UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2004/2005

Oktober 2004

EEE 453 – REKABENTUK SISTEM KAWALAN

Masa : 3 jam

ARAHAN KEPADA CALON:

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **LAPAN** **(8)** berserta Lampiran (3 mukasurat) bercetak dan **ENAM** **(6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA (5)** soalan.

Agihan markah bagi soalan diberikan disudut sebelah kanan soalan berkenaan.

Jawab semua soalan di dalam Bahasa Malaysia.

1. Persamaan keadaan suatu sistem ialah
The state space equation of a system is:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t)$$
$$y(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t)$$

di mana:
where:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -3 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) Tentukan kebolehkawalan dan kebolehcerapan sistem di atas berdasarkan matrik kebolehkawalan dan matrik kebolehcerapan.

Determine the controllability and observability of the above system based on the controllable and observable matrices.

(30%)

(b) Tentukan persamaan ciri sistem tersebut.
Determine the characteristic equation of the system.

(10%)

(c) Tentukan fungsi pindah polinomial bagi sistem tersebut.
Determine the polynomial transfer function of the system.

(20%)

(d) Berdasarkan fungsi pindah dalam (c), nyatakan persamaan di atas kepada bentuk berkanun.

Based on the transfer function in (c), express the above equation into the following canonical forms:

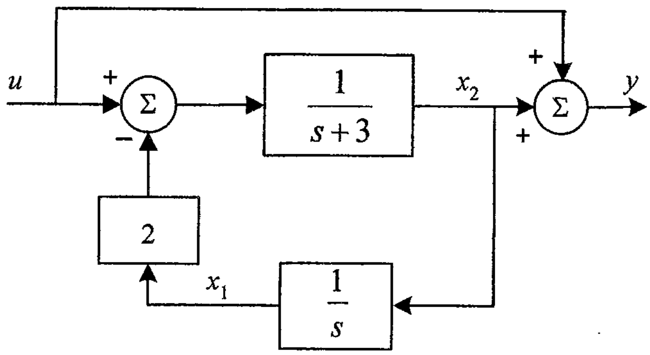
(i) CCF (10%)

(ii) OCF (10%)

(iii) DCF (20%)

2. Suatu sistem boleh diwakili oleh gambarajah blok seperti dalam Rajah 1 di bawah.

A system can be represented by the block diagram in Figure 1 below.



Rajah 1

Figure 1

Persamaan dinamik keadaan sistem tersebut diberikan sebagai:

The dynamical state space equation of the system is given as:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t)$$
$$y(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}u(t)$$

(a) Lukiskan gambarajah keadaan sistem tersebut.
Draw the state flow graph of the system. (20%)

(b) Tentukan matrik **A**, **B**, **C** dan **D** bagi sistem tersebut.
*Determine the matrices **A**, **B**, **C** and **D** of the system.* (20%)

(c) Tentukan matrik peralihan keadaan, $\phi(t)$.
Determine the state transition matrix, $\phi(t)$. (20%)

(d) Tentukan persamaan peralihan keadaan untuk $\mathbf{X}(t)$ bagi $t \geq 0$ di mana $u(t) = 1$ dan $\mathbf{X}(0) = [1 \quad 0]^{\mathrm{T}}$.
Determine the state transition equation of X(t) for $t \geq 0$ where $u(t) = 1$ and $\mathbf{X}(0) = [1 \quad 0]^{\mathrm{T}}$.

(40%)

3. Fungsi pindah suatu sistem kawalan diberikan oleh persamaan dinamik keadaan seperti berikut:
The transfer function of a control system is given by the following state dynamical equation:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & -2 \end{bmatrix} \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} u(t)$$
$$y(t) = [0 \quad 0 \quad 1]\mathbf{x}(t)$$

Dengan memilih kedudukan kutub-kutub menggunakan kaedah ITAE:
By selecting the poles location using ITAE method:

(a) Rekabentuk pengawal suapbalik keadaan dengan hukum kawalan $u(t) = -\mathbf{Kx}(t)$ dan memilih $\omega_0 = 1$ rad/s.

