
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2003/2004

September / Oktober 2003

EPP 451/3– Robotik dan Automasi

Masa : 3 jam

ARAHAN KEPADA CALON :

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEPULUH (10)** mukasurat dan **TUJUH (7)** soalan yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.

Sila jawab **LIMA (5)** soalan sahaja.

Calon boleh menjawab semua soalan dalam Bahasa Malaysia. Jika calon ingin menjawab dalam Bahasa Inggeris sekurang-kurangnya **SATU (1)** soalan perlu dijawab dalam Bahasa Malaysia.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

...2/-

- S1. [a] Alat pengukuran posisi paksi putaran bagi robot silinder adalah pengekod tokohan yang memancarkan 6000 denyutan per putaran dan ia dipegang secara terus pada aci.

The position-measuring device of the rotary axis of a cylindrical robot is an incremental encoder which emits 6000 pulses per revolution and is mounted directly on the shaft.

- (i) **Lakarkan konfigurasi robot silinder ini.**
Sketch the configuration of cylindrical robot

(20 markah)

- (ii) **Jika panjang maksimum bagi lengan horizontal ialah 1 m, apakah resolusi paling besar di hujung lengan ini?**

If the maximum length of the horizontal arm is 1 m, what is the worst-case resolution at the arm end?

(20 markah)

- [b] **Manipulator kordinat sfera telah dilengkapi dengan tiga pengekod yang memancarkan 1000 denyutan per putaran. Paksi linear dipacukan dengan bantuan skrewpendulu pic 10 mm dan pengekodnya dipegang pada skrewpendulu. Dua pengekod lain pula dipegang berdasarkan nisbah gear 1:22.**

A spherical coordinate manipulator is equipped with three encoders emitting 1000 pulses per revolution. The linear axis is actuated with the aid of a 10 mm pitch leadscrew, and its encoder is mounted on the leadscrew. The other two encoders are mounted through a gear ratio of 1 : 22.

- (i) **Lakarkan konfigurasi manipulator sfera ini.**
Sketch the configuration of the spherical manipulator.

- (ii) **Dapatkan resolusi ruang paling besar robot tersebut.**
Find the worst spatial resolution of the robot.

(20 markah)

- [c] **Tugas sesuatu manipulator robot didefinisikan sebagai urutan titik hujung menunjukkan penamatan setiap trajektori.**

The task of the robot manipulator is defined by a sequence of end points defining the termination of each trajectory.

- (i) **Lakarkan struktur konsep bagi sistem robot laluan berterusan (CP) enam paksi.**

Sketch the conceptual structure of a six-axis Continuous path (CP) robot system.

...3/-

- (ii) Terangkan dengan jelas setiap langkah di dalam tugas ini.
Explain clearly every single step of the task.

(40 markah)

- S2. [a] Terangkan kesesuaian penggunaan motor pelangkah, motor servo arus terus dan sistem hidraulik sebagai pemacu untuk robot dengan memberikan alasan masing-masing.

Explain the usage suitability of stepper motor, direct current servo motor and hydraulic system as driver for robot by giving the respective reasons.

(40 markah)

- [b] Motor servo arus terus banyak digunakan bagi memacu pengolah robot. Nyatakan TIGA kilas statik dan TIGA kilas dinamik yang membebani motor tersebut.

Direct current servo motor is widely used for driving robot manipulator. State THREE dynamic torques which load the motor.

(20 markah)

- [c] Kawalan kilas merupakan satu pendekatan bagi mengawal pergerakan lengan robot yang dipacu oleh motor arus terus. Lukiskan rajah blok dan huraikan pendekatan ini serta kebaikan dan keburukannya.

Torque control is an approach for controlling robot arm movement which is driven by direct motor. Draw the block diagram and elaborate this approach with its advantages and disadvantages.

(40 markah)

- S3. [a] Berikan definisi analisa kinematik dan perbezaan kinematik terus (*Direct Kinematics*) dan kinematik balikan (*Inverse Kinematics*)

Define kinematics analysis and differentiate direct kinematics and inverse kinematics

(20 markah)

- [b] Dua titik $\hat{a}_{xyz} = (4, 3, 2)^T$ dan $\hat{b}_{xyz} = (6, 2, 4)^T$ akan ditranslasikan pada jarak +5 unit di sepanjang satah *OX*, +2 unit di sepanjang satah *OY* dan -3 unit di sepanjang satah *OZ*. Dengan menggunakan matrix transformasi homogeneous, dapatkan titik baru bagi \hat{a}_{xyz} dan \hat{b}_{xyz} .

