过程的正确性。

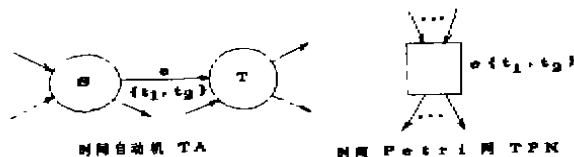


图2 时间自动机与TPN

从文[21]可以很容易看出,作者引入的时间Petri网(TPN)系统(图2)描述时间自动机十分方便,且其间的一一对应关系简单而清晰。就像随机Petri网系统可能利用马尔可夫链的研究成果那样,TPN系统可不可以利用平均值演算、时段演算或者时间自动机的研究成果呢?当然,反问题也是存在的。

2. 关于Petri网系统在教育领域的统治支配地位问题。文[15]作者指出:

Petri模型网已经应用于诸多应用领域,但证明有用的却不多,当前还未有过由Petri网模型主宰的应用领域。

作者的观察是有道理的。事实上,一种数学模型在某应用领域起支配作用的情况并不多见,何况

Petri网模型着力于动态系统的并行性,近些年才真正具备硬件舞台并受各界厚爱。

我们看到Petri网系统在三个方面有值得重视的应用前景。

(1)Petri网工具的推广应用。各种各样的软件工具出现之后,利用Petri网实现结构分析设计技术(SADT)易如反掌;利用着色Petri网的模拟器模拟分析复杂大系统已经取得效果,可能得到更多的效益;利用各种Petri网的分析器分析获取用Petri网为之建模的系统性能,若系统过大过于复杂难于运行分析,可以用软件测试代替软件验证那样的方法,改用模拟分析;利用软件为系统建模更是不言而喻的事;……。总之,有了诸多Petri网工具(不断增长)对于计算机辅助系统设计,计算机辅助系统分析等这样一些领域的工作Petri网模型是有希望占据支配地位的。

(2)在实时系统的应用。现实世界中一些安全性居关键地位的系统越来越需要监测与控制。比如实时软件系统控制飞船安全飞行;在紧急情况下关闭核反应堆;使通讯网正常运转;防止煤气系统爆炸;交通安全控制系统……。我们知道这类实时系统往往是分布式系统上施加实时约束的结果,这类系统的描述中时间自动机起作用不小。如前述,TPN容易与时间自动机关联、对应,因此利用TPN描述、验证实

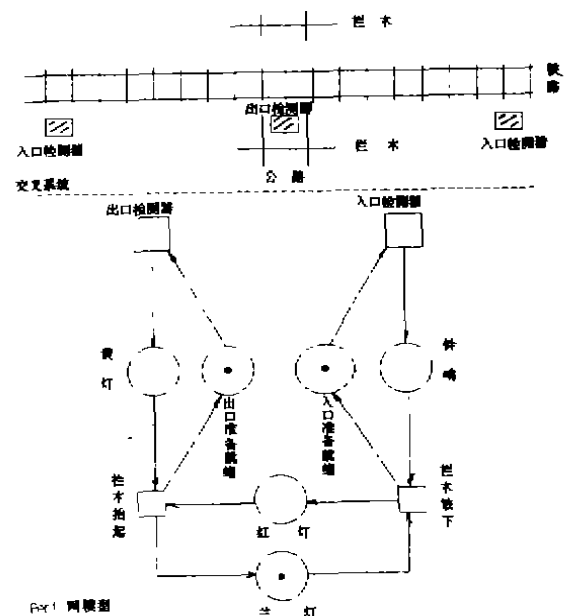


图3 铁路、公路交叉系统与网模型

时系统会是很有希望取得成功的。

为了更具说服力,图3展示用Petri网为铁路与公路交叉系统建立的模型。这是一个典型的实时系统,展示的Petri网模型体现了网系统图示直观、清晰;性能可靠;还特别易于验证的诸多优点。

(3)在随机系统的应用。网人在Petri网与性能模型的国际会议上主要关心的问题之一就是如何发展随机Petri网与应用于随机系统。由于随机Petri网背靠马尔可夫链,有数学理论可依,前景看好。从实际出发,大力开发随机Petri网的软件工具包括通用工具与专用工具,对于深化与扩展应用领域会是大有裨益的。

