



Um modelo temporizado para identificação e detecção de falhas de sistemas a eventos discretos

Ryan Pitanga Cleto de Souza

Email: ryanpitanga@poli.ufrj.br

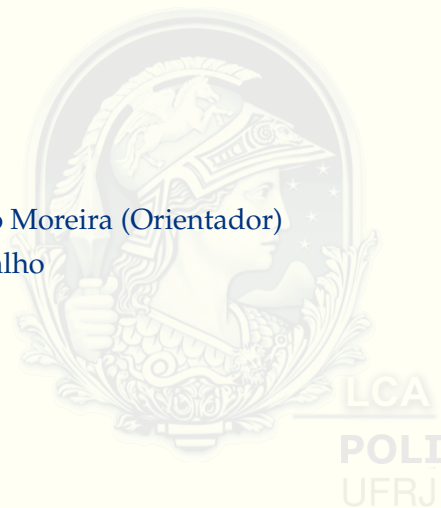
21 de março de 2019

Departamento de Engenharia Elétrica

UFRJ

MEMBROS DA BANCA

- ▶ Prof. Marcos Vicente de Brito Moreira (Orientador)
- ▶ Prof. Lilian Kawakami Carvalho
- ▶ Prof. Gustavo da Silva Viana



SUMÁRIO

Introdução

Fundamentos teóricos

Modelagem por identificação

Modelo proposto

Implementação

Conclusões



SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS (SED)

- ▶ Conjunto discreto de estados
- ▶ Evolução através de ocorrências de eventos

Aplicações

- ▶ Computação
- ▶ Transportes
- ▶ Sistemas industriais

DIAGNÓSTICO DE FALHAS

- ▶ Parte importante da pesquisa em SED foi dedicada ao diagnóstico de falhas

Características da abordagem tradicional

- ▶ Modelagem analítica completa do sistema
- ▶ Conhecimento dos comportamentos pós-falha
- ▶ Determina-se facilmente qual falha ocorreu

DIAGNÓSTICO DE FALHAS

- ▶ Contudo, a utilização desses métodos em sistemas industriais é difícil

Desvantagens para sistemas de grande porte

- ▶ Modelo complexo
- ▶ Não leva em conta consequências não previstas para as falhas
- ▶ Necessidade de um engenheiro que conheça os formalismos necessários à modelagem

MODELAGEM POR IDENTIFICAÇÃO

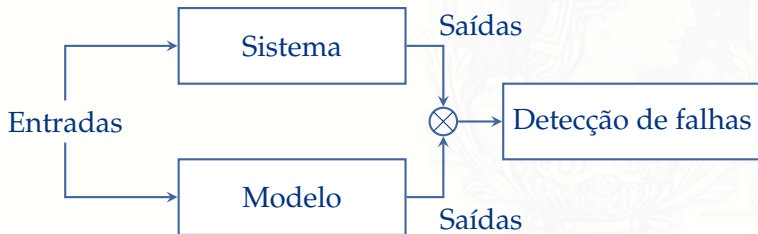
- ▶ Para contornar os problemas apresentados, foi proposta uma abordagem por identificação

Características da modelagem por identificação

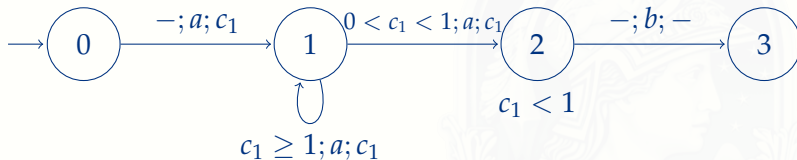
- ▶ Não há necessidade de qualquer conhecimento prévio sobre o sistema
- ▶ Modelo construído a partir de sinais do controlador obtidos do comportamento livre de falhas
- ▶ Procedimento automatizado

