

Control Par Calculado Pasivo Robusto en una Interfaz Háptica: Geomagic Touch

Robust Passive Calculated Torque Control in a Haptic Interface: Geomagic Touch

José Daniel Meneses-Gonzalez ^a, Omar Arturo Domínguez-Ramírez ^b

Abstract:

In this article we will study the calculated torque control, obtaining a closed-loop linear equation in terms of the state variables, on the other hand, the calculated torque control is characterized by being a closed-loop linear equation in terms of the state variables, on the other hand, the calculated torque control is characterized by being a dynamic control, that is, its control law is complete since it includes additional state variables. Finally, it is worth anticipating that the control satisfies the objective of tracking control with a trivial choice of its parameters. And thus, it is possible to see experimentally using the Geomagic Touch haptic interface as a platform, the parameters of position, velocity, acceleration, workspace, trajectory, joint error, control signal and energy.

Keywords:

Motion control, trajectory tracking, passivity, dynamic model, Haptic interface, Haptic guidance, Motion planning.

Resumen:

En este artículo estudiaremos el control par calculado obteniendo una ecuación lineal en lazo cerrado en términos de las variables de estado, por otra parte, el control par calculado es caracterizado por ser un control dinámico, es decir su ley de control es completa ya que incluye variables de estado adicionales. Finalmente vale la pena anticiparse que el control satisface el objetivo de control de seguimiento con una elección trivial de sus parámetros Y así poder ver de manera experimental utilizando como plataforma la interfaz háptica Geomagic Touch, los parámetros de posición, velocidad, aceleración, espacio de trabajo, trayectoria, error de articulaciones, señal de control y energía.

Palabras Clave:

Control de movimiento, seguimiento de trayectoria, pasividad, modelo dinámico, interfaz háptica, guiado háptico, planificación de movimiento.

1. Introducción

Considerando el modelo dinámico de un sistema robótico, serial con cadena abierta con n grados de libertad, con eslabones rígidos, actuadores ideales para evitar fricción en las articulaciones, descrita a continuación:

$$H(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \tau \quad (1)$$

Donde $H(q)$ es la matriz de inercias, $C(q, \dot{q})$ es el vector de Coriolis y fuerzas centrífugas, $G(q)$ representa el vector de fuerzas de gravedad y τ es un vector de fuerzas y pares aplicados en las articulaciones. Los vectores \ddot{q} , \dot{q} , q denotan la posición, la velocidad y la aceleración articular respectivamente [2].

El problema del control de movimiento y particularmente al de seguimiento para un sistema robótico serial de cadena abierta puede ser formulado bajo los siguientes términos. Considerando el modelo dinámico de n grados de libertad, y dado un conjunto vectorial de una función \ddot{q}_d , \dot{q}_d , q_d , donde son las posiciones articulares deseadas, velocidades y aceleraciones deseadas, deseamos encontrar una función vectorial τ tal que la posición q siga de manera precisa las coordenadas de la articulación del robot q_d . En términos formales el objetivo del control de seguimiento consiste en encontrar τ . Sin embargo, de manera práctica este control no solo depende de la aceleración articular \ddot{q} usualmente se ocupan acelerómetros altamente sensibles al ruido [2].

^a Jose Daniel Meneses Gonzalez, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0009-0000-9410-1424>, Email: jose_meneses@uaeh.edu.mx.

^b Omar Arturo Domínguez Ramírez Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0009-0000-9410-1424>, Email: omar@uaeh.edu.mx

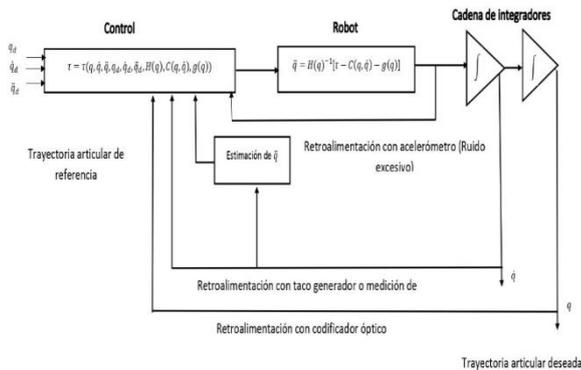


Figura 1: Diagrama a bloques del control de un robot de tres grados de libertad.

