Sintonización de parámetros PID basada en algoritmos genéticos usando un modelo de Elastic Net: un estudio de caso de control de velocidad de un motor de CC

Genetics Algorithms based PID tuning using a Elastic Net model: A dc motor velocity control case study

**RESUMEN**

El presente trabajo trató la aplicación de la metodología de identificación de sistemas para obtener un modelo de Elastic Net y una función de transferencia de un motor de CC; y la inclusión de ambos modelos en sendos procesos de sintonización de un controlador PID de velocidad basados en algoritmos genéticos, tomando como función objetivo a la integral del tiempo multiplicado por el valor absoluto del error. Así también, se utilizó la técnica de Ziegler-Nichols y la aplicación PID Tuner de Matlab para sintonizar dos controladores PID adicionales. Posteriormente, se comparó el desempeño de los controladores obtenidos, observándose una mejor performance en el caso del uso del modelo de Elastic Net. Además, este modelo demuestra abstraer el comportamiento del motor de CC mejor que la función de transferencia, ya que por su misma naturaleza, esta última no puede captar el comportamiento no lineal del motor de CC, sobre todo a bajas velocidades.

**ABSTRACT**

The present work focuses on a dc motor's nonparametric identification by means of a machine learning model, and how this model can be included in a genetic algorithms based PID tuning process to find a speed PID controller; whose performance was compared with that of the PID controllers obtained by the first Ziegler-Nichols method and Matlab's PID Tuner application.

For the dc motor's identification by means of a machine learning model, a step-type excitation signal with a changing amplitude every 4,798s was used, and the selected model structure was the Elastic Net linear regression model; while, for the identification by means of a transfer function, a step-type excitation signal with constant amplitude was used. The Elastic Net model showed an adjustment of more than 99% over a test set; while the transfer function showed an adjustment of more than 95%.

The PID controllers tuning was carried out by means of three strategies: The first one used genetic algorithms and the integral of time multiplied by the error's absolute value criterion; the second. the first Ziegler-Nichols method; and the third, Matlab's PID Tuner application. The transfer function was used in the last two methods, while the Elastic Net model was used in the first.

The controllers obtained were evaluated on the control system, and it was found that the controller obtained by the Ziegler-Nichols method caused an oscillating response that did not stabilize. For the other methods, both controllers showed to be relatively adequate; however, the controller obtained by means of genetic algorithms and the Elastic Net model showed less oscillation before stabilizing and a shorter establishment time.

An Arduino UNO R3 board was used to implement both the data sampling and the digital controller.

El control Proporcional-Integral-Derivativo (PID) es el algoritmo de control más comúnmente utilizado en la industria actual(Kocur, Kozak y Dvorscak 2014) y ha sido el método predominante desde el inicio de los sistemas de automatización (Vilanova y Visioli 2012 p. 460). El impacto ha sido tal que más del 90% de todos los circuitos de control son PID. Y se utiliza para una amplia gama de problemas: control de procesos, accionamientos de motores, memorias magnéticas y ópticas, industria automotriz, control de vuelo, instrumentación, etcétera. Por lo que es bastante razonable predecir que el control PID continuará usándose en el futuro. La realimentación ha tenido una influencia revolucionaria en prácticamente todas las áreas donde se ha utilizado y continuará haciéndolo (Åström y Hägglund 2001).

La razón principal de esta popularidad es la facilidad de ajuste y puesta en servicio de controladores PID SISO (Vilanova y Visioli 2012 p. 255). Considerando además que la mayoría de sistemas utilizados son SISO. El PID proporciona un algoritmo óptimo para perturbaciones no medidas y dinámicas desconocidas, el caso común en la manufactura (Vilanova y Visioli 2012 p. 460). A pesar de su popularidad, el foco principal de la investigación en esta área se concentra principalmente en el desarrollo de metodologías de ajuste de los tres parámetros de control PID (Vilanova y Visioli 2012 p. 320). El ajuste mencionado siempre es un tema de gran interés práctico y, a pesar del pequeño número de parámetros ajustables, sigue siendo tema de investigación (Vilanova y Visioli 2012 p. 283).

Aún la mayoría de documentos sobre control tratan el método de Ziegler-Nichols como punto de referencia para sintonizar controladores PID. Esta es una situación muy insatisfactoria porque las reglas de Ziegler-Nichols son conocidas por dar resultados muy pobres en muchos casos (Vilanova y Visioli 2012 p. 416). Es muy fácil demostrar que cualquier controlador con un ajuste razonable superará a un PID con el ajuste por Ziegler-Nichols. Incluso muchas estrategias propuestas pueden eliminarse fácilmente si se comparan con un PID bien ajustado (Åström and Hägglund 2001).

En las últimas dos décadas, los procesos modernos a gran escala han experimentado grandes desafíos y se han vuelto cada vez más complicados en todos los sectores industriales posibles (Yin et al. 2015). El rápido crecimiento de la complejidad de plantas de procesos modernos, tanto en términos de flujo de materiales como de intercambio de energía, ha incrementado sustancialmente el número de circuitos de control en lazo cerrado para mantener las condiciones de producción y calidad deseadas del producto (Vilanova y Visioli 2012 p. 255), Como resultado, los enfoques tradicionales basados en modelos, que requieren conocer previamente el proceso o modelo físico obtenido a partir de principios primarios, se han vuelto poco prácticos, especialmente para la industria a gran escala (Yin et al. 2015).

