Chapter 3

Redes de Petri Temporizadas Básicas - TBN

A formulação original de PN considera que eventos são instantâneos, o que impede o tratamento de tempo através dela. Para contornar esse problema surgiram algumas propostas para associar tempo com um ou outro elemento de uma PN. Em suas formas mais simples podemos ter tempo associado à "duração" de transições ou ao "envelhecimento" de marcas em lugares específicos. Assim teríamos:

- Tempo associado a transições: Determina-se um tempo de computação C_i, que é associado a cada transição t_i, fazendo com que o seu disparo passe a ter duração de C_i;
- Tempo associado a lugares: Um tempo de computação C_i é associado a cada lugar p_i, fazendo com que após o disparo instantâneo da transição os tokens produzidos se tornem disponíveis apenas após C_i unidades de tempo.

Uma outra forma, mais geral, mistura as formas anteriores, associando *time-offsets* com as transições e intervalos de habilitação associados aos instantes de criação das marcas. Essa abordagem denominada **Time Basic Nets (TBN)**.

3.1 Redes Temporizadas Básicas (TBN)

Em TBNs cada token recebe um registro com seu instante de criação. Assim, é possível definir uma função parcial *time(p)*, para cada lugar p da rede, em que:

$$time: \ P \nrightarrow \mathbb{T}$$

A função *time(p)* é definida apenas para lugares que tenham tokens. De modo prático, essa função retorna o maior valor de instante de tempo de criação dos

tokens presentes em p. Isso ocorre pois, por estar associada aos tokens, a função é atualizada a cada disparo de uma transição, como ocorre com a marcação da rede.

Para o tratamento de restrições temporais se define, para cada transição, uma condição de tempo (*time condition*), que é um conjunto de intervalos de relógio para os quais o disparo é permitido. A time condition de uma transição é definida em função dos timestamps de seus lugares de entrada e de parâmetros temporais, chamados *time offsets*, associados com a transição.

O funcionamento de uma TBN depende dos seguintes fatores:

(a) Habilitação de transições:

Uma transição está habilitada se e somente se:

(i) cada lugar de entrada contém a quantidade necessária de tokens;

(ii) existem valores de tempo em sua time condition que sejam maiores que o maior timestamp dos tokens de entrada, ou seja, que os tokens tenham chego nos lugares de entrada antes da condição de tempo expirar. Esses valores definem o intervalo de disparo permitido para a transição.

(b) Período de disparo:

A cada transição habilitada se associa uma tupla habilitadora, que é o conjunto de tokens *"timestamped"* em seus respectivos lugares. O instante de habilitação de uma transição é o timestamp mais recente entre os tokens da tupla habilitadora.

O período de uma transição é definido como o intervalo de relógio cujos valores são tirados de sua condição de tempo e são maiores ou iguais ao seu instante de habilitação.

(c) Modelo de execução:

A execução (disparo) de transições de uma TBN obedece a:

(i) Somente transições habilitadas podem disparar e somente dentro do seu período de disparo;

(ii) Com o disparo de uma transição t, sua tupla habilitadora é removida de seus lugares de entrada;

(iii) O disparo de uma transição t coloca as quantidade indicadas de tokens nos lugares de saída, *time-stamped* com o instante de disparo;

(iv) Demais regras de PN contiuam válidas.

Exemplo: Elaborar uma TBN que modele parte de um piloto automático para aviões

- Descrição: é um mecanismo que atua na falta de reação do piloto durante o controle do avião quanto:

  (1) Controle manual não é selecionado na aproximação do pouso;

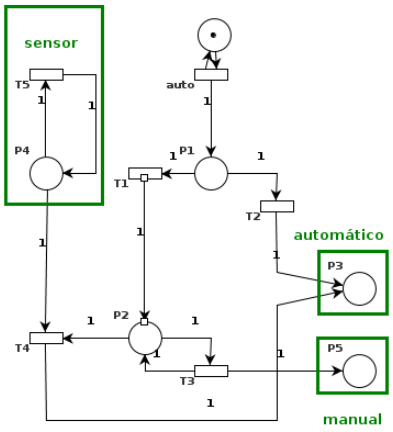
  (2) Piloto não realiza correções de vôo dentro de intervalos determinados.

- Restrições de tempo: Para essas situações temos que as restrições de tempo são:

  a. Para (1) o piloto deve fazer a escolha pelo controle manual em no máximo t_{sel} unidades de tempo após o avião entrar no raio de pouso;

  b. Para (2) o piloto deve fazer ajustes em intervalos maiores que t_{adj}^{min} e menores que t_{adj}^{max}. O sistema retorna para o piloto automático depois de t_{adj}^{max} após o ajuste mais recente, caso exista um desvio excessivo no pouso.

- TBN para o problema:



  - P1 - indica chegada ao raio de pouso;
  - P2 - indica que o pouso está sob controle manual;
  - P3 - indica que o pouso está sob control automático;
  - P4 - indica que existe desvio excessivo;
  - P5 - indica que atuação manual foi feita;
  - t1 - seleciona operação manual;
  - t2 - mantém operação automática;
  - t3 - realiza ajustes manuais;
  - t4 - retomada do controle automático;
  - t5 - processamento de dados dos sensores.

