

基于变迁指标的 Petri 网分解方法^{*}

曾庆田

(中国科学院计算技术研究所 北京 100080)¹ (山东科技大学计算机科学与技术系 泰安 271019)²

摘要 通过定义 Petri 网变迁的指标函数,给出一种基于变迁指标的 Petri 网分解方法,通过分解得到子网系统均为结构简单的 T-网。分析了原网系统与子系统在结构性质和动态性质方面的对应关系,并且证明了通过子网之间的共享合成可以得到原先的网系统,这为 Petri 网用于复杂的物理系统分析提供了可靠的理论依据和技术手段。

关键词 Petri 网,变迁指标,分解,可达状态,语言,Petri 网分解

A Decomposition Method for Petri Net Based on the Index of Transitions

ZENG Qing-Tian

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)¹

(Department of Computer, Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019)²

Abstract By defining the index function of transitions, a new decomposition method for Petri net is presented, with which the decomposed sub net systems are all T-nets. The structural and behavior properties during the decomposition process are analyzed with details, and it is proved that the original system can be obtained by the communion composition of the decomposed subnets. The conclusions and methods will benefit modeling and analyzing the physical systems based on Petri net.

Keywords Petri net, Index of transition, Reachable states, Language, Decomposition of petri net

1 引言

Petri 网是系统模拟和分析的有效工具^[1,2]。Petri 网分解是用于结构复杂 Petri 网系统分析的一种有效手段。首先将其分解成结构简单的子网,分析分解后的子网同原网系统性质方面的对应关系,通过结构简单的子网的性质得到原网系统的性质。在这方面,国内外的许多学者作了大量的工作^[3~7],文[5]和文[6]分别给出了网系统的“和分解”和“并分解”方法,并讨论了通过这两种分解方法得到的子网同原网在结构性质方面的对应关系。

我们提出的基于库所指标的 Petri 网分解是一种有效的分解方法^[7]。文[7]通过定义库所的指标函数,给出一种基于库所指标的 Petri 网分解方法,通过分解得到结构简单的子网系统: $|\cdot t| \leq 1$ 且 $|t \cdot| \leq 1$ (即 S-网)。文[8]分析了分解后的子网所满足的语言性质,给出了求取它们的语言的算法。文[9]通过引入语言的同步交运算,分析了基于库所指标分解过程中所满足的语言性质。文[10]通过这种基于库所指标的分解方法给出了结构复杂 Petri 网语言行为的描述方法。文[11]引入了网系统状态和行为不变性的概念,分析了基于库所指标的 Petri 网分解方法保持系统状态和行为不变性的充要条件,并给出了判定算法。

本文作为文[7]的姊妹篇,提出了基于变迁指标的 Petri 网分解方法。通过定义变迁的指标函数,给出一种基于变迁指标的 Petri 网分解方法,通过分解得到结构简单的子网系统: $|\cdot p| \leq 1$ 且 $|p \cdot| \leq 1$ (即 T-网)。给出分解过程中所满足的结构性质和动态性质,为基于 Petri 网分析复杂的物理系统提供了一种有效的方法。

本文没有介绍 Petri 网的基本概念和术语,读者可参见文[1,2]。

2 基于变迁指标的 Petri 网分解

定义 2.1 设 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 为一个 Petri 网,函数 $f: T \rightarrow \{1, 2, \dots, k\}$ 满足: $\forall t_1, t_2 \in T, \exists p \in P$, 使得 $\{t_1, t_2\} \subseteq \cdot p$ 或 $\{t_1, t_2\} \subseteq p \cdot$, 则 $f(t_1) \neq f(t_2)$, 称 f 为 Σ 的变迁指标函数, $f(t)$ 为变迁 t 的指标。

定义 2.2 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$, $\forall M \in R(M_0)$, 若 $P_1 \subseteq P$, 定义 M 在 P_1 上的投影为 $\Gamma_{P \rightarrow P_1}(M)$ 满足: $\forall P \in P_1, \Gamma_{P \rightarrow P_1}(M)(p) = M(p)$ 。

定义 2.3 设 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 为一个 Petri 网,函数 $f: T \rightarrow \{1, 2, \dots, k\}$ 为 S 的变迁指标函数,称 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Σ 基于变迁指标的分解网。 Σ_i 满足:

(1) $T_i = \{t \in T | f(t) = i\}$; (2) $P_i = \{p \in P | \exists t \in T_i, p \in \cdot t \cup t \cdot\}$; (3) $F_i = \{(P_i \times T_i) \cup (T_i \times P_i)\} \cap F$; (4) $M_{0i} = \Gamma_{P \rightarrow P_i} M_0$ 。

例 1 图 1 给出了一个 Petri 网系统 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$, 取变迁指标函数 $f: T \rightarrow \{1, 2, \dots, k\}$ 满足:

$f(t_1) = f(t_2) = f(t_3) = 1; f(t_4) = f(t_6) = f(t_7) = 2;$
 $f(t_5) = 3$

显然 f 满足定义 2.3 的条件。按 f 分解 Σ 得到三个子网 Σ_1, Σ_2 和 Σ_3 分别如图 1 所示。

Petri 网的基于变迁指标的分解并不是唯一的。由于选择的不同,可能出现不同的变迁指标集,但无论怎样选择 f , 同一个变迁的两个(或多个)不同输入(输出)位置分别分

^{*} 本课题得到国家自然科学基金(60173053 和 60274063)和山东省青年科学家科研奖励基金(02BS069)的资助。

解到不同的子网中。同时,对于 k 的取值也可能有多个,为了

问题分析的方便,我们通常取满足条件的最小 k 值。

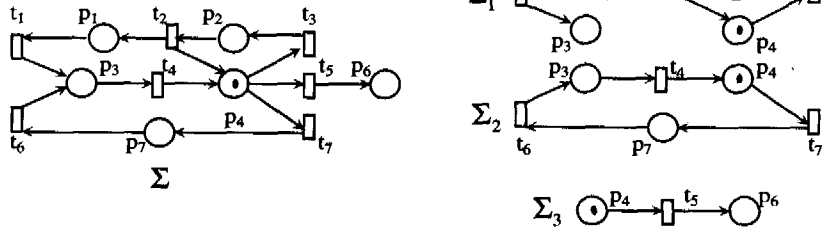


图1 Petri网 Σ 及其3个基于变迁指标的分解子网

定理 2.1 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 的基于变迁指标的分解网, 则有:

- (1) $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, k\} i \neq j$, 有 $T_i \cap T_j = \emptyset$, 且 $\bigcup_{i=1}^k T_i = T$;
- (2) 若 $k > 1$, $\forall i \in \{1, 2, \dots, k\} \exists j \in \{1, 2, \dots, k\}, i \neq j$ 有 $P_i \cap P_j \neq \emptyset$; 且 $\bigcup_{i=1}^k P_i = P$.

证明: 根据定义 2.3 易证。

定义 2.4^[1] $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 为一个 Petri 网, Σ 称为 T-网当且仅当 $\forall p \in P: |\cdot p| \leq 1$ 且 $|p \cdot| \leq 1$ 。

定理 2.2 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 的基于变迁指标的分解网, 则 Σ_i 称为 T-网。

证明: 由定义 2.3 易证。

由定理 2.2 知, 分解后的每个子网都具有很好的结构: $\forall p \in P: |\cdot p| \leq 1$ 且 $|p \cdot| \leq 1$ 。对每一个分解子网 Σ_i , 我们可以比较容易和直接地分析其状态和行为特性, 这是通过定义变迁的指标函数将一个复杂的网系统进行分解的原因。

定义 2.5^[12] 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2\})$, 令 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 使得:

- (1) $P = P_1 \cup P_2, P_1 \cap P_2 \neq \emptyset$;
- (2) $T = T_1 \cup T_2, T_1 \cap T_2 = \emptyset$;

$$(3) F = F_1 \cup F_2; (4) M_0(p) = \begin{cases} M_{01}(p) & p \in P_1 \\ M_{02}(p) & p \in P_2 \end{cases}$$

则称 Σ 为 Σ_1 与 Σ_2 的共享合成网, 记作: $\Sigma = \Sigma_1 \circ_P \Sigma_2$ 或 $\Sigma = \bigcirc_P \Sigma_i$ 。

在文[12]中仅定义了两个网系统的共享合成运算, 而在分析大规模网系统时, 可能考虑到多个(大于等于 2 个)网系统之间的共享合成运算。为此, 我们将网系统的共享合成运算推广到 $k (k \geq 2)$ 的情况。

定义 2.6 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$, 令 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 使得:

- (1) $P = \bigcup_{i=1}^k P_i$ 且 $\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}$, 至少存在一个 j 使得 $P_i \cap P_j \neq \emptyset$;
- (2) $T = \bigcup_{i=1}^k T_i$ 且 $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, k\}, i \neq j: T_i \cap T_j = \emptyset$;
- (3) $F = \bigcup_{i=1}^k F_i$;
- (4) 当 $p \in P_i (i = 1, \dots, k): M_0(p) = M_{0i}(p)$;

则称 Σ 为 k 个 Petri 网 $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_k$ 的共享合成网, 记作: $\Sigma = \bigcirc_P \Sigma_i$ 。

定理 2.3 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 的基于变迁指标的分解

网, 则有: $\Sigma = \bigcirc_P \Sigma_i$ 。

证明: 根据定理 2.1 和定义 2.3、定义 2.6 容易证明。

文[12]分析了系统共享合成过程中满足的动态不变性。然而, 给定一个结构复杂的 Petri 网 Σ , 如何找到一组 Petri 网 $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_k$, 使其共享合成的结果就是要分析的 Petri 网 Σ ? 这是文[12]没有解决的问题。根据定理 2.3, 通过基于变迁指标的分解方法, 分解后得到的 $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_k$ 通过共享合成的结果就是要分析的 Petri 网 Σ , 并且 $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_k$ 的结构简单, 性质容易分析, 由此更加说明了基于变迁指标的 Petri 网分解方法的重要性。

3 分解满足的性质分析

3.1 结构性性质分析

在结构性性质方面, 我们可以得到如下的定理。限于篇幅, 我们不给出具体的证明过程, 其证明方法可参考文[12, 13]对 Petri 网共享合成过程中所满足的结构性质的定理证明。

定理 3.1 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 的基于变迁指标的分解网, 则 Σ 为可重复的当且仅当 Σ_i 是可重复的。

定理 3.2 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 的基于变迁指标的分解网, 则 Σ 为相容的当且仅当 Σ_i 是相容的。

定理 3.3 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 的基于变迁指标的分解网, 则 Σ 为可重复的当且仅当 Σ_i 是可重复的。

定理 3.4 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 基于变迁指标的分解网, X_i 是 Σ_i 的 T-不变量当且仅当 $X = [X^T X^T \dots X^T]^T$ 是 Σ 的 T-不变量, 其中 X^T 表示向量 X 的转置。

相应地, 对 Petri 网的有界性、守恒性和 S-不变量等, 我们也可以推得一系列的结论, 在此不再一一给出。

3.2 动态性质分析

Petri 网语言理论中, 根据终止状态集的不同定义, 把 Petri 网语言分为 L-型、G-型、T-型和 P-型语言^[2]。根据变迁集 T 到字母表映射的不同, 每一型语言又分为无标注类、无空标注类和带空标注类。

为讨论问题的方便, 在本文中, 以 L-型无标注类语言作为讨论的语言形式, 记 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 为一个 Petri 网, 取终止状态集为: $Q_T \subseteq R(M_0) \wedge (\forall M_e \in Q_T, \forall p \in P - P_f: M_e(p) = 0)$ (其中 P_f 为指定的库所集)。

下面给出 Petri 网语言的形式定义:

定义 3.1 设 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 为一个 Petri 网, 取 $P_f \subseteq$

P , 定义 Petri 网 Σ 的语言为: $L(\Sigma) = \{\sigma | \sigma \in T^* \wedge M_0[\sigma > M_e \wedge (\forall p \in P - P_f, M_e(p) = 0)]\}$. P_f 称为 Σ 的终止库所集。

为讨论语言的方便, 一个 Petri 网直接记为 $\Sigma = (P, T; F, M_0, P_f)$, P_f 为 Σ 的终止库所集。设 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i})$ 为 $\Sigma = (P, T; F, M_0)$ 的基于变迁指标的分解子网, P_f 称为 Σ 的终止库所集, 定义 Σ_i 的终止库所集为 P_{fi} , $P_{fi} = P_f \cap P_i$, 记子网为: $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}, P_{fi}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 。

引理 3.1 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}, P_{fi}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0, P_f)$ 的基于变迁指标的分解网, 则有: $\Gamma_{P \rightarrow P_i}(M_0) = M_{0i} (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 。

证明: 由定义 2.3(4) 直接得到。

定理 3.5 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}, P_{fi}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0, P_f)$ 的基于变迁指标的分解网, 则 $\bigcup_{i=1}^k L(\Sigma_i) \subseteq L(\Sigma)$ 。

