PMR 5237

Modelagem e Design de Sistemas Discretos em Redes de Petri

Aula 4: Redes P/T e extensões

Prof. José Reinaldo Silva
reinaldo@usp.br

Sistema Sequencial

Definition 12

Seja um sistema elementar $N = (S, T; F, C_0)$. Este sistema é dito sequencial se e somente se:

- $||C_0|| = 1$.
- $\forall C \in |C_0\rangle, ||C|| = 1$.

Configurações Especiais

Definition 13

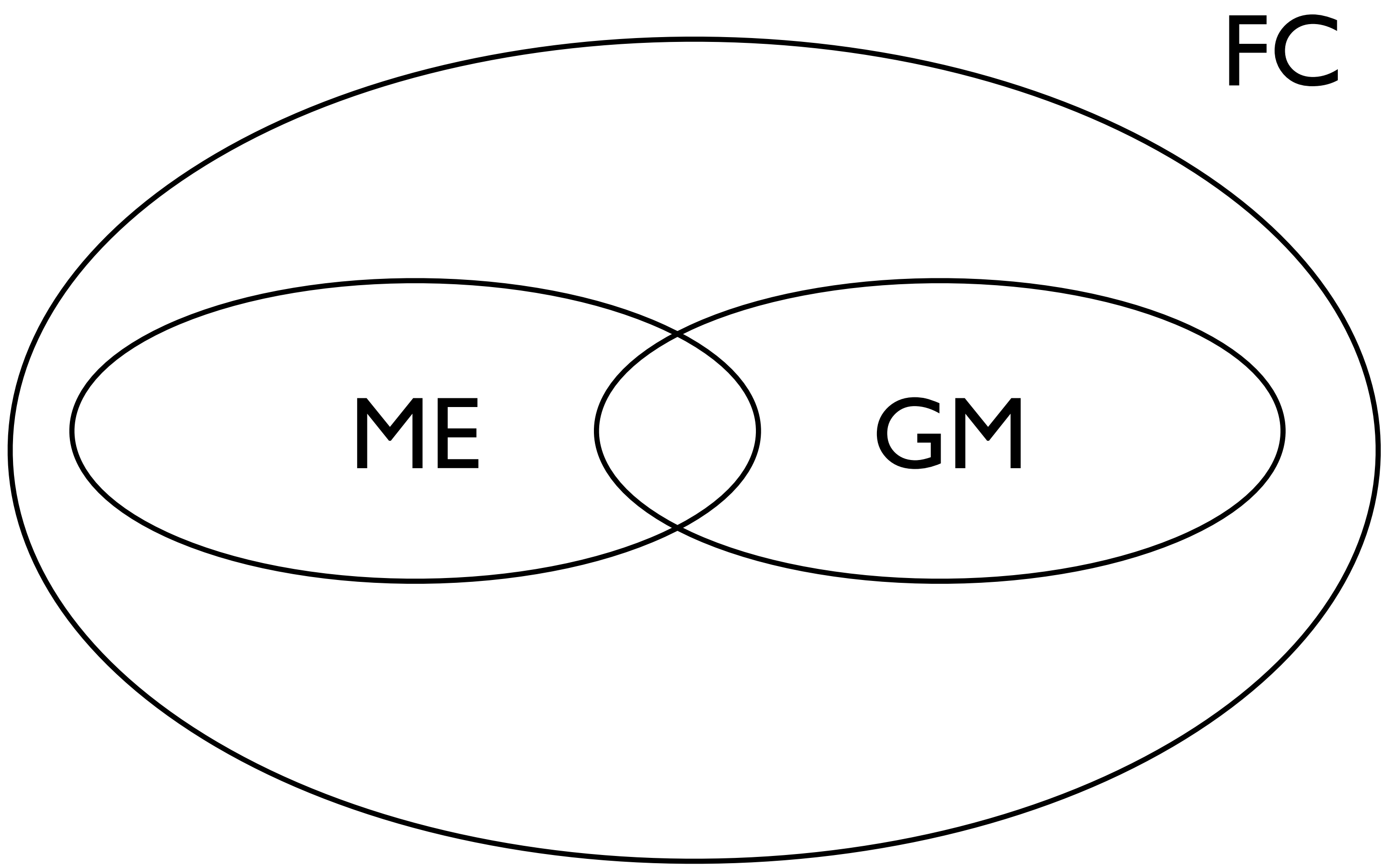
Seja um sistema elementar $N = (S, T; F, C_0)$. Este sistema é dito uma máquina de estados se e somente se $\forall t \in T, \|\bullet t\| = \|t\bullet\| = 1$.

Definition 14

Seja um sistema elementar $N = (S, T; F, C_0)$. Este sistema é dito um grafo marcado se e somente se $\forall s \in S, \|\bullet s\| = \|s\bullet\| = 1$.

Definition 15

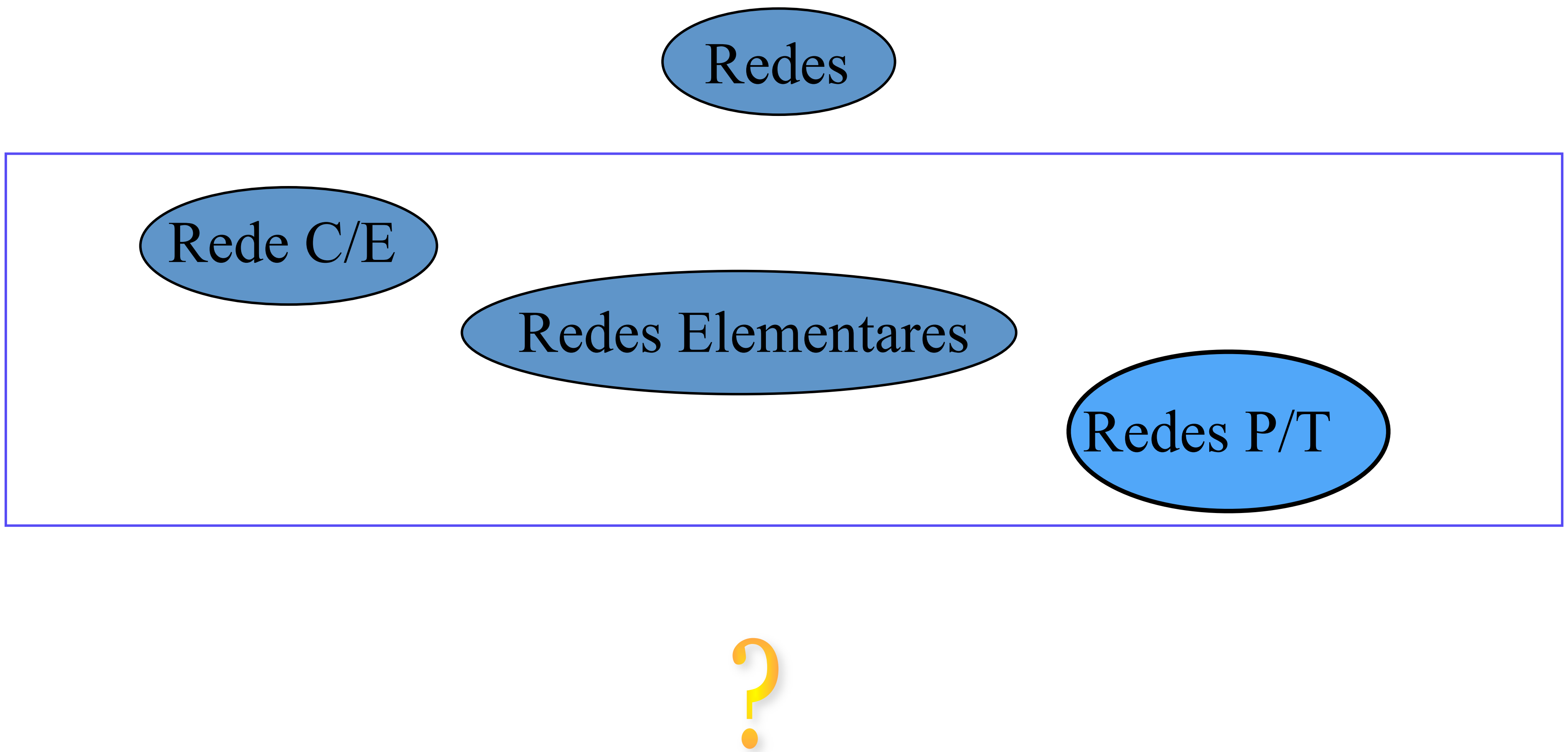
Seja um sistema elementar $N = (S, T; F, C_0)$. Este sistema é dito uma rede *free choice* se e somente se $\forall s \in S, \|s\bullet\| = 1 \, ou \, \bullet(s\bullet) = \{s\}$.


FC
ME
GM

Os sistemas produtivos

Os sistemas produtivos também se enquadram na categoria que acabamos de descrever, onde existe um estado inicial claramente definido e trata-se de sequenciar ações (não necessariamente um número pequeno) que leva a um estado final também bem definido (onde algum produto é fabricado ou montado). No final do processo o sistema é capaz de retornar ao estado inicial e repetir o mesmo processo novamente, seguindo exatamente os mesmos passos (e manufaturando um produto "igual").

