

Comparación de Métodos de Control de Procesos

Victoria Eugenia Patiño
 Decana Facultad de Ingeniería
 Instituto Tecnológico de Educación Superior de Comfacauca
 vpatiño@tecnologicocomfacauca.edu.co

Resumen

La teoría para control de procesos, desde el punto de vista de los métodos clásicos, se basa en el conocimiento de la dinámica de éstos; sin embargo, conocer esta dinámica no siempre es posible de manera precisa debido a la complejidad de los sistemas que se demandan actualmente. Así, se han formulado y validado nuevas teorías y métodos como los algoritmos genéticos y la lógica difusa que han permitido su abordaje y control. En este contexto, este artículo muestra los resultados obtenidos a partir de los experimentos realizados con diferentes métodos de control aplicados a una planta piloto MOVILAB-CODILUM que posee la Universidad Pontificia Bolivariana. En el trabajo inicialmente se realizó el modelo estático y dinámico de la planta a través del cual se encontró la función de transferencia que definió el comportamiento de ésta, posteriormente se realizaron simulaciones con Matlab para verificar si el modelo encontrado se ajustaba al comportamiento real de la planta. Finalmente, con un controlador PI (Proporcional Integral) se realizaron y compararon experimentos reales empleando técnicas de control basadas en algoritmos genéticos y lógica difusa.

Palabras clave: Métodos de control, modelos estáticos y dinámicos, lógica difusa, algoritmos genéticos.

Introducción

Tratando de solucionar problemas que ocurrían cuando se trataba de controlar un proceso no lineal mediante las técnicas de control clásico, han surgido en las últimas décadas, técnicas de control tendientes a obtener mejores resultados en dichos procesos.

Tal es el caso de la aplicación de algoritmos genéticos en la optimización de los parámetros de un control y de la lógica difusa en el desarrollo de sistemas de control. Hace unos pocos años hablar de un control con algoritmos genéticos o con lógica difusa no era algo común en el día a día de los ingenieros y sus beneficios no se habían determinado aún.

Hoy en día, la cotidianidad presenta electrodomésticos basados en controles difusos y aplicaciones industriales que logran resultados ventajosos con respecto a los métodos tradicionales.

Dentro de este marco, este trabajo evalúa el desempeño de controles diseñados mediante diferentes métodos con el fin de establecer criterios de selección de los mismos que puedan ser usados para casos industriales, de bioingeniería y comerciales.

Para esto, se realizó el modelaje de una planta real utilizando los controladores disponibles y se compararon los resultados para un amplio espectro de criterios de desempeño y una buena familia de controladores.

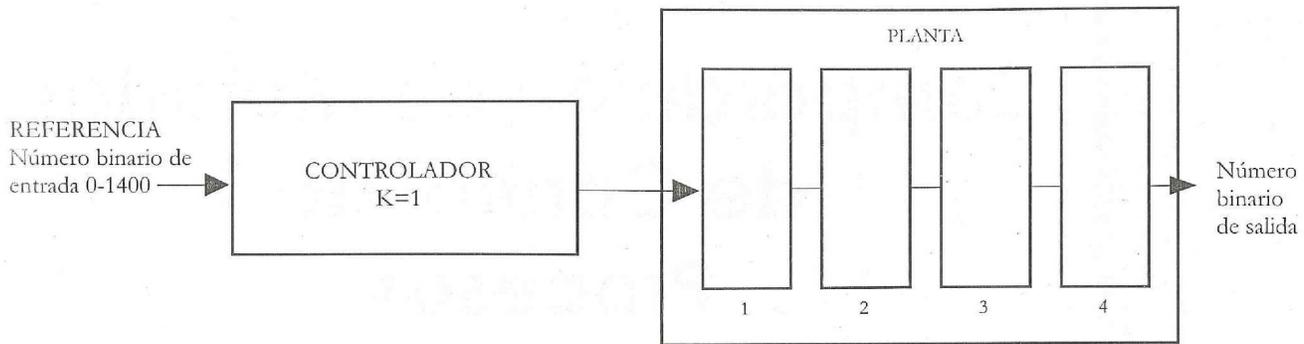


Figura 1. Configuración del sistema en control de lazo abierto.
1. Motor 2. Tacogenerador 3. Conversor A/D 4. Circuito aislamiento.

