

# Desarrollo de un Guante de Datos con Retorno Háptico Vibro-táctil Basado en Arduino

Jonatan Martínez<sup>1</sup>, José P. Molina<sup>2</sup>, Arturo S. García<sup>2</sup>, Diego Martínez<sup>2</sup>, Pascual González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>jonatan.m@gmail.com

<sup>2</sup>{jpmolina, arturo, diegomp1982, pgonzalez}@dsi.uclm.es

**Abstract.** En este trabajo se presenta la concepción, diseño y desarrollo de un guante de datos con retorno vibro-táctil basado en el microcontrolador open-source Arduino, con el objetivo de usarlo de forma experimental en diferentes aplicaciones de realidad virtual, e investigar sobre técnicas de interacción que hagan uso de este retorno. En este trabajo se detallan también algunas de esas aplicaciones, y las conclusiones que se extraen del uso de este guante.

**Keywords:** Realidad virtual, guante de datos, dispositivo háptico, retorno vibro-táctil, Arduino, técnicas de interacción, aplicaciones

## 1 Introducción

Según Bertrand Russell "...es el tacto lo que nos proporciona el sentido de 'realidad'... toda nuestra concepción de lo que existe fuera está basado en el sentido del tacto". En el campo de la realidad virtual, y en el más amplio de la interacción persona-ordenador, la tecnología de retorno de fuerzas o en general toda aquella que proporciona una información a través del sentido del tacto no es nueva, sin embargo su uso no está tan extendido y desarrollado como otras más tradicionales que estimulan los sentidos como la vista o el oído. Los videojuegos han hecho que surjan distintos periféricos que sí cuentan con retorno de esfuerzo, como los joysticks [1] y volantes [2] empleados en simuladores de vuelo y conducción. En algunos mandos de juegos el retorno se produce en forma de vibración [3]. Sin embargo, más allá de esos simuladores y videojuegos, las aplicaciones de realidad virtual demandan otra clase de dispositivos.

En este ámbito existen otros periféricos especializados, como por ejemplo el guante CyberGrasp [4], ó el dispositivo de sobremesa Phantom [5]. Sin embargo éstos son limitados y no siempre reúnen las características que uno busca, o bien tienen un precio excesivo comparado con los dispositivos de consumo habituales. Por ello, no es extraño que existan multitud de aproximaciones realizadas en laboratorios, como el guante Rutgers's Master II-ND [6] o el exoesqueleto creado en la universidad de Keio [7].

En este trabajo se ha apostado por la versatilidad, de tal modo que el objetivo no es construir una plataforma cerrada, sino una herramienta que sirva como base para realizar distintos experimentos en el campo de la realimentación táctil y que pueda ser extendido en el futuro con nuevas ideas. En concreto, se ha diseñado y construido un guante de datos con capacidad de retorno táctil y de detección de contacto entre dedos, y para el que se ha usado una circuitería que dota al proyecto de la versatilidad buscada.

En el apartado 2 se hace un breve repaso de los guantes existentes y las tecnologías usadas. En el apartado 3 se presentan las decisiones y algunos detalles del diseño del guante y de su driver. En el apartado 4 se describen algunas de las aplicaciones en las que se ha probado. Finalmente en el apartado 5 se resumen las conclusiones que se han obtenido con el trabajo realizado hasta la fecha.

## **2 Guantes de datos y retorno táctil**

Un guante de datos es un dispositivo de entrada, que a la vez también puede ser de salida si ofrece retorno háptico. Como dispositivo de entrada, suelen incorporar una serie de sensores que permiten determinar el grado de flexión y la separación (abducción) entre los dedos, y se suelen combinar con un dispositivo de localización para complementar la información sobre las posiciones relativas de cada dedo con la posición absoluta de la mano. Los guantes suelen fabricarse en nylon o lycra, y algunos modelos también se ofrecen en diferentes tallas. Una de las características que diferencian unos guantes de otros es el número de sensores, que puede variar de 5 (un sensor de flexión para cada dedo), a más de 20 (tres sensores de flexión en cada dedo, cuatro para abducción, un sensor para la palma, etc...). Otra de las características es la frecuencia de muestreo y de envío de datos al ordenador, el cual se ha realizado tradicionalmente a través de un puerto serie y ahora, en los nuevos modelos, por USB o radiofrecuencia. Sin embargo, el factor que más diferencia a unos guantes de otros es la tecnología que se emplea para medir la flexión y la abducción.

