

ADAPTACIÓN MEDIANTE GAIN SCHEDULING BAJO FOUNDATION FIELDBUS

Ramón Ferreiro García, Andrés Piñón Pazos, Xoan Pardo Martínez
E.S.Marina Civil, Paseo de Ronda 51, 15011 A Coruña, ferreiro@udc.es
Dept Ingeniería Industrial, Universidad de A Coruña

Resumen

Se describe una alternativa de implementación de control adaptativo mediante administración de ganancia (gain scheduling) utilizando las técnicas de diseño que ofrece el estándar Foundation Fieldbus.

Palabras Clave: Foundation Fieldbus, administración de ganancia, aproximación funcional, bloques función.

1 BREVE INTRODUCCIÓN DE LA IDEA DE GAIN SCHEDULING

Muchos procesos controlados están influidos por variables que influyen en la ubicación de polos o ceros del modelo. Como consecuencia, la alteración del valor de una de estas variables afecta la dinámica de tales procesos. La compensación de tal dinámica resulta inadecuada ante la variación de ciertas variables si los parámetros del regulador se mantienen constantes. Por tanto la determinación de una ley de variación de los parámetros del regulador en función de la variación de la/s variable externa es una tarea crucial para satisfacer los requerimientos de un comportamiento dinámico aceptable. Cuando tal variable es susceptible de ser medida, entonces puede ser utilizada y asociada a la ley de variación de parámetros del regulador provocando la adaptación de los mismos a las condiciones dinámicas del proceso definidas por el valor actual de la citada variable. La modificación de los parámetros del algoritmo de control en función de la variación de tal variable externa es un proceso en lazo abierto comparable al que se dan en la compensación por adelantado, pese a ser dos conceptos totalmente diferentes.

Los procesos con variables externas accesibles, que influyen sobre la ubicación de los polos y/o ceros del modelo, demandan un algoritmo adaptativo de control para satisfacer índices de cierta calidad.

Algunos de tales procesos industriales están clasificados dentro de áreas como la aeronáutica, donde un misil al inicio de su trayecto contiene varias veces más masa que en el momento de alcanzar el objetivo. Por lo tanto el sistema de control de

gobierno se comporta de diferente manera. Asimismo, la variación de velocidad supone una perturbación al control de navegación del mismo. Otro caso lo constituye un buque carguero, el cual conlleva una variación de masa entre la situación de buque cargado o descargado. Esta situación influye en el sistema de control de rumbo. La velocidad de un buque influye en la acción del timón hasta el punto de que a cierta velocidad el control de rumbo entra en una fase de inestabilidad. La figura 1 ilustra el concepto estructural de la administración de ganancia, donde las variables externas influyentes en la dinámica del proceso controlado, son medidas y asociadas a una ley de ajuste de los parámetros del controlador de realimentación

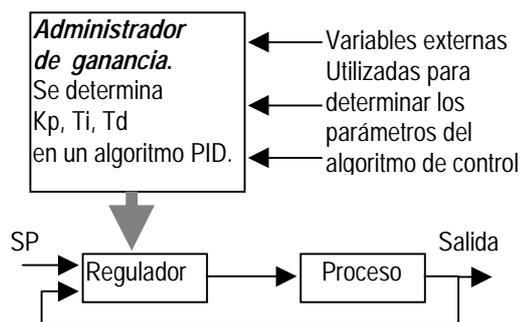


Fig. 1. Diagrama estructural de la adaptación mediante administración de ganancia.

ADAPTACIÓN CON TECNICAS DE ADMINISTRACION DE GANANCIA

En la sección introductiva ha quedado sentado que el hecho de disponer de variables auxiliares externas que afectan la dinámica del proceso controlado, asociado a su aprovechamiento mediante captura de las mismas, brinda la posibilidad de corregir los parámetros del algoritmo de control, de tal manera que satisfaga algunos requerimientos dinámicos en términos de precisión, estabilidad o ambos.

