

Universidad Politécnica de Madrid
Facultad de Informática
Departamento de Lenguajes y Sistemas
Informáticos e Ingeniería de Software

Memoria del Trabajo de Investigación

Pautas de usabilidad de entornos acústicos 3D con asistencia táctil para usuarios con discapacidad visual.

Autor: Héctor Szabo

Tutor: Fernando Alonso Amo

Resumen.

Desde el año 2003 hemos creado aplicaciones de acústica envolvente con asistencia táctil orientadas a personas con dificultades visuales[1,2,3].

El desarrollo y prueba de estas aplicaciones arrojó singularidades en la percepción de los efectos acústicos que podrían afectar su usabilidad, tanto en entornos de simulación como en los juegos de ordenador [4].

Hemos constatado que el refuerzo táctil¹ utilizado como mecanismo multimodal puede mejorar la percepción acústica en determinados casos.

Se han realizado estudios de evaluación desde el año 2004, utilizando los juegos desarrollados para medir la percepción de personas con y sin discapacidad visual.

Las dificultades para medir con precisión en forma externa estas apreciaciones [4,5] condujeron al desarrollo de dos juegos que realizan la captura automática de las indicaciones de los usuarios sobre estas percepciones y toman un fotograma de la posición de su cabeza al recibir la indicación.

Estos juegos fueron desarrollados en el segundo semestre del año 2005 [3] y en el primer semestre del año 2006 [6].

Los primeros ensayos con estos entornos se realizaron en junio de 2006.

En la sección I del presente documento se exponen los objetivos del trabajo; en la sección II se describen las variables que se han evaluado en los ensayos y cómo se han realizado los experimentos, en la sección III se detallan los hallazgos iniciales, las primeras conclusiones del trabajo y un resumen de las acciones futuras a desarrollar, la sección IV describe los proyectos asociados a esta investigación, la sección V expone las tecnologías empleadas, del punto de vista de sus capacidades y limitaciones.

I) Objetivos del trabajo.

El trabajo de investigación tiene por objetivo determinar la percepción acústico-táctil de personas con dificultades visuales en un ambiente de acústica simulada basado en un sistema multicanal 5.1², y donde los refuerzos táctiles son provistos mediante un joystick con retroalimentación de fuerza (Force Feedback). [7,8]

El objetivo final del trabajo es producir una guía de usabilidad de efectos acústico-táctiles como guía para futuros desarrolladores y diseñadores de entornos con estas características.

Cabe acotar que el trabajo no prevé evaluar la calidad auditiva de una persona con dificultades visuales, midiendo su agudeza con sonidos reales ubicados en su entorno, sino que lo que se espera es medir la percepción de personas con discapacidad visual en un sistema acústico 5.1 frente a sonidos *posicionados virtualmente* en torno a los usuarios.

¹ También referida como háptica, del Griego hapticos, (atrapar) derivado de hapestai (tocar).

² Referimos entorno acústico 5.1 al constituido por una tarjeta de audio multicanal que conecta a 5 altavoces satélites, posicionados como izquierdo delantero, central delantero, derecho delantero, izquierdo trasero, derecho trasero y a un altavoz de tonos de graves, usualmente referido como subwoofer.



Figura 1: Usuario en entorno acústico multicanal. Se observan los altavoces satélites (A); el altavoz central frontal (B) y el altavoz de baja frecuencia (subwoofer) (C). Los ángulos indicados señalan la separación angular entre los altavoces

A estos sonidos los referiremos como *sonidos posicionados virtualmente* porque su posición en el espacio auditivo de los usuarios es generada por el ordenador mediante la producción de ciertos retrasos, desplazamientos de fase y eventualmente desplazamientos de frecuencia en la propagación del sonido en los distintos altavoces.

Esto se complementa evaluando la utilidad de brindar refuerzos táctiles (guías táctiles) que ayuden a orientar a los usuarios sobre la *posición virtual* en el que se halla el sonido en cuestión.

