

## Estabilidad para un control borroso en modo deslizante aplicado a un robot paralelo neumático

Pablo J. Prieto<sup>a</sup>, Nohe R. Cazarez-Castro<sup>a,\*</sup>, Dianelis García<sup>b</sup>, Selene L. Cardenas-Maciel<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Tijuana, Tecnológico Nacional de México, Av. ITR Tijuana y Blvd. Alberto Limón Padilla, S/N, 22510, Tijuana, Baja California, México.

<sup>b</sup>Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera de Camajuani Km. 5 1/2, CP 54830, Santa Clara, VC, Cuba.

### Resumen

Se presenta un controlador borroso tipo Mamdani basado en técnicas en modo deslizante para el posicionamiento de un robot paralelo neumático de dos grados de libertad (2 GDL). Es probado que el sistema es asintóticamente estable en el sentido de Lyapunov y se presentan resultados numéricos y experimentales. Más aún, el controlador diseñado puede ser aplicado en control de trayectoria al ser retroalimentadas la velocidad y la aceleración del sistema. Se presentan además resultados satisfactorios obtenidos en forma experimental para el caso de seguimiento de trayectoria. Copyright © 2015 CEA. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

### Palabras Clave:

Control borroso, Control de robot, Estabilidad de Lyapunov, Modos deslizantes.

### 1. Introducción

Algunas de las estrategias recomendadas para el control continuo de sistemas neumáticos es el control por modos deslizante debido a su robustez y comportamiento ante fenómenos altamente no lineales. Control por modos deslizantes consiste en forzar al estado del sistema a un comportamiento deseado, para el presente caso, llevar la dinámica del sistema a una superficie deslizante. El Control por Modos Deslizantes fue desarrollado originalmente por Utkin en 1977 para el control de manipuladores robóticos Utkin et al. (1999); Krivts and Krejnin (2006).

La lógica borrosa se combina con el control en modo deslizante para reducir el efecto de vibraciones mecánicas de altas frecuencias (chattering) y mejorar la precisión, así como la robustez del controlador. Esto se justifica debido a que el control borroso es una ley del control no convencional y robusta, conveniente para sistemas complejos o no lineales caracterizados por fluctuación en sus parámetros o incertidumbres. Cabe destacar entre las ventajas de los sistemas borrosos el no estar ligado al modelo matemático del sistema dinámico a controlar, tal como el caso del control por modos deslizantes clásico.

La incorporación del control borroso ha tenido mucha aceptación desde la industria por ser una estrategia de control basada en resultados prácticos. Sin embargo, al mismo tiempo ha sido ampliamente criticado desde la academia porque en la mayoría de las ocasiones los diseños no se acompañan de las pruebas formales (matemáticas) de estabilidad acostumbradas en las teorías y técnicas tradicionales y modernas de control basadas en un esquema de (i) modelo matemático, (ii) diseño de controladores, (iii) prueba teórica de estabilidad y (iv) experimentación - en la mayoría de los casos.

En lo particular para sistemas borrosos tipo Mamdani (1975) no es común encontrar pruebas de estabilidad que acompañen a los diseños de sistemas de control. En cambio, para sistemas borrosos tipo Takagi and Sugeno (1985), por sus características de la estructura del consecuente en las reglas IF-THEN, es más común encontrar aproximaciones a pruebas de estabilidad relacionadas con Routh (1877)-Hurwitz (1895) y Lyapunov (1892) por mencionar algunos.

La ley de control a diseñar tiene como propósito lograr que el sistema en lazo cerrado sea estable, lo que se consigue al asegurar la convergencia de la dinámica a un punto de equilibrio estable. Para lograr este objetivo se pueden aplicar diversos criterios de estabilidad, como por ejemplo el de Lyapunov. El método de estabilidad de Lyapunov es usualmente utilizado para determinar las propiedades de estabilidad de un punto de equilibrio sin resolver la ecuación diferencial del estado. Se parte de considerar una función candidata de Lyapunov  $V(y(t))$

\* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: [pablojprieto@tectijuana.edu.mx](mailto:pablojprieto@tectijuana.edu.mx) (Pablo J. Prieto), [nohe@ieee.org](mailto:nohe@ieee.org) (Nohe R. Cazarez-Castro), [dianelis@uclv.edu.cu](mailto:dianelis@uclv.edu.cu) (Dianelis García), [lillette.cardenas@ieee.org](mailto:lillette.cardenas@ieee.org) (Selene L. Cardenas-Maciel)

como una función escalar diferenciable definida en un dominio  $D$  que contiene el origen. El método de Lyapunov plantea que la función  $V(y(t))$  es definida positiva en  $V(0) = 0$  y  $V(y(t)) > 0$  para  $t > 0$ , y que su derivada  $\dot{V}(y(t))$  es definida negativa si  $\dot{V}(y(0)) = 0$  y  $\dot{V}(y(t)) < 0$  para  $t > 0$ , Slotine and Li (1991).

