第26卷 第1期
2000年1月

自 动 化 学 报
ACTA AUTOMATICA SINICA

Vol. 26, No. 1
Jan., 2000

短 文

Petri 网连接过程中的行为关系[1)]

蒋昌俊
（同济大学电子与信息工程学院 上海 200092）
（合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230063）
（山东矿业学院计算模型与算法研究所 泰安 271019）
王怀清 廖少毅
（香港城市大学资讯系统学系 香港九龙塘）

摘 要 先前的 Petri 网模型的综合研究着重在性质的保持性方面，象活性、可达性和回归性. 然而，系统行为关系的保持性研究应该更为重要. 本文研究了 Petri 网模型自环连接、抑止弧连接和同步连接三种操作的行为关系，获得他们的语言关系公式，这些结果为 Petri 网模型综合过程中的动态行为分析提供了形式工具.

关键词 模型，Petri 网，连接，行为.

THE BEHAVIOR RELATION IN CONNECTION PROCESS FOR THE PETRI NET MODEL

JIANG Changjun
(*Inst. of Infor. Eng., Tongji Univ., Shanghai* 200092)
(*Inst. of Infor. Eng., Univ. of Hefei Sci. & Tech., Hefei* 230063)
(*Dept. of Comp. Sci., Shandong Inst. of Min. & Tech., Shandong, Taian* 271019)
WANG Huaiqing LIAO Shaoyi
(*Dept. of Infor. Syst., City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong*)

Abstract Existing research on the synthesis of Petri net models focuses on preserving system properties, such as liveness, reachability, and reversibility. Such research overlooked the importance of system behavior relation preservation models. In this paper, we discuss three important connection operations: self-loops, inhibitor arcs and synchronisation, in order to model system behavior characteristics. Their behavior relation formulas have been obtained by two transformations to these operations. Furthermore, we formally prove that these three connection operations satisfy the behavior invariance. These results support a formal tool for dynamic analysis of Petri net models in synthesis process.

Key words Model, Petri net, connection, behavior.

1) 国家自然科学基金、山东省优秀青年科学家基金、山东省自然科学基金和山东省计划资助项目.
收稿日期 1997-07-31 收修改稿日期 1999-01-25

1 引言

Petri 网作为系统模拟与分析的有效工具已被广泛应用,尤其在并发系统中更显示出其独有的优越性. 文[1]中提出了逻辑控制系统 Petri 网模型的三种连接操作,讨论它们对不变量等保持问题,文[2]讨论了它们对可达性和回归性的保持条件,文[3]研究了它们对活性的保持关系,文[4]拓广了文[1]中的简单同步操作,讨论了其相容性的关系. 本文就文[1～4]中的三种操作的行为关系进行研究,获得了相应的语言关系公式.

2 连接操作的语言关系

设 Petri 网 $\Sigma=\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle=(P,T;F,\boldsymbol{M}_0)$,令 $L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)=\{\sigma|\sigma\in T^*)\wedge(\boldsymbol{M}_0[\sigma\rangle)\}$为 Σ 的语言. 为方便起见,在不改变原意的前提下,三种连接操作[1]被定义如下:

定义1. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$,$i=1,2$,是两个 Petri 网,$P_1\cap P_2=\varnothing$,$T_1\cap T_2=\varnothing$,令 $\Sigma=(P,T;F,\boldsymbol{M}_0)$,使得

1)$P=P_1\cup P_2$;

2)$T=T_1\cup T_2$;

3)$F=F_1\cup F_2\cup\{(p^{(i)},t^{(3-i)}),(t^{(3-i)},p^{(i)})\,|\,(p^{(i)}\in P_i)\wedge(t^{(3-i)}\in T_{3-i})\wedge(i=1,2)\wedge$ ($p^{(i)}$与 $t^{(3-i)}$之间有一个自环)};

4)$\boldsymbol{M}_0(p)=\boldsymbol{M}_{0i}(p)$,if $p\in P_i$,$i=1,2$;

则称 Σ 是 Σ_1和 Σ_2的自环连接网,记作 $\Sigma=\Sigma_1\mathrm{O}\Sigma_2$.

