

Codificación real de un algoritmo genético con fertilización in vitro aplicado a la sintonización de controladores PID: Una primera aproximación

Real coding of a genetic algorithm with in vitro fertilization applied to the tuning of PID controllers: A first approximation

García Mejía Juan Fernando , Flores Fuentes Allan Antonio , Pérez Martínez José Arturo , García Mejía José Antonio

Universidad Autónoma del Estado de México Centro Universitario UAEMex Atlacomulco
Carretera Toluca Atlacomulco Km.60 Atlacomulco Estado de México CP 50450
Tel 017121220446
fgarciam@uaemex.mx

PALABRAS CLAVE:

Celda termoeléctrica, optimización, algoritmo genético, Fertilización In Vitro

RESUMEN

Una alternativa de solución a problemas de optimización numérica se encuentra en los métodos heurísticos, uno de ellos es el algoritmo genético simple, el cual ha sido objeto de estudio de varios trabajos que tienen como finalidad mejorar su repetibilidad (estabilidad con respecto al número de ejecuciones) y su convergencia. Un ejemplo de los trabajos anteriores es el uso de un algoritmo computacional desarrollado en 2011 por Camilo y Yamanaka basado en la técnica de reproducción asistida denominada Fertilización In Vitro, usando una codificación basada en números binarios. En ese trabajo se compararon la repetibilidad y la convergencia de un algoritmo genético simple y uno con Fertilización In Vitro ambos con codificación real, utilizando como caso de estudio la minimización del error cuadrático medio de un controlador PID aplicado a la regulación de temperatura de una celda termoeléctrica. Cabe destacar que los códigos escritos para este trabajo fueron desarrollados en Scilab un software de simulación matemática de licencia libre.

KEYWORDS:

Thermoelectric cell, optimization, genetic algorithm, In Vitro Fertilization

ABSTRACT

An alternative solution to numerical optimization problems is found in the heuristic methods, one of them is the simple genetic algorithm, which has been the subject of study of several works which purpose is to improve its repeatability (stability regarding the number of executions) and its convergence. An example of these works is the use of a computational algorithm developed in 2011 by Camilo and Yamanaka, based on the technique of assisted reproduction called In Vitro Fertilization, using an encoding based on binary numbers. On that work, the repeatability and convergence of a simple genetic algorithm is compared with one with In Vitro Fertilization, both with real encoding, using as case of study the minimization of the mean square error of a PID controller applied to the temperature regulation of a thermoelectric cell. Note that the codes written for this work were developed on Scilab, a free license mathematic simulation software.

Recibido: 25 de septiembre de 2015 Aceptado: 10 de junio de 2016 Publicado: 30 junio de 2017

1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se describen los fundamentos teóricos que soportan la presente propuesta en primer lugar se define el concepto de algoritmo evolutivo se mencionan los componentes de un algoritmo genético y los fundamentos biológicos de un proceso de Fertilización In Vitro.

1.1 Algoritmos genéticos

Un algoritmo genético (GA, por sus siglas en inglés) simula algunos aspectos propios de la teoría de la evolución de las especies de Darwin y de las leyes de la herencia de Gregory Mendel [1]. Los mejores individuos de una determinada población tienen mayores posibilidades de supervivencia y reproducción; las posibilidades disminuyen o son nulas para los débiles. El primer algoritmo genético fue desarrollado por John Holland en la década de los 70. en la Universidad de Michigan.