II) Entorno experimental.

1) Terminología empleada.

Referimos *acimut del sonido*³ al valor de acimut que el sonido tiene relativo a la posición del altavoz central (que ocupa la posición 0). Esta posición es la indicada a la aplicación que reproduce el sonido en forma 3D (Fig. 2).

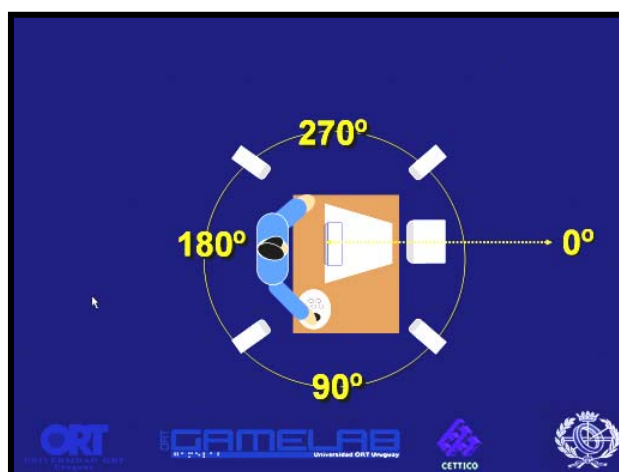


Figura 2: Valores de acimut asumidos para el proyecto

³ Acimut: orientación angular en el plano horizontal, asumiendo la posición 0 como aquella en la que se encuentra el altavoz central en una distribución de altavoces 5.1 normalizada.

Uno de los aspectos que más afecta la usabilidad de los efectos acústicos es lograr identificar con propiedad *el acimut percibido* para un sonido ubicado en forma virtual en el espacio acústico de los usuarios. Por esta razón centraremos los estudios en la percepción de distintos sonidos (por su frecuencia y duración) estáticos y en movimiento, ubicados en distintas posiciones en torno a la usuaria o el usuario.

Denominaremos 3DSA (3D Sound Azimuth, acimut del sonido 3D) al ángulo que representa el acimut *percibido* por los usuarios para un sonido emitido en un entorno de acústica multicanal, expresado en grados. En la serie de figuras (Fig. 3) se expone como los usuarios perciben estar cercanos a una cierta fuente de sonido, delante de su posición y a su derecha. Están personificando el avatar⁴ del juego y esa es su percepción (a). Lo que en realidad ocurre está expuesto en (b), aún vinculado a la personificación del avatar y en (c), ya totalmente desvinculado de la virtualidad. [9]

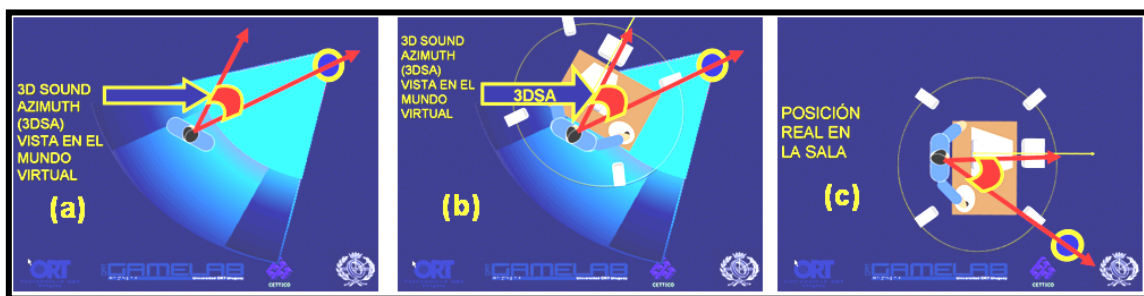


Figura 3: 3DSA, de la virtualidad a la realidad: (a) Percepción del usuario personificando el avatar, el 3DSA está en rojo; (b) el usuario en su puesto de trabajo, inmerso en la virtualidad (c) Lo que realmente está ocurriendo

Denominaremos 3DSAA (3D Sound Azimuth Accuracy, Precisión en el Acimut de un Sonido 3D) a la precisión de la percepción de un sonido, expresada en grados de apertura entre mediciones extremas, para una usuaria o un usuario en sucesivas apreciaciones del *mismo* sonido en el entorno acústico multicanal.

