

非对称选择网类共享子网合成及其在系统建模中的应用

夏传良

(山东建筑大学计算机科学与技术学院 济南 250101)

(中国科学院软件所计算机科学重点实验室 北京 100080)

摘要 为了解决系统建模中的子系统共享问题,提出了经由非对称选择网类共享一种子网构成共享子网合成网的解决方案;研究了共享子网合成网的结构性质,提出了共享子网合成网保持结构有界性和结构活性的充分条件或充要条件。本文的结果可为 Petri 网系统合成性质的考察提供有效途径,为复杂大系统的分析提供重要手段,并特别适合于一类系统的建模和分析,具有一定的实用价值。

关键词 Petri 网,合成,结构活性,结构有界性,系统建模

Asymmetric Choice Net Synthesis Shared Subnet and its Applications in System Modeling

XIA Chuan-Liang

(School of Computer Science and Technology, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101)

(Laboratory of Computer Science, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract A scheme is obtained using synthesis of asymmetric choice nets shared a kind of subnet, in order to solve sub-system-shared problem in system modeling. The properties of synthesis Petri nets are studied. The sufficient conditions or sufficient and necessary conditions of property preservation by shared subnet are obtained, such as structural boundedness and structural liveness. These results are useful for studying the properties of Petri synthesis nets, establishing models for large complex system. The synthesis method, which is practical to use in reality, suit to model and analyze some kind of system.

Keywords Petri nets, Synthesis, Structural liveness, Structural boundedness, System modeling

在复杂系统建模中,子系统共享是一个非常基本的问题,有必要对它进行分析和验证。针对离散事件系统已有一些理论结果和研究方法,如活动循环图法、实体流图法、排队系统、库存模型、CSP、CCS、Petri 网以及形式语言自动机等。其中 Petri 网是一种系统的数学和图形的建模和分析工具,特别适用于对具有同步、并发、冲突的离散事件系统进行建模和分析。用 Petri 网来表示并发、互斥、同步显得直接、自然和精确。同时,由于 Petri 网具有坚实的数学基础,因此它为系统模型的设计和分析提供了一种有效的方法。但是,当建模的系统大而且复杂时,就会由于状态空间爆炸而带来系统分析上的高复杂性。有一种重要的方法可用于降低大系统建模分析的复杂度,即是系统的合成操作。合成操作就是把相对小的若干个 Petri 网系统组合成一个大的 Petri 网系统,通过大系统保持小系统的某些性质而得到大系统相应的性质,从而达到用小系统来研究大系统的目的。

Petri 网的组合化设计思想一直为理论界和工程界所关注,已有大量的工作。文[1]给出了一种按照路径自动配置进行 Petri 网合成的方法;文[2]给出了一种合成方法,证明了合成后的可分解非对称选择网(Decomposable Asymmetric Choice Nets, DAC 网)保持了子网的活性、有界性和家态等性质;文[3]研究了非对称选择网(Asymmetric Choice Nets, AC 网)的活性、有界性、可回复性和活性单调性等特性,并用于解决某些资源共享问题,给出了关于 ST-OAC 网(具有死锁-陷阱特性的一般 AC 网)在合并了若干个库所集后得到的网保

持原网活性、有界性和可回复性的条件;文[4]展示了一种合成建模方法的应用,这种建模方法可用于 SWN(Stochastic Well Formed Net)的复杂案例的应用研究;文[5]给出了一种控制行为系统的合成方法,该系统用模块信号网建模;文[6]提出了一种正规设计表示模型—操作网系统(Operation Net System),用于对基于转换方式的异步系统进行高级合成;文[7]引入了一组模块网,这种网由一些不同级别的小网组成,它们通过共享变迁来达到同步的目的;文[8]提出了一种 ST-网的概念,在很多情况下,建模问题可由这种 ST-网来解决;文[9]给出了 EN-系统模块合成的方法;文[10]提出了链路合成方法,并用于系统设计;文[11]提出了一种合成方法,给出了合成 Petri 网保持结构活性的条件;M. D. Jeng^[12]研究了用 Petri 网来建模柔性制造系统的合成方法;……这些工作均针对 Petri 网的合成和网性质的分析。

上述工作虽然给出了一些合成方法,但对合成条件的判定一般都比较困难,并且一般不适合描述子系统共享设计问题。为了较好地描述这类问题,本文提出了一种共享子网合成网。

本文提出了一种 P-型子网,研究了两个 AC 类网通过共享 P-型子网得到共享 P-型子网合成网的结构性质,给出了共享 P-型子网合成网保持结构有界性和结构活性的充分条件或充要条件。按照有关条件进行共享子网合成,得到共享子网合成网。只要参与合成的各网都是结构有界结构活的,则其共享子网合成网就是结构有界结构活的。这对于复杂大系

