

## Regulación Saturada con Ganancia Variable Derivativa de Robots Manipuladores

Miguel A. Limón-Díaz<sup>a,\*</sup>, Fernando Reyes-Cortés<sup>b</sup>, Emilio J. González-Galván<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P. 78290, México

<sup>b</sup>Grupo de Robótica, Facultad de Ciencias de la Electrónica, Benémrita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla 72570, México

### Resumen

En este trabajo se presenta una familia grande de reguladores saturados tipo hiperbólicos para robots manipuladores. La propuesta considera a la ganancia proporcional constante y a la ganancia derivativa variable con sintonía automática definida en función del error de posición, velocidad de movimiento y un factor de inyección de amortiguamiento para modificar la velocidad de respuesta del robot. La acción de control derivativa con ganancia variable permite reducir sobreimpulsos, oscilaciones y rizo, tal que alcance el estado estacionario en forma suave. Asimismo, se presenta la propuesta de una función estricta de Lyapunov que permite demostrar la estabilidad asintótica global de la ecuación en lazo cerrado. Para mostrar el desempeño y funcionalidad de la familia propuesta de esquemas de control, un análisis comparativo experimental fue desarrollado entre siete estructuras de control, cinco reguladores pertenecen a la familia propuesta, y dos algoritmos de control bien conocidos como son el proporcional derivativo (PD) y tangente hiperbólico (Tanh). Los resultados experimentales fueron obtenidos con un robot manipulador de transmisión directa de tres grados de libertad.

### Palabras Clave:

Regulador, Función de saturación, Ganancia Variable, Manipulador robótico, Algoritmos de control.

### 1. Introducción

Actualmente el control de robots manipuladores representa un tema clave y estratégico para México y en general para Iberoamérica. Los robots manipuladores se han convertido en herramientas indispensables para un amplio sector de la sociedad, como han sido los casos de la industria, aplicaciones especiales y médicas: cirugías robotizadas, fisioterapia, rehabilitación, asistencia robotizada a personas con capacidades diferenciadas, entre otras más.

Para que un robot manipulador realice correctamente una tarea encomendada, se requiere de un algoritmo de control de alto desempeño. Por lo tanto, el diseño de algoritmos de control se ha convertido en una actividad científica permanente y sistemática con la finalidad de proponer nuevos esquemas con alto desempeño y prestaciones adecuadas para una correcta ejecución en la tarea programada.

La técnica de moldeo de energía (*energy shaping*) propuesta por Takegaki and Arimoto (1981) ha sido utilizada por diversos

investigadores; esta metodología utiliza el teorema de invarianza de LaSalle para demostrar estabilidad asintótica. Más tarde Tomei (1991) perfecciona el método de Takegaki-Arimoto sin usar LaSalle, proponiendo una función estricta de Lyapunov para estudiar la estabilidad asintótica del control PD con compensación de gravedad. En esta dirección, es importante resaltar particularmente el trabajo de Santibáñez and Kelly (1997) quienes generalizaron la función estricta propuesta en Whitcomb et al. (1993) para el caso de regulación, así como su extensión al problema de control de trayectoria.

En la literatura existen diversos trabajos que han abordado el problema de sintonía de las ganancias, por ejemplo, usando lógica difusa para que el esquema de control tome decisiones por reglas específicas. En este enfoque, pueden clasificarse en dos grandes categorías de sintonía, el tipo Mamdani and Assilian (1975) y el tipo Takagi-Sugeno; estos métodos presentan como desventaja que la sintonización es manual. Una forma de solucionar la anterior desventaja es por el diseño convencional no-lineal Slotine et al. (1991), programación de ganancias difusas Palm (1997) y el control adaptable difuso Wang (1994).

Los controladores auto sintonizables (*self tuning controllers*) existen desde hace tiempo con diferentes concepciones Åström and Wittenmark (1973), reglas de sintonía en función del error de posición con lógica difusa y redes neuronales para

\*Autor en correspondencia

Correos electrónicos: miangellim@hotmail.com (Miguel A. Limón-Díaz), fernando.reyes@correo.buap.mx (Fernando Reyes-Cortés), egonzalez@uaslp.mx (Emilio J. González-Galván)

las ganancias proporcional  $K_p$  y derivativa  $K_v$  se encuentran en Llama et al. (2000, 2001); Santibáñez et al. (2002, 2004); Meza et al. (2009); Llama et al. (2010); Meza et al. (2012); Armendariz et al. (2012). El concepto de ganancias variables se discute en Salas and Llama (2010); Salas et al. (2012b, 2013).

El término de ganancias variables (*variable gains*) es bien conocido (Kahn (1953)), se ha utilizado en diversas ramas del conocimiento; por ejemplo, es común en aplicaciones médicas, filtros, amplificadores operacionales, instrumentación, etc. Particularmente, en el área de la robótica y control se han desarrollado diferentes aportaciones usando este concepto, en Monopoli and Subbarao (1980) se describe el procedimiento para sintonizar ganancias variantes en el tiempo para un algoritmo adaptable, además se presentan derivaciones de algoritmos propuestos en otros trabajos agregando la variación temporal en los parámetros de ajuste, obteniendo estabilidad asintótica global.