As redes de Petri Clássicas



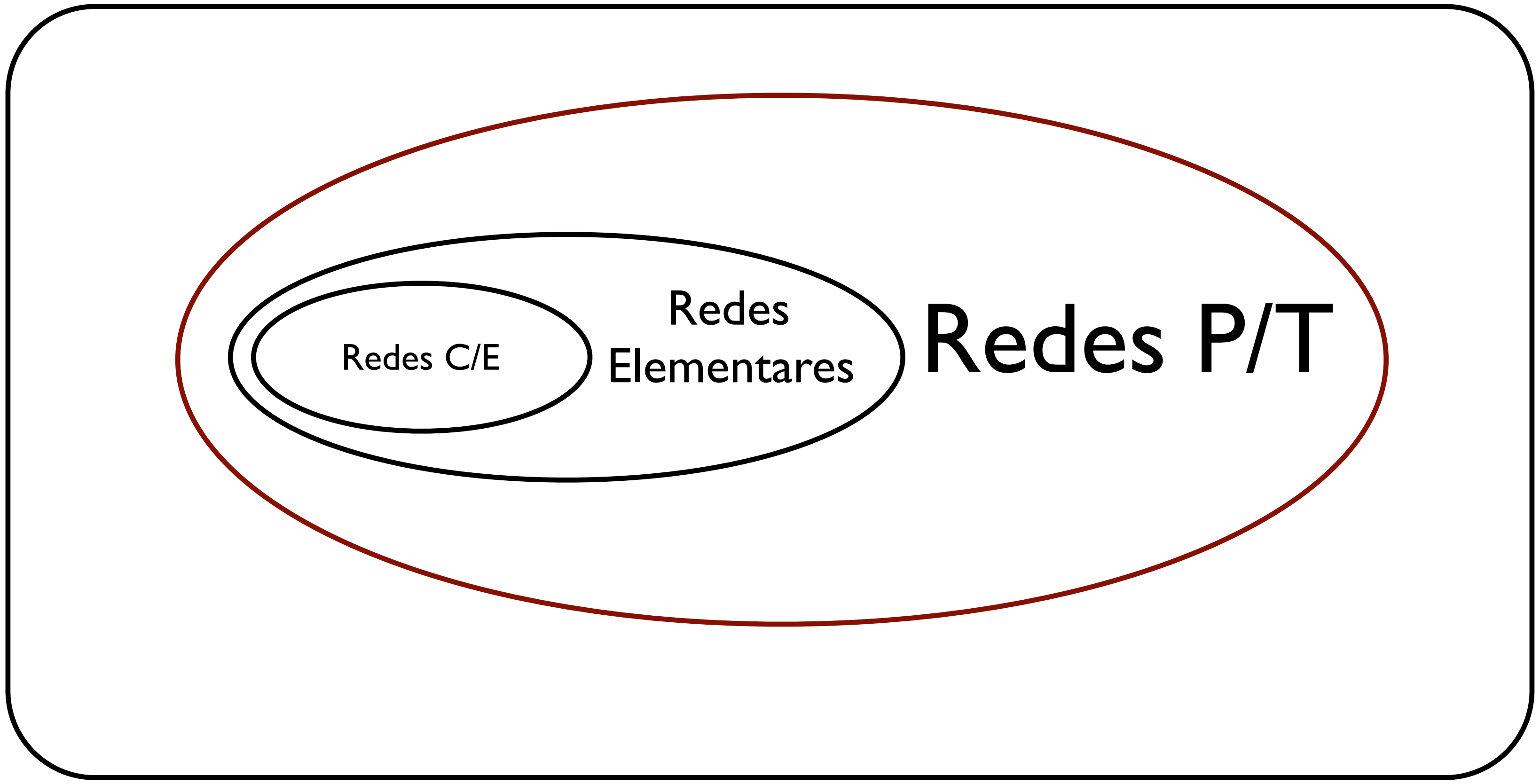
Redes P/T: Definição

Definition 16

Uma rede Place/Transition P/T, é uma n-upla, $N = (S, T; F, W, K, M_0)$, onde,

- S é um conjunto finito de lugares;
- T é um conjunto finito de trasições;
- $F = (S \times T) \cup (T \times S)$ representa as relações de fluxo (arcos);
- $W : F \rightarrow \mathbb{N}^+$ representando o peso, isto é, a quantidade de marcas que flui em cada arco;
- $K : S \rightarrow \mathbb{N}$ é um mapeamento que atribui a cada lugar uma capacidade máxima para o armazenamento de marcas.
- M_0 é a marcação inicial.

As redes de Petri Clássicas



?

Redes Place/Transition (P/T)

- número irrestrito (*w*) de marcas em cada lugar
- relações de fluxo não unitárias (peso dos arcos)
- determinação de capacidade dos lugares (> 1)
- indistinguibilidade das marcas
- geração de estados à partir de um estado inicial

Redes elementares → **Redes P/T**

Redes Limitadas

Definition 17

Uma rede $N = (S, T; F, W, K, M_0)$ é dita k-limitada se existe um número inteiro positivo k tal que

.

$\forall s \in S, M(s) \leq k,$

.

onde

.

$M : S \rightarrow \mathbb{N}$ é a função de marcação da rede.

.

O inteiro k é também chamado capacidade máxima de S, ou $max[K(s)]$.

Condição de Habilitação

Definition 18

Seja uma rede $N = (S, T; F, W, K, M_0)$. Uma transição $t \in T$ é dita habilitada em uma marcação M se e somente se,
$\forall s \in \bullet t, M(s) \geq W(s,t) \wedge \forall s \in t\bullet, M(s) \leq K(s) - W(t,s)$.

A Def. 18 é chamada condição de disparo estrita e é aplicada a redes k-limitadas, isto é, onde max[K(s)] é finito.

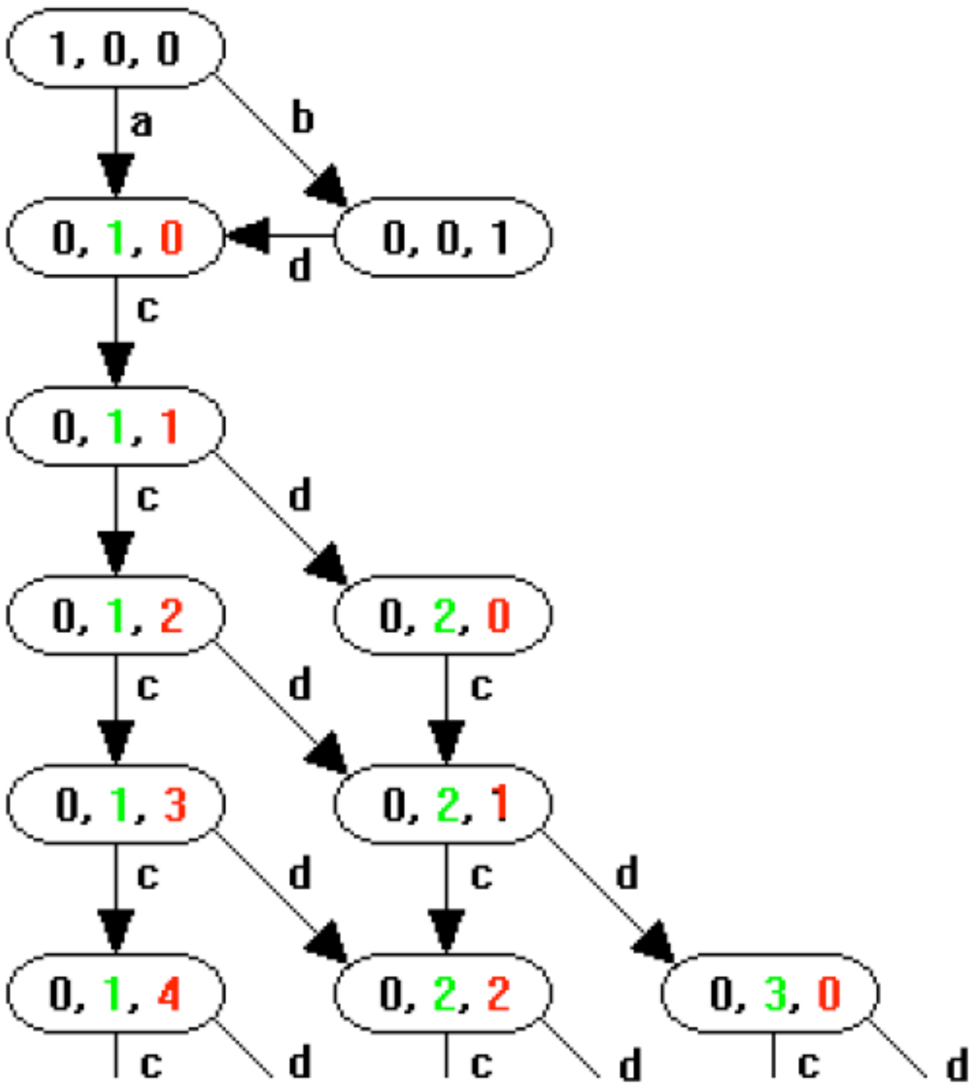
Redes Ilimitadas

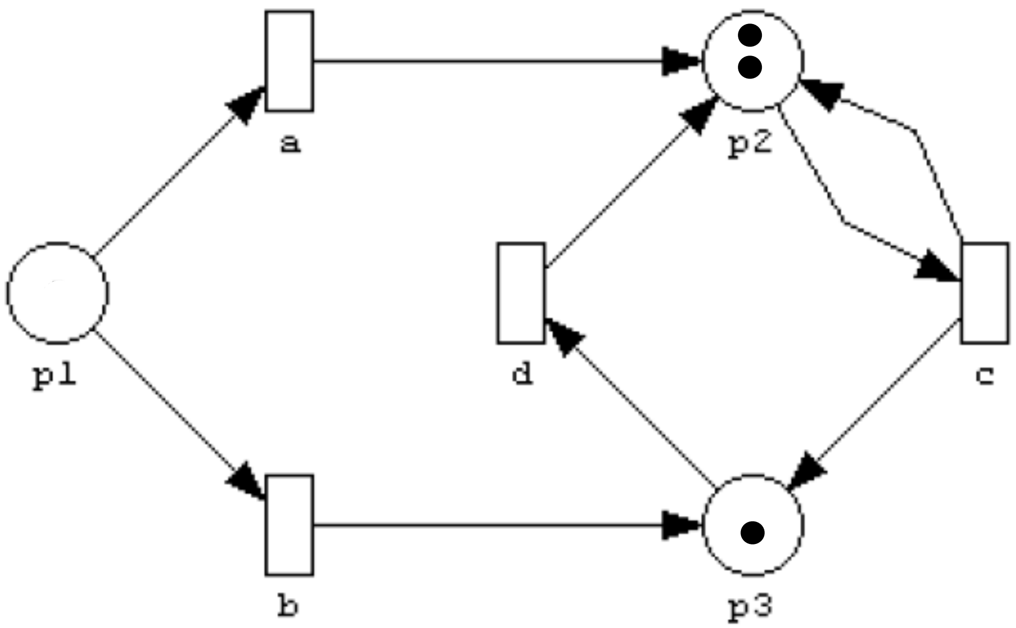
Definition 19

Uma rede $N = (S, T; F, W, K, M_0)$ é dita de capacidade infinita se e somente se,
$\exists s \in S | K(s) = w$, onde w é o inteiro ilimitado aleph-zero.

Uma rede de capacidade ilimitada tem também um grafo de atingibilidade infinito.