Design a state feedback controller using control law $u(t) = -\mathbf{Kx}(t)$ *and choose* $\omega_0 = 1$ *rad/s.*

(50%)

(b) Rekabentuk pemerhati keadaan tertib penuh dengan memilih $\omega_0 = 3$ rad/s.
Design a full rank state observer by selecting $\omega_0 = 3$ *rad/s.*

(30%)

(c) Tentukan fungsi pindah keseluruhan pengawal berdasarkan pengawal dan pemerhati dalam bahagian (a) dan (b).
Determine the overall controller transfer function based on the controller and observer in parts (a) and (b).

(20%)

[Nota: Persamaan penganggar adalah $\dot{\hat{x}}(t) = \mathbf{A}\hat{x}(t) + \mathbf{B}u(t) + \mathbf{L}(y(t) - \mathbf{C}\hat{x}(t))$]

[Note: The observer equation is $\dot{\hat{x}}(t) = \mathbf{A}\hat{x}(t) + \mathbf{B}u(t) + \mathbf{L}(y(t) - \mathbf{C}\hat{x}(t))$ *]*

4. Suatu loji bagi satu sistem kawalan dimodelkan oleh:
A plant of a control system is model by:

$$y(k) = -a\,y(k-1) + b\,u(k-1) + c\xi(k-1) + \xi(k)$$

di mana *u(k)* dan *y(k)* adalah masing-masing masukan dan keluaran bagi loji tersebut; $\xi(t)$ ialah satu jujukan bising putih. Menggunakan data dalam Jadual 1 kirakan parameter-parameter:

where u(k) and y(k) are the input and output for the plant, respectively; $\xi(t)$ *is a white noise sequence. Using the data in Table 1 calculate the parameters:*

(a) a dan b menggunakan algorithma kuasa dua terkecil piawai.

a and b using the standard least squares algorithm.

(30%)

(b) a, b dan c menggunakan algorithma kuasa dua terkecil jadi semula dengan pemberat eksponen. Setkan nilai-nilai awalan $\mathbf{P} = 100\mathbf{I}$, $\lambda = 0.95$ dan yang lain kepada 0.

a, b and c using exponential weighted recursive least squares algorithm. Set the initial values of $\mathbf{P} = 100\mathbf{I}$, $\lambda = 0.95$ and the rest to 0.

(70%)

Jadual 1

Table 1

k	1	2	3	4
u(*k*)	-1.67	0.13	0.29	-1.15
y(*k*)	-0.44	-1.97	-1.25	-0.55

5. Matrik-matrik persamaan keadaan suatu sistem diberikan seperti berikut,

The state equation matrices of a system are given as follows:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \; B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \text{ dan } \mathrm{C} = [1 \quad 1]$$

(a) Rekabentuk pengawal suapbalik keadaan kamiran yang mempunyai struktur seperti di dalam Rajah 2. Pilih kedudukan kutub-kutub menggunakan kaedah ITAE, $\omega_0 = 1 \; rad/s$.

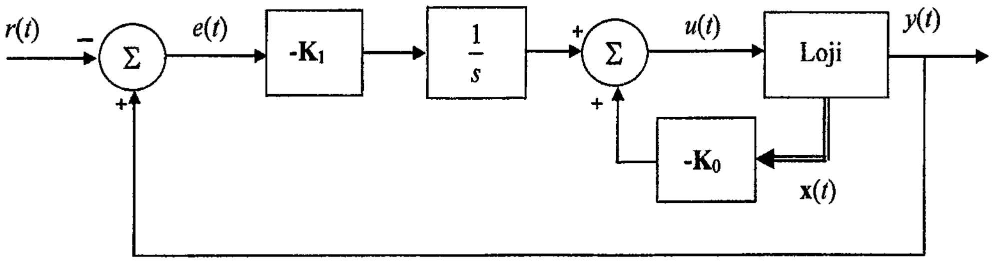
Design an integral state feedback controller that has the structure as in Figure 2. Select the poles location using ITAE method, $\omega_0 = 1 \; rad/s$.

(80%)

(b) Tentukan persamaan keadaan keseluruhan sistem tersebut termasuk pengawal yang telah di rekabentuk.

Determine the overall state equation of the system including the controller that has been designed.

