

Capítulo I

Introducción a la Realidad Virtual

En este primer capítulo pretendemos ofrecer al lector una primera aproximación a la realidad virtual, una reducida historia y evolución de la misma, desde los primeros investigadores que realizaron avances en el tema hasta hoy en día, para posteriormente tratar algo más en profundidad los sistemas de realidad virtual y sus periféricos. Posteriormente en el siguiente capítulo se hará hincapié en la tecnología de dispositivos hápticos, que es sobre la que se centra este proyecto de fin de carrera.

Definición

La realidad virtual (*Virtual Reality*), es el nombre dado a un conjunto de técnicas y tecnologías basadas en ordenador que aproxima la visualización de conceptos, objetos y acciones en tres dimensiones de una forma interactiva, de forma que se asemeje, o no, a la realidad. Este último punto, la interactividad es la que permite al usuario moverse en el interior de un espacio tridimensional, creado por ordenador e interactuar (mover, ver, tocar.) los objetos que hay presentes en dicho espacio. Así definido, se establece una clara diferencia entre realidad virtual y los típicos programas de diseño 3D. En estos últimos solo se diseñan objetos tridimensionales, mientras que en un programa de diseño de mundos virtuales se hace un mayor hincapié es la

interacción con el usuario, sin descuidar la apariencia visual.

Definiciones diferentes para el termino realidad virtual han sido propuestas. Se puede ver como una tecnología que permite interaccionar a un usuario con “bases de datos tridimensionales”, o como una manera de “integrar el hombre con la información” [WARWICK93], o bien la definición mas militar como es “entornos sintéticos” [GUBERN66].

El término actual de realidad virtual se atribuye a Jaron Lanier, de VPL en 1986 en una conversación comentando el trabajo de Scott Fischer, ingeniero de la NASA. Scott se refería al campo como “entornos virtuales” (Virtual Environments), Myron Krueger lo llamó “realidad artificial” (Artificial Reality) en 1983 [KRUEGER83]. De la unión de los dos términos es como aparece el término actual de realidad virtual.

La definición exacta es difícil de alcanzar ya que hay múltiples propuestas según la finalidad última de cada investigador. Para nuestro proyecto, una definición apropiada puede ser la siguiente: amplio conjunto de tecnologías que buscan crear nuevos métodos de interacción entre el usuario y el ordenador, de forma lo más realista posible.

Aproximación histórica

Los primeros simuladores

Aunque se trata de una tecnología emergente en estos últimos años, y parece que lleva pocos años entre nosotros, la realidad virtual echa sus raíces en la década de los 50 e incluso antes.

Ya en 1930 aparecen los primeros simuladores de vuelo, que pueden verse como una primera aproximación a las simulaciones y con ello la realidad virtual. En época de entreguerras es importante la formación de los pilotos, pero usualmente los pilotos aprendían de forma práctica volando, no hacían ningún entrenamiento añadido. El problema aparecía con los nuevos modelos de aviones, poner un avión de un alto coste en manos de un piloto inexperto no era una idea muy buena ni para el piloto ni para el avión. De esta necesidad nació la idea de realizar un entrenamiento en tierra con un simulador de vuelo antes de los vuelos reales.

Este simulador provocó un cambio de mentalidad entre los investigadores y diseñadores, en

lugar de entrenar tareas en dispositivos reales, se crean dispositivos que simulan los reales para realizar esas prácticas. Este es uno de los objetivos que fundamenta la realidad virtual.

El simulador era muy rudimentario ya que consistía simplemente en una cabina de avión con todos los elementos que el avión real, pero solo algunos de ellos activaban alguna acción u opción. Carecía de muchos detalles y solo permitían simular ciertos aspectos como es el *pitch* y el *roll*. Comparado con los simuladores actuales esta desfasado tecnológicamente, pero en su época fue un avance tecnológico muy importante, y además, supuso la adopción de la realidad virtual como una tecnología militar, siendo hoy en día la industria armamentística la principal inversora en las investigaciones en realidad virtual.

La primera experiencia virtual

Si bien esos primeros simuladores de vuelo no se pueden considerar como aplicaciones de realidad virtual plenamente, fué a partir de ellos que se empezó a investigar en tecnologías que posteriormente llegarán a formar parte de la realidad virtual. Entre los científicos e ingenieros que fueron partícipes de la génesis de la realidad virtual, podemos considerar a Morton Heilig junto con Ivan Sutherland como los padres de la realidad virtual en la época de la posguerra mundial.

En 1956, Morton Heilig comenzó a diseñar la primera experiencia virtual multisensorial. Con apariencia de una máquina recreativa de videojuegos, el “*sensorama*” [HEILIG62] combinaba película, audio, vibración, viento y olor, todo diseñado para hacer sentir al usuario como si estuviera dentro de la película más que viendo la película. Fue patentado en 1962.

La máquina fué utilizada a lo largo de todo Estados Unidos y permitía al usuario por un cuarto de dólar experimentar uno de las cinco películas a todo color con sensaciones de movimiento, sonido, viento y olor. Las cinco experiencias contenían un viaje a través de Nueva York en motocicleta o bicicleta, una carrera con un coche en una playa, un viaje en helicóptero sobre un barrio de la ciudad y un baile de salón con una bailarina. Como no existían los ordenadores, todas estas películas eran grabadas y simplemente reproducidas para el cliente. Aún no había sentido de interacción entre el usuario y el entorno, el usuario solo era mero receptor de las sensaciones.



Ilustración 1-1: Sesorama de Norton Heilig

También patentó la idea para un dispositivo que se puede considerar como el primer HMD (head mounted display). Propuso la idea en 1957 y la patentó en 1960 [HEILIG60]. Usaba un gran campo de visión para ver fotogramas en 3D, e incluía sonido estéreo y un generador de olores. Más tarde propuso la idea de crear un teatro inmersivo [HEILIG69] que permita la proyección de imágenes tridimensionales sin necesitar que el usuario lleve gafas especiales o dispositivos. Los asistentes a la representación se sentaban en asientos que estaban conectados con la película, no sólo para permitir un sonido estéreo, sino también la sensación de movimiento. Los olores se crearían mediante la combinación de varios olores básicos en el sistema de aire acondicionado. Esta “experiencia sensorial” nunca llegó a ser construida, pero puso los cimientos de lo que en las décadas siguientes se ha intentado alcanzar.

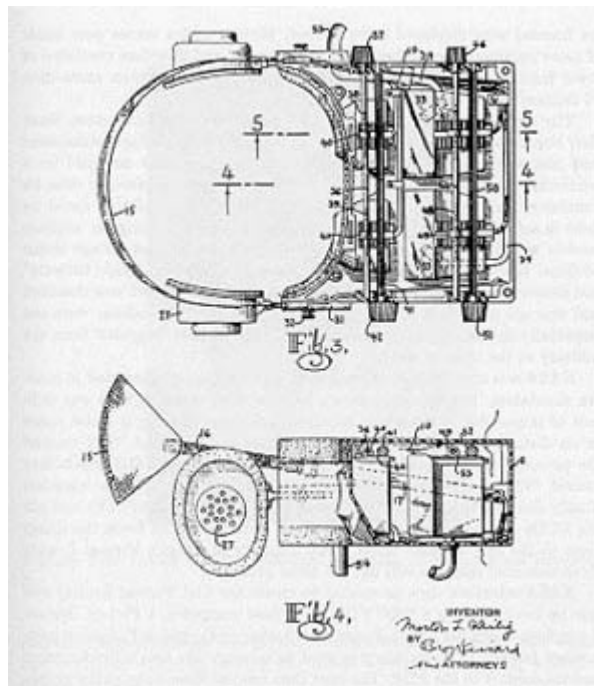


Ilustración 1-2: Extracto de la patente de Heilig “Stereoscopic Television Apparatus For Individual Use”, considerado el primer HMD

Los primeros HMD

De forma casi simultánea, Comeau y Bryan [CORNEAU61], empleados de Philco Corporation, construyeron el primer HMD en 1961 tal y como conocemos hoy en día. Su sistema llamado HeadSight disponía de una pantalla de rayos catódicos acoplada al casco y un sistema de posicionamiento magnético para poder determinar la orientación de la cabeza. La finalidad de su diseño era usarlo con un circuito cerrado de video controlado remotamente para poder ver situaciones peligrosas.

Estos dispositivos, si bien no eran totalmente de realidad virtual (aún no se incorporaron los ordenadores), sí contribuyeron a la creación de técnicas nuevas de visualización y de interacción con el usuario, además de popularizarlas entre la sociedad.

Mejoras de las técnicas de representación

Tal y como conocemos hoy en día la realidad virtual, surgió a partir de las investigaciones en gráficos tridimensionales interactivos y la simulación de vehículos en la década de las 60 y 70. El desarrollo de la disciplina se fraguó en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets) y Utah con Ivan Sutherland como protagonista.

Dos de los fundamentos necesarios para la realidad virtual fueron realizados en el MIT por Larry Roberts y Sutherland. Las contribuciones prácticas incluyeron la investigación y desarrollo que permiten al tubo de rayos catódicos (CRT) utilizarse como un dispositivo adecuado para la representación gráfica de imágenes creadas por ordenador y el desarrollo de interfaces interactivos que permitan al usuario interactuar con la imagen mostrada en el CRT

En esta misma época se realizaron grandes avances en la creación de imágenes tridimensionales por ordenador. Roberts [ROBERTS63] escribió en 1963 el primer algoritmo para eliminar superficies ocultas en una fotografía de perspectiva. También se crearon algoritmos rápidos para la eliminación de esas mismas superficies ocultas en imágenes tridimensionales. Otro de los grandes avances en el campo fue en 1971 cuando Henri Gouraud [GOURAUD71] desarrolló un algoritmo para la creación de sombras continuas. El efecto de esta técnica hacía que una superficie compuesta de polígonos pareciera ser continua. Esto es esencial para generar las imágenes que se utilizan dentro de un entorno de realidad virtual.

En 1965 Sutherland creó el Ultimate Display [SUTHERLAND65] [SUTHERLAND68]. Es una nueva versión de un HMD con la particularidad de tener una pantalla estereoscópica (una pantalla para cada ojo). También disponía de un sistema de posicionamiento mecánico que permitía saber la dirección de la cabeza del usuario.