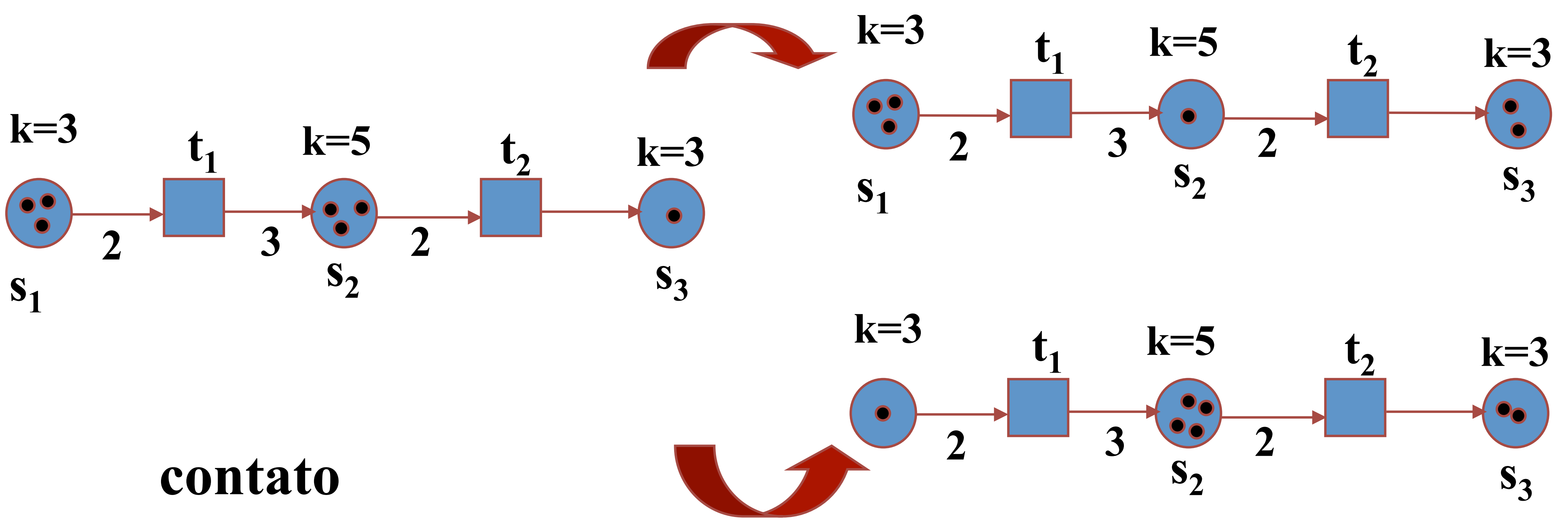
Exemplo





O grafo de atingibilidade à esquerda é infinito

O problema do contato



A Rede Dual

Def 20] Dada uma rede P/T **N=(S,T;F, W, K, M_0),** definiremos como sendo o sistema **N'**, S-completo em relação a **N**, uma rede P/T **N'=(S',T';F', W', K', M_0')** onde

i)

$$S' = S \cup \bar{S}, \text{onde } \bar{S} \text{ é o dual de } S, \text{isto é,}$$
$$\bar{S} = \{\bar{s} \mid \forall s \in S.(\exists | \bar{s}.({}^{\bullet}s = \bar{s}^{\bullet}) \wedge (s^{\bullet} = {}^{\bullet}\bar{s}) \text{ e}$$
$$M(\bar{s}) = K(s) - M(s)\}$$

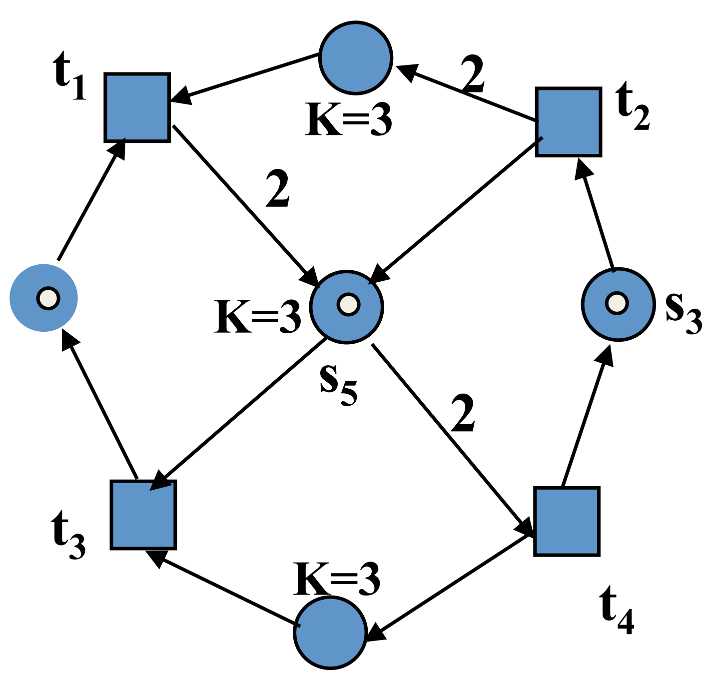
***ii*) T'=T;**

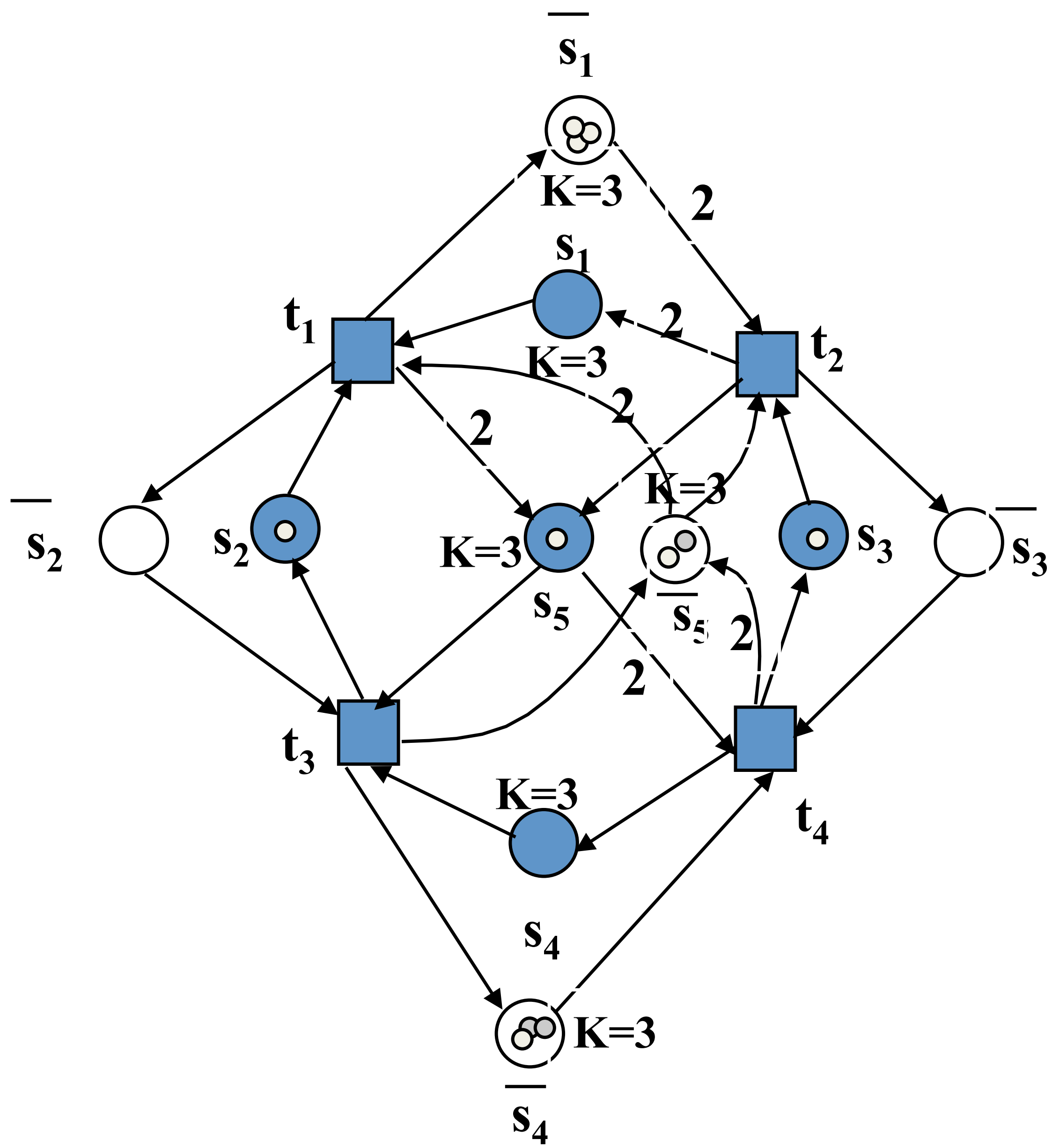
***iii*)**

$$F' = F \cup \bar{F}, \text{ onde}$$
$$\bar{F} = \{(t,\bar{s}) \mid t \in T \wedge [w(t,\bar{s}) = w(s,t)]\} \cup$$
$$\{(\bar{s},t) \mid t \in T \wedge [w(\bar{s},t) = w(t,s)]\}$$

***iv*) M_0'= $M_0(s) \cup M_0(\bar{s})$**

Exemplo


t1
K=3
2
t2
2
K=3
s5
s3
2
t3
K=3
t4


s1
K=3
2
s1
t1
2
t2
K=3
2
2
K=3
s2
s2
K=3
s5
s3
s3
s5
2
2
t3
K=3
t4
s4
K=3
s4

Flexibilizando a regra de transição

Definition 21

Seja uma rede $N = (S, T; F, W, K, M_0)$, uma transição $t \in T$ é dita fracamente habilitada se e somente se
$\forall s \in \bullet t, M(s) \leq W(s, t)$.

Uma regra de transição fraca é sempre aplicável a uma rede de capacidade infinita.

Teorema 2

Seja uma rede P/T $< N, M_0 >$, onde se aplica a regra de transição estrita, e seja $< N', M_0' >$ a sua rede dual, onde se aplica a regra de transição fraca. O grafo de atingibilidade destas duas redes são isomorfos.
Dem] (Lista de exercícios 2)

Portanto, para um ambiente de modelagem que trabalhe sempre com a rede dual não é preciso usar a regra de transição estrita.

