

Control desacoplado de un actuador de rigidez variable para robots asistenciales

J. Medina*, A. Jardón, C. Balager

Robotics Lab, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Carlos III de Madrid, Av. Universidad, 30, 28911, Leganés, Madrid, España.

Resumen

Los actuadores de rigidez variable son dispositivos que permiten cambiar la posición y rigidez articular de un robot en forma simultánea. En los últimos años se han diseñado y desarrollado muchos dispositivos de este tipo, con la esperanza de favorecer la seguridad en la interacción humano-robot y mejorar el rendimiento dinámico de los robots. En este artículo se presenta el desarrollo de un controlador para un actuador de rigidez variable de configuración serie. La estrategia de control se basa en la linealización por realimentación y el ajuste de dos controladores lineales. Esta estrategia permite el seguimiento de referencias de posición y rigidez articular de forma simultánea y desacoplada. Además, se realizan simulaciones en las que se incorpora este dispositivo dentro del robot asistencial ASIBOT, a fin de evaluar el desempeño del controlador, los cambios en la dinámica del robot y las posibles ventajas que tendrá la inclusión del mismo a nivel de seguridad en la interacción física humano-robot.

Palabras Clave: control de robot, sistemas no lineales, linealización por realimentación, interacción hombre/máquina.

1. Introducción

Cada vez más autores afirman que el comportamiento de un robot no puede ser visto únicamente como el resultado de un sistema de control, sino que su morfología, las propiedades de los materiales que lo componen y el entorno en el que se encuentra, son factores de suma importancia al momento de diseñar (Pfeifer et al., 2007). De hecho, posiblemente muchas de las capacidades de los nuevos robots no serán solamente una consecuencia directa de un avanzado sistema de control, sino el resultado natural de la explotación adecuada de su dinámica pasiva. Para lograr esto es necesario un diseño físico basado en el entorno y en el tipo de interacción que tendrá el robot con el mismo, de manera que las propiedades físicas del robot faciliten un determinado comportamiento dinámico (Pfeifer and Bongard, 2006).

La elasticidad es una propiedad que puede aportar parte de esta “inteligencia mecánica” a las nuevas generaciones de robots manipuladores. De hecho, en las últimas dos décadas se han venido incluyendo deliberadamente elementos elásticos en diferentes sistemas robóticos. La flexibilidad mecánica se puede incluir principalmente por dos mecanismos: el uso de elementos de transmisión flexibles o la incorporación de eslabones (o su equivalente) de materiales ligeros o elásticos. De esta manera, y desde el punto de vista del modelado, la flexibilidad

puede ser representada como un elemento elástico dentro del sistema articular o elementos elásticos distribuidos a lo largo de los eslabones. De estos dos mecanismos, el sistema elástico articular (o de transmisión flexible) combinado con un conjunto de eslabones ligeros pero rígidos, parece ser la aproximación más cercana al sistema músculo-esquelético del ser humano.

Una gran gama de sistemas de transmisión flexibles han sido desarrollados, y en este ámbito los llamados Actuadores de Rigidez Variable (VSA por sus iniciales en inglés: Variable Stiffness Actuator) han acogido un gran interés en la comunidad científica. Estos dispositivos no solo incorporan un elemento elástico en la articulación, sino que permiten modificar la rigidez articular equivalente, para así poder pasar de una estructura: rígida, de inercia acoplada, más precisa y rápida (similar a los robots industriales tradicionales); a una estructura: flexible, desacoplada y menos precisa (similar al ser humano). Los VSA están pensados para robots que necesitan interactuar con un entorno desconocido y probablemente dinámico. En las siguientes aplicaciones los VSA tiene interés particular porque:

- **Existe interacción física humano-robot**, por lo tanto se necesitan robots que puedan ser seguros de cara a posibles colisiones inesperadas, pero que al mismo tiempo puedan ofrecer exactitud y velocidad acorde a labores de colaboración o asistencia (Grebenstein et al., 2011; Goris et al., 2011).
- **Conviene almacenar energía para ser liberada en otro momento**, bien sea debido a que se necesita realizar una

* Autor en correspondencia.

Correo electrónico: jomedina@ing.uc3m.es (J. Medina)

acción que requiere un pico puntual de energía, como podría ser lanzar o patear una pelota (David Braun and Vijayakumar, 2012; Haddadin et al., 2007), o porque se realiza un movimiento repetitivo como caminar (Vanderborgh et al., 2008), en ambos casos se quiere ser más eficiente energéticamente hablando.

- **Se necesita un sistema robusto que tolere o se adapte a perturbaciones externas, errores o cambios en el modelo del ambiente o del mismo robot.** Un ejemplo claro de esto es la estabilidad de un humanoide sobre entornos desconocidos (Li et al., 2012) o el uso de herramientas como: martillos (Garabini et al., 2011), taladro (Yang et al., 2011) o un lápiz de dibujo (Grebenstein et al., 2011).

