

Tecnología Háptica

Introducción

El sentido del tacto tiene mucha importancia en las interacciones que tiene una persona con un entorno virtual, y la principal diferencia que tiene con el resto de sentidos usados normalmente en estos entornos virtuales como son el visual y el auditivo, es que el sentido del tacto es capaz de sentir los objetos y también modificarlos, por lo que un interfaz que quiera explotar estas posibilidades ha de disponer tanto de sensores como de actuadores.

Háptic es un término inglés que proviene del término griego 'haptikos', que significa "relacionado con la capacidad de tocar". No es simple la definición del sentido del tacto ya que no se trata de un sentido único y localizado como pueden ser los demás, más bien se trata de una serie de mecanismos sensoriales.

El sentido cenestésico se ocupa de la posición y orientación del cuerpo mediante las conexiones nerviosas, músculos, etc., de manera que junto con las percepciones táctiles como temperatura, textura, forma, dureza, definen lo que hemos denominado háptic.

La historia científica de la investigación en el sentido del tacto y el cinestésico comienza con E. H. Weber y W. Wundt [WUNDT04], ambos investigadores de la Universidad de Leipzig que realizaron los primeros experimentos relacionados con la anatomía y psicología de los sentidos.

Weber realizó importantes descubrimientos con sus experimentos y, aunque no dió pruebas

definitivas de sus afirmaciones, éstas sirvieron de base a otras investigaciones que las demostraron posteriormente. Descubrió la asimetría izquierda-derecha de los sentidos humanos, que explica que el lado izquierdo del cuerpo es más sensible, y constató la existencia de un umbral en los sentidos, tanto en el aspecto frecuencial como de intensidad en la estimulación. Más específicamente relacionado con el sentido del tacto descubrió la importancia de éste con el desarrollo de las habilidades y los procesos de manufactura y la relación cruzada entre la vista y el tacto.

En estos sistemas pensados para implementar el sentido del tacto, la información que tratan son fuerzas y desplazamientos. Mas adelante veremos lo distintos tipos de control que se realiza en estos sistemas, según sea la magnitud que sienten y la que realimentan.

Conceptos Básicos

El acto de tocar, por su propia naturaleza es un acto activo, en el que la persona decide tocar el objeto para así obtener información sobre él (dureza, tamaño, volumen, peso, etc.). Conjuntamente a esta información se reciben otras sensaciones de forma pasiva a través de la piel, mediante diversos sensores, sin que la persona decida “manipular” el objeto.

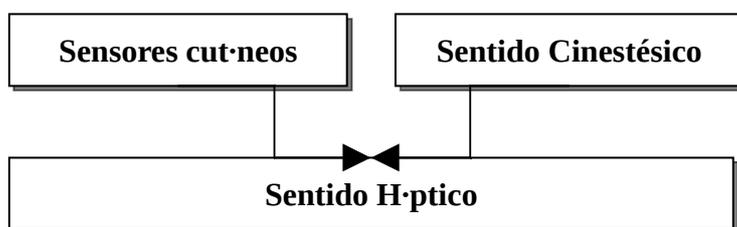


Diagrama 2-1 Sentido háptico

Por otro lado están los sentidos propioceptivos, que no se cuentan dentro de los cinco sentidos clásicos. Estos son el sentido cinestésico y el vestibular. Estos sentidos se encargan de proporcionar, no información sobre el entorno del individuo, sino información sobre el estado de nuestro propio cuerpo (posición, orientación, presión y fuerza ejercida, dolor, etc.). Con el sentido cinestésico podemos obtener información sobre la posición y la fuerza de nuestros músculos y miembros, por lo que están íntimamente relacionados con el tacto.

A partir de ahora, con el término háptico entendemos el sentido táctil, formado por una parte cutánea y otra cinestésica, ambas involucradas en la acción de tocar. De las dos, la que se utiliza

actualmente más en realidad virtual es la cinestésica, principalmente por dos razones; primeramente por ser el sentido que nos permite interactuar con objetos de una forma precisa (con el sentido táctil podemos obtener mucha mas información sobre la naturaleza del objeto, pero es difícil interactuar con él), y por otro lado la estimulación de forma artificial de este sentido es mucho más sencilla con la tecnología actual que disponemos.

