

EL ABC DE LA AUTOMATIZACION

CONTROL AVANZADO; por Mario Fernández

Introducción

Cuando se hace referencia a “Control Avanzado” se quiere indicar la aplicación de estrategias de control automático que trascienden las que usualmente se aplican en control de procesos. Ejemplos de las técnicas de control más usuales de sistemas SISO (una entrada – una salida) son el control PID en sus diversas formas –ajuste manual o automático (“selftuning”)–, control de razón, sistemas de “Adelanto-Atraso” (“Lead-Lag”) por reasignación de polos y ceros, control digital discreto (usando PLC’s), etc., las mismas que pueden aplicarse sobre sistemas MIMO (multivariables), usando el concepto de desacople de lazos a partir del análisis de la matriz de ganancias relativas de Bristol, quedando limitado a sistemas con igual número de variables de entrada que de salida. En general, estas estrategias pueden denominarse de “parámetros óptimos” ya que, partiendo de una estructura algorítmica fija, se modifican sus parámetros con el objeto de lograr la respuesta del proceso que mejor se adecue a los requerimientos del mismo, conforme a un criterio de optimización fácil de entender y manejar por un operador de planta (Ver: ABC-Algoritmos de control PID). Esta forma de operar tiene –entre sus ventajas principales– que puede ser fácilmente implantada con circuitos electrónicos analógicos y/o digitales, pudiendo construirse controladores PID en gabinetes compactos y comercializarse individualmente como tal. Asimismo, la simpleza de la programación de un algoritmo PID digital ha posibilitado que la mayor parte de las empresas fabricantes de equipos del rubro de la automatización (PLC’s, sistemas de adquisición de datos (DAS), o sistemas de control distribuido (DCS)) incorporen módulos de control PID dentro de sus productos. Por lo general, este tipo de control presenta buenas condiciones de desempeño para la mayoría de los procesos industriales tradicionales, lo que prácticamente asegura su permanencia en el tiempo. Sin embargo, existen procesos que –por su grado de complejidad– no pueden ser operados usando técnicas de control convencional de forma eficiente, y requieren aplicar técnicas de control avanzado para alcanzar las prestaciones deseadas. En las próximas líneas se hará referencia a la visión del autor de estas formas “avanzadas” de control, las que –en parte– pueden ser contrastadas y ampliadas en [1].

¿En qué se basa el “Control Avanzado”?

Existen diferentes formas de control automático que responden a este tipo de denominación. En general, todas se basan en un conocimiento más o menos acabado del sistema a controlar, tanto de su fenomenología como de sus condiciones de operación, a través de un modelo matemático que lo describa en forma bastante aproximada, en todo su rango de operación y para cualquier instante de tiempo (situación relevante en procesos por lotes o “batch”). Este modelo se usa tanto como parte integrante del sistema de control como para evaluar el desempeño del sistema a través de técnicas de simulación. Por lo

general, ninguno de los algoritmos de control avanzado pueden considerarse de “parámetros optimizados” sino que responden mas bien a estrategias de “estructura optimizada”, ya que su estructura depende del sistema particular a controlar. El desarrollo de este tipo de algoritmos –por lo general- implica una fuerte plataforma computacional y, por tanto, difícilmente pueda pensarse en encontrar productos comerciales que los contenga (salvo excepciones de simple implantación como es el caso de control por lógica difusa (“fuzzy logic”), al que se hará referencia en un próximo párrafo). Esto hace que este tipo de control no pueda ofrecerse como “un producto particular”, disponible en un gabinete DIN o equivalente, sino que la estrategia de control se programa dentro de un computador, para cada caso. Por tanto, controladores con estrategias de control avanzado no pueden “comprarse en el mercado”, sino que requieren ser configuradas por un experto en control, quien deberá posteriormente capacitar al operador del proceso para hacer los ajustes que podrían requerirse durante la operación rutinaria del sistema que esté siendo controlado.

¿Cuáles son las estrategias de Control Avanzado más conocidas?

Sin duda, y siguiendo la definición dada de control avanzado, existen diversidad de estrategias de control que responden a esta clasificación, principalmente provenientes del mundo académico-científico. Sin embargo, la dificultad para poder ser operadas por personal con escaso nivel de formación profesional así como para generalizarlas a sistemas de diferente naturaleza, ha provocado que pocas sean las que han trascendido del ámbito académico al industrial. A continuación, se hace referencia a las más relevantes, partiendo de aquellas que han cruzado al umbral de la aplicación industrial.

- **Control Experto:** Este tipo de control se basa en la recopilación de conocimiento de un sistema, a partir de operadores del mismo que pueden considerarse como “expertos” en su área de conocimiento. Este conocimiento se transforma en una serie de reglas del tipo “SI x_1, x_2, \dots, x_n , ENTONCES $y_1, y_2, \dots, y_m, \dots$ ” (“IF ..., THEN ...”), donde “ x_1, x_2, \dots, x_n ” representan los antecedentes o premisas e “ y_1, y_2, \dots, y_m ” las consecuencias o acciones. La forma de procesar estas reglas, contrastándolas con la información disponible del proceso controlado, da las características de cada tipo de control en particular.