1. Modelaje estático y dinámico

Inicialmente, se realizó el modelaje estático de la planta para lo cual se configuró el sistema como un control de lazo abierto. Cuando se trabaja con esta opción de control, la entrada del controlador es igual a la señal de referencia, la señal de retroalimentación sólo se usa para graficar la respuesta del sistema (dado que ella representa la medida de la variable controlada). El sistema utilizado se ilustra en la Figura 1.

A través de múltiples ensayos, se estimaron diferentes coordenadas para el punto Q (punto de operación deseado), las cuales se variaron cuando fue necesario reducir el error. El cálculo de éste último se basó en la diferencia existente entre la regresión lineal obtenida con el software y la gráfica real que indicaba qué tan ajustados estaban los resultados a una línea recta. De los datos obtenidos se escogió el experimento que presentó el mejor resultado y se repitió de nuevo cuatro veces. Las respuestas obtenidas se promediaron para graficar finalmente la salida promedio con diferentes deltas de entrada desde ± 50 hasta ± 500 con incrementos de 50 alrededor del punto Q.

Después de comparar resultados se escogió el experimento que garantizaría que ante un sobreimpulso u oscilación indeseada, el sistema no trabajara en zonas donde podía presentar saturación. En esta porción se obtuvo un coeficiente de regresión muy cercano a la unidad,

lo que garantizaba que la aproximación lineal era muy buena. El error obtenido a la salida estuvo dentro de los rangos tolerables experimentalmente. Todo esto indicó los valores extremos del escalón de referencia que debían utilizarse en el experimento dinámico.

Para el modelaje dinámico de la planta se empleó un escalón como señal de referencia y se alimentó el sistema con una señal cuyo valor de CD fuera igual al valor inferior de la zona lineal. Después de esperar la estabilización del sistema se aplicó un paso para fijar la señal en el nivel superior de la zona lineal, se esperó nuevamente la estabilización y se retiró la excitación del sistema al valor inicial de CD. El sistema usado se configuró también como lazo abierto.

Este experimento fue realizado varias veces hasta obtener respuestas con muy bajos niveles de ruido. De estas repeticiones se observó que el sistema se comportaba como un sistema de primer orden y que, además, se podían encontrar experimentalmente las frecuencias de corte. Así, se realizaron todos los cálculos para encontrar la función de transferencia de primer orden del sistema.

2. Función de transferencia

De la deducción de que el sistema, según los experimentos, era de segundo orden sobreamortiguado dentro del rango en consideración, se encontró la mejor función de

transferencia que se adecuó al sistema. A través de ésta se consiguió explicar fenómenos como sobreimpulsos y oscilaciones que serían imposibles de analizar si se suponía un sistema de primer orden. El procedimiento consistió primero en encontrar el lugar de las raíces de la ecuación característica del sistema para, de este modo, determinar el valor de la constante K que ha de brindar una raíz, o un polo de lazo cerrado en un punto deseado y de esta manera conocer los efectos de las modificaciones en el valor de K sobre el comportamiento en la respuesta transitoria del sistema de segundo orden.

De este análisis se pudo concluir que, si se realiza un experimento en el cual se configure la planta en lazo cerrado y se coloque un controlador proporcional con una constante suficientemente alta para que el sistema total -que es un sistema sobreamortiguado- llegue a comportarse como uno subamortiguado, experimentalmente se pueden encontrar ciertos parámetros con los cuales es posible encontrar la función de transferencia. Para esto es importante tener en cuenta las especificaciones de respuesta transitoria en sistemas subamortiguados.

