



Industrial Processes Automation

MSc in Electrical and Computer Engineering

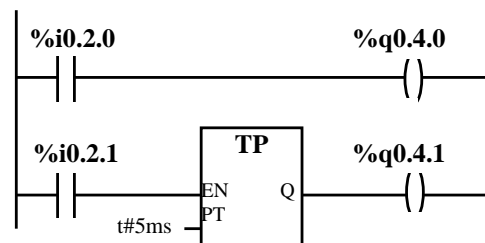
Winter Semester 2011/2012

2nd Exam, 30th January 2012

- Read all questions of the exam carefully before starting to answer.
- Provide detailed justifications to all answers.
- The use of bibliographic material, either in paper or in digital format is allowed.
- Exchange of information is forbidden (e.g. voice, WiFi, Bluetooth, GPRS, WAP, ...).
- Exam duration: 3 hours.

Q1. PLC scan cycle: Consider that the ladder diagram in the next figure is the single code run by a PLC, in a MAST section configured to be cyclic. Consider, in addition, that the PLC input and output takes 0.1msec+0.1msec, and that each ladder instruction (contact read, coil write, timer) takes about 0.02msec.

Indicate (i) the scan period of the PLC, (ii) the worst time interval for the input associated with %i0.2.0 to have impact (with probability one) on the output associated with %q0.4.0, and (iii) the smallest time interval (with probability greater than zero) that %i0.2.0 can impact on %q0.4.0 and %i0.2.1 can impact on %q0.4.1. Note: the timer generates 5msec pulses.



Q2. Implementation of a logic function with a PLC: Implement the logic function $Z = (A \text{ xor } B) \text{ xor } C$ using the ladder language (note: "xor" denotes the "exclusive or" logic function). Generalize the proposed solution to an arbitrary number of inputs.

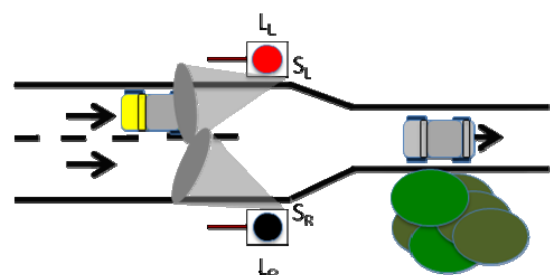
Q3. Data logging into the PLC memory: Write a *Structured Text* subroutine to store at each run 16 binary inputs %i0.2.0 till %i0.2.15, into a location of a buffer of 16 bit words, namely %MW100 till %MW199. You can use additional auxiliary variables. Considering that the scan cycle has a period of 5ms, how long will the PLC take to completely fill the buffer saving all the 16 binary inputs?

Q4. Grafcet vs Petri nets: Consider the Petri net $C = (P, T, A, w, \mu_0)$ with $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$, $T = \{t_1, t_2\}$, $A = \{(p_1, t_1), (t_1, p_2), (t_1, p_3), (t_1, p_4), (p_2, t_2), (p_3, t_2), (p_4, t_2), (t_2, p_1)\}$, $w(\cdot, \cdot) = 1$ and $\mu_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$. Obtain an equivalent Grafcet / Sequential Function Chart. Comment the existence, or not, of parallelism. In case of having $\mu_0 = [2 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ is it still possible to obtain an equivalent Grafcet?

Q5. Modelling and synthesis using Petri nets: An automatic traffic light system must be installed on the confluence of two roads that give access to a narrow way, as depicted in the next figure. There are two sensors, S_L and S_R , with binary outputs to detect the presence/absence of vehicles in the left and right way, respectively. There exists also installed two red lights, L_L and L_R , one at each side, both with a digital ON/OFF command.

a) Assume that a PLC is used to implement the automatic traffic light system. Design an electrical diagram that details the automation solution.

b) Design a Petri net for the discrete event system described above, considering the information from the two sensors and the two ON/OFF traffic lights commands.



- c) Design a supervisor, based on the place invariants, such that independently for each side of the access, when the presence of a car is detected the light on the opposite side is commanded to become RED. Represent the supervisor in the global Petri net obtained.
- d) There is a functional deadlock in the previous solution. Design a supervisor that solves this problem.
- e) Discuss on how to generalize this problem, of 2 ways changing to 1, to the case where n ways are reduced to 1.

Q6. Petri net properties: This problem focus on Discrete Event Systems analysis tools studied on the course, for the Petri Net defined as $C=(P, T, A, w, \mu_0)$ with

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}, T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\},$$

$$A = \{(p_1, t_2), (t_2, p_1), (p_1, t_1), (t_1, p_3), (p_3, t_3), (t_3, p_3), (t_2, p_2), (p_2, t_3), (p_4, t_4), (t_4, p_4)\},$$

$$\forall_{a,b} w(a,b) = 1,$$

$$\mu_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 1]^T$$

- a) Draw the Petri net. Discuss the conservativeness, boundedness and safeness of the Petri net, resorting to a reachability tree. Discuss the liveness of each transition.
- b) Draw a supervisor based on marking invariants, using generalized linear constraints, such that firing t_2 represents producing parts and firing t_4 represents consuming the produced parts. Between t_2 and t_4 there is a limited (finite) buffer allowing to store up to 5 produced parts, ready to be consumed.
- c) One may conjecture that the constraints associated to the sequence or quantity of firings can be rewritten with simple linear constraints by adding an arc and an auxiliary place at the output of the transitions under consideration. Try to repeat c) using this conjecture.
- d) Discuss the liveness of the transitions of the supervised Petri net considering $\mu_0 = [2 \ 0 \ 0 \ 1]^T$.

Q7. Combining Petri Nets: Consider μ_1, μ_2, D_1 and D_2 the states and incidence matrices of two Petri nets.

- a) Show that an enlarged net with state $\mu = [\mu_1^T \ \mu_2^T]^T$, running the two nets simultaneously, has an incidence matrix which is a function of the other two matrices, i.e. $D = f(D_1, D_2)$. Indicate also an expression for combining the initial states.
- b) Consider now that the states and firing vectors have similar meanings. More precisely assume that a reduced global state can be obtained by combining linearly the states of the separate nets, and the firing vectors for both nets can be expanded from a single firing vector i.e.:

$$\mu = [A_1 \ A_2] [\mu_1^T \ \mu_2^T]^T \quad \text{and} \quad [q_1^T \ q_2^T]^T = [B_1^T \ B_2^T]^T q.$$

Derive a matrix equation on the state μ and firing q that characterizes the dynamics of the combined Petri net. Indicate also the expression for combining the initial states.

- c) Consider now two equal systems characterized by equal Petri nets, namely $D_1 = D_2 = [-1 \ 1; \ 1 \ -1]$ and $\mu_{10} = \mu_{20} = [1; \ 0]$. Propose values for A_1, A_2, B_1 and B_2 , as introduced in (b), such that (i) the two nets work synchronized, i.e. the firing q affects both nets or (ii) the two nets alternate, i.e. the firing affects just one net or the other. Indicate also the expression(s) for combining the initial states. Draw the combined Petri obtained with (i) and (ii). Note: the matrices A_1, A_2, B_1, B_2 can be time varying.

PS: Do not forget to identify all sheets of paper.