El mejor exponente de este tipo de control, por el grado de aceptación que ha tenido a nivel industrial es el control **Borroso, Difuso** o por **Lógica Difusa (“Fuzzy Logic Control”)**. Esta es –quizás- el sistema de control avanzado que ha tenido mejor aceptación entre sus exponentes, principalmente por la industria japonesa, y se encuentran aplicaciones de estrategias de control basadas en lógica difusa en el ajuste automático del

foco en cámaras fotográficas, resolución del sistema de frenos ABS en la industria automotriz, lavadoras automáticas, etc. Inclusive, las principales empresas fabricantes de PLC's incorporan módulos de control de lógica difusa, y las plataformas SCADA o DCS también los están incluyendo como herramientas de control. Este tipo de control se basa en la aplicación de un álgebra difusa planteada por Lofti Zadeh, al tratar de representar el pensamiento lógico humano. Para utilizar esta lógica, las variables controladas y observadas que provienen de los distintos sensores presentes en el proceso, cuya información será utilizada por el sistema de control, debe "pasarse" al mundo "difuso" a través de un procedimiento conocido como "emborronado" o "fusificación" ("fuzzification"), teniendo en cuenta el grado de pertenencia que tiene cada variable a los conjuntos difusos en que se subdivide el rango de aplicación de cada variable, a través de la definición de funciones de membresía asignadas a las mismas. Cuando las variables están ya definidas en forma difusa, se contrasta la información del sistema con la base de conocimiento disponible del proceso y, mediante aplicación de álgebra difusa, se determina la acción de control requerida para el sistema, pero con carácter "difuso". Para entregar esta información al mundo real, la acción de control debe ser "desemborronada" o "defusificada" (defuzzification), y entonces estará disponible para ser aplicada a los actuadores del proceso. Entre las principales ventajas de esta técnica puede destacarse la simpleza de su implantación, la extensión directa que tiene para aplicarse tanto a sistemas SISO como MIMO y, en este último caso, sin requerir un mismo número de entradas que de salidas. Además, como se basa en una estructura de información similar a la del pensamiento humano, la forma de proceder tiene muy buena aceptación por parte de los operadores del sistema. Como referencia para ampliar el tema puede consultarse en [2].

- **Control Óptimo:** Este control se basa en la definición de una función o funcional que –por lo general- incluye el error de control y la acción de control y/o sus desviaciones, con ponderaciones que permiten "pesar" en forma relativa cada una de ellas, y se establece un criterio de optimización sobre dicho funcional que se ajuste a los objetivos del control. Inclusive, pueden incluirse también las restricciones del mismo (rangos de operación de variables, de las acciones de control y del sistema), produciendo una acción de control óptima según el criterio establecido, sujeta a las restricciones presentes en el proceso. Este último aspecto es su principal fortaleza frente a controladores convencionales como el PID. Mayor ampliación del tema se encuentra en [3].

El mejor representante de este tipo de control, por la gran aceptación que ha tenido en el campo del control de procesos **Control Predictivo por Modelo ("Model Predictive Control" o "MPC")**. El sistema utiliza un modelo matemático del proceso para predecir el comportamiento del

sistema en el futuro frente a posibles acciones de control a aplicar. Se define un “horizonte de predicción” (tiempo sobre el cual se evalúan las posibles respuestas del sistema) y un “horizonte de control” (tiempo sobre el que las acciones de control pueden variar y después del cual se mantienen constantes). Se determina la acción de control óptima a aplicar al sistema para lograr la respuesta deseada del sistema dentro del horizonte de predicción previsto, tanto para la acción de control en el instante presente como en los futuros instantes de muestreo. A pesar de definirse varias acciones de control (actual y futuras) solamente se aplica la actual, ya que en el próximo intervalo de control se vuelve a repetir el mismo cálculo. El sistema más difundido es el que usa un modelo lineal para el sistema (LMPC), tanto por la facilidad de implantación como por la posibilidad de ajustar el modelo en distintos instantes del proceso usando cualquiera de los métodos de identificación de sistemas conocidos. Aplicaciones industriales de esta técnica de control pueden encontrarse en [4].

