
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2006/2007

Oktober/November 2006

EPP 451/3 – Robotik dan Automasi

Masa : 3 jam

ARAHAN KEPADA CALON :

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEPULUH (10)** mukasurat dan **ENAM (6)** soalan yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.

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

Semua soalan perlu dijawab dalam **Bahasa Malaysia**.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

S1. [a] Lukiskan lakaran skematik bagi robot berikut:

Draw schematic sketches of the following robots:

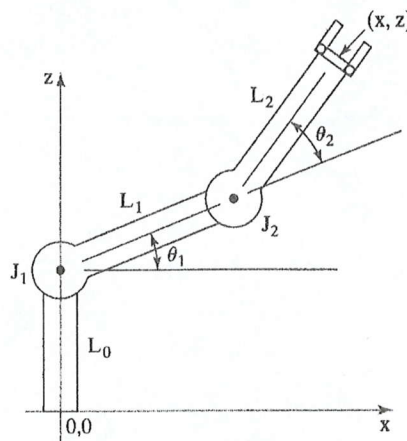
- (i) TRT,
- (ii) VROT,
- (iii) TRL,
- (iv) OLO,
- (v) LVL
- (vi) TRT:R,
- (vii) TVR:TR, and
- (viii) RR:T.

(40 markah)

[b] Kedudukan dan orientasi pengesan hujung bagi sesebuah robot dalam keadaan asas boleh ditentukan daripada sudut-sudut sendi dan parameter-parameter berkait sebagaimana ditunjukkan pada Rajah S1[b]. Tuliskan persamaan untuk mewakili:

The position and orientation of the end effector of a robot in world space can be determined from the joint angles and the parameters as shown in Figure Q1[b]. Write the equations to represent:

- (i) nilai x dan z bagi penjelmaan ke depan, dan
the values of x and z for forward transformation, and
- (ii) nilai θ_1 dan θ_2 bagi penjelmaan balikan.
the values of θ_1 and θ_2 for reverse transformation.



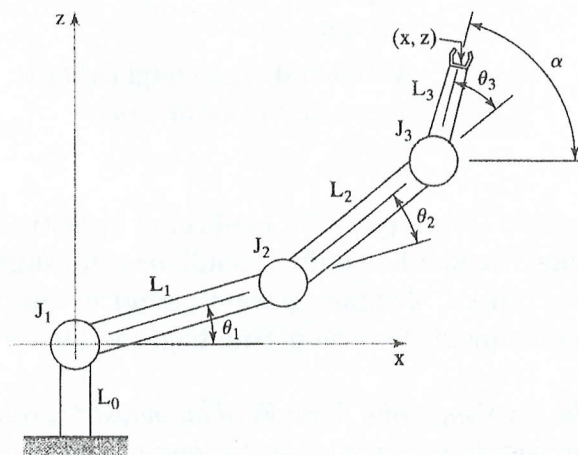
Rajah S1[b]
Figure Q1[b]

(30 markah)

- [c] Koordinat-koordinat asas bagi sebuah robot diberikan seperti di Rajah S1[c]: $x = 300$ mm, $z = 400$ mm, dan $\alpha = 30^\circ$; dan diberikan nilai bagi setiap penyambung $L_1 = 350$ mm, $L_2 = 250$ mm, dan $L_3 = 50$ mm. Tentukan sudut-sudut sendi θ_1 , θ_2 , dan θ_3 .

Given the world coordinates for a robot as in Figure Q1[c] : $x = 300$ mm, $z = 400$ mm, and $\alpha = 30^\circ$; and given that the links have values of $L_1 = 350$ mm, $L_2 = 250$ mm, and $L_3 = 50$ mm.

Determine the joint angles θ_1 , θ_2 , and θ_3 .



Rajah S1[c]
Figure Q1[c]

(30 markah)

- S2. [a] Sendi linear (jenis L) bagi sesetengah robot industri digerakkan oleh mekanisma ombok. Panjang sendi robot apabila dalam keadaan ditarik kembali sepenuhnya ialah 600 mm dan apabila dalam keadaan dilejangkan sepenuhnya ialah 1000 mm.

The linear joint (type-L) of a certain industrial robot is actuated by a piston mechanism. The length of the joint when fully retracted is 600 mm and when it is fully extended is 1000 mm.

- (i) Jika pengawal robot mempunyai kapasiti simpanan sebanyak 8-bit, tentukan kebezajelasan kawalan bagi robot ini.

If the robot's controller has an 8-bit storage capacity, determine the control resolution for this robot.