En el presente artículo se propone una estrategia de control basada en un sistema borroso tipo Mamdani para resolver el problema de posicionamiento de un sistema neumático. Los sistemas neumáticos presentan altas no linealidades debido a la compresibilidad del aire, cambios bruscos del flujo de aire. Todo ello provoca variaciones de los parámetros del modelo y con ello se añade incertidumbre a la estimación. Se incorporan elementos del control por modos deslizantes debido a la robustez del mismo ante incertidumbres y altas no linealidades del sistema en cuestión. Desde el punto de vista de la lógica borrosa basada en sistemas por modos deslizantes la propuesta es no trivial debido a que no solo brinda solución al problema de chattering, sino que también se asegura solución al problema de seguimiento del sistema hacia una referencia determinada.

Como resultado adicional, el sistema borroso diseñado para resolver el problema de posicionamiento y que resulta ser estable en lazo cerrado, no solo atenúa chattering, sino que también brinda una alternativa para el control de posicionamiento de sistemas neumáticos.

El artículo se organiza como sigue: La Sección 2 brinda una descripción del mecanismo objeto de estudio. La Sección 3 describe aspectos fundamentales del control por modos deslizantes. La Sección 4 presenta una descripción del algoritmo de control borroso en modo deslizante y la prueba de estabilidad correspondiente. Los resultados al problema de posicionamiento y al de seguimiento se presentan en la Sección 5. Finalmente, la Sección 6 reporta conclusiones sobre el presente trabajo.

## 2. Robot paralelo neumático de 2 grados de libertad (2-GDL)

El robot paralelo de 2 grados de libertad (2-GDL) objeto de estudio es el mostrado en la Figura 1 Rubio et al. (2007), está formado por una base fija conectada a una plataforma móvil por dos cadenas cinemáticas gobernadas por cilindros neumáticos de doble efecto del tipo FESTO DNC B-100-320-PPV-A. Estos cilindros son alimentados por válvulas MPYE 5-3/8-010-B. Encoders del tipo LXEP-40 son usados para medir posición; la velocidad y aceleración son estimadas.

Los movimientos de la plataforma móvil se logran mediante la acción de los dos cilindros neumáticos (actuadores) que constituyen articulaciones actuadas cuyos desplazamientos lineales le imprimen al efector final rotaciones sobre dos ejes perpendiculares entre sí. Estas rotaciones simulan las pendientes del mundo virtual, las cuales son visualizadas en un monitor ubicado en la propia cabina.

Las características más importantes del mecanismo están descritas en la Tabla 1.

### 2.1. Modelado de un actuador neumático lineal

El modelo analítico de un actuador neumático comprende las dimensiones dentro de la válvula, dado que el aire no es un

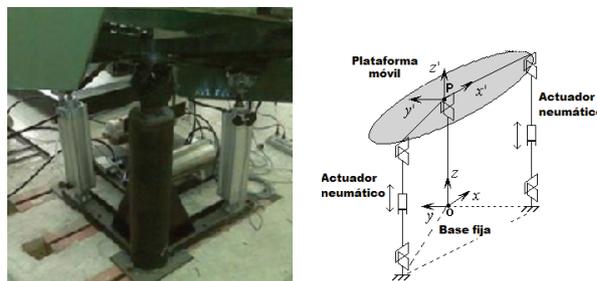


Figura 1: Plataforma de 2-GDL y su arquitectura geométrica.

Tabla 1: Principales características de la plataforma de 2-GDL

Descripción	Parámetros
Ángulo de Ladeo	$\pm 13^\circ$
Ángulo de Cabeceo	$\pm 13^\circ$
Elongación of pistón	320 mm
Diametro del cilindro	100 mm

buen lubricante, la dinámica del flujo del aire a través de las cámaras del cilindro y la dinámica del movimiento de la carga en función de las presiones aplicadas a cada lado del émbolo y las fuerzas externas y de fricción que estén presentes en la estructura mecánica.

La masa de aire a través de los orificios de válvulas dependen de su área efectiva y de las presiones de entrada y salida. Esta es calculada de acuerdo a la norma ISO-6358 (1989) y se establece:

$$Q_m \begin{cases} KAP_{ent} \sqrt{\frac{273}{T}} & 0 < r < rc \\ KAP_{ent} \sqrt{\frac{273}{T}} \sqrt{1 - \frac{r-rc}{1-rc}} & r \geq rc \end{cases}, \quad (1)$$

donde

$$r = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \quad (2)$$

y

$Q_m$ : Flujo másico del aire,

$A$ : Área efectiva del orificio ( $m^2$ ),

$P_{ent}$ : Presión de entrada al orificio ( $Pa$ ),

$P_{sal}$ : Presión de salida del orificio ( $Pa$ ),

$K$ : Constante proporcional de ajuste de unidades( $kg/s.m^2.Pa$ ),

$r$ : Razón de presión,

$rc$ : Razón de presión crítica que delimita el flujo sónico del subsónico,

$T$ : Temperatura de trabajo.

Los parámetros  $P_{ent}$  y  $P_{sal}$  son las presiones absolutas de la entrada y la salida de los orificios de la válvula (en  $Pa$ ),  $K$  es una constante de proporcionalidad ( $K = 2,43 * 10^3 kg/s m^2 Pa$ ),  $T$  temperatura de trabajo ( $^\circ K$ ) y  $rc$  representa la razón de presión crítica que defina si la región de trabajo es sónica ( $0 < r < rc$ )

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1701816>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1701816>

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