

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua

Sidang Akademik 2002/2003

Februari/Mac 2003

**EEE 355 – ROBOT DAN PENGAUTOMATAN**

Masa : 3 Jam

---

**ARAHAN KEPADA CALON:**

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **TIGABELAS** (13) muka surat beserta **Lampiran (1 muka surat)** bercetak dan **ENAM** (6) soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA** (5) soalan.

Agihan markah diberikan di sut sebelah kanan soalan berkenaan.

Semua soalan hendaklah dijawab di dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

1. (a) Berikan pengkelasan jenis-jenis robot industri berdasarkan jenis sambungan dan struktur lengan robot dan contoh aplikasi yang sesuai bagi robot berkenaan.

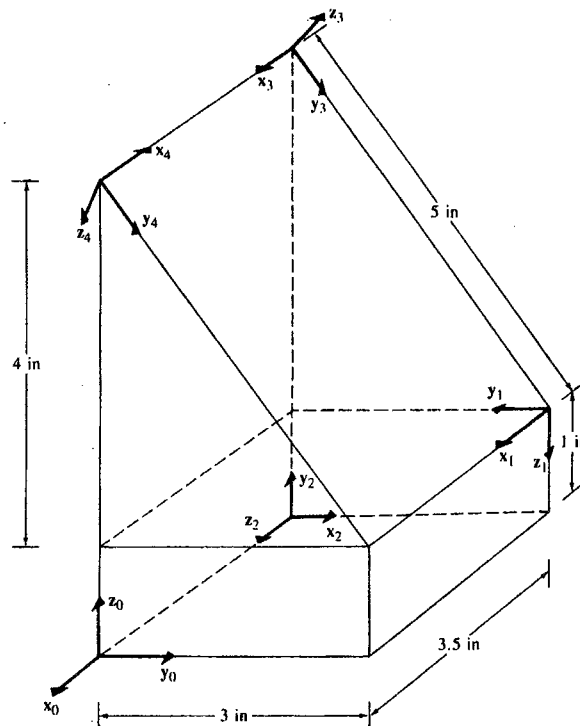
*Give the classification of different types of industrial robot based on joint and manipulator structure, and also example of suitable application for each robot arm.*

(20%)

- (b) Bagi kerangka-kerangka di dalam Rajah 1(b), tentukan matriks penjelmaan homogen jenis 4x4, iaitu  ${}^{i-1}A_i$  dan  ${}^0A_i$  bagi  $i=1,2,3,4$ .

*For the frames in Figure 1(b), determine the 4x4 homogenous transformation matrix, i.e.  ${}^{i-1}A_i$  and  ${}^0A_i$  for  $i=1,2,3,4$ .*

(30%)



Rajah 1(b)  
Figure 1(b)

...3/-

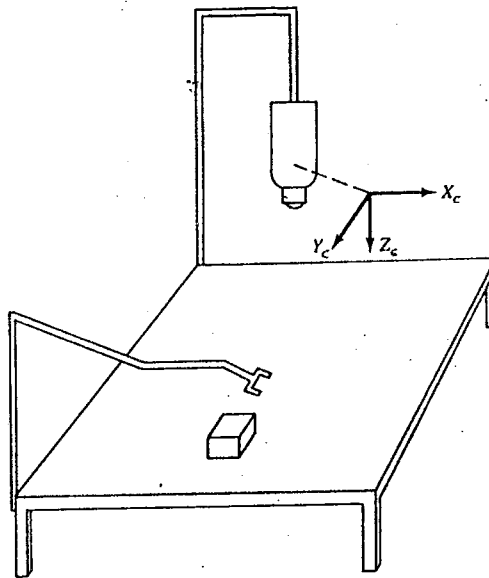
- (c) Sebuah stesen kerja robot telah di sediakan dengan sebuah kamera (seperti Rajah 1(c)). Kamera tersebut boleh melihat asalan bagi tapak sistem koordinat di mana robot enam-sendi tersebut disambungkan. Ia juga boleh melihat pusat bagi objek (anggap sebagai sebuah kiub) yang akan dimanipulasi oleh robot. Sekiranya sistem koordinat lokal telah ditetapkan di tengah-tengah kiub, objek tersebut seperti yang dilihat oleh kamera boleh diwakili oleh sebuah matriks penjelmaan homogen,  $T_1$ . Sekiranya asalan bagi tapak sistem koordinat seperti yang dilihat oleh kamera boleh juga diwakili oleh sebuah matriks penjelmaan homogen,  $T_2$ , dan;