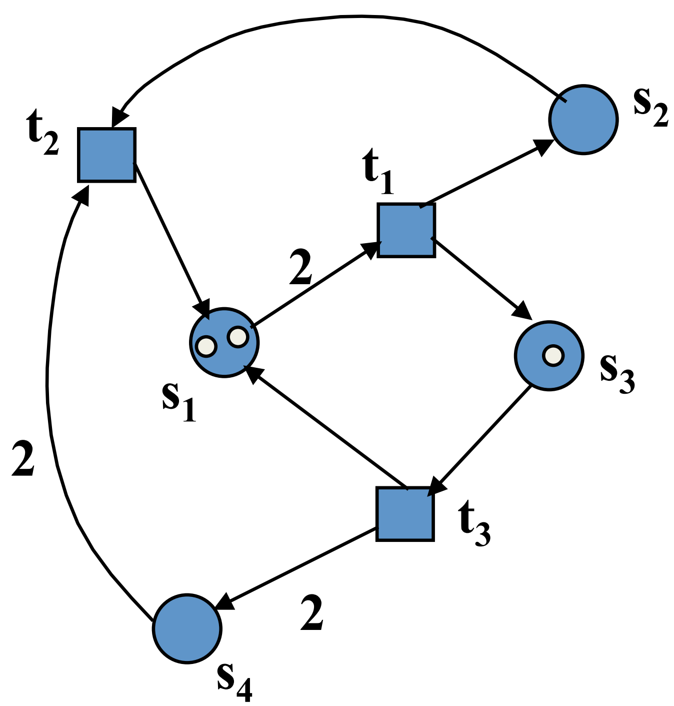
Proposição 2] Para toda análise de rede Place/Transition é possível utilizar a regra de transição fraca, dado que toda rede de capacidade finita, onde se pode aplicar a regra de disparo estrita, é de fato equivalente à sua rede dual onde se pode aplicar a regra de transição fraca.

Representação Algébrica das Redes P/T

As redes P/T podem ser consideradas uma generalização das redes Elementares, na medida que estas podem ser consideradas uma rede particular P/T onde a capacidade dos lugares é unitária, assim como o peso dos arcos. Portanto, vamos considerar a representação algébrica destas redes como um caso geral, bem como a análise de propriedades importantes com os invariantes.

Matriz de Incidência

Uma rede de Petri pode ser representada por sua matriz de incidências. Seja a rede supostamente ilimitada abaixo,

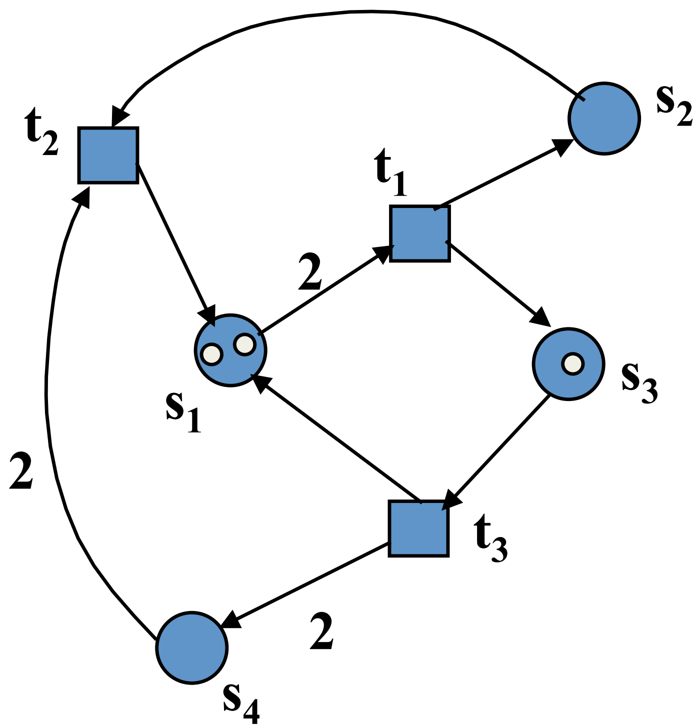


$$
\begin{array}{cc}
 & \begin{array}{cccc} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \end{array} \\
\mathbf{A} = & \begin{pmatrix} -2 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}
\end{array}
\begin{array}{c} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array}
$$

O vetor de habilitação

$$\sigma_{i,1} = \begin{cases} 1, & \text{se a transição } t_i \text{ está habilitada} \\ 0, & \text{se } t_i \text{ não está habilitada} \end{cases}$$

Equação de Estado



$$\boxed{M_{i+1} = M_i + A^T \sigma_i}$$

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cccc} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \end{array} \\ A = & \begin{pmatrix} -2 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{array}{c} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array} \end{array}$$

$$\sigma = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \qquad M_0 = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Aplicando-se a relação recursivamente,

$$\mathbf{M}_{i+1} = \mathbf{M}_0 + \mathbf{A}^T \sum_{j=0}^{i} \sigma_j$$

A condição necessária para que um dado estado de marcas M_{i+1} seja atingível a partir de M_0 é que exista uma soma de vetores de habilitação tal que,

$$\boxed{\mathbf{A}^T \sum_{j=0}^{i} \sigma_j = \mathbf{A}^T \overline{\sigma} = \mathbf{M}_{i+1} - \mathbf{M}_0 = \Delta\mathbf{M}}$$

Multiplicando a equação de estado por uma matriz B_f temos que,

$$\mathbf{B}_f \mathbf{A}^T \overline{\sigma} = \mathbf{B}_f \Delta \mathbf{M} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow (\mathbf{A}\mathbf{B}_f^T)^T \overline{\sigma} = \mathbf{B}_f \Delta \mathbf{M}$$

$B_f \Delta M = 0$ determina as soluções da equação homogênea.

Neste caso B_f é uma ponderação na distribuição das marcas tal que estas se conservam na evolução de M_0 a M_{i+1}.

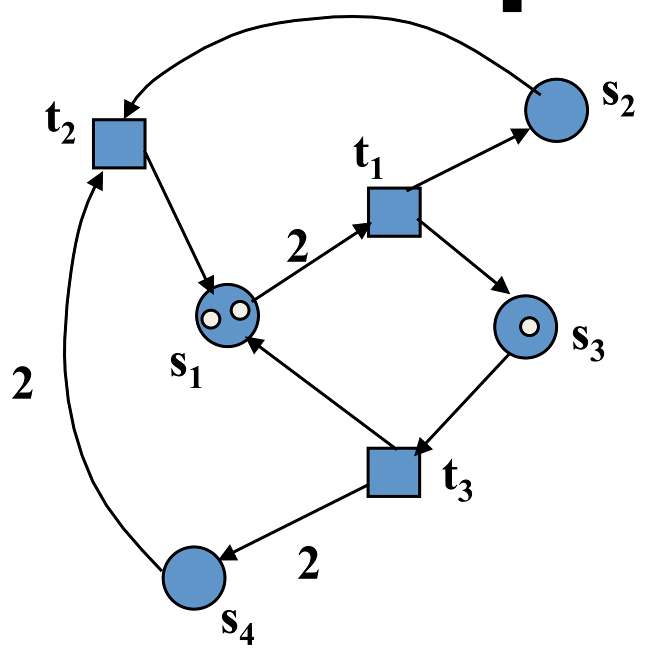
Neste caso, uma solução direta é que $AB_f^T=0$, e os vetores de B_f^T são chamados de S-invariantes.

Determinação de B*f*

$$
\begin{array}{cc}
\begin{array}{cc} \quad m-r & \quad r \end{array} & \\
\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} & \begin{array}{l} r \\ n-r \end{array}
\end{array}
$$

$$\mathbf{B}_f = [\mathbf{I}_{m-r} : -\mathbf{A}_{11}^T(\mathbf{A}_{12}^T)^{-1}]$$

Voltando ao exemplo



$$\mathbf{B}_f = \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} : -\begin{pmatrix} -2 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1/2 \end{pmatrix}\right] =$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 1/2 \\ 0 & 1 & -1 & -1/2 \end{pmatrix}$$

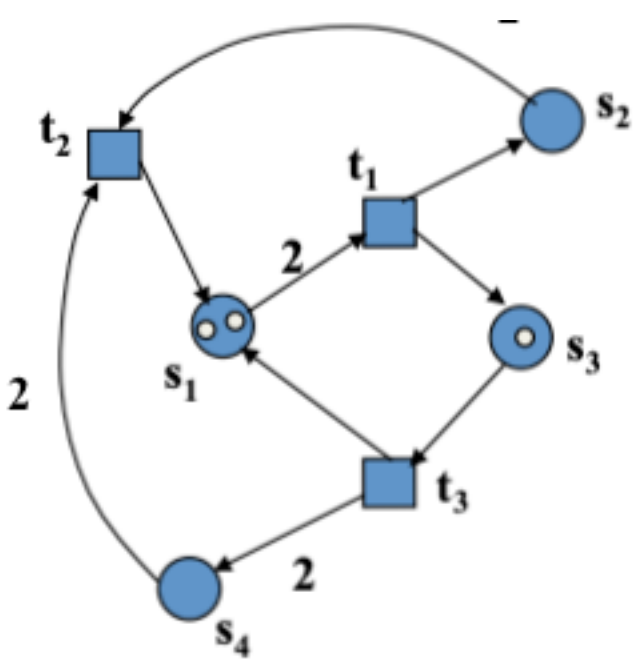
$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cccc} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \end{array} \\ \mathbf{A} = & \begin{pmatrix} -2 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{array}{c} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{cc} m-r & r \end{array} \\ \mathbf{A} = & \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{array}{l} r \\ n-r \end{array} \end{array}$$

$$\mathbf{B}_f = [\mathbf{I}_{m-r} : -\mathbf{A}_{11}^T(\mathbf{A}_{12}^T)^{-1}]$$

Portanto, temos que o vetor B_f é tal que $B_f\ \Delta M=0$, ou seja, para uma dada variação da marcação ΔM, se ponderarmos o vetor de marcas com a matriz Bf, tornaremos a variação de marcação nula. Assim, B_f torna a marcação invariante.