定义2. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,M_{0i})$,$i=1,2$,是两个 Petri 网,若 $P_1\cap P_2=\varnothing$, $T_1\cap T_2=\varnothing$,令 $\Sigma=(P,T;F,E,\boldsymbol{M}_0)$,使得

1)$P=P_1\cup P_2$;

2)$T=T_1\cup T_2$;

3)$F=F_1\cup F_2\cup\{(p^{(i)},t^{(3-i)}),(t^{(3-i)},p^{(i)})\,|\,(p^{(i)}\in P_i)\wedge(t^{(3-i)}\in T_{3-i})\wedge(i=1,2)\wedge$ ($p^{(i)}$和 $t^{(3-i)}$之间有一条抑止弧)};

4)$\boldsymbol{M}_0(p)=\boldsymbol{M}_{0i}(p)$,if $p\in P_i$,$i=1,2$;

则称 Σ 为 Σ_1和 Σ_2的抑止弧连接网,记作 $\Sigma=\Sigma_1\Theta\Sigma_2$.

定义3. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$,$i=1,2$,是两个 Petri 网,若 $P_1\cap P_2=\varnothing$,$T_1\cap T_2\neq\varnothing$,令 $\Sigma=(P,T;F,\boldsymbol{M}_0)$,使得

1)$P=P_1\cup P_2$;

2)$T=T_1\cup T_2$;

3)$F=F_1\cup F_2$;

4)$\boldsymbol{M}_0(p)=\boldsymbol{M}_{0i}(p)$,if $p\in P_i$,$i=1,2$;

则称 Σ 为 Σ_1和 Σ_2的同步连接网,记作 $\Sigma=\Sigma_1\oplus\Sigma_2$.

在下面的讨论中,首先讨论操作$\oplus$对语言的保持关系,然后分别讨论 O 和 Θ 对语言的保持关系.

定义4. 设 X 是一个有限字母表,$Y\subseteq X$. 1)令 $\Gamma_{X\to Y}:X^*\to Y^*$,使得$\forall\,\sigma\in X^*$,且

$\Gamma_{X\to Y}(\sigma)$是从 σ 中删除 $X-Y$ 中的所有字符后的剩余子串，则 $\Gamma_{X\to Y}$被称为从 X 到 Y 的一个投影映射. 2)令 $\Gamma_{Y\to X}^{-1}: Y^* \to X^*$，使得$\forall\ \sigma' \in Y^*$，且 $\Gamma_{Y\to X}^{-1}(\sigma')=\{\sigma|(\sigma\in X^*)\wedge(\Gamma_{X\to Y}(\sigma)=\sigma')\}$，则 $\Gamma_{Y\to X}^{-1}$被称为从 Y 到 X 的一个投影映射，这里“$*$”是语言的闭包运算.

定义5. 设 X 是一个字母表，$Y\subseteq X$，L_X 和 L_Y 分别是 X 和 Y 上的语言. 令 $\Gamma_{X\to Y}(L_X)=\{\Gamma_{X\to Y}(\sigma)\in Y^*\ |\ \forall\ \sigma\in L_X\}$和 $\Gamma_{Y\to X}^{-1}(L_Y)=\bigcup_{\forall\ \sigma'\in L_Y}\Gamma_{Y\to X}^{-1}(\sigma')$，则 $\Gamma_{X\to Y}(L_X)$被称为 L_X 的从 X 到 Y 的投影语言，$\Gamma_{Y\to X}^{-1}(L_Y)$被称为 L_Y 的从 Y 到 X 的扩展语言.

定理1. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$，$i=1,2$，是两个 Petri 网，若 $\Sigma=\Sigma_1\oplus\Sigma_2\triangleq(P,T;F,\boldsymbol{M}_0)$，则 $L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)=\Gamma_{T_1\to T}^{-1}(L(\langle N_1,\boldsymbol{M}_{01}\rangle))\cap\Gamma_{T_2\to T}^{-1}(L(\langle N_2,\boldsymbol{M}_{02}\rangle))$.

证明. $\forall\ \sigma\in L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)$，记 $\sigma=\sigma[1]\sigma[2]\cdots\sigma[g]\in(T_1\cup T_2)^*$，令 $\sigma_i\leftarrow\varepsilon$(空串). 由于 $\boldsymbol{M}_0[\sigma\rangle$，分下面情况讨论：

1)若 $\sigma[1]\in T_1-T_2$，则知 $\boldsymbol{M}_1=(\boldsymbol{M}_{11}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{M}_{12}^{\mathrm{T}})^{\mathrm{T}}$，使得 $\boldsymbol{M}_{01}[t_{i_1}\rangle\boldsymbol{M}_{11}\wedge\boldsymbol{M}_{12}=\boldsymbol{M}_{02}$，从而令 $\sigma_1\leftarrow\sigma_1\circ t_{i_1}$；