(10 markah)

- (ii) Jika ralat mekanikal berkenaan dengan sendi linear bagi membentuk taburan normal menurut arah pergerakan sendi dengan sisihan piawai = 0.08 mm. Tentukan:

If the mechanical errors associated with the linear joint form a normal distribution in the direction of the joint actuation with standard deviation = 0.08 mm. Determine:

- (1) kebezajelasan ruang,
spatial resolution,
- (2) kejituan, dan
accuracy, and
- (3) kebolehulangan bagi robot tersebut.
repeatability for the robot.

(20 markah)

- [b] Sendi putaran (jenis V) bagi robot industri mempunyai julat putaran 240° . Ralat mekanikal dalam sendi dan masukan/keluaran sambungan boleh dihuraikan dengan purata taburan normal pada setiap titik yang dikenalpasti. Sisihan piawai bagi ralat ialah 0.25° .

The revolving joint (type V) of an industrial robot has a range of 240° rotations. The mechanical errors in the joint and the input/output links can be described by a normal distribution with its mean at any given addressable point. The standard deviation of errors is 0.25° .

Tentukan bilangan bit simpanan yang diperlukan dalam memori pengawal bagi mendapatkan kejituan sendi sehampir mungkin, tetapi kurang dari nilai kebolehulangannya. Guna enam sisihan piawai sebagai pengukur kebolehulangan.

Determine the number of storage bits required in the controller memory so that the accuracy of the joint is as close as possible to, but less than, its repeatability value. Use six standard deviations as the measure of repeatability.

(40 markah)

- [c] Satu paksi pada robot RRL merupakan paksi gelangsar linear dengan jumlah julat 950 mm. Memori kawalan robot tersebut mempunyai kapasiti sebanyak 10-bit. Ia dianggarkan bahawa ralat mekanikal dikaitkan dengan lengan yang ditaburkan secara normal dengan purata pada titik ajaran dan sisihan piawai isotropik ialah 0.10 mm. Tentukan:

One axis of an RRL robot is a linear slide with a total range of 950 mm. The robot's control memory has an 10-bit capacity. It is assumed that the mechanical errors associated with the arm are normally distributed with a mean at the given taught point and an isotropic standard deviation is 0.10 mm. Determine:

- (i) kebezajelasan kawalan bagi paksi yang diambil kira,
the control resolution for the axis under consideration,
- (ii) kebezajelasan ruang bagi paksi tersebut,
the spatial resolution for the axis,
- (iii) kejitian tertakrif,
the defined accuracy,
- (iv) kebolehulangan.
the repeatability.

(30 markah)

- S3. [a] Jumlah julat paksi terbesar bagi robot jenis koordinat Cartesian adalah 750 mm. Ia dipacu oleh sistem kapi yang mempunyai kejitian mekanikal = 0.25 mm dan kebolehulangan = ± 0.15 mm.

The largest axis of a Cartesian coordinate robot has a total range of 750 mm. It is driven by pulley system capable of a mechanical accuracy = 0.25 mm and repeatability = ± 0.15 mm.

Tentukan bilangan bit minimum yang diperlukan dalam daftar binari bagi paksi dalam memori kawalan robot tersebut.

Determine the minimum number of bits required in the binary register for the axis in the robot's control memory.

(30 markah)

- [b] Motor pelangkah bertindak sebagai unit pemacu bagi sendi linear robot industri. Sendi tersebut mesti mempunyai kejitian 0.25 mm. Motor disambungkan kepada skru-dulu melalui penurunan gear 2:1 (2 putaran motor bagi 1 putaran skru-dulu). Jarak skru-dulu ialah 5.0 mm. Ralat mekanikal dalam sistem (disebabkan oleh tindak balas kasar skru dulu dan menurunkan gear) boleh diwakilkan oleh taburan normal dengan sisihan piawai = ± 0.05 mm. Tentukan bilangan sudut langkah yang perlu ada bagi motor tersebut untuk memenuhi kejitian yang telah ditetapkan.

A stepper motor serves as the drive unit for the linear joint of an industrial robot. The joint must have an accuracy of 0.25 mm. The motor is attached to a leadscrew through a 2:1 gear reduction (2 turns of the motor for 1 turn of the leadscrew). The pitch of the leadscrew is 5.0 mm. The mechanical errors in the system (due to backlash of the leadscrew and the gear reducer) can be represented by a normal distribution with standard deviation = ± 0.05 mm. Specify the number of step angles that the motor must have in order to meet the accuracy requirement.

(20 markah)

- [c] Pereka bentuk robot konfigurasi kutub mengambil kira bahagian pengolah yang mengandungi sendi putaran yang disambungkan kepada sambungan keluarannya. Panjang sambungan keluaran ialah 625 mm dan sendi putaran mempunyai julat 75° . Kejituan bagi penggabungan sendi-sambungan, dinyatakan sebagai ukur linear pada hujung sambungan yang keputusannya diperolehi daripada memutar sendi, dinyatakan sebagai 0.075 mm. Ketidaktepatan mekanikal bagi keputusan sendi dalam ralat kebolehlungan = $\pm 0.030^\circ$ putaran. Ia dianggap bahawa sambungan adalah sangat kukuh, maka tiada ralat tambahan yang disebabkan oleh pemesongan.