2. Control Par Calculado

El modelo dinámico está caracterizado por el comportamiento del sistema robótico serial con cadena abierta en general, está compuesto de funciones no lineales de las variables de estado (posición y velocidades articulares) Esta es una característica del modelo dinámico que nos puede llevar a creer que, dado cualquier controlador, la ecuación diferencial que se usa en el sistema de control en lazo cerrado también debe estar compuesto por funciones no lineales de las variables de estado correspondientes. Sin embargo, existe un controlador que no es lineal en las variables de estado pero que conduce a un sistema de control en lazo cerrado, pero es descrito por una ecuación lineal diferencial. Este controlador es capaz de cumplir el objetivo de un control de movimiento, globalmente y más aún una selección trivial de sus parámetros de diseño. Recibe el nombre de control par calculado. La ley de control par calculado es dada por

$$\tau = H(q)[\ddot{q}_d + K_v \dot{\tilde{q}} + K_p \tilde{q} + C(\dot{q}, q)\dot{q} + G(q)] \quad (2)$$

Donde K_v y K_p son matrices simétricas definidas positivas y $\tilde{q} = q_d - q$.

El control par calculado fue uno de los primeros modelos basados en control de movimiento creados un enfoque para manipuladores, esto es, cual hace uso explícito del conocimiento de las matrices $H(q)$ es la matriz de inercias, $C(q, \dot{q})$ es el vector de Coriolis y fuerzas centrífugas, $G(q)$ Además, se observa que la trayectoria deseada de movimiento $q_d(t)$, y sus derivadas $\ddot{q}_d(t)$, $\dot{q}_d(t)$ tanto como las mediciones de $q(t)$ y $\dot{q}(t)$ se utilizan para el control par calculado [2].

3. Diseño basado en pasividad del PD+G

Ahora bien, para resolver el problema de seguimiento de trayectorias es necesario involucrar aspectos dentro de la función de Lyapunov, donde se introduce un error de velocidad [2].

por simplicidad es trivial que el control τ es solución a esta ecuación, y resulta:

$$\tau = -k_a \dot{q} + G(q) \quad (3)$$

4. Diseño basado en pasividad del Par Calculado Robusto.

Podemos asumir, que el control par calculado pasivo robusto, es una generalización del control pasivo con retroalimentación dinámica y que garantiza seguimiento de trayectorias, y el control PD+G corresponde a un caso, útil en regulación global [2].

$$\tau = H(q)\ddot{q}_d + C(\dot{q}, q)\dot{q}_d + G(q) - \dot{K}_p \tilde{q} - k_a \dot{\tilde{q}} \quad (4)$$

5. Regulación basada en seguimiento

Se propone un conjunto de polinomios para un desempeño óptimo en tareas de regulación. La regulación basada en seguimiento es de gran importancia para hacer frente a la regulación de punto a punto. En nuestro enfoque este puede ser implementado por una función que está diseñado de tal forma que garantice una transición suave entre los puntos [5].

6. Dispositivo háptico Geomagic Touch

Diseño del manipulador de forma diestra.

- Espacio operacional de 6 grados de libertad.
- Diseño portátil y espacio compacto para flexibilidad en el lugar de trabajo.
- Espacio de trabajo compacto para facilidad de uso.
- Cómodo lápiz óptico de goma moldeada con pintura texturizada para uso a largo plazo y agarre seguro [1].



Figura 2: Dispositivo Háptico Geomagic Touch.

7. Requerimientos del sistema.

El dispositivo háptico Geomagic Touch requiere ciertos componentes de hardware y software para poder funcionar correctamente.

Esta sección describe los requisitos mínimos para operar el dispositivo háptico Geomagic Touch.

- Procesador Intel Core 2 Dúo o mejor.
- Puerto Ethernet o puerto USB integrado en RJ45.
- Windows 7 o Windows 8.
- 512 MB de espacio libre en el disco duro.
- 2 GB de RAM.
- La versión más actual del controlador Geomagic Touch Device.
- Cable Ethernet RJ45 suministrado por Geomagic.
- Tarjeta de red que admite compatibilidad Ethernet 10/100 MBPS.