Existen dos formas básicas de medir los gestos de la mano, utilizando sensores flexibles, como por ejemplo las fibras ópticas que se emplean en el guante VPL DataGlove, o utilizando una estructura de segmentos articulados, la cual se fija a la mano como una especie de exoesqueleto, como el Dextrous Handmaster, de la empresa Exos. Los guantes que emplean sensores flexibles son más cómodos de emplear, mientras que los otros son más precisos. Pero tanto unos como otros requieren una recalibración del guante para cada persona concreta. En cualquier caso, estas tecnologías pueden igualmente servir para medir flexiones de otras partes del cuerpo, llegándose incluso a fabricar trajes completos (VPL Datasuit, Virtual Tech. CyberSuit).

A continuación se describen algunos de los guantes, como dispositivo de entrada, que se pueden encontrar comercialmente:

- FakeSpace Pinch Gloves (Fig. 1.a). Estos guantes no sirven para medir la flexión o abducción de los dedos, tampoco la posición de la mano. En su lugar, detectan el contacto entre dos o más dedos (gesto de pinza o *pinch gestures*), gracias a la tela conductora que se encuentra en las yemas de los dedos del guante. Su mayor ventaja es que no precisan proceso alguno de recalibración.
- Fifth Dimension Data Glove (Fig. 1.b). Este guante, comercializado por la compañía 5DT, permite medir la flexión de cada dedo y la orientación de la mano. Para ello incorpora bucles de fibra óptica en cada articulación, y una unidad de control que incluye la circuitería que mide la orientación. El extremo de cada bucle está conectado a un LED y la luz que vuelve al otro extremo es captada por un fototransistor. Cuando la fibra está recta, no hay atenuación de la luz transmitida. Al flexionar, se pierde parte y el fototransistor capta menos luz. Sin embargo, detectar el contacto entre las yemas de dos dedos se vuelve complicado, al tener que confiar en modelos por software.
- Immersion CyberGlove (Fig. 1.c). Inventado por Jim Kramer y comercializado por la empresa Virtex (ahora Immersion), el CyberGlove se vale de 18 ó 22 delgados medidores de esfuerzo montados sobre un fino tejido elástico de nylon. El tejido elástico no cubre la superficie palmar (tampoco la punta de los dedos en el modelo de 18 sensores) lo que permite una mejor ventilación. Los sensores son rectangulares para medir la flexión, y en forma de U para medir la abducción. Dos de ellos se utilizan para medir el cabeceo (pitch) y guiñada (yaw) de la muñeca. Aunque el mayor número de sensores hace más factible dedectar el contacto entre dos dedos que en el guante 5DT, no cuenta con el sensor de orientación de éste.

Como dispositivo de salida, los guantes suelen incluir diferentes sensores de vibración, presión o calor para estimular el sentido del tacto. Para el retorno de fuerzas, se suele confiar en un conjunto de cables que son tensados para producir el efecto deseado. Algunos de los guantes que se pueden encontrar comercialmente son:

- Immersion CyberTouch (Fig. 1.d). Este guante consiste en 6 pequeños estimuladores vibrotáctiles que se le añaden al guante CyberGlove, uno en cada dedo y uno más en la palma. Mediante todo el conjunto es posible generar desde sensaciones simples hasta complejos patrones de realimentación táctil.
- Immersion CyberGrasp (Fig. 1.e). Este producto consiste en un exoesqueleto externo que se une al guante CyberGlove para proporcionar un retorno de fuerzas resistivo a cada dedo. Para ello aplica fuerzas individuales mediante una red de tendones guiados por el exoesqueleto y se puede programar para evitar que los dedos del usuario atraviesen o aplasten un objeto virtual. Gracias a esta estructura externa las fuerzas se aplican de forma perpendicular a los dedos a través de todo su rango de movimiento.