统的分析具有重要的指导意义,并适合于共享子网合成建模和分析。

本文第1节给出了相关的基本概念、符号;第2节给出了共享P-型子网合成网保持结构有界性和结构活性的充分条件或充要条件;第3节用共享P-型子网合成方法对两个工厂共用一个车间中的两台机器同时生产两种部件的系统进行了设计和分析;最后总结全文。

1 基本定义和符号

定义1 设 $N=(P, T; F, W)$ 是一个 Petri 网, $\Sigma=(N, M_0)$ 是一个 Petri 网系统。

(1) 变迁 $t \in T$ 是活的, 当且仅当对 $\forall M \in R(M_0), \exists M' \in R(M), M'[t >$;

(2) Σ 是活的, 当且仅当 $\forall t \in T$ 是活的;

(3) Σ 是有界的, 当且仅当 \exists 整数 $k, \forall p \in P, \forall M \in R(M_0), M(p) \leq k$ 。

定义2 设 $N=(P, T; F, W)$ 是一个 Petri 网,

(1) N 是结构活的, 当且仅当 \exists 标识 $M_0, (N, M_0)$ 是活的;

(2) N 是结构有界的, 当且仅当 $\forall M_0, (N, M_0)$ 是有界的;

(3) N 是结构活结构有界的, 当且仅当 N 既是结构活的, 又是结构有界的。

定义3 令 N 是 Petri 网,

(1) N 是自由选择网(Free Choice Net, 简称 FC 网)满足, $\forall p \in P, |p^\cdot| > 1 \Rightarrow \cdot(p^\cdot) = \{p\}$;

(2) N 是非对称选择网(Asymmetric Choice Net, 简称 AC 网)满足 $\forall p_1, p_2 \in P, p_1^\cdot \cap p_2^\cdot \neq \emptyset \Rightarrow p_1^\cdot \subseteq p_2^\cdot$ 或者 $p_2^\cdot \subseteq p_1^\cdot$;

定义4^[2] 设 $N_i=(P_i, T_i; F_i, W_i), (i=1, 2)$ 是一个 Petri 网, 若 $N=(P, T; F, W)$ 满足条件:

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

(2) $F=F_1 \cup F_2 (F=F_1 \cap F_2)$;

则称 N 为 N_1, N_2 的并网(交网), 记为 $N=N_1 \cup N_2 (N=N_1 \cap N_2)$ 。

定义5^[2] 设 $N=(P, T; F, W)$ 是一个 Petri 网, 称 N 是可分解非对称选择网(Decomposable Asymmetric Choice Nets, DAC 网)当且仅当 $N=N_1 \cup N_2$ 且 $N_1 \cap N_2 = \{s\}$, 其中 $s \in P, N_1$ 和 N_2 为 FC 网。

定义6^[2] 设 $N=(P, T; F, W)$ 是一个 Petri 网, 称 N 是扩展非对称选择网(Extended Decomposable Asymmetric Choice Nets, EDAC 网)当且仅当 $N=N_1 \cup N_2$ 且 $N_1 \cap N_2 = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, 其中 $s_i \in P, i=1, 2, \dots, n, n \geq 1, N_1$ 和 N_2 为 FC 网。

定义7 设 $N_i=(P_i, T_i; F_i, W_i) (i=0, 1, 2)$ 是 3 个 Petri 网, 如果 N_0 满足:

(1) $P_0 \subseteq P_1 \cap P_2, T_0 \subseteq T_1 \cap T_2$ 且 $P_0 \neq \emptyset, T_0 \neq \emptyset$;

(2) $F_0 \subseteq F_1 \cap F_2 \cap ((P_0 \times T_0) \cup (T_0 \times P_0))$;

则称 N_0 为 N_1 和 N_2 的一个共享子网。

定义8 设 $N=(P, T; F, W)$ 是一个 Petri 网, $N_0=(P_0, T_0; F_0, W_0)$ 是 N 的一个子网, 若满足:

(1) $T_0 \cup T_0^\cdot \subseteq P_0$, 其中 $\cdot T$ 和 T^\cdot 均在 N 中计算;

(2) 存在 $p_x, p_y \in P_0, p_x \neq p_y$ 使得: 若 $P'_0 = P_0 - \{p_x, p_y\}$, 则 $\cdot P'_0 \cup P'_0 \subseteq T_0$, 且 $\cdot p_x \in T - T_0, p_y^\cdot \subseteq T - T_0$, 其中

P'_0 和 P'_0^\cdot 均在 N 中计算; 则称 N_0 为 N 的一个 P-型子网。

注: p_x 是 N_0 的唯一输入库所, p_y 是唯一的输出库所。

P-型子网简单示例(图1)如下:

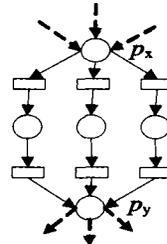


图1 P-型子网

定义9 设 $N_i=(P_i, T_i; F_i, W_i) (i=1, 2)$ 是两个 Petri 网, 若 $N=(P, T; F, W)$ 满足:

(1) $P_0 = P_1 \cap P_2 \neq \emptyset, T_0 = T_1 \cap T_2 \neq \emptyset$;

(2) $P=P_1 \cup P_2, T=T_1 \cup T_2, F=F_1 \cup F_2$;

(3) N_1, N_2 共享一个 P-型子网。

则称 N 为 N_1, N_2 的共享 P-型子网合成网。

定义10 设 $\Sigma_i=(N_i, M_{i0}) (i=1, 2)$ 是两个 Petri 网系统, 若 $\Sigma=(N, M_0)$ 满足:

(1) N 是 $N_i (i=1, 2)$ 的共享 P-型子网合成网;

(2) $\forall p \in P_0, M_{i0}(p) = M_{20}(p), M_0$ 定义如下:

$$M_0(p) = \begin{cases} M_{10}(p), & p \in P_1; \\ M_{20}(p), & p \in P_2. \end{cases}$$

则称 Σ 为 $\Sigma_i (i=1, 2)$ 的共享 P-型子网合成 Petri 网系统。

定义11 P-型子网精细化操作 $Re_{f_P}(\tilde{p}, N_P)$: 将 Petri 网 $N=(P, T; F, W)$ 中的变迁 \tilde{p} 精细化为一个 P-型子网 $N_P=(P_P, T_P; F_P, W_P)$ (即用 P-型子网 $N_P=(P_P, T_P; F_P, W_P)$ 来替换 \tilde{p}), 得到 Petri 网 $N'=(P', T'; F', W')$, 其中

(1) $P'=(P - \{\tilde{p}\}) \cup P_P$; (2) $T'=T \cup T_P$;

(3) $F'=F \cup \{(t, p_x) | t \in \cdot \tilde{p}\} \cup F_P \cup \{(p_y, t) | t \in \tilde{p}^\cdot\} - \{(t, \tilde{p} | t \in \cdot \tilde{p}) - \{(\tilde{p}, t) | t \in \tilde{p}^\cdot\}$;

定义12 P-型闭网 \bar{N}_P : 为 N_P 增加一个变迁 t_P 和两条有向弧 $(p_y, t_P), (t_P, p_x)$ 得到 \bar{N}_P 。

定义13 P-型子网抽象化操作 $Abs_P(N_P, \tilde{p})$: 将 Petri 网 $N=(P, T; F, W)$ 中的 P-型子网 $N_P=(P_P, T_P; F_P, W_P)$ 抽象化为一个库所 \tilde{p} (即用 \tilde{p} 来替换 $N_P=P_P, T_P; F_P, W_P$), 得到 Petri 网 $N'=(P', T'; F', W')$, 其中(1) $P'=(P - P_P) \cup \{\tilde{p}\}$;

2 Petri 网共享子网合成结构性性质分析

以下分析共享 P-型子网合成网的结构有界性和结构活性。基本思想: 先把共享子网(P-型子网)“抽象化”为库所, 两个网进行共享库所合成, 得到共享库所合成网, 再把共享库所合成网中的相应库所“精细化”为原来的共享子网(P-型子网)。为了研究共享 P-型子网合成网的结构有界性和结构活性, 以下先讨论 P-型子网精细化操作的结构有界性。

现将 N 与 \bar{N}_P 中的 P 元和 T 元重新排列如下:

$$P = [p_1, p_2, \dots, p_n], T = [t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_l, t_{l+1}, \dots, t_m], P_P = [\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_r], T_P = [\bar{t}_1, \bar{t}_2, \dots, \bar{t}_s]$$

其中, $p_n = \tilde{p}, \bar{p}_1 = p_x, \bar{p}_2 = p_y, \bar{t}_s = t_P$ 。在 N 中 $\cdot \tilde{p} \in \{t_k, \dots, t_l\}, \tilde{p}^\cdot \in \{t_{l+1}, \dots, t_m\}$, 显然在 N' 中 $\cdot p_x \in \{t_k, \dots, t_l\}, p_y^\cdot \in$

其中 $M_{(P,\tilde{p})}$ 为 M 中去掉 \tilde{p} 所对应的分量以后的向量; θ_P 是对应 \bar{N}_P 标识的零向量。在 $\Sigma' = (N', M'_0)$ 中, $\forall t' \in T', \forall M' \in R(M'_0)$, 则有 $t' \in T$ 或 $t' \in T_P$ 。记 $M' = [M_{(P,\tilde{p})}, M_P]$, 其中 $M \in R(M_0), M_P \in R(M_{0P})$ 。不妨设 $t' \in T$, 由 $\Sigma = (N, M_0)$ 的活性知, 对 $M \in R(M_0), \exists \bar{M} \in R(M)$, 使得 $\bar{M}[t'] >$ 。根据 Σ_P 的活性和定义 11 知, $\exists \bar{M}' = [\bar{M}_{(P,\tilde{p})}, \bar{M}_P] \in R(M')$, 使得 $\bar{M}'[t'] >$, 其中 $\bar{M} \in R(M), \bar{M}_P \in R(M_P)$ 。从而, t' 在 Σ' 中是活的, 关于 $t' \in T_P$ 的情况可类似证明, 于是由 t' 的任意性可知, Σ' 是活的, 故 N' 是结构活的。