3. 关于Petri网系统的复杂性问题。按照我们的观察,除了前述的解决或避开可达集快速增大的工作外,尚有几种可能会奏效的途径。

(1)面向对象的思想、技术与方法。文[22]的作者在将Petri网应用于柔性制造系统(FMS)的研究中运用了面向对象的思想把FMS中工件加工工艺流程和生产线上的加工设备、辅助设备分开。很明显,生产线上设备一般是变动不大的,而工件加工工艺流程却是经常变化的,在用Petri网为之建模时,该文作者引入结构化的标志(structured token),反映工艺流程,形成着色Petri网的变种。这样,在分析系统性能时可以在一定程度上避开可达集爆炸,降低复杂性。推广这种思想,若可以将实际系统的软部件(比如FMS中加工工艺流程)和硬部件(FMS中设备不变或少变部分)分开,那末建模和分析乃至控制均有可能分别处置,从而降低复杂性。

(2)开发与利用可达集上操作的并行性。假定在Petri网可达集上由分析性能引发的操作可以找到并行算法,那我们也不怕可达集的爆炸。对一般的Petri网而言并行算法的开发很难,但对特殊的Petri网类我们认为是可能的。

(3)可达树的分解与简化。不言而喻,不同子网类应寻求不同的技术。

(4)Petri网的简化。这方面工作不少,往往是利用一种特殊子结构的简缩使网缩小,但还有待进一步的研究。

图灵奖获得者Robin Milner教授说过^[23]:“……我曾对理解并发计算程序和并行计算很感兴趣。……那时我并不晓得Carl Adam Petri的工作,他已追寻这个目标多时。我的动机实际上是想说明怎样建

立并发系统,也就是怎样建立一个概念框架,将小系统构成并综合成越来越大的并发系统且保持原有语义处理它。”

他还预言^[24]:“……把代数并发性方面所做的工作与Petri在Petri网上早已取得的丰硕成果联系起来,是一个非常希望的发展线索。……在最近的十年里,这一领域非常热门。”

这些清晰而热情的语汇对网人鼓舞很大。我们深信关心Petri网应用与理论发展的一切人都会从中得到启示。

最后,以文[15]作者的结论为本文的结束语:

前途是光明的。

参考文献

- [1]Petri, C. A., Kommunikation mit Automaten, Bonn, Institut für Instrumentelle Mathematik, Schriften des IIM Nr. 2 (1962)
- [2]陆维明, Petri网研究在中国, 计算机科学, Vol. 19, No. 3, (1992)
- [3]PETRI网通讯 1-8期, 中国计算机学会PETRI网专业学会内部刊物, 五月, 十一月, 1989, 1990, 1991, 1992
- [4]Lu, R. Q., A true concurrency model of CCS semantics, Theoretical Computer Science 113, 1993
- [5]Reisig, W., Petri Nets: Fundamentals, Essentials, Consequences, BULLETIN of the European Association for Theoretical Computer Science (EATCS), No. 49, 1993
- [6]Toffoli, T., Physics and Computation, International Journal of Theoretical Physics, Vol 21, No. 3/4 (1982)
- [7]A. Trew, et al. (Eds.), PAST, PRESENT, PARALLEL, Springer-Verlag, (1991)
- [8]Rozenberg, G. (Ed.), Advances in Petri Nets 1992, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 609, Springer-Verlag, (1992)
- [9]Jensen, K. (Ed.), Application and Theory of Petri Nets 1992, LNCS, Vol. 616, Springer-Verlag, (1992)
- [10]Vogler, W., Modular Construction and Partial Order Semantics of Petri Nets, LNCS 625, Springer-Verlag, (1992)
- [11]Rozenberg, G. (Ed.), Advances in Petri Nets 1993, LNCS 674, Springer-Verlag, (1993)
- [12]Marvan, M. A. (Ed.), Application and Theory of Petri Nets 1993, LNCS 691, Springer-Verlag, (1993)
- [13]Broy, M., Private Communication, (1988)
- [14]唐稚松, 私人通讯, (1989)
- [15]Molloy, M. K., Petri Net Modeling, the Past, the Present, and the Future, Proc. 3rd Intl. Workshop, Petri Nets and Performance Models (PNPM 89), (1989)
- [16]Jensen, K., Coloured Petri Nets and the Invariant method,

