M-Petri 网及其性能分析*)

Analysis of Peculiarity for M-Petri Net

左凤朝　王文德

（聊城师范学院计算机科学系　聊城252059）

Abstract　The definition of M-Petri net is given in this paper. The conditions for consistency, conservativeness, structural boundedness and liveness are discussed on M-Petri net, and some deciding conditions of liveness are given.

Keywords　Petri net, M-Petri net, Liveness, Structural boundedness

Petri 网的应用越来越广泛，对其理论的研究也进一步深入，文[1]～[3]对 Petri 网的加法、笛积、广义笛积和并运算进行了一系列讨论，得到一些重要性质。对 Petri 网的活性研究，具有非常重要的理论和应用价值，也是 Petri 网理论工作者花费很大精力研究的问题[4,5]。但对一般 Petri 网的活性研究至今没有较为理想的解决方法。本文在 Petri 网的并运算的基础上提出了多重 Petri 网—M-Petri 网的概念，并讨论了 M-Petri 网的相容、守恒、有界性质以及活性，给出若干结构有界的判定条件。

1　基本概念

定义1　设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$。记 $S_0=\bigcap_{i=1}^{m}S_i\neq\Phi$，$T_0=\bigcap_{i=1}^{m}T_i\neq\Phi$，$N=(S,T;F)$，其中 $S=\bigcup_{i=1}^{m}S_i$，$T=\bigcup_{i=1}^{m}T_i$，$F=\bigcup_{i=1}^{m}F_i$，则 N 称为网 $N_1,N_2,\cdots,N_m$ 的多重网，记为 $N^M=\bigcup_{i=1}^{m}N_i$，其中 $\forall s\in S=\bigcup_{i=1}^{m}S_i$，$N^M=\bigcup N_i$，且

$$M_0(s)=\begin{cases}M_0(s),s\in S_i,S_i\cap(\bigcup_{j\neq i}S_j)=\Phi\\ \max\limits_{i_1\leqslant j\leqslant i_k}\{M_{0j}(s)\},s\in\bigcap_{j=i_1}^{i_k}S_j,1\leqslant i_1,i_2,\cdots,i_k\leqslant m\end{cases}$$

则称 Petri 网 $\sum^M$ 为 $\sum_1,\sum_2,\cdots,\sum_m$ 的多重 Petri 网，简称为 M-Petri 网，记 $\sum^M=\bigcup\sum_i$。

定义2　M-Petri 网 $\sum^M$ 称为有界的，如果 $\exists k>0$，$\forall M\in R(M_0)$，$\forall s_i\in S:M(s_i)\leqslant k$。

定义3　M-Petri 网 $N=(S,T;F)$ 称为是结构有界的，如果对任意一个初始标识 M_0，(N,M_0) 是有界的，

定义4　M-Petri 网 $N=(S,T;F)$ 称为守恒的，如果存在 m 维向量 $Y>0$，使得 $\forall M_0$ 及 $\forall M\in R(M_0)$ 有：

$$\sum_{i=1}^{m}Y(i)M(s_i)=\sum_{i=1}^{m}Y(i)M_0(s_i),\forall s_i\in S$$

定义5　M-Petri 网 $N=(S,T;F)$ 称为是相容的，如果存在一个初始标识 M_0 和一个变迁序列 σ，使得 $M_0[\sigma>M_0$ 且 $\forall t_i\in T:\#(t_i/\sigma)\geqslant 1$。其中 $\#(t_i/\sigma)$ 为 t_i 在 σ 中出现的次数。

2　M-Petri 网的性质

定理1　设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$ 是纯网（后面的定理中 N_i 均设为纯网），$N^M=\bigcup N_i$。若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是可重复网，且 $\forall i,j$，${}^{\cdot}(T_i\cap T_j)\cup(T_i\cap T_j)^{\cdot}\subseteq S_i\cap S_j$，$i,j=1,2,\cdots,m$，则 N^M 也是可重复的。

证明：设网 $N^M,N_1,\cdots,N_m$ 的关联矩阵分别为 $C,C_1,\cdots,C_m$，它们的行数和列数相同，且相同标号的行（或列）对应相同的位置（或变迁），不过在 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 不出现的位置（或变迁）用一行（或一列）的元素全部为零代替（下面提到的关联矩阵都是这样构造的）。