1.2 Fertilización In Vitro

La Fertilización In Vitro (IVF, por sus siglas en inglés) es una técnica mediante la cual se consigue que un óvulo y un espermatozoide pueden encontrarse en una placa de cultivo en un medio controlado. Los médicos británicos Patrick Steptoe y Robert Edwards fueron los pioneros en el uso de esta técnica para tratar problemas de fertilidad. Un proceso de IVF, se realiza de la siguiente forma, primero se estimula la producción ovárica por medio de la aplicación de hormonas, posteriormente cuando se han generado algunos óvulos, estos son extraídos por medio de una aspiración folicular, para posteriormente en un medio controlado unirlos a los espermatozoides en una Placa de Petri estéril. Si existe la fecundación después de un tiempo de 24 a 48 horas se implantan por medio de un catéter en el útero un máximo de 3 blastocitos [2]. Con las ideas anteriores Camilo y Yamanaka, desarrollaron en 2011 un algoritmo denominado Algoritmo Genético con Fertilización In Vitro (IVF/GA, por sus siglas en inglés) el cual se presenta en el diagrama de flujo de la figura 1. [3]

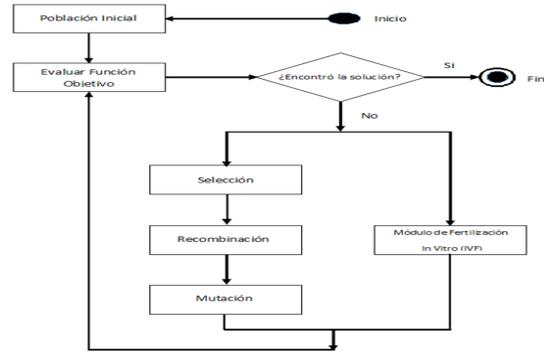


Figura 1 Diagrama de un algoritmo genético con un Módulo de Fertilización In Vitro

Metodología

En esta sección se especifica la obtención de la función objetivo, así como los elementos que conforman el algoritmo propuesto.

2.1 Caso de prueba

Como caso de prueba se propone la minimización del error cuadrático medio de un controlador Proporcional Integral Derivativo (PID), que se describe en la ecuación (1) y consiste de tres ganancias denominadas k_p, k_i, k_d . sintonizadas por el criterio de Zigler-Nichols. Este se aplica a la regulación de una celda termoeléctrica (TEC, por sus siglas en inglés) la cual se puede definir como un dispositivo semiconductor que tiene la finalidad de absorber y disipar temperatura por cada una de sus caras en función de las condiciones de polarización. Dado lo anterior las TEC's tienen aplicación en micro refrigeración y refrigeradores móviles [4]. La relación entre la temperatura de enfriamiento y la corriente eléctrica de polarización de estas se caracteriza por medio de una función de transferencia en términos de la variable compleja s , como se muestra en la ecuación 2 [4]. Donde $\tilde{I}(s)$ es la corriente de alimentación de la celda y $\tilde{T}_L(s)$ la temperatura de la misma

$$PID = C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \quad (2)$$

$$\frac{\tilde{T}_L(s)}{\tilde{I}(s)} = G_r(s) = -6.4061 \left(\frac{0.064s + 0.00854}{s^2 + 0.5964s + 0.00855} \right) \quad (1)$$

El ajuste de los valores k_p, k_i, k_d se realiza de

manera habitual por métodos analíticos como el criterio de Zigler-Nichols, una alternativa a este se encuentra en el uso de técnicas evolutivas, para lo cual es necesario definir una función objetivo a partir de la información de las ecuaciones (1),(2) y del concepto de valor cuadrático medio es posible construir la función objetivo que se muestra en la ecuación 4 donde T es el tiempo a simular

$$f_{obj}(k_p, k_i, k_d) = \max \left(\frac{1}{1 + \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T E(k_p, k_i, k_d)^2}} \right) \quad (4)$$

En [5], [6], [7] se muestran las ventajas de los algoritmos genéticos sobre el criterio de Zigler-Nichols, cabe destacar que la codificación empleada en los citados trabajos fue binaria, esto puede presentar errores de truncamiento en el momento de representar las variables k_p, k_i, k_d ; esto es solucionado por una codificación real en [8] y [9], por ultimo en [11] se documenta el paro de algoritmo genéticos por medio de la convergencia de la función objetivo, por otra parte en [12] se realizó la sintonización de parámetros de un controlador PID aplicado a una celda termoeléctrica; en este trabajo se retoman esos resultados con la finalidad de estudiar su repetibilidad que se puede definir como la variabilidad que presenta la función objetivo en relación a ejecuciones sucesivas del algoritmo y se compara con un IVF/GA

