维普资讯 http://www.cqvip.com

Petri 网共享单链子网合成及其应用研究*)

夏传良

(中国科学院 数学与系统科学研究院 计算机科学研究室 北京 100080)

摘 要 本文针对多个企业共用一个加工厂加工某种产品这一类业务处理问题,提出了经由 Petri 网共享单链子网构成单链子网合成网的解决方案;给出了自由选择网(FC),非对称选择网(AC)的共享单链子网合成网为各自相应网的充分条件;提出了共享单链子网合成 Petri 网保持结构活性的条件;本文的结果可为 Petri 网系统合成的静态和动态性质的考察提供有效途径,具有宽广的应用前景。

关键词 Petri 网,合成,结构活性,自由选择网

Research on Synthesis and Application of Petri Nets Shared Single-Link-Subnet

XIA Chuan-Liang

(Department of Computer Science, Academy of Mathematics and System Sciences, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract A scheme is obtained using synthesis of Petri nets shared single-link- subnet, according to process of several enterprises sharing a plant to producesome product. Several sufficient conditions are presented, which the single-link-subnet synthesis net of free choice nets(FC), asymmetric choice nets(AC) is a FC net, AC net respectively. Some conditions of the structural liveness preservation by single-link-subnet synthesis of Petri nets are obtained. These results are useful for studying the static and dynamic properties of Petri synthesis nets and practical to use in reality.

Keywords Petri nets, Synthesis, Structural liveness, Free choice net

1 引言

在日常生活中经常遇到多个企业,共同租用或雇佣某个加工厂为它们加工产品的问题,以达到节省资源的目的。例如,两个企业在筹足资金和原料时,可共同找一个加工厂同时为它们生产同一种产品,其中的诸多费用(如一次开工费、设备检修费等)由两个企业共同承担,从而节省了它们的资金;这类业务处理过程在日常生活中经常遇到,具有一定的普遍性。为建立和管理好这类系统,需要一整套完整的建模、分析、控制和优化的理论和方法。针对这类系统的并发、异步等特征已有一些理论结果和研究方法,像 CSP[1,2],CCS[3,4],Petri 网以及形式语言自动机[5]等。尽管 CSP,CCS 具有较好的模拟能力和分析演算能力,但它们如同形式语言自动机一样,其处理是针对系统运行机制的,没有反映系统物理结构信息,不便于系统结构设计和处理;由于其表达形式较自动机的语言更为复杂,不便于控制和操作;又 CSP 和 CCS 所刻画的并发是交互式语义,而非真并发语义。Petri 网是刻画真并发语义的一种有效工具;Petri 网侧重于系统的物理结构描述和性质分析,有对结构与行为的统一考虑,对系统的表达能力强,并已形成严格的体系。研究具有异步、并发特征的离散事件系统时,Petri 网已是人们的一种常用工具。Petri 网不但适合定义和分析复杂过程,而且较容易被非专业人士理解,方便了设计者与用户之间的沟通。本文以 Petri 网作为上述业务管理系统的建模-分析工具;考虑到多个企业可同时共用一个加工厂为它们生产某种产品,用 Petri 网先建立各个子模型,然后再进行合成得到系统整体模型。

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,在 DES 领域合成与控制已非常普遍[6];Morin[7]指出,同步操作是一大类并发系统进行合成操作的基石。文[8]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[9]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[11]给出了 EN-系统模块合成的方法;文[12]提出了库所组合一个 F-健全网(F-robust net)和一个非干扰网(non-disturbing net)保持活性的方法……,这些工作均针对 Petri 网合成和网性质分析。

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上述业务过程管理系统。为了较好地描述这类系统,在对大量有关 Petri 网合成方面的文献精心研究的基础上,提出了单链子网和共享单链子网合成网的概念。

在 Petri 网系统的合成运算中,共享合成可实现合成网系统的资源共享,减少公共资源(特别是非消耗资源,如机器人、工具等)的占用,从而达到节省系统资源的目的;同步合成用于实现复杂 Petri 网的同步操作。而共享单链子网合成兼有共享合成和同步合成的优点,既可以实现资源共享,减少公用资源的占用,又能实现控制器的同步操作。

本文首先研究 Petri 网的重要子类 FC 网、AC 网的共享单链子网合成网对参与合成的 FC 网、AC 网性质的继承关系,然后研究一般 Petri 网的共享单链子网合成网保持结构活性的条件。给出了 FC 网{AC 网}共享单链子网合成网仍为 FC 网{AC 网}的充分条件;提出了共享单链子网合成 Petri 网保持结构活性的充分条件,按照这些条件进行共享单链子网合成,得到共享单链子网合成网,只要参与合成的各网都是结构活的,则其共享单链子网合成网就是结构活的。特别对于 FC 网、AC 网而言,进行共享单链子网合成后,只要参与合成的各网是结构活的(对于 FC 网、AC 网类已有很多方法[14~17]判断其活性),且满足一定条件(对 AC、FC 子网而言,条件也容易判断),得到的 FC、AC 共享单链子网合成网仍为 FC、AC 网,并且是结构活的,这对于复杂 FC、AC 网,及更一

*)国家自然科学基金(60073013),国家重点基础研究发展规划(1998030416)和中国科学院管理、决策与信息系统开放实验室(MADIS)资助。

夏传良 讲师,博士,主要研究领域为 Petri 网、算法设计与分析、计算机网络与通信。

维普资讯 http://www.cqvip.com

般 Petri 网大系统的分析具有重要的指导意义。特别适合于一类业务过程的描述和处理。(注:本文定义的共享单链子网合成网,其描述和处理能力远远超出多个企业可同时共用一个加工厂为它们生产某种产品等这类业务过程的描述和处理,可覆盖更大的问题类。)

本文第 2 节给出了相关的基本概念、符号;第 3 节给出了 FC 网、AC 网的共享单链子网合成网为各自相应网的充分条件;第 4 节研究共享单链子网合成网的结构活性保持问题;第 5 节对两个企业可同时共用一个加工厂为它们生产某种产品的具体过程进行描述和处理;最后总结全文。

2 基本定义和符号

Petri 网已是常用的系统工具,因此,在这里只引入对本文十分重要的少数几个概念。

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。$M\in R(M_0)$,

(1) 变迁 $t\in T$ 称为在 M 下使能,当且仅当对 $\forall p\in P$:$M(p)\geqslant W(p,t)$,记作 $M[t>$