Frente a esto, se puede optar por métodos inteligentes para expandir las capacidades de un controlador, y un PID mejorado incrementará la eficiencia (reducir materias primas, servicios públicos y desechos), flexibilidad, operabilidad, mantenimiento, rentabilidad y seguridad, que determina el cumplimiento y la competitividad. El uso innovador de la capacidad de desarrollo y expansión del PID es la clave para la fabricación sostenible (Vilanova y Visioli 2012 p. 460).

En plantas de control con una fuerte no linealidad, se han propuesto métodos de ajuste de parámetros PID que utilizan redes neuronales y algoritmos genéticos, aunque con ciertas limitaciones. Actualmente hay pocos esquemas de ajuste de parámetros PID de uso práctico para sistemas no lineales (Funes et al. 2015). Respecto de estos nuevos métodos, se muestran controladores sintonizados por medio de algoritmos evolutivos que superan de forma amplia los métodos clásicos (Marin Cano, Hernandez Rivero y Jimenez Builes 2018; Colorado Arellano et al. 2018). Así también, se implementaron algoritmos bio-inspirados obteniendo mejores resultados en comparación con los métodos tradicionales. Destacando su efectividad en plantas con retardos y de orden superior (López Mora 2014). En una realidad más cercana, en la escuela de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Nacional de Trujillo, Garcia Pereda (2018) aplicó un algoritmo de colonia de hormigas y en otro trabajo, Balcázar Llanos (2017), un algoritmo genético, para sintonizar controladores PID obteniéndose en ambos casos resultados sobresalientes frente a métodos tradicionales. En todos los casos mencionados anteriormente se necesitó realizar una identificación de la función de transferencia de la planta antes del proceso de sintonización. Sin embargo; la principal limitación de las funciones de transferencia es que solo pueden usarse para diseñar controladores de sistemas lineales o de sistemas no lineales que permiten construir sus aproximaciones lineales alrededor de un punto de equilibrio de interés (Åström y Murray 2006 p. 243).

Por otro lado, debido al crecimiento significativo del grado de automatización en plantas modernas, se generan una gran cantidad de datos de proceso (Yin et al. 2015), que pueden ser aprovechados por los métodos desarrollados en el campo de machine learning y las capacidades computacionales actuales. Por ejemplo, Burgos Molina y Chacón Pacheco (2014) presentan el modelamiento de fenómenos dinámicos en el tiempo a través de una máquina de soporte vectorial. Así también, Bautista Thompson, Guzmán Ramírez y Figueroa Nazuno (2004) utilizan una máquina de soporte vectorial para abordar un problema de predicción de series de tiempo de múltiples puntos con resultados positivos. Así, en otro estudio se describen las importantes ventajas teóricas y prácticas de la regresión de soporte vectorial en la identificación de sistemas de caja negra. La simplicidad de su implementación y su buen rendimiento respecto a la predicción de series temporales, hace de este método una alternativa atractiva frente a las técnicas estándar de identificación de sistemas (Gretton et al. 2002). Drezet y Harrison (1998) mencionan que las propiedades inherentes de las máquinas de soporte vectorial cumplen la mayoría de los requisitos para la identificación de sistemas lineales y no lineales de propósito general. Además, Schölkopf y Smola (2001) mencionan que la estimación regularizada se ha utilizado ampliamente en aplicaciones relacionadas a la estadística y el aprendizaje automático. Pero en los últimos años, se ha explotado en la identificación y predicción de sistemas no lineales. Así, Kahl et al. (2015) realizan la identificación de un modelo de presión de impulso dinámico para usarse en simulaciones, por medio de la técnica de regularización Lasso. De la misma forma, Antonio H. Ribeiro y Luis A. Aguirre (2018) proponen un algoritmo que usa la técnica de regularización Lasso para estimar modelos NARMAX, y fue probado también sobre dos sistemas, uno lineal y el otro no lineal.

Por lo tanto, se presenta un escenario idóneo en el que los procesos de sintonización de controladores usando algoritmos genéticos podrían utilizar modelos de machine learning, como estimadores estadísticos o máquinas de soporte vectorial, que ofrezcan muchas más prestaciones y capacidades al momento de identificar una planta de control.

## **Justificación del estudio**

### **Relevancia Tecnológica**

Las capacidades computacionales de la tecnología actual y el avance de métodos de optimización e identificación de sistemas, presentan un escenario ideal para abordar problemáticas entorno al control de procesos, como es la sintonización de controladores PID, desde nuevos enfoques que integren técnicas que se aplicaban comúnmente de forma separada y en otros contextos.

### **Relevancia Institucional**

Resolver problemas de control e identificación de sistemas, son campos en desarrollo, por lo que dar soluciones desde nuevos enfoques como los mencionados en este trabajo, permitirá impulsar la producción científica en la Escuela de Ingeniería Mecatrónica.

### **Relevancia Social**

La integración de técnicas modernas, como las mencionadas en este trabajo, pueden ser un aporte para dar inicio a la exploración de nuevas soluciones a los problemas que los estudiantes o cualquier persona interesada en los sistemas de control, se enfrentan a menudo.

### **Relevancia Económica**

Todas las herramientas utilizadas en este trabajo son de uso y distribución libre, por lo que este trabajo permite la apertura a la colaboración y customización que las herramientas como el software privativo no admiten.

### **Relevancia Ambiental**

El desarrollo de mejores controladores implica optimizar los procesos de control, lo cual, a su vez, está ligado a un ahorro de recursos en las acciones industriales, científicas o didácticas, contribuyendo a la preservación del ambiente.

## **Objetivos**

### **General**

Identificar de forma no paramétrica un motor dc por medio de un modelo de machine learning, para ser la planta de control en un proceso de sintonización, basada en algoritmos genéticos, de un controlador PID digital de velocidad.