8. Descripción de la tarea del robot

La tarea consistió en regulación basada en seguimiento de una trayectoria determinada por las siguientes ecuaciones paramétricas:

$$\begin{aligned} x_d &= h + r \cos(\omega t) \\ y_d &= 0 \\ z_d &= k + r \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (5)$$

donde $h = 0$; $k = 0$; $r = 20\text{mm}$; y $\omega = 2\pi f$, que se proponen considerando el espacio de trabajo del dispositivo háptico Geomagic Touch.

La velocidad y aceleración deseadas se definen por la primera y segunda derivada respectivamente de las ecuaciones paramétricas definidas anteriormente. La frecuencia de muestreo $f = 1 \text{ KHz}$ y el tiempo de ejecución es de 20 segundos. Se emplea el modelo cinemático directo e inverso de posición y velocidad para poder leer la posición operacional con los encoders ópticos del dispositivo háptico y aplicar un control articular a los actuadores [4].

9. Gráficas PD+G

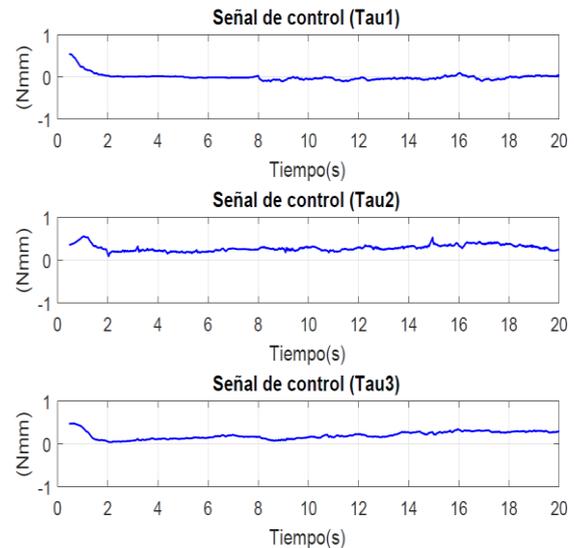


Figura 3: Señal de control.

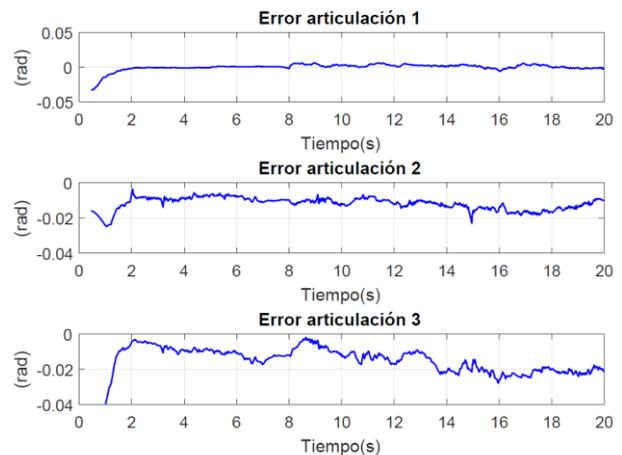


Figura 4: Error de articulación.

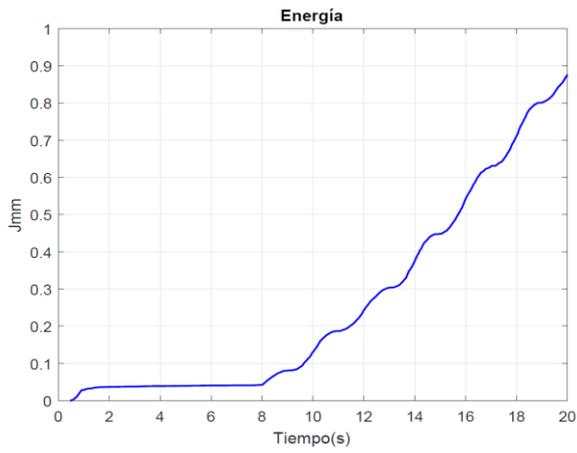


Figura 5: Energía.