2)若 $\sigma[1]\in T_2-T_1$，则知 $\boldsymbol{M}_1=(\boldsymbol{M}_{11}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{M}_{12}^{\mathrm{T}})^{\mathrm{T}}$，使得 $\boldsymbol{M}_{02}[t_{i_1}\rangle\boldsymbol{M}_{12}\wedge\boldsymbol{M}_{11}=\boldsymbol{M}_{01}$，从而令 $\sigma_2\leftarrow\sigma_2\circ t_{i_1}$；

3)若 $t_{i_1}\in T_1\cap T_2$，则知 $\boldsymbol{M}_1=(\boldsymbol{M}_{11}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{M}_{12}^{\mathrm{T}})^{\mathrm{T}}$，使得 $\boldsymbol{M}_{01}[t_{i_1}\rangle\boldsymbol{M}_{11}\wedge\boldsymbol{M}_{02}[t_{i_1}\rangle M_{12}$，从而令 $\sigma_1\leftarrow\sigma_1\circ t_{i_1}\wedge\sigma_2\leftarrow\sigma_2\circ t_{i_1}$.

对于 $\boldsymbol{M}_2,\boldsymbol{M}_3,\cdots$，类似地进行下去，直到 $\boldsymbol{M}_g$ 为止. 最终我们得到 σ_1,σ_2，使得(σ_i 是 σ 的子串，$\sigma_i\in T_i^*$)$\wedge(\boldsymbol{M}_{0i}[\sigma_i\rangle\boldsymbol{M}_{ki})\wedge(i=1,2)$，这样 $\sigma_i=\Gamma_{T\to T_i}(\sigma)\in L(\Sigma_i)$，从而 $\Gamma_{T_i\to T}^{-1}(\sigma_i)\subseteq\Gamma_{T_i\to T}^{-1}(L(\Sigma_i))$，$i=1,2$. 也即 $\sigma\in\Gamma_{T_1\to T}^{-1}(L(\Sigma_1))\cap\Gamma_{T_2\to T}^{-1}(L(\Sigma_2))$，从而 $L(\Sigma)\subseteq\Gamma_{T_1\to T}^{-1}(L(\Sigma_1))\cap\Gamma_{T_2\to T}^{-1}(L(\Sigma_2))$.

逆推上述过程易证 $\Gamma_{T_1\to T}^{-1}(L(\Sigma_1))\cap\Gamma_{T_2\to T}^{-1}(L(\Sigma_2))\subseteq L(\Sigma)$.

综合上述则知 $L(\Sigma)=\Gamma_{T_1\to T}^{-1}(L(\Sigma_1))\cap\Gamma_{T_2\to T}^{-1}(L(\Sigma_2))$.

定义6. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$，$i=1,2$是两个 Petri 网，$\Sigma=\Sigma_1\mathrm{O}\Sigma_2=(P,T;F,\boldsymbol{M}_0)$，若 $\Delta T_{3-i}=\{t^{(3-i)}|\forall\ t^{(3-i)}\in T_{3-i},\text{if}\exists\ p^{(i)}\in P_i:(p^{(i)},t^{(3-i)}),(t^{(3-i)},p^{(i)})\in F\}$，令 $\phi(\Sigma_i)=(\hat{P}_i,\hat{T}_i;\hat{F}_i,\hat{\boldsymbol{M}}_{0i})$，使得

1)$\hat{P}_i=P_i$；

2)$\hat{T}_i=T_i\cup\Delta T_{3-i}$；

3)$\hat{F}_i=F\cap((\hat{P}_i\times\hat{T}_i)\cup(\hat{T}_i\times\hat{P}_i))$；

4)$\hat{\boldsymbol{M}}_{0i}(p)=\boldsymbol{M}_{0i}(p)$，if $p\in P_i$；

则称 $\phi(\Sigma_i)$为 Σ_i 的自环扩张网，$i=1$ or 2.