Una de las primeras aplicaciones de este HMD fue en la Bell Helicopter Company. Adaptado para ser llevado por los pilotos, el HMD tenía como entrada una cámara infrarroja montada en la parte inferior del helicóptero. La cámara seguía el movimiento de la cabeza del piloto. De esta forma, el sistema ofrecía a los pilotos de helicópteros militares la capacidad de aterrizar de noche en un terreno difícil. Este experimento, aunque algo rudimentario para hoy en día, demostró que una persona podría verse totalmente inmersa en un entorno remoto simplemente a través de una cámara.

Posteriormente, ya en Harvard, Sutherland y uno de sus estudiantes, Robert Sproull [SPROULL73], partiendo de la idea de “realidad remota” experimentada con éxito en el MIT, replazaron la cámara por imágenes creadas por ordenador. La primera aplicación de realidad virtual propiamente dicha fue una habitación cuadrada con gráficos vectoriales con las direcciones cardinales en las paredes. El usuario podía entrar a la habitación y moverse a través de la habitación mirando todo a su alrededor. En esa época también se empezó a utilizar la realidad aumentada.

Simultáneamente en Ohio se trabajaba en como mejorar la forma en que se relacionaban los pilotos con maquinas complejas. El objetivo era simplificar el interfaz que presentaban las cabinas de pilotaje a los pilotos de forma que no fuera necesario más que un piloto para pilotar correctamente el avión. La solución que se elaboró fue una cabina de pilotaje que proyectara información directamente al piloto, de manera que pueda volar valiéndose solo de un horizonte simulado [FURNESS86]. Esto hoy en día es crítica para los pilotos de cazas, ya que permite volar de noche sin utilizar ningún foco de luz, donde la realidad virtual reproduce lo que el piloto no puede ver con sus ojos. El desarrollo culminó en 1981 cuando se proyectó la cabina virtual por primera vez, con un ángulo de visión de 120° para el piloto.

No sería hasta 1984 cuando en la NASA se construyó el primer HMD de bajo coste llamado VIVED (Virtual Visual Environment Display System), desarrollado por un grupo de investigación liderado por Michael McGreevy [MCGREEVY90]. Se utilizó junto con una computadora PDP-11/40 y dos monitores de 19", videocámaras, circuito cerrado de video, etc. Se realizaron demostraciones para la industria y la universidad y se diseñaron aplicaciones que incluían la exploración planetaria, simulación de dinámica de fluidos, etc.

El proyecto Grope

Casi de forma simultánea que Sutherland creaba su HMD, un grupo de investigación en la universidad de North Carolina, empezó en 1967 el proyecto GROPE [BATTER71], el primer dispositivo que se puede considerar como totalmente háptico, cuya finalidad era desarrollar un sistema tanto háptico como visual para simular los campos de fuerzas entre moléculas proteínicas para poder realizar diseños de nuevas moléculas, fármacos, etc. Para su tiempo era un proyecto bastante avanzado, que no podía ser realizado de forma rápida ya que aún no estaban disponibles las tecnologías necesarias para su realización. Por ello se dividió en etapas: primero un sistema bidimensional, luego un sistema tridimensional, posteriormente un sistema con seis grados de libertad y por último la integración de las fuerzas intermoleculares (GROPE I-III). Actualmente el proyecto se encuentra finalizado [BROOKS90] y el sistema es utilizado por numerosos grupos de investigación química para el desarrollo de nuevas moléculas.

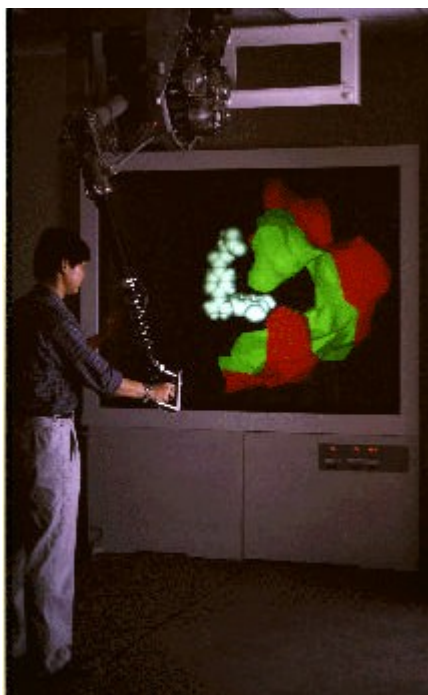


Ilustración 1-3: Utilización de GROPE III para el diseño de una molécula receptora para una droga determinada

Guantes de realidad virtual

No sólo se realizaban avances en los dispositivos de presentación gráfica. Ya desde principios de los 80 aparecen los primeros guantes con sensores de posición. El primero de ellos fué el Seyre Glove, mejorado rápidamente por Gary J. Grimes, creando el “Digital Data Entry Glove (Guante de entrada de datos digitales) [GRIMES83]. Usaba sensores luminosos y fuentes de luz acoplados a trozos de fibra óptica. Cuando los dedos eran doblados la cantidad de luz que llegaba a los sensores variaba de manera que midiendo la variación de la luz se podía obtener de forma indirecta el grado de flexión de los dedos. Este primer modelo de guante permitía un control efectivo a un bajo coste.

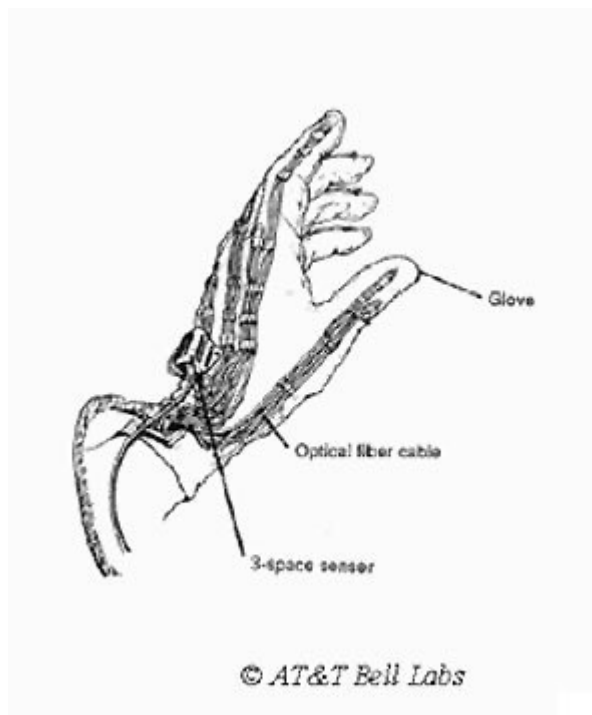


Ilustración 1-4: Esquema del “Digital Data Entry Glove” de Gary J. Grimes

Posteriormente fueron surgiendo mejoras, incluyendo sensores táctiles en la punta de los dedos, sensores de orientación y también de posición. El primer guante totalmente comercial fue el VPL DataGlove de Thomas Zimmerman [ZIMMERMAM87]. La idea básica es la misma, solo que además facilitó la conexión con ordenadores de la época como era el Commodore 64. El ordenador medía los ángulos de cada dedo usando los dispositivos de fibra óptica y era capaz de representar por pantalla una imagen tridimensional de la mano, siguiendo los movimientos e incluso interactuando de forma primaria con algunos objetos. El principal problema de estos guantes es que requerían ser recalibrados para cada usuario, ya que la medida que se realizaba no era absoluta, sino relativa, y también incluso para el mismo usuario podía cambiar a lo largo de la sesión.

Toda esta evolución histórica hasta nuestros días de la realidad virtual no solo se debe al impulso de la industria militar, sino también de la industria del entretenimiento, que aunque llega un poco más tarde, es otro de los pilares de la realidad virtual, utilizándose estas técnicas constantemente en el cine y los videojuegos.

Sistemas de realidad virtual

Un sistema de realidad virtual esta formado por un sistema simulador, que recibe, trata y

genera información y una serie de dispositivos de entrada y salida por medio de los que el sistema simulador se comunica con el usuario.

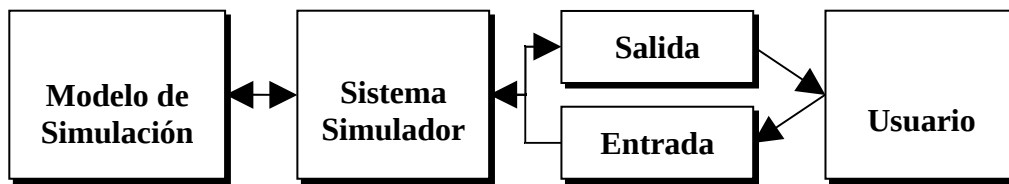


Ilustración 1-5: Esquema de un sistema de Realidad Virtual

En el esquema extraído de [KRUEGER83] vemos como se parte de un modelo de simulación, donde se encuentran las características del entorno virtual a simular. En ese modelo matemático hay características físicas, eventos programables, cálculo de respuestas, etc. Dos características de este modelo son interesantes para la programación: la interactividad y la fidelidad, necesaria esta última sólo si queremos reproducir la realidad.

Ambas son características indispensables para una simulación virtual, ya que el objetivo es hacer sentir al usuario como si el sistema simulado existiera realmente. Esto implica que el sistema pueda responder dinámicamente a las acciones del usuario y que el objetivo se simule fielmente, de forma que para el usuario, se parezca lo más posible al hecho real. Como ambos objetivos no se pueden alcanzar simultáneamente (en ingeniería suele ocurrir con frecuencia), se debe llegar a un compromiso entre los dos, ya que para que el comportamiento sea totalmente fiel a la realidad, el modelo matemático ha de ser muy complejo, y conforme aumenta la complejidad del sistema, el tiempo de computación aumenta, con la consecuente pérdida de interactividad.

Esto pasa al sistema simulador que es un motor de cálculo que se encarga de recrear el entorno virtual definido en el modelo. La forma más simple es un motor gráfico encargado de generar el aspecto visual del sistema. En el caso de que estuvieran involucrados más sentidos aparte de la vista (tacto, sonoro, etc.), también está encargado de generarlos. Es importante este sistema para la verosimilitud del sistema virtual respecto al real. Este simulador se encarga de generar los comandos a los dispositivos de salida de forma que estimulen de forma correcta al usuario. También recibe los datos de los sensores de entrada, que informan sobre la actividad del usuario dentro del entorno virtual.