2.2 Algoritmo genético con codificación real

En esta sección se describen los operadores que se emplearon en la implementación del algoritmo genético con codificación real, y se muestran las características propuestas

2.2.1 Selección

Los cromosomas que se seleccionaron para el cruzamiento en sucesivas generaciones fueron escogidos mediante una ruleta, donde los sujetos con mayor valor de afinidad, (mayor valor de $f_{obj}(k_p, k_i, k_d)$) se privilegian sobre los de menor afinidad.

2.2.2 Cruzamiento

El cruzamiento es determinado por el tipo de codificación. En este caso se emplea el operador de cruce denominado aritmético, cuyo procedimiento se muestra en esta sección. Sean dos cromosomas $C_1=[k_p^1, k_i^1, k_d^1]$ y $C_2=[k_p^2, k_i^2, k_d^2]$ que fueron seleccionados mediante un procedimiento de ruleta, los descendientes de estos $H_k=[k_p^k, k_i^k, k_d^k]$ son

generados mediante las ecuaciones 5 y 6; para $\alpha=[0,1]$; donde $k=1,2$

$$H_1 = \alpha(C_1 + ((1 - \alpha) * C_2)) \quad (5)$$

$$H_2 = \alpha(C_2 + ((1 - \alpha) * C_1)) \quad (6)$$

2.2.3 Mutación

Con el operador de mutación que se muestra en la ecuación 7, se alteran dos individuos por cada generación del algoritmo genético canónico. A partir de un cromosoma C_i' se puede obtener un cromosoma transformado o mutado C_i'' a partir de la siguiente expresión donde el tamaño de paso de la mutación $\beta=[0,1]$ y la dirección de la misma se representa por d.

$$C_i'' = C_i' + \beta * d \quad (7)$$

2.2.4 Criterio de paro

El algoritmo se ejecutara hasta que se cumpla un criterio, los cuales en términos generales son dos: un determinado número de ejecuciones (denominadas generaciones).

2.2.5 Parametros del algoritmo genético simple

La tabla 1 muestra los parámetros que se emplearon en el algoritmo genético simple mismos que fueron descritos en las secciones precedentes

Parámetro	Valor
Numero de cromosomas	100
Porcentaje de cruzamiento	60%
Porcentaje de Mutación	1%

Tabla 1. Parámetros de algoritmo genérico simple

2.3 Modulo de Fertilización In Vitro

En esta sección se describe el modulo de Fertilización In Vitro que se añadió al algoritmo genético descrito en la sección 2.2. La propuesta que se presenta en este trabajo se basa en el algoritmo descrito en la sección 1.3 modificando en esencia la codificación, que en este caso es real, además de renombrar y/o modificar algunos elementos descritos en el pseudocódigo de la sección antes referida, tomando como base un proceso de IVF que se realiza en parejas humanas con problemas de fertilidad.

2.3.1 Estimulación Ovarica

En un proceso biológico se realiza una estimulación por hormonas con la finalidad de obtener mas de un folículo, por medio de aspiración folicular, de los cuales, al colapsar

liberan óvulos, su equivalente propuesto es la selección de los M individuos con los valores de la función objetivo mas altos, los cuales se denominaran óvulos

2.3.2 Selección de espermias

En un proceso biológico se obtiene una muestra de semen el cual es un liquido compuesto de aminoácidos que sirve de vehículo a los espermias, la cual, en función de algunas características como motilidad numero y calidad de estos se someten a un proceso de capacitación espermática, que permite obtener una muestra de alta calidad. En el caso del proceso que se propone en este trabajo se seleccionan N individuos que son diferentes a los óvulos descritos en la sección 2.3.2 y se denominan espermias, los cuales tienen las funciones de aptitud mas altas después de los M óvulos