MODELAGEM POR IDENTIFICAÇÃO

► Uso do modelo identificado na detecção de falhas



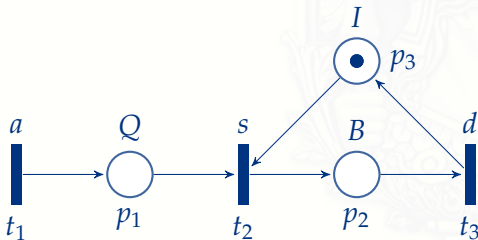
AUTÔMATO TEMPORIZADO COM GUARDAS



- ▶ Uma restrição sobre o tempo de ocorrência do evento é associada a cada transição
- ▶ Cada transição é rotulada por (guarda;evento;reset)

REDE DE PETRI

► Exemplo (sistema de fila)



REDE DE PETRI INTERPRETADA PARA CONTROLE

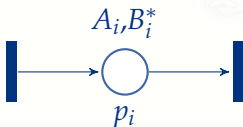
- ▶ Extensão da definição de rede de Petri
 - ▶ Modelagem do controle de um processo industrial
-
- ▶ Ações associadas a lugares
 - ▶ Contínuas
 - ▶ Impulsionais
 - ▶ Receptividades ou atrasos associados às transições
 - ▶ Não-temporizadas
 - ▶ Temporizadas

REDE DE PETRI INTERPRETADA PARA CONTROLE

Transições (não-temporizadas x temporizadas)

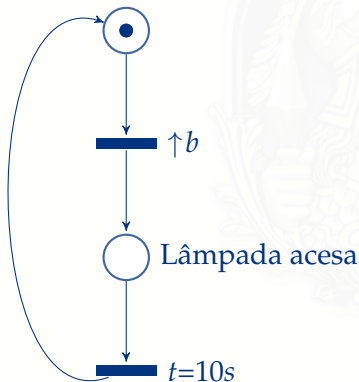


Ações (A_i : contínua, B_i : impulsional)



REDE DE PETRI INTERPRETADA PARA CONTROLE

Exemplo (acendimento de uma lâmpada)



FALHAS

É uma condição física que faz um dispositivo, um componente, ou um elemento a não funcionar da forma desejada.

Exemplos

- ▶ curto-circuito
- ▶ fio solto
- ▶ conexão intermitente

FALHAS

Diagnóstico

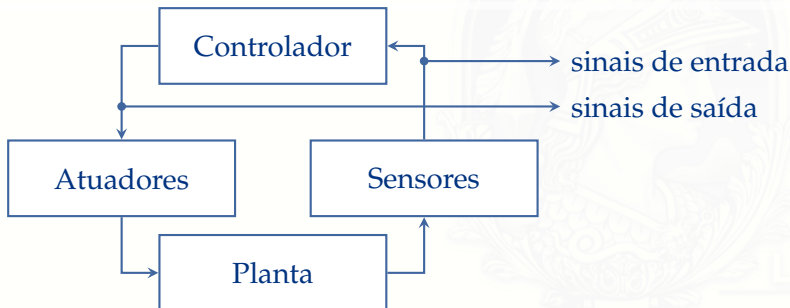
1. *Detecção de falhas* é a decisão entre duas situações: algo está errado ou tudo está normal
2. *Isolamento da falha* é a determinação de onde a falha ocorreu (qual sensor, qual equipamento, etc.)

Neste trabalho, o interesse será a modelagem por identificação com vistas à **detecção de falhas**.

MODELAGEM POR IDENTIFICAÇÃO

- ▶ Os sinais do controlador são coletados com o sistema funcionando livre de falha
- ▶ Um modelo é construído a partir dos dados coletados, de forma a reproduzir os comportamentos observados
- ▶ O processo de aquisição de sinais deve durar tempo suficiente para que o modelo gerado possa representar o sistema satisfatoriamente

PROCEDIMENTO DE AQUISIÇÃO



PROCEDIMENTO DE AQUISIÇÃO

Vetor I/O

$$u_j := \begin{bmatrix} i_1(t_j) & \dots & i_{m_i}(t_j) & o_1(t_j) & \dots & o_{m_o}(t_j) \end{bmatrix}^T$$