Good Luck,
José Gaspar



Industrial Processes Automation

MSc in Electrical and Computer Engineering

Winter Semester 2011/2012

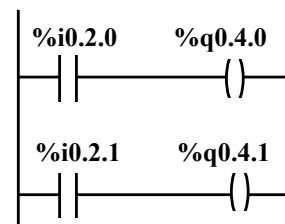
1st Exam, 9th January 2012

- Read all questions of the exam carefully before starting to answer.
- Provide detailed justifications to all answers.
- The use of bibliographic material, either in paper or in digital format is allowed.
- Exchange of information is forbidden (e.g. voice, WiFi, Bluetooth, GPRS, WAP,...).
- Exam duration: 3 hours.

Q1. Implementation of a majority circuit with a PLC: (i) Design a Ladder diagram that implements a majority circuit with three inputs. Name the inputs %i0.2.0, %i0.2.1 and %i0.2.2, and name the output %q0.4.0. (ii) Suppose that a majority circuit with nine inputs must be designed. Discuss if you can use three (first stage) plus one (second stage) of the circuits previously proposed to solve this new problem. (iii) Considering nine binary inputs, %i0.2.0 till %i0.2.8 and one output, %q0.4.0, implement a nine inputs majority circuit using Structured Text.

Q2. PLC scan cycle: Consider that the ladder diagram in the next figure is the single code run by a PLC, in a MAST section configured to be cyclic. Consider, in addition, that the PLC input and output takes 0.1msec+0.1msec, and that each ladder instruction (contact read, coil write) takes about 0.02msec.

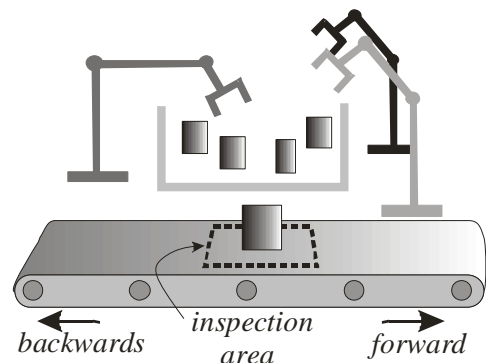
a) Indicate (i) the scan period of the PLC, (ii) the worst time interval for the input associated with %i0.2.0 to have impact (with probability one) on the output associated with %q0.4.0, and (iii) the smallest time interval (with probability greater than zero) that the change in the same input can impact in the same output.



b) Configuring the MAST section to be periodic with period 0.5msec changes the answers given in (a)?

Q3. Petri net modelling: Consider the system shown in the next figure. The system is composed by three robotic manipulators and one conveyor. Each manipulator can transport one part from one container to the conveyor and activate the quality inspection device to decide whether the conveyor moves the part to the good or defective container. The conveyor can be in one of three states, namely idle, moving forward (to store a good part) and moving backwards (to dispose of a defective part).

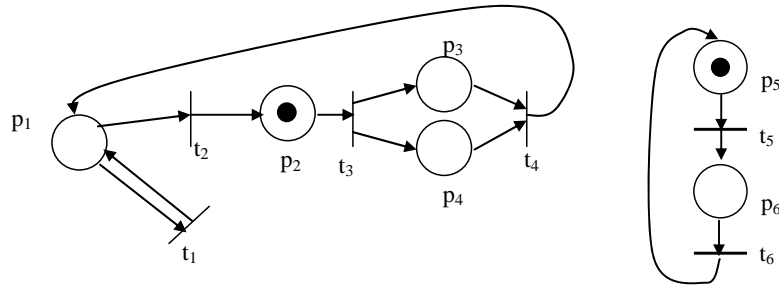
a) Design a Petri net for the discrete event system described above, considering that the manipulators have start and stop input signals and produce the good/defective classification using the inspection device. The conveyor accepts two types of commands to start moving forward or backwards, and stops when sensors indicate that the part arrived to the end location. At this stage the manipulators do not (yet) influence the motion of the conveyor.



b) Write the incident matrix corresponding to the Petri net designed in a). Comment the number of nonzero blocks that the incidence matrix has.

- c) Design one supervisor based on place invariants, specifying that at most one robot can expose a part to inspection.
- d) Design one supervisor based on place invariants, specifying that after inspecting one part, X_i , the part has to be transported by the conveyor. Only after ending the transport of X_i can another manipulator request the conveyor to transport another part X_{i+1} .
- e) Design an electrical diagram involving a PLC that details the proposed solution. Indicate the places and transitions of the Petri net that need to be implemented by the PLC.

Q4. Petri net properties: This problem focus on Discrete Event Systems analysis tools studied on the course, for the Petri Net graph depicted in the figure bellow.



- a) Discuss the boundedness and safeness of the Petri net, resorting to a reachability tree. Discuss the liveness of each transition.
- b) Resorting to the Method of the Matrix Equations, study if the marking $\mu=[0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1]^T$ can be reached.
- c) Discuss the conservativeness of the Petri net and provide the weight vector.
- d) Find cycles of operation encompassing two or three transitions in this Petri Net.
- e) Draw a supervisor based on marking invariants, using generalized linear constraints, such that firing t_4 represents producing parts and firing t_5 represents consuming the produced parts. The transition t_4 is allowed to fire up-to 10 times before being put on hold, waiting for some consumption done by t_5 .
- f) Superimpose the supervisor just determined on the Petri net.
- g) One may conjecture that the constraints associated to the sequence or quantity of firings can be rewritten with simple linear constraints by adding an arc and an auxiliary place at the output of the transitions under consideration. Try to repeat e) using this conjecture.

Q5. Petri net supervision: Let M denote a Petri net which is described by its incidence matrix $D_p = D_p^+ - D_p^-$ and initial marking μ_{p0} .

- a) If one wants to design a supervisor based on place invariants with linear constraints $L\mu + Fq + Cv \leq b$, but considers null L and C matrices, what is the simplified expression of the supervisor matrix, D_c ? Please detail D_c^+ , D_c^- , and μ_{co} , and use the notation $F^+ = \max(0, F)$ and $F^- = \text{abs}(\min(0, F))$.
- b) Describe the graphical representation of the supervisor, more precisely, describe how one introduces the supervisor obtained in (a), i.e. D_c^+ , D_c^- , μ_{co} , into the graphical representation of M .

PS: Do not forget to identify all sheets of paper.

Good Luck,
José Gaspar

Industrial Processes Automation

MSc in Electrical and Computer Engineering

Scientific Area of Systems, Decision, and Control

Winter Semester 2010/2011

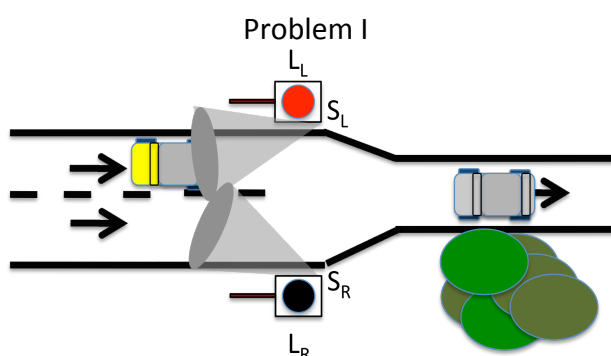
1st Exam, 11th January 2011



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Read all questions of the exam carefully before starting to answer.

