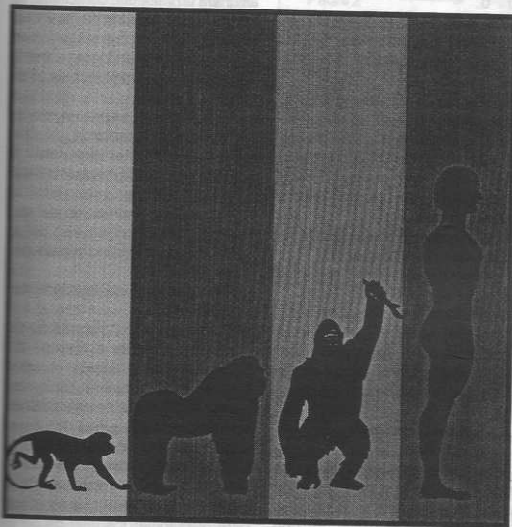


Los algoritmos genéticos en el ajuste óptimo de reguladores



□ María del Carmen Hernández Carús, Esp.
Ingeniera en Control Automático
Universidad Central de las Villas
Cuba

RESUMEN

Los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda, inspirados en los fenómenos biológicos de selección y recombinación natural que simulan la evolución de los individuos que forman una población y que, a la vez, son soluciones a un determinado problema. Son robustos y eficientes cuando se quiere encontrar soluciones cercanas al óptimo.

En este artículo se presenta el método de los algoritmos genéticos en el ajuste de un controlador PID, en un problema sencillo. Se comparan los resultados con los obtenidos utilizando los métodos tradicionales de Ziegler-Nichols. Además se hace un análisis sobre la influencia que tienen los parámetros de control del algoritmo genético sobre el desempeño del mismo.

ABSTRACT

The Genetic Algorithms are inspirational search algorithms in the biological selection phenomena and recombination natural that simulate the evolution of the individuals that form a population and that at the same time they are solutions to a given problem. They are healthy and efficient when it is wanted to find nearby solutions optimum. In this article is presented the method of the genetic algorithms in the adjustment of a PID controller in a simple problem. They are compared the results with the obtained using the traditional methods of Ziegler-Nichols. Furthermore it is made an analysis on the influence that have the parameters of control of the genetic algorithm on the performance of the same.

1. INTRODUCCIÓN

Los algoritmos genéticos imitan los principios de la evolución biológica

tales como la reproducción, la recombinación genética y la selección, para aplicarlos en programas de computadoras y buscar soluciones a problemas de ingeniería. Un algoritmo genético opera sobre un conjunto de candidatos (soluciones) llamado población. Este conjunto usualmente se codifica en cadenas binarias, que tienen longitud fija y se evalúan de acuerdo a determinada figura de mérito que indica cuán apto es un individuo (o solución). La población se crea aleatoriamente; su tamaño, recomendado por Goldberg (1985) puede estar en el rango $30 < N < 200$ (donde N es el número de individuos que forman una población y va evolucionando por generaciones). En cada generación las cadenas se reproducen selectivamente, de acuerdo a su aptitud, y son modificadas mediante los operadores genéticos de cruce y mutación. La fase de selección asegura que sobrevivan los individuos más fuertes, mientras que la recombinación genética garantiza que la información fluya a través de las cadenas o individuos. Como consecuencia de lo anterior, el algoritmo usualmente converge hacia una población cuyos miembros representan soluciones cercanas al óptimo, según requerimientos previamente establecidos. Los reguladores Proporcional Integral Derivativos PID son ampliamente usados en el control de procesos industriales debido a su generalidad y simplicidad, es precisamente por ello que es un reto permanente mejorar los métodos de ajuste y optimización de los mismos. Para el ajuste de sus parámetros, ganancia proporcional (K_c), tiempo de integración (T_i) y tiempo de derivación (T_d), se ha usado por décadas el método de Ziegler Nichols. Para la optimización se han usado métodos matemáticos que integran el error en diferentes variantes. Los métodos de la respuesta de frecuencia y la curva de reacción también se pueden incluir en este

grupo para ajustar y optimizar reguladores; sin embargo, en muchos casos resultan del ajuste respuestas con inaceptable comportamiento. Por lo expuesto y por las potencialidades que brindan los algoritmos genéticos en la solución de tareas de optimización es que se decide utilizar este método como una posible vía para resolver los inconvenientes planteados. En este análisis se estudiará la aplicación de control mostrada en la figura 1

