随机Petri网的分解和压缩技术*

林 闯

（国家信息中心信息经济与技术研究所 北京 100045）

摘要 本文综述了在随机Petri网的分解和压缩技术方面的一些最近的工作，着重介绍了时间数量级分解、接近无关分解、响应时间保留压缩、流等价压缩、层次模型和分层分析与乘积形式解等技术的基本思路、方法和操作过程. 本文也描述了解决系统模型状态空间爆炸问题所面临的困难和进一步的研究方向.

关键词 随机Petri网，性能分析，状态爆炸，分解，压缩.

中图法分类号 TP301

自从1981年随机Petri网SPN(stochastic Petri net)提出以来[1]，SPN的理论、分析技术和应用已经得到了很大发展. SPN模型的特性日益受到人们的喜爱，但其状态空间爆炸是性能数量分析技术面临的主要问题. 为了解决这个问题，在SPN理论发展中，提出了广义随机Petri网GSPN(generalized stochastic Petri net)[2]和随机回报网SRN(stochastic reward net).[3]在GSPN和SRN中，将变迁分成2类，一种为瞬时变迁与实施概率相关且实施时间为零；另一种为时间变迁与指数随机分布的实施时间相关联. 由于引进了瞬时变迁优先实施和瞬时状态的消除，GSPN和SRN模型的状态空间较SPN模型的状态空间得到了简化. 既要简化系统的状态空间，又要保持良好的模型的分析特性和可读性，正是提出随机高级Petri网SHLPN(stochastic high level Petri net)[4]的基本思路. 在SHLPN中，可将多个同构子系统压缩成一个子网描述，而且进一步可将多个同行为标志(token)形成的多个标识(marking)压缩成一个标识(复合标识)，显著地减小了模型的状态空间. 随机网理论的发展虽然对解决状态空间爆炸问题带来一定的进展，但是不能从根本上解决状态空间随模型增长而指数性增长的问题，对复杂和大规模系统模型的分析求解仍然是极大的挑战.

解决随机网状空间指数性增长的有效方法之一就是采用"分而治之"的策略. 分是指模型的分解，从模型的网结构上或状态空间进行分割，将一个模型分割成多个子模型；治是指模型的压缩，将子模型压缩成更简单的模型、模型元素或模型参数. 最后求解化简模型的性能参数. 在如此的性能分析中，应注意性能参数准确性与计算复杂性的折衷. 性能参数解的准确性要求越高，求解计算的复杂性就越强，同时对网模型分解、压缩的程度和方法就越少.

---

* 本文研究得到国家自然科学基金和国家"八五"攻关项目资助. 作者林闯，1948年生，博士，研究员，主要研究领域为系统性能分析，ATM计算机网络，Petri网理论与应用，逻辑推理模型.

本文通讯联系人：林闯，北京100045，国家信息中心信息经济与技术研究所

本文1997-02-03收到修改稿

反之,也亦然.另一个重要问题是层次分解和压缩,要求能够层次地使用分解和压缩技术,不但要能对整体模型进行分解和压缩,而且能对子模型进行分解和压缩.根据实际模型的规模和数值求解的精度要求,可以进行多层次的分解和压缩.还有一个要考虑的问题是在进行模型的分解和压缩中,应保证解的存在,在固定点迭代中应保证解的收敛性.解的存在和解的收敛是模型分解和压缩技术的重要理论问题.能保证解的存在和解的收敛的分解和压缩技术才是普遍有意义的方法和技术.

1 网模型的分解和压缩技术

本节将随机网的基本分解和压缩技术的基本思路、方法和操作过程分别加以介绍.

1.1 时间数量级分解(Time Scale Decomposition)

这个技术是由 Ammar 和 Islam 于 1989 年提出来的.[5]它适用于包括不同数量级操作时间的系统所描述的GSPN 模型.在研究系统的可靠性、有效性和依赖性时,在系统的模型中,时间变迁在它们的实施速率上可能有数量级上的差异.

对具有这样特性系统的 GSPN 模型可以分解成一个压缩子网的层次序列.在每一个子网中,仅有同一数量级实施速率的变迁有效.这些子网可以独立地求解,它们的解可以合并获得整个系统模型的解.

在这种技术应用中,可采用如下步骤:

(1)变迁集 T 可按照实施速率的快与慢分成两个子集 T_f 和 T_s,T_f 包括所有瞬时变迁和快速实施变迁,T_s 包括慢速实施变迁,而且 $T=T_f\cup T_s$.