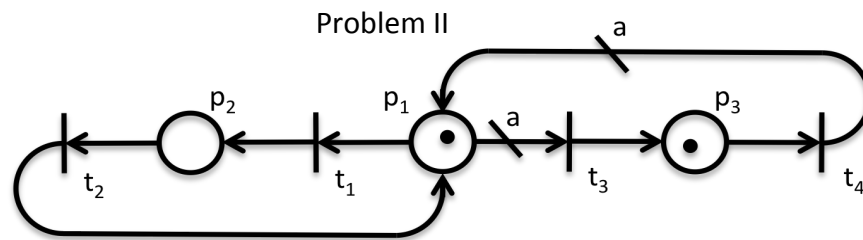
- Provide detailed justifications to all answers.
 - The use of bibliographic material, either in paper or in digital format is allowed.
 - Exchange of information is forbidden (talk, WiFi, Bluetooth, GPRS, WAP,...).
 - Exam duration: 3 hours.
-
-



This problem will focus on the modeling and synthesis of a discrete event system: an automatic traffic light system must be installed on the confluence of two roads that give access to a narrow way, as depicted in the above figure. There are two sensors $S = \{ S_L, S_R \}$, with binary outputs to detect the presence/absence of vehicles in the left and right way, respectively. There exists also installed two red lights $A = \{ L_L, L_R \}$, one at each side, both with a digital ON/OFF command.

- [1 point] Assume that a PLC must be installed, to implement the automatic traffic light system. Discuss its characteristics.
- [1 point] Design an electrical diagram that details the proposed solution.
- [1 point] Design a Petri net for the discrete event system described above, considering the information from the two sensors and the two ON/OFF traffic lights commands.
- [2 points] Design a supervisor, based on the place invariant method studied in the course, such that independently for each side of the access, when the presence of a car is detected the light on the opposite side is commanded to become RED.
- [1 point] Represent in the global Petri net obtained, the situation depicted in the figure above.

- f) [2 points] There is a functional deadlock in the previous solution. Design a supervisor that implements a solution such that only one RED light can be commanded to ON.
- g) [1 point] Discuss on how to generalize this problem, of 2 ways changing to 1, for the case where n ways are reduced to 1.
- h) [1 point] Propose a simple Ladder, Structure Text or Instruction List segment of code that implements the supervisors synthesized.



This second problem will focus on Discrete Event Systems analysis tools studied on the course, for the Petri Net graph depicted in the figure above. Note that there are two arcs with generic non-negative weights 'a'.

Consider $a=0$.

- a) [1 point] Discuss the conservativeness and the boundness of the aforementioned Petri net, resorting to a reachability (sub)tree.
- b) [2 points] Discuss the liveness of each transition and the overall level of liveness for the Petri net.

Consider $a=1$.

- c) [1 points] Discuss the conservativeness of the Petri net, for this case, and provide the weight vector.
- d) [1 point] Resorting to the Method of the Matrix Equations, study if and how the marking $u=[1\ 1\ 1]'$ can be reached.
- e) [1 point] Build the reachability tree. Is the marking $u=[0\ 2\ 0]'$ reachable?
- f) [2 points] Find the cycles of operation or place invariants, for this Petri Net.

Consider $a=2$.

- g) [1 point] Discuss the following statement "This Petri net is of level 3".
- h) [1 point] Discuss the liveness levels for $a=0$ and a greater or equal to 2.

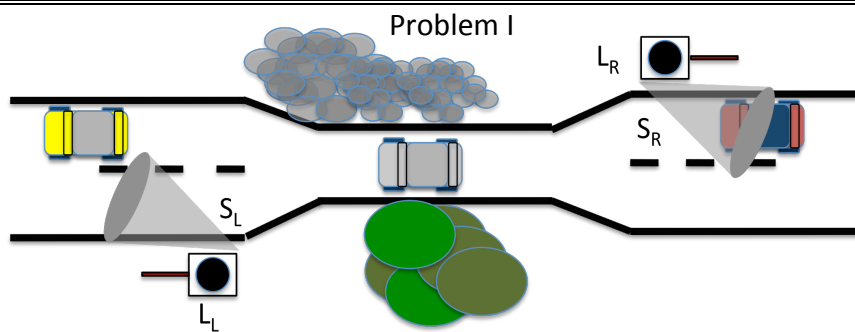
Industrial Processes Automation

MSc in Electrical and Computer Engineering
Scientific Area of Systems, Decision, and Control
Winter Semester 2009/2010

2nd Exam, 28th January 2010

Read all questions of the exam carefully before starting to answer.

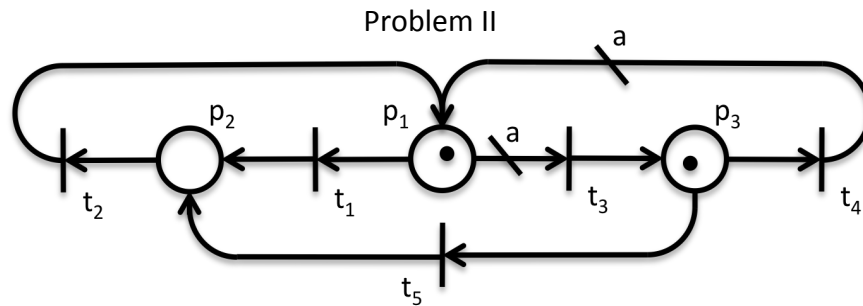
- Provide detailed justifications to all answers.
- The use of bibliographic material, either in paper or in digital format is allowed.
- Exchange of information is forbidden (talk, WiFi, Bluetooth, GPRS, WAP, ...).
- Exam duration: 3 hours.



This problem will focus on the modeling and synthesis of a discrete event system: an automatic traffic light system to be installed on a narrow way that connects two roads, as depicted in the above figure. There are two sensors $S = \{ S_L, S_R \}$, with binary outputs to detect the presence/absence of vehicles near the narrow way entrance. There exists also installed two red lights $A = \{ L_N, L_S \}$, each at one extreme of the narrow road, with a digital ON/OFF command. A driver is supposed to stop when faced with a red light on!

- [2 points] Assume that one (central) or two PLCs (decentralized) must to be installed, to implement the automatic traffic light system. Discuss the advantages for each of the solutions.
- [1 point] Design an electrical diagram that describes the proposed solution.
- [2 points] Design a Petri net for the discrete event system described above, considering the information from the two sensors and the two traffic lights ON/OFF commands.
- [3 points] Design a supervisor, based on the place invariant method studied in the course, such that independently for each direction, when the presence of a car is detected the light on the opposite direction is commanded to become RED.
- [2 points] There is a deadlock in the previous solution. Design a supervisor that implements a solution such that only one RED light can be commanded to ON.

NOTE: Use the FOUR Philosophers' Dinner on chapter 3 of Peterson's book, if needed.



This second problem will focus on Discrete Event Systems analysis tools studied on the course, for the Petri Net graph depicted in the figure above. Note that there are two arcs with generic non-negative weights 'a'.

Consider $a=0$.

- a) [1 point] Discuss the conservativeness and the boundness of the aforementioned Petri net, resorting to a reachability (sub)tree.
- b) [2 points] Discuss the liveness of each transition and the overall level of liveness for the Petri net.

Consider $a=1$.

- c) [1 points] Discuss the conservativeness of the Petri net, for this case, and provide the weight vector.
- d) [1 point] Resorting to the Method of the Matrix Equations, study if and how the marking $u=[1\ 1\ 1]'$ can be reached.
- e) [1 point] Build the reachability tree. Is the marking $u=[0\ 2\ 0]'$ reachable?
- f) [2 points] Find the cycles of operation or place invariants, for this Petri Net.