Fisiología

Después de definir el sentido háptico y como se relaciona con los demás sentidos, vamos a ver con algo de detalle cada uno de los sensores que se utilizan para obtener dicha información. Lo clasificaremos en dos grandes grupos, dependiendo de la localización de dichos sensores. Primero hablaremos de los cutáneos, relacionados más íntimamente con el sentido del tacto, y luego de los situados en músculos y tendones, relacionados con el sentido cinestésico.

El cuerpo humano dispone de más receptores situados en el interior de los órganos pertenecientes al sentido cinestésico, pero son poco relevantes para la realidad virtual.

Receptores cutáneos

Los receptores que se encuentran en la piel están especializados en recibir tres tipos de percepción diferentes: presión, dolor y temperatura. De ellos sólo nos interesan los mecanorreceptores que detectan la presión aplicada sobre la piel.

Fundamentalmente hay cuatro tipos de mecanorreceptores en la piel. Son los corpúsculos de Meissner, corpúsculos de Pacini, discos de Merkel y las terminaciones de Ruffini. Estos sensores son los encargados de detectar las variaciones de presión sobre la piel y responden ante ella con la generación de un impulso nervioso que se dirige al cerebro [GUYTON03].

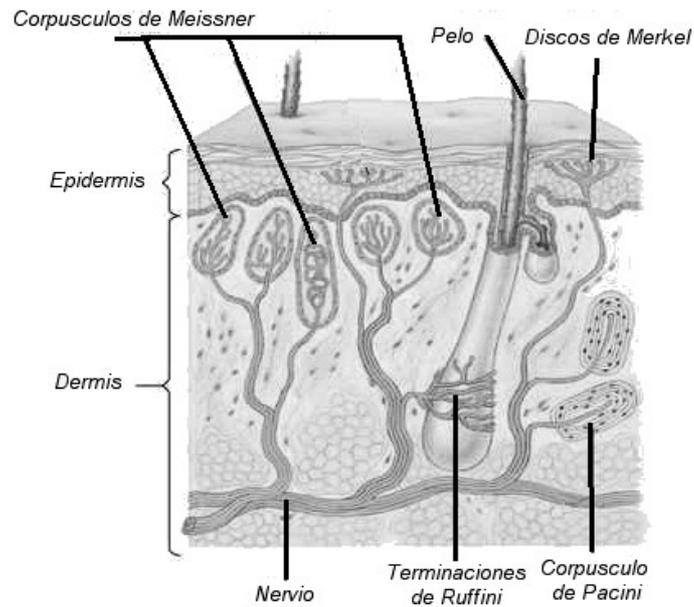


Ilustración 2-1 Situación de cada mecanorreceptor en un corte de la piel

Veamos cada uno de ellos algo más en detalle:

Corpúsculos de Meissner

Se sitúan en la zona intermedia de la piel (justo debajo de la epidermis), gracias a lo cual poseen una muy buena resolución espacial. No son capaces de mantener una presión aplicada de forma continua ni de responder ante una presión de alta frecuencia, por lo que se puede modelar en el dominio de la frecuencia como un sistema paso banda.

Discos de Merkel

Se sitúan en la epidermis, la capa más superficial de la piel, por lo que poseen una resolución espacial mayor que la de los corpúsculos de Meissner. La principal diferencia entre los discos de Merkel y los corpúsculos de Meissner es la respuesta frecuencial, mientras que los anteriores no son capaces de responder ante una estimulación de forma continua, los discos de Merkel sí, por lo que actúa aproximadamente como un filtro paso bajo. La resolución espacial sin embargo es incluso mayor que los corpúsculos de Meissner, por lo que se utilizan también para realizar la discriminación entre estímulos próximos.

Corpúsculos de Pacini

Están en la zona más profunda de la dermis, por lo que la resolución espacial es muy baja. Sin embargo, son los mecanorreceptores que mejor se adaptan a cambios bruscos en los estímulos, pero

no son capaces de detectar presiones de forma sostenida. Se suelen comportar como un filtro paso banda centrado en alta frecuencia

Terminaciones de Ruffini

Situados en la dermis, permiten detectar estímulos continuos, pero su resolución es muy pobre al tratar frecuencias altas. Tanto los corpúsculos de Pacini como las terminaciones de Ruffini ayudan también a la propiocepción, detectando estiramientos y movimientos de la piel.