- ▶ Os dados de aquisição são sequências de vetores I/O, que representam o estado do sistema
- ▶ Um evento é a mudança no valor de um ou mais sinais do controlador

PROCEDIMENTO DE AQUISIÇÃO

Caminhos observados

- ▶ Sequências de estados e eventos associados a um ciclo de produção
- ▶ Iniciam sempre no mesmo estado

CAMINHOS OBSERVADOS

Exemplo

$$p_1 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$
$$p_2 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \right)$$

DAOCT

Autômato determinístico com saídas e transições condicionais

- ▶ Modelo obtido a partir dos caminhos modificados
- ▶ São definidas transições entre estados de acordo com o que foi observado
- ▶ Também é considerado em cada transição os caminhos modificados em que ela foi observada

DAOCT

Exemplos de caminhos observados

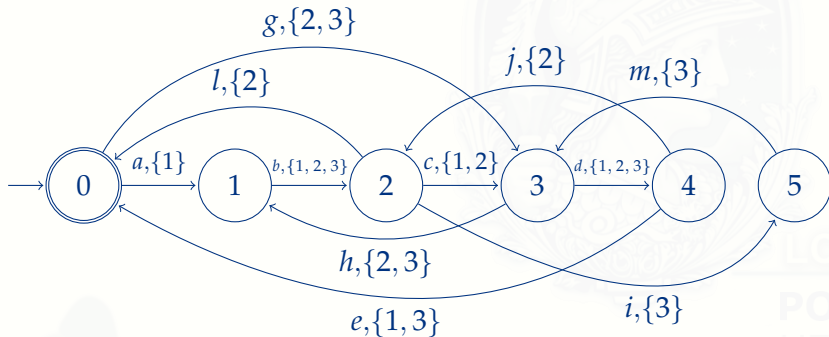
$$p_1 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p_2 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, c, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, j, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, l, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

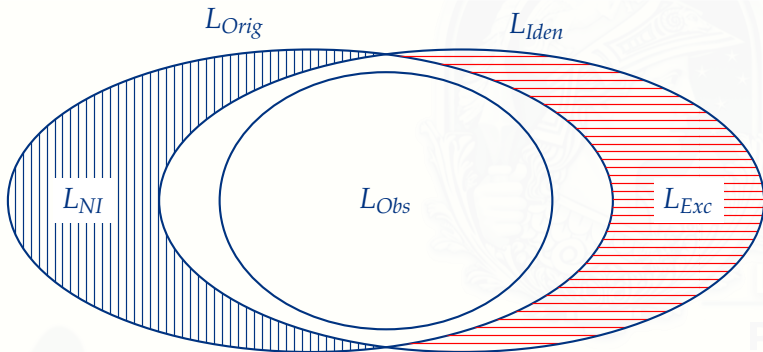
$$p_3 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, g, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, h, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, i, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, m, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, d, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, e, \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

DAOCT

Exemplo com $k = 1$



LINGUAGEM EM EXCESSO



MODELO PROPOSTO

- ▶ Adição de informação sobre o tempo de ocorrência dos eventos
- ▶ Caminhos observados são agora *temporizados*

Interesse

- ▶ Mais falhas podem ser detectadas
 - ▶ Ex: aquelas que provocam um *deadlock*

PROCESSAMENTO DE CAMINHOS

- ▶ Antes da construção do modelo, obtém-se a partir dos caminhos observados os chamados *caminhos com intervalos de tempos*
- ▶ Para determinar esses caminhos, dois métodos foram propostos, cada um com diferentes impactos sobre tamanho do modelo e potencial de detecção de falhas

PROCESSAMENTO DE CAMINHOS

Exemplo

$$p = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, \tau_1, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, \tau_2, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, c, \tau_3, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

- ▶ Os caminhos observados podem se dividir em dois grupos:
 - ▶ Grupo 1: $\tau_1 \in [50, 70]$, $\tau_2 \in [180, 220]$ e $\tau_3 \in [15, 25]$
 - ▶ Grupo 2: $\tau_1 \in [50, 70]$, $\tau_2 \in [900, 1050]$ e $\tau_3 \in [290, 320]$