Más tarde en 1993 Ying analiza las propiedades de diferentes controladores no lineales PI con ganancias variables, estudia diferentes estructuras y métodos en el contexto de control difuso, realizando pruebas de estabilidad y determinando el más adecuado de una manera analítica Ying (1993b). Además, relaciona un controlador difuso de múltiples entradas múltiples salidas, con controladores no lineales PI con ganancias variables Ying (1993a); en 1998 analiza la estructura de controladores tipo Takagi–Sugeno empleando un nuevo y simplificado esquema de reglas TS, en el que todas las reglas consecuentes usan una función común, y que son proporcionales a alguna otra condición, reduciendo así el número de parámetros necesarios en cada regla. También relaciona por medio de una regla de proporcionalidad este tipo de controladores con los PI no lineales de ganancias variables Ying (1998a,b). En 2001 analiza los controladores difusos de tipo Mamdani con retroalimentación de estado de ganancias variables consiguiendo demostrar estabilidad local Ying (2001). Posteriormente en 2004 Haj extiende estos trabajos, definiendo las condiciones para establecer que entre los controladores PID, PI y PD con ganancias variables, así como la clase desarrollada de controladores difusos son estructuralmente similares Haj-Ali and Ying (2004).

En Bai and Huang (2000) se proponen dos algoritmos de ganancias variables usando mínimos cuadrados con la finalidad de que tengan una alta velocidad de seguimiento de los parámetros y rendimiento suave en estado estable. Un controlador universal integral con ganancias no lineales para el sistema  $\ddot{y} - \dot{y}^3 - 0,1y^3 = u$  es propuesto en Kay and Khalil (2003), el diseño fue realizado usando modos deslizantes, y las ganancias definidas positivas acotadas y localmente Lipschitz; los resultados experimentales mostraron un mejor rendimiento de la etapa transitoria, reducción de los sobreimpulsos de la respuesta del sistema; en la prueba de estabilidad asintótica local incorporan una función estricta de Lyapunov. La naturaleza no lineal de las ganancias proporcional e integral tiene sustancial ventaja cuando las ganancias son lineales.

Un controlador PD de ganancias variables aplicado a tareas de seguimiento usando una estructura de red dinámica que nombran *Growing Multi-Expert Networks* (GMN) es desarrollado en Kiong et al. (2004) realizando mejoras del tamaño de la red.

Una estructura PID con modos deslizantes para control de

trayectoria de robots manipuladores es presentado en Jafarov et al. (2005); este trabajo considera el desconocimiento total o parcial de la dinámica completa del robot manipulador también realiza el análisis de estabilidad asintótica global formulada en términos de una forma cuadrática completa de Lyapunov.

En Kumar et al. (2006) se presentan dos nuevos controladores de ganancia variable demostrando estabilidad en el sentido de Lyapunov resolviendo la ecuación de Lyapunov. En el primer controlador se presenta un modelo difuso Takagi–Sugeno como una planta lineal, para el segundo controlador se presentan varios subsistemas lineales que son localmente estabilizados.

Un método de control por redes neuronales basados en ganancias variables desarrollado por Xiaobo et al. (2008) adaptan las ganancias de control para un sistema tele-operado en aplicaciones de rehabilitación, asegurando la estabilidad y suavidad del movimiento del robot esclavo y eliminando las perturbaciones debidas a espasmos del paciente. Las ganancias son variables que dependen de los cambios de rigidez e inercia del entorno.

En Moreno and Osorio (2008) proponen una función estricta de Lyapunov de una clase de algoritmos de modo deslizante de segundo orden, que permiten entender las propiedades de convergencia en tiempo finito y robustez. Más tarde, en 2010, se realiza un algoritmo de control VGSTA (*Variable Gain Super-Twisting Algorithm*) Dávila et al. (2010), este diseño permite estimar el tiempo de convergencia además de compensar perturbaciones con derivadas acotadas por funciones conocidas y realizando experimentalmente utilizando un péndulo de Furuta; en Gonzalez et al. (2012) se logra generalizar este trabajo.

En Draou et al. (2010) se presenta el diseño de un esquema de ganancias variables respecto a una curva polinomial para un controlador PI que permite eliminar el sobretiro característico para el control de velocidad de un motor de inducción.

En años recientes, en Salas et al. (2012a) se muestra un controlador PD con ganancias variables para el control de trayectoria de un robot manipulador. La sintonización de ganancias es mediante un algoritmo SOF (*Self-Organizing Fuzzy*) como función del error de posición y se le compara a un controlador PD clásico. Proponen la función candidata de Lyapunov y logran establecer condiciones para estabilidad en una región. En Hussein and Soffker (2012) se presenta la estimación de las variables de estado de una grúa elástica usando un sensor de visión para medir sin contacto las deformaciones que sufre, además desarrolla dos observadores de ganancias variables; el primero para estimar las variables de estado en relación al retardo y al ruido de cámara y el segundo para medir los potenciómetros sin retardos.

En Mendoza et al. (2014) se presentó un control PID saturado con estructura SP-SI-SD con una simple sintonía de ganancias con resultados experimentales en un robot manipulador de 2 grados de libertad. Un controlador PID basado en lógica difusa autosintonizable con ganancias no lineales fue mostrado en Sifuentes-Mijares et al. (2014). Un año más tarde, otro controlador PID basado en lógica difusa autosintonizable para un robot manipulador con eslabón flexible es mostrado en Dehghani and Khodadadi (2015). Para este trabajo se consideraron dos entradas, el error y el cambio del error, y cinco niveles, las

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050498>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050498>

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