En la siguiente tabla podemos ver las características fundamentales de cada uno de estos sensores como es su localización en la piel, área receptiva, resolución espacial, frecuencia a la que trabajan, tiempo de respuesta, etc.

Características	Corpúsculos de Meissner	Corpúsculos de Pacini	Discos de Merkel	Terminaciones de Ruffini
Velocidad de respuesta	Rápida	Rápida	Lenta	Lenta
Localización	Dermis	Dermis y piel subcutánea	Epidermis	Dermis y piel subcutánea
Área media del receptor	1.3 mm ²	1.01 mm ²	1.1 mm ²	0.59 mm ²
Resolución espacial	Pobre	Muy Pobre	Buena	Buena
Cantidad de receptores	43%	13%	25%	19%
Rango de frecuencia	10 - 200 Hz	70 - 1,000 Hz	0.4 - 100 Hz	0.4 - 100 Hz
Frecuencia mínima de activación	40 Hz	200-250 Hz	50 Hz	50 Hz
Sensible a la temperatura	No	Si	Si	Si > 100 Hz
Integración espacial	Si	No	No	-
Integración temporal	Si	No	No	Si
Parámetro físico medido	Velocidad de la curvatura de la piel, deformación local, deslizamientos	Vibraciones y aceleraciones	Curvatura de la piel, deformación local y presión.	Presión y deslizamientos.

Tabla 2-1 Características funcionales de los mecanorreceptores cutáneos

Estos corpúsculos no se encuentran de forma homogénea por toda la piel, por ejemplo los discos de Merkel abundan en las yemas de los dedos para permitir una gran sensibilidad en esa zona. Los corpúsculos de Meissner se encuentran en las zonas donde no hay pelos, etc.

Receptores musculares

Además de los receptores cutáneos, disponemos de sensores situados en los músculos y en los tendones con los que podemos obtener información cinestésica de nuestro cuerpo (posición relativa de los miembros, tensiones soportadas, etc.)

Hay dos tipos de receptores, los husos musculares y los órganos de Golgi.

Husos musculares

Son sensores de extensión que se encuentran en las fibras musculares. Gracias a ellos tenemos información sobre el grado de extensión o de contracción del músculo en particular, de donde podemos conocer el ángulo relativo de flexión de la articulación y por último lugar, la posición relativa del miembro que corresponda. El corpúsculo solo se limita a medir la longitud de la fibra muscular, el resto de cálculos es realizado en el cerebro por el sistema nervioso.

Gracias a estos receptores, por extensión gracias al sentido cinestésico, somos capaces de conocer la posición relativa de cada uno de nuestros miembros, así por ejemplo somos capaces de realizar tareas complejas sin valernos de la ayuda del sentido de la vista, como por ejemplo escribir a maquina, tocar la guitarra, etc. En la primera etapa de aprendizaje sí es necesaria la utilización de una realimentación visual, pero una vez aprendido, podemos realizar dichas tareas sin esa realimentación.

Sin embargo, cuando dos o más canales sensitivos muestran información contradictoria o simplemente diferente y uno de ellos es el visual, prevalece el visual. Esto es algo importante para el diseño de un sistema de realidad virtual inmersiva, ya que debe ser capaz de reproducir también al sujeto dentro del mundo virtual, para que no aparezcan diferencias entre lo percibido por el sentido visual y lo recibido por la vía propioceptiva. Por ejemplo, si tocamos una pared, y vemos como nuestra mano traspasa la pared, aunque sintamos que la estamos tocando, la información visual muestra lo contrario, por lo que aparecería una incoherencia. Para solucionarlo se suele optar por representar también en el mundo virtual la mano del sujeto, de forma que esos desajustes que hay se puedan subsanar.

Por ello los sistemas de realidad virtual que incluyen el sentido háptico son considerablemente mas complejos que las demás, por lo que en la práctica, no hay entornos

virtuales que usen un interfaz háptico que se usen de forma masiva por los usuarios. En esos casos, la laguna que supone no utilizar la sensación táctil es suplida por otros sentidos. Por ejemplo cuando estamos tocando un objeto virtual, generar un sonido que indique al usuario que realmente lo está tocando.

