

Laboratorios Remotos, caso de uso en Sistemas de Control Digital

Remote Laboratories, use case in Digital Control Systems

Presentación: 23/10/2024

Ibrahim Jaime

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
ibrahimjaime@gmail.com

Santiago Previotto

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
santiagopreviotto@gmail.com

Marco Miretti

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
marcomiretti@gmail.com

Emanuel Bernardi

Applied Control & Embedded Systems - Research Group
bernardiemanuel@gmail.com

Resumen

La experimentación como herramienta de aprendizaje, es en sí un método sumamente enriquecedor, que al ser complementada con conceptos teóricos posibilita la generación de resultados sobresalientes. Este aspecto es particularmente relevante en áreas de formación ingenieril, donde realizar ensayos prácticos constituye una parte íntegra del estudio.

En base a lo previamente mencionado, a través de este trabajo se presenta el resultado de una actividad práctica destinada a estudiantes avanzados de Ingeniería Electrónica, con el fin de ilustrar los aspectos centrales del uso de laboratorios remotos en la cátedra sistemas de control digital. Para la implementación de dicha actividad, se recurre al modelado e identificación de sistemas dinámicos, la síntesis e implementación de controladores discretos, y la evaluación de los mismos. En particular se presentan dos casos de sistemas dinámicos con acceso remoto sobre los cuales se ensayan y evalúan diversas técnicas, las más convenientes para cada aplicación.

Palabras clave: educación en ingeniería, identificación de sistemas, controlador discreto.

Abstract

Experimentation as a learning tool is itself an extremely enriching method, which when complemented with theoretical concepts allows to generate outstanding results. This aspect is particularly relevant in engineering areas, where carrying out practical experiments is an integral part of the study.

Based on that, through this work the result of a practical activity designed for advanced students of Electronic Engineering is presented, in order to illustrate the central aspects of the use of remote laboratories in the digital control subject. For the implementation of this activity, the modeling and identification of dynamic systems, the synthesis and implementation of discrete controllers, and their evaluation are presented. In particular, two cases of dynamic systems with remote access are shown on which various techniques are tested and evaluated, the most convenient for each application.

Keywords: engineering education, system identification, digital controller.

Introducción

Los laboratorios remotos no son nuevos, desde la invención de internet en los 70' se han propuesto y desarrollado incontables soluciones, con una gran variedad de enfoques. Así también, trabajos como los de Gomes L. & Bogosyan S. (2009) y Sáenz J. et al. (2021) han relevado el estado del arte de dichas tecnologías, además de analizar sus puntos comunes, y diferencias más notables. Dichos estudios sirven como un punto de referencia para este análisis. Es de destacar, que los laboratorios encontrados con mayor frecuencia, corresponden a competencias relevantes a la Ingeniería Electrónica, siendo éstas: microelectrónica, robótica, control, sistemas embebidos (Gravier C. et al., 2008). La arquitectura comúnmente hallada en estos trabajos se basa en el paradigma cliente-servidor, con un laboratorio actuando como servidor en el extremo remoto, y una aplicación cliente en el extremo del usuario.

En base a lo mencionado, desde el grupo de investigación AC&ES-RG, se ha desarrollado la infraestructura de laboratorios remotos (Miretti M. & Bernardi E., 2022), para su aplicación en la enseñanza de sistemas de control. Así, el propósito de esta metodología de enseñanza es permitir que el estudiante se instruya de forma autónoma y descentralizada, posibilitando el acceso a los experimentos de forma remota e ininterrumpida. Particularmente, con la implementación de este sistema el estudiante tiene a su alcance la capacidad de aplicar múltiples técnicas de control (Ogata K., 2005; Kuo B. & Golnaraghi M., 2009; Adam E., 2020), siendo prescindible la experiencia en la programación de bajo nivel, i.e. programación de sistemas embebidos, configuración de las comunicaciones, etc. Para ello, el desarrollo contempla el diseño de librerías intuitivas y simples de utilizar, implementadas en los lenguajes GNU Octave y Python, de modo que para su utilización sólo serán necesarios conocimientos mínimos de programación. Se eligieron estos lenguajes debido a que los mismos poseen extensos paquetes dedicados al control de procesos.