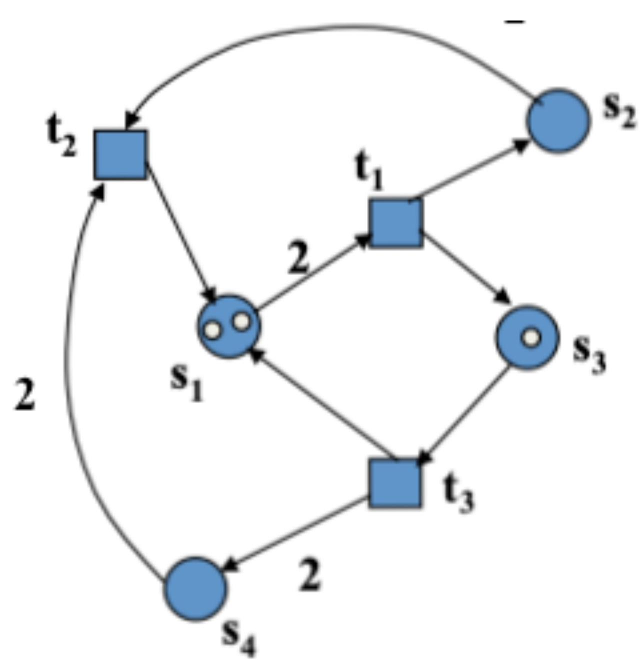
No exemplo utilizado até aqui ...



$$\begin{pmatrix}2\\0\\1\\0\end{pmatrix} \underset{t_1}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}0\\1\\2\\0\end{pmatrix} \underset{t_3}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}1\\1\\1\\2\end{pmatrix}$$

$$B_f \triangle M = B_f \left[\begin{pmatrix}2\\0\\1\\0\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}0\\1\\2\\0\end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix}1 & 0 & 2 & 1/2\\ 0 & 1 & -1 & -1/2\end{pmatrix} \left[\begin{pmatrix}2\\-1\\-1\\0\end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}$$

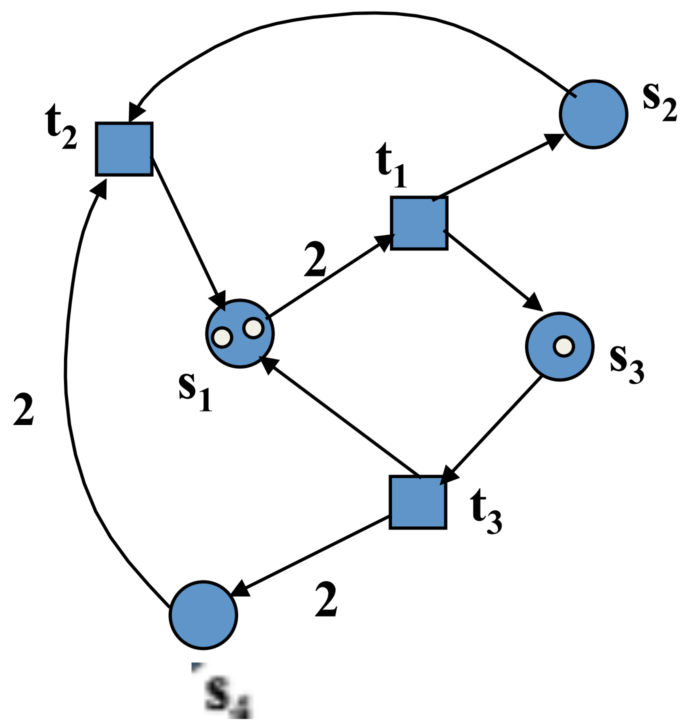
Similarmente, olhando o outro lado da equação ...



$$\mathbf{A}^T \sum_{j=0}^{i} \sigma_j = \mathbf{A}^T \overline{\sigma} = \mathbf{M}_{i+1} - \mathbf{M}_0 = \Delta \mathbf{M}$$

$$B_f A^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 1/2 \\ 0 & 1 & -1 & -1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -2 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Portanto, consideramos até aqui a dinâmica pertinente à conservação das marcas. Vamos agora olhar para a dinâmica da rede devido à evolução das marcas, isto é, as transições...



$$\begin{pmatrix}2\\0\\1\\0\end{pmatrix} \underset{t_1}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}0\\1\\2\\0\end{pmatrix} \underset{t_3}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}1\\1\\1\\2\end{pmatrix} \underset{t_2}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}2\\0\\1\\0\end{pmatrix} \underset{t_3}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}3\\0\\0\\2\end{pmatrix} \underset{t_1}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}1\\1\\1\\2\end{pmatrix} \underset{t_3}{\Rightarrow}$$

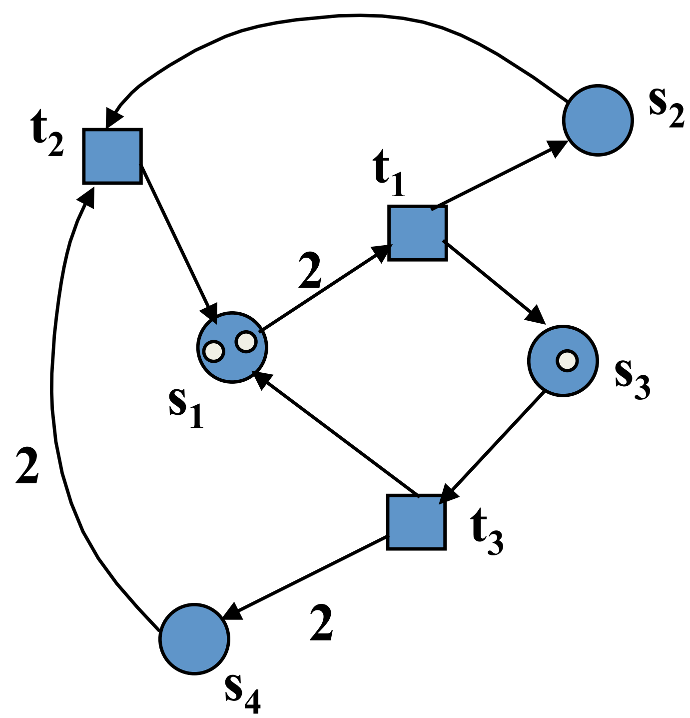
$$\begin{pmatrix}2\\1\\0\\4\end{pmatrix} \underset{t_2}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}3\\0\\0\\2\end{pmatrix} \Rightarrow \ldots$$

Voltando à equação de estado podemos agora investigar a dinâmica da rede, e os ciclos,

$$\mathbf{A}^T \sum_{j=0}^{i} \sigma_j = \mathbf{A}^T \overline{\sigma} = \mathbf{M}_{i+1} - \mathbf{M}_0 = \Delta\mathbf{M}$$

Podemos agora selecionar os ciclos, isto é, estados e sequências de disparo tais que ΔM=0.

À soma dos vetores de habilitação que caracterizam este processo chamamos de T-invariante.

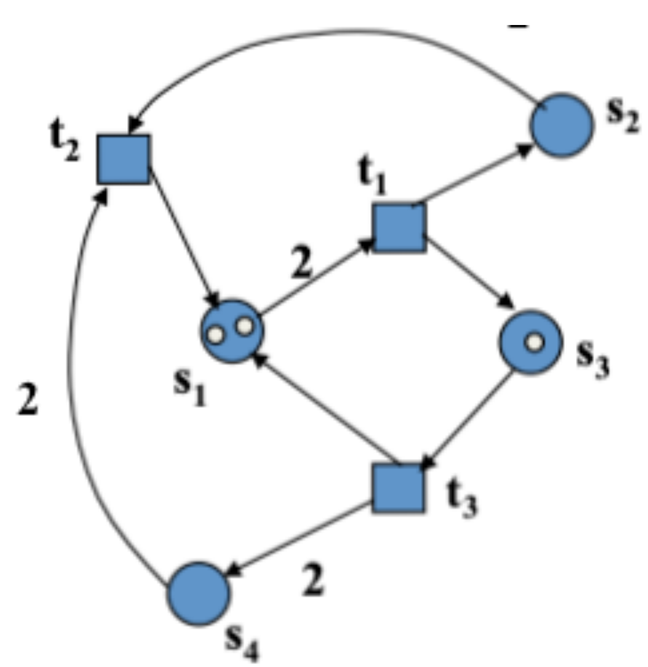


$$\begin{pmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -2 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$x = y = z$$

$$\mathbf{A} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \end{array} \\ \begin{pmatrix} -2 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix} \end{array} \begin{array}{c} \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array}$$

Em primeira determinação, isto é, fazendo com que x=y=z assuma o menor inteiro positivo, temos que x=y=z=1

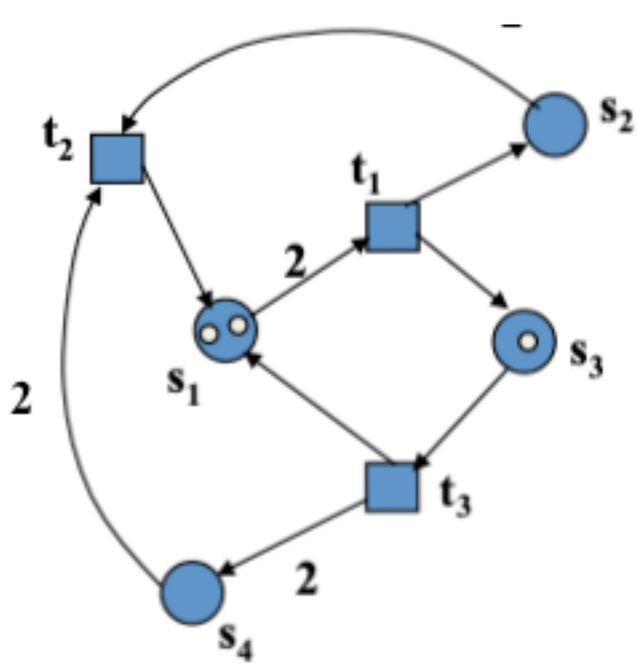


$$\begin{pmatrix} -2 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -2 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} -2x + y + z &= 0 \\ x - y &= 0 \\ -2y + 2z &= 0 \end{aligned}$$

$$\therefore \quad x = y = z$$

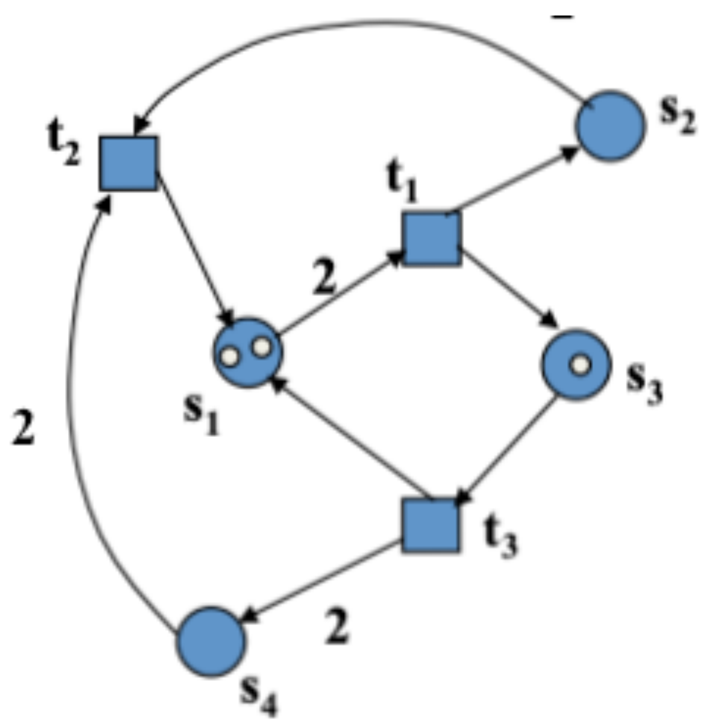
Note que existem passos (string de transições independentes) que levam o sistema ao mesmo estado, isto é, denotam ciclos



$$\begin{pmatrix}2\\0\\1\\0\end{pmatrix} \overset{t_1}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}0\\1\\2\\0\end{pmatrix} \overset{t_3}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}1\\1\\1\\2\end{pmatrix} \overset{t_2}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}2\\0\\1\\0\end{pmatrix} \overset{t_3}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}3\\0\\0\\2\end{pmatrix} \overset{t_1}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}1\\1\\1\\2\end{pmatrix} \overset{t_3}{\Rightarrow}$$

$$\begin{pmatrix}2\\1\\0\\4\end{pmatrix} \overset{t_2}{\Rightarrow} \begin{pmatrix}3\\0\\0\\2\end{pmatrix} \Rightarrow \ldots$$

