

IE-0431 Sistemas de Control

Proyecto final: Diseño y Análisis de un Sistema de Control Realimentado

I ciclo de 2020

Prof. Leonardo Marín
Prof. Mercedes Chacón
Prof. Helber Meneses
Departamento de Automática
Escuela de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Costa Rica

I. INTRODUCCIÓN

Como parte de la evaluación del curso IE-0431 Sistemas de Control, se plantea un proyecto en donde se vean involucradas las diferentes etapas de diseño de un sistema de control. El proyecto se plantea como un “*ejercicio profesional*”, en donde se da libertad a los y las estudiantes de proponer las estrategias que consideran más convenientes para realizar el diseño. Adicionalmente, se busca potenciar temas como el trabajo en equipo, la redacción concisa de un informe escrito, así como la presentación oral de los resultados.

El proyecto propuesto es del tipo práctico y centrado en la integración de los conocimientos adquiridos durante el curso, en la resolución de un caso práctico de diseño. De esta forma se suministrará el proceso “*real*” a controlar, con el cual los y las estudiantes deberán realizar las siguientes actividades:

1. Determinar las variables de interés con base en el funcionamiento del proceso, así como el comportamiento requerido del lazo de control.
2. Realizar la identificación de un modelo dinámico del sistema de orden reducido, de forma experimental a partir del proceso “*real*” suministrado.
3. Analizar la variación de las características dinámicas del proceso en el ámbito de operación esperado.
4. Establecer las especificaciones requeridas de diseño: rendimiento, esfuerzo de control, fragilidad y robustez, que se consideren adecuados para el problema propuesto.
5. Seleccionar el algoritmo de control PID a utilizar junto con su respectiva estructura y **acción**.
6. Realizar el ajuste de los parámetros del controlador utilizando las estrategias y métodos que se consideren adecuados para el problema propuesto. Se pueden utilizar métodos expuestos en diversas fuentes bibliográficas (libros, revistas *IEEE*, publicaciones *IFAC*, el Handbook de reglas de sintonización PID [1], etc.).
7. Utilizar una herramienta de diseño de sistemas de control asistido por computadora (CACSD)¹, para realizar la simulación del comportamiento del sistema de control al utilizar los diversos algoritmos diseñados para controlar el proceso “*real*” suministrado.
8. Medir las distintas especificaciones de diseño (rendimiento, esfuerzo de control, fragilidad y robustez; ya sea que se hayan utilizado o no para diseñar el controlador) a partir de los resultados de las simulaciones computacionales realizadas.
9. Comparar los resultados (especificaciones de diseño) de la implementación de los algoritmos PID diseñados con los diversos métodos de sintonización investigados, para controlar el proceso “*real*” suministrado.
10. Establecer, a partir de los resultados obtenidos, las conclusiones del proyecto de diseño respecto a cuál es el mejor controlador PID diseñado, proporcionando las razones que justifican la elección del controlador, e indicando además las posibles mejoras a realizar en el diseño propuesto.

¹MATLAB® por ejemplo.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Los procesos “reales” que son la información base para el desarrollo del proyecto se suministran a continuación. Estos corresponden a el modelo de un reactor químico continuamente agitado (CSTR) (1), un modelo una planta de tratamiento de agua (2), un modelo de un sistema de bola en viga (3), un modelo que relaciona el cambio en la concentración de glucosa en la sangre ante el cambio en la razón de infusión de insulina (4) y un modelo que relaciona el cambio en la presión de la sangre ante el cambio en la razón de infusión de un medicamento (5); el cuarto con unidades de tiempo en minutos, y los demás, con unidades de tiempo en segundos, y descritos respectivamente en [2], [3], [4], [5] y [6].