En la serie de figuras (Fig. 4) simboliza cómo se mide el 3DSAA: se observa la *misma* usuaria o el mismo usuario ante el *mismo* “momento” del juego (o sea: ante exactamente el mismo efecto de sonido) en distintas instancias de ejecución del juego, señalando con su brazo extendido donde percibe el sonido (flecha amarilla, blanca y verde).

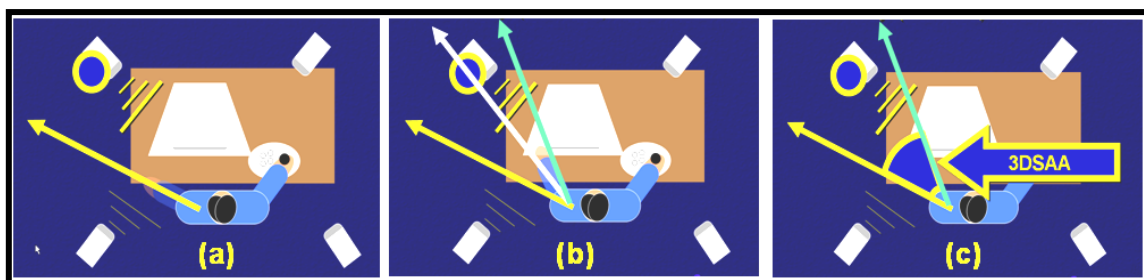


Figura 4: : Medición del 3DSAA (a) primera percepción del usuario (extrema izquierda), (b) tercera percepción del usuario (extrema derecha), existe otra percepción más central anterior, (c) el 3DSAA identificado en azul.

⁴ Avatar: del sánscrito *avatâra*, descenso o encarnación de un dios. Se utiliza para referir al personaje de un juego que desarrolla actividades de acuerdo a las instrucciones del jugador en un entorno virtual y suele ser la representación del usuario en el mundo virtual.

Como se observa en (c) (Fig. 4) denominamos 3DSAA a las mediciones extremas para una usuaria o usuario en estas circunstancias. Este es un índice de ausencia de precisión en la percepción, esto es: a menor 3DSAA medida en sucesivos usuarios para un mismo efecto acústico, más precisa es la apreciación del efecto.

El empleo de herramientas de colecta automática de muestras habilitará a agregar la medición de la exactitud en el acimut de un sonido 3D, (3DSAE 3D Sound Azimuth Exactitude), que indicará la coincidencia o no de la posición indicada por la usuaria o el usuario con la calculada por el ordenador en el espacio acústico, dado que en este caso será la propia aplicación la que realizará los cálculos.

2) Ensayos realizados.

Se ha optado por el uso de juegos para realizar los estudios por ser más fácil la obtención de participantes en los experimentos, porque son la herramienta disponible para realizar las mediciones y porque se produce un marco competitivo que induce a los usuarios a obtener su mejor desempeño posible.

En estas etapas iniciales la experimentación se realiza con adolescentes, por ser un público más afín a los juegos de ordenador.

Se ha solicitado a un grupo reducido de usuarios (3 personas con discapacidad visual y 5 con visión) la ejecución de un juego acústico-táctil (ver sección IV: Escape de la Fortaleza de Santa Teresa II[2]).



Figura 5: Usuaria jugando en sala de acústica controlada de la Universidad. El altavoz central se encuentra sobre el monitor. Vemos el altavoz satélite izquierdo frontal sobre su pedestal en el costado.