Los dispositivos de entrada-salida son los interfaces por medio de los cuales la información es presentada al usuario y por medio de los cuales este interactúa con el entorno virtual. Dispositivos

básicos de entrada y salida son el teclado, joystick, ratón, monitor y más avanzados son los HMD, los guantes de datos, los rastreadores, etc. Los hay que son sólo de entrada o sólo de salida y los hay mixtos como suelen ser los dispositivos hápticos como Phantom, cuyas características y funcionamiento se tratará con detalle en próximos capítulos.

De acuerdo con esta definición de sistemas podemos distinguir distintos tipos de sistemas de realidad virtual, dependiendo del grado y forma de interacción entre el usuario y la máquina.

Sistemas Inmersivos

Son todos aquellos sistemas donde el usuario se siente dentro del mundo virtual que se está simulando. Este tipo de sistemas utiliza diferentes dispositivos llamados accesorios como pueden ser los guantes de datos, trajes especiales, cascos, etc. El objetivo de tantos sistemas es dar el mayor grado de libertad al usuario dentro del mundo virtual de manera que lo hagan sentirse totalmente inmerso en él. Son los sistemas adecuados para aplicaciones de entrenamiento o capacitación. Como contra tienen que la inmersión total es muy difícil de alcanzar debido a la multitud de sentidos involucrados y la gran fiabilidad que ha de tener la aplicación para con cada uno de ellos.

Ejemplos de sistemas inmersivos son los siguientes:

Head Mounted Display (HMD)

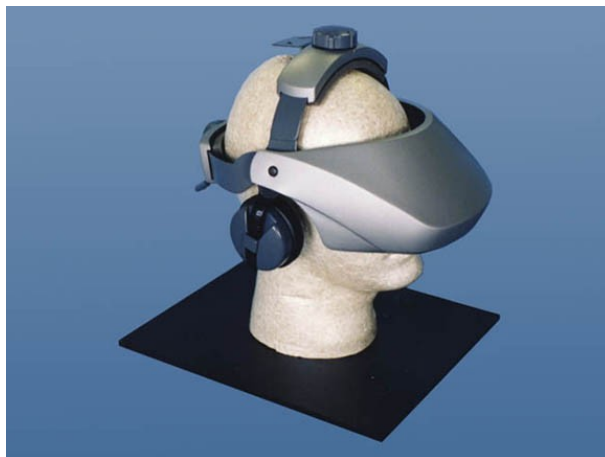


Ilustración 1-6: HMD comercial de Fifth Dimension Technologies

El fundamento de estos sistemas se ha explicado anteriormente en el apartado histórico de la realidad virtual. Hoy en día los HMD han evolucionado muchísimo, pero aún tienen bastantes problemas:

El campo de visión suele ser aún muy pobre. Los campos de visión usuales son de 60°, si bien hay sistemas con campos de visión de 120° o más. Interesa que el campo de visión sea lo más grande posible para que la sensación de inmersión sea lo mayor posible. Si es muy pequeño da la sensación de tener un pequeño monitor 3D cerca de la cara. El problema al aumentar el campo de visión es tanto el coste de los dispositivos como la disminución de resolución.

La resolución de los displays suele ser mala con unas versiones típicas de 640x480, resolución muy baja para tener una experiencia fiel a la realidad. Lo recomendable son resoluciones mínimas de 1280x1204.

Hay inconvenientes físicos como su peso, la incomodidad, la no adaptación a todos los usuarios, etc.

Binocular Omni Orientation Monitor (BOOM)

Un monitor omnidireccional binocular es un dispositivo con un funcionamiento análogo a los HMD. El monitor es montado sobre un brazo mecánico articulado con sensores de posicionamiento localizados en las articulaciones. El monitor está estabilizado con un contrapeso de forma que no cueste esfuerzo moverlo. Para ver el entorno virtual, el usuario debe sostener el monitor y posicionarse enfrente de este, entonces el ordenador generará una escena de acuerdo a la posición y orientación de las articulaciones.

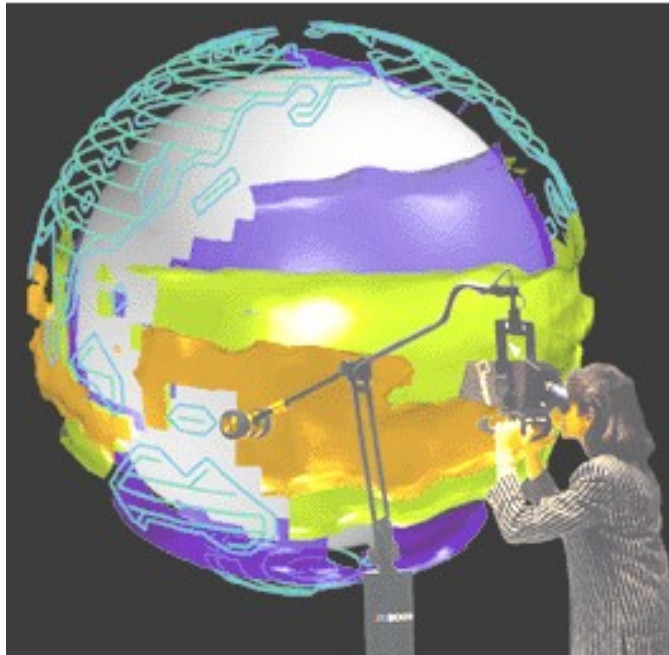


Ilustración 1-7: Utilización de un BOOM para la visualización tridimensional de datos proyectados sobre la superficie terrestre.

Poseen menos flexibilidad y libertad para el usuario que los HMD, pero debido a que al usuario no tiene que soportar ningún peso, permite que el visor pueda integrar un mayor número de sistemas que generen imágenes de mucha mayor calidad. Se permiten entonces resoluciones y campos de visión muy buenos además de un mejor seguimiento de los movimientos del usuario.

Automatic Virtual Environment (CAVE)

Son estructuras cúbicas en forma de habitación donde las imágenes son proyectadas sobre las diferentes caras para crear la sensación de inmersión. Las imágenes proyectadas dependen de la posición y orientación del usuario del CAVE. La idea original es de la Universidad de Illinois [CRUZ-NEIRA93] y consistía en tres paredes y un suelo.

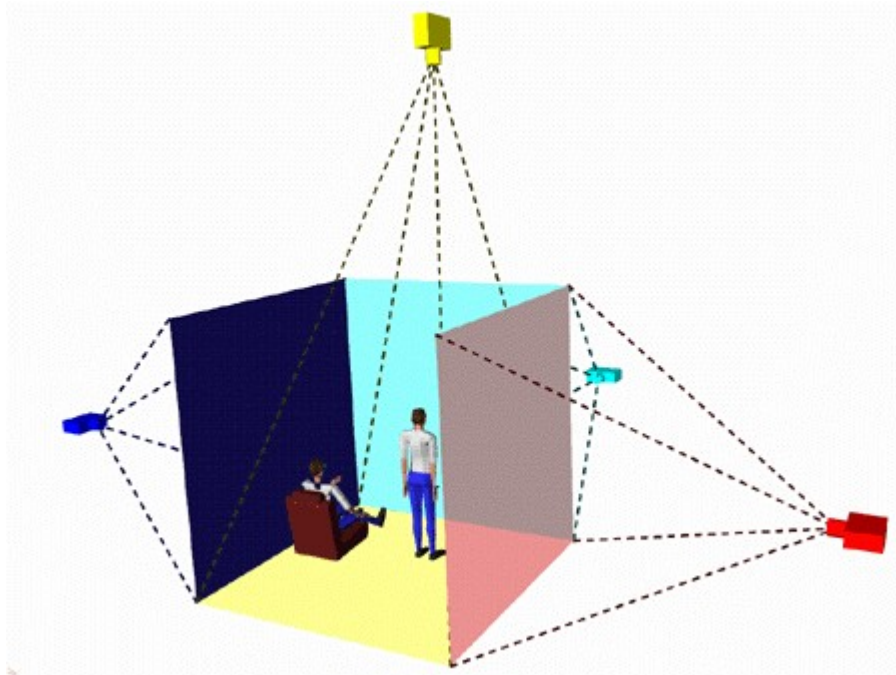


Ilustración 1-8: Esquema de funcionamiento de un sistema CAVE

Son los primeros dispositivos en implementar experiencias de un alto grado de inmersión en el entorno del usuario. Permite la utilización por parte de varios usuarios con lo que es ideal para hacer presentaciones en cualquier tipo de sector, si bien con varios usuarios pierde la mayor parte de la inmersión, ya que solo es posible realizar la proyección según el punto de vista de un único usuario, no varios.

Los más simples sólo disponen de dos paredes y el suelo. Con esa configuración tan básica es posible un buen grado de inmersión para el usuario y facilidad de seguimiento de la simulación. Los más complejos disponen de cinco o seis caras activas. Actualmente es un esquema muy reproducido a nivel mundial y muchas organizaciones, empresas y universidades disponen de su propio modelo de CAVE.

Sistemas semi-inmersivos

Son sistemas donde el usuario no se encuentra totalmente inmerso en el mundo virtual que se está simulando, pero sí está inmerso en un determinado grado. Como ya se comentó anteriormente la inmersión total es algo muy difícil de alcanzar. Para facilitar los cálculos y los periféricos, pueden ser útiles sistemas que, aún teniendo limitada el grado de inmersión, hagan correctamente su labor.

Ejemplos de estos sistemas pueden ser los inmersivos de proyección o los sistemas de

escritorio. Los sistemas inmersivos de proyección se caracterizan por ser pantallas en que ocupen un amplio rango de visión del observador. El usuario utiliza lentes y opcionalmente algún dispositivo de seguimiento de movimientos de la cabeza de manera que al moverse el usuario las imágenes a proyectar son calculadas por el motor de realidad virtual para cada pared y el suelo. Los de escritorio consisten en algún periférico que permita al usuario sentirse inmerso en uno de los sentidos dentro del mundo virtual, a costa de disminuir el grado de inmersión de otros sentidos. Un ejemplo es el uso de Phantom con una pantalla normal de ordenador. El sentido del tacto está plenamente inmerso, mientras que el sentido de la vista tiene un grado muy bajo de inmersión, ya que solamente ve la respuesta de los movimientos realizados de una forma muy limitada. Estos sistemas permiten la interacción rápida del usuario con el mundo virtual y con el mundo real.