(2) 若 t 是在 M 下使能的,则 t 可以引发,其结果把 M 转化为 M'

$$M'(p)=\begin{cases}M(p)-W(p,t) & p\in {}^{\cdot}t\setminus t^{\cdot}\\ M(p)+W(t,p) & p\in t^{\cdot}\setminus {}^{\cdot}t\\ M(p)-W(p,t)+W(t,p) & p\in {}^{\cdot}t\cap t^{\cdot}\\ M(p) & \text{其它}\end{cases}$$

定义 2 设$\Sigma=(N,M_0)$是一个 Petri 网系统

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

(2) Σ是活的,当且仅当$\forall t\in T$,t 是活的。

(3) Σ是结构活的,当且仅当,存在标识 M_0,$(N;M_0)$是活的。

定义 3 令 N 是 Petri 网,

(1)N 是自由选择网(FC)当且仅当${}^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}\ \forall p\in P$ $|P^{\cdot}|\leqslant 1$ 或${}^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$

(2)N 是非对称选择网(AC) 当且仅当或$\forall p_1,p_2\in P$,$p_1^{\cdot}\cap p_2^{\cdot}\neq\phi\Leftrightarrow p_1^{\cdot}\subseteq p_2^{\cdot}$ 或 $p_2^{\cdot}\subseteq p_1^{\cdot}$

定义 4 设 $N=(P,T;F,W)$和 $N_0=(P_0,T_0;F_0,W_0)$是两个 Petri 网,若满足:

(1)$P_0\subset P$,$T_0\subset T$且 $P_0\neq\phi$,$T_0\neq\phi$;

(2)$F_0=F\cap((P_0\times T_0)\cup(T_0\times P_0))$;

则称 N_0 是 N 的一个子网。

注:T-型子网的特点是除 t_u,t_v 外,子网中的其它结点均不与子网外的其余结点相连。

定义 5 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:

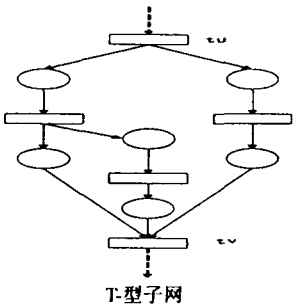

图 1 *T*-型子网

(1)${}^{\cdot}P_0\cup P_0^{\cdot}\subseteq T_0$;

(2)令 $T'_0=T_0-\{t_u,t_v\}$,$T'_0\cup T'_0\subseteq P_0$ 且 ${}^{\cdot}t_u\in P-P_0$,$t_v^{\cdot}\in P-P_0$,$t_u\neq\phi$,$t_v\neq\phi$;则称 N_0 为 N 的一个 T-型子网。

定义 6 设 $N=(P,T;F,W)$是一个 Petri 网,如果$\exists x_v$,$y_v\in P\cup T$,$v=1,2,\cdots,n$ 使得 $x_1^{\cdot}=\{y_1\}$,${}^{\cdot}y_1=\{x_1\}$,$y_1^{\cdot}=\{x_2\}$,${}^{\cdot}x_2=\{y_1\}$,$x_2^{\cdot}=\{y_2\}$,$\cdots$,$x_i^{\cdot}=\{y_i\}$,${}^{\cdot}y_i=\{x_{i+1}\}$ 则称 $x_1\to y_1\to x_2\to\cdots\to y_i(1\leqslant i\leqslant n)$ 为一个单链路。

于是单链路可分为以下 4 类:

Ⅰ型单链路:$t_1\to p_1\to t_2\to p_2\to\cdots\to p_{i-1}\to t_i$($p_j\in P$,$j=1,2,\cdots,i-1$;$t_k\in T$,$k=1,2,\cdots,i$)

Ⅱ型单链路:$p_1\to t_1\to p_2\to t_2\to\cdots\to t_{i-1}\to p_i$($p_j\in P$,$j=1,2,\cdots,i$;$t_k\in T$,$k=1,2,\cdots,i-1$)

Ⅲ型单链路:$p_1\to t_1\to p_2\to t_2\to\cdots\to t_{i-1}\to p_i\to t_i$($p_j\in P$,$j=1,2,\cdots,i$;$t_k\in T$,$k=1,2,\cdots,i$)

Ⅳ型单链路:$t_1\to p_1\to t_2\to p_2\to\cdots\to p_{i-1}\to t_i\to p_i$($p_j\in P$,$j=1,2,\cdots,i$;$t_k\in T$,$k=1,2,\cdots,i$)

定义 7 若将一个单链路中的变迁用 T-型子网代替,便得到一个单链子网。于是,将Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅳ型单链路中的 t_k 用 *T*-型子网代替,便得到Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型、Ⅳ型单链子网。

即Ⅰ型单链子网:$N_{T1}\to p_1\to N_{T2}\to p_2\to\cdots\to p_{i-1}\to N_{Ti}$($N_{Tk}$为 N 的 *T*-型子网,$k=1,2,\cdots,i$)

Ⅱ型单链子网:$p_1\to N_{T1}\to p_2\to N_{T2}\to\cdots\to N_{Ti-1}\to p_i$($N_{Tk}$为 N 的 *T*-型子网,$k=1,2,\cdots,i-1$)

Ⅲ型单链子网:$p_1\to N_{T1}\to p_2\to N_{T2}\to\cdots\to N_{Ti-1}\to p_i\to N_{Ti}$($N_{Tk}$为 N 的 *T*-型子网,$k=1,2,\cdots,i$)

Ⅳ型单链子网:$N_{T1}\to p_1\to N_{T2}\to p_2\to\cdots\to p_{i-1}\to N_{Ti}\to p_i$($N_{Tk}$为 N 的 *T*-型子网,$k=1,2,\cdots,i$)

定义 8 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)$P_0=P_1\cap P_2\neq\phi$,$T_0=T_1\cap T_2\neq\phi$;

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

(3)$\forall x,y\in P\cup T$:$W(x,y)=W_1(x,y)+W_2(x,y)$;

(4)N_1,N_2 共享一个单链子网。

则称 N 为 N_1,N_2 的单链子网合成网。

定义 9 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 $N_i(i=1,2)$的单链子网合成网;

(2)$$M_0(P)=\begin{cases}M_{10}(p) & \forall p\in p_1-p_0\\ M_{20}(p) & \forall p\in p_2-p_0\\ M_{10}(p)+M_{20}(p) & \forall p\in P_0\end{cases}$$