Consider $a=2$.

- g) [1 point] Discuss the following statement "This Petri net is of level 3".
- h) [1 point] Compare the liveness levels for $a=0$ and $a>2$. Comment.

Boa sorte!
Paulo Oliveira

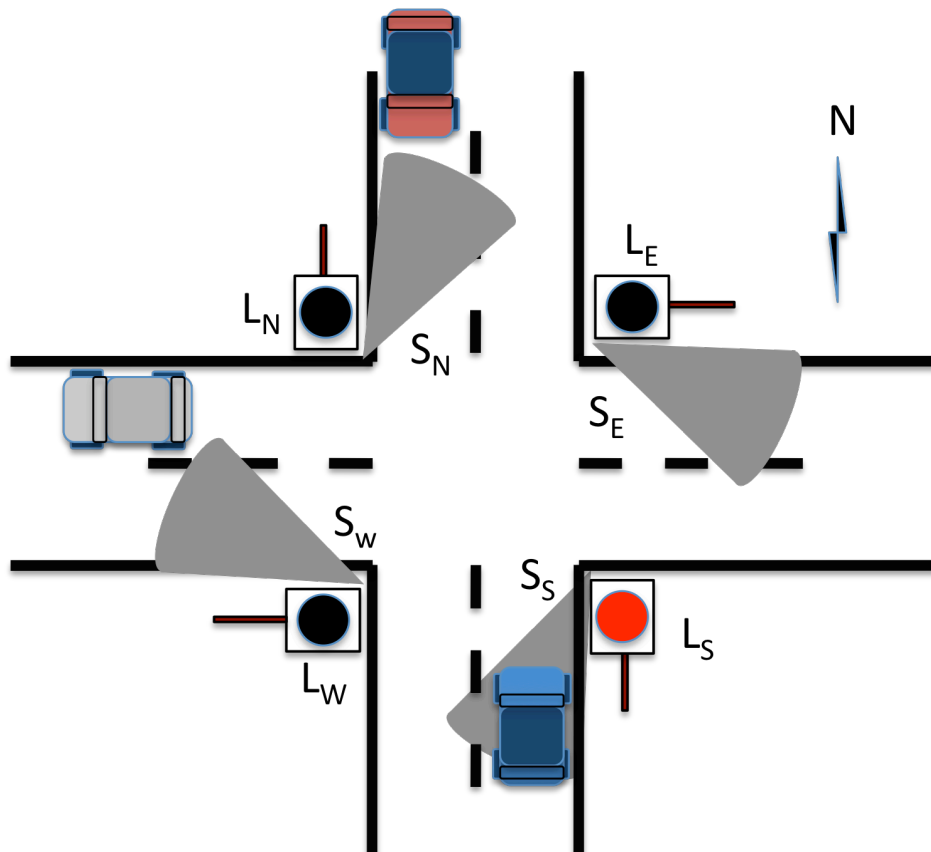
Industrial Processes Automation

MSc in Electrical and Computer Engineering
Scientific Area of Systems, Decision, and Control
Winter Semester 2009/2010

1st Exam, 11th January 2009

Read all questions of the exam carefully before starting to answer.

- Provide detailed justifications to all answers.
- The use of bibliographic material, either in paper or in digital format is allowed.
- The use of ANY telecommunication system is NOT allowed (WiFi, Bluetooth, GPRS, WAP,...).
- Exam duration: 3 hours.
- Do not forget to identify all the pages of your exam.



This exam will focus on model, synthesize, and analyze a discrete event system: an automatic traffic light system to be installed on the intersection between two roads, i.e. a crossroad. There are four sensors $S = \{ S_N, S_S, S_E, S_W \}$, with binary outputs to detect the presence of vehicles near the crossroad. There will be also considered the existence of four red lights $A = \{ L_N, L_S, L_E, L_W \}$, each at one point of the crossroad, with a digital command. A driver is supposed to stop when faced with a red light on!

- a) [2 points] Assume that a PLC is to be installed to implement the automatic traffic light system. Discuss the characteristics to be considered on the choice of such device.
- b) [1 point] As the system designer, provide an electrical diagram that describes the wiring of the PLC, the set of sensors, and the set of actuators.
- c) [3 points] Design a Petri net for the discrete event system described above, considering the information from the sensors. Disregard the existence of traffic lights. They will be considered later.

NOTE: If you have any problem on implementing the Petri Net in question c), please resort to the FOUR philosophers dinner example on chapter 3 of Peterson's book.

- d) [1 point] Provide the incidence matrix for the proposed Petri net and the marking corresponding to the situation depicted on the figure above.
- e) [2 points] Design a supervisor, based on the place invariant method studied in the course, such that the rule of priority from the right is reinforced. Suggestion: assume that this supervisor is closely related with the commands for the traffic light system.
- f) [1 point] Discuss the logical function and the interface from the new places synthesized with the supervisor and the light system commands.
- g) [1 point] Design a GRAFCET diagram to implement the supervisor synthesized. Resort to LADDER sections to implement auxiliary functions.
- h) [2 points] Resorting to the Reachability Tree study the safeness, conservation, and liveness of the Petri net (plant + supervisor).
- i) [2 points] Resorting to the Method of Matrix Equations show that the state where all red traffic lights are ON is reachable.
- j) [1 point] Discuss the following "folk theorem": "As the signs on the roads intersecting in the crossroad follow the same rule of priority, there is a deadlock in the system." Describe the deadlock, from the point of view of the automobile users.
- k) [2 points] Suggest a solution for this "user defined" deadlock. Design a supervisor that implements that solution, resorting to the place invariant method.
- l) [2 points] Discuss the following statement: "If all transitions of a Petri Net are of level 3 then the Petri Net is of level 4".

Boa sorte!
Paulo Oliveira



| | |
|---------|--|
| Nome: | |
| Número: | |

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Ano Lectivo 2008/2009
Semestre de Inverno

1º Exame, 22 de Janeiro de 2008

Leia cuidadosamente o enunciado antes de começar a responder.

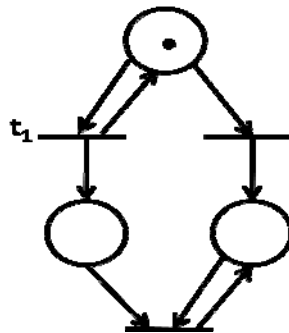
- Justifique cuidadosamente todas as suas respostas.
- Pode consultar elementos bibliográficos da cadeira e apoio informático.
- Não é permitido o recurso a qualquer rede de telecomunicações (WIFI, Bluetooth, GPRS, ...).
- Duração do exame: 3 horas.
- Não se esqueça de identificar as folhas de enunciado.

Problema I [2 valores] Escreva uma secção em GRAFCET, para os PLCs que usou na cadeira, que implemente a seguinte função lógica:

Quando a entrada A tiver um flanco ascendente energiza-se uma saída durante um segundo e desenergiza-se de seguida durante dois segundos, periodicamente, até que quando se detecta um flanco descendente na mesma entrada, a saída passa a estar desenergizada.

Problema II (2 valores) Descreva os critérios que levam à escolha de uma secção de LADDER em FAST, MAST ou como uma rotina de interrupção. Dê exemplos.

Problema III [2 valores] Enuncie metodologias de modelização de eventos discretos e ordene-as por capacidade de modelação.