Órganos de Golgi

Están situados en los tendones, y detectan la tensión sometida por ese tendón. Es una medida indirecta la fuerza realizada sobre ese miembro. Gracias a este sensor podemos realizar acciones de lo que anteriormente denominamos “acto de tocar” o tacto activo. Así podemos agarrar un objeto, saber su peso, su elasticidad, etc. Esta información cenestésica se encuentra íntimamente unida a la información táctil, pero se puede fácilmente aislar si no tocamos directamente el objeto sino que lo tocamos utilizando un instrumento o herramienta.

Generar estímulos sintéticos que estimulen estos receptores es mucho más fácil que generar estímulos para los mecanorreceptores cutáneos, ya que simplemente con motores se puede conseguir la realimentación de fuerza. Es por este motivo por lo que es el campo en el que más ha avanzado la investigación en realidad virtual háptica

Interfaces y Dispositivos

Simular la sensación háptica se puede realizar de muchas maneras. Las usadas por los sistemas de realidad virtual incluyen desde “pins” mecánicos activados por solenoides, cristales piezoeléctricos, vibraciones generadas magnéticamente, presión de sistemas neumáticos, etc. Las ventajas y los inconvenientes de cada forma de generar esa sensación se puede ver en la siguiente tabla

Distinguimos los dispositivos e interfaces en dos grandes grupos, los táctiles y los de realimentación de fuerzas, haciendo hincapié en los últimos que son los que más nos interesan para el desarrollo del presente proyecto.

Interfaces táctiles

Con estos interfaces lo que se pretende es estimular a los mecanorreceptores que se

encuentran en la piel, como son los corpúsculos de Pacinni, Meissner, etc. Así se consigue activar lo que anteriormente denominamos tacto pasivo, de forma que el usuario pueda recibir la mayor información posible acerca de la naturaleza del objeto, no de su forma o su peso.

Para ello hay que tener en cuenta que, como se dijo anteriormente, los mecanorreceptores ya citados no se encuentran distribuidos de forma homogénea a lo largo de toda la piel, sino que se encuentran concentrados en zonas como son las yemas de los dedos, la mano, etc. Si bien se podría hacer dispositivos para cualquier zona, se suele realizar para las yemas de los dedos, ya que es una zona muy estudiada y donde se encuentran los cuatro tipos de mecanorreceptores.

Distinguimos entre cinco tipos de interfaces posibles:

Vibradores

La forma más intuitiva de producir sensaciones táctiles es mediante la vibración a una frecuencia determinada [KONTARINIS95] [MINSKY96]. Para ello se utilizan solenoides que mediante la creación de un campo magnético, sean capaces de hacer vibrar la superficie que cubre dicho solenoide. Básicamente el funcionamiento es análogo al de un altavoz de sonido, solo que para frecuencias no sónicas.

Con esto se consigue una estimulación de forma muy localizada, pero puede interesar todo lo contrario, una estimulación homogénea por todo el usuario. Un ejemplo de utilización puede ser para tratar el miedo a volar mediante realidad virtual. Con un gran altavoz trabajando a baja frecuencia bajo el asiento del viajero simula de forma muy realista las vibraciones producidas por el avión.

Otra tecnología usada para generar esas vibraciones es la de motores eléctricos. Sobre un pequeño dispositivo de unos pocos centímetros se colocan un motor eléctrico que con su rotación a una frecuencia determinada haga vibrar la piel sobre la que está colocado. Al ser tan pequeños se suelen utilizar para la estimulación de los dedos en guantes de realidad virtual, permitiendo añadir mayor realismo al sistema. El problema principal es que la estimulación no está bien localizada, ya que el estímulo se reparte sobre un área relativamente grande. Además hay que tener en cuenta en el diseño la frecuencia de vibración para controlar qué mecanorreceptor estamos estimulando en cada momento [WOOD98].

Ejemplos de este tipo de dispositivos son CyberTouch y TouchMaster.

CyberTouch es un complemento para el guante CyberGlove que provee realimentación táctil. Los estimuladores táctiles están situados en las puntas de los dedos y en la palma de la mano, de forma que puedan transmitir vibraciones, tanto de forma pulsada como de forma sostenida. Se pueden usar de forma independiente cada uno, o en combinación para producir patrones táctiles programados.