*Two points $\hat{a}_{xyz} = (4, 3, 2)^T$ and $\hat{b}_{xyz} = (6, 2, 4)^T$ is translate at +5 unit along *OX* axis, +2 unit along *OY* axis and -3 unit along *OZ* axis. By using homogeneous transformation matrix, determine new position of \hat{a}_{xyz} and \hat{b}_{xyz} .*

(30 markah)

...4/-

- [c] Matrik [A] umum yang menghubungkan sambungan dan sendi bagi sesuatu robot dihubungkan oleh persamaan:

$$A = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

A generalized [A] matrix relating joints and links for 2-D robot manipulator is given by;

$$A = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Merujuk kepada gambarajah S3[c], diketahui bahawa sendi J_1 dan J_3 adalah sendi putaran manakala sendi J_2 adalah dari jenis prismatic. Diberi sambungan L_1 dan L_3 adalah masing-masing 120 dan 20. Jika hujung P_1 berada pada kedudukan $[180, 0, 210]^T$ sm merujuk kepada asalan.

Refers to the robot manipulator as shown in Figure S3[c], noting that joints J_1 and J_3 are revolute joints, while joints J_2 is prismatic joint. Given that link L_1 and L_3 is 120 and 20 respectively. If the end-of-arm position P_1 is $[180, 0, 210]^T$ cm with reference to the origin;

- i) **Binakan sistem koordinat bagi setiap sendi**

Establish coordinate systems of all links

- ii) **Tentukan posisi sendi J_3 . Diberi sudut θ_3 ialah 45° .**

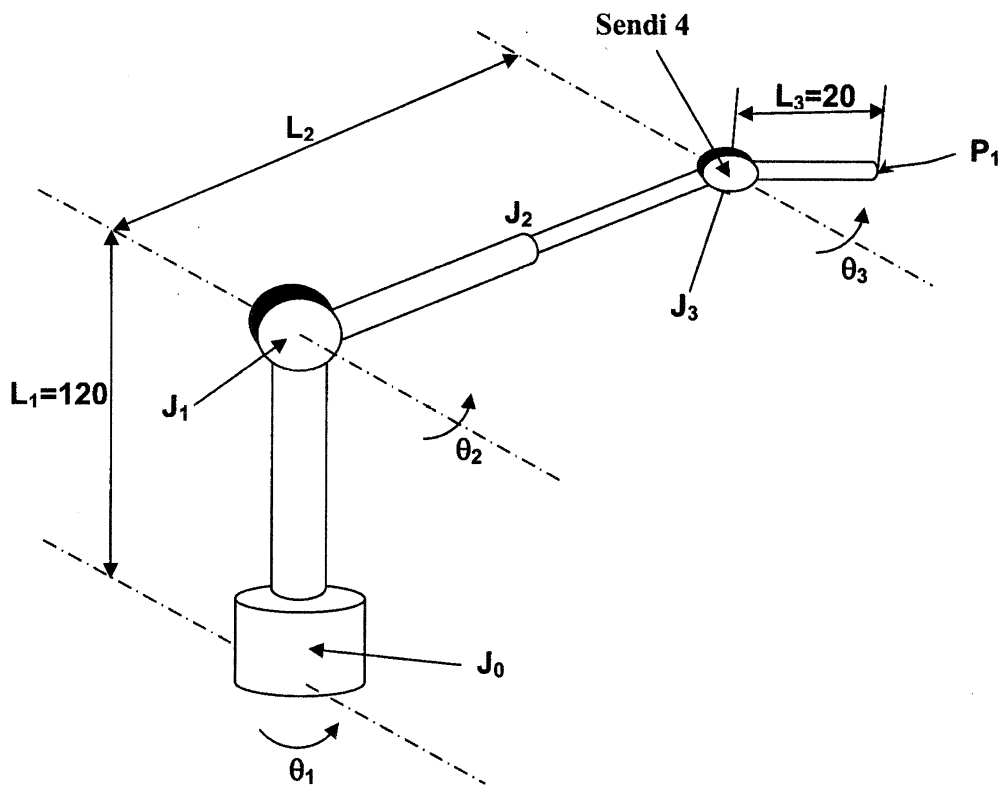
Determine position of joint J_3 , given that angle of θ_3 is 45°

- iii) **Dapatkan nilai bagi parameter-parameter sendi manipulator lain iaitu L_2 , θ_1 , and θ_2 .**

Determine the value of the joint parameters of L_2 , θ_1 , and θ_2 .

(50 markah)

...5/-



Rajah 3[c]
Figure 3[c]

- S4. [a] Dengan menggunakan prosedur rantaian, tunjukkan bahawa Matrik Transformasi Putaran C_1^3 , dari sistem koordinat O_3 ke sistem koordinat O_1 bersamaan dengan

$$\begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi \\ \sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix}$$

By using chain procedure, prove that Rotation Transformation Matrix C_1^3 , from coordinate system O_3 to coordinate system O_1 is equal to

$$\begin{bmatrix} \cos\psi & -\sin\psi \\ \sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix}$$

(20 markah)

...6/-

- [b] Tentukan posisi vektor P yang telah ditransformkan dari sistem koordinat O_3 ke sistem koordinat O_1 . Posisi asal adalah pada kedudukan $[2,2,3]^T$. Jarak antara O_3 dan O_2 ialah 2 unit manakala O_2 dan O_1 adalah 3 unit. Sudut bagi sambungan 2 dan 3 adalah masing-masing 30° dan 45° .