$$P_1(s) = \frac{0,75(1 - 0,85s)}{(0,5s + 1)^2} \quad (1)$$

$$P_2(s) = \frac{1,59e^{-61s}}{28s + 1} \quad (2)$$

$$P_3(s) = \frac{0,7}{s^2} \quad (3)$$

$$P_4(s) = \frac{3,79e^{-2s}}{s(40s + 1)} \quad (4)$$

$$P_5(s) = \frac{-e^{-30s}(1 + 0,4e^{-45s})}{40s + 1} \quad (5)$$

Para la utilización del proceso “real”, éste deberá ser implementado en el programa de simulación, y deberá considerarse como un modelo **caja negra**, es decir, para las consideraciones a realizar en el proyecto de diseño, únicamente se puede utilizar la información de la entrada y la salida del proceso, con la cual deberá realizarse la identificación del mejor modelo posible, para ser utilizado en el diseño del sistema de control realimentado. Además, una vez diseñados los controladores, éstos se probarán y evaluarán utilizando el proceso “real”.

III. ALCANCE DEL PROYECTO

Para realizar las labores de control se utiliza un esquema realimentado como el que se muestra en la Fig. 1, en donde $P(s)$ es el proceso controlado y $C(s)$ es el controlador. En ese sistema, $r(s)$, $u(s)$, $y(s)$ y $d(s)$, son el valor deseado, la señal de control, la variable realimentada y la perturbación respectivamente. **Todas estas señales deben estar normalizadas en el rango de 0 a 100 %.**

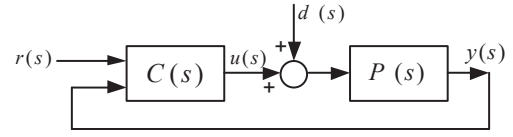


Figura 1. Diagrama de bloques sistema de control

Se tiene un algoritmo de control PID Estándar, cuya ecuación general de salida es:

$$U(s) = \text{Acción } K_p \left\{ \beta r(s) - y(s) + \left(\frac{1}{T_i s} \right) [r(s) - y(s)] - \left(\frac{T_d s}{\alpha T_d s + 1} \right) y(s) \right\} \quad (6)$$

El trabajo consiste entonces en diseñar un controlador $C(s)$ adecuado para el proceso $P(s)$, para lo cual los equipos de trabajo deben analizar cuidadosamente la dinámica y características del proceso controlado. *Todas las consideraciones o suposiciones hechas deberán estar claramente justificadas.* Adicionalmente, se deberá probar la validez y/o beneficios de la propuesta realizada.

IV. EQUIPOS DE TRABAJO, INFORME Y PRESENTACIÓN

Para ejecutar el proyecto de control, los(as) estudiantes deben formar equipos de trabajo con un máximo de tres integrantes. La formación de los equipos debe hacerse directamente mediante la inscripción en sitio web del curso. Se asignará únicamente un modelo a cada equipo, *el cual será escogido por el profesor(a)*. De esta forma se tiene diversidad en los diseños a realizar, ya que el control es muy distinto para cada modelo propuesto, lo que promueve la utilización de distintas técnicas para cada problema de diseño.

Se debe presentar un informe del proyecto en donde se describan las actividades realizadas para el diseño del sistema de control. Se elaborará utilizando la plantilla de la IEEE para artículos de conferencia. La clase para elaborar los informes en L^AT_EX, la plantilla para utilizar MS Word y los documentos de muestra, se pueden descargar del sitio web de la IEEE².

El documento tendrá una extensión máxima de seis páginas a doble columna. Debe respetarse en todo momento el formato del documento.

También debe incluirse una presentación de 20 diapositivas del informe. Una plantilla para la presentación en

²http://www.ieee.org/conferences_events/conferences/publishing/templates.html

formato MS PowerPoint³, se encuentra disponible en la página web del curso. También se puede utilizar Beamer para hacer la presentación respetando el número de 20 diapositivas. Cada integrante del equipo, debe exponer en un video el contenido de por lo menos seis diapositivas. El contenido de las diapositivas es responsabilidad de cada equipo.

Cada estudiante debe grabarse realizando la presentación oral de su parte de la presentación. La duración del video de cada estudiante es de dos minutos mínimo y tres minutos máximo. La duración de todos los videos del equipo debe sumarse y no exceder los siete minutos. Esto con el fin de que los(as) estudiantes sean eficientes y concisos en la presentación, exponiendo exclusivamente el contenido más relevante del proyecto, las decisiones de diseño y los resultados y conclusiones obtenidas.

