

Diseño de un control adaptable por modelo de referencia para nivel de líquido

Adaptive control design with model reference for liquid level

Por: Briana J. Fernández-Neri y Marco A. Márquez-Vera
Universidad Politécnica de Pachuca

Dirección electrónica del autor de correspondencia: marquez@upp.edu.mx

Recibido: 18 de febrero 2019
Aceptado: 30 de abril 2019

Cómo citar: Fernández, B. & Márquez, M. (2019). Diseño de un control adaptable por modelo de referencia para nivel de líquido. *Universo de la Tecnológica*. 11(2) pp 18-21

RESUMEN: Se realizó la instrumentación para el control de nivel de líquido en un tanque, la técnica de adaptación usada para ajustar el controlador fue la regla MIT para seguir un modelo de referencia. Se presentan los resultados en simulación y en experimentación para comparar las señales de control, se notó que en la aplicación real la señal de control satura al actuador, se concluye que la mayoría de las veces, al diseñar una ley de control y simular los resultados, las dinámicas de los sensores y actuadores no es tomada en cuenta.

PALABRAS CLAVE: Control Adaptable, Modelo de Referencia, Regla MIT.

ABSTRACT: It was made the instrumentation to control the liquid level in a tank, the adaptive technique used was the MIT rule in order to tune the controller to follow a model reference. They are shown the results in simulation and real-time for coparison, it was posible to note in the real application that the control signal saturates the actuator because in more applications the control law design and its simulation do not take in consideration the sensors and actuators dynamics.

KEY WORDS: Adaptive Control, Model Reference, MIT Rule.

Introducción

En la industria es importante regular el nivel de líquido como en los procesos químicos y bioquímicos, en el tratamiento de aguas residuales, así como evitar problemas en las bombas de líquido. Dada la naturaleza no lineal del sistema de nivel se requiere un control no lineal, en (Yang y Sugiura, 2019) se usaron observadores no lineales para el nivel de líquido en tres tanques, una forma distinta es usar control adaptable. En (Tao et al., 2017) se realiza el control de nivel de líquido en una torre fraccionaria mediante un control LQR y comentan que un control lineal como el PID no es lo suficientemente robusto. De manera similar Basci y Derdiyok (2016) comparan un control adaptable difuso contra un PI no lineal en un sistema de tanques. En (Cartes y Wu, 2005) se realizó el control para tres tanques interconectados con un control por modelo de referencia. En un sistema adaptable por modelo de referencia, los parámetros se modifican en función de la retroalimentación del error respecto a un modelo de referencia, el cual representa la forma en que se desea que se comporte la planta en lazo cerrado (Narendra y Annaswamy, 2005). Una técnica adaptable empleada para un intercambiador de calor donde se controla el flujo de líquido fue presentada por Fratzczak et al. (2018).

Con el fin de mejorar la respuesta del controlador se empleó la regla MIT, que es el mecanismo de ajuste usado para los parámetros de control minimizando una función de pérdida (Narendra y Annaswamy, 2005). En este trabajo

se muestra el diseño del control, así como los resultados en simulación y en experimentación, finalmente se dan las conclusiones.

Metodología de la solución

La función de pérdida está basada en el error entre la salida del proceso “ y ” y la salida del modelo de referencia “ y_m ” de manera que $e = y - y_m$ y la forma más común para la función de pérdida es $J = \frac{1}{2}e^2$ de donde se obtiene la ley de actualización del parámetro

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \theta} \quad (1)$$

Considerando el sistema en lazo cerrado en el cual el controlador tiene dos parámetros ajustables θ_1 y θ_2 . Mientras que el modelo de referencia en lazo cerrado deseado

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b u_c \quad (2)$$

Sea el controlador dado por (3)

$$u(t) = \theta_1 u_c(t) - \theta_2 y(t) \quad (3)$$

Los parámetros del controlador se eligen para tener un seguimiento del modelo perfecto son (4)

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_1^0 = \frac{b_m}{b} \\ \theta_2 &= \theta_2^0 = \frac{a_m - a}{b} \end{aligned} \quad (4)$$

Para aplicar la regla MIT (González-Yero *et al.*, 2018), se introduce el error $e = y - y_m$, sustituyendo la ley de control en el sistema se tiene:

$$y = \frac{b\theta_1}{p+a+b\theta_2}uc \tag{5}$$

donde $p = \frac{d}{dt}$ es el operador diferencial.

