	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE</p>
<p style="text-align: center;">Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027.</p>	
<p>Edital nº 377, de 25 de maio de 2022.</p>	<p style="text-align: right;">DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.</p>

PROVA ESCRITA – 21/11/2022	
TEMA	1- Controle realimentado.
<p>QUESTÃO 1</p> <p>Formule uma questão de prova sobre Controle Linear Realimentado de Sistemas Lineares Invariantes no Tempo. Resolva a questão.</p>	
TEMA	5- Modelagem de sistemas a eventos discretos por autômatos e redes de Petri.
<p>QUESTÃO 2</p> <p>Defina Autômato, ilustrando os elementos básicos por intermédio de um exemplo; Defina Linguagem gerada e Linguagem marcada, estados acessíveis e co-acessíveis, bloqueio; Fale sobre operações unárias e de composição; Defina Rede de Petri, ilustrando os elementos básicos por intermédio de um exemplo; Defina Equação de Estado, explicando como obter a matriz de incidência; Explique como obter a árvore de cobertura; Disserte sobre problemas de alcançabilidade e conservação.</p>	
TEMA	6- Controle supervisorio de sistemas a eventos discretos.
<p>QUESTÃO 3</p> <p>Considere que você foi contratado para projetar o controle lógico de um grande fábrica (com muitos dispositivos que precisam ser coordenados para que funcionem conjuntamente de forma correta e sem travamentos) que está sendo instalada no Brasil. Suponha que seu contratante exige que o Controle Supervisorio de Sistemas a Eventos Discretos seja utilizado no projeto. Discuta os passos para a realização desse projeto.</p>	

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

DUK5QM

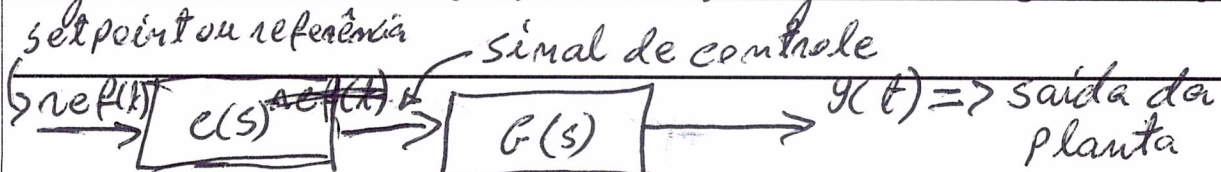
FOLHA 1

RESPOSTA QUESTÃO 1

Considere um sistema linear invariante no tempo, sobre esse tipo de sistema ilustre as diferenças de um controle em malha aberta, para um controle em malha fechada. Dê um exemplo prático de um controle em malha aberta e em malha fechada.

R: Um controle em malha aberta é um controle simples, em que um sinal de referência é aplicado a um sistema (ou planta na terminologia de controle), esse sinal resultará em um sinal de saída, porém, qualquer perturbação que ocorrer na planta irá desviar a saída do sinal desejado.

Um sistema em malha aberta é representado da seguinte maneira em um diagrama de blocos:



PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK5QH

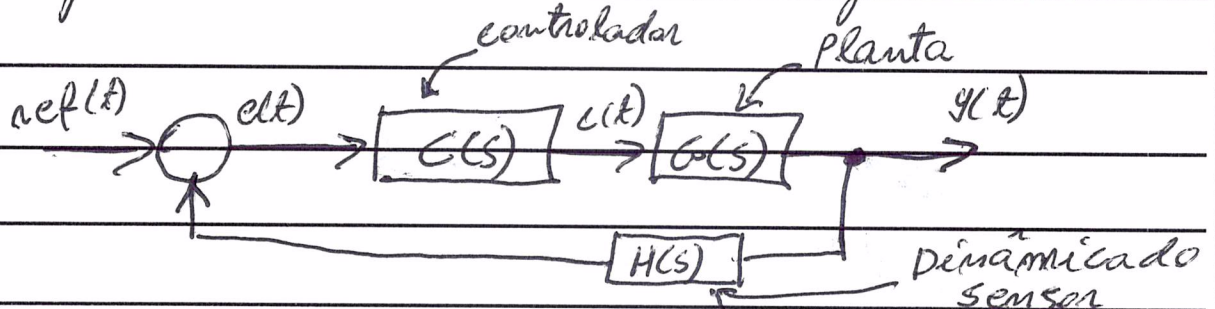
FOLHA 2

RESPOSTA QUESTÃO 1

Um sistema em malha aberta então não possui realimentação, e devido a isso não tem a capacidade de reagir a distúrbios na planta.

