

INTERFAZ HAPTICA APLICADA EN LA MANIPULACION DE OBJETOS

R. HAARTH¹, G. E. EJARQUE¹, M. DISTEFANO¹

¹*Instituto de Automática y Electrónica Industrial. Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de Cuyo.
Mendoza. Argentina.*

rhaarth@uncu.edu.ar gonzalo.ejarque@yahoo.com.ar mdistefa@uncu.edu.ar

Se presenta el diseño de un dispositivo háptico activo que integra mecánica, sensores de fuerza y actuadores, sistemas electrónicos de control e informática aplicada. Las interfaces hápticas son dispositivos que presentan información táctil y de fuerza a un operador humano que está interactuando con un objeto real o simulado a través de un ordenador. La teleoperación con dispositivos hápticos permite que el operador controle a distancia el movimiento y fuerza ejercida sobre un robot manipulador.

Palabras claves: Mecatrónica. Robótica. Dispositivos hápticos. Teleoperación.

1. Introducción

La destreza de la mano permite que el ser humano interactúe con su entorno al manipular una amplia variedad de objetos de diferentes formas y tamaños, realizar actividades complejas, y adaptar su posición respondiendo a los cambios requeridos por la tarea que realiza.

Esto se debe a la compleja estructura física de las manos (cinco dedos con varios grados de libertad) y también a la elevada capacidad de control, capacidad ésta que se basa en la percepción de fuerzas y sensaciones en el contacto dedo-objeto [1]. De hecho, cuando a una persona se le priva de información táctil (entumecimiento de los dedos por anestesia o frío) se observa torpeza en los movimientos, aún cuando sus capacidades motoras permanezcan intactas.

Cuando se emplean las manos para explorar y manipular un objeto, la información del sentido del tacto se combina y coordina con información del movimiento localizada en músculos, tendones y articulaciones [2]. Esta información juega un papel fundamental en el agarre y manipulación de objetos. Los dedos deberán ejercer la fuerza necesaria para mantener sujeto el objeto pero sin sobrepasar los límites que lleguen a romperlo.

La principal diferencia que tiene el sentido del tacto con otros sentidos usados normalmente para interactuar con el entorno (sentidos visual y auditivo) es que el sentido del tacto es capaz de sentir los objetos y también modificarlos, por lo que un interfaz que quiera explotar éstas posibilidades requiere disponer de sensores y de actuadores.

Las interfaces hápticas son dispositivos que presentan información táctil y de fuerza a un operador humano que está interactuando con un objeto real o simulado a través de un ordenador. Pueden permitir al usuario tocar el objeto para sentir sus propiedades (textura, rigidez, forma), o pueden servir para manipular el objeto directamente. Estas interfaces son maestros que controlan dispositivos esclavos (concepto de telerrobótica) o proporcionan medios para interactuar con un entorno virtual generado a través de un ordenador.

La háptica [3] es una disciplina importante cada vez mas requerida en investigaciones de Robótica y Mecatrónica, cuando se estudian las aplicaciones de interacción entre las personas en ambientes reales, virtuales o teleoperados [4] [5].

Como ejemplo, el teclado y el ratón del ordenador son las interfaces hápticas más sencillas que miden los movimientos de la persona. Aplican fuerzas al usuario en el momento del contacto pero éstas no están controladas por ningún programa, por lo que se las conoce como interfaces hápticas pasivas sin realimentación (lazo abierto).

Las interfaces hápticas activas, con realimentación (lazo cerrado), disponen de sensores y actuadores de forma que, además de leer la posición y movimientos del usuario, le transmiten las fuerzas resultantes de su interacción con el entorno, permitiéndole percibir y controlar los objetos, sean virtuales o reales.

La interacción entre el operador y el entorno es bidireccional, midiéndose la posición o fuerza de la mano del operador, y realimentando posición o fuerza al operador a través del ordenador [6]. El hecho de que haya una comunicación bidireccional entre el operador y el entorno establece la diferencia de estas interfaces de otras modalidades de realimentación, como la visual o auditiva, que son unidireccionales.