O processo $t_1\, t_3\, t_2$ gera ciclos invariantes em estados diferentes, como mostrado anteriormente.



$$\sigma_1 = \begin{pmatrix}1\\0\\0\end{pmatrix}, \sigma_2 = \begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix} \text{ e } \sigma_3 = \begin{pmatrix}0\\1\\0\end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sum_{1}^{3} \sigma_i = \begin{pmatrix}1\\1\\1\end{pmatrix} \text{ é um T-invariante}$$

Formal methods have been successfully used for the **development of safety-critical systems**; however, the need for skilled knowledge when writing formal models and the reasoning about them represents a major barrier in the adoption of formal methodologies for the development of non-critical applications. A key aspect in the verification of formal models and in the development of reliable systems is the **identification of invariants**. However, finding correct and meaningful invariants for a model represents a significant challenge. We have used automated theory formation (ATF) techniques to automatically discover invariants of Event-B models. In particular, we use Colton's HR system to explore the domain of Event-B and suggest potential invariants.

Análise de Modelos em Redes de Petri

Possíveis estratégias :

- Classificação (fazer um estudo prévio de certas classes de rede e simplesmente identificar cada caso prático com uma das classes)

- Identificar propriedades "desejáveis" nas redes associadas a casos práticos, implicando que já existe uma associação destas propriedades com comportamento ou estrutura do sistema.

- Reproduzir a rede de cobertura e fazer a análise sobre esta rede

Até aqui nos baseamos em uma única propriedade para a análise dos sistemas modelados em Redes de Petri: a atingibilidade.

Vários trabalhos mostram que o problema da atingibilidade de um dado estado é decidível.

J. Esparza, Decidability and Complexity of Petri Nets Problems:An Introduction. Advanced Courses in Petri Nets, 1998, in Lecture Notes in Comp. Science 1491, Lectures in Petri Nets : Basic Models.

A relação de atingibilidade foi definida na aula passada como:

Definition 11

Definimos a relação de atingibilidade $R = (r \cup r^{-1})^{\star}$, onde $r \subseteq \mathscr{P}(S) \times \mathscr{P}(S)$ de modo que $c\, r\, c' \iff \exists v \in T \mid c \,|v\rangle\, c'$.

o que nos leva sempre a questionar se um dado estado pertence ao forward case class de uma dada marcação inicial M_0

$$\mathbf{M} \in |\mathbf{M}_0\rangle ?$$

$$\mathbf{M}_{i+1} = \mathbf{M}_0 + \mathbf{A}^T \sum_{j=0}^{i} \sigma_j$$

$$\mathbf{M}_{i+1} = \mathbf{M}_0 + \mathbf{A}^T \sum_{j=0}^{i} \sigma_j$$

Fazendo $\sum_{j=0}^{i} \sigma_j = \overline{\sigma}$, temos a equação não - homogênea,

$\mathrm{A}^{\mathrm{T}} \overline{\sigma} = \Delta M$. Se esta equação tiver solução não saberemos de fato se existe uma permutação de σ's que seja exequivel na prática, e que tornaria o estado de fato atingível. Entretanto, se a equação não tem solução, então o estado em questão NÃO é atingível. Temos assim uma condição necessária para a atingibilidade, obtida diretamente da equação de estado.

Árvore de Cobertura

Definition 22

Seja uma rede P/T $< N, M_0 >$, e seja uma marcação $M \in |M_0\rangle$. A marcação M é dita emcampável (coverable) se e somente se existir uma marcação $M' \in |M_0\rangle$ tal que $M' \geq M$, isto é, $\forall s \in S, M'(s) \geq M(s)$.

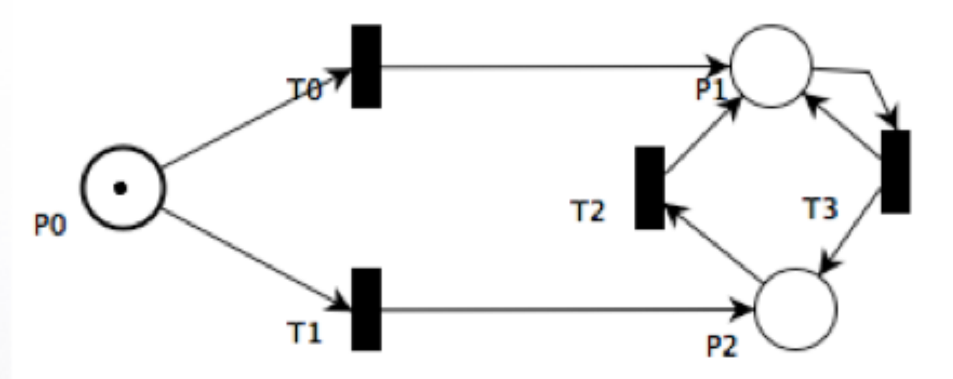
Uma árvore de cobertura é uma estrutura que tem a marcação inicial como raiz e cada ramo representando os diferentes processos ou sequencia de disparos até encontrar um "dead end" ou uma marcação já visitada.

Algorítimo de Construção

1) Tome M_0 como raiz e rotule este estado como "new"

2) Enquanto existir uma marcação denotada por "new" faça
   2.1) Selecione uma nova marcação M (apontada por "new");
   2.2) Se M for idêntica a alguma marcação já visitada, rotule esta marcação como "old" e procure uma nova marcação.
   2.3) Se nenhuma transição está habilitada então rotule M como um "final trap";
   2.4) Enquanto existirem transições habilitadas em M, faça
      2.4.1) Obtenha a marcação resultante do firing de $t \in M^{\bullet}$;
      2.4.2) Se a nova marcação é superável substitua M´por *w*
      2.4.3) Faça um novo nó com M´, desenhe um arco com rótulo t de M para M´ e rotule M´ como "new".

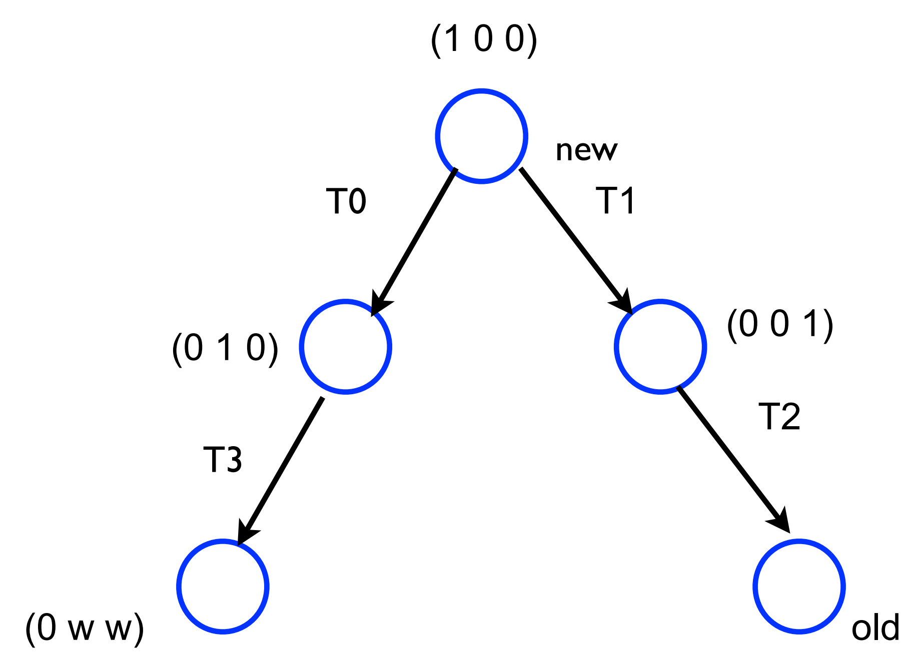
Exemplo



Em princípio os lugares P1 e P2 têm capacidade w.

1) Tome M_0 como raiz e rotule este estado como “new”

2) Enquanto existir uma marcação denotada por “new” faça
   2.1) Selecione uma nova marcação M (apontada por “new”);
   2.2) Se M for idêntica a alguma marcação já visitada, rotule esta marcação como “old” e procure uma nova marcação.
   2.3) Se nenhuma transição está habilitada então rotule M como um “final trap”;
   2.4) Enquanto existirem transições habilitadas em M, faça
      2.4.1) Obtenha a marcação resultante do firing de t $\in M^\bullet$;
      2.4.2) Se a nova marcação é superável substitua M´por *w*
         2.4.3) Faça um novo nó com M´, desenhe um arco com rótulo t de M para M´ e rotule M´ como “new”.



Verificação de sistemas com Redes de Petri

- O processo de verificação formal pode ser traduzido em um algoritmo procedural capaz de provar que uma propriedade é válida em dadas condições iniciais;
- O mecanismo de prova demonstra propriedades em um caso geral, baseado em métodos simbólicos e declarativos;
- As técnicas de análise formal agrupam várias propriedades de uma rede de Petri associadas a um modelo de artefato em fase de design.

Padronização das redes

IEC/ISO 15909

Parte 1 (2004): modelo semântico, definição teórica das redes clássicas e das redes de alto nível.

Parte 2 (2005-2008): definição do protocolo de importação/exportação, PNML.

Parte 3 (?) : Extensões, Redes Temporizadas, modularidade, hierarquia.

A rede de Petri tem todos os elementos fundamentais à análise de sistemas?