Se requiere dividir los contenidos de los videos (dos o tres videos según el número de integrantes) de manera que puedan verse secuencialmente con el mismo orden de las diapositivas, por ejemplo, no se puede brincar en un video de la introducción a las conclusiones.

Se solicita presentarse en el video con vestimenta semiformal. Se recomienda que el participante realice el video con ayuda de otra persona para que pueda verse de cuerpo completo y en caso de ser posible, la pantalla de la computadora/tableta con la presentación.

El **informe** del proyecto (*en formato pdf exclusivamente*) así como los **archivos en Matlab que respaldan sus resultados**, el archivo con la presentación y los videos de cada estudiante, deberán ser entregados exclusivamente de forma digital por un(a) integrante de cada equipo, a través del sitio web del curso (en la sección de *Trabajos*) antes de la hora límite para su entrega. El sistema **no** permitirá la entrega extemporánea de los archivos y **no** se recibirán informes a través de correo electrónico, ni de ningún otro medio. **No se permitirá la realización de cambios a los archivos una vez finalizado el plazo de entrega (esto incluye los videos)**. Los archivos de Matlab deben estar ordenados, claros y desplegar los mismos resultados y gráficas presentadas en el informe.

V. EVALUACIÓN

En el proyecto se evaluará la originalidad y la creatividad de las ideas propuestas por cada equipo para diseñar el sistema de control, así como la profundidad de las mismas, expuestas tanto en el informe como en la presentación.

La calificación del proyecto está constituida por:

- Un 70 % el contenido del trabajo (general para el equipo), correspondiente a un 20 % para la metodología seguida de la identificación de los modelos y un 50 % en el diseño, la sintonización y comparativa de los controladores PID.
- Un 20 % para la nota del informe escrito (general para el equipo), que se dividirá en partes iguales para el formato, redacción, calidad de las figuras y normalización de señales.
- Un 10 % para la nota de la presentación oral (individual para cada integrante), que se desglosará en los siguientes rubros: dominio del tema (4 %), exposición de ideas claras (4 %) y un buen manejo del tiempo (2 %).

Aquellos y aquellas estudiantes que no presenten informe escrito o que no se presenten el día de la exposición, tendrán automáticamente una calificación de cero.

Las fechas relevantes para la elaboración del proyecto son las siguientes:

- El martes 9 de junio publicación del enunciado del proyecto en el sitio virtual del curso.
- Fecha límite de entrega de los archivos del informe escrito y la presentación: domingo 28 de junio del 2020 a las 23:55h.
- Fecha límite de entrega de los videos: lunes 2 de julio de 2020 a las 23:55h.

REFERENCIAS

- [1] A. O'Dwyer, *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. Imperial College Press, 2006.
- [2] V. Alfaro, *Sistemas de control proporcional, integral y derivativo: Algoritmos, análisis y ajuste*, apéndice a.2.1 ed., Dec. 2016. [Online]. Available: <https://pidplanet.wordpress.com/sisconpid/>
- [3] S. M. J., S. A., and L. B. M., "Modelling and simulation of water treatment plant for optimum coagulant dosage based on hammerstein-wiener model," *International Journal of Mechanical and Production Engineering (IJMPE)*, vol. 3, pp. 118–123, 2015.
- [4] O. Castillo, E. Lizárraga, J. Soria, P. Melin, and F. Valdez, "New approach using ant colony optimization with ant set partition for fuzzy control design applied to the ball and beam system," *Information Sciences*, vol. 294, pp. 203 – 215, 2015.
- [5] P. Woolf, *Chemical Process Dynamics and Controls*. Openmichigan, 2009, sección 9, pág 592.
- [6] D. Seborg, D. Mellichamp, T. Edgar, and F. Doyle, *Process Dynamics and Control*. John Wiley & Sons, 2010, (página 113).

³IE-0431.presentationPK.ppt