(2)再证必要性。

由于 N' 是结构活的, 所以 $\exists M'_0$, 使得 $\Sigma' = (N', M'_0)$ 是活的。采用反证法。假设 $\forall M'_0 \in R(M'_0)$, 从 Σ' 中得到的 Σ 不活, 即 $\exists M \in R(M_0), \exists t \in T, \forall \bar{M} \in R(M)$ 都有 $\neg(\bar{M}[t] >)$, 显然对于 $\forall \bar{M}_{(P,\tilde{p})} \in M_{(P,\tilde{p})}$ 也有 $\neg(\bar{M}_{(P,\tilde{p})}[t] >)$ (其中 $M_{(P,\tilde{p})}$ 为 M 中去掉 \tilde{p} 所对应的分量以后的向量)。由于 M'_0 在 Σ 上的投影为 $M_{(P,\tilde{p})0}$, 记 $M_{(P,\tilde{p})0}[\sigma] > M_{(P,\tilde{p})}[\bar{\sigma}] > \bar{M}_{(P,\tilde{p})}, \sigma, \bar{\sigma} \in T$, 现将 Σ_P 中的相应变迁(步) σ_P 加入, 得 $\sigma', \sigma'' \in T'$, 根据定义 11 和 Σ' 的活性知, $M'_0[\sigma'] > M'[\sigma'] > \bar{M}'$, 并且 M' 在 Σ 上的投影为 $M_{(P,\tilde{p})}, \bar{M}'$ 在 Σ 上的投影为 $\bar{M}_{(P,\tilde{p})}$, 这样对应于 $M_{(P,\tilde{p})}, \exists M' \in R(M'_0), \exists t' \in T'$, 使得对应于 $\forall \bar{M}_{(P,\tilde{p})} \in R(M_{(P,\tilde{p})})$ 有 $\forall \bar{M}' \in R(M')$, 由 $\neg(\bar{M}_{(P,\tilde{p})}[t'] >)$ 可推知, $\neg(\bar{M}'[t'] >)$, 从而 Σ' 不活, 即 N' 不是结构活的, 矛盾, 所以 N 是结构活的。同理可证 \bar{N}_P 也是结构活的。

引理 3^[2] 设 N 是 DAC 网, $N = N_1 \cup N_2, N_1 \cap N_2 = \{s\}$, 其中 $s \in P, N_1$ 和 N_2 为 FC 网, N 是结构有界的, 当且仅当 N_1 和 N_2 都是结构有界的。

定理 1 设 N_1, N_2 是两个 FC 网, 它们共享一个 P-型子网 N_0 , 其共享 P-型子网合成网为 N , 则 N 是结构有界的, 当且仅当 N_1 和 N_2 都是结构有界的。

证明: (1)充分性。首先在 N_1, N_2 中应用 P-型子网抽象化操作 $Abs_P(N_P, \tilde{p})$, 把 P-型子网 N_0 抽象化为一个库所 \tilde{p} (即用 \tilde{p} 替换 N_0)。设抽象化后得到的 Petri 网分别为 N'_1, N'_2 , 显然仍为 FC 网。由引理 1 知, N'_1, N'_2 皆为结构有界的。对于 $N'_1, N'_2, N' = N'_1 \cup N'_2, N'_1 \cap N'_2 = \{\tilde{p}\}$, 由引理 3 得, N' 是结构有界的。由引理 1 知, N_0 的闭网 \bar{N}_0 也是结构有界的。在 N' 中应用 P-型子网精细化操作 $Re f_P(\tilde{p}, N_0)$, 用 N'_0 精细化 \tilde{p} (即用 N_0 替换 \tilde{p}), 得到网 N , 由于 N' 和 \bar{N}_0 都是结构有界的, 所以再根据引理 1 知, N 是结构有界的。

(2)必要性。采用反证法证明, 假设 N_1, N_2 中至少有一个不是结构有界的, 不妨设 N_1 不是结构有界的, 则由引理 1 知, N'_1 不是结构有界的, 显然 N' 不是结构有界的, 又由引理 1 知, N 不是结构有界的, 矛盾, 所以 N_1, N_2 都是结构有界的。

引理 4^[2] 设 N 是 DAC 网, $N = N_1 \cup N_2, N_1 \cap N_2 = \{s\}$, 其中 $s \in P, N_1$ 和 N_2 为 FC 网, N 是结构活结构有界的, 当且仅当 N_1 和 N_2 都是结构活结构有界的。

