

Monografía Final

Mi título

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería

Alumno: Ignacio Ezequiel Cavicchioli
Padrón: 109428
Email: icavicchioli@fi.uba.ar

17 de diciembre de 2025

Resumen

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor
invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam
et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren,

Palabras clave: Lorem ipsum dolor sit amet.

Índice

1	Introducción	2
2	Sistema de referencia	2
2.1	Modelo matemático	3
3	Identificación de sistemas	4
4	Control de sistemas	4
5	Observadores	4
6	Misceláneos	4
7	Conclusiones	4

1. Introducción

Las redes neuronales en sus múltiples formas constituyen sistemas no lineales con un amplio alcance de aplicación en campos como la biología, neurociencia y, al que se avoca este trabajo, aprendizaje automático (*machine learning*, ML). En particular, nos interesa centrarnos en las aplicaciones de las redes neuronales en el campo de control automático. Esta doctrina se encarga del diseño sistemas para regular, guiar o estabilizar procesos de manera autónoma, mediante la realimentación y corrección continua de errores.

La denominada “caja de herramientas” de aquellos en el área de control está compuesta por ciertos artefactos matemáticos que permiten encarar estos problemas, como la linealización de un sistema, el control PID, realimentación de estados, *loop-shaping*, observadores, etc. Lo que no se ha tocado en las materias de control son las estrategias no lineales. En líneas generales, todos los sistemas reales exhiben cierto grado de no linearidad (citar CONTROL SYSTEM DESIGN Goodwin Graebe Salgado, p551, cap19), lo que implica que las estrategias de control lineales son válidas siempre que las no linealidades sean despreciables. Análogamente, las herramientas de identificación de sistemas basadas en la linealización de un sistema fallaran en modelar las no linealidades de estos (Como PCA vs los *autoencoders*).

Este trabajo va a trabajar sobre el uso de redes neuronales en la doctrina de control automático, como identificadores de sistemas, controladores

VER SI QUERÉS METER ALGO DEL SOM QUE SALIÓ MAL Y DE OBSERVADORES Y DE GAIN SCHEDULING

2. Sistema de referencia

Que tamaños Porque lo bueno lo malo la matemática -;espacio de estados no lineal y linealizado, transferencia (lineal). el simulink

El sistema de referencia elegido está compuesto por 2 tanques de agua de dimensiones diferentes. Tanto la tubería que une los tanques como la que sale tienen cierto coeficiente hidráulico asociado a su geometría. Los valores se eligieron para que el sistema tenga sentido físico aunque no es un requisito. Se podría pensar que el sistema actúa como una cisterna amortiguadora de fluctuaciones en el caudal seguido de un reservorio que ajusta el caudal de salida.

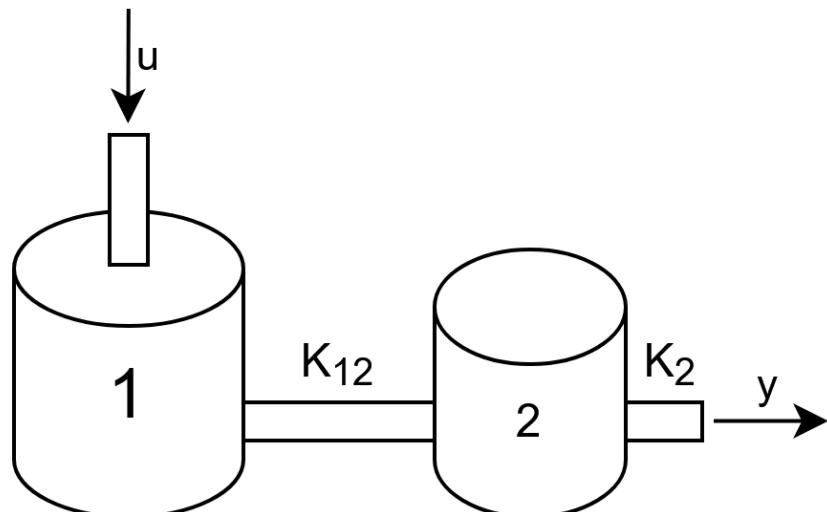


Figura 1: Sistema elegido

La figura 1 muestra el sistema recién descripto, agregando los caudales de entrada y salida u e y . Ambos caudales son muestrados a 1 Hz, que debería ser más que suficiente para este tipo de dinámicas lentas.