2. EL ALGORITMO GENÉTICO EN EL AJUSTE DEL REGULADOR

Para diseñar un algoritmo genético, en un problema dado, es necesario definir ciertos elementos de los cuales él dependerá. Estos influyen tanto en su eficiencia como en la calidad de los resultados. Estos elementos son:

- Representación codificada de las soluciones candidatas.
- Función objetivo para evaluar las soluciones
- Operadores genéticos a utilizar
- Parámetros del algoritmo tales como: tamaño de la población, número de generaciones y operadores de probabilidad.

2.1. Representación codificada

Cada parámetro del regulador es una subcadena binaria de 8 bits, los cuales, al unirse, forman un individuo de 24 bits que representan una

solución como se muestra en la figura 2. El rango de valores en que se encontrarán K_c , T_i y T_d debe ajustarse al inicio del algoritmo.

2.2. La función objetivo

La función objetivo constituye una de las partes más importantes de los algoritmos genéticos porque en ella está presente el atributo o los atributos que se desean optimizar. Con esta función se evaluará cada individuo y en correspondencia con el comportamiento de éste, se le asignará un valor que caracteriza su aptitud para realizar la tarea en cuestión. Los criterios utilizados en este trabajo fueron: lograr mínima sobrecresta con un tiempo de establecimiento fijo.

La función objetivo tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Tiempo de establecimiento y sobrecresta de la respuesta dada por cada individuo
- Tiempo de observación del experimento
- Tiempo de establecimiento deseado.
- Valor deseado de la salida del sistema.

Si la respuesta del sistema no se estabiliza durante el tiempo de observación, la función objetivo tendrá un valor mínimo. Si la respuesta del sistema se estabiliza en un tiempo menor que el de observación, pero mayor que el tiempo de establecimiento deseado, la función objetivo tendrá un valor entre el mínimo y un umbral que se utiliza para discriminar los tríos de pará-

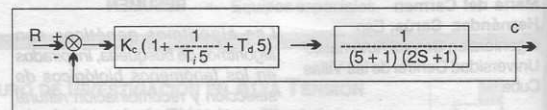


Figura 1. Diagrama de bloque equivalente del lazo de control.

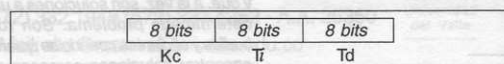


Figura 2. Representación de un individuo

metros que cumplen con el tiempo de establecimiento, de los que violan este requisito. Si la respuesta del sistema se estabiliza en un tiempo menor que el deseado entonces la función objetivo tendrá un valor entre el umbral y el máximo.

Estos valores mínimo, umbral y máximo, de la función objetivo pueden fijarse previamente.

2.3. Operadores genéticos

Se utilizan en este estudio los tres operadores básicos: selección, cruce y mutación.

La selección es el operador mediante el cual el individuo se copia proporcionalmente a su aptitud para solucionar un problema, con vistas a formar un conjunto intermedio de individuos a los que se le aplicarán los demás operadores. Seleccionar individuos acorde a su fuerza significa que los individuos con mayor idoneidad tienen una mayor probabilidad de contribuir con una o más copias en la siguiente generación. La función objetivo es la que determina la fuerza de cada individuo.

Para implementar este operador se simula una ruleta que dará mayor probabilidad de seleccionarse a los individuos más aptos.

El cruce se realiza aleatoriamente entre individuos que han sido seleccionados con una probabilidad de cruce P_c . La posición en que se efectúa el cruce también se decide aleatoriamente, esta posición está dada por un número entero entre 1 y (L_c-1) donde L_c es el largo de la cadena o individuo. Frecuentemente, en la literatura, a los individuos seleccionados para cruzarse se les denomina padres y a las nuevas cadenas formadas, hijos. Esto se muestra en la figura 3.

En este punto del algoritmo pueden seguirse varios caminos:

- Mantener el tamaño de la población fija, en la que los hijos sustituyen a los padres.
- Hacer una población intermedia que comprenda a los padres y a los hijos; esta población existirá

temporalmente, porque siempre al comenzar el algoritmo el tamaño de la población debe ser fijo.