The designer of a polar configuration robot is considering a portion of the manipulator consisting of a rotational joint connected to its output link. The output link is 625 mm long and the rotational joint has a range of 75° . The accuracy of the joint-link combination, expressed as a linear measure at the end of the link that results from rotating the joint, is specified as 0.075 mm. The mechanical inaccuracies of the joint result in a repeatability error = $\pm 0.030^\circ$ of rotation. It is assumed that the link is perfectly rigid, so there are no additional errors due to deflection.

- (i) Tunjukkan bahawa kejituan yang dinyatakan boleh dicapai, diberikan ralat kebolehlungan.

Show that the specified accuracy can be achieved, given the repeatability error.

(30 markah)

- (ii) Tentukan bilangan bit minimum yang diperlukan dalam daftar binari bagi memori kawalan robot tersebut mencapai kejituan yang dinyatakan.

Determine the minimum number of bits required in the binary register of the robot's control memory to achieve the specified accuracy.

(20 markah)

- S4. [a] Terdapat TIGA gaya pengawal robot. Namakan dan bincangkan setiap satu darinya. Gunakan carta alir dalam perbincangan anda.

There are THREE styles of robot controllers. Name and discuss each one of them. Use flow chart in your discussion.

(30 markah)

- [b] Sistem operasi robot SCARA mesti menterjemahkan koordinat Kartesian x, y and z kepada sudut putaran bahu, sudut putaran siku dan posisi pada paksi x. Kira sudut putaran bahu, sudut putaran siku dan posisi pada paksi z bagi robot SCARA yang berada pada kedudukan koordinat Kartesian (300, 250, 350) (mm). Panjang bahu, siku dan lengan masing-masing adalah 300 mm, 240 mm dan 500 mm.

The SCARA robot operating system must translate the x, y and z Cartesian coordinates into the shoulder angle of rotation, the elbow angle of rotation, and the z axis of position. Calculate the shoulder angle of rotation, the elbow angle of rotation, and the z axis of position for the SCARA robot positioned at the Cartesian coordinates of (300, 250, 350) in mm. The lengths of the shoulder, elbow and arm are 300 mm, 240 mm and 500 mm respectively.

(50 markah)

- [c] Dengan bantuan satu carta alir, terangkan bagaimana proses pengaturcaraan PanaRobo titik ke titik dilakukan.

With the aid of a flow chart, explain how the point-to-point PanaRobo programming process is performed.

(20 markah)

- S5. [a] Tulis satu aturcara bagi PanaRobo untuk mengesan dan mengambil sebuah objek dengan satu penderia terlekat pada penggenggamnya dan bersambung ke input 2. PanaRobo akan mula dengan bergerak ke asalan. Kemudian ia akan bergerak ke posisi PW1 di atas objek dan membuka penggenggam yang bersambung ke keluaran 1. Selepas itu ia bergerak lurus ke bawah menuju objek pada posisi PW2 dan mengesan objek tersebut. Jika objek hadir, ia akan menggenggam objek tersebut. Akhirnya ia akan bergerak lurus ke atas kembali ke posisi PW1. Halaju di set kepada 150 mm/s dan 70% dari kelajuan maksima bagi pergerakan berterusan dan pergerakan titik ke titik. Letakkan aturcara tersebut pada kedudukan ingatan 3.

Write a program for PanaRobo to sense and pick an object with an optical sensor attached on its gripper and connected to input 2. The PanaRobo will start by moving to the origin. Then it will move to position PW1 above the object and open the gripper that is connected to output 1. After that it will move linearly downward to the object at position PW2 and sense the object. If the object exists, it will grip the object. Finally it will move linearly upward back to position PW1. The speeds are set to 150 mm/s and 70% of the maximum speed for continuous and point to point movement respectively. Place the program at memory location 3.

(40 markah)

- [b] Tulis satu subrutin bagi PanaRobo untuk mengarah sebuah pengawal motor pelangkah melakukan satu tugas dengan menghantar isyarat 1 selama 0.5 saat melalui keluaran 4. Tunggu pengawal motor pelangkah selesai melakukan tugas dan kemudian kembali ke aturcara yang memanggil. Letakkan subrutin tersebut pada kedudukan ingatan 5.

Write a subroutine for PanaRobo to instruct a stepper motor controller to do a task by sending signal 1 for 0.5 second through output 4. Wait the stepper motor controller to complete the task and then return to the calling program. Place the program at memory location 5.

(25 markah)

- [c] Ubah aturcara PanaRobo dalam Rajah S5[c] supaya setiap komponen dikesan, diambil jika perlu dan dipasang satu demi satu.