因为 N_i 是可重复网，所以存在非负整数向量 $X_i\geqslant 0$，$i=1,2,\cdots,m$（在 N_i 中关联矩阵为零的列对应 X_i 的分量为零，其他非零），使 $C_iX_i\geqslant 0$。又因为 $\forall i,j$，${}^{\cdot}(T_i\cap T_j)\cup(T_i\cap T_j)^{\cdot}\subseteq S_i\cap S_j$，$T_i\cap T_j(i,j=1,2,\cdots,m)$ 在关联矩阵 C,C_i,C_j 中对应的列向量元素完全相同。T_i-T_j 在关联矩阵 C,C_i 中对应的列向量元素完全相同，T_j-T_i 在关联矩阵 C,C_j 中对应的列向量元素完全相同。X_i 中对应于 T_j-T_i 的分量为零。X_j 中对应于 T_i-T_j 的分量为零。从而：

$$CX_i=C_iX_i\geqslant 0,\ CX_j=C_jX_j\geqslant 0,$$

$$C(X_i+X_j)=CX_i+CX_j=C_iX_i+C_jX_j\geqslant 0$$

*）山东省自然科学基金资助课题。

设 $X=\sum_{i=1}^{m}X_i$，则

$$CX=C\sum_{i=1}^{m}X_i=\sum_{i=1}^{m}CX_i=\sum_{i=1}^{m}C_iX_i>0$$

所以 $X>0$，故 N^M 是可重复网。

同样可以证明：

定理2 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)$，$N^M=\bigcup N_i$，若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是相容的，且 $\forall i,j$，$^{\cdot}(T_i\cap T_j)\cup(T_i\cap T_j)^{\cdot}\subseteq S_i\cap S_j$，$i,j=1,2,\cdots,m$，则 N^M 也是相容的。

定理3 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)$，$(i=1,2,\cdots,m)$ 是结构有界的，$N^M=\bigcup N_i$，网 $N^M,N1,\cdots,N_m$ 的关联矩阵分别为 $C,C_1,\cdots,C_m$。若满足 $C_i^TY_i\leqslant 0$ 的非负数 n 维向量 Y_i（Y_i 对应于 $S_i-\bigcup_{j\neq i}S_j$ 的位置分量为零，$|S|=n$，$i=1,2,\cdots,m$），存在正整数 k_i 使得 $\forall s\in S_0$，$k_1Y_1(s)=k_2Y_2(s)=\cdots=k_mY_m(s)$，且 $^{\cdot}T_0\cap T_0^{\cdot}\subseteq S_i(i=1,2,\cdots,m)$，则 N^M 也是结构有界的。

证明：设矩阵 C_{ii} 为矩阵 $C_k(k\neq i)$ 把 T_0 所对应列的所有元素变为零所得到的矩阵之和构造 n 维向量 Y，使 $Y(s)=\{k_iY_i(s)\mid s\in S_i-S_0,i=1,2,\cdots,m\}$。由矩阵 C_{ii} 的构造和 $^{\cdot}T_0\cup\dot{T}_0^{\cdot}S_i(i=1,2,\cdots,m)$，有 $C=C_i+C_{ii}$。从而：

$$C^TY=(C_i^T+C_{ii}^T)Y=C_i^TY+(\sum_{j\neq i}C_{ji}^T)Y=C_i^Tk_iY_i+\sum_{j\neq i}C_{ji}^T(k_jY_j)$$

$$=k_i(C_i^TY_i)\sum_{j\neq i}k_i(C_{ji}^TY_j)\leqslant 0$$

而 $C_{ji}^TY_j=0(j\neq i)$，所以，$C^TY\leqslant 0$，故 N^M 是结构有界的。

同样可以证明：

定理4 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$ 是守恒的，$N^M=\bigcup N_i$，网 $N^M,N_1,\cdots,N_m$ 的关联矩阵分别为 $C,C_1,\cdots,C_m$。若(1) $^{\cdot}T_0\cup T_0^{\cdot}\subseteq S_i(i=1,2,\cdots,m)$；(2) 满足 $C_i^TY_i=0$ 的非负整数 n 维向量 $Y_i(i=1,2,\cdots,m)$（向量的构造同定理3），存在 m 个整数 k_i，使得 $\forall s\in S_0$，$k_1Y_1(s)=k_2Y_2(s)=\cdots=k_mY_m(s)$，则 N^M 是守恒的。