No passado várias redes foram desenvolvidas com elementos ou features orientadas para as diferentes aplicações

Sistemas de telecomunicação

Redes de computadores

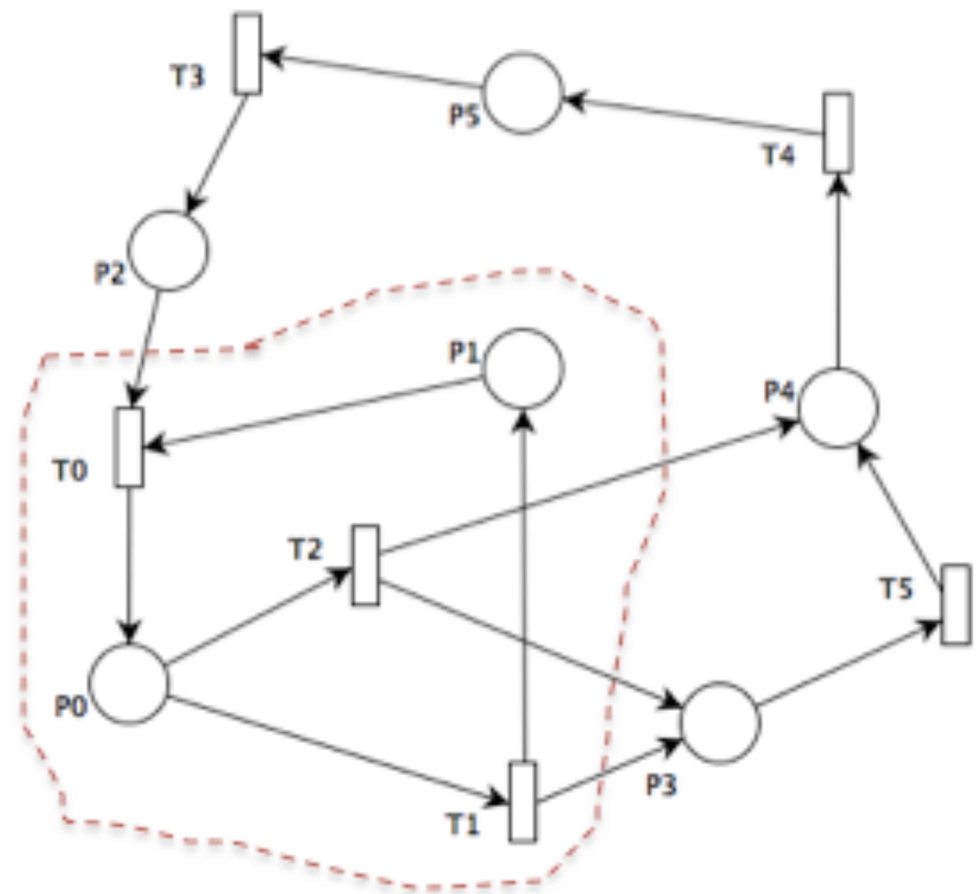
Sistemas de manufatura

Sistemas químicos de produção em batelada

Sistemas de transporte (inteligentes)

etc.

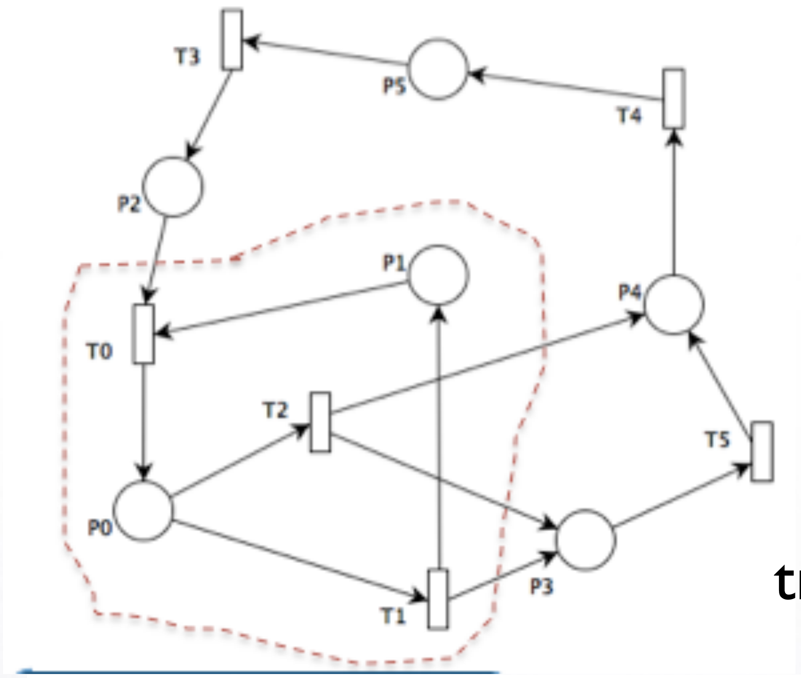
Hierarquia em redes clássicas



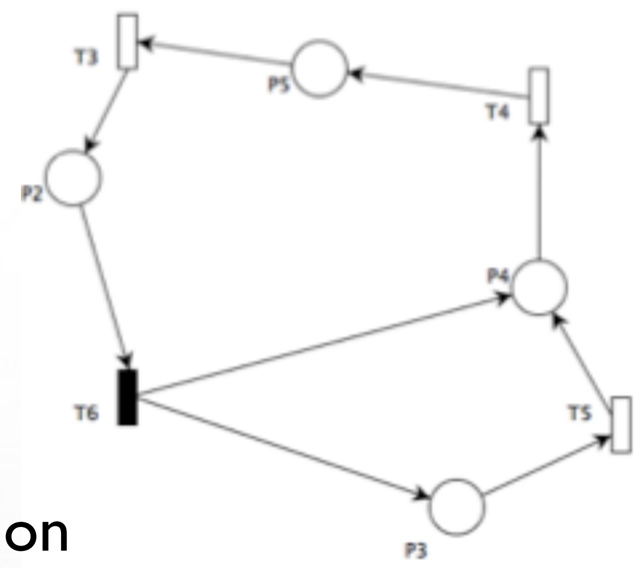
Definition 39

Seja uma estrutura de rede $N = (S, T; F)$. Seja $X = S \cup T$ e um sub-cojunto $Y \subseteq X$. Definimos uma borda de N como o conjunto $\partial(N) = \{y \in Y \,|\, \exists x \notin Y . x \in loc(y)\}$.

Substituição de uma sub-rede

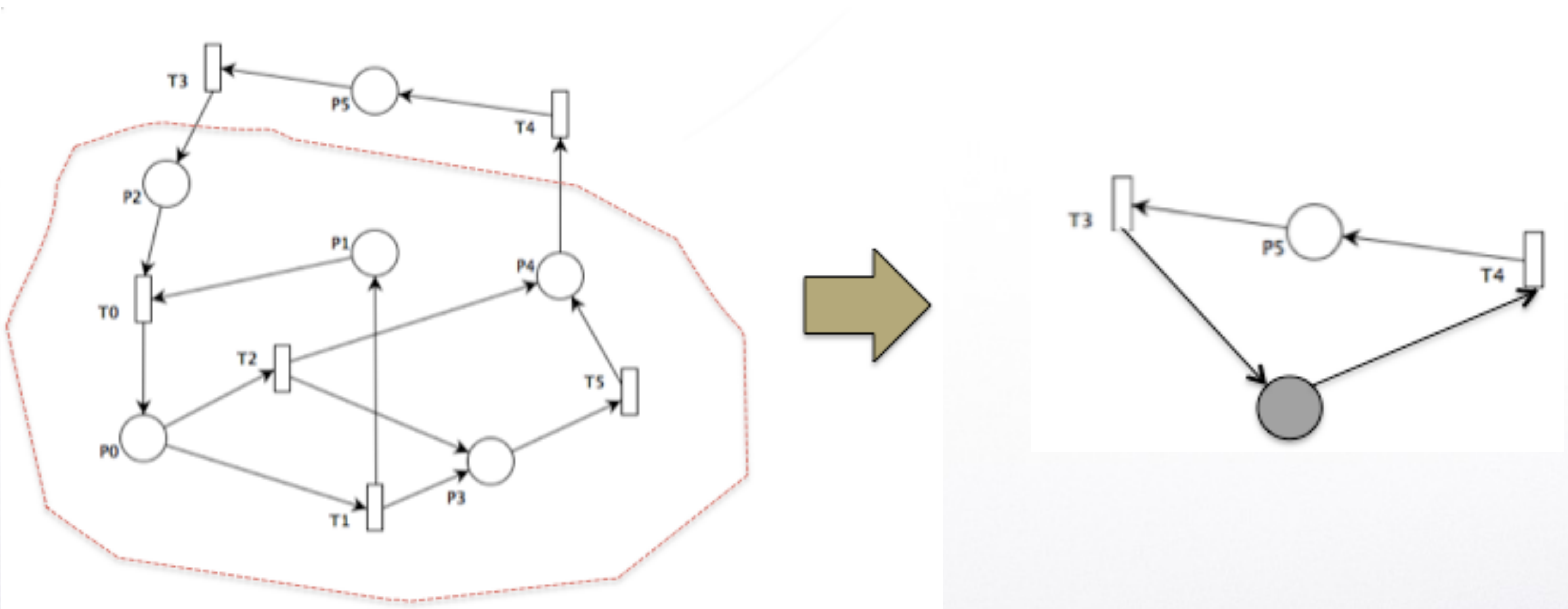


transition bounded substitution



Definition 40

Um sub-conjunto de elementos Y da rede $N = (S, T; F)$ é dito limitado por lugar (place bounded) ou aberto, se e somente se $\partial(Y) \subseteq S$. Similarmente, um sub-conjunto Y desta rede é dito limitado por transição (transition bounded), se e somente se $\partial(Y) \subseteq T$.



place bounded substitution

Se em uma rede com estrutura $N = (S, T; F)$ existe uma sub-rede Y limitada por transição, a substituição desta sub-rede Y gera uma rede $N' = (S', T'; F')$ onde:

(i) $S' = S \backslash Y$;
(ii) $T' = T \backslash Y \cup \{t_y\}$, onde t_y é o novo elemento que substitui Y;
(iii) $F' = F \backslash Int(Y)$ onde $Int(Y)$ é o conjunto dos arcos internos de Y.
.

Similarmente, se a sub-rede Y é limitada por lugar,
(i) $S' = S \backslash Y \cup \{s_y\}$, onde s_y é o novo elemento que substitui Y;
(ii) $T' = T \backslash Y$;
(iii) $F' = F \backslash Int(Y)$ onde $Int(Y)$ é o conjunto dos arcos internos de Y.

Elementos próprios

Seja uma sub-rede Y limitada a transição ou a lugar. Esta sub-rede é dita *própria* se e somente se tem apenas dois elementos de borda (que servem como entrada e saída da sub-rede, respectivamente) e um circuito "vivo" (em deadlocks) entre eles.

As propriedades de uma rede com elementos abstratos que substituem sub-redes próprias se conservam a menos de um termo aditivo. (Silva, J. R. and del Foyo, P. M. G.; Timed Petri Nets, in Petri Nets - Manufacturing and Computer Science, Pawel Pawlewski (ed.), Cahap. 16, Intech).