En la Fig. 1 se plasma la infraestructura básica planteada, como así también su alcance. La misma demuestra cómo los estudiantes acceden a experimentos de forma remota, a través de internet, utilizando como intermediario un servidor remoto, en este caso implementado sobre una *Raspberry Pi* (aunque funciona en cualquier computador que ofrezca una interfaz WiFi y un sistema operativo basado en GNU/Linux). Los experimentos remotos se comunican con dicho servidor mediante plataformas embebidas *ESP8266*, permitiendo el comando de actuadores y la lectura de sensores.

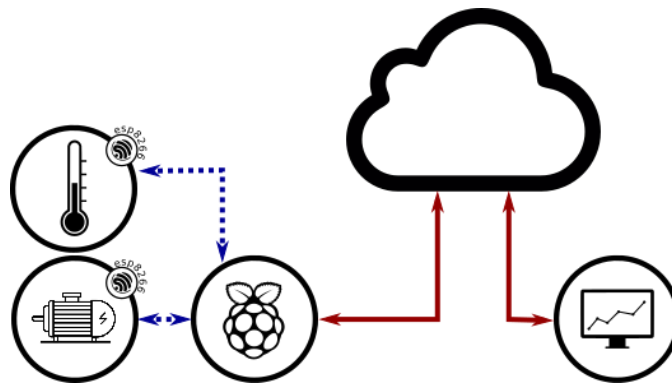


Figura 1. Diagrama de bloques de los sistemas implementados.

De esta forma sus usuarios, los estudiantes, tienen acceso continuo a la experimentación, sobre fenómenos físicos auténticos. Permitiéndoles aplicar sus conocimientos sobre infinidad de sistemas.

Desarrollo

Durante el dictado del primer semestre del ciclo lectivo 2023, en la cátedra sistemas de control digital, se abordaron un gran número de contenidos. Por un lado se presentaron, discutieron y analizaron diversas técnicas de modelado e identificación de sistemas. Por otro lado, se estudió el diseño e implementación de controladores en sistemas embebidos. Es por ello que, con el objetivo de afianzar los conceptos teóricos impartidos, se optó por la utilización de los sistemas dinámicos disponibles en el laboratorio remoto desarrollado por el grupo AC&ES-RG. En particular, se emplearon dos experimentos: un sistema electromecánico, y un sistema térmico.

El sistema electromecánico consiste en un motor de corriente continua, con su respectivo encoder en cuadratura adosado al eje. Dicho motor, está conectado a una placa controladora que posee la capacidad de excitar las bobinas del mismo y de acondicionar las señales del encoder.

Por otro lado, con respecto al sistema térmico, éste se compone de una resistencia calefactora adosada a un sensor de temperatura. La resistencia calefactora está conectada a una placa controladora que la energiza y, además, acondiciona la señal del sensor de temperatura.

Como consecuencia, en la Fig. 2 se bosqueja ambos lazos de control.

