



Title: Comparación en la respuesta de los métodos de sintonización de la curva de reacción de Ziegler-Nichols y optimización computacional aplicados al control de un robot tipo SCARA

Author: Martín Eduardo, RODRÍGUEZ-FRANCO, Yadira Fabiola, LÓPEZ-ÁLVAREZ, Ricardo, JARA-RUIZ, René, MORENO-FRÍAS

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 14
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 | 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	Republic of Congo
Ecuador	Taiwan	
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

- Los sistemas de control disponen del estado de operación de procesos industriales mediante sensores, destinando tal información a un controlador para su comparación con una referencia y deducir la señal de error (Campos, Teixeira, Liporace, & Gomes, 2009).
- Las técnicas de control clásico basan su tarea en la aplicación de controladores cuyo parámetro es el error, procurando mantener la respuesta del sistema intervenido dentro especificaciones aceptables (Kano & Ogawa, 2009).
- Un sistema robótico dispone de un proceso a controlar por articulación para su manipulación conjunta, cuya localización a adquirir aporta la referencia que cada sistema de control empleará como parámetro (Guo-qiang & Zhi-rui, 2017) (Das & Dülguer, 2005).

Problemática y justificación

- Necesidad de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos de las áreas de Control y Robótica en un implemento mecatrónico para la manipulación articular o robot. Lo que lleve a la comprensión de la trasmisión de movimiento desde cada articulación, asignado por el usuario, al establecer la acción que habrá de aportar cada actuador empleado.
- La deducción de un modelo matemático asociado a cada articulación, a fin de aplicar controladores que incidan la adecuada gestión de la energía que propicie el movimiento de los actuadores. Con lo cual se determinen los valores de cada acción de control.
- La sintonización de los parámetros de operación permitirá la deducción de valores que emitan una respuesta favorable en el comportamiento de cada sistema, para alcanzar cada movimiento propuesto, con posibilidad de optimizar el comportamiento dado.
- El uso de la tarjeta electrónica Arduino como controlador del sistema integrado, así como del software respectivo para la programación del código de control articular; al cual sean adaptadas las características determinadas por este análisis, con lo que se establezcan y validen las condiciones óptimas de funcionamiento del robot.

Objetivos

Sintonizar los parámetros para el diseño de controladores articulares en un robot SCARA a partir de los métodos de curva de reacción de Ziegler-Nichols y optimización computacional, lo que asegure la posición dada por el usuario a través de una interfaz gráfica por computadora.

- Determinar la función de transferencia por variable articular del robot SCARA.
- Sintonizar los parámetros de los controladores a partir de los métodos de curva de reacción de Ziegler-Nichols y optimización computacional.
- Desarrollar la programación para el control articular del robot e integrar una interfaz gráfica por computadora.

Análisis de configuración robótica SCARA

El robot SCARA es una cadena cinemática abierta, integrada por tres eslabones y tres articulaciones. Este es empleado en la industria en tareas de manejo de materiales u operaciones de ensamble, al maniobrar con precisión a altas velocidades.

Dos articulaciones del robot son rotacionales y una es traslacional. Los actuadores utilizados son motores de corriente directa, los cuales generan movimiento a través de un suministro de 12 V, además de contar con reductores de velocidad que propician el aumento del torque original.

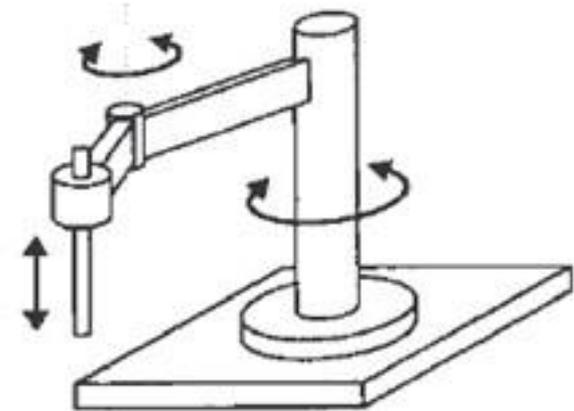


Figura 1 Robot SCARA (Fuente: Barrientos, 2007).

Deducción de las funciones de transferencia

Este análisis es realizado en el software MATLAB, estableciendo las funciones de transferencia de cada sistema articular, dadas por las ecuaciones (1), (2) y (3).