定理 2 设 N_1, N_2 是两个 FC 网, 它们共享一个 P-型子网 N_0 , 其共享子网合成网为 N , 则 N 是结构活结构有界的当且仅当 N_1 和 N_2 都是结构活结构有界的。

证明: (1)充分性。首先在 N_1, N_2 中应用 P-型子网抽象化操作 $Abs_P(N_P, \tilde{p})$, 把 P-型子网 N_0 抽象化为一个库所 \tilde{p} (即用 \tilde{p} 替换 N_0)。设抽象化后得到的 Petri 网分别为 N'_1, N'_2 , 显然仍为 FC 网。因为 N_1, N_2 是结构活结构有界的, 所

以由引理 2 知, N'_1, N'_2 皆为结构活的, 由引理 1 知, N'_1, N'_2 皆为结构有界的。对于 $N'_1, N'_2, N' = N'_1 \cup N'_2, N'_1 \cap N'_2 = \{\tilde{p}\}$, 由引理 4 得, N' 是结构活结构有界的。由引理 1 知, N_0 的闭网 \bar{N}_0 是结构有界的, 由引理 2 知, N_0 的闭网 \bar{N}_0 也是结构活的。在 N' 中应用 P-型子网精细化操作 $Re f_P(\tilde{p}, N_0)$, 用 N_0 精细化 \tilde{p} , 得到网 N , 由于 N' 和 \bar{N}_0 都是结构活结构有界的, 所以再根据引理 1 和引理 2 知, N 是结构活结构有界的。

(2)必要性。采用反证法, 假设 N_1, N_2 中至少有一个不是结构活结构有界的, 不妨设 N_1 不是结构活结构有界的, 则由引理 1 和引理 2 知, N'_1 不是结构活结构有界的, 显然 N' 不是结构活结构有界的, 又由引理 1 知, N 不是结构活结构有界的, 矛盾, 所以 N_1, N_2 都是结构活结构有界的。

下面将定理 2 推广到多个子网合成的情形。

引理 5^[2] 设 N 是 AC 网, $N = \cup_i N_i, N_i$ 为 FC 网, $i=1, 2, \dots, m, N_j \cap N_{j+1} = \{s_{j,j+1}\}, s_{j,j+1} \in P, j=1, 2, \dots, m-1$; 其它子网不交, 如果 N_i 是结构活的, 则 N 是结构活的。

定理 3 设 N_i 为 FC 网, $i=1, 2, \dots, m, N_j \cap N_{j+1} = \{N_{0(j,j+1)}\}, N_{0(j,j+1)}$ 是 P-型子网, $j=1, 2, \dots, m-1$; 其它子网不交, 设 $N = \cup_i N_i, (i=1, 2, \dots, m)$ 如果 N 是 AC 网并且 N_i 是结构活的, 则 N 是结构活的。

证明: 首先在 $N_i (i=1, 2, \dots, m)$ 中应用 P-型子网抽象化操作 $Abs_P(N_{0i}, p_i)$, 把 P-型子网 N_{0i} 抽象化为一个库所 p_i (即用 p_i 替换 N_{0i})。设抽象化后得到的 Petri 网分别为 $N'_i (i=1, 2, \dots, m)$, 显然仍为 FC 网。由于 $N_i (i=1, 2, \dots, m)$ 是结构活的, 所以由引理 2 知, $N'_i (i=1, 2, \dots, m)$ 也是结构活的。由于 $N_j \cap N_{j+1} = \{N_{0(j,j+1)}\}, N_{0(j,j+1)}$ 是 P-型子网, $j=1, 2, \dots, m-1$, 其它子网不交, 所以 $N'_j \cap N'_{j+1} = \{p_{j,j+1}\}, p_{j,j+1} \in P', j=1, 2, \dots, m-1$, 其它子网不交, 这里 $N' = \cup_i N'_i, i=1, 2, \dots, m$ 。由于 N 是 AC 网, 所以 N' 也是 AC 网; 由于 $N'_i (i=1, 2, \dots, m)$ 是结构活的, 根据引理 5 得, N' 是结构活的。由引理 2 知, $N_{0i} (i=1, 2, \dots, m)$ 的闭网 $\bar{N}_{0i} (i=1, 2, \dots, m)$ 也是结构活的。现在对 N' 应用 P-型子网精细化操作 $Re f_P(p_{j,j+1}, N_{0(j,j+1)}), (j=1, 2, \dots, m-1)$ 用 $N_{0(j,j+1)} (j=1, 2, \dots, m-1)$ 精细化 $p_{j,j+1}, (j=1, 2, \dots, m-1)$, (即用 $N_{0(j,j+1)} (j=1, 2, \dots, m-1)$ 替换 $p_{j,j+1}, (j=1, 2, \dots, m-1)$), 得到网 N , 由引理 2 知, N 是结构活的。

