Politécnica UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE
Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027.	
Edital nº 377, de 25 de maio de 2022.	DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA – 21/11/2022

TEMA	**1- Controle realimentado.**

QUESTÃO 1

Formule uma questão de prova sobre Controle Linear Realimentado de Sistemas Lineares Invariantes no Tempo. Resolva a questão.

TEMA	**5- Modelagem de sistemas a eventos discretos por autômatos e redes de Petri.**

QUESTÃO 2

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.

TEMA	**6- Controle supervisório de sistemas a eventos discretos.**

QUESTÃO 3

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 Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos seja utilizado no projeto. Discuta os passos para a realização desse projeto.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT6EN

RESPOSTA QUESTÃO 1

1.1 Questão: Considere um sistema de 1ª ordem cuja função de transferência é dado por $G(s) = \frac{K}{\tau s+1}$ e entrada é uma degrau unitário.

a) Analise o efeito da realimentação unitária no erro em regime permanente quando comparado ao erro em malha aberta.

~~b) Utilizando~~

b) É possível eliminar o erro em regime permanente apenas com realimentação negativa e com um controlador P? Analise também o efeito de um controlador P.I. Projete estes controladores, em caso positivo.

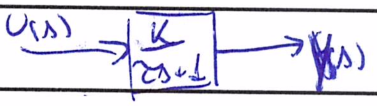
c) Suponha agora que o sistema analisado seja de 2ª ordem, ou seja, $G(s)=\frac{K\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$. Qual o cuidado que se deve ter ao adicionar um controlador $H(s)$ e realimentar negativamente o sistema, em que $H(s)$ é um controlador P.I.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCTGEN

RESPOSTA QUESTÃO 1

1) Solução:

1.a) Dado que $G(s)=\frac{K}{\tau s+1}$, deve-se montar o diagrama de blocos



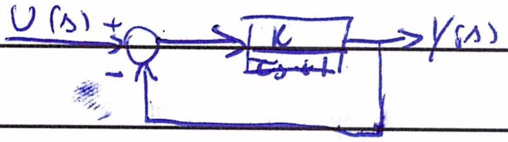
$Y(s)=\frac{K}{\tau s+1}U(s)=\frac{K}{s(\tau s+1)}$

$e_\infty = \lim_{t\to+\infty} e(t) = \lim_{t\to+\infty} u(t)-y(t) = \lim_{s\to 0} s\left(\frac{1}{s} - \frac{K}{s(\tau s+1)}\right) = \lim_{s\to 0} sE(s)$

O teorema do valor final pode ser aplicado neste caso, pois $E(s)=\frac{1}{s}\left(1-\frac{K}{\tau s+1}\right)$ possui ou ~~raízes~~ pólos com parte real negativa ou um polo na origem com multiplicidade 1.

$e_\infty = \lim_{s\to 0} s\cdot\frac{1}{s}\left(1-\frac{K}{\tau s+1}\right) = \lim_{s\to 0}\left(1-\frac{K}{\tau s+1}\right) = 1-K$

Com realimentação unitária, temos que



$E'(s)=U(s)-Y(s)=U(s)-G(s)\cdot[U(s)-Y(s)]=U(s)-G(s)\cdot E'(s)$

$E'(s)=U(s)\cdot\frac{1}{1+G(s)}=\frac{1}{s}\cdot\frac{1}{1+\frac{K}{\tau s+1}}=\frac{1}{s}\,\frac{\tau s+1}{\tau s+1+K}$

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCTGEN

RESPOSTA QUESTÃO 1

1.a) $e'_\infty = \lim_{t\to+\infty} e'(t) = \lim_{s\to 0} sE'(s)$?