Tales modelos matemáticos como funciones de tiempo continuo, permiten la deducción de la respuesta que habrá de emitir cada sistema ante la solicitud de un movimiento específico partiendo de un posicionamiento previo otorgado por el usuario o por el mismo sistema al inicio de su operación.

$$G_1(s) = \frac{4323}{s^2 + 281.2s + 1974} \quad (1)$$

$$G_2(s) = \frac{2610}{s^2 + 76.11s + 1644} \quad (2)$$

$$G_3(s) = \frac{11820}{s^2 + 82.74s + 256.7} \quad (3)$$

Sintonización de controladores articulares (I)

Cada articulación del robot es el proceso $G(s)$ dentro de un sistema de control de posición en lazo cerrado, cuya retroalimentación es dada por el sensor $H(s)$. A partir de una posición de referencia $P_i(s)$ se determina la posición real $P_o(s)$, el error entre ambas $E(s)$; y la acción de corrección pertinente que lleve a la articulación a posicionarse en el valor solicitado.

El controlador $C(s)$ mejora las características de funcionamiento del sistema, a fin de satisfacer las especificaciones requeridas en la respuesta. Se emplea un controlador PID (proporcional integral derivativo), representado por la ecuación (4).

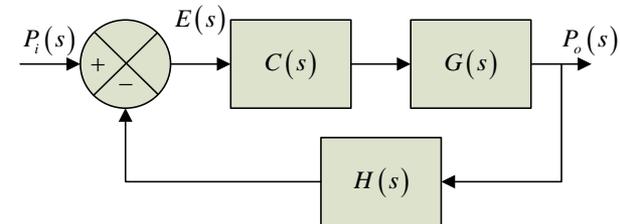


Figura 2 Diagrama de bloques del sistema de control de posición por articulación (Fuente: *Elaboración propia, 2018*).

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (4)$$

Sintonización de controladores articulares (II)

La sintonización de controladores permite deducir valores de controlador que definan la respuesta de un sistema dentro de límites establecidos. El método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols mide la respuesta dada en el proceso a controlar, al incidir una señal de tipo escalón en el mismo.

Tal comportamiento posee un transitorio que describe una curva en forma de S, siendo de interés el establecimiento del punto de inflexión a partir de su pendiente (m) y el tiempo en que ésta corta al eje horizontal (t_a), para obtener los parámetros del controlador PID: K_p , T_i y T_d .

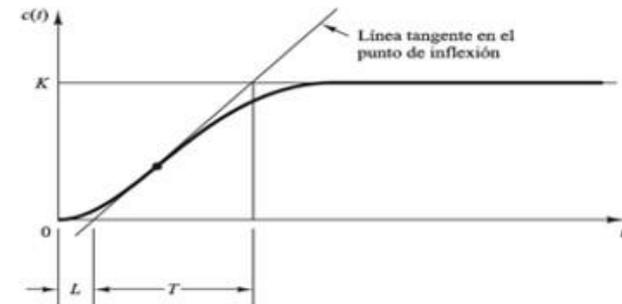


Figura 3 Curva de respuesta en forma de S (Fuente: Ogata, 2010).

Controlador	K_p	T_i	T_d
PID	$\frac{1.2}{t_a m}$	$2t_a$	$\frac{1}{2}t_a$

Tabla 1 Características del controlador PID en función de los valores de m y t_a (Fuente: Ogata, 2010).

Sintonización de controladores articulares (III)

La deducción de los parámetros m y t_a para cada articulación del robot permitió el cálculo de las ganancias de los controladores PID respectivos.

Se obtuvieron otros parámetros mediante optimización computacional con MATLAB; lo que permitió deducir valores de ganancia mejorados a partir del valor de ganancia proporcional K_p calculado mediante la sintonización previa.

Las ganancias obtenidas para los controladores PID fueron programadas en las tarjetas Arduino respectivas para fines de comparar su efecto en la respuesta de cada sistema analizado.

Sistema	M	t_a [segundos]
Articulación 1	14.2929	0.0041
Articulación 2	24.6648	0.0089
Articulación 3	11.2744	0.0071

Tabla 2 Valores deducidos de m y t_a correspondientes cada articulación del robot (*Fuente: Elaboración propia, 2018*).

Sistema	K_p	K_i	K_d
Articulación 1	20.411	2481.100	0.042
Articulación 2	5.447	305.011	0.024
Articulación 3	14.962	1051.700	0.053

Tabla 3 Ganancias de controlador PID por articulación determinadas por el método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols (*Fuente: Elaboración propia, 2018*).

Sistema	K_p	K_i	K_d
Articulación 1	21.000	27.562	4.000
Articulación 2	6.000	2.500	4.000
Articulación 3	14.962	13.991	4.000

Tabla 4 Ganancias de controlador PID por articulación determinadas por el método de optimización computacional (*Fuente: Elaboración propia, 2018*).

Sistema de control articular e interfaz de gestión por computadora

Se emplean potenciómetros como sensores de posición angular y un encoder para posición lineal. La generación de señales de salida se realiza mediante modulación por ancho de pulso (PWM).