*A robot work station has been set up with a TV camera (Figure 1(c)). The camera can see the origin of the base coordinate system where a six-joint robot is attached. It can also see the centre of an object (assumed to be a cube) to be manipulated by the robot. If a local coordinate system has been established at the centre of the cube, this object as seen by the camera can be represented by a homogenous transformation matrix  $T_1$ . If the origin of the base coordinate system as seen by the camera can also be represented by a homogenous transformation matrix,  $T_2$  and;*

(50%)

$$T_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 10 \\ 0 & 0 & -1 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -10 \\ 0 & -1 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & -1 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

...4/-



Rajah 1(c)  
Figure 1(c)

- [i] Apakah kedudukan asalan bagi pusat kiub merujuk kepada sistem koordinat tapak?

*What is the position of the centre of the cube with respect to the base coordinate system?*

- [ii] Andaikan kiub berada di dalam jangkauan lengan. Apakah matriks orientasi  $[n,s,a]$  sekiranya anda mahukan pengepit (gripper) untuk lengan berada sejajar dengan paksi y bagi objek dan pada masa yang sama mengambil objek dari atas ?

*Assume that the cube is within the arm's reach. What is the orientation matrix  $[n,s,a]$  if you want the gripper (or finger) of the hand to be aligned with the y axis of the object and at the same time pick up the object from the top?*

...5/-

2. (a) Apakah definisi bagi terma *analisa kinematik* bagi satu lengan robot?

*What is the definition for the term "kinematic analysis" with reference to a robot arm?*

(10%)

- (b) Berikan apakah definisi dan penggunaan parameter Denavit-Hartenberg (D-H) menggunakan rajah yang sesuai.

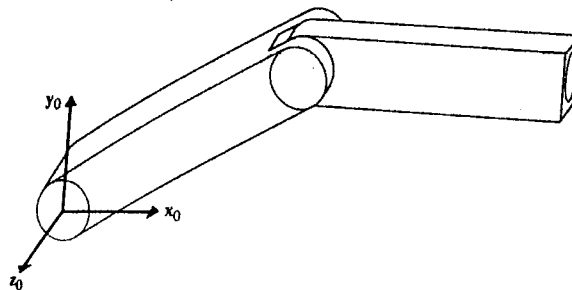
*Give the definition and usage of Denavit-Hartenberg (D-H) parameters using a suitable diagram.*

(30%)

- (c) Bagi lengan dengan dua darjah kebebasan ( 2DOF) seperti Rajah 2(c). Diberi panjang setiap sambungan adalah 1m, tentukan kedudukan kerangka koordinat sambungan dan cari nilai  ${}^0A_1$  dan  ${}^1A_2$ . Tentukan selesaian kinematik songsang bagi lengan tersebut.

*A two-degree-of-freedom manipulator is shown in Figure 2(c). Given that the length of each link is 1m, establish its link coordinate frames and find  ${}^0A_1$  and  ${}^1A_2$ . Find the inverse kinematics solution for this manipulator.*

(60%)



Rajah 2(c)  
Figure 2(c)

...6/-

3. (a) Jelaskan apakah yang dimaksudkan dengan analisa dinamik terus dan analisa dinamik sonsang merujuk kepada satu lengan robot.

*Explain the meaning of forward and inverse dynamic analysis with reference to robot arm.*

(20%)

- (b) Berikan dua contoh serta penerangan ringkas mengenai formulasi matematik atau model dinamik yang boleh digunakan bagi melakukan analisa dinamik terhadap sebuah lengan robot.

*Give two examples and a brief description of mathematical formulations or dynamic models that can be used in conducting dynamic analysis on a robot arm.*

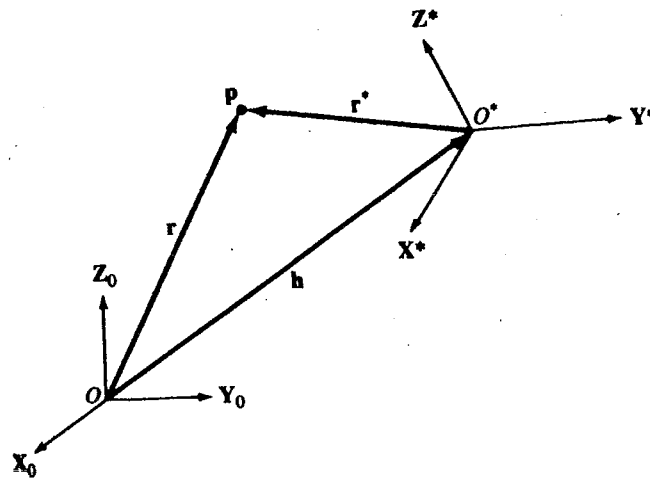
(30%)