则称Σ为$\Sigma_i(i=1,2)$的单链子网合成 Petri 网系统。

3 Petri 网共享单链子网合成的性质

定理 3.1 设 N_1,N_2 皆为 FC 网,其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅰ型单链子网 N_0,若满足:

(1)在 $N_j(j=1,2)$中均有$({}^{\cdot}t_1)^{\cdot}=\{t_1\}$,其中 t_1 为单链子网的第一个节点;

(2)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p,在 N_1,N_2 中均有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或${}^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$;

则 N 为 FC 网。

证明:由题设知,N_1,N_2 共享Ⅰ型单链子网 N_0。由条件(1)知,对于单链子网的第一个节点 t_1,因在 FC 网 N_1,N_2 中均有 $({}^{\cdot}t_1)^{\cdot}=\{t_1\}$,则在 $N_i(i=1,2)$中$\forall p_i\in {}^{\cdot}t_1$,$p_i^{\cdot}=\{t_1\}$即$|p_i^{\cdot}|\leqslant 1$,$i=1,2$。在 N 中 $p_1^{\cdot}=p_2^{\cdot}=\{t_1\}$亦即$\forall p\in {}^{\cdot}t_1$则有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$。由条件(2)知,在 N_{T1}中任给 p,在 N_1,N_2 中均有$|{}^{\cdot}p|\leqslant 1$ 或${}^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$,则在 N 中仍有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或${}^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$。对于 p_1,由定义 6 知,$|p_1^{\cdot}|\leqslant 1$;对于 N_{T2}的情况类似于 N_{T1},对于 p_2 情况类似于 p_1,$\cdots$,依次类推,对于 N_{Ti}的情况类似于 N_{T1},即在单链子网 N_0 中任给 p,若在 N_1,

维普资讯 http://www.cqvip.com

N_i 中均有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$，则在 N 中仍有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$。又因为 N_1,N_2 是 FC 网，所以$\forall p\in P-P_0$：$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$ 因此 N 是 FC 网。

同理可得：

定理 3.2 设 N_1,N_2 皆为 AC 网，其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅰ型单链子网 N_0，若满足：

(1)在 $N_j(j=1,2)$中均有$(^{\cdot}t_1)^{\cdot}=\{t_1\}$，其中 t_1 为单链路的第一个节点；

(2)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p_1,p_2，在 N_1,N_2 中均有 $p_1^{\cdot}\cap p_2^{\cdot}\neq\phi\Rightarrow p_1^{\cdot}\subseteq p_2^{\cdot}$ 或者 $p_2^{\cdot}\subseteq p_1^{\cdot}$；

则 N 为 AC 网。

定理 3.3 设 N_1,N_2 皆为 FC 网，其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅱ型单链子网 N_0，若满足：

(1)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i-1)$中任给 p，在 N_1,N_2 中均有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$^{\cdot}(p_i^{\cdot})=\{p_i\}$，其中 p_i 为单链子网的最后一个节点；

则 N 为 FC 网。

证明：由题设知，N_1,N_2 共享Ⅱ型单链子网 N_0。由条件(1)和定义 6 知，对于 p_1，有$|p_i^{\cdot}|\leqslant 1$，则在 N 中仍有$|p_i^{\cdot}|\leqslant 1$。由条件(1)知，在 N_{T1} 中任给 p，在 N_1,N_2 中均有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$，则在 N 中仍有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$。对于 p_2 的情况类似于 p_1，对于 N_{T2}的情况类似于 N_{T1}，……，依次类推，对于单链子网的最后一个节点 p_i，由条件(2)知，由于 N_1,N_2 均为 FC 网且在 N_1,N_2 中均有$^{\cdot}(p_i^{\cdot})=\{p_i\}$，所以不妨设在 N_1 中 $p_i^{\cdot}=\{t_{11},t_{12},\cdots,t_{1j}\}$ $j\geqslant 1$ 且$^{\cdot}t_{1u}=\{p_i\}$，$u=1,2,\cdots,j$。在 N_2 中 $p_i^{\cdot}=\{t_{21},t_{22},\cdots,t_{2k}\}$ $k\geqslant 1$ 且$^{\cdot}t_{1v}=\{p_i\}$，$v=1,2,\cdots,k$。所以在 N 中 $p_i^{\cdot}=\{t_{11},t_{12},\cdots,t_{1j},t_{21},t_{22},\cdots,t_{2k}\}$，$j\geqslant 1,k\geqslant 1$，且$^{\cdot}t_{1u}=^{\cdot}t_{1v}=\{p_i\}$，$u=1,2,\cdots,j$。$v=1,2,\cdots,k$。即在 N 中有：$^{\cdot}(p_i^{\cdot})=\{p_i\}$。即在单链子网 N_0 中任给 p，若在 N_1,N_2 中均有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$，则在 N 中仍有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$。又因为 N_1,N_2 是 FC 网，所以$\forall p\in P-P_0$：$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$ 因此 N 是 FC 网。

同理可得：

定理 3.4 设 N_1,N_2 皆为 AC 网，其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅱ型单链子网 N_0，若满足：

(1)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i-1)$中任给 p_1,p_2，在 N_1,N_2 中均有 $p_1^{\cdot}\cap p_2^{\cdot}\neq\phi\Rightarrow p_1^{\cdot}\cap p_2^{\cdot}$ 或者 $p_2^{\cdot}\subseteq p_1^{\cdot}$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$^{\cdot}(p_i^{\cdot})=\{p_i\}$，其中 p_i 为单链子网的最后一个节点；

则 N 为 AC 网。

定理 3.5 设 N_1,N_2 皆为 FC 网，其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅲ型单链子网 N_0，若满足：在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i-1)$中任给 p，在 N_1,N_2 中均有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$；则 N 为 FC 网。

定理 3.6 设 N_1,N_2 皆为 AC 网，其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅲ型单链子网 N_0，若满足：在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p_1,p_2，在 N_1,N_2 中均有 $p_1^{\cdot}\cap p_2^{\cdot}\neq\phi\Rightarrow p_1^{\cdot}\subseteq p_2^{\cdot}$ 或者 $p_2^{\cdot}\subseteq p_1^{\cdot}$；则 N 为 AC 网。

定理 3.7 设 N_1,N_2 皆为 FC 网，其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅳ型单链子网 N_0，若满足：

