

Diseño de Sistemas de Control con Restricciones por Realimentación de Salida Aplicado a un Sistema Hidráulico

Carlos A. Cappelletti^{a,b}, Eduardo J. Adam^{b,*}

^aUniversidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná, Almafuerite 1033, Paraná, Argentina.

^bUniversidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santiago del Estero 2854, Santa Fe, Argentina

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño de controladores para realimentación de salida mediante el uso de LMI tratando de satisfacer criterios de desempeño H_2 , H_∞ y ubicación de polos. Basándose en el diseño anterior se muestra como obtener los parámetros de un controlador industrial PID. Los controladores aquí propuestos se aplican a un sistema hidráulico de laboratorio, donde se quiere controlar la altura del líquido en uno de los tanques, manipulando el caudal de entrada en el otro tanque. Mediante simulaciones numéricas se muestra el desempeño de la variable controlada y manipulada cuando se implementa un controlador óptimo lineal y un PID industrial sintonizado en base al anterior. Asimismo, se incluyen ensayos experimentales con el sistema de tanques que compara el desempeño obtenido por el sistema de control cuando se implementa el controlador PID propuesto con el que se obtiene con otros PIDs ajustados mediante técnicas de sintonización tradicionales.

Palabras Clave:

Control de Procesos, Control PID, LMI, Control Multiobjetivo.

1. Introducción

A partir de la década del 90, las ventajas del uso de variables de estado para la descripción de sistemas LTI, se hicieron mucho más notorias cuando se advirtió que un conjunto de especificaciones encontraban un marco común de formulación llamado Desigualdades Matriciales Lineales (LMI).

La principal ventaja de las LMI radica en que éstas definen regiones convexas, es decir, el conjunto de especificaciones de diseño del problema original es transformado en una intersección de regiones convexas. De este modo, planteadas las especificaciones de diseño como restricciones con formato LMI, la solución de encontrar un controlador que las satisfaga se resume a resolver un problema de optimización convexo, para lo cual hay algoritmos de búsqueda especializados, como son los métodos de punto interior.

Otra ventaja, es que al resolver el problema de optimización convexo, se tiene la certeza de que si existe una solución, ésta es única. Si no existe solución el problema es infactible, y en este caso deberán relajarse las restricciones (objetivos o especificaciones del problema original) hasta lograr factibilidad.

Sin embargo, estas herramientas teóricas a pesar de ser muy poderosas, son muy pocas utilizadas en las aplicaciones industriales. La razón de esto se debe a que en la mayoría de los casos, los controladores calculados son de orden elevado, difíciles de implementar y con un costo computacional que puede resultar importante para su implementación en línea.

En contraste con esto, el controlador PID resulta sumamente sencillo de manipular o de sintonizar por los técnicos de control con escasa experiencia en el tema, prolongando su vigencia en la industria a pesar de otras estrategias de control más sofisticadas.

Por lo anteriormente expuesto, la comunidad científica ha comenzado a utilizar herramientas teóricas y computacionales poderosas para sintonizar controladores PIDs. Por ejemplo, incorporando problemas de optimización que en algunos casos resultan ser no-lineal, no-convexo y con restricciones y haciendo uso de algoritmos evolutivos para solucionar estos complejos problemas (Reynoso-Mesa et al., 2013) o bien, utilizando algoritmos de muestreo y control basado en eventos (Ruiz et al., 2013), entre tantas otras propuestas.

Por lo anteriormente expuesto, uno de los objetivos de este trabajo busca sintonizar controladores PID industriales mediante herramientas teóricas más sofisticadas, como son las LMI, que permitan lograr un desempeño satisfactorio del sistema de control sin llegar a ser óptimo, pero muy superior a la que se

* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: ccappelletti@unt.edu.ar (Carlos A. Cappelletti), eadam@fiq.unl.edu.ar (Eduardo J. Adam)

URL: www.fiq.unl.edu.ar/control (Eduardo J. Adam)

obtiene mediante una sintonización con métodos clásicos como los de Ziegler and Nichols (1942), Cohen and Coon (1953) y Dahlin (1968), o mediante la parametrización IMC Morari and Zafriou (1989), que no contemplan restricciones en las variables y ubicación de polos al momento del diseño.

Este trabajo se organiza como se detalla a continuación. En la Sección 2 se discuten conceptos básicos conocidos para el diseño de controladores que satisfagan restricciones escritas con el formato de las LMI. Luego, en la Sección 3 se extienden los conceptos de la sección anterior a un sistema de control libre de offset. En la Sección 4, se describe el modelo del sistema experimental de laboratorio a controlar mediante una representación linealizada en espacio de estados, mientras que en la Sección 5 se diseña un controlador para realimentación de salida basándose en las LMI y un controlador PID asociado al diseño anterior. Asimismo, se presentan simulaciones numéricas y ensayos experimentales comparativos. Finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones.

