

Ajuste de Controladores PID por Medio de un Algoritmo de Selección Clonal

Juan Fernando García Mejía¹, José Antonio García Mejía² y César Carranco López²

¹ Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Atlacomulco
fgarciam@uaemex.mx

² Universidad TecMilenio Campus Toluca
ccarranco@tecmilenio.mx

Resumen

En este artículo se muestra una alternativa al problema de sintonización de parámetros de un controlador Proporcional Integral Derivativo mediante una técnica de la inteligencia computacional denominada algoritmo de selección clonal, el cual está soportado teóricamente en el comportamiento del sistema inmunológico de mamíferos, convirtiendo el problema de diseño de controladores en uno de optimización de parámetros (minimizar error, maximizar robustez, entre otras posibles funciones objetivo) Cabe destacar que como caso de estudio se utiliza el control de velocidad de un motor de corriente directa, en donde el objetivo alcanzado es la mejora del desempeño del error en relación con una técnica denominada ajuste de Ziegler-Nichols ampliamente utilizada para este tipo de problemas. La presente propuesta se caracteriza por ser mono objetivo, utilizar un espacio de búsqueda con soluciones factibles codificadas en forma real y ser desarrollada en LabView

Palabras clave: Palabras que por sí mismas dan idea del tema o área del artículo. Usar letras de tipo New Roman, normal de 10 puntos.

1. Introducción

El controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es uno de los más utilizados en la industria moderna. Estos han mostrado ser robustos y extremadamente productivos en el control de muchas aplicaciones de importancia en la industria. En la actualidad, muchos de éstos se transforman en formas digitales mediante el uso de microprocesadores. [1]

Existen varios métodos de ajuste empírico de controladores PID, basados en mediciones realizadas sobre la planta real. Estos métodos, denominados como clásicos comenzaron a usarse alrededor de 1950. Ziegler y Nichols sugirieron varias reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer valores K_p, T_D, T_I) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols son convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas.

Las reglas propuestas por Ziegler y Nichols determinan los valores de las ganancias proporcionales K_p , integrales K_i , derivativas K_d con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Dicha determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización la realizan los ingenieros *in situ* mediante un modelo experimental.

Ahora bien la finalidad de un controlador cualesquiera que sea es reducir las diferencias entre la entrada referencial y la salida en lazo cerrado, esto se observa en las siguientes expresiones caracterizadas en el dominio de la variable discreta z .

La salida del controlador se muestra en la ecuación 1

$$y(z) = c(z) * g(z) \quad (1)$$

Donde

$y(z)$ es la salida del sistema

$c(z)$ es la expresión característica del controlador

$g(z)$ es la expresión representativa del fenómeno físico que se desea a controlar

De tal forma que el error con respecto a la entrada se expresa en (2)

$$e(z) = r(z) - y(z) \quad (2)$$

En base a la expresión mostrada en 2 es posible reconsiderar el problema de diseño de controladores, por uno de optimización, el cual puede ser mono ó multi objetivo, que puede ser tratado mediante técnicas de inteligencia computacional

2. Inteligencia Computacional

La inteligencia artificial se divide en dos grandes campos, hard computing y Soft computing, (SC) [2], esta última también se denomina inteligencia computacional y es definida por Lofti Zadeh como Soft Computing es un nuevo enfoque a la computación que es paralelo a la capacidad de la mente humana de razonar y aprender en un ambiente de incertidumbre e imprecisión [3], se caracterizan por ser tolerantes ante estos [4]. Por otra parte, los sistemas inmunológicos artificiales (AIS, por sus siglas en inglés) han sido incorporados recientemente al cúmulo de técnicas de SC.

El sistema inmune ha servido como inspiración para solucionar problemas complejos de ingeniería y la ciencia con gran éxito, debido principalmente a que es un sistema de aprendizaje distribuido con interesantes características. Una de las principales tareas del sistema inmune es mantener al organismo sano. Algunos microorganismos (llamados patógenos) que pueden ser reconocidos por el sistema inmune y que además son capaces de dar inicio a la respuesta inmune para eliminarlos [5].