Teorema do valor final é satisfeito por $E'(s)$

$$e'_\infty = \lim_{s\to 0} sE'(s) = \lim_{s\to 0} s\cdot\frac{1}{s}\frac{\tau s+1}{\tau s+1+K} = \lim_{s\to 0}\frac{\tau s+1}{\tau s+1+K} = \frac{1}{1+K}$$

Como $K>0$, $e_\infty = 1-K$ e $e'_\infty = \frac{1}{1+K} < 1$

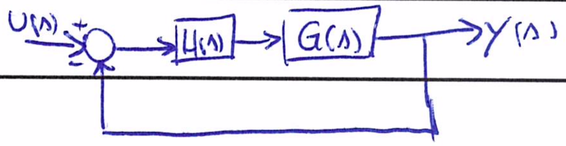
Se $0<K<1$: $e_\infty<1$ e $e'_\infty<1$

Se $K=1$: $e_\infty=0$ e $e'_\infty = 1/2$

Se $K>2$ $|e_\infty|>1$ e $|e'_\infty|<1$

Observa-se então que, com apenas a realimentação unitária, se é capaz de reduzir o erro em regime permanente de forma geral

1.b) O diagrama de blocos, considerando um controlador, fica da seguinte forma:



PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT GEN

RESPOSTA QUESTÃO 1

1.4 em que $H(s)$ é a função de transferência do controlador.

$$E(s) = U(s) - Y(s) = U(s) - G(s)H(s)E(s)$$

$$E(s) = U(s) \cdot \frac{1}{1+G(s)H(s)} \quad ; \; G(s) = \frac{K}{\tau s+1} \text{ e } U(s) = \frac{1}{s}$$

(i) Controlador P $\rightarrow H(s) = K_p$

$$E_1(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K_p K}{\tau s+1}} = \frac{\tau s+1}{s(\tau s+1+K_pK)}$$

$E_1(s)$ possui pólos ou com parte real negativa ou na origem com multiplicidade 1, ~~logo~~ logo satisfaz o teorema do valor final.

$$e_{1\infty} = \lim_{t\to+\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0} s \cdot \frac{\tau s+1}{s(\tau s+1+K_pK)}$$

$$e_{1\infty} = \frac{1}{1+K_pK}.$$

Para que $e_{1\infty} \rightarrow 0$, deve-se ter que $K_p \rightarrow +\infty$, que não é possível na prática

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCTGEN

RESPOSTA QUESTÃO 1

1.5) (ii) Controlador P.I $\rightarrow H(s) = \frac{K_i}{s}$

$$E_2(s) = U(s) \cdot \frac{1}{1+G(s)H(s)} \quad ; \; U(s) = \frac{1}{s} \; e \; G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

$$E_2(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K_i}{s} \frac{K}{\tau s + 1}} = \frac{1}{s} \frac{s(\tau s + 1)}{s(\tau s + 1) + K_i K} = \frac{\tau s^2 + s}{s(\tau s^2 + s + K_i K)}$$

$$E_2(s) = \frac{\tau s + 1}{\tau s^2 + s + K_i K}$$

$E_2(s)$ possui pólos ~~...~~, $p_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{1 - 4\tau K_i K}}{2}$, ou seja, ou estão no semi-plano esquerdo aberto de s ou um único pólo na origem, logo o teorema do valor final pode ser aplicado a $e_{2\infty}$.

$$e_{2\infty} = \lim_{t \to +\infty} e_2(t) = \lim_{s \to 0} s E_2(s) = \lim_{s \to 0} \frac{\tau s^2 + s}{\tau s^2 + s + K_i K} = \frac{0}{K_i K} = 0$$

$$e_{2\infty} = 0$$

Percebe-se então que o uso de um controlador P.I. é capaz de eliminar o erro em regime permanente, independentemente do ganho K_i

Politécnica UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
SETOR SISTEMAS DE CONTROLE

Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027

Edital n° 377, de 25 de maio de 2022. | DOU n° 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT6EN

RESPOSTA QUESTÃO 1

1.6 1.c) Considerando o controlador P.I. : $H(s) = \frac{K_i}{s}$

$$E(s) = U(s) \cdot \frac{1}{1+G(s)H(s)} = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1+\frac{K_i}{s}\frac{K\omega_m^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_m^2}} = \cancel{\frac{1}{s}\frac{(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_m^2)s}{(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_m^2)s+K_i K}}$$

$$E(s) = \frac{1}{\cancel{s}} \cdot \frac{\cancel{s}(s^2+2\xi\omega_m s+\omega_m^2)}{s^3+2\xi\omega_m s^2+\omega_m^2 s+K_i K\omega_m^2}$$