Ilustración 2-2 Ejemplo de uso de un CyberTouch

TouchMaster es muy similar al anterior. Las bobinas están sujetas a los dedos con cintas de velero y están unidas por medio de un cable con una unidad de proceso que sirve como interfaz con el PC, VME o cualquier otro bus estándar.



Ilustración 2-3 Unidad de control de TouchMaster

Neum·ticos

Este mecanismo pretende producir una sensación táctil muy localizada, para ello se basa en sistemas de compresión de aire que puedan inyectar hacia la piel del usuario de forma muy localizada. El principal problema de esta tecnología es que es necesario obtener aire comprimido de forma fluida, con lo que el tamaño de los sistemas aumenta considerablemente.

Otra forma de usar esta tecnología es inflando algún tipo de ampolla que produzca presión

sobre la piel del usuario. Esto es más conveniente cuando se utiliza con guantes de realidad virtual, ya que pueden incluir varias ampollas de este tipo y controlar de esa manera la presión ejercida sobre la piel del usuario.

Un ejemplo de utilización puede ser el Teletact II, donde se consigue una calidad aceptable a costa de una baja resolución espacial. Si queremos localizar mucho más la sensación hemos de proyectar el aire comprimido directamente a la piel del usuario.

Mecánicos.

Consisten en estimular la piel de forma directa, mediante actuadores mecánicos. Es la forma más precisa de conseguir una estimulación táctil. La principal aplicación consiste en la simulación de texturas, algo que no se podría realizar con las anteriores tecnologías debido a su falta de resolución espacial. Normalmente suelen estar formados por una matriz de pequeñas agujas que realizan presión sobre la piel del usuario [MOY00]. Usualmente sólo se utiliza para estimular la yema de los dedos. Aún así, no se suelen utilizar en los guantes de realidad virtual ya que para que las agujas funcionen correctamente necesitan mucho hardware asociado, haciendo que las dimensiones y peso del dispositivo sean muy grandes.

Electrocut·neos

Estos estimuladores se basan en la propiedad que tienen los mecanorreceptores de la piel de ser células nerviosas, con lo cual, ante una corriente eléctrica también producen estímulos similares a los que producen de forma normal cuando se activan bajo presión. Lo que se hace es pasar una pequeña corriente eléctrica, lo suficientemente pequeña para no producir dolor y lo suficientemente grande como para estimular las células mecanorreceptoras, por medio de una serie de electrodos colocados en la zona deseada. Así se consigue una sensación no muy localizada.

La estimulación no se hace de forma continua, sino de forma pulsada, donde la anchura de los pulsos y la frecuencia son los parámetros más importantes.

La propia naturaleza de los sistemas basados en este tipo de estimulación hacen que sean muy interesantes para utilizarlos con los guantes de realidad virtual (bajo peso, no hay partes móviles, etc.), pero la dificultad que tiene generar la sensación sin que llegue a doler y la baja resolución espacial, hacen que no se utilice mucho.

Térmicos

Hasta ahora sólo nos hemos encargado de estimular los receptores mecánicos que hay en la piel. También podemos estimular los receptores térmicos, no tanto para “simular” la presión ejercida por un objeto virtual, sino para “simular” la naturaleza de la que está hecho el objeto.

Esto es así porque una característica intrínseca a un material es la capacidad que tiene de conducir el calor. Por ejemplo los metales tienen una gran capacidad conductora de calor, mientras que la madera, conduce muy poco. Esto lo detectan esos sensores y esa información se traduce en nuestro cerebro en que los metales son fríos y la madera es cálida. Esto es debido a la transferencia de calor entre la piel y el material. Si conduce bien el calor, el calor que desprende la piel se transmite muy bien, dándonos la sensación de estar frío, todo lo contrario que ocurre con la madera.

Para estimular a estos receptores se utilizan módulos termoelectricos que son capaces de generar un gradiente térmico en función de la tensión aplicada de forma localizada sobre la piel del usuario. El problema de estos dispositivos es la gran inercia que tienen al cambio de temperatura, por lo que se utilizan disipadores que faciliten el control de la temperatura aplicada al usuario.

Estos dispositivos se suelen usar con un dispositivo de seguimiento, para permitir que el usuario pueda notar el cambio de temperatura de la superficie que está tocando con sus dedos. Usando un termonodo (un generador de calor termoelectrico, sensor de temperatura y disipador de calor), se realiza la realimentación desde el sensor, regulando la temperatura que percibe el usuario.

