



INGEGRAF

## XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA



---

### INTERFACES HÁPTICOS. APLICACION EN ENTORNOS VIRTUALES.

MARTÍN DOÑATE, Cristina

Universidad de Jaén, España  
Departamento de Ingeniería Gráfica Diseño y Proyectos  
Correo electrónico: [cdonate@ujaen.es](mailto:cdonate@ujaen.es)

#### RESUMEN

La mayoría de simulaciones realizadas hasta el momento en entornos virtuales involucraban exclusivamente la vista y el oído, pero la creciente necesidad de una mayor fidelidad en las representaciones obtenidas, y sobre todo, de incrementar la sensación de inmersión del usuario dentro del entorno virtual, exige una componente de interactividad que solamente puede alcanzarse mediante dispositivos de tipo háptico. Los interfaces hápticos permiten al usuario tocar, sentir y manipular los objetos simulados en entornos virtuales y sistemas teleoperados. En base a las principales características de los interfaces hápticos, se ha realizado una clasificación de los mismos, estructurada de modo que pueda servir al diseñador como herramienta en la elección del interface que se muestre más adecuado para la tarea a desempeñar. Finalmente, se indican las direcciones futuras de las distintas líneas de investigación que se han abierto dentro de este campo.

**Palabras clave:** Interfaces hápticos, Realidad virtual, Feedback de fuerza, Feedback táctil.

#### ABSTRACT

Up to now, most virtual simulations were exclusively linked to sight and hearing. However, our eagerness to reach a higher closeness to reality in these simulacra and so offer a total immersion experience to users demands the introduction of an interactive component that can only be reached at by introducing certain devices providing a haptic feedback. Our main aim within this article is to touch upon the main advantages of haptic interfaces in relation to virtual settings and teleoperated systems. We will also create a classification of the aforementioned interfaces according to their main features, so that this structure may function as a helpful tool for designers whenever choosing the best interface types suiting those tasks that they may be especially interested in. Finally, we will point at the newest research tendencies dealing with these fields.

**Key words:** Haptic interfaces, Virtual reality, Force feedback, Tactil feedback.

## 1. Introducción

Con el término “interface háptico” aludimos a aquellos dispositivos que permiten al usuario tocar, sentir o manipular objetos simulados en entornos virtuales y sistemas teleoperados. En la mayoría de simulaciones realizadas en entornos virtuales, basta con emplear displays 3D y dispositivos de sonido 3D stereo para provocar en el usuario, mediante imágenes y sonidos, la sensación de inmersión dentro del espacio virtual. No obstante, además de provocar en el usuario esta sensación de inmersión, debemos proporcionarle la posibilidad de interactuar con el medio virtual, pudiendo establecer entre el usuario y el entorno virtual una transferencia bidireccional y en tiempo real de información mediante el empleo de interfaces de tipo háptico.

Algunos de los principales campos de aplicación de los interfaces hápticos (Srivasan & Basdogan. 1997) son:

- Medicina: Simuladores quirúrgicos para entrenamiento médico, micro robots para cirugía mínimamente invasiva (MIS), etc. [Whitworth 2003],[Yoon J. 2003],[Lewis J.2003].
- Educativa: Proporcionando a los estudiantes la posibilidad de experimentar fenómenos a escalas nano y macro, escalas astronómicas, como entrenamiento para técnicos, etc.
- Entretenimiento: Juegos de video y simuladores que permiten al usuario sentir y manipular objetos virtuales, etc.
- Industria: Integración de interfaces hápticos en los sistemas CAD de tal forma que el usuario puede manipular libremente los componentes de un conjunto en un entorno inmersivo.
- Artes gráficas: Exhibiciones virtuales de arte, museos, escultura virtual etc.

La importancia de los interfaces hápticos es determinante en la realización de tareas típicamente “hápticas”, o en las que se requiera un alto grado de entrenamiento, como pueden ser: administración de anestesia epidural, palpado de bultos cancerígenos, ensamblaje de conjuntos complejos antes de ser fabricados, etc. Ayudan a su vez, a incrementar la sensación de presencia o inmersión del usuario dentro de un entorno simulado, proporcionando restricciones naturales al movimiento de objetos.

## 2. Clasificación de los Interfaces Hápticos: Comparativa entre Características del Hardware para la Selección de Interfaces Hápticos

Según [Burdea 1996] los interfaces hápticos pueden clasificarse en tres grandes grupos, según proporcionen: feedback de fuerza, feedback táctil, o feedback propioceptivo. Cada uno de ellos aportará al usuario información referente a un

determinado campo, siendo clave la selección del tipo de interface que necesitaremos, en función de las características que deseamos controlar en nuestra aplicación.