定理5 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$ 是可重复的，$N^M=\bigcup N_i$，网 $N^M,N_1,\cdots,N_m$ 的关联矩阵分别为 $C,C_1,\cdots,C_m$。若(1) $^{\cdot}S_0\cup S_0^{\cdot}\subseteq T_i(i=1,2,\cdots,m)$；(2) 满足 $C_i^TX_i=0$ 的非负整数 n 维向量 $X_i(i=1,2,\cdots,m)$（T-T_i 中的变迁在 X_i 中对应的分量为零，其它非零，$|T|=n$），存在 m 个整数 $k_i(i=1,2,\cdots,m)$，使得 $\forall t\in T_0$，$k_1X_1(t)=k_2X_2(t)=\cdots=k_mX_m(t)$，则 N^M 是可重复的。

定理6 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$ 是相容的，$N^M=\bigcup N_i$，网 $N^M,N_1,\cdots,N_m$ 的关联矩阵分别为 $C,C_1,\cdots,C_m$。若(1) $^{\cdot}S_0\cup S_0\subseteq T_i(i=1,2,\cdots,m)$；(2) 满足 $C_iX_i=0$ 的非负整数 n 维向量 $X_i(i=1,2,\cdots,m)$（向量的构造同定理5），存在 m 个整数 k_i，使得 $\forall t\in T_0$，$k_1X_1(t)=k_2X_2(t)=\cdots=k_mX_m(t)$，则 N^M 是相容的。

定理7 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$ 结构有界，$N^M=\bigcup N_i$，$S_0\cup S_0^{\cdot}\subseteq T_i(i=1,2,\cdots,m)$，则 N^M 也是结构有界的。

定理8 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$ 是守恒的，$N^M=\bigcup N_i$，$^{\cdot}S_0\cup S_0\subseteq T_i(i=1,2,\cdots,m)$，则 N^M 也是守恒的。

定理9 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)$ $(i=1,2,\cdots,m)$，$N^M=\bigcup N_i$。若 $\forall T_i,T_j$ 有 $T_i\cap T_j=\Phi$，$S_0\neq\Phi$，$C,C_1,\cdots,C_m$ 分别是网 $N^M,N_1,\cdots,N_m$ 的关联矩阵，则有：(1)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是可重复的，则 N^M 也是可重复的；(2)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是相容的，则 N^M 也是相容的；(3)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是结构有界的，且满足 $C_i^TY_i\leqslant 0$ 的非负整数 n 维向量 $Y_i(i=1,2,\cdots,m)$（向量的构造同定理3），存在 m 个整数 k_i，使得 $\forall s\in S_0$，$k_1Y_1(s)=k_2Y_2(s)=\cdots=k_mY_m(s)$，则 N^M 是结构有界的；(4)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是守恒的，且满足 $C_i^TY_i=0$ 的非负整数 n 维向量 $Y_i(i=1,2,\cdots,m)$（向量的构造同定理3），存在 m 个整数 k_i，使得 $\forall s\in S_0$，$k_1Y_1(s)=k_2Y_2(s)=\cdots=k_mY_m(s)$，则 N^M 是守恒的。

定理10 设有网 $N_i=(S_i,T_i;F_i)(i=1,2,\cdots,m)$，$N=\bigcup N_i$。若 $\forall S_i,S_j$，$S_i\cap S_j=\Phi$，$T_0\neq\Phi$，$C,C_1,\cdots,C_m$ 分别是网 $N^M,N_1,\cdots,N_m$ 的关联矩阵，则有：(1)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是结构有界的，则 N^M 也是结构有界的；(2)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是守恒的，则 N^M 也是守恒的；(3)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是可重复的，且满足 $C_iX_i\geqslant 0$ 的非负整数 n 维向量 $X_i(i=1,2,\cdots,m)$（向量的构造同定理5），存在 m 个整数 k_i，使得 $\forall t\in T_0$，$k_1X_1(t)=k_2X_2(t)=\cdots=k_mX_m(t)$，则 N^M 是可重复的；(4)若 $N_i(i=1,2,\cdots,m)$ 是相容的，且满足 $C_iX_i=0$ 的非负整数 n 维向量 $X_i(i=1,2,\cdots,m)$（向量的构造同定理5），存在 m 个整数 k_i，使得 $\forall t\in T_0$，$k_1X_1(t)=k_2X_2(t)=\cdots=k_mX_m(t)$，则 N^M 是守恒的。

3 举例

设图1中 $\sum_1$、$\sum_2$、$\sum_3$、$\sum_4$ 是相容的、守恒的、结构有界的，且 $N^M=N_1\cup N_2\cup N_3\cup N_4$ 满足定理3，4，6，7，所以 $\sum^M$ 也是相容的、守恒的和结构有界的。