Problema IV [3 valores] Considere a Rede de Petri, na figura acima. Discuta a veracidade de cada uma das sugestões, justificando. A transição T1:

- 1) É viva (nível 4) porque é potencialmente disparável qualquer que seja a marcação alcançável.
- 2) É viva (nível 3) porque existe uma sequência válida infinita onde esta transição surge infinitas vezes.
- 3) É viva (nível 2) porque é possível encontrar sequências válidas em que esta transição surge N vezes, qualquer que seja N.
- 4) É viva (nível 1) porque é potencialmente disparável.
- 5) Não é viva porque não é uma transição disparável.

Problema V [3 valores] Considere de novo a Rede de Petri da figura acima. Discuta a veracidade de cada uma das sugestões, justificando. A Rede de Petri

- 1) É estritamente conservativa, já que não existem fontes de eventos externos.
- 2) É conservativa, dado que os tokens gerados se conservam na rede, pois não existem sorvedouros.
- 3) Não é conservativa, pois aplicando o método das equações matriciais pode-se assim concluir.
- 4) Nada se pode concluir, com os dados disponíveis.

Problema VI [2 valores] Considere que, algures na árvore de cobertura de uma rede de Petri, encontra o nó $(1, w, 0)$. A partir apenas deste dado, como pode concluir que:

- 1) $(1, 158, 0)$ é uma marcação alcançável por esta rede.
- 2) $(0, 178, 0)$ é uma marcação alcançável por esta rede.
- 3) No conjunto de marcações alcançáveis pela rede de Petri, existem marcações que cobrem a marcação $(1, 578, 0)$.
- 4) Nada se pode concluir porque não temos o resto da árvore.
- 5) No conjunto de marcações alcançáveis pela rede de Petri, não existem marcações que cubram a marcação $(1, 1578, 0)$.

Problema VII Considere um sistema composto por 2 cilindros (A e B) pneumáticos. O modo de funcionamento pretendido para o sistema é o seguinte:

O cilindro A avança apenas quando o cilindro B está recuado. Quando o cilindro A tiver completado o seu movimento de avanço, o cilindro B avança. Após o avanço completo do cilindro B, este deve recuar de seguida. Quando o cilindro B tiver completado o seu movimento de recuo, o cilindro A deve recuar novamente. Quando o cilindro A tiver recuado, o ciclo pode repetir-se.

a) [2 valores] Modele o sistema básico descrito, utilizando uma rede de Petri ordinária. Considere os seguintes estados para os cilindros: cilindro (A/B) recuado, cilindro (A/B) em avanço, cilindro (A/B) avançado, cilindro (A/B) em recuo. Considere os seguintes eventos para o sistema: início de avanço do cilindro (A/B), fim de avanço do cilindro (A/B), início de recuo do cilindro (A/B), fim de recuo do cilindro (A/B).

b) [4 valores] Recorrendo ao método dos invariantes de marcação, formule o sistema de supervisão que garanta que

O cilindro A avança apenas quando o cilindro B está recuado. Quando o cilindro A tiver completado o seu movimento de avanço, o cilindro B avança. Após o avanço completo do cilindro B, este deve recuar de seguida. Quando o cilindro B tiver completado o seu movimento de recuo, o cilindro A deve recuar novamente. Quando o cilindro A tiver recuado, o ciclo pode repetir-se.

e resolva-o.

Boa sorte, PO.

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

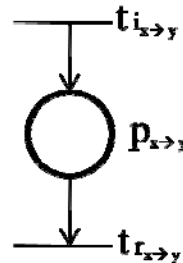
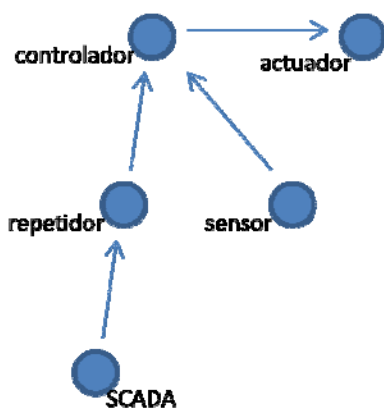
Ano Lectivo 2007/2008

Semestre de Inverno

2º Exame, 19 de Janeiro de 2008

- =====
- Leia cuidadosamente o enunciado antes de começar a responder.
 - Justifique cuidadosamente todas as suas respostas.
 - O exame pode ser realizado com consulta dos elementos bibliográficos da cadeira e com apoio informático
 - Não é permitido o recurso a qualquer rede de telecomunicações (WIFI, Bluetooth, GPRS, ...).
 - Duração do exame: 3 horas.
- =====

Em aplicações de controlo em ambiente industrial, tem-se assistido nos últimos anos a uma tendência da substituição das soluções cabladas por soluções sem fios (wireless) para a troca de informação entre os vários sistemas intervenientes. Este exame focará um exemplo simplificado dessas aplicações.



Onde

$t_{i_{x \to y}}$ --- transição de início de transmissão do nó x para o nó y .

$P_{x \to y}$ --- lugar que modela a ocupação do canal aquando da transmissão.

$t_{r_{x \to y}}$ --- transição de fim de transmissão do nó x para o nó y .

Suponha que pretende implementar uma cadeia de controlo onde o valor de referência vem de um sistema SCADA ou por comando directo do operador. Em locais apropriados instalaram-se respectivamente um sensor e um actuador para o processo em causa. O PLC que implementa o controlador está instalado num outro local. Devido à distância entre a sala de operação e o PLC foi necessário instalar um repetidor.

Cada um dos nós da rede utilizada tem a capacidade de receber ou enviar pacotes de dados, todos com a mesma dimensão e fazendo uso da mesma portadora (por simplicidade). Existe ainda a noção de

slots de duração fixa de 1 mili-segundo para o uso do canal. No diagrama da página anterior, do lado esquerdo, sugere-se o fluxo de mensagens necessário para a implementação da cadeia de controlo em causa e do lado direito sugere-se um grafo da Rede de Petri que modela uma transmissão típica entre o nó X e o nó Y, respectivamente, e que se sugere que seja utilizado nas respostas do presente exame.

a) [1 valor] Descreva a Rede de Petri que modela o sistema descrito, no que diz respeito a cada uma das 4 transmissões isoladas que serão necessárias.

b) [2 valores] Recorrendo ao método dos invariantes de marcação, formule o sistema de supervisão que encadeie as transmissões na rede e resolva-o. Sugestão para as restrições em causa:

i) [1 valor] o repetidor só poderá enviar a mensagem (pacote de dados) para o controlador após a recepção da mesma vinda do sistema SCADA;

ii) [1 valor] o controlador só poderá enviar a mensagem para o actuador após a recepção das mensagens vindas do repetidor e do sensor. Assuma que o tempo de cálculo da lei de controlo é desprezável.

c) [2 valores] Diga se a Rede em causa é conservativa, recorrendo à árvore de alcançabilidade. Comente se a característica encontrada para a rede é fidedigna para a aplicação em causa.

d) [2 valores] Aquando dos testes de campo da rede de comunicações, constatou-se que se o repetidor e o sensor tentarem enviar dados simultaneamente, ocorre uma colisão, e ambos são perdidos. Proponha uma solução para este problema, recorrendo de novo a um supervisor formulado e resolvido recorrendo ao método dos invariantes de marcação.

e) [2 valores] Discuta a vivacidade da Rede obtida.

f) [1 valor] Analise a rede de Petri a que chegou no que diz respeito à minimalidade no número de lugares e transições. Discuta alternativas mais compactas.

g) [2 valores] Diga que restrição generalizada necessitaria utilizar, no método dos invariantes de marcação, que garantiria que o início do ciclo de controlo k só começa após a conclusão do ciclo $k-1$. Acrescente directamente na rede de Petri os lugares e arcos que correspondem a essa restrição.

h) [2 valores] Complete a matriz de incidência da Rede total obtida. Indique como estudaria a sua limitação, recorrendo ao método das equações matriciais.

i) [2 valores] Diga se a rede de Petri total obtida é conservativa e calcule o vector de pesos respectivo. Comente as diferenças em relação ao resultado da alínea c)

j) [1 valor] Explícite as temporizações presentes, caso queira usar um modelo P-temporizado.

k) [1 valor] Qual o período de amostragem que poderá impor na cadeia de controlo? Justifique.