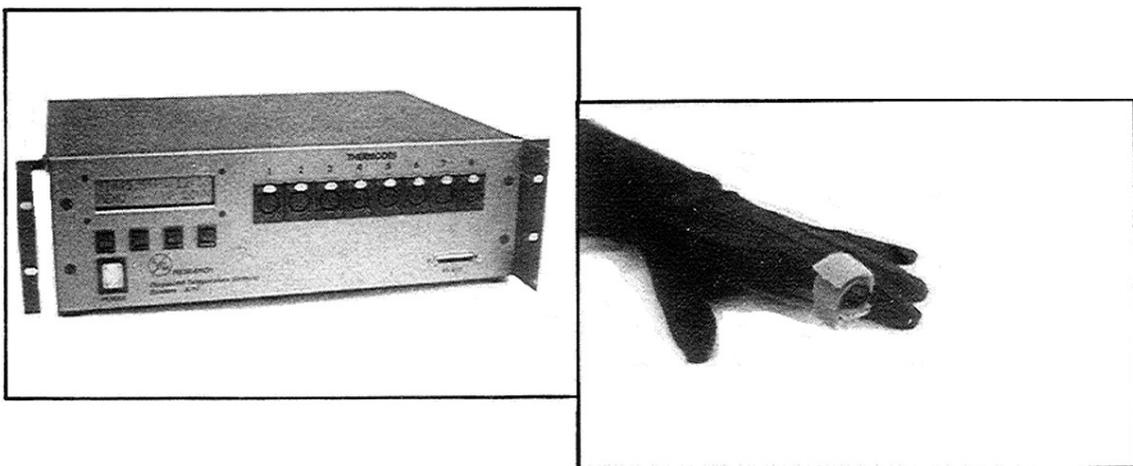


Ilustración 2-4 Utilización de un Displaced Temperature Sensing System

Interfaces de realimentación de fuerza

Los interfaces de fuerza son los que más se usan actualmente en las aplicaciones de realidad virtual. Con ellos pretendemos que cuando en un mundo virtual queramos tocar un objeto (apretarlo, manipularlo, etc.) podamos hacerlo de forma realista, notando que el objeto ocupa realmente un volumen determinado en el espacio. Esta característica no la podíamos conseguir con los interfaces anteriores, que sólo simulaban la presión ejercida al usuario de forma localizada. Con estos interfaces podríamos establecer un plano virtual, y cuando el usuario lo toque y quiera traspasarlo, de alguna forma el sistema virtual se lo impida.

Además con estos sistemas podemos simular características de los objetos que antes no podíamos tales como elasticidad, viscosidad, adherencia, etc..

A continuación veremos los distintos tipos de dispositivos más usuales y comentaremos ejemplos de ellos.

Exoesqueletos

La primera idea que surge para la construcción de dispositivos de realimentación de fuerzas es la de limitar la libertad de movimientos del usuario. En el ejemplo anterior del plano virtual, el sistema debería encargarse de no permitir al usuario moverse de una cara del plano a la otra. Como idea básica aparecen los exoesqueletos, que son armazones colocados sobre algunas articulaciones y miembros del usuario que de forma controlada permiten aplicar una resistencia al movimiento. Para ello se utilizan sistemas neumáticos o eléctricos. Los primeros adecuados para las aplicaciones hápticas en un entorno reducido aparecen a principio de los años 90 [IWATA90].

Hay exoesqueletos que están sujetos a alguna estructura fija y otros que son vestibles, sujetos simplemente al cuerpo del usuario [BURDEA92]. Los que están fijos permiten una mayor calidad en la simulación, ya que permiten simular objetos más grandes, simular mejor la dureza de los objetos, etc. Por lo contrario no dan movilidad al usuario, por lo que el entorno virtual ha de estar confinado en un espacio relativamente pequeño. Por su propia naturaleza, con los exoesqueletos vestibles no se pueden coger cualquier objeto, solo aquellos que están flotantes.