La respuesta defensiva del sistema inmune presenta interesantes características desde el punto de vista del procesamiento de información. Es por ello que se ha usado como inspiración para crear soluciones alternativas a problemas complejos de ingeniería y la ciencia. Esta es un área relativamente nueva a la cual se le llama sistema inmune artificial [6].

Con base a lo anterior se puede definir al sistema inmune artificial como un modelo computacional del aparato inmune biológico que tiene la capacidad de realizar algunas tareas como el reconocimiento de patrones, aprendizaje, adquisición de memoria, generación de diversidad, tolerancia al ruido, generalización, detección distribuida y optimización [7].

Ahora bien, existen tres variantes de AIS, las cuales son:

1. Selección negativa
2. Células dendríticas
3. Teoría de Red inmune
4. Principio de selección clonal

Uno de los mecanismos del sistema inmune que intenta explicar el proceso por el cual se combate contra un antígeno es el llamado principio de selección clonal, propuesto por Mac-Farlane Burnett, el cual establece la idea de que sólo aquellas células inmunes (linfocitos B) que mejor reaccionen ante el estímulo de un antígeno se clonarán.

Cuando se ha detectado la presencia de algún invasor, aquellos linfocitos con afinidad más alta con respecto al invasor, sufren un proceso de clonación seguido de una mutación de gran magnitud o hipermutación.

Después de esta clonación y mutación los linfocitos se convierten en grandes productores de anticuerpos que eliminan y neutralizarán a los antígenos invasores.

El exceso de células es eliminado. Sin embargo, una parte de ellas permanece en el organismo circulando por un largo período como células de memoria, de esta forma, cuando se presenta el mismo tipo de antígeno o uno similar, la respuesta del sistema inmune es más rápida y eficiente. A esta respuesta se le llama respuesta secundaria.

El principio o teoría de selección clonal, plantea una explicación de cómo el sistema inmune describe las características básicas de una respuesta inmune a un estímulo antigénico. Este principio establece la idea de que sólo aquellas células que reconocen a los antígenos proliferan; de tal forma son seleccionadas aquellas que tienen la capacidad de reconocerlos. La Selección Clonal opera en las células B y las células T [8].

Las principales características de la teoría de selección clonal son:

- Las nuevas células son copiadas (clonadas) de sus padres, sometidas a un mecanismo de mutación (hipermutación somática).
- Eliminación de los linfocitos que llevan receptores auto-reactivos.
- La proliferación y diferenciación de las células maduras con antígenos en contacto.
- La persistencia de clones prohibidos, resistiendo la temprana eliminación por antígenos propios, como la base de enfermedades auto inmunes.T

3. Análisis de resultados

En esta sección se muestra la función fitness u objetivo que modela el problema de optimización que se utiliza en este trabajo, así como los parámetros empleados en el algoritmo

3.1 Función objetivo

Para comprobar la propuesta que se trata en este artículo fue necesario plantear una función de transferencia de segundo orden en dominio continuo s (ecuación 3), que es representativa de la velocidad de un motor de corriente directa

$$G(s) = \frac{s+1}{s^2+5s+6} \quad (3)$$

La cual se transforma en dominio z mediante un retenedor de orden 1 con un tiempo de muestreo $T = 0.05$ segundos, dando como resultado la ecuación (4)

$$G(z) = \frac{-0.0079z+0.00837}{z^2-1.96z+1} \quad (4)$$

Ahora bien como esquema de control se utiliza un controlador tipo PID discreto de implementación directa, el cual se define como lo muestra la ecuación (5)

$$C(z) = K_p + \frac{K_i T z+1}{2 z-1} + \frac{K_d z-1}{T z} \quad (5)$$

En donde

K_p Ganancia Proporcional

K_i Ganancia Integral

K_d Ganancia Derivativa

T Tiempo de

Sustituyendo (4) y (5) en 1 se obtiene la ecuación 6

$$y(z) = \left(K_p + \frac{K_i T z+1}{2 z-1} + \frac{K_d z-1}{T z} \right) * \left(\frac{-0.0079z+0.00837}{z^2+1.96z+1} \right) \quad (6)$$