Obteniendo las derivadas de sensibilidad al realizar las derivadas parciales con respecto al controlador en sus parámetros (Narendra y Annaswamy, 2005) se obtiene:

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_1} = \frac{b}{p+a+b\theta_2} u_c$$

$$\frac{\delta e}{\delta \theta_2} = -\frac{b^2\theta_1}{(p+a+b\theta_2)^2} u_c = -\frac{b}{p+a+b\theta_2} y$$

Estas fórmulas no pueden ser usadas directamente debido a que los parámetros del proceso a y b no son conocidos, por lo tanto se realizarán aproximaciones basadas en la observación de que $p+a+b\theta_2^0 = p+a_m$ de acuerdo a el seguimiento de modelo perfecto, entonces se usa la aproximación $p+a+b\theta_2^0 \approx p+a_m$, lo cual se cumple cuando los parámetros están cerca de los valores reales.

Para actualizar los parámetros del controlador se emplea

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -\gamma \left(\frac{a_m}{p+a_m} u_c \right) e$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = \gamma \left(\frac{a_m}{p+a_m} y \right) e \tag{6}$$

con $\gamma = -\gamma \frac{b}{a_m}$, y el filtro se encuentra normalizado para que la ganancia en estado estacionario sea unitaria. El diagrama a bloques de un controlador de modelo de referencia para este sistema de primer orden se presenta en la Fig. 1.

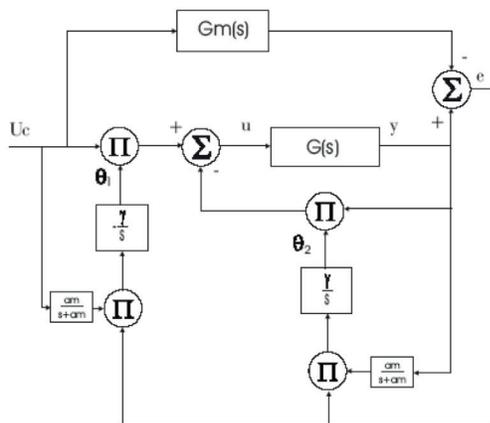


Fig. 1. Esquema MRAS de control.

Para el sistema de tanques se tiene el sistema linealizado (7)

$$\dot{y} = -\frac{a\sqrt{g}}{A} - \frac{a\sqrt{g}}{2A} y + \frac{1}{A} u \tag{7}$$

Donde g es la gravedad cuya constante es 9.81m/s², y es el nivel de líquido, u la variable de control y mediante la técnica de mínimos cuadrados se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Área del orificio de salida $a = 2.26\text{mm}^2$.
- Área del orificio $A = 222.22\text{cm}^2$.

Debido a que $-\frac{a\sqrt{g}}{A}$ es muy pequeña es considerada cero, el término $-\frac{a\sqrt{g}}{2A} y$ no es considerado cero tomando en cuenta que si la altura y es grande se modifica su valor.

El sistema de lazo cerrado deseado se encuentra descrito por (8)

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b u_c \tag{8}$$

Sustituyendo el controlador $u(t) = \theta_1 u_c(t) - \theta_2 y(t)$ en el sistema $\frac{dy}{dt}$ se tiene

$$\frac{dy}{dt} = -(1.52 \times 10^{-4} + 1.52 \times 10^{-4} \theta_2) y(t) + 4.87 \times 10^{-3} \theta_1 u_c(t),$$

por lo cual se eligen los parámetros del controlador para tener relaciones de entrada-salida del sistema y el modelo iguales como

$$\theta_1 = \theta_1^0 = \frac{b_m}{b} = 4.1$$

$$\theta_2 = \theta_2^0 = \frac{a_m - a}{b} = 4.07$$

Resultados en simulación

Las simulaciones obtenidas considerando $\gamma = 1$, y linealizando alrededor de dos centímetros de altura al sistema del tanque. Se notó que mientras las condiciones iniciales del controlador se encuentren más lejanas a sus valores de convergencia, causan un mayor esfuerzo en la señal de control para llegar a la referencia, lo cual provoca mayores oscilaciones. En la Fig. 2 se muestra la simulación del controlador adaptable, apreciando también el error de seguimiento.