- Condições de tempo para a rede:

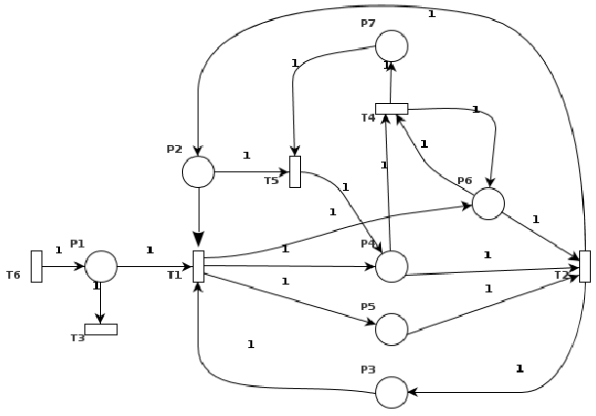
Condições de tempo para disparo			
Transição	time-offset	lugares de entrada	"Time condition"
t_1	t_{sel}	P_1	$(time(P_1), time(P_1) + t_{sel}]$
t_2	t_{sel}	P_1	$(time(P_1) + t_{sel}, \infty]$
t_3	$t_{adj}^{min}, t_{adj}^{max}$	P_2	$(time(P_2)+t_{adj}^{min}, time(P_2)+t_{adj}^{max})$
t_4	t_{adj}^{max}	P_2, P_4	$[time(P_2) + t_{adj}^{max}, \infty)$ se $time(P_4) > time(P_2)$ $\varnothing$, caso contrário

A condição de tempo para t_3 considera que se o piloto deixou de agir, então não poderá mais tomar o controle do avião. Se for possível a retomada, mesmo após t_{adj}^{max}, então a condição passa a ser: $(time(P_2) + t_{adj}^{min}, \infty]$.

Exemplo: Sistema de controle de processos

- Descrição: Um certo produto requer entre T_1 e T_2 unidades de tempo para ser produzido. Seu processamento se inicia dentro de T_3 unidades de tempo do recebimento do material bruto, que deve ser descartado se isso não ocorrer. No sistema podem ocorrer falhas de máquinas, que são trocadas dentro de um intervalo desconhecido. Após produzir um item uma máquina volta a ficar disponível após T_4 unidades de tempo.

- Modelo TBN para o problema:



  - P2 - Máquinas disponíveis
  - P4 - produto em processamento
  - P5 - não sofre influência da troca
  - P6 - falha ou início de produção
  - P7 - máquina que falhou
  - t1 - início do processamento.
  - t2 - término do processamento
  - t3 - descarte de matéria-prima
  - t4 - falha de máquina
  - t5 - troca de máquina
  - t6 - chegada de material

- Condições de tempo para a rede:

Condições de tempo para disparo			
Transição	time-offset	lugares de entrada	"Time condition"
t_1	T_3, T_4	P_1, P_2, P_3	$[time(P_3) + T_4, time(P_1) + T_3)$
t_2	T_1, T_2	P_4, P_5, P_6	$[T_0 + T_1, T_0 + T_2]$ onde $T_0 = time(P_4) + time(P_5) - time(P_6)$
t_3	T_3	P_1	$[time(P_1) + T_3, \infty]$
t_4	T_1	P_4, P_6	$(time(P_4), time(P_4) + T_1)$ se $time(P_4) = time(P_6)$ $\varnothing$, caso contrário
t_5	–	P_2, P_7	$(time(P_7), \infty]$

Exercício:

Considere um semáforo (controlando um cruzamento com ruas de mão unica) em que se define:

- Tempo no amarelo de 5 a 7s
- Tempo no verde 18s
- Tempo com dois lados no vermelo igual a 2s

Construa uma TBN que o modele

Exercício para casa:

Considere uma montanha russa de 5 vagões, cada um com até 12 lugares. Cada vagão leva 90 segundos entre início e final da volta, 30s para pessoas sairem e 30s para entrarem. Deve existir um intervalo mínimo de 20s entre dois vagões que estejam em movimento. Construa uma TBN que modele o funcionamento do brinquedo.

3.2 Transições especializadas

O modelo de funcionamento de uma TBN prevê a existência das condições de tempo, com os respectivos intervalos habilitados de disparo de uma transição.

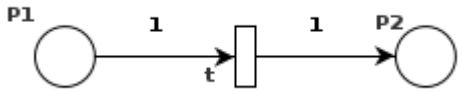
Não se indica, entretanto, o que ocorre se a transição não for disparada nesse intervalo, ou mesmo se ela deverá ser disparada. Essas condições são tratadas através da especialização de transições, que quando existentes devem ser atendidas na execução da TBN. Assim, temos transições:

- Fracamente temporizadas - Não podem ser forçadas a disparar dentro do período de disparo;
- Fortemente temporizadas - Uma vez habilitadas devem, obrigatoriamente, ser disparadas em algum instante dentro do período de disparo.

3.2.1 Representação de duração de processos

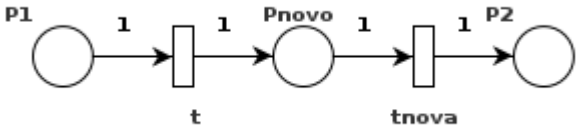
Suponha uma transição t, com *time-offsets* t_{min} e t_{max}, tal que sua condição de tempo seja $TC : (time(p)+t_{min}, time(p)+t_{max})$. Suponha ainda que seja necessário associar um atraso (tempo de processamento) a t, com limites (d_{min}, d_{max}) significando a duração do atraso. Sabe-se que isso não é viável pois transições não têm duração em TBNs.

A obtenção do efeito do tempo de processamento pode ser feita com a transformação da transição t em um par de transições, conectadas por um lugar para processamento. Assim, se tempos a transição:



com TC para t

Podemos transformar a transição t no par (t,t_{nova}), em que o tempo de processamento fica associado à transição t_{nova}. |Como essas transições não podem ser diretamente conectadas, insere-se também um novo lugar (P_{novo}) no modelo, resultando em:



com TC para t e $(time(P_{novo})) + d_{min}, time(P_{novo}) + d_{max})$ para t_{nova}.