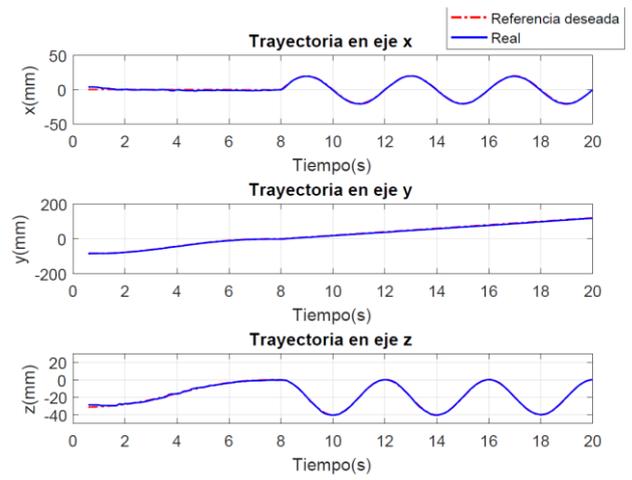


Figura 7: Trayectoria cartesiana.

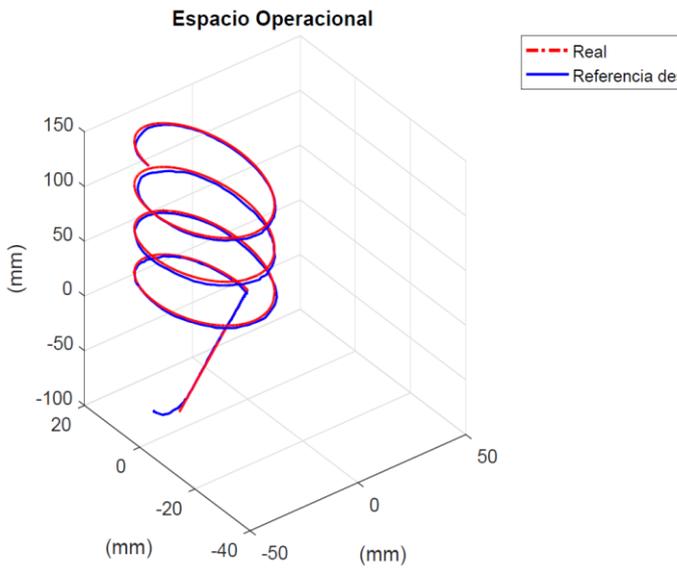


Figura 6: Espacio Operacional.

10. Gráficas Par Calculado Pasivo Robusto

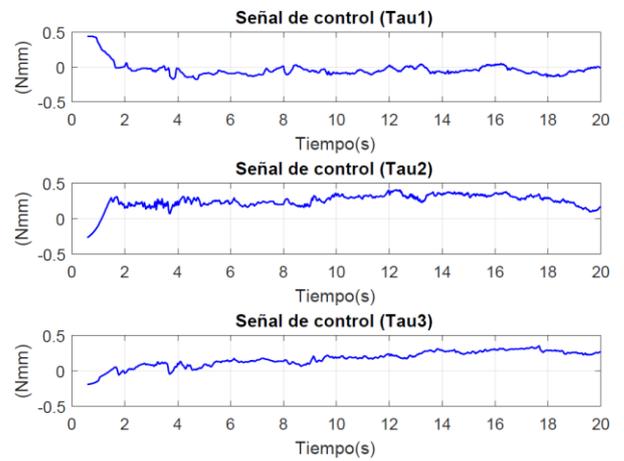


Figura 8: Error de articulación.

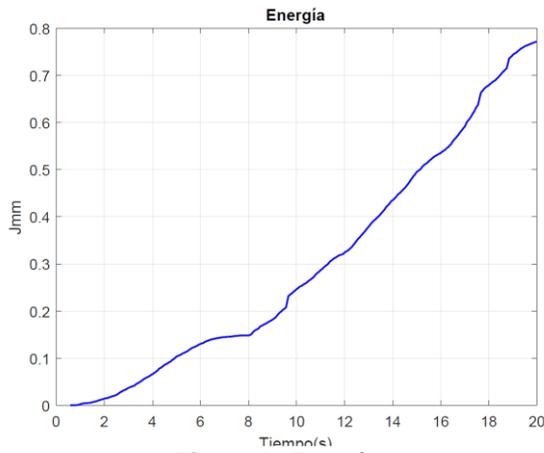


Figura 9: Energía.