证明: 由定义 2.3 知, 任意 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}, P_{fi})$ 对于 $\Sigma = (P, T; F, M_0, P_f)$ 均满足: $P_i \subseteq P, T_i \subseteq T$ 和 $F_i \subseteq F$ 。由引理 3.1: $\Gamma_{P \rightarrow P_i}(M_0) = M_{0i} (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 。这样对于 $\forall \sigma \in L(\Sigma_i)$, 都有 $M_{0i}[\sigma >]$, 由于 $\Gamma_{P \rightarrow P_i}(M_0) \geq M_{0i}$, 因此 $M_0[\sigma >]$, 即 $\forall \sigma \in L(\Sigma)$ 。所以, $\bigcup_{i=1}^k L(\Sigma_i) \subseteq L(\Sigma)$ 。

定义 3.2 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}, P_{fi})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0, P_f)$ 的基于变迁指标的分解网, 定义 $P_{\Delta i} = \{p | p \in P_i \wedge p \notin P_j \wedge i \neq j \wedge 1 \leq i, j \leq k\}$ 为 Σ_i 的私有库所集 ($i \in \{1, 2, \dots, k\}$)。

由文[7, 11]知, 对于基于库所指标的 Petri 网分解, 原网系统的可达状态子网上的投影是子网的可达状态, 原网系统的语言在子网上的投影是子网语言的子集。这个结论对于基于变迁的 Petri 网分解并不成立, 但是可以得到下面的结论:

定理 3.6 设 Petri 网 $\Sigma_i = (P_i, T_i; F_i, M_{0i}, P_{fi}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 为 Petri 网 $\Sigma = (P, T; F, M_0, P_f)$ 的基于变迁指标的分解网, 若 $\forall \sigma \in L(\Sigma)$ 满足 $\Gamma_{T \rightarrow T_i}(\sigma) \in L(\Sigma_i)$, 则 $\forall M \in R(M_0), \Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M) \in R(M_{0i})$, 其中 $P_{\Delta i}$ 为 Σ_i 的私有库所集 ($i \in \{1, 2, \dots, k\}$)。

证明: 采用反证法证明。假设 $\exists M \in R(M_0), \Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M) \notin R(M_{0i})$,

$\notin R(M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$, 那么总可以取得满足这个条件的 M , 使得任何 M 的前驱标识 M' 满足: $\Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M) \in R(M_{0i}) (M)$, 最坏的情况下取 $M' = M_0$ 即可。

记 $M_0[\sigma > M'] [t > M]$, 若 $t \in T_i$, 由 $\Gamma_{T \rightarrow T_i}(\sigma) \in L(\Sigma_i)$ 知, $M_{0i}[\Gamma_{T \rightarrow T_i}(\sigma) > M'] [t > M_i]$,

由 M' 的取法可知: $\Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M') = \Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M_i)$ 且 $\Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M') \in R(M_{0i})$,

也即 $\Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M - (t' - t)) = \Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M_i - (t' - t))$ 且 $\Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M - (t' - t)) \in R(M_{0i})$,

从而 $\Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M) \in R(M_{0i})$, 这就与假设矛盾。故 $\forall M \in R(M_0), \Gamma_{P \rightarrow (P_{\Delta i})}(M) \in R(M_{0i}) (i \in \{1, 2, \dots, k\})$ 成立。

4 举例

例 2 下面我们给出一个具体实例。在一个多处理机系统中, 处理机 M_1 和 M_2 共用同一个 CPU 处理不同的作业, 在某一时刻 CPU 只能被一台处理机使用, 每台处理机处理完作业后释放对 CPU 的使用权, 基本过程如图 2 所示。

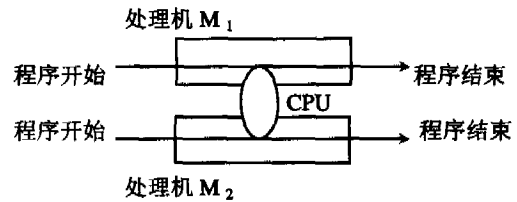


图 2 共用 CPU 的多处理机系统

首先建立这个多处理机系统的 Petri 网模型, 如图 3 所示。在图 3 中, 位置 p_5 表示多处理机的 CPU, p_5 中的托肯表示 CPU 的使用权。位置 p_1 中的托肯表示处理机 M_1 具有作业处理权, 变迁 t_1 表示开始处理作业, 变迁 t_2 表示 M_2 处理作业结束, 释放托肯给 p_1 允许下一个作业开始处理, 释放托肯给 p_5 允许 M_2 使用 CPU。对位置 p_1 和变迁 t_1, t_2 在 M_2 中的作用也有相应的语义解释。