3. Simulación

La simulación de la planta como sistema de lazo cerrado y de lazo abierto se realizó utilizando el Simulink de Matlab® y las funciones de transferencia encontradas, esto con el fin de comprobar qué tanto se ajustaba el modelo

encontrado a la planta real. Al analizar las simulaciones se encontró que el modelo cuya respuesta se ceñía más a la salida real de la planta empleada, fue el modelo cuyos parámetros fueron encontrados a partir de la excitación; ya que con éste se logró un buen ajuste, como era de esperarse, y aunque no se obtuvo la mejor aproximación en la desexcitación, el comportamiento promedio de ella se pudo considerar como el más ajustado.

4. Diseño de un controlador óptimo

Para el diseño de un controlador óptimo se tuvo en cuenta la teoría de los criterios de error y los índices de error de desempeño siguientes:

CECI: Criterio Integral de Error Cuadrático;

CECIT: Criterio Integral de Error Cuadrático por Tiempo;

CEAI: Criterio Integral de Error Absoluto;

CEAIT: Criterio Integral del Producto de Error Absoluto por Tiempo.

Inicialmente, se desarrolló un programa en Matlab mediante el cual fuera posible minimizar alguno de estos criterios con respecto a los parámetros K_p (coeficiente proporcional) y K_i (coeficiente integral) de un controlador PI. Luego, se realizó otro programa con un software especial creado para la planta real y se creó un control PI en donde los parámetros K_p y T_i (tiempo integral) fueran hallados mediante la m-file del Matlab para cada criterio. Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento paralelo (Matlab-planta) pero incluyendo dentro del modelo la digitalización que

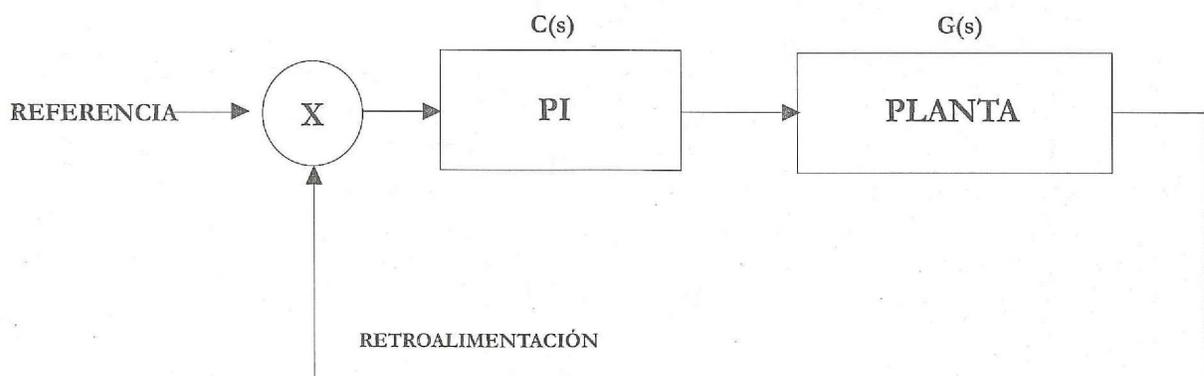


Figura 2. Diagrama de bloques de un control PI para la planta real.

$$C(s) = K_p(1+1/T_iS) \quad G(s) = 1.644/(S^2+5.369S+3.6799)$$

lleva a cabo el conversor A/D que se encuentra en la rama de retroalimentación de la planta real, para de esta manera hacer que los valores de los parámetros que se buscaban no llevaran a que la salida oscilara. El modelo empleado para estos experimentos de ilustra en la Figura 2.

Al final del experimento se lograron errores teóricos y experimentales similares, comprobándose la efectividad del modelo.

5. Experimentos con otros métodos de control

Esta parte del proyecto consistió en diseñar experimentos con los controladores existentes. Primero se experimentó con la optimización de los parámetros del control PI mediante algoritmos genéticos y luego mediante lógica difusa. En ambos casos se utilizaron herramientas de software diseñadas y probadas en trabajos anteriores.