El primer problema a resolver en la tarea de diseño de métodos de administración de ganancia reside en la selección de las variables adecuadas para ser

captadas y utilizadas en el ajuste de parámetros del algoritmo de control. Tal selección es realizada en base a conocimientos físicos sobre el proceso [3]. Tal afirmación significa que las variables seleccionadas deben condicionar la ubicación de polos o ceros del proceso lineal o deben intervenir en la dinámica del proceso en general. El conocimiento experimental es esencial para determinar que variables son capaces de influir en la dinámica del proceso por modificación de la función de transferencia. Cualquier variable que afecta la dinámica del proceso sin modificar la función de transferencia no resulta una variable adecuada para utilizar en la administración de ganancia. Posiblemente tal variable es una simple perturbación a la carga del sistema. Es necesario tener en cuenta que si las variables externas no influyen en la ubicación de los polos o ceros del proceso, tal sistema de control no necesita ser adaptado mediante técnicas de administración de ganancia, sino que puede ser compensado mediante la adición de lazos de cascada o adelanto, redes de desacople o simplemente algún algoritmo de control basado en modelo predictivo (MPC), sin descartar otros métodos.

Algunos procesos típicos que demandan tal estrategia de control se muestran seguidamente.

Proceso de concentración de productos.

Dos productos son mezclados en una proporción de concentración C_i , la cual es introducida en un tanque de volumen de producto V a la concentración actual C . El caudal de entrada de la mezcla es q y el tiempo que tarda el producto en alcanzar el tanque de mezcla es τ según se muestra en la figura 2. Sea Vol el volumen de producto contenido en el conducto de alimentación entre las válvulas de mezcla y el tanque y q el caudal de alimentación. El tiempo que tarda el producto en pasar desde las válvulas de mezcla hasta el tanque viene dado como $\tau = Vol/q$

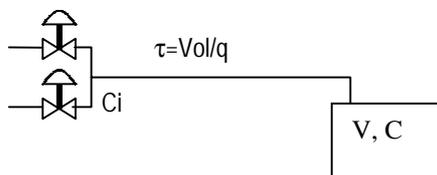


Fig. 2. Proceso de control de concentración

El modelo del proceso mostrado en la figura 2 está dado por la expresión (1) como

$$q \cdot C_i(t - \tau) = V \cdot \frac{dC(t)}{dt} + q \cdot C(t) \quad (1)$$

La función de transferencia resulta ser

$$\frac{C(s)}{C_i(s)} = \frac{e^{-s\tau}}{(V/q)S + 1} = \frac{e^{-\frac{Vol \cdot s}{q}}}{\frac{V}{q}S + 1} \quad (2)$$

En la expresión (2) se observa que el caudal q afecta tanto el retardo de transporte de producto como el polo del proceso. Se deduce del modelo que para cada valor del caudal q se necesita un juego de parámetros del regulador para satisfacer la dinámica. La figura 3 ilustra el concepto de adaptación del caudal de alimentación.

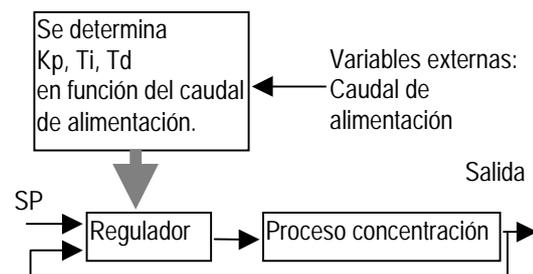


Fig. 3. Diagrama estructural para adaptación del caudal de alimentación.

Proceso de control de nivel de sección y presión de descarga variables

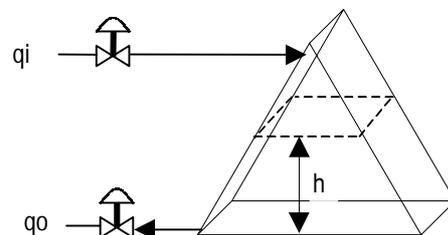


Fig.4. Proceso de control de nivel de un tanque con sección y descarga dependiente de la columna de nivel.

Siendo el caudal de descarga del tanque mostrado en la figura 4

$$q_o = s \cdot \sqrt{2gh} \quad (3)$$

donde s es la sección transversal mínima actual de la línea de descarga, el modelo matemático de la dinámica de nivel viene descrita como

$$q_i - q_o = A(h) \frac{dh}{dt} \quad (4)$$

resultando

$$qi = A(h) \frac{dh}{dt} + s \cdot \sqrt{2gh} \quad (5)$$

donde $A(h)$ es la sección transversal del tanque a la altura de nivel h .

El valor h del nivel actual afecta la dinámica del proceso en los dos términos de la derecha de la ecuación (5). Por tanto, los parámetros del controlador deben ajustarse en función del valor de h . La figura 5 ilustra el concepto de adaptación del nivel actual.