Como se puede comprobar por las descripciones anteriores, diferentes guantes ofrecen diferentes sensores, y no hay uno solo que cubra todas las expectativas. En el caso de los guantes con retorno háptico el coste puede ser prohibitivo, de varios órdenes de magnitud de diferencia comparado con un dispositivo para videojuegos con retorno háptico, dándose incluso la circunstancia de que el fabricante Immersion

es el mismo que proporciona la tecnología a muchos de esos otros dispositivos de consumo, mucho más económicos.



**Fig. 1.** Guantes de datos. a) FakeSpace Pinch Gloves b) Fifth Dimension Data Glove c) Immersion CyberGlove d) Immersion CyberTouch e) Immersion CyberGrasp

### 3 Diseño y construcción

#### 3.1 Guante de datos

En el diseño del guante háptico se han tenido en cuenta una serie de requisitos. Entre ellos, los más importantes son la capacidad de proporcionar al usuario una respuesta háptica, y la posibilidad de ofrecer algún tipo de entrada, como por ejemplo la detección de contacto entre las yemas de los dedos. Otras características deseables son que sea ligero, permita buena movilidad de los dedos y que sus componentes sean fáciles de encontrar comercialmente.

Uno de los principales retos que plantea este proyecto es la elección de la tecnología que se va a emplear para estimular el sentido del tacto y transmitir información a través de él. La forma más sencilla, y la que se ha empleado en el presente trabajo, es mediante el uso de pequeños vibradores eléctricos. Estos motores

tienen un tamaño y peso reducido, se pueden colocar fácilmente en cualquier lugar, y son muy fáciles de operar. La vibración que producen puede variarse en intensidad, y distribuidos en la mano del usuario pueden generar un retorno táctil que puede ser útil en distintas tareas de manipulación.

Usando esa tecnología, se han creado dos prototipos de guante háptico que se diferencian en la forma de colocar los actuadores y en el circuito controlador usado. En la primera aproximación, que puede verse en la Fig. 2, se ha construido el guante en forma de accesorios que se puedan acoplar a un guante de datos ya existente. De esta forma es posible, por ejemplo, usar un guante Cyberglove [8] que mide la flexión de los dedos de forma precisa y añadirle estos accesorios para dotarlo de retorno táctil y detección de contacto entre dedos, multiplicando así sus posibilidades. Otra de las ventajas de este diseño es que se adapta fácilmente a distintos tamaños de mano. Los accesorios están formados por una tira elástica con velcro para cada uno de los dedos, y una más grande en la muñeca para colocar el circuito. Cada una de estas tiras tiene un pequeño vibrador y como sensor una superficie conductora de la electricidad.



Fig. 2. Primera versión del guante háptico

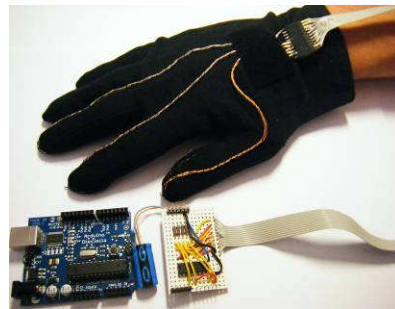


Fig. 3. Segunda versión del guante háptico

Esta primera aproximación, si bien logra su objetivo de ser un dispositivo versátil y con capacidad de mejorar modelos más sencillos de guantes, tiene el inconveniente de que para vestirlo es necesario colocar cada uno de los accesorios manualmente, lo que se vuelve tedioso si se hace frecuentemente. Por esta razón, se trabajó en un diseño alternativo en el que los captadores y actuadores están directamente integrados en el tejido del guante, como se puede ver en la Fig. 3. El material base sobre el que se ha trabajado es la lycra, que es un material a la vez cómodo y transpirable. Se tiene así un segundo diseño que consigue que la tarea de vestir el guante pueda ser algo sencillo y rápido, y que además reduce el conjunto actuador y captador, haciéndolo más confortable para el usuario.