(2)在快速实施速率的时间范畴内,在 T_s 中的慢速实施的变迁假定它们决不能实施,因此这些变迁可删除.慢速实施变迁的删除,导致 GSPN 模型可能分解成几个孤立的快速子网.

(3)为了获得压缩的随机网,每一个快速子网 i 将被压缩成单个位置 p_i.

(4)以慢速变迁集合 T_s 中的变迁来定义压缩网的变迁集合 T_a.对于存在 T_s 中且在快速子网 i 中有一个输入位置,在快速子网 j 中有一个输出位置的一个变迁,在 T_a 中定义一个变迁,使其有输入位置 p_i 和输出位置 p_j.

(5)在每个快速子网中的标志的初始分布决定了在压缩网中相应子网压缩位置的初始标志数量.在初始标识的决定中,仅有可从一个快速子网传送到另一个快速子网的标志被考虑,不包括其他类型标志.

(6)在 T_a 中的变迁的速率是依赖于标识的,每个变迁的速率是由原在 T_s 中变迁的速率和每个快速子网的局部标识的稳定状态概率决定的,其速率是那些使变迁可实施状态的稳定状态概率与原有速率的乘积之和.

(7)上述(1)~(6)过程可以层次地应用到压缩网中,直至得到一个简单的压缩网.最后,求解这个简单的压缩网,可获得原有网模型的近似性能参数.

2.2 接近无关的分解(Near-Independent Decomposition)

随机网的分解与网模型中子模型之间的相关性密不可分,相关性越强越不易分解. Ciardo和 Trivedi 于 1993 年提出了 SRN 模型的接近无关分解的方法.[6]

在 SRN 模型接近无关分解的性能分析中,通常需要如下 3 个步骤:

(1)分解：对于一个给定的具有接近无关的 SRN 模型 A，分解成一组子模型 $A_1,\cdots,A_k$. A_i 通常可不是一个严格的子网，可伴随着一个公共子网.

(2)输入/输出关系：对于每一个 A_i 确定它来自其他子模型 $A_j(1\leqslant j\leqslant k)$ 的输入参数，同时也标定 A_i 求解后输出到其他子模型的参数. A_i 输入来自 A_j，可表示为 $A_j>A_i$. 传递闭包关系使用>>符号来表示. 使用此法我们可描述所有子模型之间的关系. 子模型之间一个循环关系可能发生.

(3)迭代：如果输入/输出关系是非循环的，A_i 的求解过程是一个偏序过程. 如果 $A_i>>A_j$，A_i 必须先于 A_j 求解. 如果既不是 $A_i>>A_j$，也不是 $A_j>>A_i$，那么 A_i 和 A_j 求解的顺序可以任意. 如果 A_i 和 A_j 属于一个环，那么它们中的一个必须被首先选择求解，但它的输入是无效的，要提供一个初始猜测值或边界值. 在求解过程中，每一个子模型 A_i 求解后，更多迭代要执行，每次使用最新的输入参数. 在连续的迭代中所有输入参数的相对变化已在给定允许范围内，解的收敛达到，求解结束.

接近无关的分解技术可应用到一些系统的模型中：

(1)共享资源竞争模型：在这种模型中每个子模型共享一个公共通路子模型，它以 2 个位置作为通路的端点.

(2)处理器共享模型：在这种模型中子模型之间在结构上没有连接，但子模型的变迁速率是其他子模型标识的函数.

(3)同步模型：在这种模型中每个子模型共享一个公共的变迁或者是一个公共通路子模型，它以 2 个变迁作为通路的端点.

(4)条件测试模型：在这种模型中每个子模型之间共享一个公共的位置，子模型要测试位置中的条件，亦即，是否标志存在，来决定它的执行.

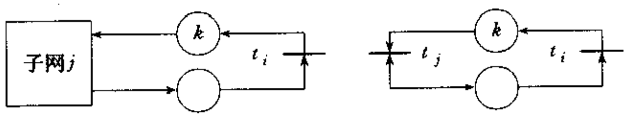
这种接近无关的分解技术已被形式化在 SRN 关联矩阵的描述上.[7]在这种模型的分解中可以利用 S-不变量标定子模型[8]，子模型的压缩要保留其吞吐量和界面结构.

在上述迭代求解，使用了固定点(Fixed Point)迭代. 解的存在是需要证明的，一般情况下这种证明是很困难的. Trivedi 等人提出了固定点解存在的条件定理[9]，其子模型在变迁实施速率所有取值范围内，其连续时间马尔可夫链(CTMC)仅有一个闭合的连通类(closed communicating class).