- (c) Satu partikel Q, ditentukan kedudukannya oleh vektor  $r$  dan  $r^*$ , merujuk kepada kerangka  $O_{XYZ}$  dan  $O_{XYZ}^*$ . Terbitkan rumus bagi nilai halaju  $v(t)$  dan pecutan  $a(t)$  untuk titik  $p$ , dengan merujuk kepada kerangka tidak bertanda. Rujuk Rajah 3(c).

*A particle Q has its position described by vector  $r$  and  $r^*$ , with reference to  $YZ$  and  $O_{XYZ}^*$ . Derive the formula for velocity  $v(t)$  and acceleration  $a(t)$  for point  $p$ , with reference to the unstarred frame. Refer to Figure 3(c).*

(50%)

...7/-



Rajah 3(c)  
Figure 3(c)

4. (a) Bandingkan kelebihan serta kekurangan sistem penggerak berasaskan hidraulik, pneumatik dan elektrik.

*Compare the advantages and disadvantages for actuator system using hydraulic, pneumatic and electrical based system.*

(20%)

- (b) Huraikan komponen-komponen asas yang diperlukan untuk membina satu sistem penggerak berasaskan sistem hidraulik, serta berikan contoh bagaimana sistem ini berfungsi dengan lakaran yang sesuai.

*Describe the basic components needed to design an actuation system based on the hydraulic system, and give an example using suitable diagram of how the system function.*

(20%)

...8/-

- (c) Hurai serta terbitkan perkaitan antara parameter tork( $T$ ), arus( $I$ ) dan laju( $\omega$ ) bagi satu motor AT dengan menggunakan model motor AT dan beban yang sesuai.

*Describe the relationship between torque( $T$ ), current( $I$ ), and speed( $\omega$ ) for a DC motor using a suitable DC motor and load model.*

(30%)

- (d) Huraikan operasi kedua-dua litar pemacu bagi motor jenis AT berikut:

*Describe the operation of both the DC motor driver circuits below:*

(30%)

- [i] Litar pemacu Pemodulatan Lebar Denyut.

*Pulse Width Modulation (PWM) driver circuit.*

- [ii] Litar pemacu Titian.

*H-bridge driver circuit.*

5. (a) Berikan empat jenis penggunaan sistem penglihatan mesin didalam sebuah sistem automasi serta nyatakan komponen-komponen asas yang perlu ada untuk membina satu sistem penglihatan mesin yang sesuai.

*Give four types of application suitable for a machine vision system in an automation system and state the basic components needed to build a suitable machine vision system.*

(15%)

...9/-



- (b) Jelas cara berfungsi dua jenis peranti penglihatan robot berikut:

*Describe how the following devices for robot vision system operate:*

(20%)

- [i] Tiub Vidicon  
*Vidicon Tube*
- [ii] Kamera jenis CCD  
*CCD Camera*

- (c) Jadual 1 menunjukkan satu imej 6 x 12 *pixel* dengan skel-gray 4-bit yang dibahagi bagi julat voltan  $0 \leq v_i \leq 5$ .

*Table 1 shows a 6 x 12 pixel image with a 4-bit gray scale divided in the voltage range of  $0 \leq v_i \leq 5$ .*

(30%)

- [i] Berapakah bilangan tingkat skel-gray yang ada? Dan apakah julat voltan bagi setiap tingkat?

*How many level of the gray-scale is available ? And what is the voltage range for each level ?*

- [ii] Lakarkan histogram bagi imej tersebut.

*Sketch the histogram for the image.*

- [iii] Tentukan nilai ambang optimal bagi  $v_T$ , dengan menggunakan  $v \geq v_T$  untuk logik 1, dan  $v < v_T$  bagi logik 0, dan lakarkan imej tatasusunan binary yang bersesuaian.