Virtual Model Display (VMD)

Los visores de modelos virtuales son pantallas de sobremesa con unas dimensiones mayores que las normales (2 o 3 metros de ancho y 1.5 y 3 metros de alto), en las cuales se proyectan imágenes estereoscópicas. La tecnología usada es similar a la usada en los sistemas CAVE.

Ejemplos son:

Immersadesk

Es un inmenso monitor que permite a varias personas visualizar la misma simulación de forma simultánea. Posee un diámetro bastante grande (2 metros) y una buena resolución, permitiendo una buena visibilidad y calidad de imagen a todos los participantes.



Ilustración 1-9: Ejemplo de utilización de un Immersadesk para la presentación conjunta de datos

Para que las simulaciones sean más reales, se usa la visión estereoscópica y se permite el uso de diferentes dispositivos de interacción con el mundo virtual como son guantes de datos, sensores de seguimiento, etc.

Holobench

Es otro dispositivo de tipo VMD creado por TAN Projections Technologies. Es un paso intermedio entre CAVE e Immersadesk ya que ofrece al usuario experiencias más inmersivas.

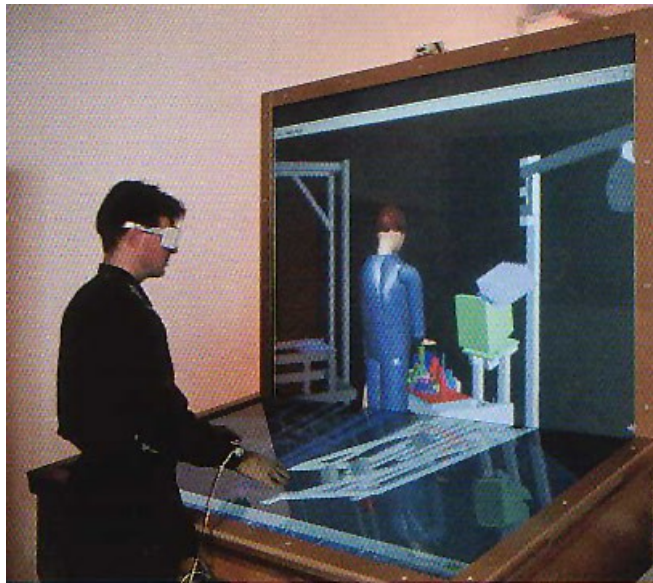


Ilustración 1-10: Un usuario utilizando un HoloBench de TAN Projections Technologies

Spatially Immersive Displays – SID

Los sistemas de visores inmersivos espacialmente extienden la idea de los VMD ya que rodean al usuario con múltiples pantallas de visión sobre las que se proyectan los diferentes ángulos de visión del usuario dentro del mundo virtual. Así se consigue un mayor grado de inmersión, ya que el usuario no nota la presencia de las pantallas individuales, solo distingue una única pantalla.

Estos sistemas solucionan problemas que tienen los HMD como es el recalcado de la escena del mundo virtual cuando el usuario se mueve de forma local en un entorno cercano. Por su propia naturaleza, los SID precálculan y proyectan las imágenes en las diferentes direcciones, con lo que el entorno virtual rodea totalmente al usuario y un movimiento de cabeza de este se corresponde con uno de la vida real. Otra ventaja frente a otros sistemas es que no hace falta que el usuario este equipado específicamente para la aplicación, con unas simples gafas estereoscópicas basta.

La principal desventaja es su tamaño y por consiguiente su coste. Es un sistema muy voluminoso ya que debe permitir alojar al menos un usuario en su interior. Además necesita un exhaustivo control de los movimientos del usuario dentro del entorno, para ello utiliza muchas cámaras y sistemas complejos de separación de imágenes.

Ejemplos de dispositivos SID son IMAX y DOMES.

IMAX

La idea fue creada por Silicon Graphics y se trata de una pantalla curvada donde se proyectan imágenes de manera que la salida sea una única imagen curvada hacia el usuario. Se pretenden utilizar pantallas lo suficientemente grandes para llenar todo el campo de visión de los usuarios. La inmersión no es elevada ya que no hay ningún sistema de seguimiento para los usuarios.



Ilustración 1-11: Proyección en IMAX del cortometraje “Hubble: Galaxias a través del tiempo y del espacio”, donde se proyectaban imágenes obtenidas por el telescopio espacial Hubble.

Actualmente existen muchos cines y teatros (aquí en Málaga una conocida sala de cines dispone de uno) que utilizan esta tecnología para proyectar películas

DOMES

Son instalaciones similares a un CAVE, con la característica que sobre la cabeza de los usuarios hay una pantalla curva, al estilo de los planetarios. Se usan en grandes teatros (Omnimax) y en demostraciones militares.

Debido a la geometría se producen imágenes de mayor calidad que las conseguidas en las construcciones cúbicas, a costa de una mayor complejidad en el cálculo de las proyecciones sobre la pantalla curva. El simple hecho de realizar el seguimiento de una persona, en una cúpula es algo tremendamente complejo, sin embargo, se producen entornos espectaculares y muy inmersivos.

Sistemas no inmersivos

Estos sistemas tienen dispositivos de entrada-salida muy básicos. La salida suele ser un monitor donde se representa el mundo virtual y la entrada suele ser por medio del ratón, teclado o joystick. Son sistemas muy simples y son adecuados para las visualizaciones científicas y simuladores de bajo coste donde interese más la secuencia de acciones que su correcta aplicación.

Realidad Aumentada

En los sistemas de realidad aumentada, los usuarios tienen acceso a una combinación de realidad virtual y mundo real, mediante la superposición de información. La idea es, partiendo del mundo real y de una serie de parámetros, programados anteriormente o bien obtenidos a partir del análisis dinámico del mundo real, añadir elementos visuales que se superpongan sobre el mundo real. Para al usuario todo parece una única cosa, sin llegar a distinguir entre lo real y lo virtual.

Interfaces de los sistemas de Realidad Virtual.

A continuación vamos a ver los diferentes interfaces que utilizan los sistemas de realidad virtual para alcanzar un grado aceptable de inmersión. Para ello nos vamos a basar en la discusión sobre el tema realizada por Christine Youngblut para el Institute For Defense Analyses (IDA) [YOUNGBOUT96]

Visión estereoscópica

De todos los sentidos que tiene el ser humano, la visión es uno de los que se absorbe mayor cantidad información del mundo exterior. Es más, la mayoría de veces ocurre que si la información recibida por varios canales sensoriales es contradictoria, y una de esos canales es el visual, la información recibida visualmente prevalece sobre las demás. Por eso es necesario conocer en profundidad todo el proceso de visión tanto a nivel morfológico como psicológico para así poder presentar al usuario la información de la forma más parecida posible a que si fuera real.

De forma natural, el mecanismo de visión humano es estéreo, es decir, capaz de apreciar los diferentes volúmenes. Su principal característica es la sensación de profundidad, por la cual se pueden ver imágenes tridimensionales. Esto se consigue mediante el fenómeno de la estereopsis, si bien hay otros efectos y factores que aumentan esta percepción como son luces, sombras,

perspectiva, paralaje, etc., con los cuales es posible la sensación de profundidad incluso con un sólo ojo y que suelen ser los que realmente consiguen la inmersión del usuario, ya que si bien la profundidad es fácilmente reproducible, el paralaje, sombras, perspectivas, no.

Fisiológicamente los ojos están separados aproximadamente unos 65mm, aunque puede variar desde 45 a 75mm. Esta distancia se llama distancia intrapupilar. Esta pequeña distancia es suficiente para que cuando nos fijemos en un objeto las imágenes tomadas por cada uno de los ojos sea distinta. Esa diferencia es básicamente un pequeño desplazamiento horizontal llamado paralaje, que se elimina de forma inconsciente en el cerebro, donde se procesan las diferencias entre las dos imágenes recibidas y se interpretan de forma que percibimos las tres dimensiones.

Para conseguir emular este proceso en lugar de con imágenes visuales reales con imágenes visuales generadas por ordenador, es necesario que el ordenador calcule todos los factores relacionados con la profundidad de cada uno de los objetos y con todos ellos, calcule el paralaje, presentando a cada ojo la imagen adecuada.

A continuación vamos a ver fenómenos físicos por medio de los cuales podemos conseguir la visión estereoscópica

Gafas para Anaglifos

Es el método más rudimentario para la implementación de visión estereoscópica. Se realiza mediante gafas que utilicen filtros de colores complementarios para cada ojo, rojo-azul, rojo-verde, ámbar-azul. Las imágenes estáticas (anaglifo o dinámicas se presentan en un color diferente para cada ojo, de forma que el ojo que tiene el filtro azul ve el resto de colores salvo el azul. Así se consigue discriminar que imagen se proyecta en cada ojo.

Su principal ventaja es su bajo coste (se puede construir de forma casera), lo que permite ser utilizada en casi cualquier medio, pero presenta problemas como son la alteración de colores, pérdida de luminosidad, cansancio visual, etc.

Hay otros sistemas similares como SpaceSpex y ColorCode 3-D, que se suelen utilizar en películas de proyección en IMAX o algunos DVD, pero adolecen del problema del cansancio visual.

Gafas Polarizadas

En estas gafas en lugar de discriminar la imagen a mostrar a cada ojo por medio del color, se utiliza la luz polarizada. Para ello son necesarios dos proyectores que se encarguen de generar las imágenes en perspectiva, pero cada proyector polarizado de forma diferente. Las gafas en lugar de tener filtros de color tienen filtros polarizadores de forma que solo dejan pasar la imagen correspondiente a cada ojo.

Este sistema tiene la ventaja de que no altera los colores como ocurría en el caso anterior, pero sí que hay una pérdida de luminosidad (siempre que se usan filtros, sean del tipo que sean, hay pérdida). Se utiliza en proyecciones de películas 3D y en monitores de pantalla de polarización alternativa. Es un sistema relativamente económico para una calidad aceptable.