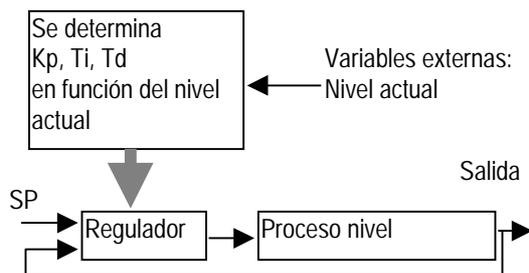


Fig. 5. Diagrama estructural para adaptación del nivel de líquido actual.

Proceso de control del rumbo de un buque con velocidad variable

El modelo de Nomoto relaciona el rumbo θ con el ángulo del timón δ según la expresión que define la función de transferencia dada como:

$$\frac{\theta(s)}{\delta(s)} = \frac{b}{S(S+a)} \quad (6)$$

donde

$$a = a_0 \cdot u/l$$

$$b = (1/2) \cdot (u/l)^2 \cdot A \cdot l/D$$

siendo

- u = velocidad del buque en m/s
- l = eslora en m
- A = superficie de control del timón
- D = desplazamiento es toneladas métricas, es decir, el volumen sumergido en m^3 .

Entonces la función de transferencia puede ser descrita en función de las variables auxiliares siguientes como

$$\theta(s) = \frac{a^0 u / l}{s(s+a)} \quad (7)$$

Se observa en (7) que la velocidad y el desplazamiento influyen en la ganancia del modelo así como en la ubicación de un polo.

Proceso de intercambio energético sin cambio de estado.

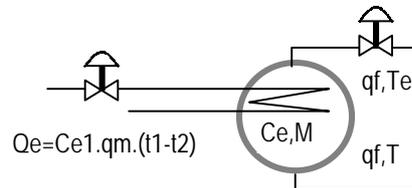


Fig. 6. Sistema de intercambio energético

El modelo matemático del proceso de intercambio térmico sin cambios de estado mostrado en la figura 6 viene dado por la expresión

$$q_e = Ce_1 \cdot q_m \cdot (t_1 - t_2) =$$

$$M \cdot Ce \cdot \frac{dT}{dt} + q_f \cdot Ce \cdot (T - Te) \quad (8)$$

donde

- q_e es al caudal energético destinado a calefacción,
- Ce_1 es el calor específico del agente calefactor,
- q_m es el caudal másico del agente calefactor,
- $(t_1 - t_2)$ es el gradiente térmico del fluido calefactor,
- M es la masa de fluido a calentar contenido en el intercambiador,
- Ce es el calor específico del fluido a calentar,
- q_f es el caudal del fluido a calentar
- Te es la temperatura de entrada al intercambiador del fluido a calentar.

La función con respecto a la excitación de entrada y la variable de carga q_f viene dada como

$$\frac{T(s)}{q_e + q_f(s) \cdot Ce \cdot Te} = \frac{1}{\frac{M}{q_f} S + 1} \quad (9)$$

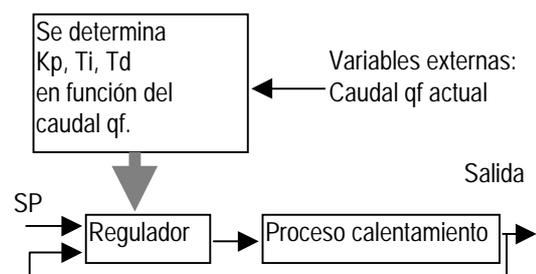


Fig. 7. Diagrama estructural para adaptación del caudal de fluido calentado.

La variación del caudal q_f del fluido a calentar influye en la ganancia y en la ubicación del polo de la función de transferencia. La figura 7 ilustra el concepto de adaptación de la variable q_f

Se han descrito varios procesos en los que alguna de las variables auxiliares y externas medibles, influye sobre los parámetros de la función de transferencia. Una vez hayan sido seleccionadas las variables adecuadas para la administración de los parámetros del algoritmo de control con el fin de determinar los mismos en tiempo real, la función de administración de ganancia puede ser obtenida alternativamente por varios métodos a saber:

- ◆ Diseño analítico en base al modelo matemático del proceso en plantas susceptibles de descripción lineal o linealizada.
- ◆ Diseño en base a la determinación de los parámetros del regulador PID mediante simulación de las diversas condiciones de operación del proceso.
- ◆ Diseño en línea en base a técnicas de autoajuste en diversas condiciones de operación

En la siguiente sección se describe una aplicación en la cual una variable auxiliar seleccionada es aplicada al proceso para ajustar los parámetros de un controlador PID.