### 3.2 Circuito de control

Los componentes del guante se conectan al ordenador a través de un circuito que, a la vez, permite realizar funciones de control sobre los mismos. En el primer prototipo

del guante la conexión se realiza a través del puerto paralelo del ordenador, y el circuito se basa en el chip ULN2003 que básicamente amplifica la señal para alimentar a los vibradores. Al disponer ese puerto de hasta 8 bits de transmisión de datos en paralelo, es posible realizar una conexión directa entre los componentes del guante y el puerto, simplificando el circuito necesario. Sin embargo, una interconexión así no permite, en principio, variar la intensidad. Para solucionar este problema se ha implementado una modulación por anchura de pulso (Pulse Width Modulation - PWM) por software. Esta técnica implica conmutar rápidamente cada salida digital asociada a un vibrador entre los estados encendido y apagado. Así, la intensidad de vibración es proporcional al tiempo que está la salida digital a nivel alto respecto al tiempo que está a nivel bajo.

En la segunda versión del guante se decidió usar un microcontrolador programable. De esta manera se puede dotar al circuito de cierto comportamiento independiente, otorgando al chip un mayor control sobre los componentes del guante, y liberando al ordenador de algunas de las tareas que antes se veía obligado a hacer. Además, mediante esta plataforma es posible usar sensores y actuadores más complejos, lo que puede ser interesante para futuras ampliaciones. Arduino [9] ha sido el microcontrolador elegido, entre otros motivos por su gran versatilidad, entorno de desarrollo propio, bajo coste, facilidad de uso, y la gran comunidad de usuarios y soporte, dado que es de código abierto.

Arduino es un montaje electrónico basado en el chip AT-Mega8 que cuenta con 6 entradas analógicas y 14 entradas/salidas digitales, 6 de las cuales tienen soporte por hardware de PWM. La comunicación con el ordenador, que hace posible también su programación, se realiza a través de un puerto serie, si bien en las últimas versiones tiene incluido un chip FTDI que permite emular a éste mediante un puerto USB. Existen varias versiones de Arduino, algunas se caracterizan por tener tamaños reducidos, otras por tener conexión Bluetooth, y recientemente se ha añadido un modelo con mayor capacidad de memoria, procesamiento y número de puertos.

La versión usada en este trabajo, llamada *Diecimila*, es la más común (aunque ha sido sustituida por una nueva revisión llamada *Duelaminove*) y cuenta con conexión USB que se emplea a la vez como alimentación. Se ha usado una salida digital con soporte PWM para estimular cada uno de los actuadores, y una entrada digital para los sensores de los dedos índice, anular, corazón y meñique y poder así detectar gestos de pinza con el pulgar.

Arduino ha sido programado para monitorizar cambios en el estado de los contactos transmitiéndolos al ordenador, y estimular los actuadores dependiendo de los últimos valores recibidos desde el driver. Algunas de las ventajas que se obtienen así son una mayor suavidad en los cambios de intensidad de los vibradores, menor carga de procesamiento y trasiego de información en los puertos, y menor peso del cable.

### 3.3 Driver

La implementación de un driver es necesaria para poder controlar el guante desde la aplicación que lo vaya a usar. Este módulo se ha creado en C++, y es diferente para

cada una de las dos versiones del guante (puerto paralelo o USB). Desde el punto de vista del programador, ambos drivers son iguales, ya que abstraen las diferencias ofreciendo una interfaz común.