Nota: Caso não consiga sintetizar algum dos supervisores assumo uma solução por construção directa, para poder responder às alíneas subsequentes.

P.S: não esqueça de identificar todas as folhas.

Boa sorte,

Paulo Oliveira



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Ano Lectivo 2006/2007

Semestre de Inverno

2º Exame, 20 de Janeiro de 2007

-
- **Leia cuidadosamente o enunciado antes de começar a responder.**
 - **Justifique cuidadosamente todas as suas respostas.**
 - **O exame pode ser realizado com consulta dos elementos bibliográficos da cadeira e com apoio informático**
 - **Não é permitido o recurso a qualquer rede de telecomunicações (WIFI, Bluetooth, GPRS, ...).**
 - **Duração do exame: 3 horas.**
-

Problema

Considere o sistema de eventos discretos que descreve o funcionamento de uma zona de interface entre duas fases de fabrico em ambiente industrial. Nesta interface encontram-se robots e um sistema de transporte (tipo tapete). Para descrever o mesmo pode-se recorrer a uma Rede de Petri definida pelo seguinte quintuplo:

$$\{P, T, A, w, \mu_0\}$$

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8\}$$

$$A = \{(t_1, p_1), (p_1, t_2), (t_2, p_2), (p_2, t_3), (p_2, t_4), (t_5, p_3), (p_3, t_6), (t_7, p_4), (p_4, t_8)\}$$

$$w(t_1, p_1) = 1, w(p_1, t_2) = 1, w(t_2, p_2) = 1, w(p_2, t_3) = 1, w(p_2, t_4) = 1,$$

$$w(t_5, p_3) = 1, w(p_3, t_6) = 1, w(t_7, p_4) = 1, w(p_4, t_8) = 1$$

$$\mu_0 = [0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

Com a seguinte interpretação para as condições e eventos, respectivamente:

| | |
|-------------------------------------|--|
| p_1 – Manipulador em Repouso | t_1 – Manipulador termina operação |
| p_2 – Manipulador Transporta peça | t_2 – Manipulador inicia operação |
| p_3 – Tapete em avanço | t_3 – Peça defeituosa |
| p_4 – Tapete em retrocesso | t_4 – Peça válida |
| | t_5 – Tapete inicia movimento para a frente |
| | t_6 – Tapete termina movimento para a frente |
| | t_7 – Tapete inicia movimento para trás |
| | t_8 – Tapete termina movimento para trás |

a) [1 valor] Desenhe o grafo da Rede de Petri definida.

b) [1 valor] Qual a matriz de incidência D_p desta Rede de Petri?

c) [2 valor] Desenhe um supervisor baseado em invariantes de marcação, tendo em conta que existem no máximo 2 manipuladores robóticos e 1 sistema de tapetes de transporte. Este

sistema de transporte não pode estar a andar simultaneamente para a frente e para trás. Represente o supervisor obtido na Rede de Petri da alínea a).

d) [1 valor] Recorrendo ao Método das Equações Matriciais, calcule se a Rede de Petri é estritamente conservativa e calcule os seus invariantes de marcação (não triviais) que se verificam com menor número de disparos.

e) [1 valor] Faça a árvore de alcançabilidade da rede obtida em c) e discuta a conservação da mesma. Assinale os invariantes encontrados na alínea anterior nesta árvore.

f) [2 valores] Desenhe um supervisor baseado em invariantes de marcação, descrito com recurso a restrições lineares generalizadas, tal que após ser detectada uma peça defeituosa deverá ser accionado o tapete no sentido do retrocesso. No caso de peças válidas deverá ser accionado o tapete no sentido do avanço. Sabe-se também que uma peça é considerada ou válida ou defeituosa no final do seu transporte.

g) [1 valor] Represente o supervisor agora obtido no grafo da Rede de Petri das alíneas a) e c).

h) [1 valor] Calcule o vector de pesos associado à conservação da rede agora obtida. Será que é o mesmo que o associado à alínea e)?

i) [2 valores] Qual o nível de vivacidade da Rede de Petri total. Justifique.

j) [2 valores] Conjectura-se que as restrições correspondentes à ordem ou quantidade de disparos podem ser obtidas à custa de restrições lineares simples acrescentando um arco e um lugar auxiliar na saída das transições em causa. Repita a alínea f) usando esta sugestão.

k) [1 valores] Discuta a implementação em autómatos industriais do sistema de controlo e supervisão acima obtido, recorrendo à linguagem GRAFCET. Escreva uma secção de GRAFCET para o implementar.

l) [2 valor] Discuta a veracidade da seguinte afirmação: “Se uma rede de Petri for de nível de vivacidade n então também é de nível $n+1$, para $n=\{0,1,2,3\}$ ”.

m) [1 valor] Suponha que durante a implementação do sistema de automação para controlo e supervisão sintetizado acima lhe aparece o problema de necessitar de garantir que uma etapa de GRAFCET tem de accionar uma saída cada vez que um dado lote de peças (por exemplo com m peças) é terminado. Como o implementaria.

n) [2 valores] Caso pretendesse a implementação deste sistema em ambiente industrial, sabe que é comum o recurso a PLCs. Descreva o funcionamento deste dispositivo. Enumere algumas variáveis importantes para a sua escolha. Descreva avarias típicas e o processo de envelhecimento do mesmo.

Nota: Caso não consiga sintetizar algum dos supervisores assuma uma solução por construção directa, para poder responder às alíneas seguintes.

P.S: não esqueça de identificar todas as folhas.

