

Práctica

Sistemas Adaptables con Modelo de Referencia

(Model Reference Adaptive Systems: MRAS)

Miguel E. Peña

2005

Índice

Práctica: Sistemas Adaptables con Modelo de referencia (Model Reference Adaptive Systems: MRAS).....	2
Instrucciones.....	2
Listado de alumnos.....	2
Ejercicio 1: Simulación del ejemplo 1 de ajuste de una ganancia de prealimentación por la regla del M.I.T.....	3
Ejercicio 2: Simulación del ejemplo 2 del MRAS con regla del M.I.T. para un sistema de primer orden.....	3
Ejercicio 3: MRAS con la regla del M.I.T. Normalizada.....	4
Ejercicio 4: Ganancia de prealimentación para sistema de primer orden por Lyapunov.....	5
Ejercicio 5: Ecuaciones de estado para los Sistemas Adaptables.....	5
Ejercicio 6: Robustez de sistemas adaptables. Ejemplo de Rohrs.....	5

Práctica: Sistemas Adaptables con Modelo de referencia (Model Reference Adaptive Systems: MRAS)

Instrucciones

El práctico se deberá presentar en forma impresa para su corrección. La versión definitiva tendrá que ser enviado por correo electrónico a Miguel Peña a la dirección mpena@inaut.unsj.edu.ar en formato Microsoft Word.

Además se deberá presentar un conjunto de funciones de MATLAB (y/o Simulink) con los ejercicios por separado.

- a) El nombre de los archivos será el siguiente

EJ_MRAS_YYYY_XX_Nombre

Donde

XX : es el número de ejercicio

YYYY : año (2005)

Nombre : Primera Inicial del Nombre y Apellido

- b) Los ejercicios deberán estar comentados:

I) En el enunciado (O parte superior de sistema de Simulink) deberá contener el nombre del que los realiza.

II) Se deberán realizar todo las aclaraciones con los nombres de las variables cuando se nombren por primera vez (o en las líneas del Simulink).

III) Se deberán realizar todas las aclaraciones que se crean convenientes.

Algunos ejercicios pueden estar personalizados. Para su realización se deberá observar la tabla en donde se asigna a cada alumno un número. Según este número será el ejercicio que se deberá realizar.

Listado de alumnos

Nombre del alumno	email	Nº asignado
Frias Emiliano	emdfrias@hotmail.com	1
Ruben Rivarola	rubenrivarola@uolsinectis.com.ar	2
Ramiro Castro	ramirockuey@yahoo.com.ar	3
Ruben Albornoz	ralbornoz@canal8sanjuan.com.ar	4
	tonimartg@argentina.com	5
Esteban Masquijo	emasquijo@yahoo.com.ar	6
Daniel Barrionuevo	dabelcapo@yahoo.com.ar	7
Guillermo Yornet	yoguillermofa@yahoo.com.ar	8
Fernando molina	anfermol@yahoo.com.ar	9
Juan Carlos Suizer	rezius10@yahoo.com.ar	10
Fernando Ruiz	ferdyjrp@yahoo.com.ar	11
Javier Cruz	javieeer@yahoo.com.ar	12
	marioo@infovia.com.ar	13
		14
		15

Ejercicio 1: Simulación del ejemplo 1 de ajuste de una ganancia de prealimentación por la regla del M.I.T.

Simular en el Simulink (Matlab) el [Ejemplo 1](#) de ajuste de una ganancia de prealimentación por la regla del M.I.T.

a) Para un valor de γ (valor sugerido: $\gamma = 0.1$), una entrada de referencia tipo escalón unitaria y cinco valor inicial diferentes del parámetro θ (valores sugeridos: $\theta(0)$ igual a 0, 0.25, 0.5, 0.75 y 1), observar y , y_m y θ . Obtener curvas similares a las de la [Figura 5](#).

b) Para $\theta(0) = 0$, una entrada de referencia tipo escalón unitaria y 5 valores distintos del parámetro de ajuste γ (valores sugeridos: γ igual 10, 1, 0.1, 0.01 y 0.001.), observar y , y_m , e y θ . Obtener curvas similares a las de la [Figura 6](#).

Sacar conclusiones de estas simulaciones.

Los valores sugeridos para γ y $\theta(0)$ son para orientar y pueden cambiarse de acuerdo a los parámetros asignados para la planta.