Sustituyendo (6) en (1) se obtiene la ecuación 7

$$e(z) = 1 - \left(K_p + \frac{K_i T z+1}{2 z-1} + \frac{K_d z-1}{T z} \right) * \left(\frac{-0.0079z+0.00837}{z^2+1.96z+1} \right) \quad (7)$$

Dado que las variables de interés en el problema de optimización a tratar en este trabajo son las constantes K_p, K_i, K_d es posible reescribir la ecuación 7 como lo muestra la ecuación 8

$$e(K_p, K_i, K_d) = 1 - \left(K_p + \frac{K_i T z+1}{2 z-1} + \frac{K_d z-1}{T z} \right) * \left(\frac{-0.0079z+0.00837}{z^2+1.96z+1} \right) \quad (8)$$

Al igual de los algoritmos genéticos, los sistemas inmunológicos artificiales solo maximizan de tal forma que se puede obtener la función objetivo que minimice a la expresión en (8), escribiendo una función objetivo como lo muestra (9)

$$fitness(K_p, K_i, K_d) = \frac{1}{1+\sum e(K_p, K_i, K_d)} \quad (9)$$

La cual se constituye como la función a maximizar en el presente trabajo

3.2 Algoritmo propuesto

El algoritmo desarrollado para resolver el problema de optimización mencionado en este trabajo, utilizando un sistema inmune artificial, se describe a continuación

- 1 Se genera la población inicial de manera aleatoria, para los valores de K_p, K_i, K_d distribuidos a lo largo del espacio de búsqueda de manera uniforme.
- 2 Con esta población de controladores se evalúan la función objeto — que se considera antígeno — para minimizar el error.
- 3 Los resultados obtenidos después de evaluar la función objetivo, se ordenarán de mayor a menor, entendiéndose que el valor máximo es el mejor resultado.
- 4 De éstos valores ordenados se seleccionan n número de resultados para ser clonados (se toman las mejores muestras)
- 5 Realizar el proceso de mutación con los valores clonados, mediante la ecuación 1

Donde

x_i^{new} es el nuevo elemento mutado.

β es valor aleatorio entre 0 y 1.

x_i es la solución clonada

x_{random} es un valor aleatorio de toda la población de controladores

- 6 Estos nuevos valores mutados sustituirán a las peores muestras de la población inicial P_1 , generando una nueva población de controladores.

- 7 La población P_i , se evalúa nuevamente con las funciones objetivos.
- 8 Si los resultados no son óptimos, se vuelven a realizar todo el proceso desde el paso 3, hasta encontrar las mejores soluciones para el controlador.

La respuesta a lazo abierto de la ecuación 3 se muestra a continuación en la figura 1

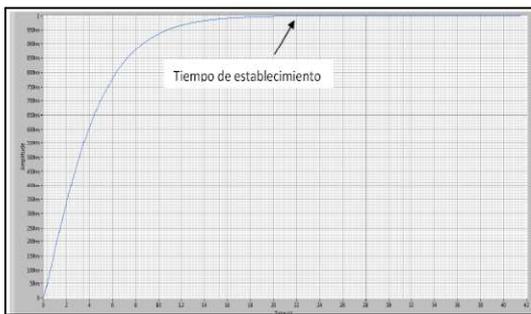


Fig. 1 Respuesta de la planta propuesta en lazo abierto

4. Análisis de resultados

Al aplicar un ajuste de los parámetros del controlador por medio del criterio de Nichols, se tiene la siguiente respuesta en el tiempo