Boa sorte,
Paulo Oliveira



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Ano Lectivo 2006/2007

Semestre de Inverno

1º Exame, 6 de Janeiro de 2007

-
- **Leia cuidadosamente o enunciado antes de começar a responder.**
 - **Justifique cuidadosamente todas as suas respostas.**
 - **O exame pode ser realizado com consulta dos elementos bibliográficos da cadeira e com apoio informático**
 - **Não é permitido o recurso a qualquer rede de telecomunicações (WIFI, Bluetooth, GPRS, ...).**
 - **Duração do exame: 3 horas.**
-

Problema

Considere o sistema de eventos discretos que descreve o sistema de controlo da utilização de AGVs (Automatic Guided Vehicles) numa fábrica, bem como os dispositivos de carregamento de energia. Para descrever tal sistema recorre-se a uma Rede de Petri definida pelo seguinte quintuplo:

$$\{P, T, A, w, \mu_0\}$$

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7\}$$

$$A = \{(t_1, p_1), (p_1, t_2), (t_2, p_2), (p_2, t_3), (t_3, p_3), (p_3, t_4), (t_4, p_4), (p_4, t_6), (t_6, p_5), (p_5, t_7)\}$$

$$w(t_1, p_1) = 1, w(p_1, t_2) = 1, w(t_2, p_2) = 1, w(p_2, t_3) = 1, w(t_3, p_3) = 1,$$

$$w(p_3, t_4) = 1, w(t_4, p_4) = 1, w(p_4, t_6) = 1, w(t_6, p_5) = 1, w(p_5, t_7) = 1$$

$$\mu_0 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

Com a seguinte interpretação para as condições e eventos, respectivamente:

| | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| p_1 - AGV Idle | t_1 - AGV termina operação |
| p_2 - AGV em trânsito | t_2 - AGV inicia trânsito |
| p_3 - AGV a transportar materiais | t_3 - AGV efectua carregamento |
| p_4 - Carregador Idle | t_4 - AGV descarrega |
| p_5 - Carregador em operação | t_5 - Carregador passa a Idle |
| | t_6 - Carregador inicia carga |
| | t_7 - Carregador termina carga |

a) [1 valor] Desenhe o grafo da Rede de Petri definida.

b) [1 valor] Qual a matriz de incidência D_p desta Rede de Petri?

c) [2 valor] Desenhe um supervisor baseado em invariantes de marcação, tendo em conta que existem no máximo m AGVs e n carregadores na fábrica. Represente o supervisor obtido no grafo da Rede de Petri da alínea a).

d) [1 valor] Dado a matriz de incidência total, calcule se a Rede de Petri é conservativa e calcule os seus invariantes.

e) [1 valor] Discuta a veracidade da seguinte afirmação: “para estudar a conservação de uma Rede de Petri não é necessário tomar em consideração a sua marcação”.

f) [2 valores] Desenhe um supervisor baseado em invariantes de marcação, descrito com recurso a restrições lineares generalizadas, tal que nem sempre um AGV necessita de ser carregado antes de entrar em operação, mas só pode iniciar o transito depois de terminar o processo de carregamento de energia.

g) [1 valor] Represente o supervisor agora obtido no grafo da Rede de Petri das alíneas a) e c).

h) [1 valor] Calcule os novos invariantes de marcação. Conclua acerca da preservação dos mesmos aquando da inclusão de supervisores.

i) [2 valores] Qual o nível de vivacidade da Rede de Petri total obtida em a), c) e g)? Justifique.

j) [2 valores] Mostre que a transição t_3 é de nível de vivacidade 3.

Sugestão: Acrescente um arco na saída da transição de que quer saber o nível de vivacidade e estude de pode levar para infinito o número de tokens que se acumularão nesse lugar.

k) [2 valores] Discuta a implementação em autómatos industriais do sistema de controlo e supervisão acima obtido, recorrendo à linguagem GRAFCET. Escreva uma secção de GRAFCET para o implementar.

l) [1 valor] Discuta agora a possibilidade de implementar em hardware o sistema de controlo e supervisão em causa, com base na utilização de “um flip-flop por estado”?

m) [1 valor] Suponha que durante a implementação do sistema de automação para controlo e supervisão sintetizado acima lhe aparece o problema de necessitar de garantir que uma etapa de GRAFCET tem de ficar activa durante um período de tempo pré-definido, por exemplo o tempo de carga do AGV. Como o implementaria.

n) [2 valores] Caso pretendesse a implementação em ambiente industrial, sabe que é comum o recurso a relés. Descreva o funcionamento deste dispositivo. Enumere algumas variáveis importantes para a sua escolha. Descreva avarias típicas e o processo de envelhecimento do mesmo.

Nota: Caso não consiga sintetizar algum dos supervisores assumo uma solução por construção directa, para poder responder às alíneas seguintes.

P.S: não esqueça de identificar todas as folhas.

Boa sorte,
Paulo Oliveira

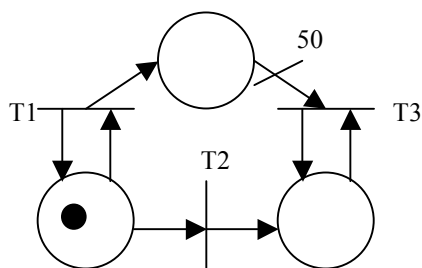
API 2006/2007
MEEC/MIEC
Exame Época Especial

A Implemente no PLC, usando uma das linguagens estudadas na cadeira, um programa que implemente a seguinte função lógica: Circuito de maioria, com 3 entradas. Consegue generalizá-lo para um número arbitrário de entradas (por exemplo 9)?

B Descreva os critérios que levam à escolha de uma secção de ladder em FAST, MAST ou como uma rotina de interrupção. Dê exemplos.

C Enumere metodologias de modelização de eventos discretos e ordene-as por capacidade de modelação.

D Considere a seguinte Rede de Petri. Escolha a respost(s) certa(s):



A transição T1

- 1) É viva (nível 4) porque é potencialmente disparável qualquer que seja a marcação alcançável.
- 2) É viva (nível 3) porque existe uma sequência válida infinita onde esta transição surge infinitas vezes.
- 3) É viva (nível 2) porque é possível encontrar sequências válidas em que esta transição surge N vezes, qualquer que seja N.
- 4) É viva (nível 1) porque é potencialmente disparável.
- 5) Não é viva porque não é uma transição disparável.

E Considere que, algures na árvore de cobertura de uma rede de Petri, encontra o nó $(1, w, 0)$. A partir apenas deste dado, pode concluir que :

- 1) $(1, 1578, 0)$ é uma marcação alcançável por esta rede
- 2) $(0, 1578, 0)$ é uma marcação alcançável por esta rede.

- 3) No conjunto de marcações alcançáveis pela rede de Petri, existem marcações que cobrem a marcação $(1, 1578, 0)$.
- 4) Nada se pode concluir porque não temos o resto da árvore.
- 6) No conjunto de marcações alcançáveis pela rede de Petri, não existem marcações que cubram a marcação $(1, 1578, 0)$.

F Considere um sistema composto por 2 cilindros (A e B) pneumáticos. O modo de funcionamento do sistema é o seguinte:

O cilindro A avança apenas quando o cilindro B está recuado. Quando o cilindro A tiver completado o seu movimento de avanço, o cilindro B avança. Após o avanço completo do cilindro B, este deve recuar de seguida. Quando o cilindro B tiver completado o seu movimento de recuo, o cilindro A deve recuar novamente. Quando o cilindro A tiver recuado, o ciclo pode repetir-se.

Modele o sistema utilizando uma rede de Petri ordinária. Considere os seguintes estados para os cilindros: cilindro (A/B) recuado, cilindro (A/B) em avanço, cilindro (A/B) avançado, cilindro (A/B) em recuo. Considere os seguintes eventos para o sistema: início de avanço do cilindro (A/B), fim de avanço do cilindro (A/B), início de recuo do cilindro (A/B), fim de recuo do cilindro (A/B).