Los interfaces que proporcionan force feedback aportan datos relacionados con la dureza, peso e inercia del objeto virtual. Los interfaces que proporcionan un feedback táctil nos permiten adquirir datos tales como la geometría del objeto virtual, su rugosidad y temperatura, entre otros. Por último, los interfaces que proporcionan feedback propioceptivo nos dan información acerca de la posición del cuerpo del usuario o su postura.

A la hora de seleccionar un interface háptico para una determinada aplicación, debemos distinguir, en una primera etapa, que tipo de realimentación deseamos recibir, pudiendo elegir entre:

- Interfaces que proporcionen un feedback de fuerza.
  - Dispositivos Desk-top.- que permiten la interacción puntual con el objeto virtual a través de un terminal, materializado como un lápiz, dedo virtual o un joystick.
  - Guantes.- que permiten la manipulación “dexterizada” (en múltiples puntos de contacto) de objetos virtuales con retorno de fuerza.
- Interfaces que proporcionen un retorno táctil.
  - Dispositivos Desk-top.- que permiten al usuario sentir o percibir la dureza de una superficie, su rugosidad, seguir contornos lisos, o materiales elásticos en 2 dimensiones.
  - Guantes.- que permiten simular con libertad de movimiento el contacto en múltiples puntos con el objeto virtual, individuando su textura, pero no características tales como su peso.

En una segunda fase, debemos analizar las características técnicas de cada uno de los interfaces comerciales disponibles en el mercado, para seleccionar el más apropiado para nuestro objetivo. Las principales especificaciones técnicas que debemos considerar son:

- Número de grados de libertad del dispositivo que requiera nuestra aplicación.
- Espacio de trabajo; es decir, la extensión del volumen dentro del cual el manipulador puede posicionar el elemento terminal.
- Rango de control de fuerza; o lo que es lo mismo, los niveles máximo y sostenido de fuerza que puede ejercer el dispositivo. Según [Burdea 1996] los dedos de un humano pueden ejercer de 30 a 50 N de fuerza en periodos breves de tiempo y de 4 a 7 N en periodos sostenidos. Para que el confort del usuario u operador esté dentro de unos niveles de seguridad admisibles, las fuerzas

ejercidas por el interface deben ser inferiores en un 15% a los valores máximos anteriormente citados.[Wiker entre ot 1989].

- Fricción aparente: las pérdidas por fricción en un interface háptico deben ser inferiores a la mínima fuerza o par que podamos percibir mientras interactuamos con el entorno virtual, ya que en caso contrario nuestro interface dejaría de ser “transparente”, pues no podríamos diferenciar si las fuerzas percibidas por el usuario provienen de la realimentación deseada o de las pérdidas mecánicas del dispositivo en sí. Los valores de fricción aparente deben mantenerse en valores por debajo del 7% de las fuerzas y del 12,7 % de los pares de fuerza aplicados en la interacción con el entorno virtual.
- Rigidez: La rigidez de un interface háptico se relaciona íntimamente con la habilidad del mismo para generar restricciones al movimiento del operador dentro del entorno virtual, impidiendo que se penetre dentro de los distintos sólidos virtuales, y permitiendo, de este modo, su inspección y manipulación. La rigidez máxima de un interface depende de la fuerza máxima que pueda desarrollar y del mínimo desplazamiento que detecte (N/m). Según [Massie & Salisbury 1994], en la práctica, un interface debe proporcionar una rigidez mínima de 20 N/m. para que el operador pueda recorrer adecuadamente una superficie virtual.
- Inercia aparente: la inercia aparente es la masa mínima percibida por el operador cuando mueve el interface háptico a través del espacio libre. En el caso de que la inercia aparente del dispositivo fuese demasiado alta, el operador podría fatigarse en exceso. Un estudio piloto [Ellis entre ot. 1996] indicaba que eran aceptables masas de 50g para operaciones que duraran media hora o menos, si bien estudios recientes recomiendan valores cercanos a 100g.
- Back-driveability: con este término se alude a la transparencia del interface, en tanto que no debe ejercerse ninguna fuerza sobre la mano del usuario mientras no exista interacción física con el entorno virtual. Esta capacidad del sistema para seguir el movimiento de la mano del usuario rápidamente y sin oposición recibe el nombre de back-driveability.
- Rango dinámico: es el ratio entre el máximo valor de salida del actuador frente a la fricción del mecanismo.
- Ancho de banda: el ancho de banda de un dispositivo puede considerarse como una medida de su calidad, ya que cuanto mayor sea éste, menores serán los retardos en la transmisión de información, aumentando la estabilidad general del sistema.