La mutación consiste en recorrer cada uno de los nuevos individuos (hijos) y cambiar aleatoriamente, según determinada probabilidad de mutación, P_m , su valor actual por el contrario (de 1 a 0 o viceversa), tal como se muestra en la figura 4.

En un algoritmo genético, la selec-

2.5. Funcionamiento del algoritmo genético

El funcionamiento del algoritmo genético sigue los siguientes pasos:

1. Se genera aleatoriamente una población inicial de 30 individuos.
2. Se evalúa el comportamiento de cada uno de los individuos con la función objetivo.
3. Se aplican los operadores genéticos para formar una nueva población o generación.

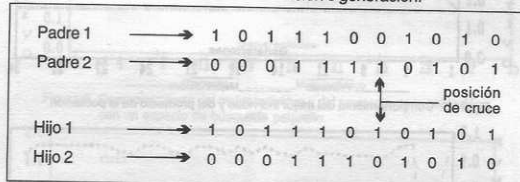


Figura 3. El cruce

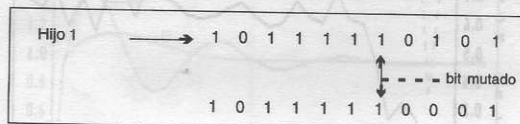


Figura 4. La mutación

ción y el cruce juegan el papel fundamental. Téngase en cuenta que siempre se trabaja con una probabilidad de cruce muy alta, lo cual se fundamenta en que el intercambio de soluciones valiosas es la forma idónea de llegar a la mejor solución. Por su parte, la mutación es un operador secundario en el algoritmo genético y siempre tiene una probabilidad muy baja. Se utiliza para evitar que se pierda alguna característica importante de los individuos.

2.4. Parámetros del algoritmo

Se realizaron experimentos con una población de 30 individuos, una probabilidad de cruce $P_c = 0,7$ y una probabilidad de mutación $P_m = 0,05$. Esta última se varió y se obtuvieron resultados elocuentes.

4. Si se cumple el criterio de parada, que puede ser el número de generaciones, o un determinado índice de comportamiento que se alcance, el algoritmo terminará; de no ser así se volverá al punto 2.

3. EXPERIMENTOS

En la figura 5 puede observarse el resultado de una corrida donde se utilizó una población de 30 individuos, una $P_c = 0,7$ y $P_m = 0,05$; además, se utilizó la variante de crecer la población intermedia, esto es, al cruzar dos padres, estos no se desechan sino que se mantienen junto a los hijos para ser evaluados todos. Si los hijos son mejores que los padres, estos quedarán en la próxima generación, si no lo son, entonces, quedarán los padres. El rango de variación de los pará-

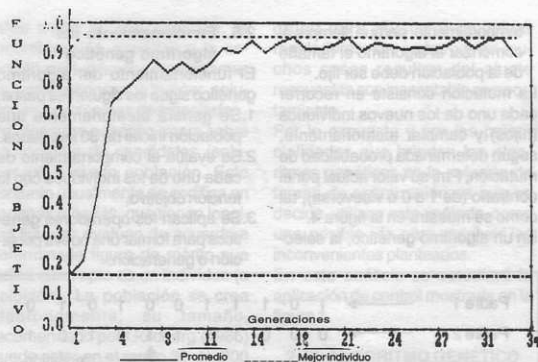


Figura 5. Comportamiento del mejor individuo y del promedio de la población

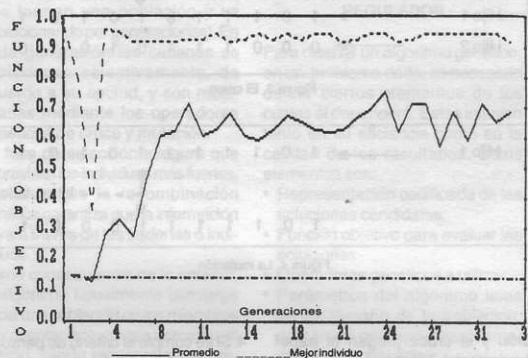


Figura 6. Comportamiento del mejor individuo y del promedio de la población aumentando PM a 0.4.