El driver para el guante de datos que se conecta por puerto paralelo es el más complejo. Por un lado debe comprobar con cierta frecuencia el estado de cada uno de los sensores del guante, y por otro debe implementar un algoritmo que realiza la modulación PWM para cada uno de los cinco canales. Esta es una manera sencilla de poder variar la intensidad de vibración, pero consume recursos del procesador que son muy valiosos en las aplicaciones para las que va destinado.

En el modelo USB del guante de datos, es necesario instalar el driver FTDI que realiza el mapeo entre éste y un puerto serie virtual. El driver realizará la comunicación con el puerto serie virtual, de tal manera que sería compatible a la vez con la versión de Arduino que no tiene USB. En este caso el microcontrolador es el que realiza por hardware la modulación PWM y además comprueba los cambios en los estados de los contactos. Estos cambios son enviados por el puerto USB, por lo que el driver únicamente debe mandar los cambios en la intensidad de vibración de cada dedo, y leer los cambios que le llegan acerca de los sensores.

## 4 Casos de estudio

### 4.1 Aplicación de modelado

La primera aplicación en la que se ha probado el guante que aquí se describe tiene como objeto el modelado de figuras en un entorno virtual inmersivo. Para este entorno se ha usado, en particular, una pantalla de retroproyección estereoscópica y un sistema de localización electromagnético con un sensor en la cabeza del usuario, y otro en el guante. De esta forma el usuario, mediante unas gafas polarizadas, observa el objeto virtual frente a él como si saliera de la pantalla y puede manipularlo con sus propias manos mediante el guante háptico construido.

El modelador se basa en una malla de polígonos que puede ser deformada a nivel de vértices mediante dos técnicas: selección y traslación de vértices, y deformación por presión directa con los dedos.

En la primera técnica el retorno háptico solamente aporta información sobre la selección satisfactoria de uno de los vértices, indicando que se puede coger mediante un gesto de pinza para posteriormente moverlo. En la segunda técnica el retorno háptico es mucho más importante, ya que indica al usuario qué dedo y con qué presión está tocando el objeto virtual, provocando una deformación visible en el objeto sintético.

Otra opción implementada permite cambiar la deformación plástica del objeto por deformación elástica, de tal forma que al dejar de ejercer presión sobre el mismo, éste recupera su forma original. Esta característica es útil para probar la detección de colisiones y la realimentación táctil del guante.

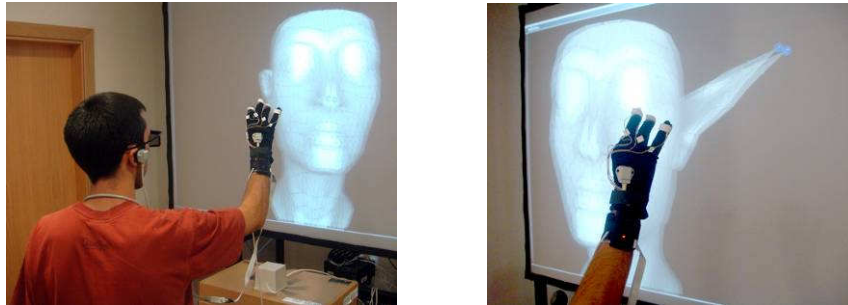


Fig. 3. Aplicación de modelado

#### 4.2 Aplicación de Construcción

En este segundo caso de estudio, el guante se usó en una aplicación de construcción similar al popular juego LEGO, permitiendo al usuario construir figuras mediante la unión manual de piezas.

Dicho sistema fue desarrollado sobre una arquitectura de implementación de Entornos Virtuales Colaborativos (Collaborative Virtual Environments – CVEs), actualmente bajo desarrollo en nuestro laboratorio, con el fin de demostrar algunos de los conceptos presentes en ella [10]. Entre estos conceptos, se encuentra la independencia hardware, con lo que la aplicación fue probada empleando distintas configuraciones de dispositivos. Entre ellas, cabe destacar una configuración inmersiva usando un visio-casco VR1280, un posicionador Flock of Birds de rango extendido para medir la posición de la cabeza y las manos del usuario, y el guante de datos implementado.