Supondo que $E(s)$ satisfaz o teorema do valor final

$$e_\infty = \lim_{t\to+\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} sE(s) = \lim_{s\to 0} \frac{s^3+2\xi\omega_m s^2+\omega_m^2 s}{s^3+2\xi\omega_m s^2+\omega_m^2 s+K_i K\omega_m^2} =$$

$$e_\infty = \lim_{s\to 0}\left(1 - \frac{K_i K\omega_m^2}{s^3+2\xi\omega_m s^2+\omega_m^2 s+K_i K\omega_m^2}\right) = 1 - \frac{KK_i\omega_m^2}{KK_i\omega_m^2} = 0.$$

Logo, não há erro em regime permanente, independente do valor de K_i.

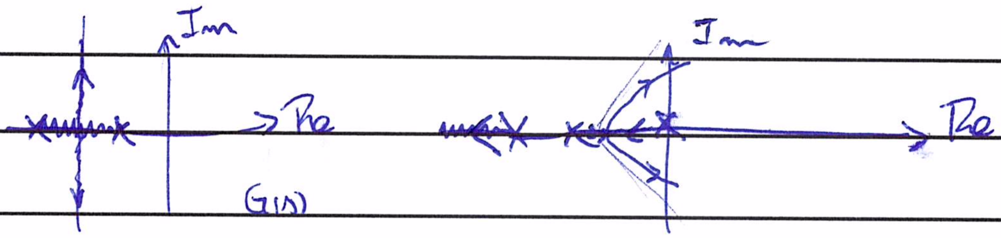
(*) Note que a realimentação não adiciona zeros ou pólos ao sistema. Porém o uso de controladores PI e PD adicionam pólos e zeros, que podem afetar a estabilidade do sistema. Conforme o root locus, para o caso do controlador P.I., um ~~zero~~ pólo é adicionado a origem.

Politécnica UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE
Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027	
Edital nº 377, de 25 de maio de 2022.	DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT GEN

RESPOSTA QUESTÃO 1

1.7) Sejam o gráfico do lugar das raízes de $G(s)$ e $G(s)H(s)$,



Observa-se que, para um ganho $K > K_{crit}$, o sistema se torna instável. Há duas forma ~~~~ de calcula K_{crit}.

1ª: supor $s = 0 + j\omega$ e calcular K_{crit} de forma que a equação característica de $G(s)H(s)$ tenha $s = j\omega$ como solução/raiz.

2ª: Usar o critério de Routh-Hurwitz, em que se monta uma tabela com os coeficientes da equação ~~~~ característica de $G(s)H(s)$ e calcula-se K_{crit} de forma que não exista mudanças de sinais na primeira coluna desta tabela.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT GEN

RESPOSTA QUESTÃO 2

2.1. Um autômato é definido por uma sextupla $G=(X, \Sigma, f, \Gamma, x_0, X_m)$, em que X é o conjunto de estados, Σ é o conjunto de eventos, f é a função de transição (parcial) $f: X \times \Sigma \to X$, Γ é o conjunto de eventos ativos $\Gamma: X \to 2^{\Sigma}$, x_0 é o estado inicial, X_m é o conjunto de estados marcados. Note que f pode ser estendia tal que $f: X \times \Sigma^* \to X$ fazendo $f(x, s\sigma) = f(f(x,s),\sigma)$
$s \in \Sigma^*$ e $\sigma \in \Sigma$

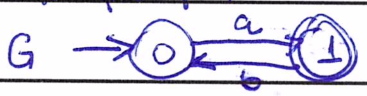


FIGURA 1. (Diagrama de transição de estados)

Conforme ilustrado na FIG. 1, o autômato G possui os seguintes elementos básicos

$X = \{0, 1\}$ (nós do grafo, representados por círculo)

$\Sigma = \{a, b\}$ (rótulo das arestas do grafo)

$f(0,a)=1$ e $f(1,b)=0$ (transições, são arestas do grafo, representadas por setas com origem e destino)

$\Gamma(0)=\{a\}$ e $\Gamma(1)=\{b\}$ (eventos ativos em cada um dos estados)

$x_0 = 0$ (estado inicial, representado por uma seta sem origem apontando para ele)

$X_m = \{1\}$ (estados marcados, representado por círculos concêntricos).