Um controle em malha fechada, como seu próprio nome diz possui realimentação, ou seja, sensores são utilizados para medir a saída da planta, esse sinal é retroalimentado para o sistema de controle, gerando o sinal de erro, que por fim, atua regulando a saída de controle (ou sinal de controle).

Um sistema em malha fechada é representado da seguinte maneira em um diagrama de blocos



PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK5QM

FOLHA 3

RESPOSTA QUESTÃO 1

É importante ressaltar que sistemas em malha fechada, podem sofrer com problemas de estabilidade, dessa forma o projeto dos controladores deve levar o quesito da estabilidade em conta, porém, o controle em malha fechada permite obter respostas das plantas com menor erro estacionário, ainda mais, durante a ocorrência de distúrbios, porém, acaba sendo mais caro devido a necessidade de uso de sensores. Por fim, é interessante ressaltar que existem uma gama de topologias de controladores para sistemas em malha fechada, tais como: ~~o~~ PID, PI, PD, avanço de fase, atraso de fase, etc.

Podemos citar como alguns exemplos de controle em malha aberta: controle de temperatura

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK5QH

FOLHA 4

RESPOSTA QUESTÃO 1

da água no chuveiro de nossas casas (repare que em dias mais frios devemos mudar o nível de aquecimento), a iluminação da nossa casa, controle de velocidade de um motor, sem uso de encoders, etc. Já para o controle em malha fechada, podemos citar: controle de velocidade de um carro com piloto automático, controle de um processo contínuo industrial, sistemas de controle de temperatura em sistemas de refrigeração, etc.

A estabilidade dos sistemas em malha fechada deve ser olhada com atenção, portanto existem uma gama de ferramentas para essa verificação tais como a análise de margem de ganho e de fase, diagrama de Nyquist, Algoritmo de Routh-Hurwitz e até mesmo o root locus, ^{utilizado} para projeto de sistemas de controle em malha fechada.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK 5 Q M

FOLHA 1

RESPOSTA QUESTÃO 2

O Autômato é uma quintupla como:

$$G = (X, \Sigma, f, X_0, X_m)$$

em que:

X - É o conjunto de estados do autômato G

Σ - É o conjunto de eventos ou alfabeto do autômato G .

f - É a função de transição $f: X \times \Sigma \rightarrow X$

X_0 - É o conjunto de estados iniciais

X_m - É o conjunto de estados marcados

O autômato pode ser representado graficamente como um grafo orientado, em que, cada nó do grafo (ou vértice) representa um estado, e cada aresta etiquetada representa uma transição.

Na figura a seguir ilustramos um exemplo

PROVA ESCRITA
21/11/2022

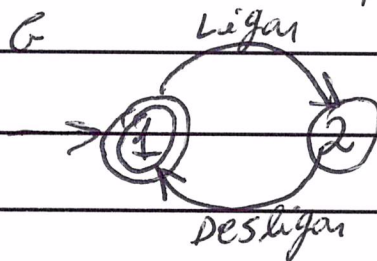
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

DVK 5 QM

FOLHA 2

RESPOSTA QUESTÃO 2

de um autômato que modela o comportamento de uma máquina:



Para esse exemplo, temos que:

$$X = \{1, 2\}$$

$$\Sigma = \{\text{Ligar}, \text{Desligar}\}$$

$$f(x, \sigma) = \begin{cases} 1, & \text{se } x=2 \text{ e } \sigma = \text{Desligar} \\ 2, & \text{se } x=1 \text{ e } \sigma = \text{Ligar} \end{cases}$$

$$x_0 = \{1\}$$

$$x_m = \{1\}$$

Repare que utilizamos círculos para indicar os estados, círculos concêntricos para indicar estados marcados, e uma seta para estados iniciais.

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

DUK5QM

FOLHA 3

RESPOSTA QUESTÃO 2

É importante ressaltar que os autômatos podem ser classificados como determinísticos ou não determinísticos, autômatos determinísticos possuem apenas um estado inicial, e possuem apenas um estado de destino para um dado evento em um dado estado.