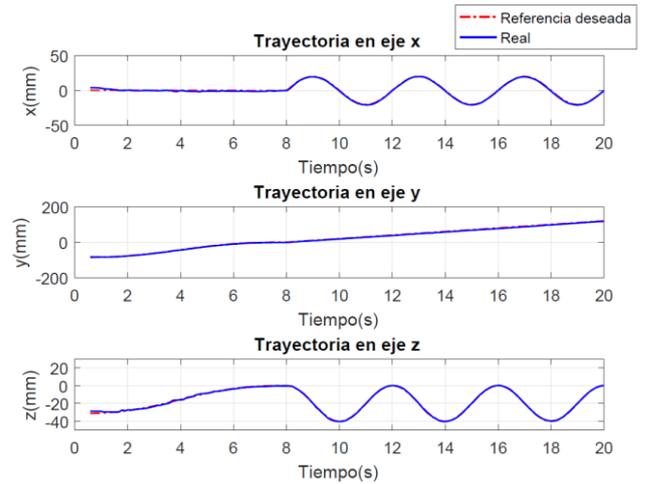


Figura 12: Trayectoria cartesiana.

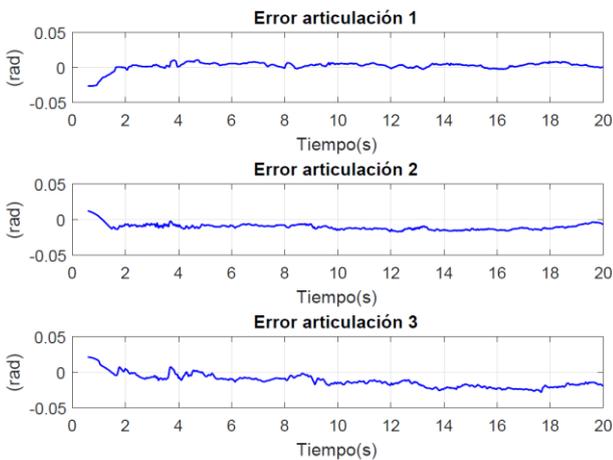


Figura 10: Error de articulación.

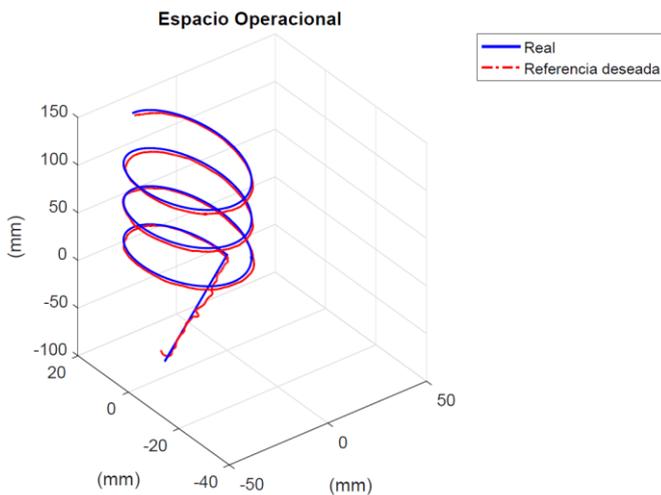


Figura 11: Espacio Operacional.

11. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio comparativo de controles no lineales basados en pasividad, se puede visualizar que el control par calculado garantiza seguimiento de trayectorias y minimiza los errores de estado estable en posición y velocidad, ya que el control par calculado pasivo robusto se tiene que tener el conocimiento de las aceleraciones articulares deseadas junto con la dinámica de un sistema robótico, serial con cadena abierta, sin embargo, demanda mayor energía dada su cualidad de robustez.

Referencias

- [1] Adachi Y., Development of a Haptic Interface for Virtual Reality, 2nd Japan- France Congress on Mechatronics, Takamatsu, Japan, 4 pp., November, 1994.
- [2] Mark W. Spong, Seth Hutchinson, and M. Vidyasagar, 1989.
- [3] Control de movimiento de robots manipuladores Automática y Robótica Autores Rafael Kelly, Víctor Santibáñez Editor Pearson Educación 2003.
- [4] K. Ogata. Discrete-Time Control Systems. Prentice-Hall, New York, 1995.
- [5] K. Ogata. Ingeniería de Control Moderna. Prentice-Hall, New York, 1998.