(1)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p，在 N_1,N_2 中均有$|p^{\cdot}|\leqslant 1$ 或$^{\cdot}(p^{\cdot})=\{p\}$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$(^{\cdot}t_1)^{\cdot}=\{t_1\}$，$^{\cdot}(p_i^{\cdot})=\{p_i\}$，其中 t_1 为单链子网的第一个节点，p_i 为单链子网的最后一个节点；

则 N 为 FC 网。

定理 3.8 设 N_1,N_2 皆为 AC 网，其共享单链子网合成网为 N,N_1,N_2 共享一个Ⅳ型单链子网 N_0，若满足：

(1) 在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p_1,p_2，在 N_1,N_2 中均有 $p_1^{\cdot}\cap p_2^{\cdot}\neq\phi\Rightarrow p_1^{\cdot}\subseteq p_2^{\cdot}$ 或者 $p_2^{\cdot}\subseteq p_1^{\cdot}$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$(^{\cdot}t_1)^{\cdot}=\{t_1\}$，$^{\cdot}(p_i^{\cdot})=\{p_i\}$，其中 t_1 为单链子网的第一个节点，p_i 为单链子网的最后一个节点；

则 N 为 AC 网。

4 共享单链子网合成 Petri 网的结构活性保持性

定理 4.1 设 N_1,N_2 是两个结构活的 Petri 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1,N_2 共享一个Ⅰ型单链子网 N_0，则 N 是结构活的。

证明：由于 N_1,N_2 是两个结构活的 Petri 网，则存在 M_{10}：$M_{10}[t_1>,\Sigma_1=(N_1,M_{10})$是活的；存在 M_{20}，$M_{20}[t_1>,\Sigma_2=(N_2,M_{20})$是活的。因为 N_1,N_2 共享一个Ⅰ型单链子网，由Ⅰ型单链子网的特点知，Σ_1,Σ_2 关于 T_0 显然有相同的可引发变迁序列，不妨设可引发序列为 $t_1,t_2,\cdots,t_k$。根据定义 9，在$\Sigma=(N,M_0)$中，$M_0[t_1>$，而在 Σ_1 中，$M_{10}[t_1>M_{11}$，$M_{11}[t_2>$，在 Σ_2 中 $M_{20}[t_1>M_{21}$，$M_{21}[t_2>$。根据Ⅰ型单链子网的特点，在Ⅰ型单链子网中除了 t_1,t_k 外，其余结点均不与 N 中其它部分相连，所以在 t_1 引发后 P_0 中的资源不会发生变化，即在Σ中，t_1 引发后，t_2 总能够使能，因此在Σ中，$\forall\sigma\in(T-\{t_2\})^{*}$，$M_0[\sigma>M_1$，$\exists M_2\in R(M_1)$，$M_2[t_2>$，依次类推，…，$\forall\sigma'\in(T-\{t_k\})^{*}$，$M_0[\sigma'>M_p$，$\exists M_q\in R(M_p)$，$M_q[t_k>$即 $\forall t\in T_0,t$ 是活的。以下证明如果 $\forall t\in T_0,t$ 是活的，则Σ是活的。采用反证法，若Σ不活，则 $\exists t_u\in T-T_0$，$\exists M_1\in R(M_0)$，$\forall M_2\in R(M_1)$，$\neg M_2[t_u>$。不妨设 $t_u\in T_1-T_0$，由于 $\forall t\in T_0,t$ 是活的，则 $\exists t_v\in T_0$，$\exists M_3\in R(M_1)$，$M_3[t_v>$，且当 $p\in P_1-P_0$ 时，$M_3(p)=M_{11}(p)$，当 $p\in P$ 时，$M_3(p)=M_{11}(p)+M_{21}(p)$，其中 $M_{11}\in R(M_{10})$，$M_{21}\in R(M_{20})$。在这种情况下，$\forall M\in R(M_3)$，$\neg M[t_u>$，即在 Σ_1 中 $\forall M_{12}\in R(M_{11})$，$M_{11}\in R(M_{10})$，$\neg M_{12}[t_u>$，则 Σ_1 不活，矛盾。所以 N 是结构活的。

定理 4.2 设 N_1,N_2 是两个结构活的 Petri 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1,N_2 共享一个Ⅱ型单链子网 N_0，若 $\forall t\in\{t|t\in p_y^{\cdot},p_y$ 为Ⅱ型单链子网的最后一个结点$\}$，t 在 $\Sigma=(N,M_0)$中是活的，则 N 是结构活的。

证明：由于 N_1,N_2 是两个结构活的 Petri 网，则存在 M_{10}：$M_{10}[t_1>,\Sigma_1=(N_1,M_{10})$是活的；存在 M_{20}，$M_{20}[t_1>,\Sigma_2=(N_2,M_{20})$是活的。因为 N_1,N_2 共享一个Ⅱ型单链子网，由Ⅱ型单链子网的特点知，Σ_1,Σ_2 关于 T_0 显然有相同的可引发变迁序列，不妨设为 $t_i,t_j,\cdots,t_q$。由于 Σ_1,Σ_2 是两个活的 Petri 网，所以存在 $M'_{10}\in R(M_{10})$使得 $M'_{10}[t_i>$；存在 $M'_{20}\in R(M_{20})$，使得 $M'_{20}[t_i>$。根据定义 9，在$\Sigma=(N,M_0)$中，$M'_0[t_i>$，而在 Σ_1 中，$M'_{10}[t_i>M_{11}$，$M_{11}[t_j>$，在 Σ_2 中 $M'_{20}[t_i>M_{21}$，$M_{21}[t_j>$。根据Ⅱ型单链子网的特点，在 t_i 引发后 t_j 总能够使能。因此在Σ中，$\forall\sigma\in(T-\{t_j\})^{*}$，$M_0[\sigma>M_1$，$\exists M_2\in R(M_1)$，$M_2[t_j>$，依次类推，…，$\forall\sigma'\in(T-\{t_q\})^{*}$，$M_0[\sigma'>M_c$，$\exists M_d\in R(M_c)$，$M_d[t_q>$即 $\forall t\in T_0,t$ 是活的。对 $\forall t'\in T-\{t|t\in p_y^{\cdot},p_y$ 为Ⅱ型子网的最后一个结点$\}-T_0$，不妨设 $\forall t'\in T_1-\{t|t\in p_y^{\cdot},p_y$ 为Ⅱ型单链子网的最后一个结点$\}-T_0$，由于 Σ_1,Σ_2 都是活的，M_{10} 是 N_1 的标识，而对Σ，由于 $\forall t\in\{t|t\in p_y^{\cdot},p_y$ 为Ⅱ型单链子网的最后一个结点$\}$，t 是活的，依定义 $M_1\in R(M_0)$，存在变迁序列 $\sigma_1\in T^{*}$，$M_1[\sigma_1>M_2$，使 M_2 在 N_1 上的限制为 M_{10}，则存在 σ_2