Politécnica UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
SETOR SISTEMAS DE CONTROLE

Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027

Edital nº 377, de 25 de maio de 2022. DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT6EN

RESPOSTA QUESTÃO 2

2.2 (i) Linguagem gerada: $\mathcal{L}(G) \subseteq \Sigma^*$ ($\Sigma^* = \{\varepsilon\} \cup \Sigma \cup \Sigma\Sigma \cup \dots$) é o conjunto de sequências $s \in \Sigma^*$ que podem ser executadas a partir do estado inicial x_0 de G. Formalmente:

$$\mathcal{L}(G) = \{s \in \Sigma^* : f(x_0, s) \in X\} \cup \{\varepsilon\}$$

(ii) Linguagem marcada: $\mathcal{L}_m(G) \subseteq \Sigma^*$ é o conjunto de sequências $s \in \Sigma^*$ que podem ser executadas a partir do estado inicial x_0 de G e alcançam algum estado marcado $x_m \in X_m$. Formalmente:

$$\mathcal{L}_m(G) = \{s \in \Sigma^* : f(x_0, s) \in X_m\}$$

Nota: Referente à definição de autômato (2.1), um autômato é dito não-determinístico se: (i) há mais de um estado inicial, i.e., $|X_0| > 1$; (ii) há transições-ε, i.e., $\exists x \in X : f(x, \varepsilon) \in X$; (iii) um estado pode evoluir para estados diferentes com o mesmo evento, i.e., $|f(x, \sigma)| > 1$. Caso (i), (ii) e (iii) não sejam satisfeitos, então o autômato é determinístico.

Politécnica UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE
Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027	
Edital n° 377, de 25 de maio de 2022.	DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT6EN

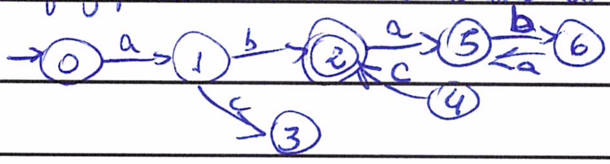
RESPOSTA QUESTÃO 2

(2.3) (iii) Estados acessíveis: são estados que podem ser alcançados a partir do estado inicial x_0. Formalmente, $x \in X$ é acessível s.s.s. $\exists s \in \Sigma^*$ t.q. $f(x_0, s) = x$.

(iv) Estados coacessíveis: são estados que alcançam algum estado marcado. Formalmente, $x \in X$ é coacessível s.s.s. $\exists s \in \Sigma^*$ ~~∃n~~ tal que $f(x, s) \in X_m$.

(v) Bloqueio: são estados acessíveis mas não coacessíveis. Pode ser um dead-lock (estado bloqueante sem transições definidas) ou um live-lock (estado faz parte de um ciclo de estados bloqueantes).

Exemplo:



3 é um estado acessível e não coacessível. É um dead-lock

5 e 6 são acessíveis mas não coacessíveis. Compõem um live-lock.

4 não é acessível mas é coacessível.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT6EN

RESPOSTA QUESTÃO 2

2.4 Operações Unárias:

1 - Parte Acessível ($Ac(G)$): resulta em um autômato em que todos os estados não acessíveis de G foram removidos.

2 - Parte Coacessível ($CoAc(G)$): resulta em um autômato em que todos os estados não coacessíveis de G foram removidos.

3 - Trim (G): resulta em um autômato com somente estados acessíveis e coacessíveis simultaneamente. $Trim(G) = Ac(CoAc(G)) = CoAc(Ac(G))$.

