

SULIT



Second Semester Examination
2018/2019 Academic Session

June 2019

**EEM343 – Robotics
(Robotik)**

Duration : 3 hours
(Masa : 3 jam)

Please ensure that this examination paper consists of EIGHT (8) pages and ONE (1) page of printed appendix material before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LAPAN (8) muka surat dan SATU (1) muka surat lampiran yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

Instruction: This question paper consists of **FOUR (4)** questions. Answer **ALL** questions. All questions carry the same marks.

Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **EMPAT (4)** soalan. Jawab **SEMUA** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunakan.]

...2/-

SULIT

1. Figure 1 shows a schematic of a SCARA robot consisting of 3 revolute joints and one prismatic joint.

Rajah 1 memaparkan lukisan skematik untuk robot SCARA yang terdiri daripada 3 sendi revolut dan satu sendi prismatic.

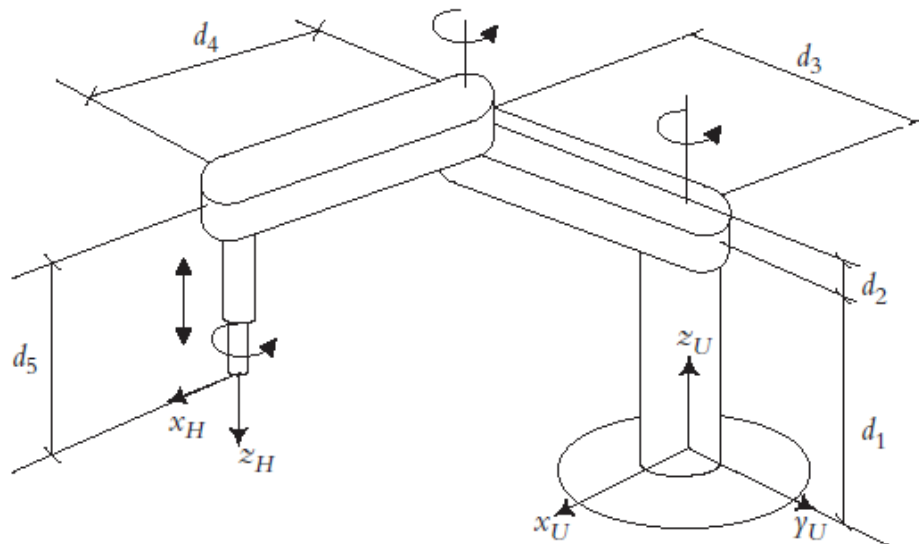


Figure 1 SCARA robot
Rajah 1 Robot SCARA

- (a) Based on the robot shown in Figure 1, answer the following questions:

Merujuk kepada robot dalam gambarajah 1, jawab soalan-soalan berikut:

- (i) Draw an approximate shape of the workspace for the robot showing the dimensions as labelled in the diagram.

Lukis anggaran rupa bentuk ruang-kerja untuk robot tersebut dengan menunjukkan dimensi-dimensi seperti yang dilabelkan di gambarajah.

(10 marks/markah)

- (ii) Draw a simplified schematic diagram (skeleton) for the robot showing all the joints and links. With the help of the simplified diagram, attach coordinate frames to each joint according to Denavit-Hartenberg representation.

Lukiskan gambarajah skematik ringkas (rangka) untuk robot tersebut dengan menunjukkan semua sendi dan penyambung. Dengan bantuan gambarajah ringkas tersebut, letakkan kerangka koordinat di setiap sendi berdasarkan gambaran Denavit-Hartenberg

(10 marks/markah)

- (iii) Draw and fill in a D-H parameter table with appropriate parameters starting from the base frame until the hand frame.

Lukis dan isikan jadual parameter D-H dengan parameter yang sesuai bermula dari kerangka dasar sehingga ke kerangka tangan.

(10 marks/markah)

- (iv) Based on the D-H parameter table write all the A matrices for the robot.

Berdasarkan kepada jadual parameter D-H tersebut, tuliskan kesemua matrik A bagi robot tersebut.

(10 marks/markah)

- (v) Find the ${}^U T_H$

Dapatkan ${}^U T_H$

(20 marks/markah)

- (b) Explain the application of the forward kinematic equations that you have derived for the robot.

Terangkan kegunaan persamaan kinematik terus yang telah anda peroleh untuk robot tersebut.