Los valores de los parámetros del sistema son los que muestra la tabla siguiente:

Nº de alumno	Parámetros
1	$b = 1, a = 1, K_p = 1$ y $K_m = 2$
2	$b = 1.5, a = 1.1, K_p = 1.05$ y $K_m = 2.1$
3	$b = 0.5, a = 1.2, K_p = 1.1$ y $K_m = 2.2$
4	$b = 0.75, a = 1.3, K_p = 1.15$ y $K_m = 2.3$
5	$b = 1.25, a = 1.4, K_p = 1.2$ y $K_m = 2.4$
6	$b = 1.75, a = 1.5, K_p = 1.25$ y $K_m = 2.5$
7	$b = 2, a = 1.6, K_p = 1.3$ y $K_m = 2.6$
8	$b = 2.25, a = 1.7, K_p = 1.35$ y $K_m = 2.7$
9	$b = 2.5, a = 1.8, K_p = 1.4$ y $K_m = 2.8$
10	$b = 2.75, a = 1.9, K_p = 1.45$ y $K_m = 2.9$
11	$b = 3, a = 2, K_p = 1.5$ y $K_m = 3$
12	$b = 3.25, a = 0.9, K_p = 1.55$ y $K_m = 3.1$
13	$b = 3.5, a = 0.8, K_p = 1.6$ y $K_m = 3.2$
14	$b = 3.75, a = 0.7, K_p = 1.65$ y $K_m = 3.3$
15	$b = 4, a = 0.6, K_p = 1.7$ y $K_m = 3.4$

Ejercicio 2: Simulación del ejemplo 2 del MRAS con regla del M.I.T. para un sistema de primer orden.

Simular en el Simulink (Matlab) el [Ejemplo 2](#) del MRAS con regla del M.I.T. para un sistema de primer orden. La señal de entrada es una señal cuadrada con una amplitud de 1.

a) Simulación del sistema en el [Ejemplo 2](#) con un valor de γ (Valor sugerido: $\gamma = 1$). Obtener una figura similar a la [Figura 9](#) de y , y_m en función del tiempo.

b) Simulación del sistema en el [Ejemplo 2](#) con tres valores de γ (Valores sugeridos: $\gamma = 0.2, 1$ y 5). Obtener una figura similar a la [Figura 10](#).

c) Simulación del sistema en el [Ejemplo 2](#) y obtener una figura similar a la [Figura 11](#) donde se grafica θ_1 en función de θ_2 .

Sacar conclusiones de estas simulaciones.

Los valores sugeridos para γ son para orientar y pueden cambiarse de acuerdo a los parámetros asignados para la planta.

Los valores de los parámetros del sistema son los que muestra la tabla siguiente

Nº de alumno	Parámetros
1	$a = 1, b = 0.5, a_m = 2$ y $b_m = 2$
2	$a = 0.9, b = 0.6, a_m = 1.9$ y $b_m = 2.2$
3	$a = 0.8, b = 0.7, a_m = 1.8$ y $b_m = 2.4$
4	$a = 0.7, b = 0.8, a_m = 1.7$ y $b_m = 2.6$
5	$a = 0.6, b = 0.9, a_m = 1.6$ y $b_m = 2.8$
6	$a = 0.5, b = 1, a_m = 1.5$ y $b_m = 3$
7	$a = 1.1, b = 1.1, a_m = 2.1$ y $b_m = 3.2$
8	$a = 1.2, b = 1.2, a_m = 2.2$ y $b_m = 3.4$
9	$a = 1.3, b = 1.3, a_m = 2.3$ y $b_m = 3.6$
10	$a = 1.4, b = 1.4, a_m = 2.4$ y $b_m = 3.8$
11	$a = 1.5, b = 1.5, a_m = 2.5$ y $b_m = 4$
12	$a = 1.6, b = 1.6, a_m = 2.6$ y $b_m = 4.2$
13	$a = 1.7, b = 1.7, a_m = 2.7$ y $b_m = 4.4$
14	$a = 1.8, b = 1.8, a_m = 2.8$ y $b_m = 4.6$
15	$a = 1.9, b = 1.8, a_m = 2.9$ y $b_m = 4.8$

Ejercicio 3: MRAS con la regla del M.I.T. Normalizada.

Simular en el Simulink (Matlab) el [Ejemplo 5](#) del MRAS con regla del M.I.T. normalizada.

La ecuación del sistema es

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + a_1 s + a_2}$$

donde $k_p = 1, a_1 = 1, a_2 = 1, k_m = 2$ y $\gamma = 0.1$

Debido a ello, la regla del M.I.T. se escribe como

$$\frac{d\theta}{dt} = \gamma \varphi e \quad \text{(Regla del MIT No Normalizada)}$$

donde se introduce $\varphi = -\partial e / \partial \theta$. Se realiza la siguiente modificación en la regla de ajuste

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\gamma \varphi e}{\alpha + \varphi^T \varphi} \quad \text{(Regla del MIT Normalizada)}$$

donde se agrega $\alpha > 0$.

a) Simular con la ley de ajuste de la regla del MIT No Normalizada para una señal cuadrada de amplitud 0.1, 1 y 3.5.

b) Simular con la ley de ajuste la regla del MIT Normalizada para una señal cuadrada de amplitud 0.1, 1 y 3.5.

