

## EJERCICIO 1

### EL7012 CONTROL INTELIGENTE DE SISTEMAS

Prof. Doris Sáez Hueichapan

Prof. Auxiliar Javier Ocaranza

Ayudantes Luis Jiménez, Felipe Meyer, Benjamín Moreno

2023

#### Pregunta 1 – Entrega 30 junio

Considere la siguiente función:

$$f(x, y) = - \left| \sin x \cos y \exp \left( \left| 1 - \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\pi} \right| \right) \right|$$

$$-10 \leq x, y \leq 10$$

- Grafique la función en el dominio indicado y encuentre el mínimo de  $f(x, y)$  utilizando la función de Matlab *fmincon*, especifique el método de optimización que utiliza. Indique el valor de  $f(x, y)$  obtenido, el punto de solución encontrado  $[x^*, y^*]$  y el tiempo de ejecución. Compare los resultados con la gráfica y realice pruebas para distintos valores iniciales de  $x_0$  e  $y_0$ . **(1.5 pts)**
- Utilice PSO para encontrar el máximo de esta función. Busque una configuración óptima variando y analizando el efecto de los diversos parámetros del algoritmo. Pruebe cambiando la cantidad de partículas y el número de iteraciones. Indique el valor de  $f(x, y)$  obtenido, el punto de solución encontrado  $[x_{PSO}^*, y_{PSO}^*]$  y el tiempo de ejecución. **(1.5 pts)**
- Utilice GA para resolver el problema de optimización. Encuentre una configuración óptima variando y analizando el efecto de los diversos parámetros del algoritmo. Pruebe cambiando el tamaño de la población y el número de iteraciones. Indique el valor de



Ingeniería Eléctrica  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

$f(x, y)$  obtenido, el punto de solución encontrado  $[x_{GA}^*, y_{GA}^*]$  y el tiempo de ejecución.

**(1.5 pts)**

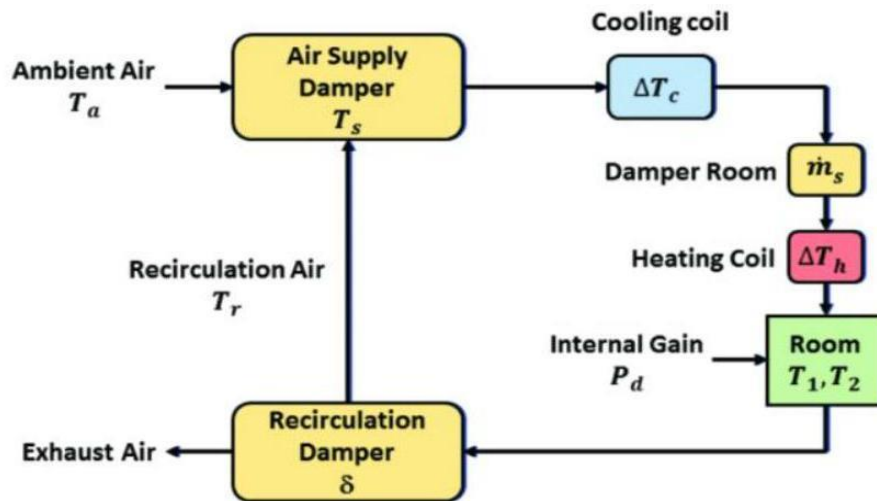
- d) Compare los resultados obtenidos con los dos métodos de optimización (PSO y GA) en términos del valor encontrado, el punto de solución  $[x^*, y^*]$  y el esfuerzo computacional.

**(1.5 pts)**



## Pregunta 2 – Entrega 30 de junio

Considere el problema de control de temperatura de una habitación la cual cuenta con un sistema de climatización HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning System). El sistema opera de la forma que se muestra en la Figura 2 por medio de la recirculación, enfriamiento y calefacción de aire.



La temperatura de la habitación puede ser caracterizada por el siguiente sistema dinámico en tiempo continuo:

$$\begin{aligned}C_1 \cdot \frac{dT_1}{dt} &= B \cdot \frac{dm_s}{dt} + \frac{T_2 - T_1}{R} + \frac{T_a - T_1}{R_a} + \Delta T \cdot C_p \cdot \frac{dm_s}{dt} + w_1 \\C_2 \cdot \frac{dT_2}{dt} &= \frac{T_1 - T_2}{R} + w_2 \\B &= C_p \cdot (1 - \delta) \cdot (T_a - T_1) \\0.1 &< \frac{dm_s(t)}{dt} < 2\end{aligned}$$

Donde:

- $c_1 = 2.508 \cdot 10^6$
- $c_2 = 4.636 \cdot 10^7$
- $c_p = 1012$
- $R = 1.7 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre las bobinas (cte =  $13^\circ\text{C}$ )
- $T_a$ : Temperatura exterior (Perturbación)
- $T_1$ : Temperatura del aire en la habitación
- $T_2$ : Temperatura de los objetos dentro de la habitación



Ingeniería Eléctrica  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

- $R_a = 1.3 \cdot 10^{-3}$
- $\delta = 0.7$
- $w_i$  : Ruido blanco con  $\sigma^2 = 0.001$
- $\frac{dm_s}{dt}$ : Flujo másico de aire en la habitación (variable manipulada)

Se busca diseñar una estrategia de control predictivo capaz de mantener la temperatura de la habitación ( $y(t) = T_1(t)$ ) en torno a una referencia. Con este objetivo se busca primero encontrar un modelo discreto que relacione  $T_1$  con la variable manipulada  $u(t) = \frac{dm_s}{dt}$ . En este trabajo se pide que, utilizando los datos que se encuentran en el archivo adjunto llamado "temperatura\_10min.mat" para la perturbación  $T_a$  y el modelo Simulink de la planta "SimulinkHvac.slx", usted realice lo siguiente:

- Genere un modelo de predicción difuso para la variable  $T_a$ . **(1 pto)**
- Utilizando la aproximación de Euler para la derivada temporal sobre las ecuaciones diferenciales definidas arriba, obtenga un modelo determinístico para  $T_1$  y  $T_2$  :

$$\frac{df(t)}{dt} \approx \frac{f(k+1) - f(k)}{\Delta t}$$

A partir del modelo diseñe un controlador predictivo que minimice la siguiente función objetivo:

$$J = \sum_{j=1}^5 (\hat{T}_1(k+j) - r)^2$$

s.a.  $0.1 \leq u(k) \leq 2$

En donde la perturbación es predicha por el valor esperado del modelo encontrado en a) para  $T_a$ , considerando  $\Delta t$  como el tiempo de muestreo. Considerando una referencia de: **(2.5 ptos)**

$$r = \begin{cases} 20^\circ\text{C} & 0[\text{hrs}] \leq t \leq 1[\text{hrs}] \\ 18^\circ\text{C} & 1[\text{hrs}] < t \leq 2[\text{hrs}] \\ 25^\circ\text{C} & 2[\text{hrs}] < t \leq 3[\text{hrs}] \end{cases}$$

- Resuelva el problema de optimización del controlador diseñado en b) utilizando uno de los algoritmos evolutivos vistos en clases y la herramienta fmincon de Matlab (especifique método), compare los dos métodos de solución. Analice los resultados



Ingeniería Eléctrica  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

observados, cuantifique el esfuerzo computacional al resolver el problema con cada método. Deje claramente establecidos los parámetros del algoritmo utilizado y justifíquelos. **(2.5 ptos)**



Ingeniería Eléctrica  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

### **Pregunta 3 – Presentación de avance 5 de junio (a, b, c, y f). Presentación final 6 de julio**

Se desea controlar el sistema dinámico no lineal estudiado en la pregunta 1 del ejercicio 1:

- a) Plantee un esquema de control a través de un diagrama de bloques que especifique variables controladas, manipuladas, perturbaciones, referencias, etc. **(0.5 ptos)**
- b) Defina al menos dos señales de referencia que debe seguir el sistema no lineal. Explique su diseño. **(0.5 ptos)**
- c) Diseñe un controlador predictivo que lleve su sistema dinámico no lineal a las referencias definidas en b). Utilice las ecuaciones fenomenológicas de su sistema para calcular el comportamiento futuro, en caso de que sea factible. (O bien, diseñe un controlador predictivo lineal). Realice las pruebas correspondientes. **(1 pto)**
- d) Utilizando los modelos identificados en el Ejercicio 1 o mejorados para el diseño de un controlador predictivo difuso o neuronal, que minimice la misma función de la parte c). **(1 pto)**
- e) Compare el desempeño de los controladores diseñados en c) y d) bajo distintas métricas. ¿Cuál entrega mejor desempeño? Justifique. **(0.5 ptos)**
- f) Considere ahora que su sistema contiene incertezas. Modele esta incerteza según sea conveniente y que tenga un significado. Por ejemplo, perturbe con un ruido blanco gaussiano la acción de control y/o las mediciones de la salida y/o los estados. Justifique. **(1 pto)**
- g) Construya intervalos de predicción para su sistema y, eligiendo la banda superior o inferior como el peor caso, utilícelos dentro del controlador diseñado en d). **(1 pto)**
- h) Compare el desempeño para el sistema perturbado utilizando los controladores diseñados en c), d) y g). ¿Cuál entrega un mejor desempeño? Explique. **(0.5 ptos)**