Algunas de las variables usadas para caracterizar los interfaces force feedback deben utilizarse igualmente para seleccionar a los interfaces con feedback táctil, tales como: espacio de trabajo, grados de libertad, peso, o control del ancho de banda. De hecho, dispositivos con force feedback pueden también proporcionar un feedback

táctil; por ejemplo, el Phantom permite individualizar texturas del objeto virtual. El caso contrario no es posible.

### 3. Principales Dispositivos Comerciales

De entre los modelos de interfaces hápticas comerciales, fuera del ámbito exclusivo de la investigación, podemos destacar los siguientes:

#### Interfaces Hápticas Desktop Con Feedback De Fuerza

##### PHANTOM Sensable Technologies.

Actualmente se dispone de varios modelos de este interface, cuyo número de grados de libertad en posicionamiento varía desde 3 hasta 6, pudiendo recibir force feedback a lo largo de todos o algunos de estos grados de libertad. El espacio de trabajo de los distintos modelos varía considerablemente desde los modelos iniciales a los superiores. La fuerza máxima que puede proporcionar es de 22N en el modelo Premium 3.0 y la fuerza sostenida (24h.) es de 3N. Conforme avanzamos hacia modelos superiores, aumenta la inercia de los dispositivos, al tiempo que disminuye su rigidez. El Phantom renueva el estado de sus fuerzas cada milisegundo, y presenta una alta resolución posicional.



*Fig 1.- PHANTOM cortesía de Sensable Technologies.*

##### IMPULSE ENGINE Immersion Co.

El modelo actualmente comercializado, el IMPULSE ENGINE 2000 posee 2 grados de libertad y un valor de fuerza máxima de aproximadamente 9 N. Su ancho de banda es de 650 Hz.

##### HAPTIC MASTER FCS Control System.

Consiste en un brazo robótico que puede usarse para medir dinámicamente fuerzas, como display de realidad virtual, y para teleasistencia quirúrgica.

#### FREEDOM 6S MPB Technologies:

Posee 6 GDL y un nivel de fricción de aproximadamente 0.1 N en cada dirección. La inercia resultante en el extremo varía entre 0.09 y 0.15 Kg.

#### **Guantes con feedback de fuerza.**

##### CYBERGRASP Immersion Co.

El único guante háptico disponible comercialmente es el Cybergrasp, fabricado por Immersion Co. El Cybergrasp consiste en una estructura exoesquelética fijada a la parte posterior de la mano, que es accionada por unos actuadores instalados fuera de ésta, en una caja de control, con el objetivo de facilitar su manejo aligerando su peso, de aproximadamente 450 gr. La fuerza máxima que puede aplicar sobre cada dedo es de 12N.



*Fig 2.- Cybergrasp cortesía de Immersion Co.*

#### **Interfaces hápticos Desktop con feedback táctil.**

A nivel comercial no se ha encontrado ningún ejemplo, si bien, como comentábamos en el punto anterior, un dispositivo con retorno de fuerza como el PHANTOM es capaz de proporcionar feedback de tipo táctil.

#### **Guantes con feedback táctil.**

##### CYBERTOUCH Immersion Co.

Estos guantes son mucho más ligeros que los que poseen force feedback y emplean normalmente vibradores electromecánicos para proporcionar datos de texturas o rugosidades. La colocación de los actuadores es más simple que en aquellos, lo que facilita su diseño, reduciendo a su vez su coste de producción.

El Cybertouch de Immersion Co. pesa solamente 144gr. Usa 6 vibradores electromecánicos situados en la parte posterior de los dedos y en la palma de la mano. Estos actuadores producen vibraciones de 0-125Hz, alcanzando unos 1.2N de fuerza a 125Hz.



*Fig 3.- Cybertouch cortesía de Immersion Co.*

#### **4. Direcciones Futuras**

Los interfaces hápticos conforman un área de investigación íntimamente relacionada con el campo de la robótica. Los grandes avances registrados en este campo en las últimas décadas han impulsado el desarrollo de dispositivos que mejoran la comunicación hombre-máquina, facilitando la interacción entre ambos mediante la aplicación de sensaciones táctiles. La interacción háptica es un área de investigación relativamente nueva, dentro de la que varios grupos están desarrollando dispositivos que permiten al usuario la posibilidad de interacción física con un medio virtual o remoto.