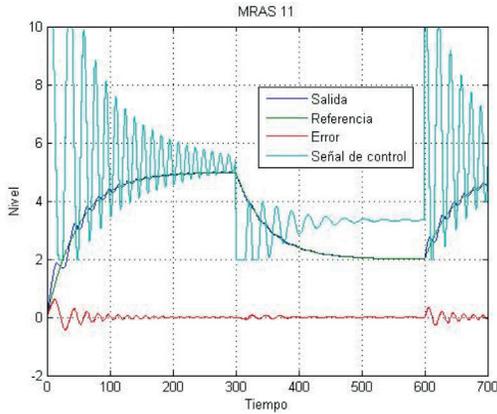


Fig. 2. Resultados en simulación.

Como se muestra en la Fig. 2 para llegar a valores de nivel altos es necesario un mayor esfuerzo ya que a mayor altura también el flujo de salida es mayor; a pesar de esto, se sigue alrededor del modelo de referencia a lo largo de la simulación.

Resultados experimentales

Se empleó el software de matlab-simulink para realizar la adquisición de datos y enviar la señal de control a la bomba de agua, la tarjeta usada fue la PCI6071E de National Instruments, el diagrama usado en simulink se presenta en la Fig. 3. Considerando a (9) como el modelo de referencia discretizado con un periodo de muestreo de 0.1seg.

$$G_m(z) = \frac{0.001998}{z - 0.998} \quad (9)$$

La Fig. 4 muestra el desempeño del control adaptable con $\gamma = 50$, las saturaciones se realizaron debido a que dependiendo las condiciones iniciales los parámetros pueden o no converger a sus valores finales, debido a esta limitación se requirió de una ganancia grande para apegarse al modelo de referencia.

Se puede apreciar que se logra seguir hasta cierto punto el modelo de referencia, pero debido a que los parámetros se encuentran saturados, se obtienen ondas cuadradas en la señal de control, dado lo cual los parámetros no son capaces de llegar a un punto distinto de operación más allá del valor al cual están saturados.

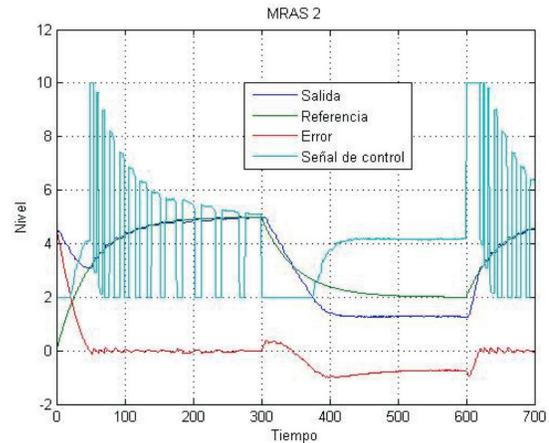


Fig. 4. Resultados experimentales.

Para el punto en el cual el control funciona bien, se introducen perturbaciones de diferentes tipos, modificando el sistema (conectando a otro tanque, teniendo así dos salidas del líquido) o introduciendo ruido al sensor. Es posible apreciar que con un flujo de salida pequeño o con ruido el error disminuye gracias a la excitación persistente (Cartes y Wu, 2005) que ayuda a la adaptación, mientras que al modificar el sistema se requiere de un mayor esfuerzo por el mayor flujo de salida, en cualquier caso, la salida del sistema se mantiene cercana al modelo de referencia. La evolución de los parámetros del control se aprecia en la Fig. 5.

Conclusiones

Es necesario que los valores de los parámetros del controlador tengan un valor específico para determinada altura ya que el sistema es no lineal, por lo tanto, su comportamiento cambia de un punto a otro, siendo mayor el esfuerzo para mantener la referencia en un punto alto, del mismo modo los valores iniciales de los parámetros deben ser cercanos a los valores que mantienen la salida en el nivel deseado, ya que si no tarda mucho en estabilizarse en algunas ocasiones y genera oscilaciones constantes. Por otra parte, se concluye que la regla MIT permite el seguimiento del modelo de referencia de una manera eficaz ante cambios moderados en el sistema o perturbaciones.