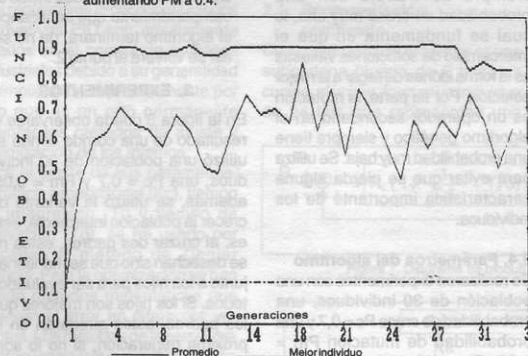


Figura 7. Comportamiento del mejor individuo y del promedio de la población con $P_c=0.7$ y $P_m=0.05$ sin crecer la población intermedia.

metros fue amplio. K_c y T_i entre 1 y 15, mientras T_d entre 0,18 y 15.

En la figura 6 se muestran los resultados que se obtienen cuando se varió la probabilidad de mutación con respecto al experimento anterior; para este caso $P_m=0.4$.

En la figura 7 se dan los resultados que se obtienen cuando no se formó una población intermedia mayor, sino que al cruzar se tomó sólo en cuenta a los hijos.

En la figura 8 está el resultado de reducir el intervalo de valores que pueden tomar los tres parámetros del regulador, K_c , T_i T_d .

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tal como puede apreciarse en la figura 5 se logra la convergencia hacia el óptimo en el promedio de la población y el mejor individuo tiene un comportamiento bueno desde las primeras generaciones. En la figura 6 al aumentar la probabilidad de mutación se observan que los resultados empeoran y no se logra la convergencia esperada, lo que corrobora el papel secundario de este operador en el algoritmo genético.

De la figura 7 se muestra que no hay mejoría de generación en generación, lo cual ocurre porque se están desechando soluciones valiosas, constituidas por los padres que no se tuvieron en cuenta.

Si se tiene algún conocimiento previo a los resultados que se deben esperar y el rango de valores que se genera aleatoriamente, es más pequeño y cercano al real, entonces se tienen mejores resultados como se observa en la figura 8, donde se presenta una rápida tendencia a la convergencia.

Por último, en las figuras 9 y 10 se muestran las respuestas del sistema con los ajustes del regulador por métodos tradicionales (A) y con los algoritmos genéticos (B) en dos corridas diferentes. Los resultados son alentadores. Se logran respuestas que tienen similitud en

cuanto a rapidez, pero con mejores características en cuanto a sobrecresta y tiempo de establecimiento con algoritmo genético que con técnicas convencionales.

5. CONCLUSIONES

En el desempeño de un algoritmo genético es importante la selección adecuada de sus parámetros de control, la probabilidad de cruce debe ser alta para garantizar que se intercambie "material genético" de calidad entre los mejores individuos. La probabilidad de mutación debe ser baja de modo que sólo cumpla su papel secundario que es evitar la pérdida de alguna característica importante de los individuos. El tamaño de la población incide en los resultados; poblaciones muy grandes garantizan mayor posibilidad de tener mejores soluciones, pero atentan contra la velocidad de ejecución del algoritmo; por lo tanto, hay que lograr un compromiso. La función objetivo debe seleccionarse adecuadamente porque esto garantiza la calificación correcta de los individuos.

La capacidad de los algoritmos genéticos para tratar simultáneamente varias soluciones, implica, por tanto, su potencialidad para la determinación y tratamiento simultáneo de varios conjunto de parámetros óptimos.

Se evidencian las ventajas sobre todo desde el punto de vista computacional, dada la rapidez en alcanzar la convergencia, a veces en un reducido número de generaciones.

Los resultados de esta contribución constituyen una base al menos de la aplicación exitosa de la técnica de los algoritmo genético en el ajuste óptimo de los parámetros de un regulador PID.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1.] DAS, R., GOLDBERG D.E., "Discrete-time parameter estimation with Genetic Algorithms". Pro-



Figura 8. Comportamiento del mejor individuo y del promedio de la población con un espacio de búsqueda pequeño.