4 - Complemento de G (G^c): é um autômato que marca o complemento da linguagem marcada de G, i.e., $L_m(G^c) = \Sigma^* \setminus L_m(G)$. Pode ser calculado da seguinte forma: (i) adiciona-se um estado x_d a G; (ii) para cada estado $x \in X \cup \{x_d\}$, completam-se as transições não definidas em G; (iii) marca-se os estados que não eram marcados e desmarcam-se os que eram marcados.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT 6EN

RESPOSTA QUESTÃO 2

2.5 5- Observador (OBS(G, Σ_o)): É um autômato determinístico tal que $\mathcal{L}(OBS(G,\Sigma_o)) = P_o(\mathcal{L}(G))$, $P_o: \Sigma^* \to \Sigma_o^*$ é a projeção (natural) em que $P_o(\sigma) = \sigma$ se $\sigma \in \Sigma_o$, $P_o(\sigma) = \varepsilon$ se $\sigma \in \Sigma \setminus \Sigma_o$ e $P_o(s\sigma) = P_o(s) \cdot P_o(\sigma)$.

COMPOSIÇÕES

6- Paralelo $G_{1\|2} = G_1 \| G_2 = Ac(X_{1\|2}, \Sigma_{1\|2}, f_{1\|2}, \Gamma_{1\|2}, (x_{01}, x_{02}), X_{m1\|2})$

~~sincroniza~~ cria um novo autômato $G_{1\|2}$ que modela tanto o comportamento sincronizado de G_1 com G_2 quanto seus comportamentos particulares.

$X_{1\|2} = X_1 \times X_2$; $X_{m1\|2} = X_1 \times X_2$, $\Sigma_{1\|2} = \Sigma_1 \cup \Sigma_2$

$$f_{1\|2}((x_1,x_2),\sigma) = \begin{cases} (f_1(x_1,\sigma), f_2(x_2,\sigma)), \text{ se } \sigma \in \Gamma_1(x_1) \text{ e } \sigma \in \Gamma_2(x_2) \\ (f_1(x_1,\sigma), x_2), \text{ se } \sigma \in \Gamma_1(x_1) \text{ e } \sigma \notin \Sigma_2 \\ (x_1, f_2(x_2,\sigma)), \text{ se } \sigma \in \Gamma_2(x_2) \text{ e } \sigma \notin \Sigma_1 \\ \text{indefinido, caso contrário} \end{cases}$$

7- Produto $G_{1\times 2} = G_1 \times G_2 = Ac(X_1 \times X_2, \Sigma_1 \cap \Sigma_2, f_{1\times 2}, \Gamma_{1\times 2}, (x_{01}, x_{02}), X_{m1} \times X_{m2})$

cria um novo autômato $G_{1\times 2}$ que modela somente o comportamento sincronizado de G_1 com G_2.

$$f_{1\times 2}((x_1,x_2),\sigma) = \begin{cases} (f_1(x_1,\sigma), f_2(x_2,\sigma)), \text{ se } \sigma \in \Gamma_1(x_1) \cap \Gamma_2(x_2) \\ \text{indefinido, caso contrário} \end{cases}$$

Politécnica UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
SETOR SISTEMAS DE CONTROLE

Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027

Edital n° 377, de 25 de maio de 2022. | DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**
	XCT 6EN

RESPOSTA QUESTÃO 2

2.a) Definição (Rede de Petri): Uma rede de Petri é definida pela tupla $PN=(P,T,A,w)$ em que P é o conjunto de lugares, T é o conjunto de transições, $A=(P\times T)\cup(T\times P)$ é o conjunto de arcos e $w: A\to\mathbb{N}\setminus\{0\}$ é a função peso de cada um dos arcos. Uma rede de Petri marcada é definida por $PN=(P,T,A,w,\underline{x_0})$, em que $\underline{x_0}$ é um vetor que associa uma marcação a cada um dos lugares.

Sua representação gráfica é composta por dois tipos de nós (lugares e transições) e um tipo de aresta (arcos orientados). A marcação é simbolizada por fichas (tokens) nos lugares associados.