Determine vector position of P , which is transform from coordinate system O_3 to coordinate system O_1 . Initial position is at $[2,2,3]^T$. The distance between O_3 and O_2 is 2 units whereas O_2 and O_1 is 3 units. The angle for joint 2 and 3 is 30° and 45° respectively.

(30 markah)

- [c] Pertimbangan manipulator dua dimensi seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah S4[c]. Sepatutnya hujung pengesan P perlu digerakkan disepanjang lengkungan C yang mana persamaan parametriknya adalah $\chi_0(t)$ and $\gamma_0(t)$

Consider the two-dimensional manipulator as shown in Figure Q4[c]. Suppose that the end effector P is to move along a curve C whose parametric equations are $\chi_0(t)$ and $\gamma_0(t)$.

- i) Dapatkan perhubungan dalam bentuk paling dekat untuk pembolehubah-pembolehubah robot $\theta_1(t)$ and $s_1(t)$.

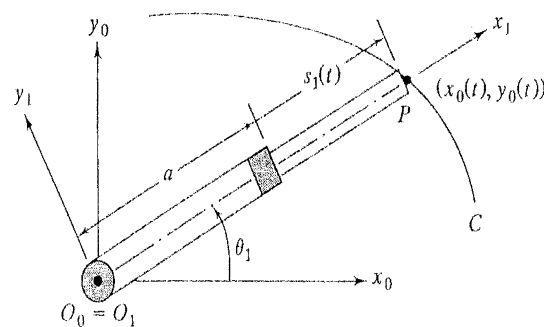
Obtain closed form expression for the robot variables $\theta_1(t)$ and $s_1(t)$.

(20 markah)

- ii) Anggapkan yang hujung pengesan P , digerakkan di sepanjang garisan lurus $\gamma_0(t) = h$ dengan halaju v malar ke arah kanan. Dapatkan pembolehubah-pembolehubah robot untuk kes-kes tersebut. Anggapkan $\chi_0(t)$ and 0 at $t = 0$.

Assume that the end effector P is to move along the straight line $\gamma_0(t) = h$ with constant speed v to the right. Determine the robot variables for this particular case. Assume $\chi_0(t)$ and 0 at $t = 0$.

(30 markah)

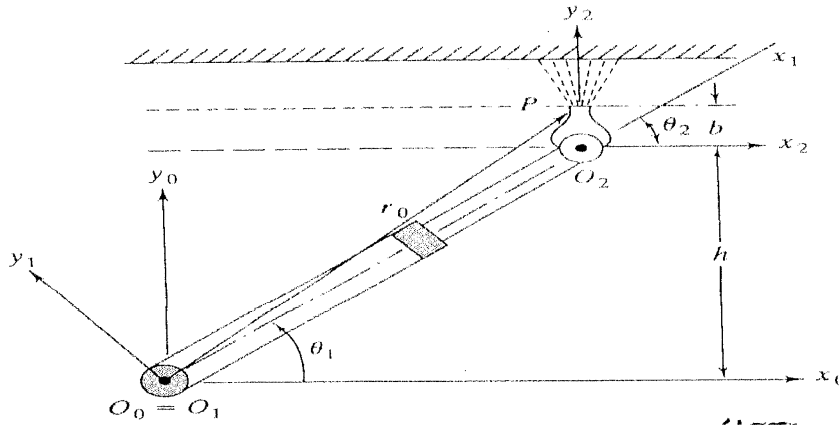


Rajah S4[c]
Figure Q4[c]

...7/-

- S5. [a] Sepatutnya hujung pengesan sesuatu robot di dalam Rajah S5[a] ialah senapang penyembur yang mempunyai muncung yang bergerak dengan halaju v malar selari dengan paksi x_0 . Dapatkan pembolehubah robot θ_1 , θ_2 , and s_1 .

Suppose that the end effector of the robot in Figure Q5[a] is a spray gun whose spray nozzle must move with constant speed v parallel to the x_0 axis. Determine the corresponding robot variables θ_1 , θ_2 , and s_1 .