1.3 响应时间保留压缩替换(Response Time Preservation)

在响应时间保留压缩替换中，标志(可称顾客)被假定是泊松到达来表示子系统的理想环境.[10]

这种技术的基本思路是对一个网系统模型使用切割(cut)，从一些叫作介面位置进行分解. 在切割之后，我们可以定义 3 个网系统：2 个压缩子网系统(或辅助模型)和 1 个基本框架网系统(整体压缩网系统). 压缩子网是由原来子网和介面位置及一个替代变迁组成，替代变迁表示另一个子网，见图 1(a). 基本框架网由介面位置和 2 个子网替代变迁组成，见图 1(b). 压缩子网络和基本框网的标识可由原系统模型的初始标识确定.



(a) 压缩子网 j　　(b) 基本框架网

图1 压缩子网和基本框架网

在假定替代变迁 t 的单个服务语义的情况下，基本框架网可以解释为一个经典的 $M/M/1/k$ 排队网，k 表示系统中的顾客数量. 基本框架网的吞吐量 f 可以写成

$$f=\mu\left(\frac{\rho-\rho^{k+1}}{1-\rho^{k+1}}\right), \tag{1}$$

其中 $\rho=\lambda/\mu$ 是替代变迁速率 λ 和 μ 比率.

基本框架网的吞吐量公式(1)提供了2个压缩子网的替代变迁服务时间的一种关系，而且基本框架网的吞吐量应与每个压缩子网的吞吐量相同. 为了求解替代变迁的服务时间，可采用迭代的方法对2个压缩子网和基本框架网的吞吐量进行计算. 初始迭代时，可对一个替代变迁 t_i 的服务时间设置猜测初值. 通过压缩子网 j 求解其吞吐量 f_j. f_j 应与基本框架网的吞吐量 f 相等，通过公式(1)可求得 t_j 的服务时间，亦即，子网 j 的响应时间. 将 t_j 的服务时间代入另一个压缩子网 i，求得其吞吐量 f_i. f_i 与 f 相等，通过公式(1)可得新的 t_i 的服务时间. 这个迭代过程进行下去，直至获得吞吐量的收敛为止.

这种分解压缩技术适用于随机标识图(marked graph)或者状态机(state machine)系统，子网的介面是由一个变迁的输入或输出位置的子集和另一个变迁(可能为同一个)的输入或输出位置的子集确定. 最简单的情况下，子网的介面是由一个输入位置和一个输出位置组成. 模型的分解不但可以进行单个输入单个输出的切割，也可以进行多次切割对模型进行层次分解. 在文献[11]中，单输入多输出、多输入单输出和多输入多输出的切割方法已被分析，更一般的近似迭代方法已被讨论. 在文献[12]中，这种分解、压缩技术被进一步应用到广义服务网络系统中.

1.4 流等价压缩替换(Flow Equivalent Aggregation)

在流等价压缩替换[13]中，假定子网的服务时间仅依赖于当前在子网系统中标志(顾客)的数量. 子网系统的行为是假定与顾客的到达无关，亦即，子网的行为是完全与环境无关. 在整个系统模型被分解以后，子网系统在维护一定顾客数量情况下进行分析，可以变化顾客的数量直至所允许的最大数量. 在压缩替换阶段，子网系统被压缩为一个时间变迁，它有与顾客相关的服务速率. 让 $\tau(k)$ 表示子网系统有 k 个顾客时的吐吞量，$\mu(k)$ 是压缩时间变迁与标识相关的服务速率. 在指数分布服务时间的假定下，近似等价替换可通过下面的方程进行：

$$\tau(k)=\mu(k) \tag{2}$$

这个方法有优点，它不涉及固定点的迭代求解过程，因此它的求解是有效的. 在求解中也不存在收敛问题. 这种方法特别适合层次模型的分解和压缩求解.[14]在具有乘积解的模型中，这种方法可得到精确解.

这种方法是假定子网系统的独立性，所以不采用迭代求解过程. 但当子网系统之间有较强的关联性时，它的近似求解的误差就会较大. 特别当子网系统结构存有内部环时或者在一个分叉——交汇结构中存有陷入(trapped)标志时，都可摧毁与标识到达过程无关的假定条件.[10]

1.5 层次模型和分层分析(Hierarchical Modeling and Analysis)

层次模型在形式描述和性能分析中是一个常用的概念. 在复杂、大型系统的性能评价中，可采用自顶向下逐步分解描述和自底向上逐步综合替代的方法. 在层次模型方法中，SHLPN 模型能提供更多的描述和分析功能.[14]

层次的使用意味着在整个系统中标定自治部分，在一定层次上的自治要求所有参数，包括变迁的实施速率、弧的重量函数和其他特性等都要仅依赖局部信息. 这一点同流等价压缩替换技术要求相同.