PROCESSAMENTO DE CAMINHOS

Primeiro método

$$p'_1 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, I_{1,1}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, I_{1,2}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, c, I_{1,3}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

- ▶ $I_{1,1} = [50, 70]$
- ▶ $I_{1,2} = [180, 220] \cup [900, 1050]$
- ▶ $I_{1,3} = [15, 25] \cup [290, 320]$

PROCESSAMENTO DE CAMINHOS

Segundo método

$$p'_1 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, I_{1,1}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, I_{1,2}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, c, I_{1,3}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p'_2 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, I_{2,1}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, I_{2,2}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, c, I_{2,3}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$I_{1,1} = [50, 70]$$

$$I_{2,1} = [50, 70]$$

$$I_{1,2} = [180, 220]$$

$$I_{2,2} = [900, 1050]$$

$$I_{1,3} = [15, 25]$$

$$I_{2,3} = [290, 320]$$

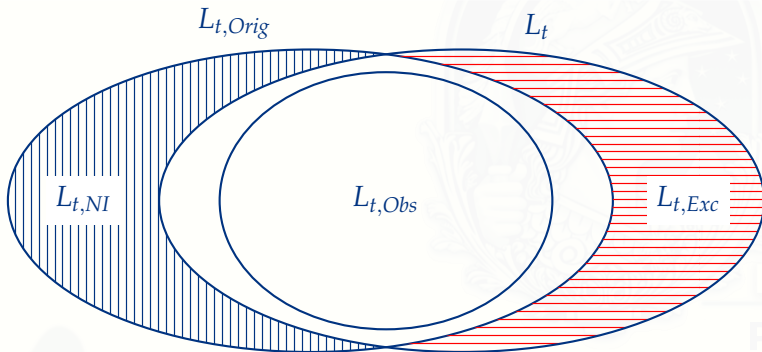
TAOCT

TAOCT

Autômato temporizado com saídas e transições condicionais

- ▶ Guardas são adicionadas às transições
- ▶ Sequências de eventos temporizados são executadas pelo modelo

LINGUAGEM TEMPORIZADA EM EXCESSO



TAOCT

Exemplo (caminhos formados com primeiro método)

$$p'_1 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, I_{1,1}, \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, b, I_{1,2}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, c, I_{1,3}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$p'_2 = \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, b, I_{2,1}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, a, I_{2,2}, \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, c, I_{2,3}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right),$$

$$I_{1,1} = [50, 70]$$

$$I_{2,1} = [200, 215]$$

$$I_{1,2} = [180, 220] \cup [900, 1050]$$

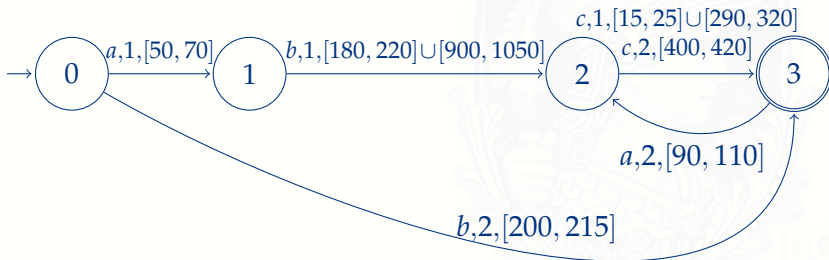
$$I_{2,2} = [90, 110]$$

$$I_{1,3} = [15, 25] \cup [290, 320]$$

$$I_{2,3} = [400, 420]$$

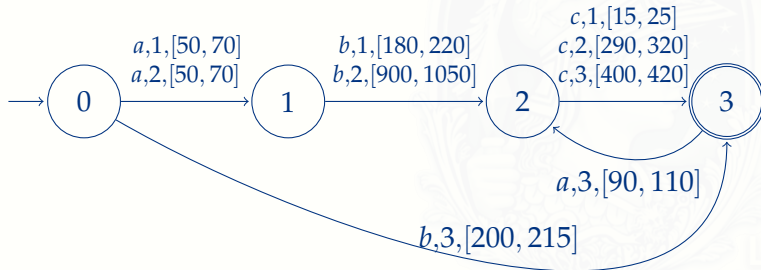
TAOCT

Exemplo (primeiro método de formação de caminhos)