El primer trabajo de investigación en el área de robótica que planteó la idea de incorporar elementos de rigidez variable en la morfología de los robots fue el presentado por Hogan (Hogan, 1985), que junto al desarrollo del actuador neumático de McKibben (Caldwell et al., 1995) o del actuador elástico serie (Pratt and Williamson, 1995) constituyen las referencias más tempranas en esta área. Actualmente existen un gran número de diseños de actuadores con rigidez variable, sin embargo, pueden distinguirse tres ideas o principios de funcionamiento:

- **La configuración antagonista**, en ella dos actuadores de naturaleza flexible o con elementos de transmisión flexibles, que poseen una característica fuerza-elongación no lineal, se acoplan a la misma articulación pero de forma opuesta. El ejemplo más conocido de un sistema antagonista es la combinación de bíceps y tríceps en el brazo humano. Cuando el bíceps se contrae y se relaja el tríceps, el brazo es flexionado. Cuando el tríceps se contrae y se relaja el bíceps, el brazo se extiende. Además, cuando ambos bíceps y tríceps están contraídos, el codo se vuelve más rígido, y cuando ambos se relajan, el codo se relaja y el brazo cuelga libremente (Schiavi et al., 2008; Petit et al., 2010; Catalano et al., 2011; Villegas et al., 2012).
- **La configuración serie por pretensión**, esta es una de las formas en que evoluciona el actuador elástico serie para poder variar la rigidez, consiste en la incorporación de un elemento flexible en el mecanismo de transmisión, que puede ser comprimido de manera independiente por un segundo actuador. Al tener una característica fuerza-elongación no lineal, la compresión aplicada sobre el resorte traslada el punto de operación del mismo a diferentes valores de rigidez (Vanderborgh et al., 2011; Wolf and Hirzinger, 2008; Wolf et al., 2011).
- **La configuración serie sin pretensión**, es también una evolución del actuador elástico serie, y consiste en un actuador tradicional con un mecanismo de transmisión flexible que permite el ajuste de al menos uno de los parámetros que define su rigidez (modulo de Young, momento de inercia o longitud eficaz del resorte) (Choi et al., 2009; Ahmed and Kalaykov, 2010), o un cambio mecánico en

la forma de transmisión del par (cambio en la ubicación del resorte, del punto de aplicación del par, de la posición del eje de rotación o del ángulo con que se transmite la fuerza) (Jafari et al., 2011; Groothuis et al., 2012).

Este artículo comienza estudiando el modelo dinámico de manipuladores con articulaciones flexibles, y cómo debe ser ajustado el mismo cuando se quiere introducir actuadores de rigidez variable. Centra su atención en actuadores con configuración serie sin pretensión, debido a que este tipo de actuador permite un amplio rango de variación de la rigidez y una gran capacidad de almacenamiento de energía. Posteriormente, y considerando las características particulares de un actuador de este tipo, conocido con el nombre de AWAS (Jafari et al., 2010), se desarrolla una estrategia de control basada en linealización por realimentación y el uso de un controlador lineal, para poder ajustar de forma independiente la posición y rigidez articular.

El objetivo principal del artículo es evaluar el efecto que tiene la inclusión de un VSA de estas características sobre la seguridad de un ser humano que comparte espacio de trabajo con un robot asistencial. Para ello se simula, a través de un modelo de impacto, los efectos que tiene la inclusión del actuador de rigidez variable dentro de la dinámica del robot asistencial ASIBOT (Jardon et al., 2012).

2. Dinámica del Sistema

2.1. Sistema articular flexible

El modelo dinámico reducido del manipulador con articulaciones flexibles (De Luca and Book, 2008), presentado en (1) y (2), constituye un excelente punto de partida para plantear un modelo general que describa la dinámica de los manipuladores con rigidez articular variable. Este modelo considera un manipulador con articulaciones flexibles, como una cadena cinemática abierta con $n + 1$ cuerpos rígidos, la base y los n eslabones, conectados entre sí por n elementos flexibles, y accionados por n motores eléctricos. Desde el punto de vista mecánico, cada motor (constituido por un rotor y un estátor) representa un nuevo cuerpo rígido con sus propiedades inerciales. Inicialmente todas las articulaciones se han considerado flexibles, debido a la utilización de diferentes dispositivos de transmisión.

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + \tau_e(\beta) + \eta_q(t) = \tau_{ex} \quad (1)$$

$$B(\theta)\ddot{\theta} - \tau_e(\beta) + \eta_\theta(t) = \tau \quad (2)$$

En estas ecuaciones, $q \in R^n$ y $\theta \in R^n$ son las posiciones angulares de los eslabones y actuadores respectivamente, $M(q)$ es la matriz de inercia de los eslabones del robot, $B = \text{diag}\{b_1, \dots, b_n\}$ es la matriz de los momentos de inercia de los actuadores; N representa a la fuerza centrípeta, de Coriolis y la fuerza de gravedad; τ_e es par elástico que es función de la deformación articular $\beta = q - \theta$; $\tau \in R^n$ es el par aplicado por los actuadores y $\tau_{ex} \in R^n$ una perturbación externa producida por ejemplo por una colisión. Para simplificar, se asume que todos los efectos debidos a: fricción, zonas muertas, dinámicas no modeladas y parámetros variables; son agrupados en las funciones aditivas $\eta_{q,\theta}(t)$ (consideradas despreciables en este artículo).

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1701774>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1701774>

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