(10 marks/markah)

- (c) Using the previously derived forward kinematic equations, calculate the position of the robot hand if the angles of all the revolute joints are set to zero. Verify your result through schematic diagram.

Dengan menggunakan persamaan kinematic terus yang telah diperolehi sebelum ini, kira kedudukan tangan robot jika sudut kesemua sendi revolut robot tersebut di tetapkan di kedudukan kosong.

Semak jawapan anda dengan menggunakan gambarajah skematik.

(30 marks/markah)

2. (a) A camera is attached to the hand frame T of a robot as given by the matrices below. The corresponding inverse Jacobian of the robot at this location is also given. The robot makes a differential motion, as a result of which, the change in the frame dT is recorded as given.

Sebuah kamera telah dilekatkan di kerangka tangan T sebuah robot seperti yang diberikan oleh matrik di bawah. Jacobian songsang yang berkenaan untuk kedudukan ini pada robot tersebut juga diberikan. Robot tersebut membuat pergerakan kecil, yang mana dengan pergerakan tersebut, perubahan kepada kerangka dT telah direkodkan seperti yang diberikan

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 3 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & -1 & 8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} J^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$dT = \begin{bmatrix} -0.03 & 0 & -0.1 & 0.79 \\ 0 & 0.03 & 0 & 0.09 \\ 0 & -0.1 & 0 & -0.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- (i) Find the new location of the camera after the differential motion.

Dapatkan lokasi yang baru untuk kamera tersebut hasil dari pergerakan kecil tersebut.

(10 marks/markah)

...5/-

- (ii) Find the differential operator.

Dapatkan operator differential.

(10 marks/markah)

- (iii) Find the joint differential motion values associated with this move.

Dapatkan nilai-nilai gerakan kecil sendi yang berkaitan dengan pergerakan ini.

(10 marks/markah)

- (iv) Find how much the differential motions of the hand frame (
- ${}^T D$
-) should have been instead, if measured relative to frame
- T
- , to move the robot to the same new location as in part (i).

Cari nilai pergerakan kecil kerangka tangan (${}^T D$) yang sepatutnya, jika diukur nisbah kepada kerangka T , bagi menggerakkan robot kepada kedudukan baru yang sama di bahagian (i)

(20 marks/markah)

- (b) An object is subjected to the following forces and moments relative to the reference frame. Attached to the object is a frame, which describes the orientation and the location of the object. Find the equivalent forces and torques acting on the object relative to the current frame.

Sebuah objek telah dikenakan daya berikut dan momen nisbah kepada kerangka rujukan. Sebuah kerangka telah diletakkan kepada objek tersebut, yang menerangkan arah dan kedudukan objek berkenaan. Cari daya dan tork setara yang bertindak ke atas objek tersebut nisbah kepada kerangka semasa.

(50 marks/markah)

$$B = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.707 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \\ 0.707 & -0.707 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} F^T = [10, 0, 5, 12, 20, 0] \text{ N, N.m}$$

...6/-

3. (a) Path and trajectory are two important elements in planning the motion of a robot. Explain the definition of the terms, **path** and **trajectory** and state the difference between the two terms.

*Laluan dan trajektori merupakan dua unsur penting dalam merancang pergerakan robot. Terangkan definisi bagi terma, **laluan** dan **trajektori** dan nyatakan perbezaan di antara kedua-dua terma tersebut.*

(20 marks/markah)

- (b) Motion planning of a robot can be done in either Joint space or Cartesian space. Explain the advantage and disadvantage of both approaches.

Perancangan pergerakan robot boleh dibuat di dalam sama ada ruang sendi atau ruang Kartesian. Terangkan kebaikan dan kelemahan kedua-dua pendekatan tersebut.

(30 marks/markah)

- (c) A robot is to be driven from an initial position through two via points before it reaches its final destination using a 4-3-4 trajectory. The positions, velocities, and time duration for the three segments for one of the joints are given below.