Buchholz 在文献[15,16]中引入一类 SHLPN，叫作层次广义着色随机 Petri 网(GCSPN). 在他的工作中，性能数值分析主要基于马尔可夫链(MC)级的分解. 具体思路描述如下：

(1)在一个仅有两层的 GCSPN 中，层次关系可表示成一个树，它的每一个结点描述为一个子网，上一层描述为高层 GCSPN (HGCSPN)，HGCSPN 描述了低层 GCSPN (LGCSPN)之间的相互作用.

(2)在 HGCSPN 中包括 2 类位置：一般位置和子网位置. 子网位置是子网在 HGCSPN 中的压缩表示. 在层次模型中要保证 HGCSPN 是活的、有界的、顾客标志是守恒的.

(3)每个 LGCSPN 中包括它对环境的连接，子网的输入位置和输出位置通过一个虚拟时间变迁连接. 虚拟时间变迁的实施速率依赖于 LGCSPN 的环境. 子网中不允许再有其他的输出或禁止弧连接到子网的输出位置. 由 HGCSPN 的可达标识空间决定每一个LGCSPN 的可达标识空间. 对应每一个 HGCSPN 的标识就有一个对应的 LGCSPN 的可达标识集，亦即，在 HGCSPN 中一个子网位置的标识对应着 LGCSPN 中所有可能位置中所有可能的标志分布. 要求 LGCSPN 是活的、有界的，且没有多个顾客标志同时到达子网的输出位置.

(4)在数值求解中，将求解全部稳定状态概率向量分解成求解状态子集的稳定状态概率的子向量. 在稳定概率求解中，采用迭代求解技术. 让 M_0 是系统模型的可达集，Q 是系统状态空间转换矩阵，P 是稳定状态概率向量. 有如下关系

$$PQ=0 \tag{3}$$

其中 $Pe^T=1.0$，e 是单位矩阵.

采用迭代求解方案，有如下关系

$$P^k=P^{k-1}+\frac{1.0}{\alpha}P^{k-1}Q \tag{4}$$

其中 $\alpha>\mathrm{Max}(|Q(i,i)|)$，$P^0$ 是初始向量，$P^0>0$ 且 $Pe^T=1.0$.

考虑 HGCSPN 的结构，将 P 分解成子向量 $P_n(n\in M_0)$，使 P_n 包括 $M_0(n)$ 子集状态的稳定状态稳率. 上述迭代方案，有如下关系

$$P_n^k=P_n^{k-1}+\frac{1.0}{\alpha}\sum_{n'\in M_0}P_{n'}^{k-1}Q(n',n) \tag{5}$$

2.6　乘积形式解(Product-Form Solution)

排队网络同随机网一样遭受着状态空间爆炸问题，但是这个问题在一类排队网络中，容易解决. 这类排队网络的解可表达为网络中每一个队列项的乘积形式，这就是大家都知道的乘积形式解(PFS).

让连续时间马尔可夫链(CTMC)的转换矩换为 Q，稳定状态概率向量为 P. $PQ=0$ 的系统方程有如下表达方式：

$$\forall\ i,\ \sum_{k\neq i}P_kq_{ki}=P_i\sum_{l\neq i}q_{il} \tag{6}$$

其中 k,l 和 i 表示 CTMC 上的任何一状态.

方程(6)是全局平衡方程，对任何状态 i 它的全部可能的流出和流入保持平衡.

一个CTMC是被说做表现出局部平衡当且仅当(iff)对于离开状态 i 到任一状态 j 的每个转换(其转换速率为 q_{ij})，就存在一个从状态 k 进入到状态 i 的转换(其转换速率为 q_{ki})且有如下关系

$$P_k q_{ki} = P_i q_{ij} \tag{7}$$

方程(7)就叫作局部平衡方程. 从排队论中，可知局部平衡与PFS之间的关系：前者总是涵含着后者，也就是说如果方程(7)得到验证，那么(7)的解也是方程(6)的解.