El sistema háptico requiere de un dispositivo mecánico para que el usuario interactúe con el entorno y genere las fuerzas y momentos que a su vez el entorno provoca sobre él. Generalmente van equipados de un dispositivo gráfico, que es el encargado de mostrar el escenario virtual o remoto y proporciona, por tanto, la realimentación visual.

Asimismo es preciso tener un software de control que calcule las fuerzas de contacto y genere las señales de consigna para los actuadores.

Las aplicaciones de los dispositivos hápticos van desde la interacción virtual o real en el campo de la robótica, teleoperación, cirugía de mínima invasión y simulación quirúrgica.

2. Objetivos

- Incorporar equipamiento tecnológico innovador que potencie la enseñanza y capacitación académica de grado y posgrado logrando competencias en el área de la Robótica y Mecatrónica.
- Lograr el desarrollo de una herramienta de trabajo multidisciplinaria de utilidad y provecho.
- Proponer líneas de investigación y capacitación en aquellas áreas comunes de la ingeniería que incorporen un valor diferenciador en lo académico y profesional.

3. Dispositivo háptico. Características de diseño

El diseño de una interfaz háptica requiere del análisis de características técnicas, con el fin de establecer el adecuado uso de la interfaz. Las principales especificaciones técnicas que se deben considerar son: estructura mecánica, tipo de actuadores, grados de libertad, espacio de trabajo, rango de fuerzas, fricción aparente, rigidez y transparencia:

-Estructura mecánica: Existen dos tipos de estructuras básicas: estructura serie y paralelo.

- Tipo de actuadores: Se establecen en función del rango de fuerzas a aplicar y a las posiciones a las que se debe acceder.
- Grados de libertad: Número de desplazamientos o rotaciones que permite el dispositivo acordes a los grados de libertad que el usuario emplea en una tarea. -Espacio de trabajo: Volumen o área dentro del cual se puede posicionar el efector final .
- Rango de fuerzas: Niveles mínimo, máximo y sostenido de fuerzas que puede ejercer el dispositivo
- Fricción aparente: Las pérdidas por fricción en una interfaz háptica deben ser inferiores a la mínima fuerza o par que el usuario es capaz de percibir mientras interactúa con el entorno virtual
- Rigidez: La rigidez de una interfaz háptica se relaciona íntimamente con la habilidad de la misma para generar restricciones al movimiento del operador dentro del entorno virtual.
- Inercia aparente: Es la mínima masa percibida por el usuario cuando mueve el dispositivo háptico a través del espacio.
- Transparencia: Expresa la capacidad del sistema para seguir el movimiento del usuario rápidamente y sin oposición. Es decir, el usuario no debe percibir ninguna fuerza sobre la mano en tanto que no exista interacción física con el entorno virtual.
- Ancho de banda del dispositivo: Muestra el rango de frecuencias dentro del cual la interfaz háptica es capaz de reflejar fuerzas de forma aceptable.

La calidad de una interfaz háptica se evalúa generalmente en términos de lo que es capaz de transmitir al usuario (texturas, geometría, deformación de superficie) y el ancho de banda del dispositivo. Depende de los componentes que forman la interfaz (sensores y actuadores) y del ancho de banda del conjunto, que a su vez depende de la transmisión de datos y los cálculos.

Es importante establecer las consideraciones del diseño geométrico, cinemático, dinámico y de realización de la construcción, selección de los sensores y actuadores.

El diseño del sistema de control y circuito electrónico requiere de un microprocesador con capacidad de procesamiento matemático, capacidad de memoria e interfaces de comunicación serie de programación y control de dispositivos remotos teleoperados.