引理 6^[2] 设 $\Sigma = (N, M_0)$ 是 EDAC 网系统, 对应的子系统分别为 $\Sigma_1 = (N_1, M_0^1), \Sigma_2 = (N_2, M_0^2)$ 。 $N = N_1 \cup N_2$ 且 $N_1 \cap N_2 = S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, 其中 $s_i \in P, i=1, 2, \dots, n, n \geq 1$ 。如果 Σ_1 和 Σ_2 是活的有界的, 则 Σ 也是活的。

根据引理 6, 显然有:

定理 4 设 N 是 EDAC 网, 对应的子网分别是 N_1 和 N_2 。 $N = N_1 \cup N_2$ 且 $N_1 \cap N_2 = S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 其中 $s_i \in P, i=1, 2, \dots, n, n \geq 1$ 。如果 N_1 和 N_2 是结构活结构有界的, 则 N 也是结构活的。

定理 5 设 N_1 和 N_2 均为 FC 网, $N = N_1 \cup N_2$ 且 $N_1 \cap N_2 = \{N_{01}, N_{02}, \dots, N_{0n}\}$ 其中 $N_{0i} (i=1, 2, \dots, n, n \geq 1)$ 均为 P-型子网。如果 N_1 和 N_2 是结构活结构有界的, 则 N 也是结构活的。

证明: 首先在 N_1 和 N_2 中应用 P-型子网抽象化操作 $Abs_P(N_{0i}, p_i), (i=1, 2, \dots, n)$ 把 P-型子网 N_{0i} 抽象化为一个库所 p_i (即用 p_i 替换 N_{0i})。设抽象化后得到的 Petri 网分别为 N'_1 和 N'_2 , 显然仍为 FC 网。 $N'_1 \cap N'_2 = \{p_1, p_2, \dots,$

p_n }, 令 $N' = N'_1 \cup N'_2$ 。因为 N_1 和 N_2 是结构活结构有界的, 由引理 1 和引理 2 知, N'_1 和 N'_2 以及 $N_{0i} (i=1, 2, \dots, n)$ 的闭网 $\bar{N}_{0i} (i=1, 2, \dots, n)$ 都是结构活结构有界的。因为 N'_1 和 N'_2 是结构活结构有界的, 根据定理 4, N' 也是结构活的。现在对 N' 应用精细化操作 $Re\ f_F(p_i, N_{0i}) (i=1, 2, \dots, n)$, 用 $N_{0j} (j=1, 2, \dots, n)$ 精细化 $p_i (i=1, 2, \dots, m-1)$, 得到网 N , 由引理 2 知, N 是结构活的。

3 应用

以下将应用本文中刚才给出的 Petri 网共享 P-型子网合成方法对工厂-1 和工厂-2 共用一个车间中的两台机器生产两种不同部件的系统进行共享子系统建模和分析。

工厂-1 和工厂-2 各自准备好两种原材料后, 共用一个车间的两台机器为其生产两种不同部件。原材料-1 和原材料-2 分别在机器-1 和机器-2 上同时加工得到两种中间件, 这两种中间件分成两组分别同时在两台机器上进行改造加工形成两种不同的成品部件后分别传递给两个工厂, 工厂再将两部件进行装配得到成品, 工厂-1 用于销售, 工厂-2 按订单交货。先对两个子系统分别进行建模, 然后再对这两个子系统进行共享 P-型子网合成, 得到系统的整体模型。

图 2 给出了工厂-1 所对应的子系统的 Petri 网模型 (N_1)。

其中库所和变迁的含义如下:

p_1 : 原材料-1 和原材料-2; t_1 : 原材料-1 在机器-1 上加工; p_2 : 中间件-1; t_2 : 原材料-2 在机器-2 上加工; p_3 : 中间件-2; t_3 : 在机器-1 上加工完毕; p_4, p_6 : 中间件-1; t_4 : 在机器-2 上加工完毕; p_5, p_7 : 中间件-2; t_5 : 中间件-1 和中间件-2 在机器-1 上改造、装配加工; p_8 : 机器-1 处于空闲状态; t_6 : 中间件-1 和中间件-2 在机器-2 上改造、装配加工; p_9 : 粗糙部件-1; t_7 : 在机器-1 上对粗糙部件-1 进行精细加工; p_{10} : 粗糙部件-2; t_8 : 在机器-2 上对粗糙部件-2 进行精细加工; p_{11} : 机器-2 处于空闲状态; t_9 : 传递成品部件-1; p_{12}, p_{14} : 机器-1 处于空闲状态; t_{10} : 传递成品部件-2; p_{13} : 成品部件-1; t_{11} : 传递成品部件-1; p_{15}, p_{17} : 机器-2 处于空闲状态; t_{12} : 传递成品部件-2; p_{16} : 成品部件-2; t_{13} : 装配; p_{18} : 成品部件-1 和成品部件-2; t_{14} : 销售; p_{19} : 成品部件-1; t_{15} : 作下一步的生产计划; p_{20} : 成品部件-2; t_{16} : 备料; p_{21} : 成品; t_{17} : 传递原材料-1; p_{22} : 休整状态; t_{18} : 传递原材料-2; p_{23} : 下一步的生产计划; p_{24} : 原材料-1; p_{25} : 原材料-2。