维普资讯 http://www.cqvip.com

$\in T_1^*$，$M_2[\sigma_2>M_3$，$M_3[t'>$，所以 t' 是活的，总之，$t''\in T, t''$ 是活的，所以 N 是结构活的。

定理 4.3 设 N_1, N_2 是两个结构活的 Petri 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅲ型单链子网 N_0，则 N 是结构活的。

证明：由于 N_1, N_2 是两个结构活的 Petri 网，则存在 M_{10}：$M_{10}[t_1>$，$\sum_1=(N_1, M_{10})$是活的；存在 M_{20}，$M_{20}[t_1>$，$\sum_2=(N_2, M_{20})$是活的。因为 N_1, N_2 共享一个Ⅲ型单链子网，由型Ⅲ单链子网的特点知，$\sum_1, \sum_2$ 关于 T_0 显然有相同的可引发变迁序列，不妨设为 $t_i, t_j, \cdots, t_v$。由于 $\sum_1, \sum_2$ 是两个活的 Petri 网，所以存在 $M'_{10}\in R(M_{10})$使得 $M'_{10}[t_i>$；存在 $M'_{20}\in R(M_{20})$，使得 $M'_{20}[t_i>$。由Ⅲ型单链子网的特点知，由在 $\sum$ 中 t_i 引发后均能使 t_j 使能。根据定义 10，在 $\sum=(N, M_0)$中，$M_0[t_j>$，而在 $\sum_1$ 中，$M'_{10}[t_i>M_{11}$，$M_{11}[t_j>$，在 $\sum_2$ 中 $M'_{20}[t_i>M_{21}$，$M_{21}[t_j>$。因此，在 $\sum$ 中，$\forall\sigma\in(T-\{t_j\})^*$，$M_0[\sigma>M_1$，$\exists M_2\in R(M_1)$，$M_2[t_j>$，依次类推，$\cdots$，$\forall\sigma'\in(T-\{t_v\})^*$，$M_0[\sigma'>M_p$，$\exists M_q\in R(M_p)$，$M_q[t_v>$即 $\forall t\in T_0, t$ 是活的。以下类似于定理 4.1 的证明。

定理 4.4 设 N_1, N_2 是两个结构活的 Petri 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅳ型单链子网 N_0，若 $\forall t\in\{t|t\in p_y^\cdot, p_y$ 为Ⅲ型单链子网的最后一个结点$\}, t$ 在 $\sum=(N, M_0)$中是活的，则 N 是结构活的。

证明：由于 N_1, N_2 是两个结构活的 Petri 网，则存在 M_{10}：$M_{10}[t_1>$，$\sum_1=(N_1, M_{10})$是活的；存在 M_{20}，$M_{20}[t_1>$，$\sum_2=(N_2, M_{20})$是活的。因为 N_1, N_2 共享一个Ⅳ型单链子网，由Ⅳ型单链子网的特点知，$\sum_1, \sum_2$ 关于 T_0 显然有相同的可引发变迁序列，不妨设为 $t_u, t_j, \cdots, t_k$。由于 $\sum_1, \sum_2$ 是两个活的 Petri 网，所以存在 $M'_{10}\in R(M_{10})$使得 $M'_{10}[t_u>$；存在 $M'_{20}\in R(M_{20})$，使得 $M'_{20}[t_u>$。根据定义 10，在 $\sum=(N, M_0)$中，$M_0[t_u>$，而在 $\sum_1$ 中，$M'_{10}[t_u>M_{11}$，$M_{11}[t_j>$，在 $\sum_2$ 中 $M'_{20}[t_u>M_{21}$，$M_{21}[t_j>$。由Ⅳ型单链子网的特点知，t_u 引发后 t_i 总能够使能。因此，在 $\sum$ 中，$\forall\sigma\in(T-\{t_j\})^*$，$\forall\sigma\in(T-\{t_j\})^*$，$M_0[\sigma>M_1$，$\exists M_2\in R(M_1)$，$M_2[t_j>$，依次类推，$\cdots$，$\forall\sigma'\in(T-\{t_k\})^*$，$M_0[\sigma'>M_p$，$\exists M_q\in R(M_p)$，$M_q[t_k>$即 $\forall t\in T_0, t$ 是活的。以下类似于定理 4.2 的证明。

注：对于 Petri 网的重要子类 FC 网和 AC 网，进行共享单链子网合成后，其合成网保持子网的种类和结构活性，这对于大规模复杂 FC 网和 AC 网的分析具有重要的指导作用。

由定理 3.1—3.8 和定理 4.1—4.4 立得如下定理。

定理 4.5 设 N_1, N_2 是两个结构活的 FC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅰ型单链子网，若满足：

(1)在 $N_j(j=1,2)$中均有$(^\cdot t_1)^\cdot=\{t_1\}$，其中 t_1 为单链子网的第一个节点；

(2)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p，在 N_1, N_2 中均有$|p^\cdot|\leqslant 1$ 或$^\cdot(p^\cdot)=\{p\}$；

则 N 是结构活的 FC 网。

定理 4.6 设 N_1, N_2 是两个结构活的 AC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅰ型单链子网，若满足：

(1)在 $N_j(j=1,2)$中均有$(^\cdot t_1)^\cdot=\{t_1\}$，其中 t_1 为单链路的第一个节点；

(2)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p_1, p_2，在 N_1, N_2 中均有 $p_1\cap p_2\neq\phi\Leftrightarrow p_1^\cdot\subseteq p_2^\cdot$ 或者 $p_2^\cdot\subseteq p_1^\cdot$；

则 N 为结构活的 AC 网。

定理 4.7 设 N_1, N_2 是两个结构活的 FC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅱ型单链子网，若满足：