3 APLICACIÓN A UN PROCESO CON TECNICAS BASADAS EN FOUNDATION FIELDBUS

Consideremos el proceso de la figura 4 constituido por un intercambiador de calor en el que se toma el caudal de fluido a calentar como variable auxiliar susceptible de ser aplicada a la determinación de los parámetros del regulador PI en control por realimentación tal como se muestra en la figura 5.

Los criterios para seleccionar el método de determinación de la función de ajuste de parámetros están restringidos a la dependencia del modelo. Por tanto para utilizar un método analítico es necesario disponer de un modelo preciso, lo cual no es al caso general. Las técnicas de simulación requieren asimismo el conocimiento preciso del modelo. Por tanto uno de los métodos generales que hace frente a todos los casos es el método de autoajuste, creando una tabla de valores que serían administrados en tiempo real en función de la variable auxiliar elegida para tal fin [1,2].

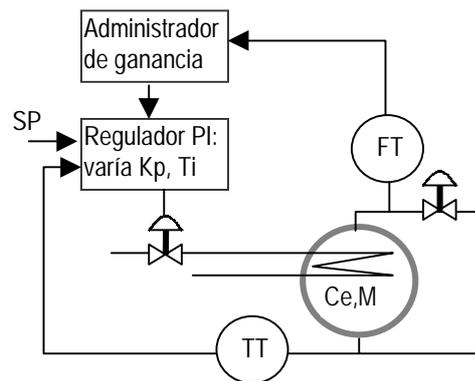


Fig. 8. Sistema adaptativo de control por realimentación con administración de ganancia.

Para el proceso descrito por la figura 8 con una capacidad másica de 10 kg de un producto cuyo calor específico es 4200 J/kg.C, se ha obtenido la tabla 1 mediante autoajuste.

Tabla 1. Resultados del autoajuste de un regulador PI

q_f %	K_p	T_i
10%	2	30
30%	1.5	20
60%	1.2	15
100%	1	10

Con la información de la tabla 1 es posible la administración de ganancia con técnicas de Foundation Fieldbus procediendo a procesar la información de la citada tabla mediante un bloque función de aproximación funcional.

La función de aproximación funcional de Foundation Fieldbus se muestra en la figura 9 y se denomina SGCR.

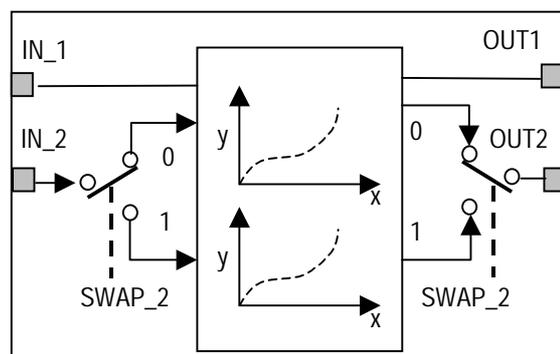


Fig. 9. Bloque función Caracterizador de Señal (SGCR)

El bloque SGCR aproxima cualquier función descrita por una relación entrada/salida.

En esta aplicación se conecta la entrada procedente del caudal del fluido a calentar a las dos entradas IN_1 y IN_2 del bloque función SGCR. El contenido de la tabla 1 es introducido en el bloque por medio de la interface destinada a tal fin. El resultado de salida del bloque función corresponde a los valores de Kp y Ti, siendo conectado a las entradas del bloque función PID con las denominaciones Kp y Ti. La figura 10 muestra el bloque función SGCR simbólico.

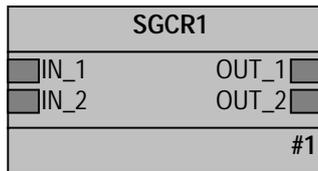


Fig. 10. Bloque función simbólico SGCR

La figura 11 implementa el diagrama de bloques función del sistema de control mediante administración de ganancia, donde el bloque SGCR1 admite el mismo valor de entrada para sus dos entradas, procesando con el mismo valor de entrada cada una de las dos salida asignadas a los parámetros del regulador PID. De esta manera al variar el caudal del fluido a calentar, el bloque SGCR1 envía al bloque función PID los correspondientes valores de los parámetros Kp y Ti

4 CONCLUSIONES

Se ha descrito la técnica utilizada por el estándar Foundation Fieldbus para implementar sistemas de control adaptativos basados en la estrategia de administración de ganancia. La claridad, la sencillez descriptiva y la facilidad de acceso al operador son las características mas relevantes de esta estrategia de control adaptativo.