Determinar un valor conveniente de α y obtener figuras similares a las [Figura 12](#) y [Figura 13](#) del apunte de MRAS ([Åström and Wittenmark, 1995], página 197).

Obtener conclusiones de las simulaciones.

Ejercicio 4: Ganancia de prealimentación para sistema de primer orden por Lyapunov.

Simular en el Simulink (Matlab) el [Ejemplo 6](#) del MRAS con regla de adaptación obtenida por el método de Lyapunov para el sistema de primer orden. La regla de adaptación es

$$\dot{\theta} = -\gamma_1 e u_c$$

Verificar el comportamiento del sistema cuando el parámetro b vale inicialmente 4 y en el instante de tiempo 20 pasa a valer 2. Simular para una ganancia de adaptación $\gamma_1=0.1$ y $\gamma_1=0.5$. Obtener figuras similares a las [Figura 15](#) y [Figura 16](#).

Ejercicio 5: Ecuaciones de estado para los Sistemas Adaptables.

Escribir las ecuaciones de estado para los controladores descritos en los [Ejemplos 2](#) (regla del M.I.T.) y los [Ejemplos 7](#) (por el método Lyapunov) para el sistema de primer orden

$$\frac{dy}{dt} = -ay + bu$$

con el modelo de referencia

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b_m u_c$$

y el controlador

$$u(t) = \theta_1 u_c(t) - \theta_2 y(t)$$

Se debe tener en cuenta que:

- a) Las entradas al controlador son las salidas de la planta y y la referencia u_c .
- b) Los estados son la salida del modelo, las señales de entrada filtradas y las leyes de ajuste de los parámetros (5 estados).
- c) La salida es la acción de control u .

Justificar por qué controlador y por ende el sistema total es no lineal. Comparar las ecuaciones obtenidas por la Regla del M.I.T. y por el método de Lyapunov.

Ejercicio 6: Robustez de sistemas adaptables. Ejemplo de Rohrs.

a) Simular el sistema adaptable para diferentes valores de ganancia de adaptación para el esquema de control adaptable de una planta de primer orden con una función de transferencia

$$\hat{P}_{\theta^*} = \frac{k_p}{s + a_p} \quad (4.1)$$

el modelo de referencia

$$\hat{M}(s) = \frac{k_m}{s + a_m} = \frac{3}{s + 3} \quad (4.2)$$

El esquema de control adaptable es de la forma obtenida por Lyapunov

$$u = \theta_1 u_c + \theta_2 y$$

$$e = y - y_m$$

$$\dot{\theta}_1 = -\gamma e u_c$$

$$\dot{\theta}_2 = -\gamma e y$$

Los parámetros de la planta son $k_p = 2$, $a_p = 1$.

b) Simular el sistema adaptable si se supone que la planta nominal es solo una aproximación de primer orden y en realidad es una aproximación de una planta de tercer orden con una función de transferencia de la forma

$$\hat{P}(s) = \frac{2}{(s+1)} \frac{229}{(s^2 + 30s + 229)}$$

y además cuenta con una perturbación en la salida como se muestra en la [Figura 17](#).

- I) Simular con una entrada de referencia *constante y grande*, y sin ruido de medición, ($u_c = 4.3$, $n(t) = 0$, $\theta_1(0) = 1.14$, $\theta_2(0) = -0.65$ y las otras condiciones iniciales son cero). Obtener figuras similares a la [Figura 18](#) y a la [Figura 19](#). Obtener conclusiones [Sastry and M. Bodson, 1989.pag. 217].
- II) Con una entrada de referencia *con una componente pequeña constante y componente grande de alta frecuencia* ($u_c = 0.3 + 1.85 \sin(16t)$, $n(t) = 0$, $\theta_1(0) = 1.14$, $\theta_2(0) = -0.65$ y las otras condiciones iniciales son cero). Obtener figuras similares a la [Figura 20](#) y a la [Figura 21](#). Obtener conclusiones [Sastry and M. Bodson, 1989.pag. 218].
- III) Con una *entrada constante moderada y un perturbación de salida pequeña* ($u_c = 2$, $n = 0.5 \sin(16.1t)$, $\theta_1(0) = 1.14$, $\theta_2(0) = -0.65$ y las otras condiciones iniciales son cero). Obtener figuras similares a la [Figura 22](#) y a la [Figura 23](#). Obtener conclusiones [Sastry and M. Bodson, 1989.pag. 220].

Que conclusiones se obtienen de estos experimentos.

Bibliografía

- [Åström and Wittenmark, 1995] K. J. Åström and B. Wittenmark. Adaptive Control, Second Edition. Addison-Wisley Publishing Company, INC., 1995. ISBN 0-201-55866-1, EEUU.
- [Sastry and M. Bodson, 1989] S. Sastry and M. Bodson. Adaptive Control: stability, convergence and robustness, 1989, Prentice Hall, Enlewood Cliffs, New Jersey, ISBN 0-13-004326-5