Los usuarios fueron evaluados en una encuesta previa informal en cuanto a su capacidad auditiva y de discernimiento de la estereofonía. Se les hizo ensayar los efectos que el joystick con retroalimentación táctil puede proveer.

Se ha seleccionado el “nivel de entrenamiento” de este juego que tiene efectos “fijos” (la lógica del juego es invariable en las sucesivas jugadas), solicitando a los usuarios que identifiquen el 3DSA de determinados sonidos, en tres oportunidades.

Posteriormente se ha solicitado al mismo grupo que juegue el “nivel 1” de dicho juego, realizando una encuesta posterior sobre las apreciaciones respecto al juego, los aspectos dificultosos y los aspectos que resultaron claros.

Se trata de un “nivel” relativamente simple con efectos acústicos de posicionamiento en la habitación (un grillo), sonorización y efecto táctil cuando la usuaria o el usuario da un paso, sonorización y efecto táctil fuerte cuando el usuario colisiona con una pared.

Cada pared o puerta tiene un efecto táctil y acústico diferente. Existen efectos de ambiente: guardias circulando fuera de la celda (móvil, distante, ocluso), sonido distante de martilleo (estático, distante, ocluso, sonidos de truenos (son direccionales pero por su baja frecuencia no se identifican como tales), ladridos de un perro (cercano, estático, ocluso).

En esta misma encuesta se valoró el uso de efectos de retroalimentación táctil para algunos sonidos más confusos.

Dado que el escenario acústico del juego en el “nivel 1” es una habitación rectangular angosta (ambiente virtual), no se justificó la representación en cartón de ese escenario, por su simpleza.

3) Mediciones constatadas.

Las mediciones constatadas dan solamente una guía inicial de los resultados experimentales. En junio de este año se comenzó a desarrollar un experimento más amplio, para lo cual invitamos a tres adolescentes de baja visión, para validar la modalidad de trabajo para los ensayos a realizarse. Las percepciones de estos tres usuarios confirman las apreciaciones obtenidas anteriormente, publicadas como primeras indicaciones [4,9]

Existe una limitante tecnológica que aparentemente impacta en el diseño experimental para las bajas frecuencias: en los equipos estándar 5.1 sólo existe una fuente para sonidos de baja frecuencia: el subwoofer, con lo cual resulta imposible proveer un sentido de direccionalidad a un sonido que se emite desde un solo altavoz.

Esta aparente limitación tiene su origen en que el oído humano no puede determinar la direccionalidad de frecuencias bajas.

El principal elemento de direccionalidad para un sonido lo da la diferencia de tiempo en el que el sonido alcanza uno u otro oído (diferencia de tiempo interaural) .

A bajas frecuencias la cabeza es más pequeña que la longitud de onda del sonido percibido por el sistema auditivo de la persona, por lo que no se puede evaluar la diferencia de tiempo interaural.

De ello se infiere que la limitante tecnológica de todas formas obedece a una limitante fisiológica que haría inútil una mejor disposición de equipamiento. [10,11]

a) Efecto del 3DSA en la calidad de la percepción.

Existen diversos estudios que analizan la calidad de la percepción de sonidos virtualmente posicionados en una acústica multicanal. [10,11,12].

La mayoría de los estudios coinciden en asignar un efecto significativo a la diferencia de tiempo interaural y a las funciones de transferencia vinculadas a la cabeza HRTF, que son las responsables de determinar la dirección de un sonido.

No existen estudios que realicen este análisis a una población integrada por personas con discapacidad visual, ni la eventual interacción de un refuerzo táctil en la calidad de la medición.

Tenida en cuenta la experimentación anterior, se catalogaron los efectos utilizados para las mediciones, de acuerdo a su frecuencia y posicionamiento virtual (3DSA).