*Determine the optimal threshold value for  $v_T$ , using  $v \geq v_T$  for logic 1, and  $v < v_T$  for logic 0. And sketch a suitable binary image array.*

...10/-

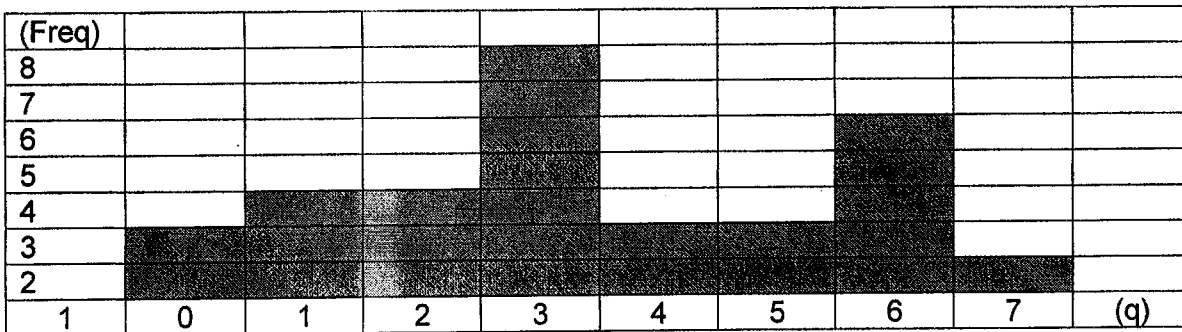
1	4	4	3	3	4	4	3	8	3	12	12
1	4	2	9	2	2	2	11	4	8	4	12
1	3	4	3	11	11	2	2	2	2	12	7
5	4	3	3	3	10	10	11	11	12	12	13
3	3	9	3	2	10	10	11	6	12	12	13
5	9	10	10	10	10	11	11	11	11	13	13

Jadual 1  
Table 1

- (d) Dengan merujuk kepada Rajah 5(d) iaitu jadual nilai imej hasil dari satu sistem penglihatan robot, lakukan proses 'histogram equalisation' dan berikan jadual nilai imej yang diperolehi.

*By referring to Figure 5(d) execute a histogram equalisation process on a value image produced by a robotic vision system and give the new value image.*

(35%)



Rajah 5(d)  
Figure 5(d)

...11/-

6. (a) Berikan pengkelasan peranti-peranti penderia yang digunakan didalam industri berasaskan teknologi robot dan automasi.

*Classify the sensing devices utilised in the industry based on robotic and automation technology.*

(15%)

- (b) Jelaskan bagaimana penderia berikut beroperasi:

*Describe how the following sensor device operates:*

(30%)

[i] Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

*Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

[ii] Pengekod Optik

*Optical Encoder*

[iii] Penderia Kesan Hall

*Hall Effect Sensor*

- (c) Nyatakan komponen-komponen asas bagi sebuah modul litar pengawal jenis *programmable logic controller (PLC)*.

*State the basic components of a programmable logic controller (PLC) circuit module.*

(10%)

- (d) Berikan rajah tangga serta kod mnemonik yang sesuai bagi aplikasi berikut yang menggunakan PLC sebagai modul pengawal. Rujuk jadual 2 dan Rajah 6(d).

*Determine the suitable ladder diagram and mnemonic codes for the following application using PLC as the control module. Refer to table 2 and Figure 6(d).*

(45%)