3.1. Ángulos de rotación. Espacio de trabajo

El espacio de trabajo es el volumen o área dentro del cual opera el dispositivo y del cual se puede posicionar el efector final . Es importante definir los ángulos de rotación y rango de valores que adoptan para establecer el espacio de trabajo. Según sea el planteo del diseño de un dispositivo háptico y aplicación, es como se determinan los ángulos y valores de rango.

Existen varios diseños y modelos comerciales populares sobre dispositivos hápticos implementados, que en general establecen los 3 ángulos característicos de rotación comunes.

Como ejemplo, se presenta el modelo de un dispositivo háptico genérico tipo Phantom Omni. El sistema de referencia del dispositivo háptico define 3 ángulos característicos: alabeo (roll), cabeceo (pitch) y guiñada (yaw) (Fig. 1).

Alabeo: movimiento respecto al eje longitudinal

Cabeceo: movimiento respecto del eje lateral.

Guiñada: movimiento respecto al eje vertical imaginario que pasa por el centro de masa.

El espacio de trabajo define 3 áreas definidas: área de trabajo nominal, área de trabajo real y área de trabajo de aplicación.

Área de trabajo nominal: es el volumen donde se puede garantizar la precisión y realimentación de fuerza aplicado al dispositivo háptico.

Área de trabajo real: es el volumen que define y recorre el extremo del dispositivo háptico.

Área de trabajo de aplicación: es el volumen que desarrolla la aplicación particular.

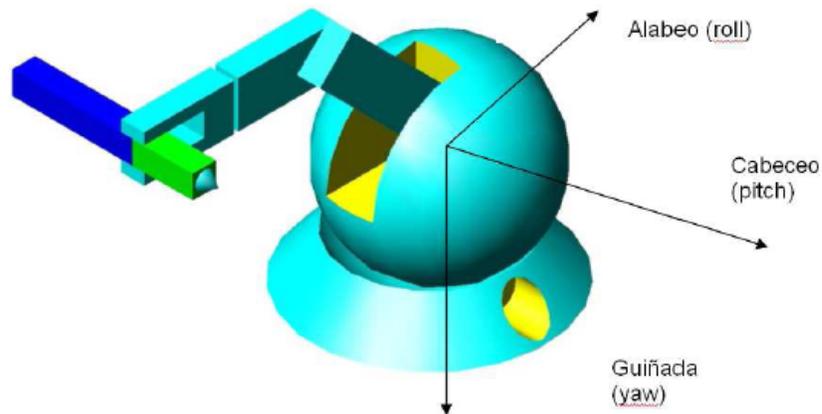


Figura 1. Ángulos de Rotación de un dispositivo háptico tipo Phantom Omni.

Otros modelos comerciales del mismo tipo y especificaciones se aprecian en la figura 2.



Figura 2. Dispositivos hápticos comerciales de realidad virtual. (a) Phantom Omni Haptic Device. (b) Phantom Premium 1.5/6DOF. (c) Novint Falcon

3.2 Control de un dispositivo háptico

El control de un dispositivo háptico establece la impedancia y admitancia de la interfaz [7].

Impedancia háptica: cuando el operador mueve el dispositivo recibe una fuerza de reacción proporcional o no que depende del lazo de control del sistema.

Admitancia háptica: el dispositivo mide la fuerza que el operador ejerce sobre la interfaz háptica y genera como respuesta un movimiento de aceleración, velocidad y posición.

Para lograr el lazo de control el sistema requiere de sensores de fuerza y tacto, además, de actuadores (motores) y drivers para efectuar las acciones. La estabilidad del sistema se logra midiendo el parámetro pasividad, que mide la energía que se disipa con la que se almacena, esto es, el sistema es estable si la tasa de disipación de energía es mayor que la tasa de almacenamiento de energía.

4. Diseño háptico

Las características de un dispositivo háptico hacen del mismo un elemento útil en la actualidad para funcionar como interface de transmisión de valores táctiles y de esfuerzo a un operador humano que puede usarlo como un dispositivo de teleoperación y control de objetos virtuales o reales.