A linguagem gerada por um autômato G são todas as possíveis cadeias de eventos gerados pela execução de G . Formalmente:

A linguagem gerada de G é gerada recursivamente

$$L(G) = \{s : f(x_0, s)!\}$$

em que $f(x_0, s)!$ indica que existe uma transição definida em G , mediante a entrada de uma cadeia s .

A linguagem marcada de um autômato G são todas as cadeias de $L(G)$ que acabam

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK5QM

FOLHA 4

RESPOSTA QUESTÃO 2

em um estado marcado, formalmente:

$$R_m(\alpha) = \{s \in \Sigma^*(\alpha) : f(x_0, s) \in X_m\}$$

os estados acessíveis de um autômato são os estados que podem ser alcançados, partindo-se do conjunto de estados iniciais. formalmente

$$X_{ac} = \{x = f(x_0, s) : x_0 \in X_0 \text{ e } s \in \Sigma^*(\alpha)\}$$

os estados coacessíveis são os estados os quais partindo deles, sempre é possível alcançar ^{um} estado marcado.

$$X_{coac} = \{x \in X : f(x, s') \in X_m\}$$

em que s' são seqüências válidas em α partindo-se do estado x .

o bloqueio é uma situação no autômato em que não se é possível alcançar um estado marcado após uma dada execução no autômato.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK 5 QM

FOLHA 5

RESPOSTA QUESTÃO 2

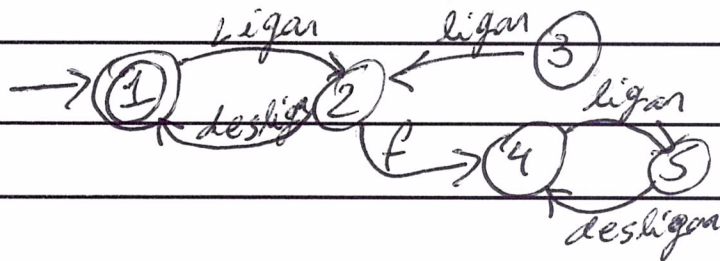
observe que se houver um "deadlock" em um estado marcado de α , essa não será considerada uma situação de bloqueio. Formalmente:

Um autômato será não bloqueante se:

$$L(\alpha) = L_m(\alpha)$$

em que $L_m(\alpha)$ é a operação prefixo de uma linguagem.

considere o seguinte exemplo anterior (modificado)



observe que $X_{ac} = \{1, 2, 4, 5\}$

$$X_{\alpha c} = \{1, 2, 3\}$$

Não é difícil perceber que esse autômato é bloqueante.

<p>PROVA ESCRITA 21/11/2022</p>	<p>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</p>
	<p>DVK5QM</p>

FOLHA 6

RESPOSTA QUESTÃO 2

As operações unárias são aquelas feitas em apenas um autômato tais como: a operação $Ac(G)$, $Coac(G)$, $trim(G)$, entre outras. Já as operações de composição são feitas para par de autômato, como a operação produto de dois autômatos G_1 e G_2 , a operação produto representa o comportamento sincronizado dos autômatos G_1 e G_2 , é uma operação mais restritiva, pois bloqueia transições que não ocorrem com eventos que não pertençam ao alfabeto de ambos autômatos. A composição produto já é menos restritiva, funcionando como a composição produto, mas liberando a ocorrência dos eventos particulares de cada alfabeto.

PROVA ESCRITA
21/11/2022

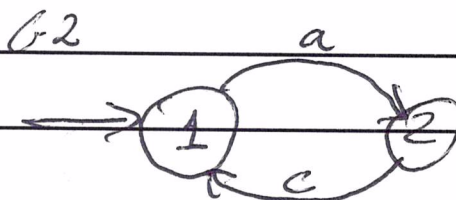
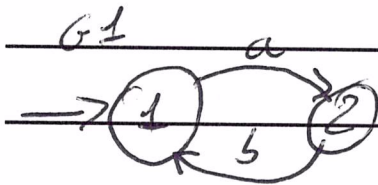
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