最近，已有一些工作扩充PFS的概念应用于SPN[17~19]，将SPN的求解表达为每一个位置项的乘积形式. 对于具有PFS的SPN的识别和研究可有2种方法：基于SPN可达图的特殊结构存在的检测和基于SPN网结构分析，给出某些条件判断.

首先，让我们表现一类SPN，它的稳定状态概率满足局部平衡方程，它的可述图表现一种特殊的构造. 一个安全的包括一定数量任务序列的SPN，每个任务序列可包括一系列的子任务. 它存在PFS iff 一个任务允许进行，如果存在一个非零的概率能返回它的当前状态，而不需要改变其他任务序列任意一个状态. 在可达图中，对于同一个状态的平衡概率计算，采用不同的通路有不同的值，那么就会有一组不一致局部平衡方程，因而全局的解就不可能用局部项来表达. 从这一性质出发，我们可知：(1)具有PFS的SPN的变迁实施速率与标识无关；(2)具有PFS的SPN的可达图中每个状态的输入/输出弧的数量应相等. 还要注意的是PFS的存在依赖于SPN的初始标识. 在同一个SPN中，不同的初始标识可能导致PFS性质的存在或不存在.

基于SPN网结构来判断PFS的性质，可从T-不变量性质进行推导. 一个变迁集合是闭合的，是指在这个变迁集合中的一个变迁的实施就使这个集合中的另一个就迁可以实施. 如果一个SPN的变迁集合可由一组T-不变量复盖，所有T-不变量支持集合都是闭合的，且初始标识至少可使一个变迁实施，那么这个SPN的状态转换图的分解是完全的，且具有PFS性质.

在文献[20]中，上述的结果被进一步推广了，研究了具有非线性实施系列，甚至包括非乘积子网的SPN模型可具有PFS性质的问题.

2　问题和研究方向

在上一节，我们已经介绍了几种随机网的分解和压缩技术及它们适用的范围. 虽然这些技术可以在一些类型的随机网模型中解决状态空间的爆炸问题，但到目前为止，还没有一种技术或者说多种技术结合起来提供所有类型的随机网模型的分解和压缩方法. 任意网络结构是难分解和性能等效压缩的，也不可能存在着单一的技术可用于任何类型随机网的分解和压缩. 因此，随机网的分解和压缩技术的研究还有很长的路要走.[21]其主要问题和研究方向可考虑如下：

(1)已存在的随机网的分解和压缩技术虽有很多例子支持它们的应用，但是在大部分技术中解的存在和解收敛问题并没有得到证明，这些技术的普遍性有待于进一步研究.

(2)对于复杂的随机网模型的分解和性能等价压缩还没有有效方法解决. 现在一种研究

方法就是采取复杂系统模型的精化设计和层次模型方法，在模型没有构成前，就尽量简化子模型之间相互关联和模型层次的接口，将复杂的随机网模型分析转化为包括复杂子网的、简单框架网模型的分析. 使用已知技术解决未知网模型的分解和压缩问题. 另外就是研究新的模型分解和压缩技术.

(3)对于某些特定问题的随机过程，在排队论中已有深入的研究，例如，乘积形式解在非乘积形式队列中的应用. 在SPN的分解和压缩技术研究中如何借鉴排队论的研究成果，将非乘积形式的SPN转化成乘积形式的SPN去求解，是一个有前途的研究方向.

(4)有时仅从随机网的结构和某些特性上来讨论分解和压缩技术并不能完全解决实际问题. 很多时候也需要从某些种类的实际系统模型上考虑模型的分解和压缩方法. 例如Woodside等人提出的客户机——服务器分布软件系统的模型及分解和压缩技术[22]，提供了分布软件系统模型的研究和分析的途径.

(5)在随机网的分解和压缩中，很重要的一点是网模型结构特性的分析和计算，它在很大程度上依赖于诸如不变量、流平衡及可达图特殊构造的特性. 深刻地揭示随机网络结构特性与随机网的可分解性和等价压缩之间的关系无疑是一个有价值的研究方向.

参考文献

1 Molly M K. Performance analysis using stochastic Petri nets. IEEE Trans. on Computers, 1982,**C-31**(**9**):913～917.

2 Marsan M A, Balbo G, Conte G. A class of generalized stochastic Petri nets for the performance evaluation of multiprocessor systems. ACM Trans. Computer Systems, 1984,**2**(**2**):93～122.

3 Ciardo G, Blakemore A ,Chimento P F J *et al*. Automated generation and analysis of Markov reward models using stochastic reward nets. In: Meyer C, Plemmons eds. Linear Algebra Markov Chains, and Queueing Models, IMA Volumes in Mathematics and Its Applications, Vol. 48, Springer, Heidelberg, 1993.