2. Diseño por realimentación de salida

En variable de estado es común estimar los estados no medibles, y diseñar una ley de control por realimentación de estados utilizando los estados estimados (LQG).

Sin embargo, en este capítulo se diseñarán controladores que satisfacen criterios de desempeño H_2 , H_∞ y ubicación de polos que usan solamente las salidas medibles o estados disponibles del sistema, sin necesidad de estimar los estados no medibles. Es importante aclarar que el diseño se hará sólo para sistemas sin incertidumbre, designados también como sistemas ciertos.

2.1. Planteo del problema

Considérese el siguiente sistema LTI

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + B_1 d(t) + B_2 u(t), \\ y(t) &= C_y x(t) + D_y n(t), \\ z_\infty(t) &= C_1 x(t) + D_{12} u(t), \\ z_2(t) &= C_2 x(t) + D_{22} u(t), \end{aligned} \tag{1}$$

Aquí, $y(t)$ es la salida medible, $d(t)$ una perturbación desconocida y $n(t)$ representa el ruido de medición. $z_\infty(t)$ y $z_2(t)$ son salidas auxiliares utilizadas para definir los requisitos H_∞ y H_2 respectivamente, del sistema realimentado.

Si se considera un controlador escrito bajo una representación de estados, entonces la dinámica de su salida (aquí considerada igual a la manipulada, si el elemento de control final no tiene dinámica)

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}(t) &= A_c \sigma(t) + B_c y(t) \\ u(t) &= C_c \sigma(t) + D_c y(t). \end{aligned} \tag{2}$$

donde σ representa los estados del controlador.

La Fig. 1 muestra el diagrama de bloques del sistema de control basado en las Ecs. (1) y (2), mientras que la Fig. 2 muestra un diagrama de bloques resumido.

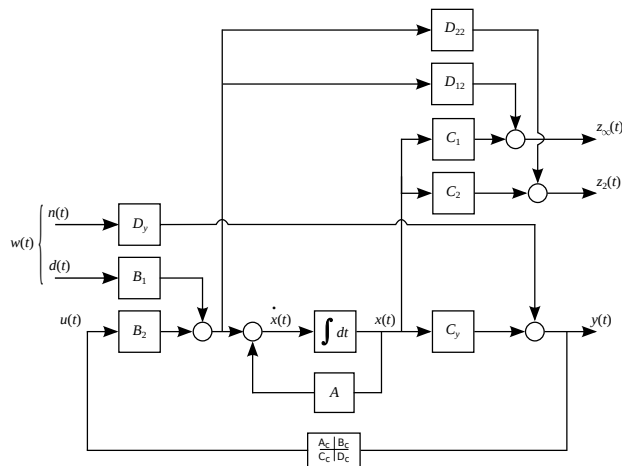


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema de control basado en las Ecs. (1) y (2).

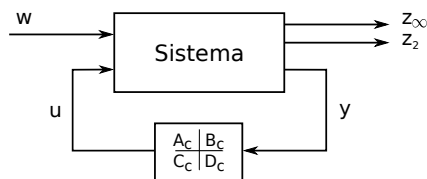


Figura 2: Diagrama de bloques resumido basado en la Fig. 2.

Reemplazando la salida medible expresada en (1) en la Ec.(2), se tiene que

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}(t) &= A_c \sigma(t) + B_c (C_y x(t) + D_y n(t)), \\ u(t) &= C_c \sigma(t) + D_c (C_y x(t) + D_y n(t)). \end{aligned} \tag{3}$$

Reemplazando la acción de control de las Ecs.(3) en el sistema (1), combinando a este sistema con la ecuación de estado del sistema de control y definiendo

$$w(t) \triangleq \begin{pmatrix} d(t) \\ n(t) \end{pmatrix}, \tag{4}$$

al vector de perturbaciones, se obtiene las ecuaciones de estados y salidas del sistema realimentado como se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{\sigma}(t) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} A + B_2 D_c C_y & B_2 C_c \\ B_c C_y & A_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(t) \\ \sigma(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & B_2 D_c D_y \\ 0 & B_c D_y \end{pmatrix} w(t) \\ \begin{pmatrix} z_\infty(t) \\ z_2(t) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} C_1 + D_{12} D_c C_y & D_{12} C_c \\ C_2 + D_{22} D_c C_y & D_{22} C_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(t) \\ \sigma(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & D_{12} D_c D_y \\ 0 & D_{22} D_c D_y \end{pmatrix} w(t). \end{aligned} \tag{5}$$

Es decir, el sistema realimentado, que es una combinación de los sistemas (1) y (2), tiene la forma

$$\begin{aligned} \dot{x}_a(t) &= A_a x_a(t) + B_{1a} w(t), \\ z_a(t) &= C_a x_a(t) + D_a w(t). \end{aligned} \tag{6}$$

donde con el subíndice a se expresa los vectores y las matrices ampliadas definidas en la Ec. (5).

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1701770>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1701770>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)