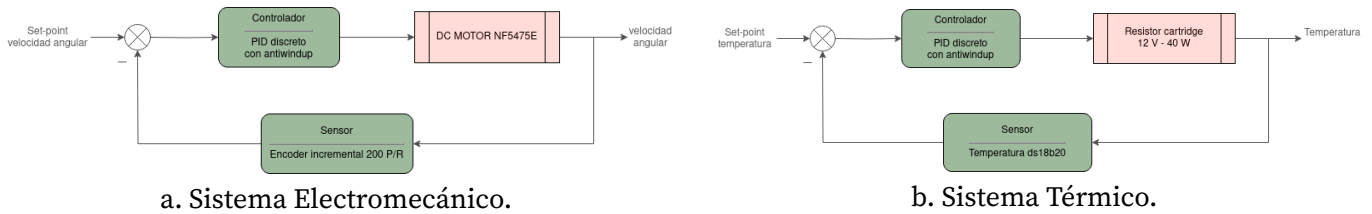
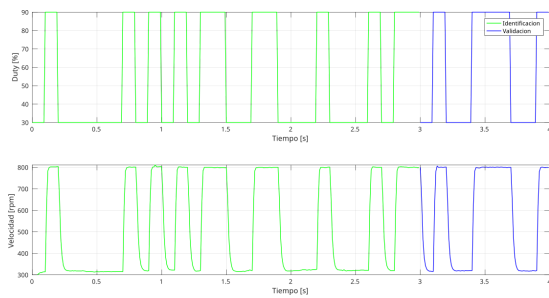


Figura 2. Diagrama de bloques de los sistemas implementados.

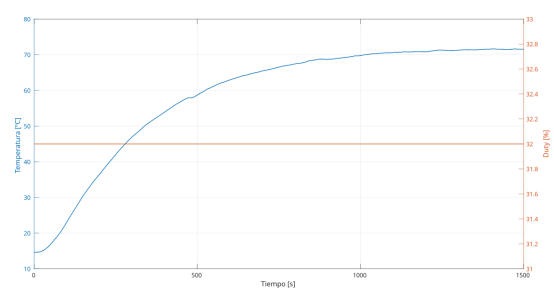
En ambos casos se ha optado por la implementación de un controlador discreto Proporcional, Integral, Derivativo (PID). Así, uno de los principales enfoques, comúnmente empleado, para la sintonización de controladores PID es la selección de sus parámetros empleando un modelo matemático de la planta, o sistema (Ogata K., 2005; Adam E., 2020; entre otros). Para que eso sea posible existen al menos dos caminos: modelado matemático empleando propiedades y características específicas de la naturaleza del sistema, y/o identificación del modelo en base a los datos de entrada/salida del sistema.

Debido a la complejidad involucrada en la obtención de propiedades específicas de cada uno de los sistemas (conductividad térmica, coeficientes de fricción, densidad de los materiales, etc.) se ha optado por la identificación de un modelo discreto que describa la dinámica del sistema, en base a la información disponible de entrada/salida.

Para ello, en ambos sistemas se emplearon distintos tipos de señales de excitación. Esto es, dado que se sabe a priori que el sistema electromecánico es de dinámica alta, se ha suministrado al mismo una señal de entrada persistente por medio de lo que se conoce como Señal Pseudo-Random Binaria (PRBS). En cambio, siendo que el sistema térmico es de dinámica lenta, se ha utilizado una señal de entrada del tipo escalón. Ambos conjuntos de señales de entrada/salida se muestran en la Fig. 3. Es de destacar que los períodos de muestreo son 10 ms para el sistema electromecánico y 800 ms para el sistema térmico.



a. Datos del sistema electromecánico.



b. Datos del sistema térmico.

Figura 3. Datos obtenidos para la identificación de los sistemas.

Seguidamente, obtenidos los datos de entrada/salida, se procedió a identificar los sistemas bajo estudio. Para ello se utilizó la herramienta *System identification* de *Matlab*, obteniendo las funciones de transferencia correspondientes. Esto es, la función de transferencia que describe la dinámica del sistema térmico es:

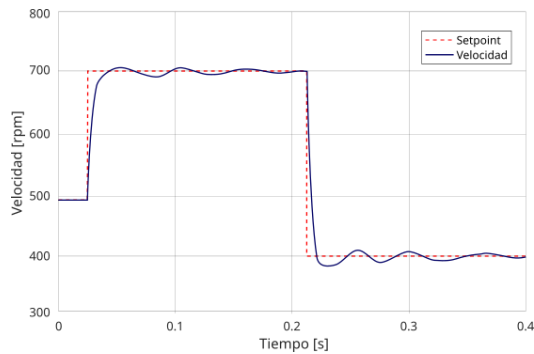
$$H[z] = \frac{0.0001205 z^{-1}}{1-1.977z^{-1}+0.9775z^{-2}}, \quad (1)$$

y la función de transferencia que describe la dinámica del sistema electromecánico es:

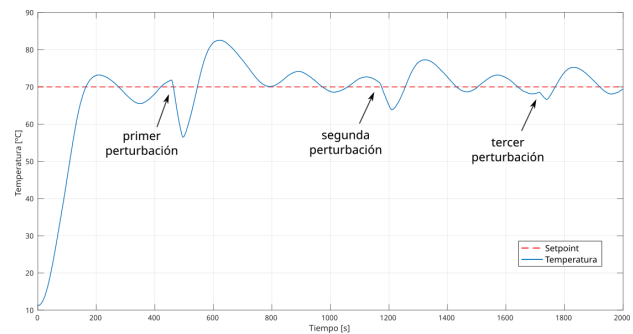
$$H[z] = \frac{0.1213 z^{-1}}{1-0.7178z^{-1}+0.1414z^{-2}}. \quad (2)$$

Luego, tomando como base los modelos de las Ecs. 1 y 2 se procedió a obtener los parámetros de los controladores PID, empleando la regla de Ziegler-Nichols (Adam E., 2020). Resultando estos: $K_p = 3.2$; $K_i = 31$; $K_d = 0.008$ para el sistema electromecánico y $K_p = 2.91$; $K_i = 0.016$; $K_d = 0.020$ para el sistema térmico.

A continuación, en la Fig. 4, se observa el adecuado comportamiento de los sistemas físicos. Específicamente, la Fig. 4a muestra cómo se comporta el sistema electromecánico frente a cambios de consigna y la Fig. 4b bosqueja el comportamiento del sistema térmico frente al ingreso de perturbaciones.



a. Desempeño del sistema electromecánico.



b. Datos del sistema térmico.

Figura 4. Datos obtenidos para la identificación de los sistemas.

Conclusiones

El presente trabajo, expone casos de uso de laboratorios remotos en la cátedra sistemas de control digital. La instancia práctica aquí detallada se desarrolla como actividad integradora a los contenidos de la asignatura. Se considera de gran valor esta experiencia a fin de ilustrar y potenciar la teoría de sendas asignaturas con una aplicación ingenieril concreta. Además, se destaca que resultó de gran utilidad el acceso remoto a los sistemas.

Como futura mejora, se propone sistematizar un método de evaluación y diagnóstico de la actividad propuesta, a fin de cuantificar su impacto académico y comprobar el grado de asimilación de los contenidos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento del Proyecto de Investigación y Desarrollo “Laboratorio remoto para la experimentación en sistemas de control, fundamentado en la democratización de la tecnología”, Código: CCPPBSF0008347.

Referencias

- Adam, E. J. (2020). *Instrumentación y control de procesos*. Notas de clase. Ediciones UNL.
- Gravier, C., Fayolle, J., Bayard, B., Ates, M., & Lardon, J. (2008). State of the art about remote laboratories paradigms-foundations of ongoing mutations. *International Journal of Online Engineering*, 4(1).
- Gomes, L., & Bogosyan, S. (2009). Current trends in remote laboratories. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 56(12), 4744-4756.
- Kuo, B. C., & Golnaraghi, M. F. (2009). *Automatic control systems*. Prentice hall.
- Miretti, M. L., & Bernardi, E. (2022). *Infraestructura para el desarrollo de laboratorios remotos*. *Elektron*, 6(1), 8-19.
- Ogata, K. (2005). *Discrete-time control systems*. Prentice-Hall.
- Sáenz, J., de la Torre, L., Chacón, J., & Dormido, S. (2021). A study of strategies for developing online laboratories. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 14(6), 777-787.