Gafas estereoscópicas activas

Este sistema es similar al anterior con la diferencia que las imágenes para los dos ojos no se proyectan simultáneamente, sino de manera secuencial, primero la imagen correspondiente a un ojo y luego la del otro. Para la discriminación se utilizan unas gafas dotadas con obturadores de cristal líquido (Liquid Cristal Shutter Glasses), de forma que cada ojo ve solamente su imagen correspondiente.

Para que esta sincronización sea utilizada correctamente es necesario un controlador que gestione la obturación de las gafas con la secuencia de proyección por parte del monitor, además de que el monitor tenga una muy alta frecuencia, al menos el doble de lo normal (120 o 140 Hz).



Ilustración 1-12: Ejemplos de gafas para la visión estereoscópica. De izquierda a derecha, gafas para an-glifos, gafas polarizadas y gafas estereoscópicas activas.

Monitores auto estéreos

Para estos monitores no se necesitan gafas especiales. Disponen de microlentes dispuestas

sobre la pantalla que generan una desviación a partir de dos o más imágenes. De esta forma se generan zonas estereoscópicas frente a la pantalla y en otras donde el estéreo está invertido.

Chromadepth

Este sistema fue diseñado por ChromaTek Inc. y se basa en la desviación que producen los diferentes colores del espectro. Ley de Snell define el ángulo de refracción cuando la luz cambia de medio, como las imágenes están compuestas por diferentes colores, cada color tiene un ángulo de refracción diferente, siendo el rojo el que mayor ángulo tiene y el azul el que menos.

En este sistema la información de profundidad se codifica por medio de colores. Las gafas disponen de cristales transparentes con micro prismas que separan la luz en los diferentes colores. Cuando la imagen (CyberHologram) se observa con las gafas HoloPlay (para imágenes de ordenador) o C3D (para imágenes impresas), la imagen 2D se convierte en tridimensional.

La principal desventaja es la pérdida de los colores, se pierde la información cromática, pero a cambio de ello, las imágenes también se pueden ver en 2D, algo que no ocurría con las gafas anáglifas.

Sistemas de posicionamiento

Estos sistemas son los encargados de transmitir al ordenador la posición y orientación del usuario para así poder calcular la nueva perspectiva del mundo a mostrar al usuario (en caso de visores), representar nuevas fuerzas (caso de retroalimentación de fuerza) o generar sonidos apropiados a la nueva situación.

En sistemas de realidad virtual inmersivos en los que en la visualización se utiliza un HMD es necesaria la utilización de dispositivos de orientación que se colocan encima de los cascos y es capaz de detectar la dirección hacia la que está mirando el usuario para que la estación gráfica represente el mundo virtual desde el nuevo punto de vista. En estos sistemas es menos interesante determinar el posicionamiento espacial porque el grado de libertad de movimientos del usuario está muy limitado. Es más utilizado el posicionamiento en sistemas con mayor libertad de movimiento como las CAVEs. En estos entornos, donde los usuarios tienen mucha más movilidad, es indispensable poder registrar la localización espacial para mostrar en las pantallas las imágenes adecuadas con su posición y orientación.

En los sistemas de retroalimentación de fuerza se utilizan dispositivos localizadores mecánicos de forma que el ordenador conoce en todo momento la posición del individuo. Gracias a éstos son capaces de generar fuerzas en el momento que detectan colisiones en el entorno virtual.

Igual que hicimos con la visión estereoscópica, a continuación vamos a comentar diversas técnicas para medir la posición y orientación:

Rastreadores electromagnéticos

Este tipo de rastreadores fue el primero que se utilizó y aún sigue siendo el más utilizado en los sistemas de realidad virtual [RAAB79]. Consiste en un transmisor de campo electromagnético, un receptor y una unidad de procesamiento. El transmisor está formado por tres bobinas que actúan como antenas, generando campos perpendiculares que son recibidos por otras tres bobinas similares que se encuentran en el receptor. Como se conoce la forma de onda y la potencia de la señal emitida, se compara con las señales recibidas para determinar la distancia al foco emisor y la orientación.

Según la forma de generar en campo mediante las bobinas se distinguen dos versiones: una utiliza corriente alterna (AC) y la otra corriente continua (DC). En la versión de corriente alterna el transmisor genera tres campos magnéticos con polarización lineal en cada una de las direcciones del espacio. Las tres antenas que están en el receptor obtiene el campo magnético inducido, obteniendo un total de nueve corrientes inducidas (tres por cada onda transmitida). Esta información se pasa al ordenador encargado de la simulación por medio de un bus típico de instrumentación o algún puerto estándar.

En el caso de los rastreadores de continua, lo que se transmiten son pulsos de corriente, de manera que se reducen las pérdidas que tiene un campo variable cuando tiene cerca objetos metálicos. Antes de realizar las mediciones normales, ha de procederse al calibrado del aparato, donde se miden las componentes del campo magnético terrestre en las antenas cuando no están alimentadas. Estas medidas se restarán a las nueve medidas realizadas en el sistema AC.

Esta tecnología tiene la principal ventaja de contar con sensores con seis grados de libertad, sin tener que recurrir a pesados receptores que puedan entorpecer el movimiento del usuario. Además, el campo magnético penetra en objetos no metálicos que se puedan encontrar entre emisor y receptor y se obtiene una muy alta resolución ($>1\text{mm}$, $0,1^\circ$). Entre las desventajas está que los

receptores necesitan de la forma exacta de la onda electromagnética emitida, además de pasar datos en tiempo real al ordenador, con lo que es necesario que la conexión sea alámbrica, restando movilidad a los usuarios, obteniendo un campo de trabajo muy limitado (poco más de un metro de radio), aunque la principal desventaja es la sensibilidad de la medida a distorsiones provocadas por la proximidad de objetos metálicos al sistema o la existencia de dispositivos electromagnéticos en la zona de medición.

Las compañías más importantes en la fabricación de estos sistemas son Polhemus Inc y Ascension Corporation. Polhemus dispone de modelos que permiten rangos de operación de hasta 9m. Ascension Technology es el fabricante del modelo Flock of Birds, que permite utilizar simultáneamente el uso de varios receptores de manera que no solo se puede localizar la posición del usuario, sino también si está agachado, la posición de sus manos, etc.



Ilustración 1-13: Equipo básico del rastreador comercial Flock of Birds de Ascension Technologies.

Rastreadores de ultrasonidos

Otra tecnología para los rastreadores es la de ultrasonidos. El funcionamiento básico es el mismo, se dispone de un transmisor, de un receptor y de una unidad lógica donde se interpretan los datos que luego se envían al ordenador encargado de la simulación.

En lugar de utilizar ondas electromagnéticas, se usan ondas ultrasónicas emitidas por un altavoz y recibidas por micrófonos, para obtener las medidas sobre las cuales realizar el cálculo de las distancias.

El cálculo de la distancia se realiza midiendo el tiempo transcurrido entre la emisión del ultrasonido y su recepción. Para determinar la posición del usuario se utiliza la técnica de

triangulación usando tres micrófonos.

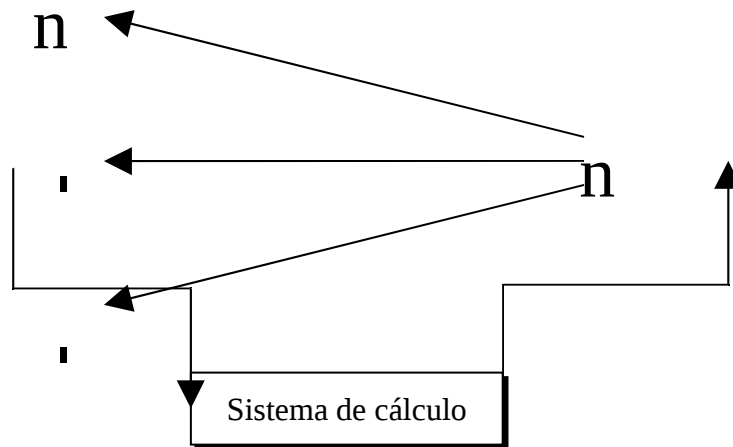


Ilustración 1-14: Esquema de funcionamiento de un rastreador de ultrasonidos

Actualmente se implementan dispositivos de ultrasonidos con 3, 4, 5 o 6 grados de libertad. Tienen la principal ventaja de usar receptores pequeños y ligeros (micrófonos), y pueden lograr una gran resolución a un bajo coste. El principal problema es que debe existir visibilidad directa entre receptor y transmisor, lo que hace que el área de trabajo del usuario sea reducida y libre de obstáculos. Además, por la propia naturaleza del dispositivo, se producen interferencias en la medida si existe aire, si se produce eco, fuentes externas de ultrasonido, etc.

Rastreadores ópticos

Este tipo de rastreadores hacen uso de cámaras para la detección de la posición y orientación de emisores de luz. Mediante el tratamiento posterior de las imágenes recibidas se puede determinar la localización espacial de los emisores [LEIRE04]. Usando varios transmisores se puede aumentar los grados de libertad.

La detección de la posición de los emisores se suele realizar mediante una cámara estéreo (permite captar dos imágenes en lugar de una sola), que permite a posteriori un análisis de la disparidad de las imágenes, por medio de la cual determinar se puede determinar la localización tridimensional del emisor, u por lo tanto del objeto. Los emisores pueden ser pasivos si simplemente reflejan luz de algún color determinado o luz infrarroja o activos. El principal problema es la necesidad de visión directa entre transmisor y receptor y las interferencias que pueden ocasionar otros dispositivos reflectantes o fuentes luminosas.

Una de las mayores aplicaciones es para la animación y la industria cinematográfica, donde se suelen utilizar para renderizar movimientos humanos detalle por detalle, pasarlos a una estación gráfica y utilizar esos movimientos para los movimientos de objetos o actores tridimensionales creados por ordenador.

Rastreadores Mecánicos

Este tipo de rastreadores está formado por un brazo de robot y consiste de una estructura articulada con eslabones rígidas, una base de soporte y un “*órgano*” terminal activo, que está sujetado a la parte del cuerpo que está siendo rastreada, normalmente suele ser la mano o la cabeza (el problema de posicionar simultáneamente las manos y la cabeza es algo aún difícil). Este tipo de localizadores son rápidos, exactos y no susceptibles a interferencias. El problema es que tiende a obstaculizar el movimiento del usuario, y que tiene un área de trabajo restringida.