2.1. Modelo matemático

El modelado de este sistema hace uso de varias leyes físicas de la hidráulica. Iniciando, primero se plantea que el líquido es incompresible, por lo que el volumen solo varía si los caudales de entrada y salida no son iguales.

$$\frac{dV}{dt} = \sum q_{in} - \sum q_{out} \quad (1)$$

Además, el volumen es función del área del tanque y su superficie (en este caso que el área es independiente del nivel de agua). Podemos derivar respecto del tiempo.

$$V(t) = A \cdot h(t) \xrightarrow{d/dt} \frac{dV}{dt} = A \cdot \frac{dh(t)}{dt} \quad (2)$$

Luego se aplica la ley de caudal, que relaciona el caudal entre 2 puntos con la diferencia de nivel entre ellos mismos.

$$q = k \sqrt{2g} \sqrt{\Delta h} \quad (3)$$

El caudal entre los tanques resulta:

$$q_{12}(t) = k_{12} \sqrt{2g} \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} \quad (4)$$

El caudal de salida del segundo tanque, que también es la salida y , es:

$$q_2(t) = y(t) = k_2 \sqrt{2g} \sqrt{h_2(t)} \quad (5)$$

Ahora, se plantea un balance en cada tanque igualando (1) y (2).

$$A_1 \cdot \frac{dh_1}{dt} = u(t) - q_{12}(t) \quad (6)$$

$$A_2 \cdot \frac{dh_2}{dt} = q_{12}(t) - q_2(t) = q_{12}(t) - y(t) \quad (7)$$

sustituyendo con (4) :

$$A_1 \cdot \frac{dh_1}{dt} = u(t) - k_{12} \sqrt{2g} \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} \quad (8)$$

$$A_2 \cdot \frac{dh_2}{dt} = k_{12} \sqrt{2g} \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} - k_2 \sqrt{2g} \sqrt{h_2(t)} \quad (9)$$

Con todo esto se plantea el espacio de estados **no lineal** y continuo con la forma de a continuación:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (u - k_{12} \sqrt{2g} \sqrt{h_1 - h_2}) \cdot \frac{1}{A_1} \\ (k_{12} \sqrt{2g} \sqrt{h_1 - h_2} - k_2 \sqrt{2g} \sqrt{h_2}) \cdot \frac{1}{A_2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$y = k_2 \sqrt{2g} \sqrt{h_2} \quad (11)$$

Las expresiones (??) y (??) se van a linealizar en torno al punto operativo del tanque, definido por: $g = 9.81$; $A_1 = 0.015$; $A_2 = 0.02$; $k_{12} = 5e-4$; $k_2 = 1e-3$; $h_{1s} = 1.019$; $h_{2s} = 0.204$; $u_s = 0.002$;

$$\overset{\circ}{X} = f(x_e, u_e) + \frac{df}{dx}|_{(x_e, u_e)}(x - x_e, u - u_e) + \frac{df}{du}|_{(x_e, u_e)}(x - x_e, u - u_e)$$

$$f(x_e, u_e) = 0$$

$$\frac{df}{dx}|_{(x_e, u_e)}(x - x_e, u - u_e) = \begin{bmatrix} \frac{-k_{12}\sqrt{2g}}{A_1 \cdot 2\sqrt{h_1-h_2}} & \frac{k_{12}\sqrt{2g}}{A_1 \cdot 2\sqrt{h_1-h_2}} \\ \frac{k_{12}\sqrt{2g}}{A_2 \cdot 2\sqrt{h_1-h_2}} & \frac{-k_{12}\sqrt{2g}}{A_2 \cdot 2\sqrt{h_1-h_2}} - \frac{k_2\sqrt{2g}}{A_2 \cdot 2\sqrt{h_2}} \end{bmatrix} |_{(x_e, u_e)} \simeq \begin{bmatrix} -0,818 & 0,818 \\ 0,613 & -0,1841 \end{bmatrix}$$

$$\frac{df}{du}|_{(x_e, u_e)}(x - x_e, u - u_e) = \begin{bmatrix} \frac{1}{A_1} \\ 0 \end{bmatrix} |_{(x_e, u_e)} = \begin{bmatrix} 66,67 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Entonces

$$\overset{\circ}{\begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix}} = \begin{bmatrix} -0,0818 & 0,0818 \\ 0,0613 & -0,1841 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 66,67 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

Pero acá son las linealizadas, así que son sin el punto de trabajo. la entrada que tenga deberá ser - 0.002.

Y por un proceso similar se llega a que

$$y = [0 \quad 0,00246] \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix}$$

3. Identificación de sistemas

La idea es que la red copie la no linealidad de la planta

1 armé esa red rancia que en free run anda para el orto pero en predicción de a 0 anda bien

Es decir, si se alimenta con los estados de la planta no lineal es un excelente predictor, pero en free-run, realimentando con si mismo, diverge en X tiempo. Para remediar esto, se buscan alternativas.

La primera es espacio de estados no lineal. hay un mapeo entre estado actual al siguiente dado por una función no lineal, y un mapeo de estado actual a salida tambien dado por función no lineal. La idea es que el sistema aprenda esas funciones en vez de todo el proceso de integración implícito en la planta no lineal

para resolver eso hacemos:

luego en espacio de estados no lineal parte linealizada y luego entrena la no lineal para que te de la parte no lineal y cerrar el lazo con lo no lineal + lineal a ver que tal

4. Control de sistemas

5. Observadores

6. Misceláneos

7. Conclusiones

text text text text text

CONTROL SYSTEM DESIGN Graham C. Goodwin¹ Stefan F. Graebe² Mario E. Salgado³