DUK5QM

Folha 7

RESPOSTA QUESTÃO 2

Exemplo: considere G_1 e G_2



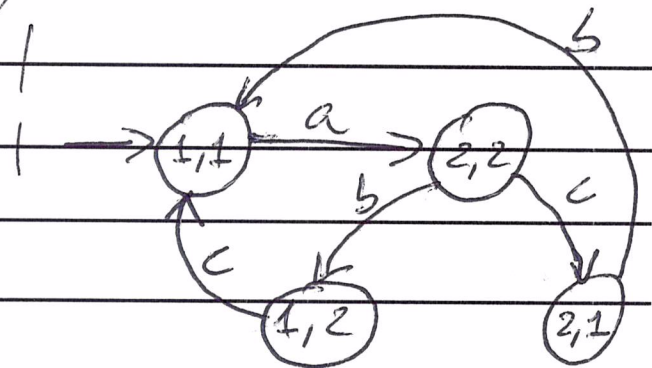
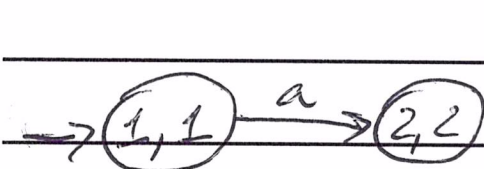
$$\Sigma_1 = \{a, b\}$$

$$\Sigma_2 = \{a, c\}$$

O produto será: $G_1 \times G_2$ / A composição paralela
/ será

$$G_3 = G_1 \times G_2$$

$$G_3 = G_1 \parallel G_2$$



Uma rede de Petri marcada é uma quintupla:

$$(P, T, f, W, x)$$

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

DUK5QM

FOLHA 8

RESPOSTA QUESTÃO 2

Em que:

P- É o conjunto de lugares de uma RPM

T- É o conjunto de transições de uma RPM

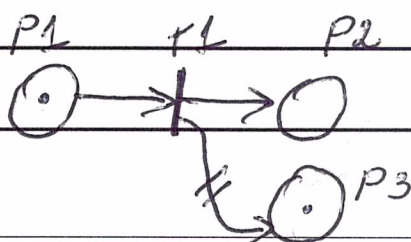
f- É uma função que associa lugares a transições e transições a lugares. (arcos)

w- É a função peso que atribui um peso a cada arco da RPM

X- É um vetor $X = [p_1, p_2, p_3; \dots, p_n] \in \mathbb{N}^n$ que representa a marcação da rede de Petri.

Exemplo: Dizemos que a Rede de Petri é um grafo bipartido, em que associamos transições a lugares e vice versa.

Exemplo:



PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK5QM

Folha 9

RESPOSTA QUESTÃO 2

No exemplo apresentado percebemos que temos:

$$P = \{P_1, P_2, P_3\} \quad T = \{T_1\}$$

$$f(P, T) = \begin{cases} P_2 & \text{se } P_1 \geq 1 \\ P_3 & \text{se } P_1 = 0 \end{cases}$$

os pesos dos arcos $w(P_1, T_1) = 1$

$$w(T_1, P_2) = 1 ; w(T_1, P_3) = 2$$

A marcação inicial é $x = [1, 0, 1]$.

A equação de estado é uma equação que permite descobrir as marcações futuras de uma rede de petri após o disparo de suas transições, partindo da marcação inicial. Para enarmos essa equação de estado devemos construir a matriz de incidência da rede de petri que é obtida considerando o peso de todos os arcos que partem de transições até os estados.

<p>PROVA ESCRITA 21/11/2022</p>	<p>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</p>
	<p>DOK5QM</p>

Folha 10

RESPOSTA QUESTÃO 2

A árvore de cobertura é um grafo semelhante a um autômato que registra todas as possíveis marcações de uma rede de Petri; pode ser construído iterativamente partindo-se da marcação inicial e executando transições e registrando as marcações alcançadas como se fosse estados de um autômato.

O processo termina quando não houverem mais marcações novas para serem geradas.

Os problemas de alcançabilidade em redes de Petri marcadas são aqueles em que gostaríamos de saber se um dado conjunto de marcações pode ser alcançado em uma dada rede de Petri com dada Marcação inicial.