2.3.3 Fertilización

En los procesos biológicos después de obtener los óvulos y los espermias estos son colocados en una Placa de Petri para que en un ambiente estéril se genere la fecundación de al menos un ovulo, lo cual da inicio a la división celular, el conjunto de células que se generan en un lapso de 24 a 48 horas se denomina blastocito. Para la propuesta que se presenta en este documento, se adapta el operador de cruzamiento aritmético descrito en las ecuaciones 5 y 6 de la siguiente forma: A partir del ovulo O y el espermia E es posible generar blastocitos por medio de las ecuaciones 5 y 6 para $\alpha=[0,1]$.

$$B_1 = \alpha(O_k + ((1 - \alpha) * E_i)) \tag{5}$$

$$B_2 = \alpha(E_i + ((1 - \alpha) * O_k)) \tag{6}$$

Donde k son números aleatorios en un rango [1,M] al igual que i pero en un rango [1,N]

2.3.4 Implantación de blastocitos

En los procesos biológicos los blastocitos obtenidos de la fecundación se implantan en el útero por medio de un proceso quirúrgico simple. en el equivalente que se propone en este trabajos se implantan los blastocitos solo si tienen un valor de la función aptitud mayor que los últimos 60 individuos.

2.3.5 Pseudocódigo del Modulo de Fertilización In Vitro

El siguiente listado se muestra el pseudocódigo del algoritmo propuesto, con base en un algoritmo genético

- definir una función de aptitud o función objetivo
- generar una serie de posibles soluciones de

- manera aleatoria (población)
- codificar la población
- evaluar con la población, iniciando así la i esima generación
- seleccionar soluciones que se reproducirán
- aplicar una operación de cruzamiento
- mutar algunos elementos resultantes del cruzamiento
- reemplazar elementos de la población de la i esima generación con los mejores elementos de vi y vii
- encontrar M mejores individuos y etiquetarlos como óvulos
- seleccionar N individuos aleatorios y etiquetarlos como espermias
- recombinar (fertilizar) ovulos y espermias por medio de las ecuaciones 5 y 6
- implantar blastocitos en la población eliminando a los individuos de menor función de aptitud
- detener, si se cumple criterio de paro, y en caso contrario saltar a iv

2.4.5 Parámetros del Algoritmo Genético con Fertilización In Vitro

La tabla 2 muestra los parámetros del Algoritmo Genético con Fertilización In Vitro

Parámetro	Valor
Numero de cromosomas	100
Porcentaje de cruzamiento	60%
Porcentaje de Mutación	1%
Número de óvulos	3
Número de espermias	40
Número de blastocitos	3

Tabla 2. Parámetros del Algoritmo Genético con Fertilización In Vitro

RESULTADOS.

Se desarrollaron una serie de simulaciones codificadas en Scilab con una temperatura de referencia o de set point de -5 grados centígrados (una temperatura estándar para muchos congeladores de uso industrial), en la primera se sintonizó el controlador por medio del ajuste de Zigler-Nichols, posteriormente se realizó un conjunto de 50 ejecuciones al GA y al IVF/GA, con la finalidad de determinar la estabilidad de estos con respecto al numero de veces que se ejecuta el algoritmo, esta se calcula a partir de la desviación estándar relativa (der) que se obtiene dividiendo la desviación estándar del error cuadrático medio, sobre la media aritmética, los resultados de esta prueba de repetibilidad se observan en la tabla 3 y en los histogramas de las figuras 2 y 3. Los criterios de desempeño del controlador PID que se evaluaron a la par que el error cuadrático medio fueron t_s o tiempo de establecimiento que se define como el tiempo que la celda termoeléctrica

Estos datos, que se muestran en la tabla 4, son obtenidos de los promedios de las ganancias k_p, k_i, k_d de los algoritmos genéticos propuestos y del ajuste de Zigler Nichols. En la figura 4 se grafican las respuestas promedios obtenidas de GA y el IVF/GA (en color rojo, ambas dado que tiene el mismo comportamiento) así como el controlador PID ajustado por el criterio de Zigler-Nichols.