Se pueden construir exoesqueletos para cualquier parte del cuerpo pero lo usual es que se adapten para las extremidades superiores [WILLIAMS98]

Hand Exoskeleton Haptic Display

Diseñado por EXOS Inc., HEHD es un sistema display háptico que genera realimentación de fuerza sobre los dedos de forma que pueda generar la sensación de coger o agarrar cosas, además de proporcionar la sensación de deslizamiento sobre los dedos pulgares e índice. El dispositivo consiste en un exoesqueleto de la mano que proporciona un grado de libertad al pulgar y dos grados de libertad al dedo índice. Se permite el deslizamiento en una dirección de ambos dedos. El dispositivo se puede integrar sobre un sistema de posicionamiento que permita calcular la posición del brazo.

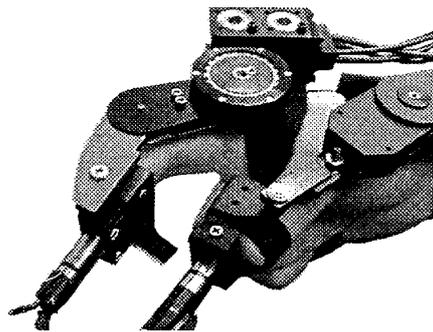


Ilustración 2-5 Hand Exoskeleton Haptic Display

SAFiRE es un dispositivo similar a éste, con la diferencia que permite tener hasta ocho grados de libertad, tres en el índice, tres en el pulgar y dos en la muñeca. Así se pueden simular acciones como atornillar una tuerca, abrir un pomo, etc.

Force Exoskeleton ArmMaster

Es un exoesqueleto que posee cinco grados de libertad activos y otros tantos grados de libertad pasivos que permiten ajustar el dispositivo al brazo del usuario [HURMUZLU98]. Una estructura portada por el usuario en los hombros permite tres grados de libertad en la parte superior del brazo. Otro mecanismo provee dos grados de libertad en la parte inferior del brazo.



Ilustración 2-6 Ejemplo de uso de un ArmMaster

Se usan motores de continua con un sistema de enfriamiento para evitar el sobrecalentamiento de los motores. La segunda versión, EAM II, se agarra al brazo del usuario, de forma que no sólo aplica y detecta fuerzas, también es capaz de calcular la posición exacta del brazo. Se puede configurar para uno o dos brazos, o para integrarse con otros sistemas como SAFiRE o HEHD.

Interactuadores puntuales

Los interactuadores puntuales basan su funcionamiento en no permitir al usuario tocar de forma directa el objeto, sino a través de un medio físico intermedio, como pueda ser una varilla o dedal. De esta forma, el medio intermedio actúa como un filtro, que transmite al usuario de forma transparente la sensación cinestésica producida por el hecho de tocar el objeto, pero anula la sensación táctil, con lo que la simulación se hace muy realista.

Las principales utilidades que tienen estos dispositivos es para el entrenamiento en cirugía, ya que son habilidades manuales muy precisas y costosas de realizar. Es típico ver sistemas de realimentación de fuerzas con instrumentos quirúrgicos acoplados en su terminal.

Phantom

Desarrollado por T. Massie y K. Salisbury [MASSIE94], es uno de los dispositivos de este tipo más populares. Es un brazo con articulaciones motorizadas que terminando en una varilla, dedal o herramienta (según la versión utilizada), permite al usuario moverse en el espacio virtual e interactuar con el mediante ese instrumento puntual.

Por la propia naturaleza de la estructura aparecen distintos grados de libertad, tanto de detección de posición como de aplicación de fuerzas, y dependiendo del modelo de Phantom que utilicemos, dispondrá de un número determinado de grados de libertad.

En nuestro proyecto se utilizará el dispositivo Phantom como parte del periférico Reachin. Los dispositivos de Reachin buscan integrar la parte háptica con la parte visual, recreando el entorno virtual completo (incluido el interactuador puntual) sobre un espejo y utilizar el interactuador por debajo del mismo, de forma que el usuario cree que el objeto que esta tocando existe realmente.

Más adelante se tratará este dispositivo en detalle.

Force Feedback Master

Inicialmente diseñada para su uso en simulaciones médicas por EXOS Inc., 4 DOF Force Feedback Master provee cuatro grados de libertad al usuario. La realimentación se realiza por medio de un dispositivo conectado con una caja que permite mover el dispositivo en las tres direcciones. El cuarto grado de libertad se obtiene permitiendo deslizar el dispositivo de forma perpendicular a la superficie.