(1)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i-1)$中任给 p，在 N_1, N_2 中均有$|p^\cdot|\leqslant 1$ 或$^\cdot(p^\cdot)=\{p\}$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$^\cdot(p_i^\cdot)=\{p_i\}$，其中 p_i 为单链子网的最后一个节点；

(3)$\forall t\in\{t|t\in p_y^\cdot, p_y$ 为Ⅱ型单链子网的最后一个结点$\}, t$ 在 $\sum=(N, M_0)$中是活的；

则 N 为结构活的 FC 网。

定理 4.8 设 N_1, N_2 是两个结构活的 AC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅱ型单链子网，若满足：

(1)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i-1)$中任给 p_1, p_2 在 N_1, N_2 中均有 $p_1\cap p_2\neq\phi\Leftrightarrow p_1^\cdot\subseteq p_2^\cdot$ 或者 $p_2^\cdot\subseteq p_1^\cdot$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$^\cdot(p_i^\cdot)=\{p_i\}$，其中 p_i 为单链子网的最后一个节点；

(3)$\forall t\in\{t|t\in p_y^\cdot, p_y$ 为Ⅱ型单链子网的最后一个结点$\}, t$ 在 $\sum=(N, M_0)$中是活的；

则 N 为结构活的 AC 网。

定理 4.9 设 N_1, N_2 是两个结构活的 FC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅲ型单链子网，若满足：在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i-1)$中任给 p，在 N_1, N_2 中均有$|p^\cdot|\leqslant 1$ 或$^\cdot(p^\cdot)=\{p\}$；则 N 为结构活的 FC 网。

定理 4.10 设 N_1, N_2 是两个结构活的 AC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅲ型单链子网，若满足：在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p_1, p_2，在 N_1, N_2 中均有 $p_1\cap p_2\neq\phi\Leftrightarrow p_1^\cdot\subseteq p_2^\cdot$ 或者 $p_2^\cdot\subseteq p_1^\cdot$；则 N 为结构活的 AC 网。

定理 4.11 设 N_1, N_2 是两个结构活的 FC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅳ型单链子网，若满足：

(1)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p，在 N_1, N_2 中均有$|p^\cdot|\leqslant 1$ 或$^\cdot(p^\cdot)=\{p\}$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$(^\cdot t_1)^\cdot=\{t_1\}$，$^\cdot(p_i^\cdot)=\{p_i\}$，其中 t_1 为单链子网的第一个节点，p_i 为单链子网的最后一个节点；

(3)$\forall t\in\{t|t\in p_y^\cdot, p_y$ 为Ⅲ型单链子网的最后一个结点$\}, t$ 在 $\sum=(N, M_0)$中是活的；

则 N 为结构活的 FC 网。

定理 4.12 设 N_1, N_2 是两个结构活的 AC 网，其共享单链子网合成网为 N。N_1, N_2 共享一个Ⅳ型单链子网，若满足：

(1)在 $N_{Tk}(k=1,2,\cdots,i)$中任给 p_1, p_2，在 N_1, N_2 中均有 $p_1\cap p_2\neq\phi\Leftrightarrow p_1^\cdot\subseteq p_2^\cdot$ 或者 $p_2^\cdot\subseteq p_1^\cdot$；

(2)在 $N_j(j=1,2)$中均有$(^\cdot t_1)^\cdot=\{t_1\}$，$^\cdot(p_i^\cdot)=\{p_i\}$，其中 t_1 为单链子网的第一个节点，p_i 为单链子网的最后一个节点；

(3)$\forall t\in\{t|t\in p_y^\cdot, p_y$ 为Ⅲ型单链子网的最后一个结点$\}, t$ 在 $\sum=(N, M_0)$中是活的；

则 N 为结构活的 AC 网。

5 应用

在实际应用中，当两个或多个不同的子网系统使用着部分相同性质的资源（如机器人、工具等），且其中的变迁具有相近的引发时间或条件功能时，即可实现单链子网合成，共享单链子网合成网的结构活性，保证了经单链子网合成后得到的合成网系统的正常运行。

以下将应用本文中给出的 Petri 网共享单链子网合成方

维普资讯 http://www.cqvip.com

法为企业_1和企业_2共同租用一个加工厂生产某种成品系统建模。企业_1、企业_2各自备好原材料后，同时用一个加工厂为它们生产某种商品，生产完成品后，将成品传送给企业_1和企业_2。先建立各个子模型，然后再对各子模型进行共享单链子网合成，得到整体模型。

对于N_1，图1给出了它的Petri网子模型。

图1中变迁和库所的含义如下：t_1：开工(传送原材料)；p_1：原材料_1；p_2：原材料_2；p_3：原材料_3；t_2：加工部件_1；t_3：加工部件_2；t_4：加工部件_3；p_4：部件_1；p_5：部件_2；p_6：部件_3；t_5：装配；p_7：粗糙成品；t_6：传递到第二道工序；p_8，p_9：粗糙成品(各占一半数量)；t_7，t_9：精细加工_1；t_8，t_{10}：精细加工_2；p_{10}：精细加工_1后的成品；p_{11}：精细加工_2后的成品；p_{12}，p_{13}：合格成品(各占一半数量)；t_{11}：传送；p_{14}：合格成品；t_{12}：按订单交货；p_{15}：休整、等待状态；t_{13}：接收订单；p_{16}：订单；t_{14}：按订单备料；p_{17}：原材料；

对于N_2，图2给出了它的Petri网子模型，其中部分变迁和库所的含义类似于图1中的说明。

p_{18}：合格成品；t_{15}：按订单交货；p_{19}：休整、等待状态；t_{16}：接收订单；p_{20}：订单；t_{17}：按订单备料；p_{21}：原材料；

因为企业_1和企业_2可同时共用一个工厂生产某种成品，即两个企业可共享同一组资源。反映在Petri网模型上，就是N_1，N_2进行共享单链子网合成，得到共享单链子网合成网N(图3)，即整体模型。

从图1和图2可看出，N_1，N_2皆为结构活的FC网，其共享单链子网合成网为(图3)，易见N_1，N_2共享单链子网合成满足定理5的条件，因此N是结构活的FC网。从图3中易见确实是FC网。

N的结构活性也可按如下方法验证。

事实上，对于N_1，存在

$M_{10}=(M_{10}(p_1),M_{10}(p_2),M_{10}(p_3),M_{10}(p_4),M_{10}(p_5),M_{10}(p_6),M_{10}(p_7),M_{10}(p_8),M_{10}(p_9),M_{10}(p_{10}),M_{10}(p_{11}),M_{10}(p_{12}),M_{10}(p_{13}),M_{10}(p_{14})\ M_{10}(p_{15}),M_{10}(p_{16}),M_{10}(p_{17}))=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1)$，易知$\sum_1=(N_1,M_{10})$是活的。