A la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW se agregaron controles para la manipulación de cada articulación e indicadores para mostrar los datos retroalimentados por el robot, integrando un entorno sencillo y de fácil operación.

El establecimiento de comunicación entre las tarjetas Arduino empleadas y la interfaz gráfica fue mediante protocolo serial.



Figura 4 Elementos para la transmisión y recepción de datos entre el robot y la interfaz (*Fuente: Elaboración propia, 2018*).

La respuesta de la primera articulación después de aplicada la sintonización, describió inicialmente un sobreimpulso de 15% de la magnitud dada y el establecimiento después de 0.07 segundos.

La aplicación del método de optimización computacional a la misma articulación, logra asegurar un reacción transitoria entre el 96.5% y el 100% de la magnitud analizada, sin sobreimpulso; aunque el tiempo de estabilización aumenta a 4 segundos.

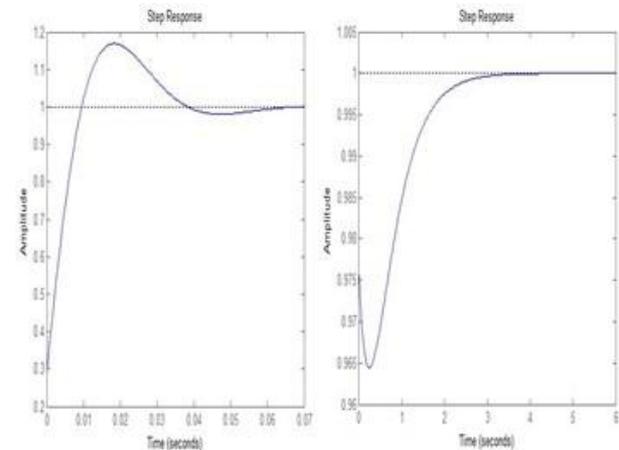


Figura 5 Respuesta de la primera articulación del robot posterior a la sintonización y a la optimización (Fuente: Elaboración propia, 2018).

La respuesta de la segunda articulación, después de la sintonización, muestra sobreimpulso de 20% y estabilización a 0.2 segundos. La optimización computacional permite la evolución del error de 11% a 0%, sin sobreimpulsos pero con estabilización en 14 segundos. La sintonización en la tercera articulación determinó una respuesta con sobreimpulso de 10% y estabilización en 0.1 segundos. Mientras, el segundo método significó un retraso de 6 segundos, la eliminación del sobreimpulso y una señal de error que oscila entre el 5% y 0%.

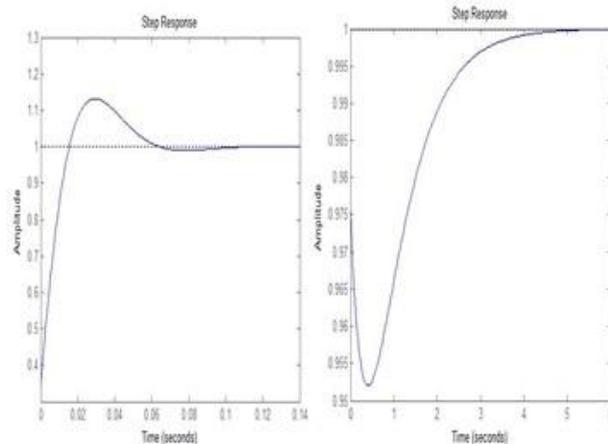


Figura 6 Respuesta de la segunda articulación del robot posterior a la sintonización y a la optimización (Fuente: *Elaboración propia*, 2018).

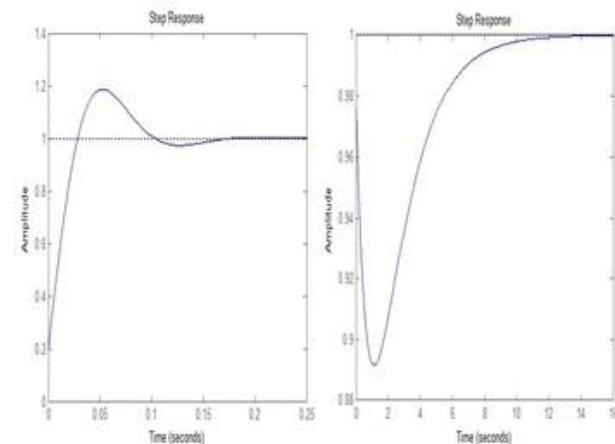


Figura 7 Respuesta de la tercera articulación del robot posterior a la sintonización y a la optimización (Fuente: *Elaboración propia*, 2018).