4 Lin C, Marinescu D C. Stochastic high level Petri nets and applications. IEEE Trans. On Computers, 1988,**C-37**(**7**): 815～825. Also in: Jenson K and Rozenberg G eds. High Level Petri Nets, Springer-Verlag, 1991.

5 Ammar H H, Islam S M R. Timed scale decomposition of a class of generalized stochastic Petri net models. IEEE Transactions on Software Engineering, June 1989,**15**(**6**):809～820.

6 Ciardo G, Trivedi K S. A decomposition approach for stochastic reward net models. Performance Evaluation, 1993,**18**:37～59.

7 Tilgner M. An approach formalize structural decomposition and aggregation for stochastic reward net models. Proc. Int. Workshop on Petri Nets and Performance Models, IEEE Computer Society press, Durham, NC, 1995. 252～260.

8 Ziegler P, Szczerbicka H. A structure based decomposition approach for GSPN. Proc. Int. Workshop on Petri Nets and Performance models, IEEE Computer Society Press, Durham, NC, 1995. 261～270.

9 Mainkar V, Trivedi K S. Fixed point iteration using stochastic reward nets. Proceedings of the Sixth International Workshop on Petri Nets and Performance Models, Durham, North Carolina, USA, October 1995. 21～30.

10 Jungnitz H, Sanchez B, Silva M. Approximate throughput computation of stochastic marked graphs. Journal of Parallel and Distributed Computing, 1992,**15**:282～295.

11 Campos J, Colom J M, Jungnitz H *et al*. Approximate throughput computation of stochastic marked graphs. IEEE Trans. on Software Engineering, July 1994,**20**(**7**):526～535.

12 Li Y, Woodside C M. Complete decomposition of stochastic Petri nets representing generalized service networks. IEEE Trans. On Computers, April 1995,**44**(**4**):577～592.

13 Jungntiz H, Desrochers A A. Flow equivalent nets for the performance analysis of flexible manufacturing systems. In: Proceedings of the IEEE Robotics and Automation Conference. 1991. 122～127.

14 林闯,吴建平,王鼎兴. 随机高级Petri网的层次模型和分层性能评价. 软件学报,1995年,**6**(增刊):59～67.

15 Buchholz P. A hierarchical view of GCSPNs and its impact on qualitative and quantitative analysis. Journal of Parallel and Distributed Computing, July 1992, **15**:207～224.

16 Buchholz P. Hierarchies in colored GSPNs. Application and Theory of Petri Nets 1993, LNCS 691, Proc. 14th Int'l Conf., Chicago, Ill., June 1993. 106～125.

17 Lazar A A, Robertazzi T G. Markovian Petri net protocols with product form solution. Performance Evaluation, 1991, **12**:67～77.

18 Henderson W, Taylor P G. Embedded processes in stochastic Petri nets. IEEE Trans. On Software Eng., 1991, **17**(**2**):108～116.

19 Donateli S, Sereno M. On the product form solution for stochastic Petri nets. Proc. 13th Int. Conf. of Applications and Theory of Petri Nets, Sheffield, UK, (LNCS 616)1992. 154～172.

20 Boucherie R J. A Characterization of independence for competing Markov chains with applications to stochastic Petri nets. IEEE Trans. on Software Eng., 1994, **20**(7):536～544.

21 Balbo G. On the success of stochastic Petri nets. Proceedings of the Sixth International Workshop on Petri Nets and Performance Models, Durham, North Carolina, USA, October 1995. 2～9.

22 Woodside C M, Nelson J E, Petriu D C. The stochastic rendezvous network model for performance of synchronous client-server-like distributed software. IEEE Transactions on Computers, Jan. 1995, **44**(1):20～34.

ON THE DECOMPOSITION AND AGGREGATION FOR STOCHASTIC PETRI NETS

LIN Chuang

(*Institute of Information Economics and Technology State Information Center Beijing* 100045)

Abstract This is a review paper on decomposition and aggregation for stochastic Petri nets. This paper gives a brief review of the methodologies considered in the literature. These techniques include the time scale decomposition, the near-independent decomposition, the response time preservation, the flow equivalent aggregation, the hierarchical modeling and the product-form solution. A few directions of research are discussed at the end of the paper to outline the open problems that still need to be solved in this area.

Key words Stochastic Petri nets, performance analysis, state explosion, decomposition, aggregation.

Class number TP301