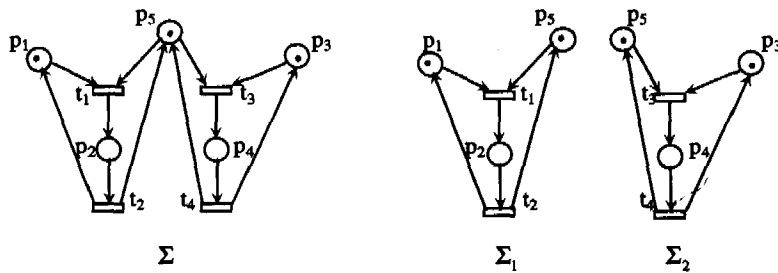


图 3 多处理机系统的 Petri 网模型及其两个基于变迁指标的分解子网

我们定义变迁指标函数 f 满足: $f(t_1) = f(t_2) = 1, f(t_3) = f(t_4) = 2$ 。在 f 下将 Σ 分解成 Σ_1 和 Σ_2 分别如图 3 所示, 这种分解的物理意义是明显的, Σ_1 和 Σ_2 分别表示了处理机 M_1 和 M_2 的状态和行为。通过 Σ 及其分解子网 Σ_1 和 Σ_2 , 我们也可以验证本文所给出的结论的正确性。比如: 在语言行为方面, 若假定终止库所集合 $P_f = \{P_1, P_3, P_5\}$ 。由图 3, 我们可以分别求得 $L(\Sigma) = (t_1 t_2)^* + (t_3 t_4)^*$, $L(\Sigma_1) = (t_1 t_2)^*$ 和 $L(\Sigma_2) = (t_3 t_4)^*$ 。显然, $L(\Sigma_1) \cup L(\Sigma_2) \subseteq L(\Sigma)$ 。

结束语 作为文[7]的姊妹篇, 在基于库所指标的 Petri 网分解方法的基础上, 本文提出了基于变迁指标的 Petri 网分

解方法。通过这种分解方法, 分解后得到了结构简单的 T-网, 分解后的子网通过共享合成又可以得到原网系统, 分析了分解过程中所满足的结构性质和动态性质, 为 Petri 网用于复杂的物理系统分析提供了可靠的理论依据和技术手段。

文[12]提出的 Petri 网的同步合成和共享合成, 是用于复杂系统分析的一种有效方法。但是如何去寻找一些结构简单的子网来合成结构复杂的系统, 在文[12]中却没给出具体的方法。我们提出的基于库所和变迁指标的 Petri 网分解方法, 不但是通过分解来分析复杂系统的一种有效方法, 同时我们

(下转第 163 页)

为 SMT 处理器体系结构的研究提供一个通用的模拟实验平台。在开发过程中,我们从广泛使用的 SimpleScalar 工具集入手,使工作重点可以集中在 SMT 结构的模拟设计,有效地节约了开发的周期。同时,工作中也暴露出一些问题,例如 SimpleScalar 的全局变量和宏造成模拟器程序难于调试;伴随着结构的复杂导致模拟器性能的下降(同时运行四个工作负载时大概是 SimpleScalar 运行时间的 4 倍到 5 倍)。目前,我们已经通过了一些简单的应用实例,验证了 OpenSMT 模拟器的可用性、准确性和灵活性,基本达到了设计目标要求。通过小组内使用其开展 SMT 体系结构相关研究,将进一步检验和改进其设计和实现,待其基本稳定后,将作为开源程序公开发布。

未来进一步的开发工作将主要从以下三方面展开:第一,在 OpenSMT 基础上进一步构造基于 SMT 核的 CMP 结构的模拟器,用于支持对多线程多核体系结构的比较性研究。第二,支持对复杂的工作环境的模拟,例如对操作系统、网络环境的模拟,这样才能更加真实准确地反映桌面和网络环境的系统特性。第三,建立更加完备的多线程性能评估模型。传统超标量结构的性能评估模型已经不能适应新兴的多线程处理器结构的特征,必须有新的评价指标来对多线程处理器的性能进行有效评估。