对于N_2，存在$M_{20}=(M_{20}(p_1),M_{20}(p_2),M_{20}(p_3),M_{20}(p_4),M_{20}(p_5),M_{20}(p_6),M_{20}(p_7),M_{20}(p_8),M_{20}(p_9),\ M_{20}(p_{10}),M_{20}(p_{11}),M_{20}(p_{12}),M_{20}(p_{13}),M_{20}(p_{18}),M_{20}(p_{19}),M_{20}(p_{20}),M_{20}(p_{21}))=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1)$，易知$\sum_2=(N_1,M_{20})$是活的。

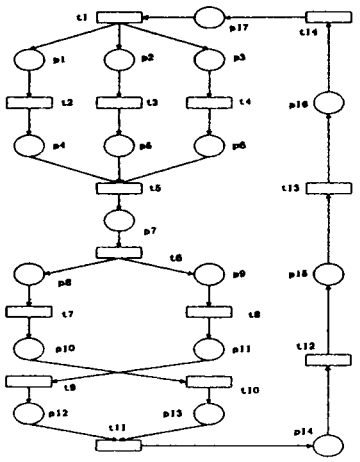

图1 N_1

对于它们的共享子网合成网，存在$M_0=(M_0(p_1),M_0(p_2),M_0(p_3),M_0(p_4),M_0(p_5),M_0(p_6),M_0(p_7),M_0(p_8),M_0(p_9),M_0(p_{10}),M_0(p_{11}),M_0(p_{12}),M_0(p_{13}),M_0(p_{14}),M_0(p_{15}),M_0(p_{16}),M_0(p_{17}),M_0(p_{18}),M_0(p_{19}),M_0(p_{20}),M_0(p_{21}))=(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,1)$，显然$\sum=(N,M_0)$是活的。从而验证了定理5的正确性。

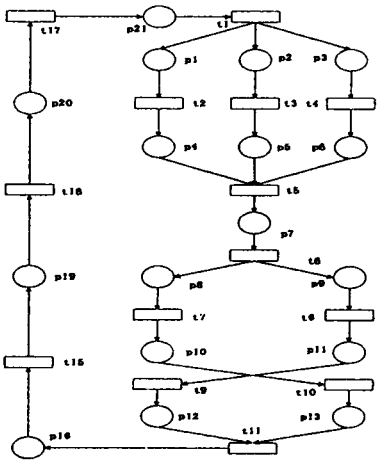

图2 N_2

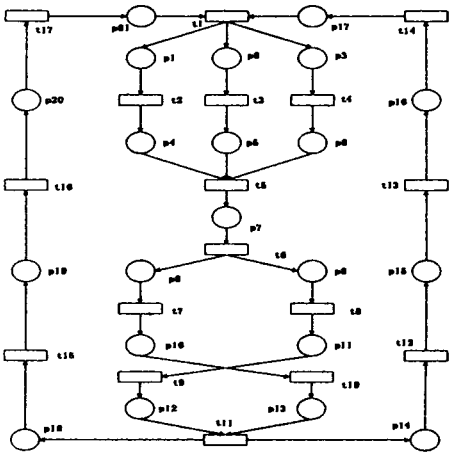

图3 N

以上给出的只是FC网共享单链子网合成的例子，但是根据定理可知，一般的Petri网只要满足单链子网合成的条件，都可以进行两两合成，且合成可以是多方向。因此，本文中提出的单链子网合成方法具有一定的普遍性和实用性。

结束语 本文讨论了Petri网的单链子网合成性质继承关系和结构活性保持问题。主要贡献在于：针对多个企业共用一个加工厂或车间加工某种成品这一类业务处理问题，提出了一种经由Petri网共享单链子网构成共享子网合成网的解决方案；给出了FC网和AC网的单链子网合成网为各自相应网的充分条件，这些条件为AC网类合成网的性质分析提供了重要依据；提出了单链子网合成网保持结构活性的条件，按这些条件对结构活的FC网、AC网或一般的Petri网两两进行单链子网合成，可得到结构活的单链子网合成网。单链子网合成的特色是合成条件容易判断，实用性强。这些结果可为Petri网系统合成提供有力手段。实施共享单链子网合成，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。文中通过对两个企业同时共用一个加工厂生产某种商品的共享子网合成网系统性质分析，进一步说明了该方法的实际意义。下一步要研究的工作是给出更为广泛的

(下转第65页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

以简单地令所有变量的权值都为1。

在将实例输出时，把实例中已经被赋值的表示相应的攻击意图的变量重新转换成相应的报警信息，以方便用户查看，而那些没有被赋值的变量则表示IDS可能漏检的攻击行为或者攻击者可能采取的下一步攻击行为。

在没有被输出给用户的实例中有许多是错误匹配后的产物，这些实例的数量随着时间不断地增大。而系统中的实例的数量直接影响实时匹配的效率，因此我们对于每个攻击场景定义了一个生存时间。一个攻击场景的所有实例在系统中存在的时间都不超过该攻击场景所规定的生存时间，这样就使得实例的数量不至于过大，而一些错误匹配产生的实例也能及时地从系统中清除出去，从而提高了匹配的效率。

结论 本文提出一个基于攻击意图的报警关联模型，使用报警信息的攻击意图而非报警信息本身或者所对应的攻击行为来构建攻击场景，能够有效体现同一类攻击场景的本质特征，降低了攻击场景的数量，使得建立攻击场景库更为容易；同时当新的报警信息类型出现时，无需在攻击场景库中增加新的攻击场景。在该模型中借助于面向对象的概念把报警信息类型和攻击意图类型表示类，并把它们放入一个类层次结构中去，把具体的报警信息和攻击意图表示为对象，很好地表现了攻击意图的层次性以及攻击意图与报警信息之间的关系，新的报警信息类型或攻击意图类型产生时，只需要添加相应的类即可。在此基础上定义了一个语法较简单的攻击场景描述语言。在进行报警信息关联的时候采用的实时匹配算法其复杂度较低、匹配准确性高。相对于其他一些利用已知攻击场景库进行报警关联的方案，本文中的模型实现较为简单，系统的适应性较强。