Resultados de funcionamiento del robot

El funcionamiento del robot SCARA implementado resultó eficiente respecto a la velocidad adquirida por sus articulaciones, al ejecutar con relativa facilidad cada movimiento solicitado a través de la interfaz gráfica desarrollada. Esto mediante el uso de los valores de controlador PID deducidos por ambos métodos de sintonización.

El comportamiento articular al aplicar los valores del método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols propició la descripción de movimientos con sobreimpulsos permisibles. Mientras que resultados posteriores al uso del método de optimización computacional constatan una respuesta sin sobreimpulsos, favorecida por la estructura y unión entre los elementos del robot.

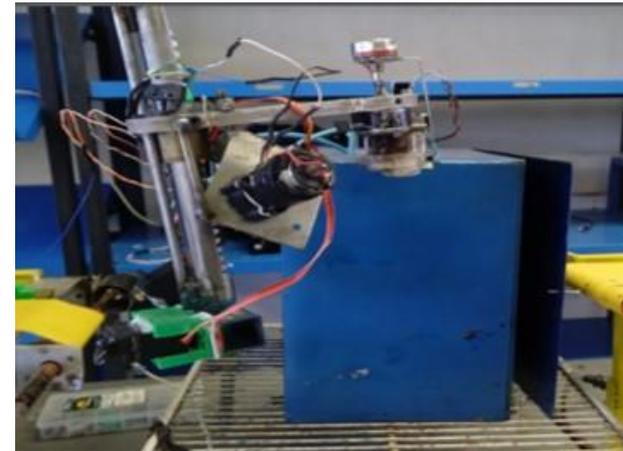


Figura 8 Aspecto del robot SCARA durante la pruebas de desempeño (Fuente: *Elaboración propia, 2018*).

Conclusiones

- A pesar de los resultados obtenidos para la sintonización de controladores por el método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols, donde fue común la presencia de sobreimpulsos en la respuesta de los sistemas analizados; puede rescatarse la rápida estabilización de la misma en un valor de magnitud propuesto.
- En el caso del método de optimización computacional cuya respuesta mostraba una estabilización tardía, no se presentaron sobreimpulsos; además de que los porcentajes de error partieron de 3.5%, 11% y 4.5% respectivamente para establecerse en 0%.
- La propuesta de valores para sintonización por optimización computacional requirió de forma previa el uso del método de Ziegler-Nichols; lo que constata la importancia de aplicarlo para la sintonización inicial de un sistema y combinar su efecto con otro método.
- Aunque las características de respuesta dadas por la aplicación del primer método son adecuadas, la magnitud de ganancia integral obtenida es físicamente inalcanzable. La optimización computacional trajo consigo la deducción de valores no tan elevados en magnitud y que al aplicarse al error, pudieron realizar un efecto evidente y resaltable.

1. Anil, C., & Sree, R. (2015). Tuning of PID controllers for integrating systems using direct synthesis method. *ISA Transactions*, 211-219.
2. Barrientos, A. (2007). *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGraw-Hill.
3. Bazanella, A., & Parraga, A. (2018). Tuning PID controllers from sampled-data relay feedback experiments. *IFAC-PapersOnLine*, 125-130.
4. Campos, M., Teixeira, H., Liporace, F., & Gomes, M. (2009). Challenges and problems with advanced control and optimization technologies. *IFAC Proceedings Volumes*, 1-8.
5. Das, M., & Dülguer, L. C. (2005). Mathematical modelling, simulation and experimental verification of a SCARA robot. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 257-271.
6. Guo-qiang, C., & Zhi-rui, Z. (2017). Mechanical analysis of the industrial robot to upgrade to the gaming robot. *Procedia Engineering*, 1077-1083.
7. Irshad, M., & Ali, A. (2018). Optimal tuning rules for PI/PID controllers for inverse response processes. *IFAC-PapersOnLine*, 413-418.
8. Kano, M., & Ogawa, M. (2009). The state of the art in advanced chemical process control in Japan. *IFAC Proceedings Volumes*, 10-25.
9. Kumar, R., Singla, S., & Chopra, V. (2015). Comparison among some well known control schemes with different tuning methods. *Journal of Applied Research and Technology*, 409-415.
10. Lajara, J., & Pelegrí, J. (2012). *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo.
11. Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación.
12. Syrcos, G., & Kookos, I. (2005). PID controller tuning using mathematical programming. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 41-49.
13. Vrančić, D., Huba, M., & Moura-Oliveira, P. (2018). PID controller tuning for integrating processes. *IFAC-PapersOnLine*, 586-591.
14. Yadav, S., Verma, S., & Nagar, S. K. (2016). Optimized PID controller for magnetic levitation system. *IFAC-PapersOnLine*, 778-782.
15. Yamacli, S., & Canbolat, H. (2008). Simulation of a SCARA robot with PD and learning controllers. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 1477-1487.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)