Rastreadores Inerciales

Este tipo de dispositivos permiten un área de trabajo mucho más grande, y que no hay unión entre el localizador y el ordenador encargado de los cálculos. Se basan en el principio de conservación del momento angular. Los giroscopios en miniatura pueden ser sujetados a los HMDs, pero tienden a descalibrarse y ser muy sensitivos a la vibración. Con este tipo de rastreadores no se puede realizar la localización espacial, es necesario algún otro tipo de dispositivo, como por ejemplo los acelerómetros, pero también suelen tender a descalibrarse y su salida se distorsiona por el campo gravitatorio terrestre.

Dispositivos de Interacción

Los dispositivos estándar de interacción entre el hombre (operador) y la máquina (ordenador), son actualmente los teclados y el ratón. Si bien para muchas de las aplicaciones es suficiente con esos dispositivos, en el caso de la realidad virtual, y sobre todo en ambientes más inmersivos, su realismo es muy pobre. Es cuando aparecen los dispositivos de interacción inmersivos como son los guantes, ratones tridimensionales, biosensores, etc.

A continuación comentamos algunos de esos dispositivos brevemente,

Guantes

Son dispositivos que reconocen la flexión de los dedos de la mano y que permiten una interacción con el ordenador de una forma mucho más intuitiva. Depende de su configuración pueden detectar incluso movimientos relativos entre los dedos de la mano [STURMAN94]. Normalmente para aumentar y completar su funcionalidad suele incorporarse una retroalimentación visual (dentro del mismo mundo se ve una mano virtual que sigue los movimientos de la real) y dispositivos de posicionamiento que acoplados a la muñeca o a lo largo de todo el brazo, son capaces de detectar los movimientos de la mano real al mundo virtual.

El DataGlove (Guante de datos), es un guante de neopreno, desarrollado por VPL Research, con dos lazos de fibras ópticas en cada dedo. Cada lazo esta dedicado exclusivamente a un nudillo. En un extremo de un lazo está un LED y en el otro un fotosensor. Esto suele ser un problema si un usuario tiene manos más grandes o pequeñas de lo normal. Cada cable de fibra óptica tiene pequeños cortes a lo largo de su longitud. Cuando el usuario dobla un dedo, la luz escapa del cable de fibra óptica a través de estos cortes, de forma que no toda la luz emitida alcanza el receptor. Esa cantidad de luz que lo alcanza es una medida indirecta de cuando ha sido doblado el dedo. Uno de los problemas es que por su propia naturaleza, el Dataglove ha de ser calibrado individualmente para cada usuario.

Otro modelo, el PowerGlove utiliza el mismo fundamento pero distinta implementación. Aquí se aprovecha el cambio de resistencia eléctrica que experimentan las galgas extensiométricas en lugar de la fibra óptica. Cada dedo del guante tiene una tira de película conductora alimentada por una pequeña corriente. Los cambios producidos en esta película cuando los dedos son flexionados son las que informan al ordenador principal de los cambios producidos en la mano.



Ilustración 1-15: Modelo de guante PowerGlove

El principal inconveniente de estos dos modelos de guantes es que solo son capaces de medir flexiones de los dedos, no movimientos transversales de los mismos.

La Dextereous Hand Master (DHM) no es un guante, sino un dermatoesqueleto que se sujeta a los dedos con cintas de velcro. Un sensor mecánico es capaz de medir la flexión del dedo, y a diferencia del DataGlove y el PowerGlove, el DHM es capaz de detectar y medir el movimiento transversal de los dedos. Es el más exacto de los dispositivos comentados, y no es sensible al tamaño de la mano del usuario, pero al ser un dermatoesqueleto, es difícil trabajar con él.

Ratones 3D

Hay diversos modelos de ratones 3D disponibles, pero todos comparten la misma tecnología: un ratón o una bola de posicionamiento ha sido modificada para incluir un sistema de rastreo y orientación de algún tipo. Este ratón es familiar para cualquier usuario, simplemente hay que empujar el ratón en la dirección que se quiera mover. Son muy útiles para aplicaciones de navegación y selección de objetos, pero pierden realismo para interacciones diferentes a estas.

Variantes de los ratones 3D son los trackballs. Disponen de una bola colocada encima de unos sensores donde se aplican fuerzas por medio de la mano. Aunque no se pueden mover, los sensores detectan las direcciones de los impulsos aplicados por el usuario.

Varas

Son similares a los joysticks convencionales, pero con la diferencia que no tienen sujeción alguna. La palanca está equipada con un sistema de posicionamiento de forma que el usuario lo sostiene en la mano y realiza algún movimiento con él (permite seis grados de libertad, tres de posición y otros tres de orientación). Sus acciones están limitadas en la práctica a hacer clic o seleccionar objetos.

Reconocimiento de voz

La mejor forma de interacción y de dar órdenes a un dispositivo es mediante la voz. Es por eso que los sistemas de reconocimiento de voz llevan estudiándose desde hace décadas, aunque todavía distan de ser perfectos. Se ha alcanzado un nivel aceptable en el reconocimiento de comandos, y cada vez son más populares en sistemas domésticos, aunque la comprensión de un discurso continuo sigue siendo aún un problema.

Se basa en el almacenamiento de patrones de las palabras y en una posterior comparación para llegar al reconocimiento de la emitida. Esto explica que la mayoría de estos sistemas necesiten un entrenamiento previo de manera que el sistema se acostumbre al tono de voz y la forma de hablar del usuario en concreto.

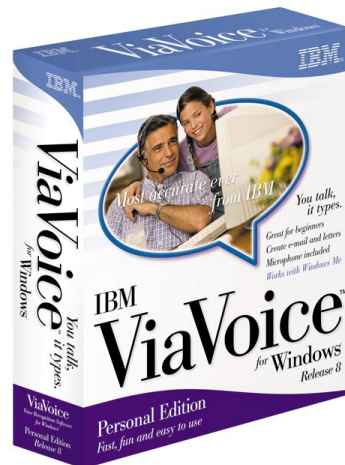


Ilustración 1-16: Programas comerciales como ViaVoice de IBM acercan al usuario particular el reconocimiento de voz de una forma fácil y asequible.

Sensores biológicos

Los biosensores es una tecnología de interfaces que miden los biopotenciales. Actualmente existen detectores que miden la actividad eléctrica muscular, cerebral e incluso el movimiento de ojos. Se trata de electrodos que se colocan sobre la piel del músculo o nervio que va a ser muestreado.

El desarrollo de interfaces utilizando esta tecnología puede suponer una verdadera revolución en el mundo de la realidad virtual (y en muchos otros campos). Hoy día hay desarrollado un biosensor de muñequera que mediante la detección de actividad eléctrica es capaz de reconocer gestos en la mano. Incluso otra entrada a los mundos virtuales puede ser la tensión muscular en alguna zona específica del individuo. Esto permitiría conocer si el individuo está tocando o golpeando un objeto. Seguir el movimiento de los ojos permitirá actualizar el mundo a medida que se mueven. Otra posible aplicación es la selección de objetos dentro del mundo virtual mediante la convergencia de los ojos.

Estos interfaces son muy apropiados para discapacitados y pueden significar la creación de nuevos interfaces e incluso la desaparición de otros como los guantes (dataglove, powerglove, etc).

Aplicaciones

La Realidad Virtual es una tecnología que puede ser aplicada en cualquier campo, como la educación, gestión, telecomunicaciones, juegos, entrenamiento militar, procesos industriales, medicina, trabajo a distancia, consulta de información, marketing, turismo, etc. [NIGEL01] Una de las aplicaciones es la telerrobótica, que consiste en el manejo de robots a distancia, pero con la salvedad de que el operador ve lo que el robot está viendo e incluso tiene el tacto de la máquina.

En la industria se utiliza también la Realidad Virtual para mostrar a los clientes aquellos productos que sería demasiado caro enseñar de otra manera o simplemente no están contruidos porque se realizan a medida. Se están utilizando sistemas de este tipo, por ejemplo, para el diseño de calzado deportivo, permitiendo acortar los tiempos de diseño de un producto de vida muy corta en cuanto a la permanencia de un modelo en el mercado.

La Realidad Virtual también se utiliza para tratar sistemas que no pueden ser manejados en el mundo real. Por ejemplo, simulaciones de enfrentamientos bélicos, o simuladores de vuelo.

Otro campo de aplicación es el de la construcción de edificios. Entre otras posibilidades, la realidad virtual permite el diseño del interior y exterior de una vivienda antes de construirla, de forma que el cliente pueda participar en el mismo realizando una visita virtual de la vivienda que se va a construir.

En el ámbito de la medicina, además de facilitar la manipulación de órganos internos del cuerpo en intervenciones quirúrgicas, la realidad virtual permite, entre otras posibilidades, la creación, para los estudiantes de medicina, de pacientes virtuales que adolecen de diversas enfermedades y presentan los síntomas característicos para poner en práctica las habilidades terapéuticas del futuro médico. En el tratamiento de fobias también se ha comprobado la utilidad de los sistemas de realidad virtual, donde el paciente tiene el control de la "realidad" y puede ir manejando su experiencia dentro de la misma.

Ciencia

Desde el inicio de la era informática el sector científico la ha utilizado para tratar de forma visual los datos. En los años cincuenta se empezaron a utilizar masivamente la pantalla como salida adecuada para los datos de ordenador. Hoy día se buscan constantemente nuevas formas adecuadas

de representar los datos, no solo para poder visualizarlos, sino también tratarlos.

El origen de estos datos a visualizar suelen, ser simulaciones de sistemas o trazas de sistemas que están bajo monitorización. Esta información podría ser representada de forma tridimensional, de manera que se pueda “condensar” la información. Es aquí donde la realidad virtual hace su entrada, permitiendo no solo esos nuevos mecanismos de representación de la información, sino también permitiendo la modificación y el tratamiento de la misma de forma intuitiva.

Hay muchas aplicaciones que utilizan la realidad virtual para el estudio de los sistemas de partículas y moléculas, siendo este el principal objeto de estudio dentro de esta rama de aplicación.