- **Control Robusto:** Consiste en definir una estructura de control que tenga un desempeño acorde a las especificaciones del sistema, independientemente de las perturbaciones a las que esté expuesto. A nivel académico, los mayores desarrollos en torno a este tema tienen relación con el **Control Óptimo H_{∞}** . Sin embargo, otro buen ejemplo que sí ha sido aplicado a nivel industrial es el Control por Modelo Interno (“Internal Model Control o IMC”). Este sistema de control también ha tenido buena aceptación industrial, debido a que el controlador resultante puede asimilarse a un control PID. Tal como en MPC, este control incorpora un modelo matemático de la planta, pero en este caso se usa para compensar la dinámica modelable y no modelable de planta. Aunque las acciones de control que pueden lograrse con sistemas de control robusto son más cautelosas que las que resultan de otros sistemas, con un buen ajuste del controlador se pueden lograr sistemas que cumplan ambas prestaciones. Una guía de este tipo de control puede encontrarse en [5] y otra para ajustar controladores PID que se ajusten a esta filosofía de control puede descargarse de [6].
- **Control Adaptivo, Adaptativo o Adaptable (“Adaptive Control”):** Este sistema de control es apropiado para sistemas que sean variantes en el tiempo. Aunque dentro de esta categoría podrían colocarse los “PID autoajustables”, el concepto es mucho más amplio, ya que suelen incorporar técnicas de identificación de parámetros por mínimos cuadrados u otras técnicas propias del sistema resultante. Una de las estrategias de control más conocidas dentro de este tipo de control es el “Control Adaptivo por Modelo de Referencia” (“Reference Model Adaptive Control” o “RMAC”).

Se define un modelo con una dinámica como la que gustaría que tenga el sistema. El objetivo del sistema de control es disponer de un sistema de lazo cerrado cuyos parámetros puedan ajustarse para establecer el tipo deseado de respuesta del sistema (la que se tendría si el sistema fuese igual al modelo de referencia). Para mayor información, refiérase a [6].

- **Control Neuronal:** Las Redes Neuronales (“Neural Networks”) son estructuras matemáticas que procuran representar la información en forma similar a como se estructura en nuestro cerebro. El objetivo de usar redes neuronales es disponer de un sistema que se comporte como una “caja negra” que pueda emular el comportamiento de un sistema. Para ello, se requiere de una etapa de entrenamiento (donde se ingresa información disponible del sistema procurando que la red “aprenda” lo que se le quiere enseñar) y una de “validación” (donde se contrasta el aprendizaje de la red con otros datos disponibles del sistema que no se utilizan para el entrenamiento). Cuando la red “ha aprendido”, se la puede utilizar tal como si se operara con el sistema real. En el caso de Control Neuronal (“Neural Control”) , se pueden generar datos que representen condiciones del proceso y acciones de control que lleven al sistema a los valores deseados. Incorporando esa información al aprendizaje de la red, podría lograrse que el sistema emule tales condiciones. Este sistema requiere que el proceso de entrenamiento incluya todo el espectro posible de situaciones a las que podría estar expuesto el sistema, ya que si se llegase presentar una condición que no fue considerada durante la etapa de entrenamiento, no puede asegurarse que el sistema responda en la forma esperada. Por tanto, la parte más crítica es la selección de datos adecuados para el entrenamiento de la red. En esta etapa se puede encontrar combinado con otras técnicas, como es el caso de sistemas “neuro-fuzzy”, que emplean lógica difusa para poder establecer la selección de datos a utilizar en el entrenamiento. Algunas aplicaciones de control neuronal pueden encontrarse en [7].

Bibliografía “on line”

[1] Mark J. Willis y Ming T. Tham (1994) *Advanced Process Control*. Dept. of Chemical and Process Engineering. University of Newcastle. Disponible en <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/advcontrl/sect1.htm>. Consultado el 7 de agosto de 2006.

[2] Greg Goebel (2003) *An Introduction To Fuzzy Control Systems*. Documento de dominio público disponible en <http://www.faqs.org/docs/fuzzy/>. Consultado el 7 de agosto de 2006.

- [3] Wikipedia, the free encyclopedia (2006). *Optimal control*. Documento de dominio público disponible en http://en.wikipedia.org/wiki/Optimal_control. Consultada el 7 de agosto de 2006.
- [4] S. Joe Qin y Thomas A. Badgwell (1996). *An Overview of Industrial Model Predictive Control Technology* Disponible en <http://www.che.utexas.edu/~qin/cpcv/cpcv14.html>. Consultada el 7 de agosto de 2006.
- [5] Ming T. Tham (2002) *Internal Model Control*. Parte del grupo de apuntes de "Introduction to Robust Control". Disponible en <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/robust/imc.pdf>. Consultada el 7 de agosto de 2006.
- [6] D. E. Rivera (2002) *PID Controller Tuning using Internal Model Control: A Modern Approach*. Disponible en www.fulton.asu.edu/~cse1/Publications/Invited%20Presentations/2002QPRC/imctutorial.pdf. Arizona State University. Consultada el 7 de agosto de 2006.
- [7] Keith Sevcik (2006) *An introduction to Model Reference Adaptive Control (MRAC)*. Disponible en: <http://www.pages.drexel.edu/~kws23/tutorials/MRAC/MRAC.html>. Consultada el 7 de agosto de 2006.
- [8] Detlef Nauck (1997) *Neuro-Fuzzy Systems: Review And Prospects*. En Proceedings of Fifth European Congress on Intelligence Techniques and Soft Computing (EUFIT'97), Aachen, pp. 1044-1053. Documento para descarga (formato PostScript) en www.disi.unige.it/person/DelzannoG/AI2/neurofuzzy.ps.gz. Consultada el 7 de agosto de 2006.