Técnica	(%) desviación estándar relativa del error cuadrático medio	(%) desviación estándar relativa ganancia k_p	(%) desviación estándar relativa ganancia k_i	(%) desviación estándar relativa ganancia k_d
Algoritmo Genético	6.96714	17.3049	17.0272	16.3891
Algoritmo Genético con Fertilización In Vitro	3.5193	11.1956	11.1956	13.0862

Tabla 3. Repetibilidad de los algoritmos

Técnica	k_p	k_i	k_d	Error RMS	t_s	M_p (%)
Algoritmo Genético	-2.06049	-2.09224	-1.97492	0.4157	20.9	
Algoritmo Genético con Fertilización In Vitro	-2.04764	-2.08041	-2.06117	0.4137	20.9	
Ajuste de Nichols	-2.4	-0.6	-2.4	0.4779	34	

Tabla 4. Parámetros del Algoritmo Genético con Fertilización In Vitro

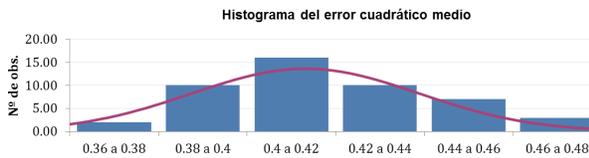


Figura 2 Histograma del error cuadrático medio con un GA

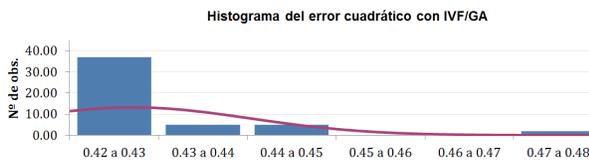


Figura 3 Histograma del error cuadrático medio con IVF/GA

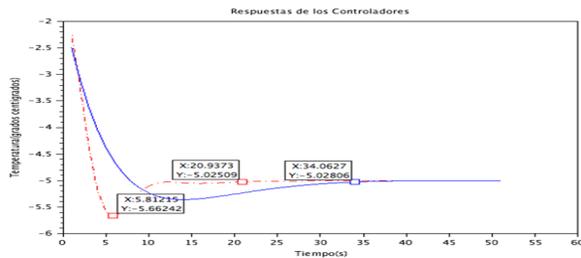


Figura 4 Respuestas de los ajustes propuestos

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a las figuras y las tablas producto de las simulaciones realizadas se observa que la técnica mas adecuada para la sintonización de un PID aplicado a una celda termoelectrónica es el IVF/GA. Esta afirmación se soporta en los siguientes hechos:

1. Presenta mayor repetibilidad con respecto al resto de los algoritmos propuestos.
2. Los tiempos de establecimiento es decir el tiempo en que la celda se establece a la referencia de -5 grados centígrados,

Como se muestra en las figuras 2 y 3 el IVF/GA, tiene una mayor repetibilidad, además cabe destacar que este converge en promedio en 15 generaciones contra las 30 de un GA. Se propone a futuro usar este algoritmo en otras técnicas de control.