Diseño

Un área donde la realidad virtual se empieza a utilizar de forma exitosa es la creación de prototipos. Actualmente se realiza el diseño con herramientas de CAD, una vez diseñados los prototipos, se implementan y luego se testean. Con la realidad virtual este proceso se puede acelerar considerablemente, ya que el modelo obtenido con programa de diseño se puede probar en un entorno de realidad virtual donde un operador puede evaluarlos y probar su efectividad en determinadas condiciones sin llegar a construirlos. Grandes fabricantes como Caterpillar o Boeing Inc. utilizan estas técnicas actualmente para sus diseños.

Aplicaciones militares.

La industria militar siempre ha apoyado de forma activa la realidad virtual desde sus inicios. Como ya hemos comentado anteriormente, los simuladores de vuelo para los pilotos eran una de las primeras aplicaciones de la realidad virtual en el campo militar. Después de ver que los simuladores llevaban a cabo correctamente su función, los ministerios de defensa se dieron cuenta de la importancia de la tecnología en esos medios. Actualmente se utilizan e investigan aplicaciones de la realidad virtual en la telepresencia y la mejora de los sistemas de información.

En la guerra siempre se pretende recopilar la máxima información posible tanto del enemigo como del campo de combate antes de entrar en combate. Es una de las aspiraciones históricas perseguidas por los militares. Gracias a la realidad virtual se pueden recrear modelos tridimensionales de la zona en conflicto y realizar simulaciones de cómo llevar a cabo el ataque o la defensa.

También para los pilotos de avión y los carros de combate es muy importante el suministro de información útil en situaciones de combate. Los pilotos utilizan técnicas básicas de realidad aumentada con el uso de los cascos HUD (Head-Up Display), que combinan la información necesaria para el manejo del aparato y una visión infrarroja del exterior de la cabina.

Discapacitados

La aplicación más interesante para los discapacitados es la ampliación de capacidades por medio de sistemas de realidad virtual. Hay un dispositivo que es el Glove Talker [GREENLEAF92] que por medio de guantes reconoce gestos de la mano y los relacionan con sonidos específicos de manera que actúa como un traductor de lenguaje de símbolos.

Otra aplicación es el uso de pantallas táctiles que representan símbolos en relieve y con una dureza determinada. Se usan para representar los caracteres braille de forma que los usuarios ciegos pueden leer información transmitida por un ordenador.

Arte

La realidad virtual puede utilizarse como un nuevo medio de expresión donde los artistas puedan realizar sus obras. También se puede utilizar para difundir la cultura creando por ejemplo museos virtuales, o visitas virtuales a lugares emblemáticos que por cualquier razón no pueden ser visitados.

El arte basado en la realidad virtual mezclaría distintos medios entre sí, integrando formas artísticas como son la pintura, música, animaciones, lo que daría una mayor libertad al artista.

Arquitectura

La arquitectura es también un área beneficiada por la realidad virtual. Si bien el arquitecto realiza los planos bidimensionales de los edificios, mediante aplicaciones de realidad virtual se pueden transformar esos planos en objetos tridimensionales, de forma que el usuario final pueda ver el resultado desde cualquier punto de vista. Incluso se podría realizar visitas virtuales a los edificios antes de construirlos, de manera que se pueda probar su eficacia, detectar fallos, facilitar la tarea a los comerciales, etc.

También se pueden realizar estudios que anteriormente era imposible realizar debido a la

limitación de la representación. Ahora es posible realizar simulaciones que permitan conseguir una iluminación óptima en el edificio o el aprovechamiento del calor natural recibido del sol.

Para ello simplemente habría que realizar un modelo detallado del sol, su movimiento, calor transmitido a los diversos materiales, temperatura ambiente, etc., y también recrear los alrededores del edificio de forma que el diseñador pueda comprobar en tiempo real antes de realizar el edificio las consecuencias de utilizar tal material o de hacer dos ventanas en lugar de una.

Robótica

Fundamentalmente hay dos formas de dar órdenes a un robot, una de ellas es mediante circuitos y programas que doten al dispositivo de cierta independencia e inteligencia de forma que se pueda dirigir el mismo. Otra forma es mediante la telepresencia [ESTEUEER92]. Para las tareas mecánicas sencillas o la detección de obstáculos se puede usar el método de programación, pero para tareas mucho más complejas o de complejidad desconocida es conveniente optar por la telepresencia.

La telepresencia es una forma de control remoto por el cual, el robot transmite la información de su entorno a un operador, el cual se encarga de mandar las ordenes adecuadas al robot.



Ilustración 1-17: Imagen del robot Mars Explorer de la NASA

Un ejemplo puede ser la implementación de la telepresencia en la exploración espacial. Los robots enviados al espacio como puede ser el Mars Explorer y el Mars Pathfinder, poseen cámaras que generan imágenes estereoscópicas en un HMD que posee el usuario aquí en la tierra. Mediante

rastreadores de posición y orientación el usuario puede inspeccionar toda la zona cercana al robot, analizando posibles zonas peligrosas, etc. Facilitando en mayor medida la programación del robot. El principal problema de estas aplicaciones es el gran retardo que puede haber entre el robot y el operador (normalmente son centenas de millones de kilómetros).

Enseñanza

La Realidad Virtual es una tecnología especialmente adecuada para la enseñanza, debido a su facilidad para captar la atención de los estudiantes mediante su inmersión en mundos virtuales relacionados con las diferentes ramas del saber, lo cual puede ayudar en el aprendizaje de los contenidos de cualquier materia.

A partir de los experimentos llevados a cabo por Sherman y Judkins [SHERMAN94] en la Universidad de Washington se puede llegar a la conclusión de que con esta tecnología los estudiantes "pueden aprender de manera más rápida y asimilar información de una manera más consistente que por medio del uso de herramientas de enseñanza tradicionales (pizarra, libros, etc.), ya que utilizan casi todos sus sentidos. Los estudiantes no sólo pueden leer textos y ver imágenes dentro de un casco de Realidad Virtual, sino que además pueden escuchar narraciones, efectos de sonido y música relacionados con el tema que están aprendiendo.

La Realidad Virtual es un recurso didáctico del que los profesores se pueden servir para motivar y atraer la atención de los estudiantes a través de los gráficos tridimensionales de calidad y del alto grado de interactividad ofrecida por los sistemas virtuales. Cada vez es mayor el número de centros de enseñanza en los que se utilizan aplicaciones de este tipo.

Uno de los tradicionales problemas de la aplicación de la Realidad Virtual en la enseñanza es que, debido a su elevado precio, esta tecnología no está al alcance de los estudiantes y profesores. Precisamente la aparición del lenguaje VRML ha paliado en cierta medida este inconveniente, haciéndola asequible a cualquier persona que posea simplemente un ordenador y un navegador de Internet.

La principal ventaja que ofrece VRML es la posibilidad de divulgación y la gran capacidad de integración que posee con el resto de recursos de Internet. Así, por ejemplo, si el servidor Web de una determinada facultad ofreciese la posibilidad de visitar las instalaciones del centro diseñadas como un mundo virtual en VRML, el usuario recorrería pasillos, vería tabloneros de anuncios, puertas

de departamentos etc, y simplemente seleccionando con el ratón, por ejemplo, un tablón de anuncios, podría visualizar, en formato de página HTML o XML, el contenido del tablón, ya que VRML permite la integración de estas páginas y de otros recursos de la red en los mundos virtuales.

Una de las principales aplicaciones de la realidad virtual en el ámbito académico es la formación en facultades de medicina, especialmente en las materias de anatomía y cirugía. En muchas universidades se está experimentando con clases demostrativas de cirugía virtual. En esta universidad se ha creado un "cadáver virtual", donde los estudiantes pueden empuñar un bisturí virtual y practicar. En este sentido es fácil imaginar un mundo virtual creado con VRML que represente un completo quirófano virtual internacional, en el que se recogieran las mejores técnicas quirúrgicas de distintos médicos de cualquier parte del mundo; esta información podría servir de aprendizaje para los estudiantes de medicina y también para otros médicos.

También se utiliza en simulaciones de entornos determinados, como por ejemplo el simulador BioSimmer [SHAWVER98], que es capaz de recrear un ambiente de ataque terrorista con armas biológicas, de manera que los asistentes médicos puedan entrenarse en situaciones límites.

En relación con el arte, el lenguaje VRML está permitiendo ofrecer en Internet versiones virtuales de cualquier tipo de museo o galería de arte del mundo. De esta forma, cualquier estudiante puede acceder, no sólo a la imagen digitalizada de un cuadro y a explicaciones textuales, sonoras o audiovisuales sobre el mismo, sino también puede conocer las instalaciones de museo y recorrerlas virtualmente.

Los estudiantes de arquitectura también pueden beneficiarse de la Realidad Virtual a través de programas educativos para el aprendizaje del diseño de diferentes tipos de edificios. Además, la integración de herramientas de diseño, como AutoCAD, con herramientas de animación tridimensional, como 3DStudio, y editores de VRML está permitiendo la construcción, en Internet, de edificios virtuales de gran complejidad en los que una persona puede introducirse para recorrerlos hasta el último rincón y observar hasta el mínimo detalle de su construcción y decoración.

Además de su utilización en estos y otros campos del conocimiento, siempre existe la posibilidad de aplicar la realidad virtual para la creación de los propios centros de enseñanza. En este sentido, ya se está experimentando con universidades, campus, bibliotecas, laboratorios y aulas

virtuales.

Videojuegos

Actualmente hay una gran demanda de videojuegos cada vez más avanzados por parte del público, lo que hace que las empresas del sector inviertan cada vez más en mejorar sus productos. La industria del videojuego siempre ha intentado desarrollar nuevos interfaces de comunicación con el usuario, con el fin de agilizar el manejo del juego y hacerlo lo más instintivo posible. Esto ha desembocado con continuos adelantos tecnológicos.

Parte de los beneficios obtenidos por los juegos en sí, los videojuegos tienen la importante labor de ser propulsores de la expansión de la realidad virtual en ambientes no científicos, acercándolos al público general. Es una industria impulsora de nuevos dispositivos E/S (guantes, volantes, ratones 3D, gafas, etc.) a precios asequibles para el público general, a la vez de requerir ordenadores más potentes.

Esta industria se suele considerar como la que convierte a los dispositivos y técnicas de laboratorio a dispositivos y técnicas domésticas.