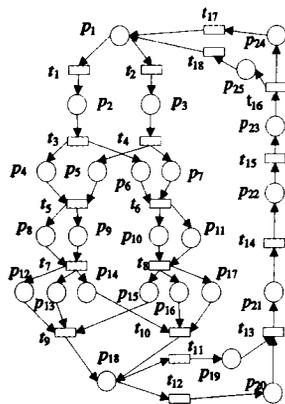


图 2 N_1

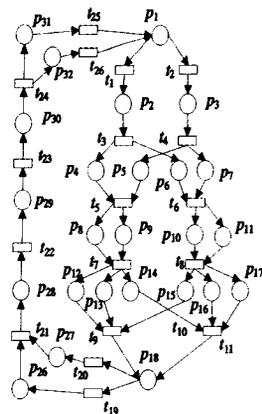


图 3 N_2

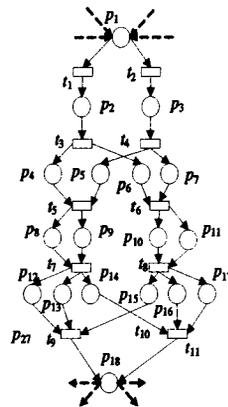


图 4 P-型子网

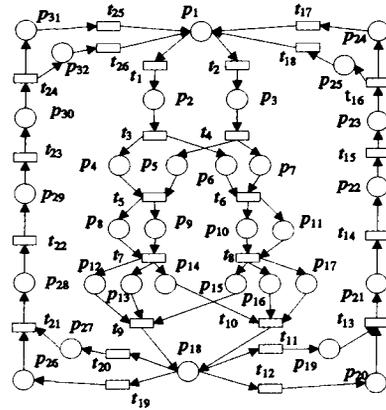


图 5 N

图 3 给出了工厂-2 所对应的子系统的 Petri 网模型 (N_2)。

其中部分库所和变迁的含义类似于图 1 中的说明。

p_{26} : 成品部件-1; t_{19} : 传递成品部件-1; p_{27} : 成品部件-2; t_{20} : 传递成品部件-2; p_{28} : 成品; t_{21} : 装配; p_{29} : 休整状态; t_{22} : 交货; p_{30} 订单; t_{23} : 接收订单; p_{31} : 原材料-1; t_{24} : 备料; p_{32} : 原材料-2; t_{25} : 传递原材料-1; t_{26} : 传递原材料-2。

因为工厂-1 和工厂-2 各自准备好两种原材料后, 共用一个车间的两台机器为其生产两种不同部件。即工厂-1 和工厂-2 可共享同一组资源。反映在 Petri 网模型上, 就是 N_1, N_2 进行共享 P-型子网合成, 得到共享 P-型子网合成网 (图 5), 即整体模型。

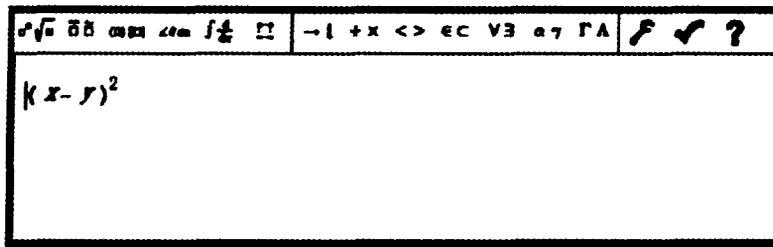


图 4 公式编辑界面

如公式 $(x+y)^2$ 在显示时生成的代码如下:

```

.....
//调用 Java Applet
<APPLET style="WIDTH: 129px; HEIGHT: 72px" height=72
archive =/whatyeditor/WhatyEditor/MathML/whatyMath.
jar width=129
align=middle code=WhatyMathML.ViewerControl)
//设置 Applet 的参数
<PARAM NAME="parser" VALUE="mathml">
<PARAM NAME="color" VALUE="# f5f5f5">
<PARAM NAME="size" VALUE="18">
//公式的 MathML 语言
<PARAM NAME="eq"
VALUE="
    <math>
      <mrow>
        <msup>
          <mrow>
            <mo></mo>
            <mi>x</mi>
            <mo>+</mo>
            <mi>y</mi>
            <mo></mo>
          </mrow>
        </msup>
        <mrow>
          <mn>2</mn>
        </mrow>
      </msup>
    </mrow>
  </math>
">
//Applet 的参数
<PARAM NAME = "style" VALUE = "WIDTH: 129px;
HEIGHT: 72px">
<PARAM NAME="height" VALUE="72">
<PARAM NAME = "archive" VALUE = "/whatyeditor/
WhatyEditor/MathML/whatyMath.jar">
<PARAM NAME="width" VALUE="129">
<PARAM NAME="align" VALUE="middle">
<PARAM NAME="code" VALUE="WhatyMathML.ViewerControl">
<PARAM NAME="codeBase" VALUE="http://localhost:

```

```

7001/252/student/res/look/">
</APPLET>

```

结束语 在网页上描述数学公式以及进行标准化整合, MathML 确实为我们提供了不错的选择。目前基于 XML 技术,不同的学科领域都有了各自的 ML 语言,用于科学数据与标记的表示与建模、交流与整合、汇总与发布,等等。例如,由 Peter Murray-Rust 开发的 CML (Chemical Markup Language)语言包含了原子、分子、化学键、光谱等标记,可用于描述分子结构和序列、光谱结构、结晶、固体物理、化学数据库等,它所定义的 MOL.DTD 也可由分子科学领域的研究人员共享。生物遗传学家和基因学家可以使用生物基因序列标记语言 (Bioinformatic Sequence Markup Language, BSML), 交换和管理由基因映射和基因序列对象产品的大量信息。BSML 的浏览器可让使用者搜索各种基因数据库,并可把最终片段显示成有意义的图谱。

可以想象,随着以 MathML 为代表的 XML 技术的不断发展,一定会进一步拓展 Web 的服务领域,使之获得更加广泛的应用。

参考文献

- 1 张海波,郭明宙.网络环境中数学公式实现方法的探讨[J].高等理科教育,2005(6)
- 2 吴教育,等.基于 MathML 数据库应用的三层 WEB 计算模式[J].东莞理工学院学报,2004(2)
- 3 李军国,张利昂.基于 XML 的网上数学表达式显示技术[J].北京大学学报(自然科学版),2003(5)
- 4 王红.动态 Web 数据库技术[M].北京:中国水利水电出版社,2006
- 5 XML 中国论坛.XML 实用进阶教程 [M].北京:清华大学出版社,2001

(上接第 278 页)

从图 2 和图 3 可看出, N_1, N_2 皆为结构活结构有界的 FC 网,其共享 P-型子网合成网为 N (图 5), 易见 N_1, N_2 共享子 P-型子网(图 4)合成满足定理 2 的条件,因此 N 是结构活结构有界的。

结论 为了解决系统建模中的子系统共享问题,提出了一种经由非对称选择网类共享 P-型子网构成共享 P-型子网合成网的解决方案;给出了合成网保持结构有界性和结构活性的充分条件或充要条件;实施 Petri 网的共享 P-型子网合成,可以实现合成网系统的资源共享和同步操作,解决系统的调度优化问题。文中的实例进一步展示了该方法的实际应用价值。下一步的研究工作是进一步推广共享子网合成网满足结构活性的保持性条件,并研究共享子网合成网系统对其它性质(如回归性等)的保持性问题。

参考文献

- 1 Badouel E, Darondeau Ph. The synthesis of Petri nets from path-automatic specifications. Information and Computation, 2004, 193: 117~135
- 2 林贵献,陆维明.可分解非对称选择网的活性和家态.计算机学报,2002,25(12):1325~1330
- 3 Jiao Li, Cheung To-Yat, Lu Weiming. On liveness and bounded-

- ness of asymmetric choice nets. Theoretical Computer Science, 2004, 311: 165~197
- 4 Franceschinis G, Gribaudo M, et al. Compositional Modeling of Complex Systems: Contact Center Scenarios in OsMoSys. In: Proc. the 25th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Bologna, Italy, 2004. 177~196
- 5 Juhás G, Lorenz R, et al. Synthesis of Controlled with Modules of Signal Nets. In: Proc. the 25th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Bologna, Italy, 2004. 238~257
- 6 Yoo Dong-Hoon, Lee Dong-Ik, et al. Operation Net System: A Formal Design Representation Model for High-Level Synthesis of Asynchronous Systems Based on Transformations. In: Proc. the 25th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Bologna, Italy, 2004. 435~453
- 7 Mäkelä M. Model checking safety properties in modular high-level nets. In: Proc. the 24th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Eindhoven, The Netherlands, 2003. 201~219
- 8 van Hee K, Sidorova N, et al. Soundness and separability of workflow nets in the stepwise refinement. In: Proc. the 24th International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Eindhoven, The Netherlands, 2003. 337~356
- 9 Bernardinello T, Ferigato C, et al. Towards modular synthesis of EN systems. In: Caillaud B, et al. eds. Synthesis and Control of Discrete Event Systems, Kluwer Academic Publishers, 2002. 103~113
- 10 夏传良,陆维明.论 Petri 网链路合成.系统工程理论与实践, 2005, 25(6): 19~26
- 11 夏传良.一种 Petri 网合成方法及其在系统建模中的应用.系统仿真学报, 2006, 18(2): 271~277
- 12 Jeng M D. A Petri net synthesis theory for modeling flexible manufacturing systems. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 1997, 27(2): 169~183