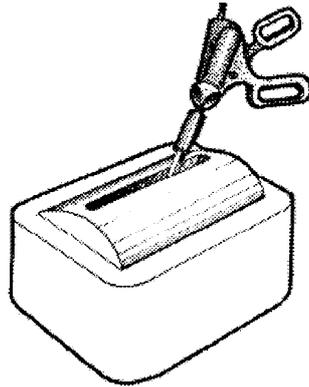


Ilustración 2-7 Force Feedback Master

La principal aplicación de este dispositivo es la simulación de operaciones quirúrgicas mínimamente invasivas, donde las fuerzas se reciben al tocar tejidos virtuales y órganos con una herramienta de laparoscopia.

Impulse Engine Family

Basado en el motor Impulse Engine de Immersion Corp., es un conjunto de herramientas basadas en los dispositivos de realimentación. Todas las herramientas usan servomotores, y pueden ser utilizadas con casi cualquier tipo de ordenador (PCs, Macs, SGs).



Ilustración 2-8 Ejemplo de Impulse Engine

Un ejemplo de herramienta es la utilizada para operaciones laparoscópicas. Es similar al

dispositivo anterior y posee también cinco grados de libertad. La herramienta pivota sobre un punto permitiendo dos grados de libertad. Un tercer grado de libertad permite al usuario moverse sobre el eje de inserción. El cuarto grado lo permite moverse sobre su eje longitudinal y el quinto lo proporciona la posibilidad de abrir y cerrar el instrumento.

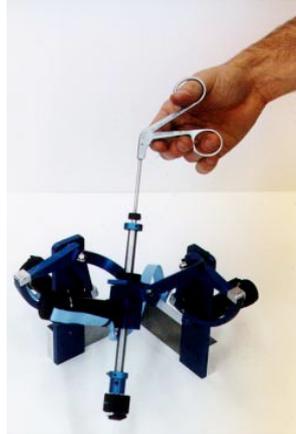


Ilustración 2-9 Needle Insertion Simulator

Otra herramienta es el “Needle Insertion Simulator”, diseñado para entrenar a los futuros cirujanos en la inserción de agujas, simulando la fuerza provocada al insertar la aguja a través de capas de tejido.

Haptic Master

Haptic Master fue desarrollado por Hiroo Iwata [IWATA94] en la universidad japonesa de Tsukuba y es distribuido por Nissho Electronics Corporation. El dispositivo es un instrumento de escritorio que provee fuerzas y rotaciones tridimensionales al usuario por medio de un mando agarrado por los dedos del usuario. Los actuadores son tres conjuntos de pantógrafos, cada uno alimentado por tres motores eléctricos. La parte superior de cada pantógrafo está conectada a un vértice de una pequeña plataforma y el mando está situado justo en el centro de esa plataforma. Dispone de un conjunto de drivers para calcular posiciones y fuerzas y aplicar fuerzas de realimentación al usuario.



Ilustración 2-10 Haptic Master

Pantógrafo

Diseñado en el laboratorio de dispositivos hápticos de la universidad de McGill en el 94 [HAYWARD94], tiene como principal característica que sólo posee dos grados de libertad, frente a los 6 o más grados de libertad que tienen los dispositivos típicos. Con el pantógrafo el usuario tiene total libertad de movimiento sobre un plano y, debido a la limitación en los grados de libertad, posee una mayor resolución y respuesta en frecuencia, por lo que la respuesta es mucho más realista. En un sistema de este tipo, no se pueden simular superficies, pero si contornos.



Ilustración 2-11 Pantógrafo

Otros dispositivos

Hay otros dispositivos de interfaz háptico de realimentación de fuerza que se basan en los dispositivos usuales de interacción con las máquinas, pero añadiendo una capacidad háptica.

Un ejemplo puede ser un ratón con sensación de relieve. Es un ratón normal de ordenador con unos pequeños motores que actúan a modo de frenos, para limitar el movimiento del mismo, de manera que provoca la sensación de estar sobre una superficie con un determinado relieve.

También hay joysticks de fabricantes como Microsoft o Logitech que son capaces de realimentar fuerzas, o volantes que producen un efecto similar. Este tipo de dispositivos, debido a su uso relativamente masivo en la industria de los videojuegos, son fácilmente asequibles para un usuario medio.