(20%)



Rajah 2
Figure 2

6. (a) Persamaan dinamik keadaan bagi sebuah kereta elektrik solar yang dipermudahkan diberikan sebagai:
The simplified dynamic equation of a solar electric car is given as:

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 5 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} a(t)$$

di mana $x(t) = [d(t) \quad v(t)]^{\mathrm{T}}$ dengan $d(t)$ dan $v(t)$ adalah masing-masing kedudukan dan halaju; $a(t)$ ialah suatu masukan pecutan. Pengawal kereta tersebut memenuhi hukum kawalan berikut:

where $\dot{x}(t) = [d(t) \quad v(t)]^{\mathrm{T}}$ with $d(t)$ and $v(t)$ are position and velocity, respectively; $a(t)$ is an acceleration input. The car controller satisfies the following control law:

$$u(t) = -\mathbf{K}\mathbf{x} = -k_1 x_1 - k_2 x_2$$

dan keadaan awalan ialah $x(t) = [1 \quad 0]^T$. Jika indeks prestasi diberi sebagai:

and the initial states are $x(t) = [1 \quad 0]^T$. *If the performance index is given as:*

$$J = \int_0^\infty \left(\mathbf{x}^T \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} \mathbf{x} + 2u^2 \right) dt$$

(i) Rekabentuk suatu pengawal suapbalik yang boleh memberi nilai minima bagi J dengan kedudukan equilibrium $t \to \infty$.

Design a feedback controller that could give minimum value for J with equilibrium position $t \to \infty$.

(50%)

(ii) Lukiskan gambarajah blok bagi sistem kawalan tersebut.

Draw the block diagram of the control system. (10%)

(b) Terangkan tiga skema rekabentuk pengawal suai yang biasa digunakan. Jelaskan juga jenis sistem yang biasa digunakan bagi setiap skema tersebut. Gunakan gambarajah blok di mana perlu dalam penerangan anda.

Describe the three commonly used design schemes for adaptive controller. Explain what type of system that each scheme is normally been used. Use block diagram whenever necessary in your description.

(40%)

oooOooo

Laplace Transform Table (continued)

$\frac{s}{(s+\alpha)^2}$	$(1-\alpha t)e^{-\alpha t}$
$\frac{\omega_n^2}{s^2+\omega_n^2}$	$\sin \omega_n t$
$\frac{s}{s^2+\omega_n^2}$	$\cos \omega_n t$
$\frac{\omega_n^2}{s(s^2+\omega_n^2)}$	$1-\cos \omega_n t$
$\frac{\omega_n^2(s+\alpha)}{s^2+\omega_n^2}$	$\omega_n\sqrt{\alpha^2+\omega_n^2}\sin(\omega_n t+\theta)$ where $\theta=\tan^{-1}(\omega_n/\alpha)$
$\frac{\omega_n}{(s+\alpha)(s^2+\omega_n^2)}$	$\frac{\omega_n}{\alpha^2+\omega_n^2}e^{-\alpha t}+\frac{1}{\sqrt{\alpha^2+\omega_n^2}}\sin(\omega_n t-\theta)$ where $\theta=\tan^{-1}(\omega_n/\alpha)$
$\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$	$\frac{\omega_n}{\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta\omega_n t}\sin \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t \quad (\zeta<1)$
$\frac{\omega_n^2}{s(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$1-\frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\theta)$ where $\theta=\cos^{-1}\zeta \quad (\zeta<1)$
$\frac{s\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$	$\frac{-\omega_n^2}{\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t-\theta)$ where $\theta=\cos^{-1}\zeta \quad (\zeta<1)$
$\frac{\omega_n^2(s+\alpha)}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$	$\omega_n\sqrt{\frac{\alpha^2-2\alpha\zeta\omega_n+\omega_n^2}{1-\zeta^2}}\,e^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\theta)$ where $\theta=\tan^{-1}\frac{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}{\alpha-\zeta\omega_n} \quad (\zeta<1)$
$\frac{\omega_n^2}{s^2(s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2)}$	$t-\frac{2\zeta}{\omega_n}+\frac{1}{\omega_n^2\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta\omega_n t}\sin(\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}\,t+\theta)$ where $\theta=\cos^{-1}(2\zeta^2-1) \quad (\zeta<1)$