Durante esta evaluación se aprovechó el retorno háptico no para indicar la colisión con cualquier objeto de la escena, sino tan sólo con aquellos susceptibles de ser cogidos por el usuario. De este modo el retorno háptico del guante demostró ser una técnica eficaz que permitía al usuario saber cuando su mano se encontraba en el lugar adecuado para coger las piezas, supliendo las deficiencias del canal visual y ayudándolo en el desarrollo de sus tareas.

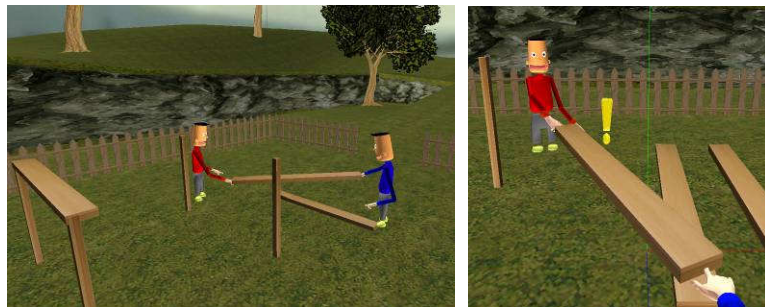
#### 4.3 Aplicación colaborativa

La interacción es un aspecto de los CVEs que no ha recibido la atención suficiente por parte de la comunidad investigadora en los últimos años. Esto puede comprobarse atendiendo al campo en el que más popularidad ha tenido su aplicación, el ocio y el entretenimiento, donde títulos como World of Warcraft o Second Life reúnen a millones de personas de todo el mundo. Sin embargo, la interacción dentro de este tipo de sistemas está muy limitada, y no se explotan las ventajas de manipulación directa que la realidad virtual inmersiva proporciona.



En este trabajo [11] se trataba de estudiar cómo mejorar la interacción colaborativa en CVEs inmersivos, mejorando el nivel de awareness de los usuarios (información provista por el sistema a un usuario con el fin de que tenga conocimiento de lo que sucede en el entorno), usando una clasificación de este concepto basada en la interacción colaborativa. Para esto, se utilizaron elementos de feedback identificados por [12], aunque sólo se usaron elementos visuales. La tarea a realizar por los usuarios estaba basada en una subtarea de [13], donde debían mover una tabla de madera de forma simultánea, ya que era demasiado pesada para hacerlo de forma individual, evitando a su vez que se les cayera, por lo que deberían sincronizar sus movimientos.

Los primeros resultados obtenidos animaron a extender este estudio, ampliando los elementos de feedback a utilizar, en este caso mediante sonido y vibración usando el guante de datos implementado. Este nuevo experimento, en el que tomaron parte 70 personas, confirmó las primeras impresiones, resultando que los participantes que disponían de un awareness extendido realizaban mejor sus tareas de este modo. Además, cuando se usaba feedback en forma de audio o vibración los resultados obtenidos eran ligeramente superiores a los obtenidos al hacer uso de feedback visual.



**Fig. 4.** Dos usuarios durante una sesión colaborativa en red.

## 5 Conclusiones

Los prototipos de guante desarrollados ofrecen un retorno háptico intuitivo al usuario independiente para cada dedo y variable en intensidad. Existen numerosas tareas, como la manipulación de objetos sintéticos en un espacio 3D, en la que esta información es de gran ayuda y aporta un mayor grado de realismo e inmersión del usuario.

Como trabajo futuro, sería interesante adaptar el guante a la versión Bluetooth de Arduino, de tal manera que sea más usable y el usuario tenga mayor libertad de movimientos. También podría añadirse un acelerómetro para poder medir la posición relativa del guante o su inclinación sin necesidad de añadir dispositivos adicionales.