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

DUK5QM

FOLHA 1

RESPOSTA QUESTÃO 3

Considerando que fui contratado para realizar um projeto de controle lógico de uma fábrica grande usando o controle supervisão de sistema a eventos discretos (SEDS), primeiramente dividiria esse projeto nas seguintes fases:

- 1- Identificação da planta e dos seus requisitos
- 2- Modelagem da planta com autômatos
- 3- Modelagem dos requisitos (especificações) com autômatos
- 4- cálculo da linguagem alvo K
- 5- se a linguagem alvo K , não for controlável (de acordo com o teorema da controlabilidade), calcular a máxima sublinguagem controlável da linguagem alvo K , $supcom(K)$
- 6- se houver tal linguagem não vazia, ou seja $supcom(K) \neq \emptyset$, realizar tal supervisor na forma de um autômato, S .

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK 5 QM

FOLHA 2

RESPOSTA QUESTÃO 3

7- Implementar o supervisor na forma de autômato, em um controlador lógico programável (Também seria possível implementar em um microcontrolador, porém, um C.P é mais indicado para aplicações industriais devido a sua robustez).

No passo 1, se faz necessário identificar as máquinas que serão controladas e coordenadas pelo controle supervisão, geralmente, as máquinas são sistemas "ciber-físicos", possuindo um comportamento complexo, sendo necessário realizar uma abstração desse comportamento para somente modelarmos o comportamento pertinente ao nosso problema de controle supervisão, sendo assim, nessa etapa identificamos os eventos relevantes da planta, classificando-os em controláveis e não controláveis.

<p>PROVA ESCRITA 21/11/2022</p>	<p>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</p>
	<p>DUK 5QM</p>

FOLHA 3

RESPOSTA QUESTÃO 3

Ainda no passo 1, precisamos definir junto ao nosso cliente as expectativas de requisito de performance e segurança da planta que deverão ser modeladas.

No passo 2, mediante as abstrações realizadas no passo 1, definimos o modelo das máquinas que serão controladas como autômatos, é importante ressaltar que existe um compromisso entre a complexidade do modelo e a liberdade do sistema de controle supervisorio, modelos muito complexos podem se tornar incomputáveis mesmo nos melhores softwares disponíveis da área. É importante ressaltar que geralmente o modelo do comportamento global da planta é obtido pela composição paralela dos autômatos de cada máquina/dispositivo da planta.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK5QM

FOLHA 4

RESPOSTA QUESTÃO 3

No passo 3, as especificações textuais obtidas com o nosso cliente são realizadas na forma de autômatos. A especificação global do sistema pode ser obtida pela composição paralela dos autômatos que reconhecem a linguagem das especificações.

No passo 4, calculamos a linguagem alvo do nosso sistema $K = G \parallel H$, em que G é o autômato que modela o comportamento global da planta e H que modela a especificação global da planta.

Na prática, os passos 5 e 6 são feitos simultaneamente. Simplesmente calculamos a máxima ~~de~~ sublinguagem controlável ^{da} em linguagem alvo K . Se o autômato gerado pela aplicação do algoritmo de $\text{supcon}(a)$ for isomorfo ao autômato reconhecedor de K , então K é controlável.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	DUK 5QM

FOLHA 5

RESPOSTA QUESTÃO 3

caso, $Supcom(G)$ não for isomorfo à H , então a linguagem alvo não será controlável, e o autômato obtido será o reconhecedor da máxima Linguagem controlável.

É importante ressaltar que os passos 2 a 6 podem, e geralmente são, aplicados em ferramentas de síntese de controle supervisionário, tais como o: IDES, TCT, ULTRADES, SUPREMICA, etc.

No passo 7, se o supervisor obtido for não vazio, podemos implementar o mesmo em CLPs, usando a linguagem Ladder e algumas técnicas disponíveis na literatura.

Por fim, é interessante ressaltar que pode não ser possível calcular o comportamento global da planta, ou das especificações, ou o reconhecedor da linguagem alvo. Existem

PROVA ESCRITA
21/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

DUK5QM

FOLHA 6

RESPOSTA QUESTÃO 3

algumas técnicas na literatura que permitem tentar fugir do problema da explosão combinatorial de SEDs, em específico no contexto de controle supervisionário de SEDs, tais como: controle modular, controle modular local e controle hierárquico (e suas variações).

Ainda, pode ser possível obter um controle que não só garanta a segurança da planta, mas que também permita o escalonamento da produção, para tanto algumas extensões de controle supervisionário para esse fim, já existem na literatura (TDES, Timed Automata, Timed-weighted-system) abstrações e uso de heurísticas, etc.)