Sebuah robot perlu digerakkan daripada kedudukan asal melalui dua titik lalu sebelum tiba ke destinasi akhir dengan menggunakan trajektori 4-3-4. Kedudukan, halaju, dan tempoh masa untuk ketiga-tiga segmen untuk salah satu daripada sendi robot adalah seperti yang diberikan di bawah.

$$\begin{array}{llll} \theta_1 = 20^\circ & \dot{\theta}_1 = 0 & \ddot{\theta}_1 = 0 & \tau_{1i} = 0 \quad \tau_{1f} = 1 \\ \theta_2 = 60^\circ & \tau_{2i} = 0 & \tau_{2f} = 2 & \\ \theta_3 = 100^\circ & \tau_{3i} = 0 & \tau_{3f} = 1 & \\ \theta_4 = 40^\circ & \dot{\theta}_4 = 0 & \ddot{\theta}_4 = 0 & \end{array}$$

$$\text{Unit for } \tau = s, \quad \dot{\theta} = \theta/s, \quad \ddot{\theta} = \theta/s^2$$

- (i) Determine the trajectory equations.

Tentukan persamaan-persamaan trajektori.

(30 marks/markah)

...7/-

- (ii) Sketch the position, velocity, and acceleration curves for the joint.

Lakarkan garisan lengkungan kedudukan, halaju, dan pecutan untuk sendi tersebut.

(20 marks/markah)

4. (a) One of the nominal characteristics of actuator is the power-to-weight ratio. Describe this characteristic and give an example of an actuator with high power to weight ratio. Explain your answer.

Salah satu daripada ciri-ciri nominal penggerak adalah nisbah kuasa kepada berat. Terangkan ciri ini dan berikan satu contoh penggerak dengan nisbah kuasa kepada pemberat yang tinggi. Terangkan jawapan anda.

(20 marks/markah)

- (b) Explain the method of analysis that you would use when selecting suitable actuators for your robot joints.

Terangkan kaedah analisa yang anda gunakan untuk memilih penggerak yang bersesuaian untuk sendi-sendi robot.

(20 marks/markah)

- (c) Robotic arm finds application in various sectors including manufacturing, agricultural, and medical. Figure 2 shows a robotic system used in operating theatre to perform surgery. The surgeon operating the robot might be in different location. The design of the surgical robot needs to fulfil a certain strict requirements to qualify the robot to work in an operating theatre.

Lengan robotik mempunyai kegunaan dalam pelbagai sektor termasuk industri pengeluaran, pertanian, dan perubatan. Gambarajah 2 menunjukkan sistem robotik yang digunakan di bilik bedah untuk melakukan pembedahan. Pakar bedah yang mengendalikan robot tersebut boleh berada di lokasi berasingan. Rekabentuk robot pembedahan ini perlu memenuhi beberapa syarat-syarat yang ketat untuk melayakkannya digunakan di dewan bedah.

...8/-

-8-



Figure 2: Robotic system for surgery
Rajah 2: Sistem robotic untuk pembedahan

Based on the Figure 2 above, answer the following questions:

Berdasarkan Rajah 2 di atas, jawab soalan-soalan berikut:

- (i) What type of actuators are the most suitable for this type of robot. Give reasons for your answer.

Apakah jenis penggerak yang sesuai untuk robot jenis ini. Nyatakan alasan untuk jawapan anda.

(30 marks/markah)

- (ii) Apart from actuators, the surgical robot needs many types of sensors to perform surgery. List all possible type of sensors required and explain how each sensors plays the role in this particular task.

Selain daripada penggerak, robot pembedahan tersebut memerlukan berbagai jenis penderia untuk melakukan pembedahan. Senaraikan semua jenis penderia yang diperlukan dan terangkan bagaimana setiap jenis penderia tersebut memainkan peranan di dalam aktiviti ini.

(30 marks/markah)

-oooOooo-

APPENDIX
LAMPIRAN

$$\text{Rot}(x, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\theta & -S\theta & 0 \\ 0 & S\theta & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Rot}(y, \theta) = \begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -S\theta & 0 & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rot}(z, \theta) = \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta & 0 & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{n+1} = \begin{bmatrix} C\theta_{n+1} & -S\theta_{n+1}C\alpha_{n+1} & S\theta_{n+1}S\alpha_{n+1} & a_{n+1}C\theta_{n+1} \\ S\theta_{n+1} & C\theta_{n+1}C\alpha_{n+1} & -C\theta_{n+1}S\alpha_{n+1} & a_{n+1}S\theta_{n+1} \\ 0 & S\alpha_{n+1} & C\alpha_{n+1} & d_{n+1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$