La teleoperación con dispositivos hápticos permite que el operador controle a distancia el movimiento y fuerza ejercida sobre un robot manipulador.

En base a la experiencia adquirida sobre cinemática, dinámica y control de movimientos, se ha comenzado el diseño de un dispositivo háptico activo con el objeto de ser utilizado por el ser humano en el campo de la teleoperación con aplicación directa en el campo de la cirugía robótica laparoscópica y para entrenamiento en el desarrollo de habilidades en el ámbito académico y profesional.

Su inserción en el área de la docencia universitaria se manifiesta en prácticas de laboratorio en la cátedra Cadena Cinemática de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo-Mendoza. Argentina.

4.1. Diseño orientado Cirugía robótica

La cirugía de telepresencia, también llamada cirugía robótica es un sistema interactivo computarizado donde el médico cirujano opera una consola de mando que puede situarse en el mismo quirófano a poca distancia, o en otro lugar distante fuera de un hospital, en la misma ciudad, en otra región o país.

En la cirugía de telepresencia se utiliza un robot esclavo que no puede hacer ningún tipo de movimientos sin las órdenes del cirujano; es decir, es directamente dependiente de los conocimientos y de la habilidad del médico. En la consola se encuentra una interface háptica que interpreta y traduce los movimientos de la mano del cirujano para operar los instrumentos ubicados en el brazo del robot quirúrgico situado sobre el paciente.

El diseño del dispositivo háptico de este trabajo considera lograr una interface que traduzca los movimientos de la mano humana y los transmita a un manipulador o robot con el fin de reproducir los movimientos aplicables al campo específico de la cirugía laparoscópica.

4.2. Características de diseño del dispositivo háptico

El diseño que se plantea considera características específicas, además de las indicadas en el punto 3, sobre:

-Fuerza y movimientos de la interface: debe aplicarse una escasa fuerza de manos y dedos del operador y movimientos suaves para transmitir suficiente información desde el dispositivo háptico al objeto virtual o real.

- Espacio de trabajo: Un escaso volumen de operación debe ser suficiente para transmitir los movimientos de la muñeca y dedos del operador humano.
- Espacio libre: el diseño debe lograr puntos de trabajo libres necesarios para la manipulación humana y no transmitir movimientos bruscos innecesarios.
- Respuesta: el dispositivo debe transmitir al operador la sensación de respuesta del objeto manipulado con el fin de percibir dureza, rugosidad y tipo superficie de contacto.

4.3 Desarrollo de la interface

Se considera un diseño en base al conocimiento de modelos mecánicos que tengan buenas características ergonómicas, resolución y eficiencia de movimientos, utilización de sensores de esfuerzos (flexiforce) y sensores de movimiento de rotación (encoders o resolvers) con el fin de disponer de datos de precisión que permitan reproducir una respuesta fiable de la interface háptica hacia los elementos de comando y acción final del dispositivo robótico esclavo que se manipula a distancia.

Con respecto al circuito de adquisición de datos y transmisión de los valores digitales se emplea un microprocesador de la serie Microchip (PIC 16F874 y 16F877).

La figura 3 muestra un prototipo virtual del diseño de la interface háptica de características similares a las interfaces de la consola de mando que disponen los robot quirúrgicos actuales (da Vinci, Zeus, etc).

El diseño inicial considera 4 o 5 grados de libertad con el fin de lograr la manipulación a distancia de la herramienta quirúrgica utilizada en cirugía laparoscópica.

La figura 4 presenta un esquema simplificado con los grados de libertad y su correspondencia con los movimientos de la herramienta de uso en cirugía laparoscópica.

Un detalle a considerar es el movimiento de apertura y cierre que realiza la herramienta quirúrgica (movimiento 1), que si bien no constituye un grado de libertad propiamente dicho, es importante su identificación como parte del sistema que la interface háptica debe controlar.