（下转第115页）

反汇编，并附有帮助阅读的注释信息、每年售出数十万套。而反编译系统的功能、作用以及效果远远超过反汇编工具，因此市场前景非常广阔。未来主要应用的领域可能在以下几个方面：

1. 软件的改造和维护。从成本进行分析、有时改造已有软件要比重新研制新软件经济得多。但是由于软件开发商一般不提供高级语言编写的软件源代码或者要价太高、因此使用反编译器将可执行代码翻译成源语言、有助于用户阅读和理解程序，国内已有借助 DECLER[5]成功解决软件汉化所遇到的困难问题。

2. 软件开发环境中的程序调试工具。反编译技术可以应用到软件开发环境中的高级语言的调试过程中。现有的一些 DEBUG 调试器如 Codeview，只能调试带符号表的没有优化的可执行程序。调试反编译生成的中间语言代码比汇编语言方便、比高级语言容易。

3. 安全要求极高的程序验证。在安全性要求极高的软件中，源程序通常不经过编译优化，因此反编译要容易得多。通过将源程序和反编译后的程序相比较、可以进一步确认软件的可靠性。

4. Internet 上应用。学习 Internet 大量免费软件的设计思想和方法。

反编译的文献很难找到，作者认为这与反编译的研究极其困难有关。综合分析近年来国内外有关资料，针对特定机器、特定语言和特定编译版本的反编译技术基本成熟，所研制的反编译在一定条件下能达到实用程度。随着计算机软硬件技术的不断进步、反编译研究面临如下问题：1)复合数据类型恢复，准确率低或根本无法识别；2)通用性和适用性不强；3)反编译器的跨平台、跨机型构造；4)输入代码的规范描述。其中数据结构恢复最困难。

参 考 文 献

1 Illingworth V. Dictionary of Computing、3rd edn. Oxford University Press，1990

2 Bowen J P，Stavridou V. Safety-critical systems，formal methods and standards，Software Engineering Journal，1993. To appear Also issued as a Programming Research Group Technical Report PRG-TR-5-92. 1993

3 John W. Logical Copyright，IEE Review 40 1，1994. 40～41

4 刘宗田、陈复安. 反编译技术研究现状及面临的问题. 计算机科学，1992，19(6)：55～58

5 刘宗田. DECLER 用户使用手册 合肥工业大学微机所，1995. 3

6 Moore C. Renaissance development. In：Proc. of the Fifth Annual Embedded Systems Conf. Part vol. 2，1993 257～265

7 Bowen J. From programs to object code and back again using logic programming：compilation and decompilation Journal of Software Maintenance：Research and Practice，1993，5(4)：205～234

8 赵磊，王开铸. C 反编译控制流恢复的形式化描述及算法. 计算机学报，1998，21(1)：87～91

9 申例民，等. 基于 CFA 和 DTA 的逆编译方法. 小型微型计算机系统，1998(19)：19～23

(上接第121页)

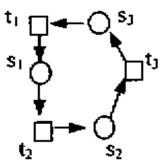

图1 $\sum_1$

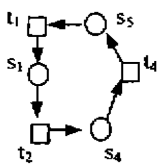

图2 $\sum_2$

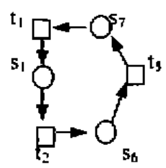

图3 $\sum_3$

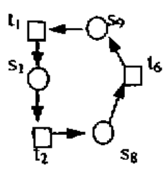

图4 $\sum_4$

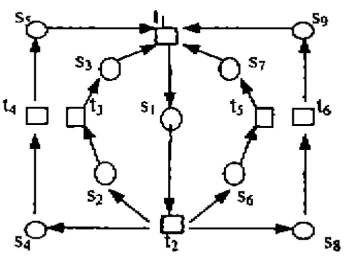

图5 $\sum^{M}$

参 考 文 献

1 Jiang C J、Wu Z H. Net Operations. Journal of Computer Science and Technology、1992，9(4)：333～344

2 蒋昌俊. Petri 网的广义笛积运算. 自动化学报，1993，19(6)，745～748

3 王培良，蒋昌俊. Petri 网的并运算(I). 西北大学学报，1997，27(增)：111～114

4 李孝忠、曹德范、杜玉越，左凤朝. Petri 网的两类广义组合加网. 计算机科学、1999，26(6) 增刊：143～146