Deporte

Las aplicaciones deportivas de la realidad virtual están muy unidas a la de los videojuegos, ya que cada vez son más los deportistas de cualquier deporte que se entrenan mediante algún videojuego de última generación. No es raro escuchar que los pilotos de fórmula uno, antes de correr en un determinado circuito, lo prueban virtualmente con un videojuego, de manera que ya tienen una idea de a qué velocidades deben tomar las curvas, las curvas más peligrosas, etc.

Otra aplicación de técnicas de realidad virtual es el ejercicio físico en entornos virtuales. En los gimnasios hay multitud de máquinas que recrean el esfuerzo físico que se realiza al aire libre, bicicletas estáticas, andadoras, máquinas de remo, etc. Sería fácil mejorar la inmersión de estos sistemas haciendo que el usuario no se aburra demasiado pronto, haciendo por ejemplo, un paseo en bici por la montaña, o navegar por un río.



Ilustración 1-18: Ejemplo de uso de un dispositivo de realidad virtual (Xtreme Sports Snowboard Simulator) para la simulación de deportes extremos

Medicina

La medicina esta en continuo desarrollo, realizando muchos proyectos de realidad virtual, y hay muchos que ha se han introducido satisfactoriamente en el mercado. La visualización, la cirugía asistida, el entrenamiento, la odontología, telemedicina, etc., son algunas de las áreas donde la realidad virtual se esta utilizando de forma activa [GREENFIELD71]



Ilustración 1-19: Simulador quirúrgico diseñado por Boston Dynamics, Inc.

La visualización ha mejorado considerablemente con la introducción de la realidad virtual. Anteriormente él médico se limitaba a observar una imagen bidimensional de rayos X del paciente,

o bien una ecografía. Actualmente hay aplicaciones que partiendo de tomografías axiales, pueden reconstruir tridimensionalmente el cuerpo del paciente, permitiendo al médico realizar una exploración mas intuitiva y mas provechosa ya que puede detectar cosas que en una imagen bidimensional no son detectables. Otro ejemplo es la visualización de los fetos. Hay una aplicación desarrollada por la universidad de Carolina del Norte que permite visualizar el feto de la mujer embarazada mediante una proyección sobre su mismo abdomen. El resultado es que se ve al feto exactamente donde está. Este es un ejemplo de la inclusión de un sistema de realidad virtual de realidad aumentada.

También se usa la realidad virtual para el entrenamiento de los futuros cirujanos. Con aplicaciones de realidad virtual, se puede recrear toda una operación, de forma que el estudiante pueda practicar todos los ejemplos posibles, sin tener que hacer el uso tradicional de cadáveres. Tiene la principal ventaja que el sistema no es pasivo, todo lo contrario, se pueden programar estados del paciente, de forma que por ejemplo, sufra un ataque cardíaco en tiempo real y el cirujano deba ser capaz de afrontarlo satisfactoriamente. Para ello hay que alcanzar un realismo visual y táctil muy avanzado, es por eso que multitud de investigadores se centran en este tema. Un ejemplo puede ser la creación de órganos virtuales que puedan ser tocados y modificados en tiempo real mediante técnicas de objetos deformables de forma que posteriormente puedan ser incluidos en alguna simulación quirúrgica.

Uno de los entrenamientos que más se usan estas nuevas tecnologías son las cirugías de mínima invasión, ya que las técnicas laparoscópicas necesitan una coordinación mano-ojo muy perfeccionada, cosa que es mas complicada aún ya que en estas operaciones, ni la visión es directa ni el tacto se realiza de forma directa, sino con aparatos específicos.

Esto solo ha sido una pequeña introducción a la realidad virtual, sin hacer apenas hincapié en la parte háptica, de la que nos encargaremos en el próximo capítulo. Se recomienda al lector que desee mas información consulte la bibliografía adjunta al final de la memoria.

Motivación

La introducción del sentido del tacto en las aplicaciones de realidad virtual es algo bastante reciente que está abriendo nuevas líneas de investigación y aplicaciones. El principal problema que obstaculiza su desarrollo son las capacidades de cálculo computacional de las máquinas que

ejecutan las aplicaciones. Poco a poco la potencia de los ordenadores ha aumentado lo suficiente como para que investigadores y usuarios con poco capital puedan utilizar esta nueva tecnología. Incluso hay casas comerciales como Reachin que se dedican a desarrollar aplicaciones comerciales basadas únicamente en dicha tecnología.

En esta nueva tecnología, hubo un hito en el 1993 cuando en el laboratorio de Inteligencia Artificial del MIT (Massachusetts Institute of Technology) se inventó el dispositivo Phantom (Personal HAptic iNTERface Mechanism: Mecanismo de Interfaz Háptico Personal), un dispositivo capaz de modelar la sensación táctil y retroalimentar fuerzas de forma precisa a un bajo coste.

Cada vez más se utilizan técnicas de realidad virtual inmersiva para el entrenamiento médico, el diseño tridimensional, simulaciones de modelos antes de fabricación, etc. al tiempo que aumenta el número de usuarios de los dispositivos hápticos (phantom, cibergrasp, etc.) y multisensoriales.

La primera aproximación al realizar un entorno de realidad virtual con capacidad háptica es la implementación de superficies rígidas, de manera que sea el usuario el que pueda desplazarlas y ejercer fuerzas sobre ellas. Sin embargo esto no se corresponde con la realidad ya que no sólo existen superficies rígidas. En el siguiente paso los objetos pasan a ser deformables, de forma que el usuario pueda interactuar con ellos de una forma activa, produciendo una deformación sobre el objeto proporcional a la fuerza aplicada por el usuario.

Este último caso es el más complejo, pero es también el que más se acerca a la realidad. Las utilidades de este tipo de objetos son muy diversas. Van desde la creación de órganos virtuales que puedan ser deformados, estirados, cortados, en tiempo real, hasta la creación de modelos tridimensionales sobre los que realizar una obra de arte.

Además de todo lo anterior, con la creación de modelos deformables se favorece el estudio del modelado de materiales y toda la complejidad que esto conlleva ya que hay que traspasar las características y parámetros físicos a un modelo matemático que sea capaz de reproducir el material de una forma realista. Esto conlleva estudiar los mecanismos físicos que subyacen en estos parámetros y saber identificarlos, para luego intentar reproducir no sólo el efecto que tiene, sino también el origen de esas características. Es lo que ocurre con los diferentes modelos que hay a la hora de implementar las deformaciones en los objetos, son preferibles los modelos que se basan en las características físicas del objeto, ya que son independientes de la geometría del objeto.

Objetivo del proyecto

En el laboratorio de Realidad Virtual de la E.T.S.I. de Telecomunicación se cuenta con un Reachin Display que integra un dispositivo Phantom. Este posee muchas de las cualidades exigibles a un dispositivo háptico necesario para realizar diversas aplicaciones de simulación y entrenamiento. Además de poseer la cualidad de retroalimentación de fuerza, el cristal que refleja la imagen del monitor hace que los objetos se vean y toquen en el mismo lugar, consiguiéndose un buen grado de realismo.

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una serie de algoritmos para la simulación táctil de objetos deformables, de manera que el usuario mediante un dispositivo de retroalimentación de fuerza como es Phantom Desktop, pueda modificar la estructura de los objetos virtuales en pantalla, y éstos, además, respondan de forma realista a la manipulación realizada por el usuario.

El objetivo principal es implementar un conjunto de clases que permitan simular un objeto tridimensional deformable. Esas clases se harán de la forma más independiente posible, de manera que puedan ser usadas con pocas modificaciones con otros dispositivos de realimentación de fuerza o con otras geometrías diferentes.

Además se implementará un escenario de simulación desde el cual el usuario pueda deformar libremente el objeto en cuestión, además de poder obtener información interna de la simulación como puede ser energía total del objeto, posiciones relativas de las partículas, magnitud de la fuerza aplicada al usuario, etc. Esta información se utilizará para mejorar los algoritmos que se utilizan para generar la deformación además de poder cotejar la información obtenida en la simulación con la que se esperaba obtener en el caso real.

Para poder alcanzar dicho objetivo, se va a partir de las librerías de desarrollo que incorpora el propio fabricante de Phantom Desktop (Reachin API), las cuales aportan primitivas de renderizado visual y háptico a bajo nivel, además de un interfaz de alto nivel basado en nodos VRML. Partiendo de dichas primitivas, éstas se deberán modificar para poder añadir la capacidad de deformabilidad a los objetos. Para realizar ésto partiremos de una superficie formada por triángulos (*IndexedTriangleSet*) o polígonos (*IndexedFaceSet*), que son las más apropiadas porque podemos tener acceso a sus vértices de forma directa, de manera que sea fácil poder manipularlos.

Para simular esa modificación hay básicamente dos tipos de técnicas o algoritmos, los basados en la geometría del objeto y los basados en la física del objeto.

En el primero de ellos, el objeto es deformado únicamente con modificaciones geométricas de los vértices o aristas del objeto. Estas técnicas suelen ser algo más sencillas que las basadas en la física del objeto, aunque tienen como inconveniente que no son tan realistas, ya que no tiene en cuenta las fuerzas reales que provocan dicha deformación. De todas formas, es una buena aproximación a la resolución del problema.

En el segundo tipo de técnicas, las basadas en la física del objeto, no se realizan modificaciones geométricas de forma directa, sino que las modificaciones geométricas a realizar vienen determinadas por las características físicas del objeto. Las técnicas más usadas son dos: Modelado de Elementos Finitos (FEM) y sistemas masa-muelle. En la primera el objeto se particiona como un conjunto finito de elementos, cada uno de ellos con una masa y características físicas determinadas, que se conectan con una serie de partículas vecinas. La segunda tiene la diferencia en que el objeto se particiona en partículas puntuales unidas entre sí por medio de muelles elásticos. De esa manera la deformación que se produce a lo largo de todo el objeto, partiendo del punto en el que se produce, se propaga por todas y cada una de las partículas que lo forman, obteniéndose así un resultado más próximo a la realidad. Como principal inconveniente es que estas técnicas (y el FEM en particular), necesitan la resolución de ecuaciones diferenciales en tiempo real, por lo cual hay problemas de estabilidad y divergencia intrínsecamente asociados a los métodos. En el capítulo VI se tratará este tema con detalle.

En los tres siguientes capítulos veremos una pequeña introducción a la tecnología háptica, especialmente el dispositivo que vamos a utilizar, Phantom y por último veremos como actualmente se está investigando en este tipo de tecnología.