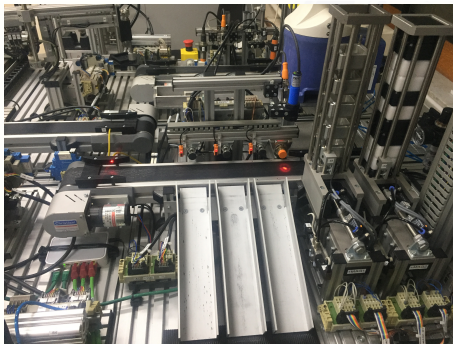
TAOCT

Exemplo (segundo método de formação de caminhos)



IMPLEMENTAÇÃO

Sistema de seleção de peças



Rede de Petri interpretada

MODELO DO SISTEMA

Sinais do controlador

- ▶ Vetor I/O composto por 23 sinais binários
 - ▶ 15 de saída
 - ▶ 8 de entrada

Caminhos

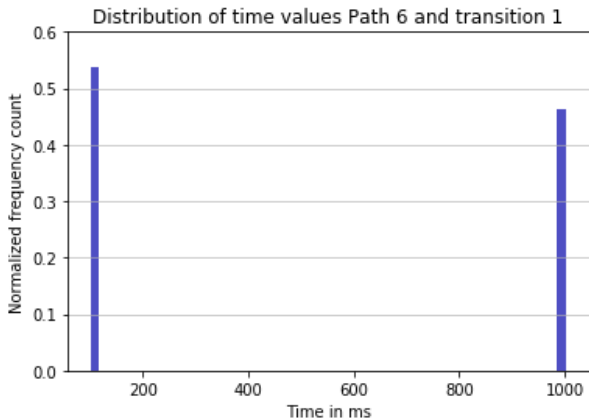
- ▶ 3533 caminhos observados
- ▶ 64 caminhos com intervalos de tempo (usando 1º método)

Modelo obtido com $k = 1$

- ▶ 30 estados
- ▶ 64 caminhos

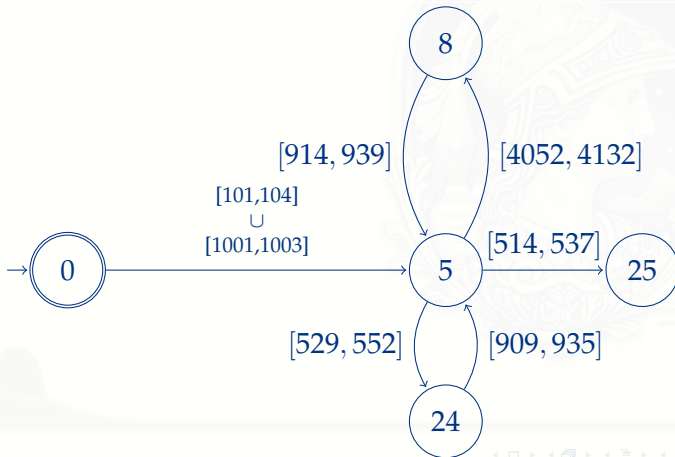
ANÁLISE DO MODELO

Primeira transição do caminho 6



ANÁLISE DO MODELO

Parte do autômato obtido



CONCLUSÕES

- ▶ Apresentação da modelagem por identificação
- ▶ Proposta de um modelo temporizado
- ▶ Maior capacidade de detecção de falhas usando o modelo proposto

Trabalhos futuros

- ▶ Estratégia de detecção de falhas explorando as vantagens do modelo proposto
- ▶ Isolamento das falhas detectadas

MUITO OBRIGADO A TODOS!

► contato: ryanpitanga@poli.ufrj.br