Figura 3. Diseño virtual de la interface háptica orientada a cirugía robótica

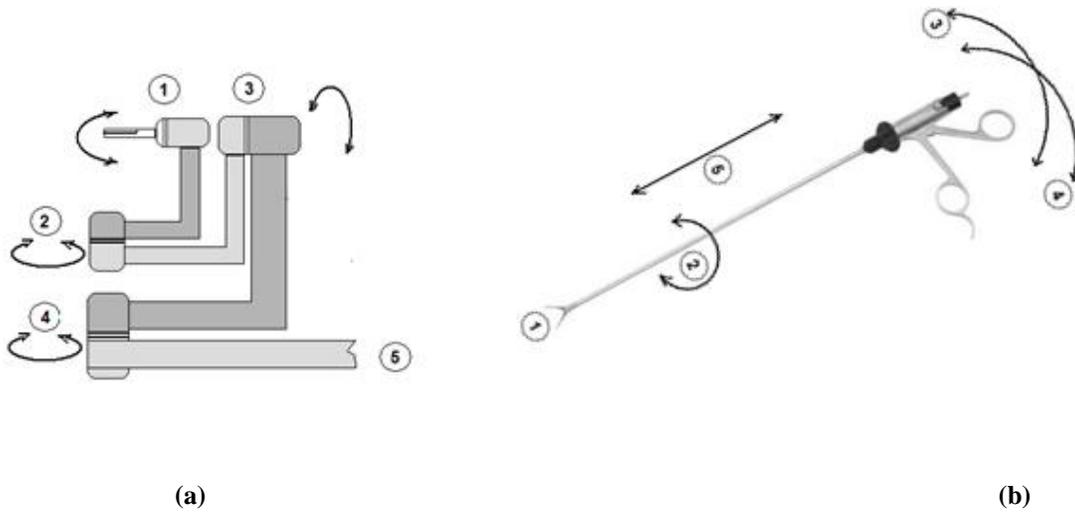


Figura 4. Esquema simplificado de la interface háptica (a) y movimientos de la herramienta laparoscópica (b) empleada en cirugía robótica.

La interface háptica representa una parte del diseño que debe complementarse con la interacción del operador humano y el robot esclavo teleoperado conformando el esquema de desarrollo de un verdadero sistema de telepresencia tal como muestra la figura 5.

Los pasos necesarios para el desarrollo del diseño consideran, entre otros aspectos:

- Estudio y análisis del diseño en función de las características deseables.
- Especificación de las características mecánicas, electrónicas e informáticas de la interface.
- Diseño virtual de la interface háptica (uso de software de diseño Inventor, SolidWorks 3D, etc)
- Diseño mecánico y electrónica de adquisición de datos y control en función de las características específicas de diseño establecidas.
- Implementación y pruebas.
- Desarrollo de ensayos y prácticas de laboratorio.

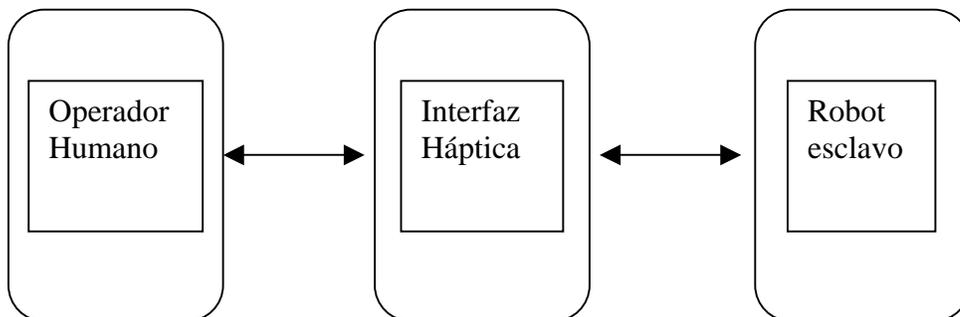


Figura 5. Esquema completo de un sistema de telepresencia

El presente trabajo considera el desarrollo de los puntos mencionados hasta el diseño virtual y circuitos electrónicos de adquisición y control.