Modify the program in Figure Q5[c] so that each component being sensed, picked up if necessary, and assembled one by one.

```

'#PROG=2
L001  SPEED 100 , 100 , 70
      ORIGIN
      MOVE PW9
      OUT 7, 1
      DELAY 15
      FOR I5=1 TO 4
        CALL "Sensor"
      NEXT I5
      MOVE PW9
      FOR I5=1 TO 4
        IF I(I5)=0 THEN CALL "Stepper"
      NEXT I5
      OUT 7, 1
      DELAY 15
      MOVE PW9
      FOR I5=1 TO 4
        SPEED 100,100,50
        IF I5=4 THEN CALL "Slow"
        CALL "Assembly"
      NEXT I5
      CALL "Remove"
      INP 7, I7
      IF I7=0 THEN GOTO L001
      ORIGIN
      END

```

Rajah S5[c]
Figure Q5[c]

(35 markah)

- S6. [a] Sebahagian dari satu aturcara bagi sebuah pengawal motor pelangkah ditunjukkan dalam Rajah S6[a]. Sebuah motor pelangkah dengan 200 langkah per putaran disambungkan kepada sebuah skrew bebola dengan 10 mm per putaran dalam paksi X. Sebuah motor pelangkah lain dengan 100 langkah per putaran disambungkan kepada sebuah skru bebola lain dengan 15 mm per putaran dalam paksi Y. Paksi 1 akan mengawal paksi X, manakala paksi 2 akan mengawal paksi Y. Kira posisi pertama, kedua dan ketiga dalam mm.

A portion of a program for a stepper motor controller is shown in Figure Q6[a]. A stepper motor of 200 steps per revolution is connected to a ball screw of 10 mm per revolution in X axis. Another stepper motor of 100 steps per revolution is connected to another ball screw of 15 mm per revolution in Y axis. The axis 1 will control the X axis, whereas axis 2 will control the Y axis. Calculate the first, second and third position in mm.

```

:
[15] UNIT1 1,1
[16] UNIT2 1,1
[17] MHOME1
[18] MHOME2
[19] RTNCR1
[20] RTNCR2
[21] H1 +
[22] H2 -
[23] D1 300
[24] D2 90
[25] INC2
[26] INC1
:

```

Rajah S6[a]
Figure Q6[a]

(30 markah)

- [b] Sebahagian dari satu aturcara bagi pengawal motor pelangkah paksi ZR ditunjukkan dalam Rajah S6[b]. Masukan 2 disambung kepada sebuah penderia optik, manakala keluaran 3 disambung kepada sebuah injap solenoid bagi sebuah penggenggam. Komen setiap baris kod tersebut.

A portion 6 of a program for ZR axes stepper motor controller is shown in Figure Q6[b]. The input 2 is connected to an optical sensor, whereas output 3 is connected to a solenoid valve for a gripper. Comment on each line of the code.

```

:
[29] CJMP 2,1,53
[30] H1 -
[31] D1 300
[32] INC1
:
[53] OUT 3,1
[54] D2 150
[55] ABS2
:

```

Rajah S6[b]
Figure Q6[b]

(30 markah)

- [c] Dua aturcara bagi pengawal motor pelangkah paksi XY dan paksi ZR ditunjukkan dalam Rajah S6[c]. Liang output 1 pengawal XY disambungkan kepada liang masukan 1 pengawal ZR. Port keluaran 1 pengawal ZR disambungkan kepada liang input 1 pengawal XY. Dengan kedua-dua aturcara, semua paksi dapat bergerak serentak. Ubah aturcara tersebut supaya paksi-paksinya akan bergerak mengikut urutan X, Y, R dan Z.

Two programs for XY axes and ZR axes stepper motor controllers are shown in Figure Q6[c]. Output port 1 of XY controller is connected to input port 1 of ZR controller. Output port 1 of ZR controller is connected to input port 1 of XY controller. With these programs, all axes can move simultaneously. Modify the programs so that the axes will move following the sequence X, Y, R and Z.

XY axes	ZR axes
[1] V1 1500	[1] V1 500
[2] V2 1000	[2] V2 200
[3] MU1	[3] MU1
[4] MHOME1	[4] MHOME1
[5] MHOME2	[5] MHOME2
[6] RTNCR1	[6] RTNCR1
[7] RTNCR2	[7] RTNCR2
[8] D1 100	[8] D1 40
[9] D2 130	[9] D2 30
[10] OUT 1,1	[10] IN 1,1
[11] IN 1,1	[11] OUT 1,1
[10] ABSC	[10] ABSC
[11] DELAY 1	[11] DELAY 1
[12] END	[12] END

Rajah S6[c]
Figure Q6[c]

(40 markah)