定理2. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$，$i=1,2$，是两个 Petri 网，则

$L(\phi(\langle N_i,\boldsymbol{M}_{01}\rangle))=\{\hat{\sigma}_i\,|\,\forall_i\sigma\in L(\langle N_i,\boldsymbol{M}_{0i}\rangle)\}$，note $\sigma_i=\sigma'_i t^{(i)}\sigma''_i$， if $p^{(i)}\in{}^{\cdot}t^{(i)}$，$\exists\ t^{(3-i)}\in\Delta T_{3-i}:(p^{(i)},t^{(3-i)}),(t^{(3-i)},p^{(i)})\in F$， then $\hat{\sigma}_i=\sigma_i(t^{(3-i)})^{\cdot}\ t^{(i)}\sigma''_i\}$.

证明. $\forall\ \sigma_i\in L(\langle N_i,\boldsymbol{M}_{0i}\rangle)$，$\exists\ M_i\in R(\boldsymbol{M}_{0i})$，使得 $M_{0i}[\sigma_i\rangle\boldsymbol{M}_i$，记 $\sigma_i=\sigma'_i t^{(i)}\sigma''_i$，则有 $\boldsymbol{M}_{0i}[\sigma'_i\rangle\boldsymbol{M}'_i[t^{(i)}\rangle\boldsymbol{M}_i^{(t^{(i)})}[\sigma''_i\rangle\boldsymbol{M}_i^*$，又 $p^{(i)}\in{}^{\cdot}t^{(i)}$，则 $\boldsymbol{M}'_i(p^{(i)})>0$，由于在 $p^{(i)}$和 $t^{(3-i)}$之间存在一个自环，这里 $t^{(3-i)}\in\Delta T_{3-i}\subseteq T_{3-i}$，因此 $\mathrm{M}'_i[t^{(3-i)}>\boldsymbol{M}'_i$，据定义6，在 $\phi(\Sigma_i)$中有 $\hat{\boldsymbol{M}}_0\circ[\sigma'_i\rangle\boldsymbol{M}'_i[t^{(3-i)}\rangle\boldsymbol{M}'_i[t^{(i)}\rangle\boldsymbol{M}_i^{(t^{(i)})}[\sigma''_i\rangle\boldsymbol{M}''_i$，这样 $\hat{\sigma}=\sigma_i\cdot(t^{(3-i)})^*\cdot t^{(i)}\cdot\sigma''_i\in L(\langle\phi(N_i,\boldsymbol{M}_{0i})\rangle)$，因

此结果为真.

推论1. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$，$i=1,2$，是两个 Petri 网，$\Sigma=\Sigma_1 \mathrm{O} \Sigma_2=(P,T;F,\boldsymbol{M}_0)$，则 $L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)=\Gamma^{-1}_{\bar{T}_1\to T}(L(\phi(\langle N_1,\boldsymbol{M}_{01}\rangle)))\cap\Gamma^{-1}_{\bar{T}_2\to T}(L(\phi(\langle N_2,\boldsymbol{M}_{02}\rangle)))$.

由于文[1]中限定每个子网均对应一个有限状态机，也就是子网中任何变迁 t，都有 $|t^{\cdot}|=|{}^{\cdot}t|=1$；而且每个自动机只有开始位置标记一个 token，其余的位置均无 token. 并称满足这两个条件的网为基本控制任务网(ECT).

定义7. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$，$i=1,2$，是两个(ECT)Petri 网，抑止弧集 $E=\{(p^i_j,t^{(3-i)}_j)\,|\,j=1,2,\cdots,r;i=1,2\}$，记 $\Delta P^{(i)}_j$ 是从 $p^{(i)}_j$ 可达的位置集，$\Delta P^{(i)}_j\subseteq P_i$，$\Sigma=\Sigma_1\Theta\Sigma_2=(P,T;F,E,\boldsymbol{M}_0)$，令 $\Phi(\Sigma)=(\overline{P},\overline{T};\overline{F},\overline{\boldsymbol{M}}_0)$，使得

1)$\overline{P}=P\cup\{\Delta P^{(i)}_j\,|\,i=1,2;j=1,2,\cdots,r\}$；

2)$\overline{T}=T$；

3)$\overline{F}=F\cup\Delta F$，这里 $\Delta F=\{(\Delta P^{(i)}_j,t^{(3-i)}_j),(t^{(3-i)}_j,\Delta P^{(i)}_j)\,|\,i=1,2;j=1,2,\cdots,r\}$被称为多元自环集；

4)$\overline{\boldsymbol{M}}_0=\boldsymbol{M}_0$；

5)$\overline{\Sigma}$ 为删除 Σ 中所有自环$(\Delta P^{(i)}_j,t^{(3-i)}_j)$，$i=1,2;j=1,2,\cdots,r$ 后所得到的网；