Boa Sorte



AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Ano Lectivo 2005/2006

Semestre de Inverno

2º Exame, 4/Fevereiro/2006

-
- Resolva os problemas em **folhas separadas**.
 - Leia cuidadosamente o enunciado antes de começar a responder.
 - Justifique cuidadosamente todas as suas respostas.
 - **O exame pode ser realizado com consulta dos elementos bibliográficos da cadeira.**
 - **Duração do exame: 3 horas.**
-

Problema

Considere a modelação da dinâmica de eventos discretos de dois robots que cooperam entre si para transportar uma barra de grandes dimensões entre dois pontos, descrita da seguinte forma (assume-se que a barra se articula com cada robot):

- o robot R1 avança com a sua extremidade da barra, enquanto o robot R2 suporta, imóvel, a outra extremidade, até atingir o limite da articulação, após o que se imobiliza;
 - o robot R2 avança com a sua extremidade da barra, enquanto o robot R1 suporta, imóvel, a outra extremidade, até atingir o limite da articulação, após o que se imobiliza;
 - R1 está inicialmente imóvel;
 - R2 está inicialmente avançando com a sua extremidade da barra.
- a) Modele, utilizando uma rede de Petri, o sistema constituído pelos 2 robots funcionando de forma não coordenada, embora ambos suportando a sua extremidade da barra. Identifique cuidadosamente as condições e eventos envolvidos no modelo, bem como a marcação inicial.
 - b) Utilizando o método de síntese de supervisores ensinado nas aulas, projecte um supervisor que coordene os 2 robots, só permitindo que R1 avance depois de R2 se imobilizar e vice-versa. Apresente cuidadosamente todos os passos do dimensionamento do supervisor. Indique o significado físico do(s) lugar(e)s do supervisor criado(s).
 - c) Determine, utilizando o método das equações matriciais, os invariantes temporais da rede de Petri não supervisionada (modelo do sistema de 2 robots sem coordenação) e também os invariantes temporais da rede de Petri supervisionada (modelo dos 2 robots coordenados). Comente as diferenças encontradas. Indique o significado físico dos invariantes encontrados.



AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Ano Lectivo 2005/2006

Semestre de Inverno

1º Exame, 18/Janeiro/2006

-
- Resolva os problemas em **folhas separadas**.
 - Leia cuidadosamente o enunciado antes de começar a responder.
 - Justifique cuidadosamente todas as suas respostas.
 - **O exame pode ser realizado com consulta dos elementos bibliográficos da cadeira.**
 - **Duração do exame: 3 horas.**
-

Problema

Considere a modelação da dinâmica de eventos discretos de um elevador, descrita da seguinte forma:

- o elevador pode estar a subir, a descer ou parado;
 - podem estar pendentes nenhum, um ou mais pedidos de utilizadores para subir;
 - podem estar pendentes nenhum, um ou mais pedidos de utilizadores para descer;
 - o elevador só pode parar depois de ter terminado de subir ou de descer até um determinado andar (o andar é irrelevante para o modelo);
 - o elevador volta a subir se, ao parar, existir um pedido pendente para subir;
 - o elevador volta a descer se, ao parar, existir um pedido pendente para descer;
- a) Modele o sistema utilizando uma rede de Petri, identificando cuidadosamente as condições e eventos envolvidos no modelo, bem como a marcação inicial.
 - b) Verifique, utilizando o método das equações matriciais, se o estado em que um ou mais pedidos de subida e descida estão simultaneamente pendentes é alcançável.
 - c) Utilizando o método de síntese de supervisores ensinado nas aulas, projecte um supervisor que não permita a existência simultânea de pedidos de subida e descida pendentes. Apresente cuidadosamente todos os passos do dimensionamento do supervisor. Indique o significado físico do(s) lugar(s) do supervisor criado(s).
 - d) Analise o sistema supervisionado quanto à conservação. Comente o resultado obtido, comparando-o com a situação não supervisionada.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Automação de Processos Industriais

Semestre de Inverno do ano lectivo de 2004/2005

Exame Final
20 de Janeiro de 2005

-
-
- Resolva os problemas em **folhas separadas**.
 - Leia cuidadosamente o enunciado antes de começar a responder.
 - Justifique cuidadosamente todas as suas respostas.
 - **O exame pode ser realizado com consulta dos elementos bibliográficos da cadeira.**
 - **Duração do exame: 3 horas.**
-
-

Problema I – Sistema de acesso

Para implementar um sistema de acesso a um meio de transporte encontram-se à disposição os seguintes sistemas:

- i) Sistema de validação/verificação de títulos de transporte, com uma entrada de activação, uma saída de validação, e um tempo de processamento de 1 segundo;
- ii) Sistema luminoso e sonoro de aviso, por comando conjunto;
- iii) Sistema automático de abertura de portas, comandado por uma entrada digital e que demora 1 segundo na abertura e 1 segundo no fecho;
- iv) Sistema de alimentação a 24 Volts, com um interruptor manual;

As especificações funcionais para o sistema a implementar são as seguintes:

Aquando da introdução do título de transporte no sistema de validação, e caso o mesmo seja válido, o sistema de abertura de portas é activado durante 5 segundos, após o passageiro retirar o título. Em caso de título inválido, após o utilizador retirar o mesmo, o sistema de aviso é activado durante 2 segundos. Pretende-se ainda implementar um contador de passageiros e outro de falhas, que deverão poder ser re-inicializados diariamente.

- a) [1 valor] Assumindo que os actuadores e sensores disponíveis têm todos entradas e saídas digitais compatíveis com o sistema de alimentação e com o PLC disponíveis, proponha um diagrama eléctrico das ligações.
- b) [3 valores] Implemente o sistema de automação descrito acima, na forma de uma secção para o PLC, utilizando uma das linguagens associadas à norma IEC-1131-3.
- c) [1 valor] Discuta os eventos que se podem associar às entradas e saídas dos sistemas deste automatismo, por forma a serem utilizados na modelação do sistema de eventos discretos correspondente.
- d) [1 valor] Discuta a observabilidade e a controlabilidade das transições da Rede de Petri proposta.
- e) [2 valores] Escreva a Rede de Petri associado a este sistema de automação.
- f) [2 valores] Qual a taxa máxima de admissão de passageiros, todos com títulos de transporte válidos, para o automatismo especificado acima?

Problema II – Sala de cinema

A lotação de uma sala de cinema é de 150 espectadores e existem três bilheteiras, cada uma com um funcionário, onde se podem comprar bilhetes, em dois lugares afastados. No local onde existem duas bilheteiras, por conveniência da utilização do espaço, é necessário formar fila única. Os funcionários das bilheteiras podem estar à espera de clientes, a vender bilhetes ou a aceitar reservas pelo telefone. O acesso à sala de cinema faz-se por uma única porta, sendo os espectadores conduzidos aos seus lugares por um dos 5 arrumadores presentes.

- a) [3 valores] Modele o acesso à sala de cinema descrito acima como um sistema de eventos discretos, utilizando uma Rede de Petri.
- b) [2 valores] Acrescente à Rede de Petri desenhada acima um sistema de supervisão que não permita vender mais do que a lotação da sala, bem como que não permita que entrem na sala mais espectadores do que a lotação (mesmo que enganados ou com bilhetes inválidos).
- c) [2 valores] Para detectar possíveis fraudes acrescente à Rede de Petri desenhada acima um sistema de supervisão que não permita a entrada na sala, em nenhum momento, de mais espectadores do que bilhetes vendidos.
- d) [2 valores] Classifique a Rede de Petri obtida quanto à limitação, conservação e vivacidade, utilizando um dos métodos de análise estudados.
- e) [1 valor] Demonstre a seguinte proposição:
“A Rede de Petri para este sistema pode ser escrita como um grafo marcado.”

Boa sorte,

Paulo Jorge Oliveira