Aunque no es el propósito de este artículo definir los conceptos de algoritmos genéticos y lógica difusa, se hará referencia a su significado para entender mejor los resultados de esta investigación.

Los algoritmos genéticos son algoritmos de optimización y búsqueda, inspirados en los mecanismos naturales de la evolución y la genética natural para encontrar soluciones óptimas en un amplio dominio de problemas (Ogata, 1993). Para hallar la solución a un problema, los algoritmos genéticos se basan en los mecanismos naturales de la evolución para producir individuos cada vez más aptos, los cuales para la búsqueda artificial representan optimización al problema particular. Inicialmente se escoge aleatoriamente n individuos para formar la población de la generación 0. Los individuos son lugares particulares en el espacio de búsqueda y son representados mediante cadenas de bits $\{0,1\}$ o en general mediante un alfabeto K -ario, con el objetivo de simular cromosomas (Betancur, 1995).

La selección natural es realizada mediante una función de evaluación de cada individuo, la cual determina qué tan apto es comparado con otros

individuos de la población. Entre más apto sea un individuo, mayor será su probabilidad de supervivencia y reproducción y mayor será su representación en la generación siguiente. Igual que en la naturaleza, esta selección provee el mecanismo de guía necesario para que sobrevivan los mejores individuos y con el paso de las generaciones se obtengan las mejores soluciones. La recombinación de material genético se realiza en estos algoritmos a través de la reproducción y el cruce, operaciones que consisten en intercambiar partes de las cadenas de bits de dos progenitores para formar nuevos individuos, los cuales deben ser evaluados para determinar si son aptos y para reemplazar a sus progenitores formando una nueva generación.

Otra operación genética inspirada en la naturaleza es la mutación, la cual causa alteración esporádica y aleatoria de los bits de las cadenas y su objetivo es generar material genético perdido. El proceso completo de selección, reproducción, cruce y mutación se repite con cada nueva generación de individuos hasta que se ha encontrado la solución óptima (Betancur, 1995).

La Lógica Difusa o borrosa, se enmarca actualmente dentro de las metodologías de control inteligente conocidas como *softcomputing*. Esta disciplina aparece como la generalización o complemento de la lógica booleana tradicional. En lugar de aceptar que un enunciado es falso o verdadero (binario, bivaluado, discontinuo), se supone que puede tener grados de verdad o de falsedad (continuo), tal como sucede en la vida cotidiana.

Estos grados de verdad o falsedad son las llamadas variables lingüísticas que no son más que etiquetas de los conjuntos difusos del universo de los objetos. Es decir, que las variables adquieren valores que no son ni 1 o 0, ni falso o verdadero sino: muy, poco, casi, cerca, menor que, mayor que, etc. (Lee, 1990).

Teniendo como base este conocimiento y utilizando los software mencionados se realizaron los experimentos de optimización de los parámetros del control PI utilizado.

Tabla 1. Comparación de métodos de control de procesos

	CONTROL CLASICO	ALGORITMOS GENETICOS	CONTROL FUZZY
CECI	2127.00	1640.00	8539.00
CECIT	371.05	234.43	2812.65
CEAI	213.00	213.000	605.00
CEAIT	254.38	94.48	313.70

Resultados

A continuación se presentan los resultados encontrados según los criterios de error y los índices de error de desempeño considerados:

No puede concluirse de la tabla 1, que el control con lógica difusa sea el de peor desempeño, pues el control diseñado no se sintonizó totalmente, como sí se hizo con los otros dos. Lo que se quiso mostrar, fundamentalmente, fue la facilidad para desarrollar el control dentro de unos rangos de respuesta aceptables, lo que desde la óptica del control clásico, involucraría mucho tiempo y esfuerzo. Sí se puede comparar, en cambio, la sintonía de un control PI con algoritmos genéticos con respecto a uno que ha sido sintonizado con técnicas de control clásico. A partir de esto, se concluye evidentemente que la sintonía del control lograda a partir de algoritmos genéticos arroja mejores resultados, debido fundamentalmente a que en ella se trabaja con la planta (con sus zonas muertas, de saturación, ruidos, etc.) y no con un modelo aproximado de la misma (en el cual no se tienen en cuenta las no linealidades del proceso y en un ambiente libre de perturbaciones).