Otra tarea interesante es la realización de una evaluación en la que se investiguen diferentes parámetros de retorno, patrones de vibración, intensidad, o número y colocación de los actuadores.

## Referencias

1. Logitech Force 3D Pro, [http://www.logitech.com/index.cfm/gaming/pc\\_gaming/joysticks/devices/297&cl=es.es](http://www.logitech.com/index.cfm/gaming/pc_gaming/joysticks/devices/297&cl=es.es)
2. Logitech G25, [http://www.logitech.com/index.cfm/gaming/pc\\_gaming/wheels/devices/131&cl=es.es](http://www.logitech.com/index.cfm/gaming/pc_gaming/wheels/devices/131&cl=es.es)
3. Logitech Rumblepad 2, [http://www.logitech.com/index.cfm/gaming/pc\\_gaming/gamepads/devices/287&cl=es.es](http://www.logitech.com/index.cfm/gaming/pc_gaming/gamepads/devices/287&cl=es.es)
4. Immersion CyberGrasp, <http://www.vrlogic.com/html/immersion/cybergasp.html>
5. Sensable Phantom, <http://www.sensable.com/haptic-phantom-premium.htm>
6. Bouzit, M., G. Popescu, G. Burdea, and R. Boian, "The Rutgers Master II-ND force feedback glove," in Proc. 10th Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperator Systems, Orlando, FL, Mar. 2002, pp.
7. Tatsuya Koyama, Ikuo Yamano, Kenjiro Takemura, Takashi Maeno "Multi-Fingered Exoskeleton Haptic Device using Passive Force Feedback for Dexterous Teleoperation" Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems EPFL, Lausanne, Switzerland – Octubre 2002
8. Immersion Cyberglove. <http://www.vrlogic.com/html/immersion/cyberglove.html>
9. Open-source electronics prototyping platform Arduino, <http://www.arduino.cc/>
10. Martínez, D., Martínez, J., García, A. S., Molina, José P., González, P. (2008). "A Model of Interaction for CVEs Based on the Model of Human Communication", Journal of Universal Computer Science (J.UCS), Vol. 14, pp. 3071-3084
11. García, A. S., Molina, J. P., Martínez, D., and González, P. Enhancing collaborative manipulation through the use of feedback and awareness in CVEs. In Proceedings of the 7th ACM SIGGRAPH international Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in industry. 2008
12. Barrilleaux, J. 3D User Interfaces With Java 3D. Manning Publications Co., 2001
13. Roberts, D., et al. "Constructing a Gazebo: Supporting Teamwork in Tightly Coupled, Distributed Task in Virtual Reality." Presence: Teleoperators and Virtual Environments 12.6 (2003): 644-57
14. Hayward, V., Astley, O.R., Cruz-Hernandez, M., Grant, D. y Robles-De-La-Torre, G. (2004). "Haptic Interfaces and Devices", Sensor Review 24, pp. 16-29
15. Khosla, P., Shimoga, K. y Murray, A. (1995). "A Touch Reflection System for Interaction with Remote and Virtual Environments", IEEE/RSJ International Conf. On Intelligent Robots and Systems. [http://www.ri.cmu.edu/pubs/pub\\_1790.html](http://www.ri.cmu.edu/pubs/pub_1790.html)
16. LaViola, J.J., Keefe, D.F., Zeleznik, R.C. y Acevedo, D. (2004). "Case Studies in Building Custom Input Devices for Virtual Environment Interaction", VR 2004 Workshop: Beyond Glove and Wand Based Interaction.
17. Robles-De-La-Torre, G. (2006). "The importance of the Sense of Touch in Virtual and Real Environments", IEEE Multimedia, Vol. 13, pp. 24-30.
18. Swapp, D., Pawar, V., Loscos, C. (2006). "Interaction with co-located haptic feedback in virtual reality", Springer-Verlag.