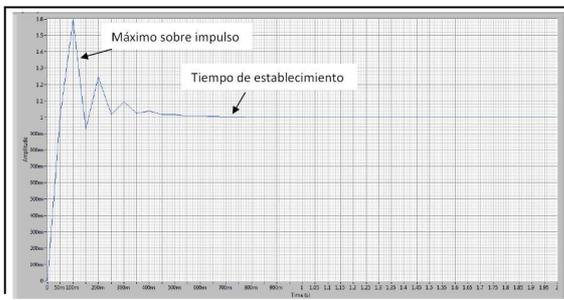


Fig. 2 Respuesta de la planta propuesta con un PID con ajuste de Nichols

La cual tiene un sobre impulso de 60% y un tiempo de establecimiento de 0.7 segundos al escalón unitario

Al aplicar el algoritmo propuesto con los parámetros enlistados a continuación se obtiene lo que se muestra en la figura 3

Población inicial = 50
 Porcentaje de clones = 80%
 Numero de iteraciones = 150

Lo anterior genera la respuesta en lazo cerrado que se muestra en la figura 3

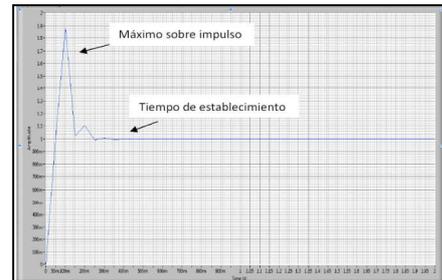


Fig. 3 Respuesta de la planta propuesta con un PID con ajuste por medio del algoritmo propuesto

La cual tiene sobre impulso cercano al 90% con un establecimiento de 0.2 segundos, cabe destacar que el error $e(K_p, K_i, K_d)$ también disminuye en función

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante este algoritmo fueron satisfactorios, quedando demostrado que utilizando un Sistema Inmune Artificial, genera una mejor solución al problema planteado en este trabajo que cualquier otro método utilizado en la actualidad.

Cabe mencionar que el error de la planta fue minimizada a niveles muy bajos y con un tiempo de establecimiento menor que los obtenidos por las soluciones propuestas por LabView.

Los trabajos a futuro que seguirán a este proyecto, será el de implementar restricciones a las funciones objetivos tanto para la robustez como para el error, así como utilizar codificación binaria. Además se trabajarán con los diferentes métodos del sistema Inmune Artificial mencionados en este trabajo: Red Inmune, Células Dendríticas y Selección Negativa.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Mtro Fidencio Ochoa Flores, encargado del despacho de la dirección del Centro Universitario UAEM Atlacomulco, el apoyo incondicional brindado

Referencias

- [1] Ogata K. "Ingeniería de Control Moderna" Prentice Hall 3ra.Edición Pág. 669- 709 USA 2009

- [2] Waszczyszyn Zenon (ed) "Advances of Soft Computing in Engineering" Springer 2010 pp 193
- [3] Sanghamitra Bandyopadhyay (ed) "Analysis of biological data a soft computing approach" World Scientific Publishing 2007 pp 27
- [4] Ahmad Lotfi (ed) "Applications and Science in Soft Computing" Springer 2004 pp 196
- [5] Cruz Cortés, Coello Coello. "Un Sistema Inmune Artificial para Solucionar Problemas de Optimización Multiobjetivo".
- [6] Nunes de Castro, Timmis John. "An introduction to Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Paradigm". Springer-Verlag, 2002.
- [7] Nunes de Castro, Von Zuben. "Artificial Immune Systems: Part I – Basic Theory and Applications". Brazil, December 1999.
- [8] Cortés Rivera. "Un Sistema Inmune Artificial para resolver el problema del Job Shop Scheduling". México, 2004.
- [1] 1er. Apellido y 1era. Letra del nombre de los autores. "*Título del artículo o reporte*", *Nombre de la revista*. Editorial, Volumen, Número, páginas y año.
- [2] 1er. Apellido y 1era letra del nombre de los autores. "*Título del libro*", Editorial, país, edición, año.
- [3] 1er. Apellido y 1era letra del nombre de los autores. "*Título del artículo*", Nombre del congreso, Nombre de la Asociación que organizó el congreso, páginas, lugar y año.