参 考 文 献

1 Anderson J P. Computer security threat monitoring and surveillance:[Tech. rep]. JamesP. Anderson Co., Fort Washington, PA. 1980

2 Cuppens F, Miege A. Alert correlation in a cooperative intrusion detection frame-work. In: Proc. of the 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy. of the 17th Annual Computer Security Applications Conf. 2002

3 Dain O, Cunningham R. Fusing a heterogeneous alert stream into scenarios. In: Proc. of the 2001 ACM Workshop on Data Mining for Security Applications, 2001. 1～13

4 Debar H, Wespi A. Aggregation and correlation of intrusion-detection alerts. In Recent Advances in Intrusion Detection. LNCS 2212, 2001. 85～103

5 Dickerson J E, Juslin J, Koukousoula O, Dickerson J A. Fuzzy intrusion detection. IFSA World Congress and 20th North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS) Intl. Conf. Vancouver, British Columbia, Volume 3, July, 2001. 1506～1510

6 Eckmann S, Vigna G, Kemmerer R. STATL: An Attack Language for State-based Intrusion Detection. Journal of Computer Security, 2002, 10(1-2): 71～104

7 Jiang G, Cybenko G. Temporal and Spatial Distributed Event Correlation for Network Security. In: 2004 American Control Conf. (ACC), Boston, June 30 - July 2. 2004

8 Julisch K. Mining Alarm Clusters to Improve Alarm Handling Efficiency. In: Proc. of the 17th Annual Computer Security Applications Conf., New Orleans, LA, Dec. 2001

9 Kruegel C, Toth T, Kerer C. Decentralized Event Correlation for Intrusion Detection. In: Proc. of the Intl. Conf. on Information Security and Cryptology (ICISC), Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, Korea, Dec. 2001

10 Ning P, Cui Y, Reeves D S. Constructing attack scenarios through correlation of intrusion alerts. In: Proc. of the 9th ACM Conf. on Computer and Communications Security, Washington, D. C., Nov. 2002. 245～254

11 Porras P, Fong M, Valdes A. A mission-impact-based approach to INFOSEC alarm correlation. In: Proc. of the 5th Intl. Symposium on Recent Advances in Intrusion Detection (RAID 2002). 2002. 95～114

12 Svensson H, J Ø sang A. Correlation of Intrusion Alarms with Subjective Logic. In: Proc. of the Sixth Nordic Workshop on Secure IT Systems (NordSec2001), Copenhagen, Denmark, 1-2 Nov. 2001

13 Staniford S, Hoagland J, McAlerney J. Practical automated detection of stealthy portscans. Journal of Computer Security, 2002, 10(1-2): 105～136

14 Templeton S, Levitt K. A requires/provides model for computer attacks. In: Proc. of New Security Paradigms Workshop, ACM Press, 2000. 31～38

15 Valdes A, Skinner K. Probabilistic alert correlation. In: Proc. of the 4thIntl. Symposium on Recent Advances in Intrusion Detection (RAID 2001). 2001. 54～68

16 Yu D, Frincke D. A Novel Framework for Alert Correlation and Understanding (Springer-Verlag), in Springer's LNCS series, vol 3089, In: Intl. Conf. on Applied Cryptography and Network Security (ACNS), 2004. 452～466

(上接第25页)

条件，来研究Petri网单链子网合成的其它性质(如有界性、公平性等)的保持问题。

参 考 文 献

1 Hcare C A R. Communicating sequential process [J]. Communications of the ACM, 1978, 21(8): 666～677

2 Taubner D. Finite representation of CCS and TCSP programs by automata and Petri nets [J]. LNCS, 1990, 369

3 Milner R. A calculus of communicating systems [J]. LNCS, 1980, 92

4 Goltz U. On representing CCS programs by finite Petri nets [J]. In Mathematical Foundations of Computer Science. LNCS, 1988, 324

5 Casavant T L, J G. A communicating finite automata approach to modeling distributed computation and its application to distributed decision～making [J]. IEEE Trans, Computers, 1990, 39(5): 542～558

6 Bednarczyk M A, Bernardinello L, et al. Modular system development with pullbacks [J]. In: Proc. the 24th Intl. Conf. Application and Theory of Petri Nets. Eindhoven, The Netherlands, 2003. 140～160

7 Morin R. Decompositions of asynchronous systems [J]. In: Proc. CONCUR'98, LNCS 1466, Springer, 1998. 549～564

8 Mäkelä M. Model checking safety properties in modular high-level nets [J]. In: Proc. the 24th Intl. Conf. on Application and Theory of Petri Nets. Eindhoven, The Netherlands, 2003. 201～219.

9 van Hee K, Sidorova N, et al. Soundness and separability of workflow nets in the stepwise refinement [J]. In: Proc. the 24th Intl. Conf. on Application and Theory of Petri Nets. Eindhoven, The Netherlands, 2003. 337～356

10 Bernardinello L. Synthesis of net systems [J]. In: Proc. Application and Theory of Petri nets, LNCS 691, Springer-Verlag, 1993. 89～105

11 Bernardinello l, Ferigato C, et al. Towards modular synthesis of EN systems [J]. In: Caillaud B, et al eds. Synthesis and Control of Discrete Event Systems, Kluwer Academic Publishers, 2002. 103～113

12 Souissi Y. On liveness preservation by composition of nets via a set of places [J]. In: Rozenberg G, ed. LNCS 483, New York: Springer-Verlag, 1990. 457～470

13 Jiang Changjun, Wu Zehui. Net Operations [J]. Journal of Computer Science and Technology, 1992, 7(4): 333～344

14 Kovalyov A. An O(|S| X |T|)-algorithm to verify liveness and boundedness in extended free choice nets [J]. In: Proc. the 10th IEEE Intl. Symposium on Intelligent Control, Monterey, California, USA, 1995. 597～601

15 Esparza J, Silva M. A polynomial-time algorithm to decide liveness of bounded free choice nets [J]. Theoretical Computer Science, 1992, 102: 185～205

16 Kovalyov A, Mcleod R D. Strongly connected free-choice systems having non dead home markings are live and bounded [J]. Petri net Newsletter, Springer, 1998, 54: 16～18

17 Zhen Q, Lu W M. On liveness and safeness of asymmetric choice nets [J]. Journal of Software, 2000, 11(5): 590～605