Las guías primarias de determinación del acimut de un sonido real son bi - aurales [11]. Para fuentes de sonido estáticos existe una significativa variación de la 3DSAA de los usuarios, dependiendo de la posición virtual del sonido. La percepción mejora lateralmente y cae fuertemente detrás de los usuarios, finalmente los sonidos frontales son identificados con una precisión intermedia. Cabe anotar que no existe el fenómeno denominado confusión adelante-atrás [5] por el refuerzo acústico proporcionado por el altavoz delantero central.

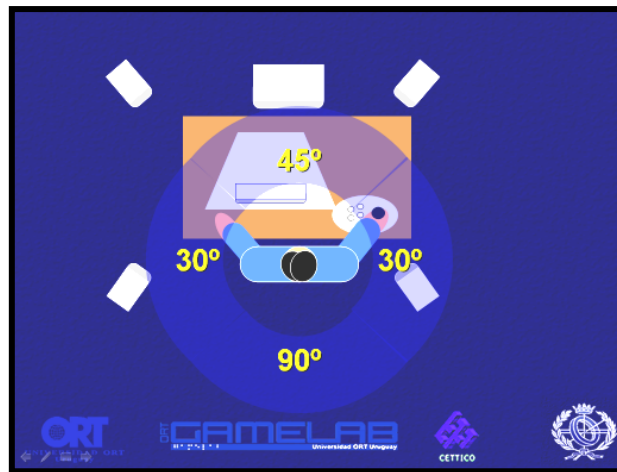


Figura 6: 3DSAA para sonidos estáticos

El efecto de apantallamiento del pabellón auditivo descrito en la literatura se constata en el bajo desempeño auditivo de los usuarios cuando los sonidos son posteriores.

Existe sin embargo un efecto que no fue tenido en cuenta en los experimentos iniciales: que los usuarios giraran la cabeza para precisar mejor la fuente de los sonidos.

b) Efecto de la distancia virtual respecto al avatar en la calidad de la percepción.

Contrariamente a lo intuitivamente esperado, los sonidos virtualmente más distantes (pero audibles por estar aún en la zona de propagación del cono de sonido) se determinan con mayor nitidez. Esto obedece al modelo de propagación de DirectSound que atenúa más los sonidos que provenientes de altavoces satélites que no corresponden a la dirección principal cuando el sonido está virtualmente distante.

c) Efecto de la frecuencia del sonido fuente en la percepción.

Como se ha descrito anteriormente, los sonidos de muy baja frecuencia carecen de direccionalidad. Sonidos graves pero dentro del rango dinámico de los emisores frontales y posteriores resultaron ubicados con muy poca precisión (en 3DSAA de 120° para la mayoría de los usuarios) llegando inclusive a no poder determinar la fuente en algunos casos.

d) Uso de sonidos no direccionales.

Los sonidos que no provienen de una fuente puntual y que se aplicaron para “producir ambiente” para el juego confunden a los usuarios: no pueden precisar la posición virtual de la fuente y buscan un significado lúdico a los mismos.

e) Efecto del movimiento de la fuente en la percepción.

En etapa de diseño del juego original se constató que percibir el “movimiento virtual” de las fuentes de sonido es más difícil para pequeñas variaciones de la posición angular de la fuente que para grandes variaciones.

No son distinguibles variaciones angulares inferiores a 10° para la totalidad de usuarios que utilizaron la aplicación. Más del 70% de los usuarios no perciben variaciones angulares de posición inferiores a los 45° .

f) Efecto de la retroalimentación táctil.

La percepción táctil demostró ser precisa y detectable con niveles muy bajos de amplitud. Sin embargo su uso en los juegos disponibles para el ensayo era complementario en términos de agregar sensaciones más que refuerzo táctil de orientación. Solamente en dos situaciones en los juegos esto se produce y los usuarios coinciden en que mejora la percepción en los casos en los que la acústica es difícil de interpretar.

En todos los casos, los usuarios con discapacidad visual manifestaron que los efectos diseñados eran demasiado intensos.

g) Efecto del entrenamiento.