...12/-

**Aplikasi PLC:  
PLC Application:**

**Mesin Pembasuh Kereta Automatik**

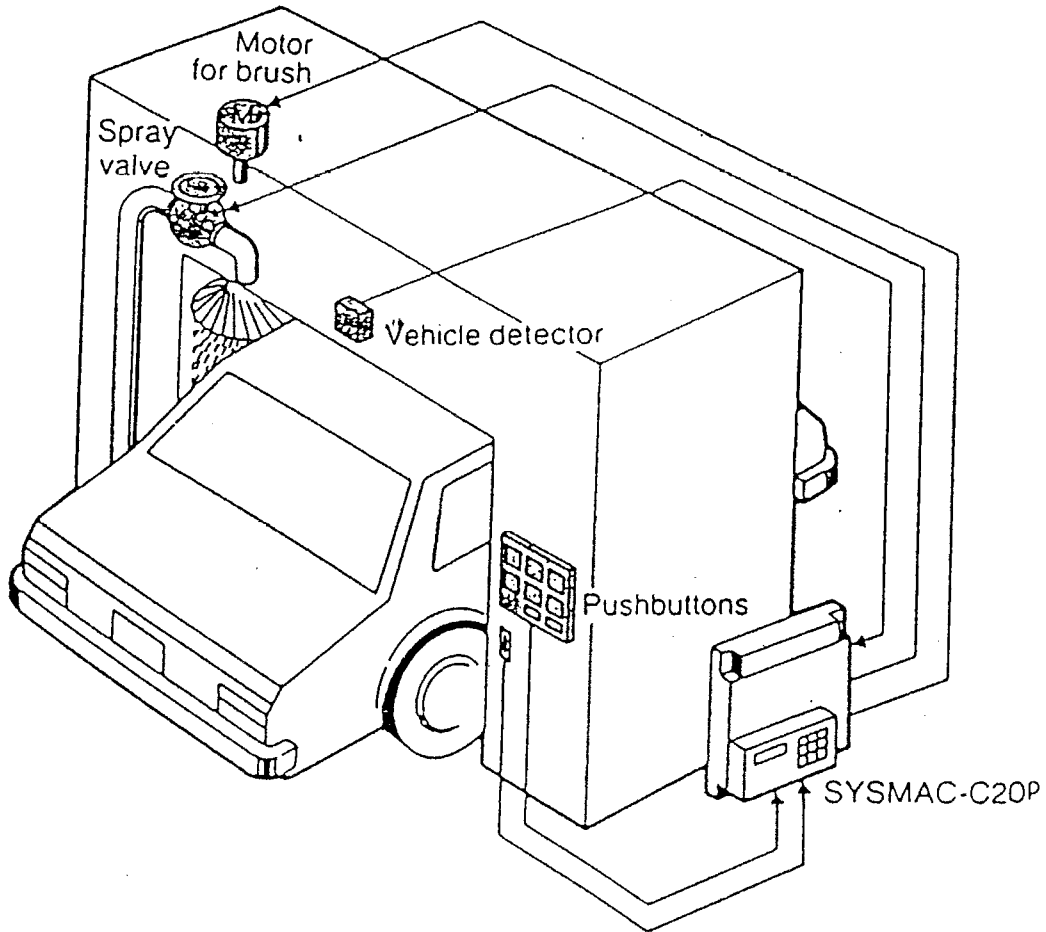
Peranti masukan yang mudah iaitu peranti pengesan kenderaan dan suis butang-tekan digunakan. Sebagai tindakbalas kepada isyarat dari peranti masukan, PLC akan membuka injap untuk semburan dan menghidupkan motor untuk berus yang berpusing.

***Automatic Car Washing Machines***

*Simple input devices, a vehicle-detecting device and pushbutton switches are used. In response to these signals, the PLC opens the valve for the spray and starts the motor for the revolving brush.*

Masukan <i>Input</i>	0000 – Butang pemula <i>Start button</i> 0001 – Pengesan kenderaan <i>Vehicle setector</i> 0002 – Mesin pembasuh berhenti <i>Washing machine stops</i>
Keluaran <i>Output</i>	0500 – Injap penyembur <i>Spray valve</i> 0501 – Motor pemberus <i>Brush motor</i> 0502 – Pergerakan mesin pembasuh <i>Movement of washing machine</i>

Jadual 2  
Table 2



Rajah 6(d)  
Figure 6(d)

- oo0oo -

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} C_3 & 0 & S_3 & a_3 C_3 \\ S_3 & 0 & -C_3 & a_3 S_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^3A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4A_5 = \begin{bmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^5A_6 = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_1 \equiv {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & -S_1 & C_1 S_{23} & a_2 C_1 C_2 + a_3 C_1 C_{23} - d_2 S_1 \\ S_1 C_{23} & C_1 & S_1 S_{23} & a_2 S_1 C_2 + a_3 S_1 C_{23} + d_2 C_1 \\ -S_{23} & 0 & C_{23} & -a_2 S_2 - a_3 S_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2 \equiv {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6 = \begin{bmatrix} C_4 C_5 C_6 - S_4 S_6 & -C_4 C_5 S_6 - S_4 C_6 & C_4 S_5 & d_6 C_4 S_5 \\ S_4 C_5 C_6 + C_4 S_6 & -S_4 C_5 S_6 + C_4 C_6 & S_4 S_5 & d_6 S_4 S_5 \\ -S_5 C_6 & S_5 S_6 & C_5 & d_6 C_5 + d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

where  $C_i \equiv \cos \theta_i$ ;  $S_i \equiv \sin \theta_i$ ;  $C_{ij} \equiv \cos (\theta_i + \theta_j)$ ;  $S_{ij} \equiv \sin (\theta_i + \theta_j)$ .

---

PUMA link coordinate transformation matrices.