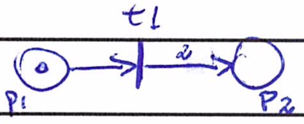


FIG.2 (Rede de Petri)

$P=\{p_1,p_2\}$; $T=\{t_1\}$; $A=\{(p_1,t_1),(t_1,p_2)\}$, $w(p_1,t_1)=1$, $w(t_1,p_2)=2$ e $\underline{x_0}=[1\ \ 0]^T$

A dinâmica de uma rede de Petri é da seguinte forma: uma transição só pode ser disparada (habilitada) se os lugares de entrada daquela transição tiverem fichas o suficiente. Neste caso, a transição estará habilitada para ser

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT BEN

RESPOSTA QUESTÃO 2

(2.7) disparada. Quando ela o for, removem-se tantas fichas quanto for o valor do peso do arco associado aos lugares de entrada e adicionam-se fichas aos lugares de saída, conforme o peso do arco a eles associado

$x'(p_i) = x(p_i) + w(t_j, p_i) - w(p_i, t_j)$, generalizando para todos os lugares

$$\underline{x'_{m\times 1}} = \underline{x_{m\times 1}} + (Post - Pre)\, \underline{t_j}$$

$x'_{m\times 1}$ é a marcação após o disparo de t_j, $x_{m\times 1}$ é a marcação atual da P.N., Post e Pre são matrizes contendo o peso das transições ~~associadas~~ de saída e entrada, (t_j, p_i) e (p_i, t_j) respectivamente①, t_j é um vetor coluna com 0 em todos os elementos exceto aquele correspondente a transição t_j, que recebe o valor 1.

• Árvore de cobertura: forma de se obter um grafo contendo os estados da P.N. (marcação) que cobrem outros estados. Diferentemente da árvore de alcançabilidade, a árvore de cobertura sempre possui um número finito de nós.

① as linhas de Pre e Post estão relacionadas aos lugares, e as colunas às transições

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCTGEN

RESPOSTA QUESTÃO 2

2.8 Computação Árvore de Cobertura:

(i) começar com marcação inicial x_0

(ii) para cada t_j habilitado, verificar a marcação x alcançada

(iii) ~~adicione~~ se x é um nó duplicado no ramo, pule

(iv) se x é um nó terminal (sem t_j definido), pule

(v) se x domina algum x' (i.e., $\forall i$, $x_i \geq x'_i$ e $\exists i: x_i > x'$) então substitua o termo que domina por ω

(vi) repita o processo até que todos os nós sejam analisados.

Alcançabilidade (ver se alguma marcação é alcançável) e conservação (verificar se $\gamma^T x = cte$) são problemas que não podem ser verificados pela árvore de cobertura, somente pela de alcançabilidade, cuja construção pode não convergir em passos finitos. Isto se deve ao fato de que, ao se utilizar ω para o caso de uma marcação dominar outra, a precisão da marcação é perdida. Por exemplo, a presença de $x = [0, \omega]$ não garante que $x' = [0, 2]$ seja uma marcação alcançável, pois pode ter ocorrido que $x'' = [0, 3]$ tenha dominado $x_0 = [0, 0]$ ~~levando~~ levando ao nó $x = [0, \omega]$.

Politécnica UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE
Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027	
Edital nº 377, de 25 de maio de 2022.	DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT6EN

RESPOSTA QUESTÃO 3

3.1 PASSO 1: Modelar todos os subsistemas a serem supervisionados / controlados utilizando o formalismo de autômatos.

PASSO 2: Definir a arquitetura do sistema (centralizada, descentralizada, modular). Por simplicidade, será considerado centralizado, logo $G = G_1 \| G_2 \| G_3 \| \cdots \| G_m$

PASSO 3: Como se deseja não haver ~~os~~ intertravamentos, uma solução é trabalhar com o controle supervisório com bloqueio, i.e., cada G_i possui uma marcação, tal que $L_m(G) = \bigcap_{i=1}^{m} L_m(G_i)$

PASSO 4: Expressar as diversas restrições de projeto com linguagens $K_j = \bar{K}_j$ (especificações) e modelar autômatos S_i tais que $L(S_j) = K_j$ e $L_m(S_i) = K_j$

PASSO 5: Calcular o supervisor inicial $S = S_1 \| S_2 \| \cdots \| S_m$

Politécnica UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE
Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027	
Edital n° 377, de 25 de maio de 2022.	DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT 6EN

RESPOSTA QUESTÃO 3

3.a) Note que o sistema controlado S/G pode apresentar dois tipos de problemas, que devem ser sanados: ~~Se não~~ $L(S)$ é não controlável e $L(S)$ é não observável. Portanto, estas propriedades são definidas a seguir.