6)引发规则：

6.1) 对于非多元自环网部分遵守 Petri 网的原引发规则，

6.2) 对于多元自环部分，若$(\Delta P^{(i)}_j,t^{(3-i)}_j),(t^{(3-i)}_j,\Delta P^{(i)}_j)\in\Delta F$，$t^{(3-i)}_j$ 在状态 $\overline{\boldsymbol{M}}\in R(\overline{\boldsymbol{M}}_0)$下是使能的当且仅当，

6.2.1) $\forall\ p\in{}^{\cdot}t^{(3-i)}_j:\overline{\boldsymbol{M}}(p)>0$，

6.2.2) $\exists\ p\in\Delta P^{(i)}_j:\overline{\boldsymbol{M}}(p)>0$；

则称 $\Phi(\Sigma)$为 Σ 的多元自环网.

定理3. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$，$i=1,2$，是两个(ECT)Petri 网，$\Sigma=\Sigma_1\Theta\Sigma_2=(P,T;F,E,\boldsymbol{M}_0)$. $\Phi(\Sigma)=(\overline{P},\overline{T};\overline{F},\overline{\boldsymbol{M}}_0)$是 Σ 的多元自环网，则 $L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)=L(\Phi(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle))$.

证明. 为了证明 $L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)=L(\Phi(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle))$，也就是要证明 $L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)=L((\langle\overline{N},\overline{\boldsymbol{M}}_0\rangle))$，为此只需证明$\langle N,M_0\rangle$中任何一条抑止弧都与$\langle\overline{N},\overline{\boldsymbol{M}}_0\rangle$中的一条多元自环的作用是等价的. 由于 Σ_i，$i=1,2$是 ECT Petri 网，因此它们是安全状态机，从而$\forall\ M_i\in R(\boldsymbol{M}_{0i})$有且仅有一个 $p^{(i)}\in P_i$，使得 $\boldsymbol{M}_i(p^{(i)})=1$和$\forall\ p^{(i)}_*\in P_i-\{p^{(i)}\}:\boldsymbol{M}_i(p^{(i)}_*)=0$. 这样，若$\forall\ M\in R(\boldsymbol{M}_0)$都对应着 $\overline{M}\in R(\overline{\boldsymbol{M}}_0)$，使得

1)$\boldsymbol{M}(p^{(i)}_j)=1$当且仅当$\forall\ p^{(i)}_*\in\Delta P^{(i)}_j:\overline{\boldsymbol{M}}(p^{(i)}_*)=0$；

2)$\boldsymbol{M}(p^{(i)}_j)=0$当且仅当$\exists\ p^{(i)}_*\in\Delta P^{(i)}_j:\overline{\boldsymbol{M}}(p^{(i)}_*)=1$.

这样，$\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle$中任何一条抑止弧都与$\langle\overline{N},\overline{M}_0\rangle$中的一条多元自环的作用是等价的. 因此我们有 $L(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle)=L(\Phi(\langle N,\boldsymbol{M}_0\rangle))$和 $L(\langle N,R(\boldsymbol{M}_0)\rangle)=L(\Phi(\langle N,R(\boldsymbol{M}_0)\rangle))$.

定义8. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,\boldsymbol{M}_{0i})$，$i=1,2$，是两个(ECT)Petri 网，$\Sigma=\Sigma_1\Theta\Sigma_2$，$\Phi(\Sigma)=(\overline{P},\overline{T};\overline{F},\overline{\boldsymbol{M}}_0)$是 Σ 的多元自环网. 令 $\phi(\Phi(\Sigma_i))=(\hat{P}_i,\hat{T}_i;\hat{F}_i,\hat{\boldsymbol{P}}_{0i})$，使得

1)$\hat{P}_i=P_i\cup\{\Delta P^{(i)}_j\,|\,i=1,2;j=1,2,\cdots,r\}$；

2)$\hat{T}_i=T_i\cup\{t^{(3-i)}_j\,|\,i=1,2;j=1,2,\cdots,r\}$；

3)$\hat{F}_i=F_i\cup\{(\Delta P^{(i)}_j,t^{(3-i)}_j),(t^{(3-i)}_j,\Delta P^{(i)}_j)\,|\,i=1,2;j=1,2,\cdots,r\}$；

4) $\hat{\bar{M}}_{0i}=M_{0i}$;

则称 $\phi(\Phi(\Sigma_i))$, $i=1,2$是 Σ_i 的多元自环扩张网.