REFERENCIAS

- [1] Yang X. S. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms United Kingdom :,Luniver Press (2011)
- [2] Peter R. Brinsden A Textbook of In Vitro Fertilization and Assisted Reproduction: The Bourn Hall Guide to Clinical and Laboratory Practice, Ed.Taylor & Francis, Reino Unido 2005
- [3] Camilo, Yamanaka In Vitro Fertilization Genetic Algorithm Applied To Multidimensional 0-1 Knapsack Problem Proceedings of The 2011 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing. USA
- [4] Tarter R., Solid-state power conversion handbook. United State of America: John Wiley and Sons (1993).
- [2] Song Shaojing Temperature Control of Thermoelectric cooler Based on Adaptive NN-PID International Conference on Electrical and Control Engineering (2010)
- [3] Burger, C. Propeller performance analysis and multidisciplinary optimization using a genetic algorithm. Auburn University). ProQuest Dissertations and Theses (2007)
- [4] Yang X. S. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms United Kingdom : Luniver Press (2011)
- [5] M.S.Saad, H.Jamaluddin,I.Z.M. Darus “Implementation of PID Controller tuning using differential evolution and Genetic Algorithms,” Int. J. of Innovative Computing, Information and Control (ICIC), Vol 8, num 11, pp 7761-7779, Nov (2012)
- [6] Renato A. Krohling and Joost P. Rey “Design of Optimal Disturbance Rejection PID Controllers Using Genetic Algorithms” IEEE Transactions on evolutionary computation, vol. 5, no. 1, february (2001)
- [7] Ming Yang Lei Zhang ; Weiping Zhao ; Zhanshuang Hu “Optimization of dc motor rotary speed controller based on the genetic algorithm” World Automation Congress (WAC), 2012, pp 1-4 June (2012)
- [8] G. Reynoso-Meza, J. Sanchis, J.M. Herrero, C. Ramos, “Evolutionary auto-tuning algorithm for PID controllers”, IFAC Conf. on Advances in PID control PID’12, Brescia(Italy), March 28-30,FrB1.6. (2012)
- [9] R.Valarmathi, P.R.Theerthagiri, S.Rakeshkumar “Design and Analysis of Genetic Algorithm Based Controllers for Non Linear Liquid Tank System” Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), pp 616 – 620 (2012)
- [10] Leehter Yao and Hong-Kang Wen “Design of Observer Based Adaptive” International Journal of Innovative Computing, Information and Control ICIC International 2013 ISSN 1349-4198 Volume 9, Number 2, (2013) pp 667,677
- [12] García-Mejía, Pérez-Guadarrama, Colín-Rivas Diseño de Controlador Proporcional-Integral-Derivativo de Celda Termoeléctrica mediante Algoritmo Genético con Codificación Real, Programación Matemática y Software, Volumen 6, Número 2014

Acerca de los autores



Juan Fernando García Mejía nació en 1972, en Toluca Estado de México. Recibió el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica en 2004 por el Instituto Tecnológico de Toluca. Desde 2004 trabaja en la Universidad Autónoma del Estado de México, como profesor de tiempo completo, tiene perfil Promep desde el año 2006, sus áreas de interés se centran en instrumentación virtual y en el uso de técnicas de softcomputing aplicadas a ingeniería de control automático.



Allan Antonio Flores-Fuentes nació en 1981. Recibió el grado de Ingeniero en Electrónica por parte del Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec, México en 2004. Obtuvo el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Toluca en 2009, México. Miembro SNI nivel candidato por parte del CONACyT de 2012-2014.

Desde 2011 se desarrolla en la Universidad Autónoma del Estado de México como profesor-investigador en el área de tópicos selectos de electrónica de potencia aplicada para el desarrollo de conversión de energía, implementando técnicas de control mediante uso de Soft-Computing.



José Arturo Pérez Martínez nació en Toluca, México, el 16 de Febrero de 1981. En 2004 recibió el título de Ingeniero en Electrónica y en 2010 recibió el Grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica, ambos del Instituto Tecnológico de Toluca, Toluca, México.

Actualmente labora en la Universidad Autónoma del Estado de México, donde es miembro del Cuerpo Académico “Desarrollo de Software, Dispositivos y Sistemas Aplicados a la Innovación Tecnológica”, en el Centro Universitario UAEM Atlacomulco, Atlacomulco, México. Su investigación consiste en el diseño de convertidores estáticos de Radio Frecuencia aplicados en la generación de plasmas a presión atmosférica en reactores con diferentes configuraciones. Actualmente se encuentra



José Antonio García Mejía nació en Toluca, México en 1982. Recibió el grado de Maestro en Tecnologías de la Información por la Universidad Autónoma del Estado de México en 2015.

Desde 2010 es profesor de asignatura de las licenciaturas de Ingeniería en Computación e Informática Administrativa. Sus áreas de interés son la electrónica analógica y digital.