参考文献

- 1 Tullsen D M, Eggers S J, Levy H M. Simultaneous multithreading; Maximizing on-chip parallelism. In: 22nd Annual International Symposium on Computer Architecture, 1995. 392~403
- 2 Marr D T, Binns F, Hill D L, et al. Hyper-threading technology architecture and microarchitecture. Intel Technology Journal,

- 2002, 6(1): 4~15
- 3 Diefendorff K. Power4 Focuses on Memory Bandwidth. Microprocessor Report, 1999, 13(13): 11~17
- 4 Clabes J, et al. Design and implementatin of the power5 microprocessor. In: ISSCC Digest of Technical Papers, 2004. 56~57
- 5 Diefendorff K. Compaq Choose SMT for Alpha. Microprocessor Report, 1999, 13(16)
- 6 Austin T, Larson E, Ernst D. SimpleScalar: An Infrastructure for Computer System Modeling. IEEE Computer, 2002, 35(2): 59~67
- 7 Burger D, Austin T M. The SimpleScalar tool set version 2. 0: [Technical Report 1342]. Computer Sciences Department, University of Wisconsin, 1997
- 8 Huang J, Lilja D J. An Efficient Strategy for Developing a Simulator for a Novel Concurrent Multithreaded Processor Architecture. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 1998
- 9 Tullsen D M, Lo J, Sier G, et al The SMTSIM Simulator. <http://www.cs.ucsd.edu/users/tullsen/smtsim.html>
- 10 Goncalves R, Ayguade E, et al. A Simulator for SMT Architectures; Evaluating Instruction Cache Topologies. In: 12th Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing, 2000. 279~286
- 11 Sohi G S, Breach S, Vijaykumar T N. Multiscalar Processors. In: 22nd International Symposium on Computer Architecture (ISCA-22), 1995
- 12 Austin T, Ernst D, et al. SimpleScalar Tutorial (for release 4. 0). http://simplescalar.com/docs/simple_tutorial_v4.pdf
- 13 Smith J E, Sohi G S. The Microarchitecture of SuperScalar Processors. Proceedings of the IEEE, 1995, 83(12): 1609~1624
- 14 Tullsen D M, Eggers S J, Emer J S, et al. Exploiting Choice: Instruction Fetch and Issue on an Implementable Simultaneous Multithreading Processor. In: Proc. Int'l Symp Computer Architecture, ACM, 1996. 191~202
- 15 Standard Performance Evaluation Corporation. SPEC CPU2000 Benchmarks. <http://www.spec.org/osg/cpu2000/>, Dec. 2001

(上接第 146 页)

也验证了,分解后的子网通过同步合成和共享合成均可得到

原先的网系统,从系统合成的角度而言,这也是一条可行之路。综合文[7,12]和本文的工作,可得到一种 Petri 网系统合成与分解的体系,如图 4 所示。



图 4 Petri 网的合成与分解技术

参考文献

- 1 袁崇义. Petri 网原理. 电子工业出版社, 1998
- 2 Peterson J. Petri net theory and the modeling of systems. 吴哲辉译, 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989
- 3 Hyunglee K. Generalized Petri Net Reduction Method. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 1987, SMC17(2)
- 4 Suzuki I. A Method for Stepwise Refinement and Abstraction of Petri Nets. J. of Computer and System Sciences, 1983, 27: 51~76
- 5 王培良, 等. P/T 系统的和分解. 计算机科学, 1999, 26: 147~151
- 6 王培良, 等. Petri 网的并分解. 控制理论与应用, 2001, 18(1): 116~118
- 7 曾庆田, 吴哲辉. 基于库所指标的 Petri 网分解方法. 计算机科学

- 2002, 29(4): 15~17
- 8 曾庆田, 吴哲辉. 类 S 图的语言性质分析. 计算机科学, 2002, 29(5): 120~123
- 9 曾庆田, 吴哲辉. Petri 网语言的同步交运算. 小型微型计算机系统, 2004 年录用, 待发表
- 10 曾庆田, 吴哲辉. 基于分解的结构复杂 Petri 网的行为描述. 系统工程学报, 2003 年录用, 待发表
- 11 曾庆田, 吴哲辉. Petri 网分解的保性条件分析. 小型微型计算机系统, 2003 年录用, 待发表
- 12 蒋昌俊. Petri 网的动态不变性. 中国科学(A 辑), 1997, 27(6): 567~573
- 13 蒋昌俊. 离散事件动态系统的 PN 机理论. 北京: 科学出版社, 2000