Def 1- CONTROLABILIDADE:

Dado um autômato G, $L(G)=M$, a ser controlado conforme uma especificação K, $\Sigma=\Sigma_c \dot{\cup} \Sigma_{uc}$ (Σ_c e Σ_{uc} são os conjuntos de eventos controláveis e não controláveis), K é dita controlável se nenhuma ação de controle tenta desabilitar eventos não controláveis, i.e., $\gamma(s) \cap \Sigma_{uc} = \Gamma_{(f(x_0,s))} \cap \Sigma_{uc}$.

Formalmente, K é controlável s.s.s.

$$\bar{K}\Sigma_{uc} \cap M \subseteq \bar{K}$$

Def. 2- OBSERVABILIDADE:

Dado G, $L(G)=M$, $\Sigma=\Sigma_o \dot{\cup} \Sigma_{uo}$ (conjunto de eventos observáveis Σ_o e não observáveis Σ_{uo}), K é observável se tem a mesma ação de controle para sequências com a mesma observação, i.e., $P(s_1)=P(s_2) \rightarrow \gamma(s_1)=\gamma(s_2)$.

Formalmente, K é observável s.s.s. ~~ssc~~

$$\nexists s\in\Sigma^*, \nexists\sigma\in\Sigma_o,\ s\sigma\notin\bar{K} \wedge s\sigma\in M \rightarrow P_o^{-1}(P_o(s))\sigma\notin\bar{K}$$

1Ç

Politécnica UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
SETOR SISTEMAS DE CONTROLE

Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027

Edital n° 377, de 25 de maio de 2022. DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT6EN

RESPOSTA QUESTÃO 3

3.3 PASSO 6: calcular um supervisor S que seja, ao mesmo tempo, controlável e observável, e tal que S/G não possua bloqueio.

Nota: Sabe-se que se K_1 é controlável e K_2 é controlável, então $K_1 \cup K_2$ é controlável. Isto permite o cálculo de $K^{\uparrow C}$ (suprema sublinguagem controlável de K). Note que para que $K_1 \cap K_2$ seja controlável, é preciso que K_1, K_2 sejam controláveis e prefixo fechados, permitindo neste caso o cálculo de $K^{\downarrow C}$ (ínfima superlinguagem controlável).
A observabilidade, entretanto, só é fechada para interseção, ou seja, se K_1, K_2 são observáveis, então $K_1 \cap K_2$ é observável, logo $K^{\downarrow O}$ existe.
Portanto é possível construir $K^{\downarrow CO}$ mas não $K^{\uparrow CO}$

17

Politécnica UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO ESCOLA POLITÉCNICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA SETOR SISTEMAS DE CONTROLE
Concurso Público para provimento efetivo de vagas no cargo de Professor da Carreira de Magistério Superior – MC-027	
Edital nº 377, de 25 de maio de 2022.	DOU nº 102, de 31 de maio de 2022.

PROVA ESCRITA 21/11/2022	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
	XCT 6EN

RESPOSTA QUESTÃO 3

3.4 Passo 7: Se o projeto permitir uma linguagem admissível L_{am}, pode-se calcular $L(S'/G) = L(S/G)^{\downarrow CO} \subseteq L_a$

Caso contrário pode-se calcular $(L(S/G)^{\downarrow O})^{\uparrow C}$ e verificar se os requisitos são atendidos

Uma outra forma é utilizar o ~~concente~~ conceito de normalidade, que permite o cálculo de suprema sublinguagem, ou seja, $L(S'/G) = (L(S/G))^{\uparrow NC}$. Ou ~~cons~~ ainda, usar o conceito de observalibilidade relativa para o cálculo da suprema sublinguagem controlável e observável, que produz um resultado mais próximo ao hipotético $(L(S/G))^{\uparrow CO}$.

Nota: No projeto de S'/G, deve-se lembrar do problema de bloqueio também.