Una ventaja adicional que no tiene que ver con la comparación de la tabla, es la rapidez con la que se sintoniza el control PI con algoritmos genéticos que es en general, muy superior a la sintonía del control mediante técnicas clásicas.

Conclusiones

En este trabajo se realizó el modelaje de una planta real en la cual se utilizaron controladores PI y controladores basados en algoritmos genéticos y

lógica difusa con la finalidad de establecer sus criterios de desempeño y realizar su comparación. A continuación se presentan las consideraciones resultantes de esta comparación.

- Método clásico

La consecución de este modelo puede resultar muy dispendiosa, por lo que el investigador debe sacrificar precisión en el mismo para facilitar su cálculo, lo que conlleva a que el modelo no sea el más aproximado en todo el rango de operación.

Como el modelo que se encontró es un modelo adecuado para un rango de operación especial, al sintonizar el control PI con éste no se puede garantizar un buen comportamiento del proceso fuera de este rango.

Una ventaja importante que resulta, si ya un modelo aproximado fue encontrado, es que la optimización del control se puede hacer off-line (no se tiene que parar la planta para realizar el proceso de optimización del control) mediante cualquier método. Lo cual se refleja en un ahorro de dinero y disminución de tiempos improductivos en la planta; como también en la rapidez de optimización, pues depende de los equipos con los que se realice (siendo este el caso de la optimización de los parámetros mediante algoritmos computacionales que no funcionan en tiempo real).

Con un buen modelo, la simulación del proceso mediante un computador puede dar una información muy importante acerca del comportamiento futuro de la planta y permitirá evaluar su estabilidad fácilmente (simulando cualquier control y cualquier tipo de referencia).

Se debe tener mucho cuidado cuando se optimiza el control mediante algoritmos computacionales, pues este proceso se hace en un ambiente libre de ruidos, lo que conlleva a diferencias entre lo teórico y lo real.

- Control con algoritmos genéticos

La principal ventaja de esta técnica es que no es necesario tener el modelo de la planta (al menos en el caso on-line), pudiendo optimizar los parámetros de un control PI en cualquier rango de operación (es posible que haya zonas en las que no se pueda encontrar una adecuada combinación de parámetros que garantice una respuesta aceptable). Una desventaja de este método es que es puntual, es decir, los algoritmos genéticos optimizan los parámetros para un rango en especial y por tanto, si se va a operar en un rango diferente no se puede garantizar que los parámetros encontrados sean los óptimos.

- Control con lógica difusa

Como en el caso de la optimización mediante algoritmos genéticos, la principal ventaja radica en que no se necesita el modelo de la planta, basta con tener un conocimiento empírico de ella. Sintonizar un control Fuzzy, aunque es difícil dada la gran cantidad de variables que se pueden manipular, tiene en cuenta todas las no linealidades del proceso, por tanto, el comportamiento de la planta es aceptable en cualquier rango de operación.

Cuando se tiene un control (PI, PID) funcionando adecuadamente en un proceso, no se debe abandonar para introducir controles fuzzy, puesto que se puede ganar en algunos aspectos y perder en otros. Se gana en cuanto a que se tiene un control más eficiente en cualquier punto de operación, pero se pierde en cuanto a la inversión en capital y tiempo a menos que se usen procesadores fuzzy.

Bibliografía

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México. 1993.

BETANCUR BETANCUR, Manuel. Introducción a la Mecatrónica. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. 1995.

LEE, C. Fuzzy Logic in Control Systems: fuzzy logic controller, part I. IEEE Trans. Systems, Man, Cybernet vol. 20, No. 2. 1990.