Referencias

- [1] BT Toolkit, Part No. 200 (1999). FF User Application. ISA, Fieldbus Inc., 9390 Research Blvd, Suite I-350, Austin, TX 78759, U.S.A.
- [2] DeltaV Software (1999), D800002X042 Fisher-Rosemount Systems, Inc. U.S.A.
- [3] Astrom K:J., Wittenmark B.(1989). Adaptive Control. Ed. Addison-Wesley. USA.

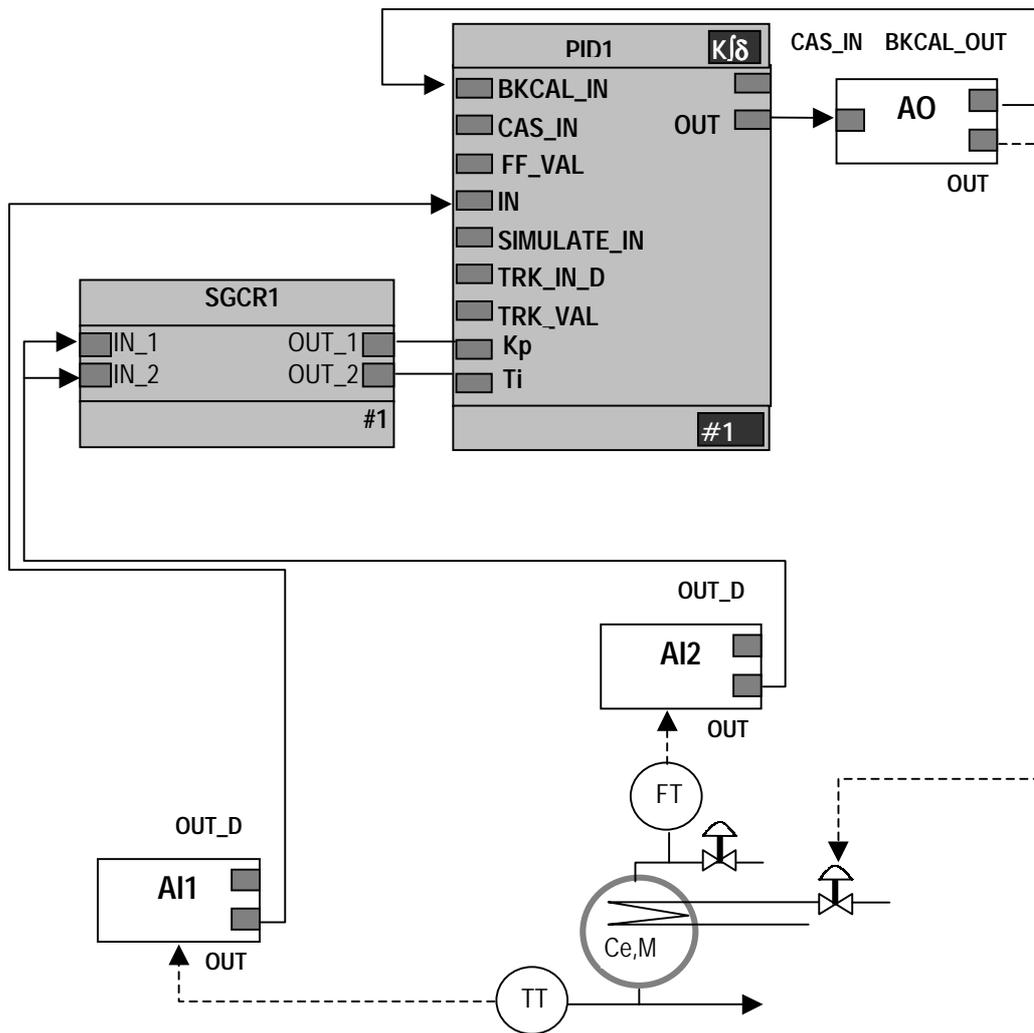


Fig. 11. Implementación del sistema adaptativo por administración de ganancia según Foundation Fieldbus.