- Theoretical Computer Science(TCS) Vol. 14, (1981)
- [17] Genrich, J. H. , et al. , System Modeling with High Level Petri Nets, TCS, Vol. 13, (1981)
- [18] Lin, C. , et al. , On Stochastic High Level Petri Nets, Proc. 2nd Intl. Workshop, PNPM87(1987)
- [19] 李晓山, 平均值演算, 中国科学院软件研究所博士学位论文, (1993)
- [20] Zhou, C. C. , et al. , A Calculus of Durations, Information Processing Letters 40(5), (1991)
- [21] Merlin, P. M. , et al. , Recoverability of Communication Protocols, IEEE Transactions on Communications, Sept. (1976)
- [22] 姜旭升, 柔性生产线非确定性加色网建模分析与控制, 中国科学院自动化研究所博士学位论文, (1993)
- [23] Frenkel, K. A. , Robin Milner 谈程序语言及计算机科学, 计算机科学, Vol. 20, No. 6, (1993)

(接第 36 页)

但还没听说过那个 OOPL 或 OO 应用系统这样做过。

OODB 能支持版本和长事务

有一个普遍的误解: OODB 能以某种方式支持版本和长事务, 言外之意是 RDB 中不能支持, 尽管从关系到对象风范的转化确实消除了 RDB 中的关键缺陷, 但并没有解决版本和长事务问题。面向对象风范不包括版本和长事务, 跟关系数据模型没有两样。例如, C++ 或 Smalltalk 就不包括任何版本或长事务设施。

版本和长事务与 OODB 有联系, 仅仅是因为 RDB 中缺少这些数据库设施, OODB 比 RDB 具有更强的数据建模和对象导航能力, 故能更好地满足某些应用(如计算机辅助工程系统、计算机辅助授权系统等), 恰好版本和长事务设施又是这些应用的基本要求。事实上, 大多数 OODB 一点不支持版本和长事务, 提供所谓的版本和长事务的少数 OODB 也只有一些简单的设施。

在 OODB 和 RDB 中支持版本和长事务同样困难。让我们考虑一下版本化的几个方面。如果要把一个对象版本化, 通常可能需要维护一个时间戳和/或版本标识。这可以通过为时间戳和/或版本标识创建系统定义的属性来实现。显然, 不难做到在 OODB 中对于一个类版本化每个对象和在 RDB 中对于一个关系版本化每个元组。类似地, 也可以在数据库中维护版本派生历史。另外, 诸如版本派生、版本删除、版本检索等版本设施可以通过扩充 OODB 和 RDB 的数据库语言来表达。

接下来让我们考虑长事务。事务简单地讲就是一个独立的单位, 是一组数据库读和更新操作。RDB

中实现事务是假设事务和数据库打交道只有几秒钟或更短, 但用户需要长时间(几小时或几天)交互式地访问数据库, 这个假设不再成立, 长事务变得必要了。不管事务的时间长短, 在多用户同时访问数据库时和在出现系统崩溃时事务只不过是一种保证数据库一致性的机制。OODB 和 RDB 的区别在于数据模型, 也就是数据是怎样表示的(即 OODB 中的属性和方法, 以及类和类层次; RDB 中的属性和关系)。应该明白 RDB 和 OODB 之间的风格差异并不能解决事务要解决的问题。

OODB 能支持多媒体数据

OODB 在实现管理多媒体数据所必需的功能方面比 RDB 具有更加自然的基础。多媒体数据广泛地定义为任意类型(数、短的字符串、Employee、Company、图象、声音、文本、图形、动画、含有图象和文本的文档, 等等)和任意大小(1 字节、10K 字节、1G 字节等)的数据。OODB 允许创建和使用任意数据类型, 这正是管理多媒体数据的首要要求。

但是, 面向对象风范(即封装、继承、方法、任意数据类型——合起来或单独地)都不能解决存储、检索, 以及修改超大型多媒体对象(如一幅图像、一个声音片段、一个文本文档、一幅动画等)的问题。OODB 必须解决与 RDB 完全一样的工程问题, 允许 BLOB(二进制大对象)作为一个关系的列的值域, 其中包括从数据库中对一个超大型对象的增量检索(页缓冲区一般不能保持整个对象), 增量修改(对象中的一个小变动不应该造成整个对象的拷贝), 并发控制(多个用户应该能够同时访问同一个大对象)和恢复(作日志不应该引起整个对象的拷贝)。

(未完待续)