Rajah S5[a]
Figure Q5[a]

(40 markah)

- [b] Sebuah manipulator yang dengan sambungan bingkai rujukan ditunjukkan di dalam Rajah S5[b] di bawah. Penempatan beberapa bingkai rujukan di sepanjang paksi sendi menunjukkan kesekenaan asalan melainkan parameter-parameter Denavit Hartenberg (DH) yang sesuai telah ditetapkan. Diperingatkan juga bahawa orientasi pengenggam ditetapkan dengan θ_3 sebagai satu-satunya gerakan yang dapat dikawal oleh pengenggam.

A manipulator with joint reference frames is shown in Figure Q5[b] below. The placement of several reference frames along a given joint axis implies the coincidence of the origins unless appropriate Denavit Hartenberg (DH) parameters have been specified. Note also that the gripper orientation is fixed with θ_3 as the only controllable motion of the gripper.

- (i) Dapatkan matrik-matrik Denavit Hartenberg (DH) yang berhubungkait untuk rujukan bingkai-bingkai yang didapati.

Establish the connecting Denavit Hartenberg (DH) matrices for the reference frames indicated.

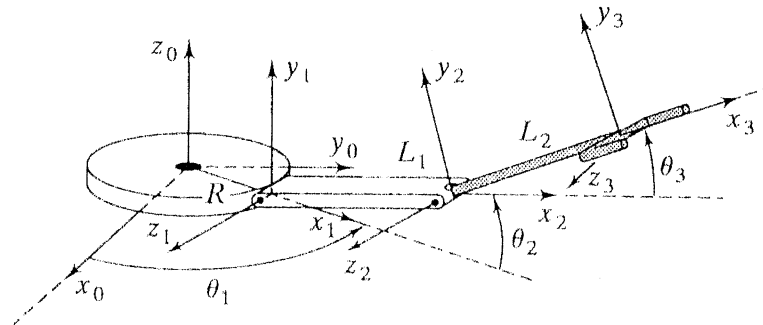
- (ii) Dapatkan kinematik hadapan untuk manipulator ini.

Determine the forward kinematics for the manipulator.

...8/-

- (iii) Jadualkan parameter-parameter Denavit Hartenberg (DH) untuk manipulator.

Tabulate the Denavit Hartenberg (DH) parameters for this manipulator.



Rajah S5[b]
Figure Q5[b]

(60 markah)

- S6. [a] Bagaimanakah pengajaran insani robot dilakukan?
How is robot manual teaching performed?

(25 markah)

- [b] Apakah data yang terdapat dalam arahan pergerakan untuk bahasa pengaturcaraan robot?

What is the data exist in movement instruction for robot programming language?

(25 markah)

- [c] Merujuk kepada aturcara robot PanaRobo yang ditunjukkan dalam Jadual S6[c], terangkan apakah yang akan berlaku kepada robot tersebut. Diberi posisi titik PW1 = (25, 18, 30), PW2 = (25, 18, 10), PW3 = (12, 33, 30) dan PW4 = (12, 33, 10). Anggap injap solenoid bagi penggenggam disambung kepada OUT(7) dan penderia disambung kepada INP(13).

Referring to PanaRobo robot program shown in Table Q6[c], explain what will happen to the robot. Given point position PW1 = (25, 18, 30), PW2 = (25, 18, 10), PW3 = (12, 33, 30) dan PW4 = (12, 33, 10). Assume solenoid value for gripper is connected to INP (3).

...9/-

1	'#PROG=1
2	SPEED 80, 70, 50
3	ACCEL L
4	ORIGIN
5	MOVE PW1
6	OUT 7, 0
7	DELAY 10
8	MOVE F L PW2
9	INP 13, 11
10	IF I1=0 THEN GOTO L1
11	OUT 7, 1
12	DELAY 15
13	MOVE P L PW1
14	MOVE F PW3
15	MOVE F L PW4
16	OUT 7,0
17	DELAY 15
18	MOVE P L PW3
19	L1 ORIGIN
20	END

Jadual S6[c]
Figure Q6[c]

(50 markah)

- S7. [a] **Jelaskan jenis-jenis penderia tak sentuh yang boleh digunakan oleh robot.**

Explain type of non-contact sensor that can be used by robot.

(30 markah)

- [b] **Terangkan EMPAT aplikasi sistem penglihatan bagi membantu robot untuk melaksanakan tugas dalam pembuatan.**

Explain FOUR application of vision system for helping robot to perform task in manufacturing.

(20 markah)

- [c] **Terangkan apakah kegunaan pematuhan pusat jauh (*remote center compliance*) kepada robot dan huraikan prinsip kerjanya dengan bantuan lakaran.**

Explain the usage of remote center compliance to robot and elaborate its working principal with the aid of a sketch.

(30 markah)

...10/-

[d] Mengapa pembuat robot lebih gemar menghasilkan penderia daya tiga komponen daripada penderia daya enam komponen?

Why robot manufacturer prefers to produce three component force sensor rather than six component force sensor?

(20 markah)

-oooOOOooo-