Hierarchy is a good abstraction feature. However, the real challenge is to associate that with the property analysis, so that the abstract net preserve the same properties than the expanded one.

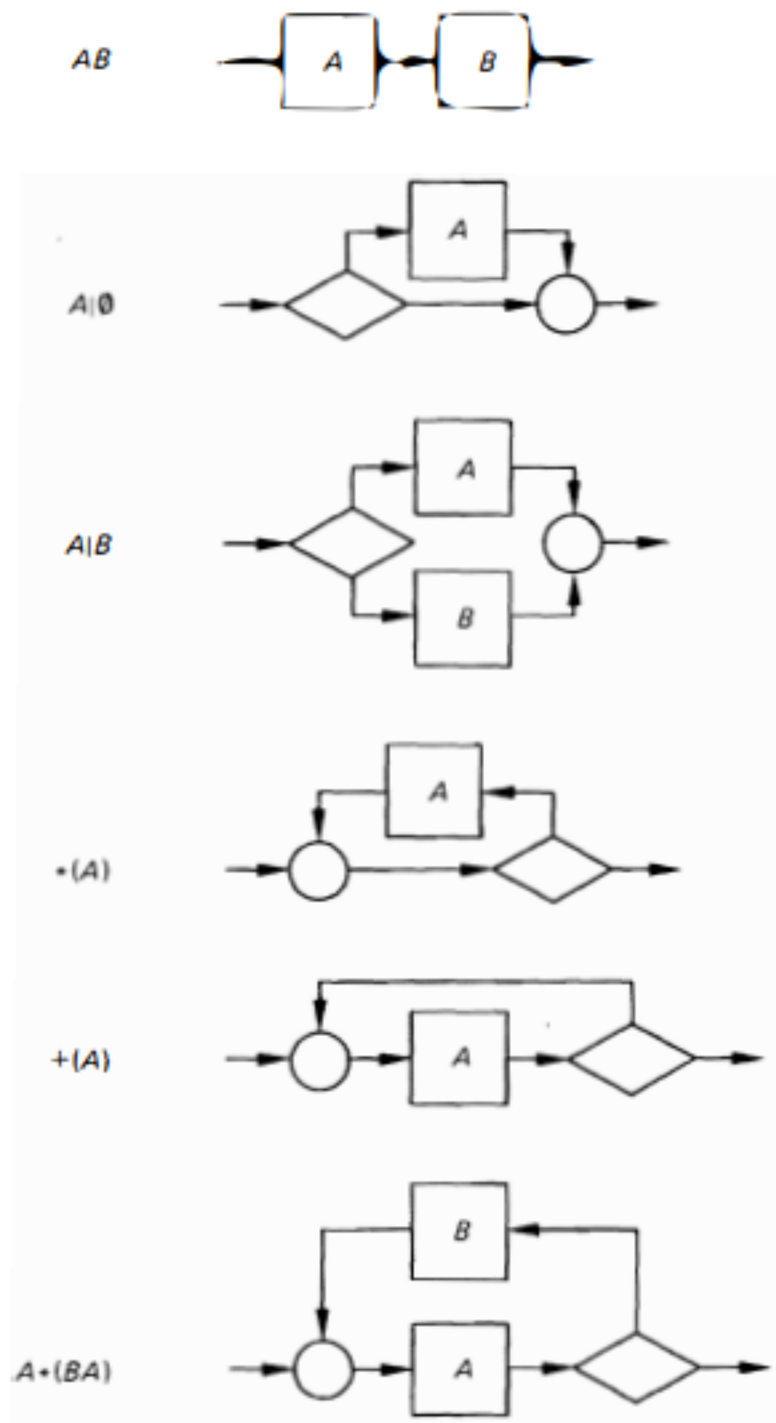
The proper requirement is a key issue for that.

Fundamentos do método estruturado

Um ***bloco*** é um conjunto genérico de instruções de programa, onde uma dada instrução é identificada como a entrada do bloco e outra (diferente da primeira) é identificada como a saída.

Se A e B são blocos de um mesmo programa, então A e B são ditos independentes se e somente se $A \cap B = \emptyset$.

Se A e B são tais que $A \cap B \neq \emptyset$ então $(A \subseteq B)$ OU $(A \supset B)$



Sequencia

If-then

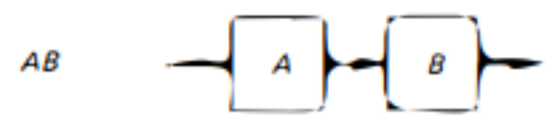
If-then-else

While-do

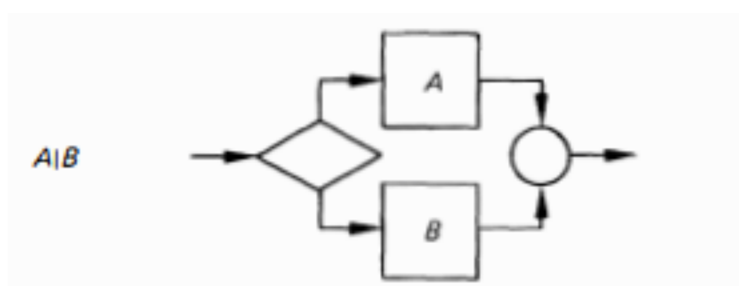
Repeat-until (do-while)

Do-while-do

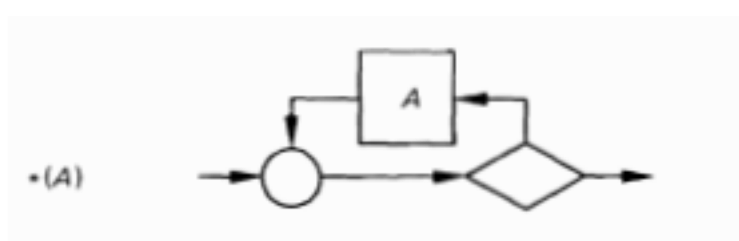
Um elemento é dito primo, se não pode ser construído como combinação de outros elementos… e um conjunto independente de elementos primos pode constituir uma "base", sobre a qual vários outros elementos podem ser construídos.



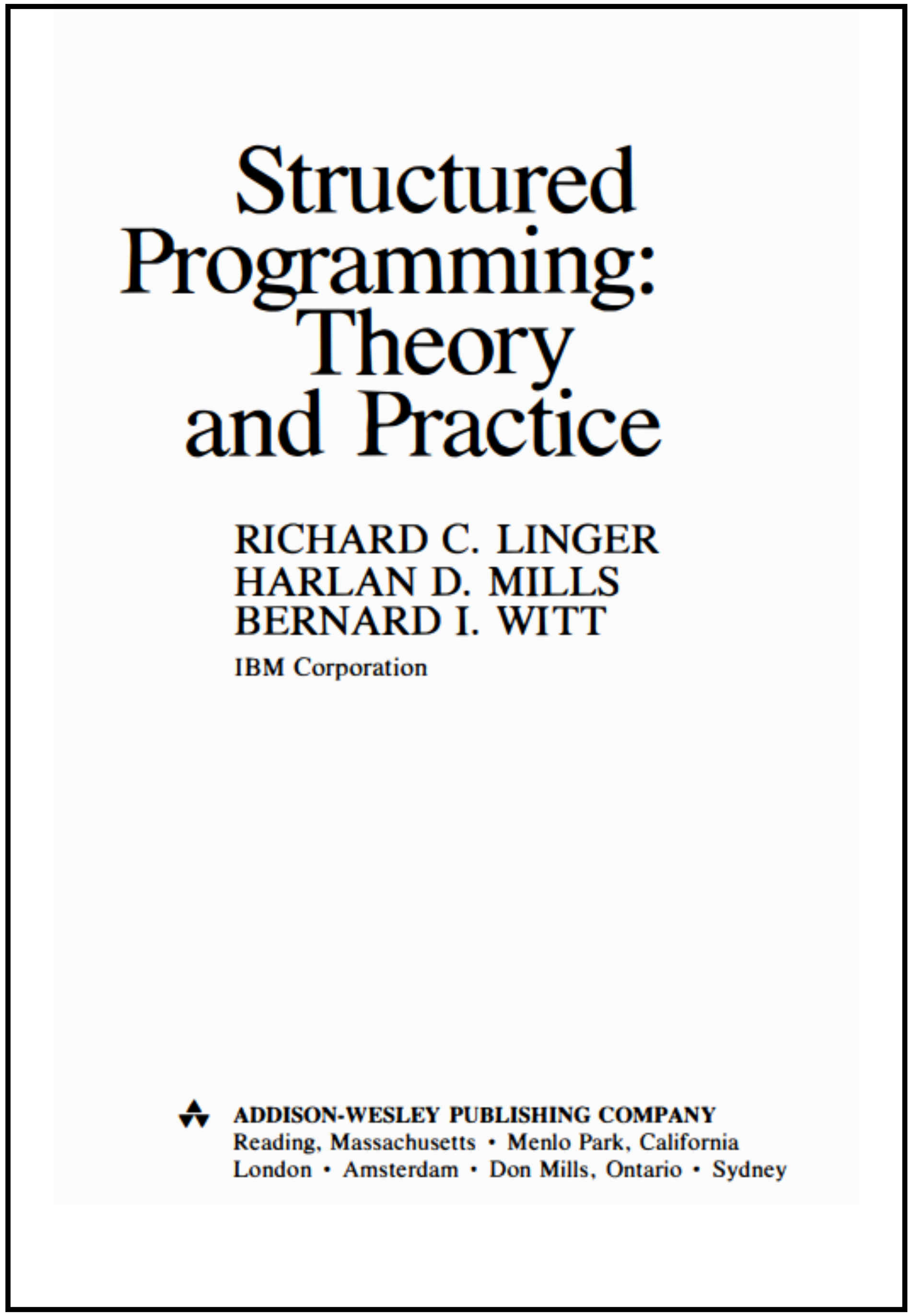
Sequencia



If-then-else



While-do



Structured Programming: Theory and Practice

RICHARD C. LINGER
HARLAN D. MILLS
BERNARD I. WITT
IBM Corporation

ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY
Reading, Massachusetts • Menlo Park, California
London • Amsterdam • Don Mills, Ontario • Sydney

A proposta seria portanto associar os elementos hierárquicos das redes de Petri aos elementos estruturados, explorando as consequências disso na análise de propriedades.

Na próxima aula veremos:

- **Cálculo de invariantes** e outros métodos de análise formal;
- Investigaremos as possibilidades de **unir redes de Petri à lógica de primeira ordem**;
- ... e com isso nos prepararemos para ampliar a base formal das redes de Petri nas **redes de alto nível**.

Fim