La implementación de la interface, pruebas de funcionamiento y desarrollo de prácticas de laboratorio se realizará durante el presente año 2010 y principios del 2011.

5. Aplicaciones de los dispositivos hápticos

Las aplicaciones van desde el desarrollo de prácticas de laboratorio en docencia, hasta su empleo en el campo de la robótica, teleoperación, cirugía de mínima invasión y simulación quirúrgica.

Una aplicación interesante es la utilización de los dispositivos hápticos en rehabilitación fisioterapéutica. El robot háptico es apropiado para resolver problemas neuro-motrices.

Actualmente, en la cátedra Cadena Cinemática de la carrera Ingeniería Mecatrónica en la Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza-Argentina, se desarrolla una aplicación que incorpora un dispositivo háptico activo que tiene por objeto lograr una mejora útil en el campo de la cirugía laparoscópica. Este desarrollo se lleva a cabo por convenio (Convenio Marco Res. N°949/CS. UNCuyo. Argentina) y con la participación del Hospital Español y la Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo, en la ciudad de Mendoza-República Argentina.

En el campo académico, se ha mencionado la realización de prácticas de laboratorio en la cátedra Cadena Cinemática con el objeto de lograr una adecuada capacitación en el campo de la robótica y sistemas teleoperados.

Una aplicación adicional de la interface háptica es la utilización como consola de mando de movimientos de un robot paralelo de 3 grados de libertad existente en la Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Cuyo-Mendoza-Argentina, desarrollado entre los años 2007 a 2009 y presentado en diversos congresos de robótica en Argentina (figura 6).



Figura 6. Robot Paralelo. Instituto de Automática y Electrónica Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina

6. Conclusiones

Los dispositivos hápticos conforman una nueva área de la robótica dedicada a captar y transmitir información bidireccional de esfuerzo y tacto, permitiendo nuevas aplicaciones de alto valor tecnológico en diferentes campos de la ciencia.

Permiten ampliar el campo de aplicaciones de un operador humano en el campo de la teleoperación remota y la ciencia médica, en particular, las cirugías de telepresencia mediante el empleo de robots esclavos.

El robot quirúrgico (como el robot Da Vinci y su sofisticada interface háptica) modifica drásticamente las cirugías, al incorporar mayor resolución, exactitud y destreza de movimientos con mínima invasión de tejidos, eliminando además, las limitaciones del movimiento de la mano del cirujano.

Referencias

- [1] Jones, L.A. & Lederman, S.J. (2006). *Human hand function*. New York: Oxford University Press.
- [2] González, C., Ferre, M., Barrio, J., Cobos, S., Aracil, R. *Interfaz Háptica Multidedo*. XXVII Jornadas de Automática. Universidad Politécnica de Madrid. España. (2006).
- [3] Biggs, S.J. & Srinivasan, M.A. *Haptic interfaces*. In K.M. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications* (pp. 93-115). Mahwah, NJ: Erlbaum. (2002).
- [4] M. Ueberle, N. Mock, A. Peer, C. Michas, and M. Buss, "*Design and Control Concepts of a Hyper Redundant Haptic Interface for Interaction with Virtual Environments*", *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS*, Workshop on Touch and Haptics, Sendai, Japan, (2004).
- [5] Burdea, G. and Coiffet, P. "Virtual Reality Technology". New York: John Wiley and Sons, Inc. (1994).
- [6] Lawrence, D. A., Pao, L.Y., Salada, M. A., & Dougherty, A. M. *Quantitative experimental analysis of transparency and stability in haptic interfaces*. Proceedings of ASME Dynamic Systems and Control Division, 59, 441-449. (1996).
- [7] Ishii, M., Sato, M. "A 3D Interface Device with Force Feedback: A Virtual Work Space for Pick-and-Place Tasks". In IEEE (Ed.) VRAIS '93, pp. 331-335, IEEE, Seattle. (1993).