Los interfaces con force feedback se encuentran en un estado bastante avanzado de desarrollo en comparación con los interfaces con retorno táctil, ya que los primeros se vieron beneficiados por los avances realizados en el campo de la telerrobótica; queda sin embargo, en ambos casos, un amplio campo por explorar. Prueba del grado de desarrollo de los interfaces con force feedback es que existen varios interfaces de tipo comercial, si bien cada uno de ellos ha sido proyectado para aplicaciones muy concretas, y proporcionan unas características de difícil aplicación fuera de dichas aplicaciones. Por otra parte, estos sistemas, a excepción si cabe del PHANTOM, son todavía muy costosos, y los plazos de suministro de los mismos son excesivamente largos.

Las limitaciones del hardware de los interfaces reducen la fidelidad con la que se puede simular la interacción con el mundo real; como por ejemplo: la precisión de los sensores, la capacidad de los actuadores, o la transparencia de la transmisión mecánica empleada. Otro punto a tener en cuenta es la variabilidad de las características del usuario, junto con las características de la interacción del mismo con el interface que pueden cambiar dinámicamente haciendo que nos encontremos ante un sistema no lineal. La seguridad es otro campo a tener en cuenta en la investigación, ya que debemos salvaguardar la seguridad del técnico ante un mal funcionamiento del computador o del dispositivo. Otro campo en el que se centran las últimas investigaciones es el desarrollo de una referencia de software para force feedback, ya que al tiempo que se evoluciona en el hardware, se tiene que desarrollar en paralelo un soporte de software, unos modelos que sepan tratar adecuadamente la computación de las fuerzas así como la generación de las mismas.

En relación a los interfaces táctiles, uno de los principales problemas que abordan los grupos de investigación en este campo, es que en general, estos interfaces proporcionan sensaciones en un área limitada, normalmente en el extremo de los dedos, por lo que se hacen necesarios estudios que identifiquen los tipos de feedback de tipo táctil para aplicaciones específicas y la tecnología más apropiada para manifestar este feedback.

Una prueba de la inmadurez de la tecnología de los interfaces hápticos táctiles es la ausencia de modelos generales de software que puedan ser usados para determinar las sensaciones que se generan con respecto a la interacción con el entorno, a excepción de las fuerzas de contacto, modelos para los cuales ya existen aplicaciones. Otro punto a tener en cuenta es la falta de estudios relativos a las capacidades táctiles humanas, lo que permitiría adaptar los dispositivos, proporcionando unas prestaciones más adecuadas. La tecnología de los interfaces táctiles es una de las áreas de investigación más activas.

## Referencias

BURDEA G. *“Force and touch feedback for virtual reality”* New York USA, 1996.

ELLIS R.E., ISMAEIL O.M. *“Design and evaluation of a high performance haptic interface”* Robotica vol 4 pp 321-327, 1996.

LEWIS J.,R.F.Boian, Burdea G.C.,Deutsch J.E. *“Real time Web based Telerehabilitaion Monitoring”* Proceeding of medicine meets virtual reality 11, Newport Beach, CA january 2003, IOS Press, pp 190-192.

MASSIE T.H., SALISBURY J.K. *“The Phantom haptic interface: a device for probing virtual objects”* Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, symposium on Haptic interfaces for virtual environments and teleoperator systems. 1994.



SRINIVASAN M.A. and BASDOGAN C. "*Haptics in virtual environments: taxonomy, research status and challenges*" Computer and graphics 21 1997.

WHITWORTH E., LEWIS, J.A., BOIAN R., Tremaine M., Burdea G. Deutsch J. "*Formative evaluation of a virtual reality telerehabilitation system for lower extremity*" Proc. Second Int Workshop on virtual rehabilitation pp 92, september 2003.

WIKER, S.F., HERSHKOWITZ E. "*Teleoperator comfort and psychometric stability: criteria for limiting master controller forces of operation and feedback during telemanipulation*" Proc. Nasa conference on space telerobotics vol 1. pp 99-107 Pasadena, CA, USA.

YOON J., RYU, J., BURDEA G.C., "*Design and analysis of a new virtual walking master*" *Proceedings of the Eleventh Symposium on haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems*, Los Angeles, CA, March 2003, pp. 374-381.