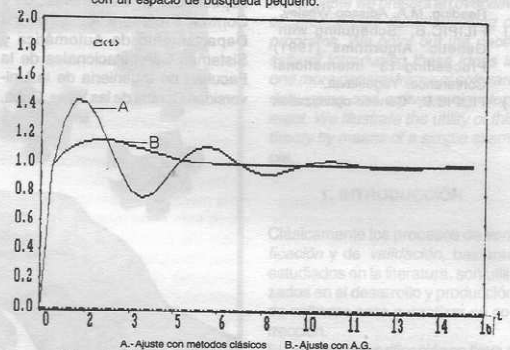


Figura 9. Respuesta del sistema a entrada paso unitario

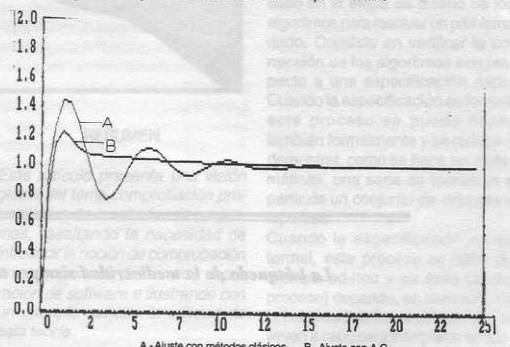


Figura 10. Respuesta del sistema a entrada paso unitario

- ceeding of the 9 Annual Pittsburgh. (1988) Conference on Modeling and simulation, pp 2391-2395
- [2.] KRISHNAKUMAR. K, GOLDBERG. D.E. "Genetic Algorithms in control systems optimization". AIAA Guidance, Navigation and Control. (1990) Conference, Portland, Oregon
- [3.] NORVIK. J.P, RENDERS. J.M. "Genetic Algorithms and their potential for use in process control: A case study". (1991) In International Conference on Genetic Algorithms. San Diego, USA
- [4.] GOLDBERG. D.E. "Genetic Algorithms in search, optimization, and machine learning". 1989, Reading, M.A. Addison-Wesley.
- [5.] FILIPIC.B, "Scheduling with Genetic Algorithms".(1991) Proceeding 13th International Conference, Yugoslavia.
- [6.] FILIPIC.B, "Genetic optimization of controller parameter".(1992) Proceeding 14th International Conference Information Technology Interfaces, Croatia.
- [7.] FILIPIC.B, JURICIC.D, "An iterative Genetic Algorithm for controller parameter optimization".(1993) Proceeding of the International Conference on Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms", Austria

AUTOR

María del Carmen Hernández Carús.
Ingeniera en Control Automático, Especialista en Instrumentación y Control, Profesora Asistente del Departamento de Automática y Sistemas Computacionales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de las Villas, Cuba.



Ha desarrollado trabajos de investigación en el campo de la identificación de sistemas y la simulación adaptiva y, en los últimos

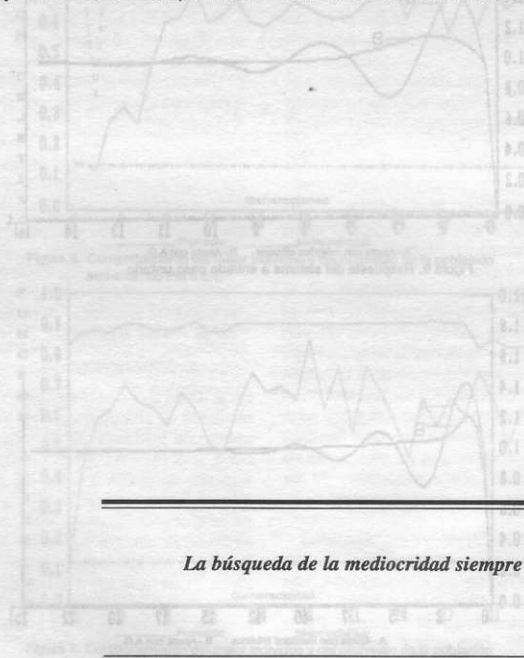
años, en la utilización de técnicas modernas como los algoritmos genéticos en la identificación de Procesos Termoeenergéticos y biológicos.

Ha sido tutora de más de 15 trabajos de diploma y ha asesorado algunos trabajos en proyectos de automatización para la producción.

Es autora de varios trabajos publicados en revistas nacionales y 2 en revistas internacionales.

Ha presentado trabajos en eventos científicos de carácter nacional e internacional.

Email: fine@ucentral.quantum.inf.cu



La búsqueda de la mediocridad siempre tiene éxito.

Anónimo