定理4. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,M_{0i})$, $i=1,2$, 是两个(ECT)Petri 网, $\Sigma=\Sigma_1\Theta\Sigma_2$, $\Phi(\Sigma)=(\bar{P},\bar{T};\bar{F},\bar{M}_0)$是 Σ 的多元自环网, $\phi(\Phi(\Sigma_i))$, $i=1,2$是 Σ_i 的多元自环扩张网, 则 $L(\phi(\Phi(\langle N_i,M_{0i}\rangle)))=\{\hat{\bar{\sigma}}_i \mid \forall\ \sigma_i\in L(\langle N_i,M_{0i}\rangle)$, note $\sigma_i=\sigma'_i t^{(i)}\sigma''_i$, if $\Delta P^{(i)}\in{}^{\cdot}t^{(i)}$, $\exists\ t^{(3-i)}\in\Delta T_{3-i}$: $(\Delta P^{(i)},t^{3-i}),(t^{(3-i)},\Delta P^{(i)})\in F$, then $\hat{\bar{\sigma}}=\sigma_i(t^{(3-i)})^{*}t^{(i)}\sigma''_i\}$, $i=1,2$.

证明. 类似于定理2的证明方法,此结果容易被证明!

推论2. 设 $\Sigma_i=(P_i,T_i;F_i,M_{0i})$, $i=1,2$, 是两个(ECT)Petri 网, $\Sigma=\Sigma_1\Theta\Sigma_2$, $\phi(\Phi(\Sigma_i))=(\hat{\bar{P}},\hat{\bar{T}};\hat{\bar{F}},\hat{\bar{M}}_{0i})$, $i=1,2$是 Σ_i 的多元自环扩张网. 则

$$L(\langle N,M_0\rangle)=\Gamma^{-1}_{\bar{T}\to T_1}(L(\phi(\Phi(\langle N,M_{01}\rangle))))\cap\Gamma^{-1}_{\bar{T}_2\to T_2}(L(\phi(\Phi(\langle N_2,M_{02}\rangle)))).$$

3 结 语

复杂系统的综合是系统科学中一重要研究课题. 文[1]基于 Petri 网提出了逻辑控制系统的三种连接操作,作为复杂逻辑控制系统设计的一种手段,正象大多学者研究那样,文[1~5]分别讨论了活性、可达性和回归性等若干重要性质在系统综合过程中的保持问题. 本文认为刻划系统行为的 Petri 语言的保持关系更应受到重视. 为此,我们研究了这三种操作的语言关系.

参 考 文 献

1 Ferrarini L. An incremental approach to logical controller design with Petri nets. *IEEE Trans. Syst.*, *Man*, *Cybern.*, 1992, **22**(3): 461~473

2 L. Ferrarini. On the reachability and reversibility problem in a class of petri nets. *IEEE Trans. Syst.*, *Man*, *Cybern.*, 1994, **24**(10): 1474~1482

3 Ferrarini L, Narduzzi M, Solet M T. A New approach to modular liveness analysis conceived for large logic controllers' design. *IEEE Trans. Robot. and Auto.*, 1994, **10**(2): 169~184

4 Ferrarini L, Trioni M. Modeling shared resources with generalized synchronization within a Petri net bottom-up approach. *IEEE Trans. Syst.*, *Man*, *Cybern.*, 1997, **26**(4): 653~659

5 Jun M D, DiCesare F. Synthesis using resource control nets for modeling share-resource systems. *IEEE Trans. Robot. and Auto.*, 1995, **11**(3): 317~327

6 Jun M D. A Petri net synthesis theory for modeling flexible manufacturing systems. *IEEE Trans. Syst.*, *Man*, *Cybern.*, 1997, **27**(2): 169~183

7 Jiang C J, Wu Z H. Net Operations(Ⅰ). *J. of Comp. Sci. and Tech.*, 1992, **7**(4): 333~344

8 Jiang C J. Net Operations(Ⅱ) *J. of Comp. Sci. & Tech.*, 1995, **10**(6): 511~517

9 Jiang C J. Petri net dynamic invariance. *Science in China(Series E)*, 1997, **27**(4): 605~611

蒋昌俊 博士;研究领域为:复杂系统理论,并发理论,Petri 网等.

王怀清 博士;研究领域为:人工智能,决策系统,Internet 等.

廖少毅 博士;研究领域为:数据库,信息系统,Internet 等.