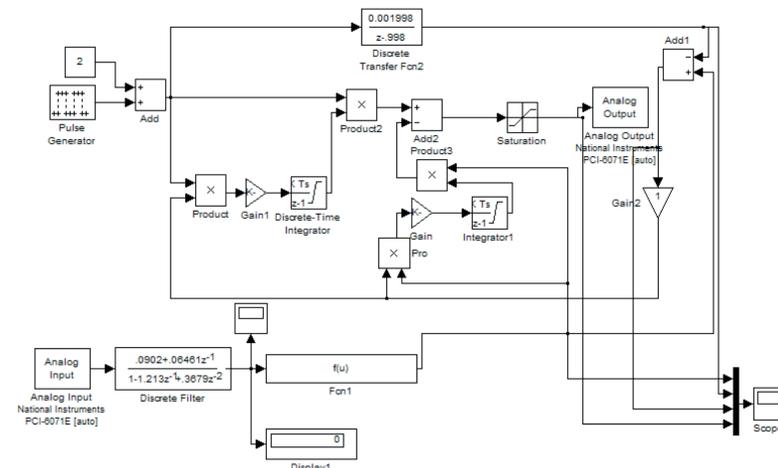


Fig. 3. Diagrama en simulink de la aplicación real.

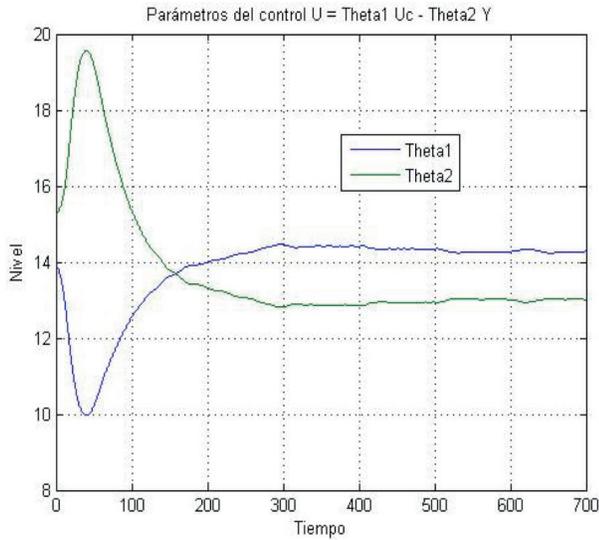


Fig. 5. Convergencia de parámetros.

En el caso en el que se acotan los parámetros se tiene una ganancia muy grande, por lo que el ruido o cambios en el sistema tienen una mayor repercusión en la señal de control. Finalmente, se notó la necesidad de caracterizar y tomar en cuenta la dinámica interna de sensores y actuadores, ya que de otro modo, la aplicación real será distinta de lo esperado en simulación.

Referencias bibliográficas

- Basci, A., Derdiyok, A. (2016). Implementation of an adaptive fuzzy compensator for coupled tank liquid level control system. *Measurement*, 91, 12-18.
- Cartes, D., Wu, L. (2005). Experimental evaluation of adaptive three tank level control. *ISA Transactions*, 44, 283-293.
- Fratczak, M., Czczot, J., Nowak, P., Metzger, M. (2018). Practical validation of the effective control of liquid-liquid heat exchangers by distributed parameter balance-based adaptive controller. *Applied Thermal Engineering*, 129, 549-556.
- González-Yero, G., Ramírez-Mendoza, M., Albertos, P. (2018). Robust nonlinear adaptive mould level control for steel continuous casting, *IFAC PaperOnLine*, 51(25), 164-170.
- Narendra, K.S., Annaswamy, A.M. (2005). *Stable Adaptive Systems*. Mineola, N.Y: Dover Publications Inc.
- Tao, J., Fan, Q., Ma, L. (2017). Improved linear quadratic and proportional control system for improved liquid level system regulation in a coke fraction tower. *ISA Transactions*, 69, 148-156.
- Yang, Z.G., Sugiura, H. (2019). Robust nonlinear control of a three tank system using finite-time disturbance observers. *Control Engineering Practice*, 84, 63-71.