Los usuarios mostraron una mejora significativa en su rendimiento en las partidas sucesivas del mismo juego. Aún el haber jugado el “primer nivel” de un juego luego de haber jugado con el “nivel de entrenamiento” mejoró su desempeño, de acuerdo a las encuestas post-juego.

III) Conclusiones del trabajo inicial.

1) Acciones a tomar para realizar una evaluación significativa.

De acuerdo a los ensayos resulta necesario extender las pruebas a un número estadísticamente significativo de usuarios, produciéndose en cada caso un número estadísticamente significativo de muestras.

La frecuencia, el 3DSA y la distancia virtual de los sonidos parece ser una variable que incide en la calidad de la percepción.

Los sonidos no tenían la misma duración, resultando que sonidos más largos tuvieron una mejor percepción, de acuerdo a la encuesta post-juego.

Es necesario poder implementar la captura automática del 3DSAA para cada uno de los usuarios, además del tiempo de respuesta desde que comienza a emitirse el sonido de referencia. Si se puede tomar un fotograma en el momento de la respuesta de la usuaria o usuario, también se podrá incluir una evaluación de las veces que el la usuaria o el usuario gira su cabeza para mejorar su percepción.

Esto habilitará poder realizar una cantidad mayor de muestras y evitar parte de la interacción del observador con el sujeto experimental. Es necesario complementar la captura automática

Dada la posibilidad de entrenarse en los juegos que se evidencia en esta pequeña muestra, es necesario descartar la primer instancia de juego, porque la respuesta se verá afectada por el entrenamiento.

El entorno de evaluación debe considerar cada uno de los tipos de sonido a evaluar, de acuerdo a los atributos a evaluar:

- Frecuencia: grave, medio, agudo.
- Duración de los sonidos guía: corta duración (un segundo) y sonidos de larga duración (tres segundos).
- Movimiento: sonidos estáticos
- Movimiento: sonidos con pequeñas variaciones del 3DSA y sonidos con gran variación del 3DSA.
- Distancia virtual al avatar: Cada sonido debe evaluarse en distancias virtuales cortas y largas.
- Efectos táctiles: con y sin refuerzo táctil.

Para reducir los efectos en la percepción de variaciones en la población, se debería trabajar sobre un rango de edades estable (adolescentes), con ceguera o baja visión, con conocimientos de informática y de juegos de ordenador.

2) Primeras recomendaciones para la producción de ambientes acústico-táctiles.

a) Use una guía acústica de relativa alta frecuencia como orientación.

La presencia de una cascada de agua, un grillo, etc. (si el guión o la simulación lo admiten) asegura que la usuaria o el usuario mantenga una orientación acústica sobre su entorno.

Una de las acciones que inicialmente confunden es la rotación, dado que la usuaria o el usuario no se movió, pero el mundo a su alrededor giró. En esta circunstancia, la guía acústica estable es una referencia para la usuaria o el usuario.

b) Si debe implementar rotaciones, que las mismas sean de por lo menos 45°, si un objeto del entorno se desplaza que lo haga en un 3DSA de por lo menos 45°.

Esto posibilita detectar con claridad el movimiento mencionado, de acuerdo a nuestras primeras apreciaciones.

c) No usar sonidos de baja frecuencia como guía acústica.

Dado que será muy difícil percibir su orientación

d) Si decide usar sonidos de fondo, que sean de baja frecuencia.

Dados los comentarios de los usuarios, la recomendación sería evitar “sonidos para producir ambiente” porque confunden y generan la expectación a los usuarios sobre porqué se produce este sonido.

e) Permita que los objetos en el escenario acústico se anuncien de lejos.

Los objetos que se anuncian de lejos brindan buena precisión sobre su orientación, permitiendo una aproximación con más exactitud.

f) Haga los sonidos más largos.

Dado que en los sonidos posteriores resulta difícil precisar su 3DSA, es necesario que la duración del sonido sea lo suficientemente larga para habilitar a los usuarios a rotar su cabeza. Si un sonido es corto, compense la eventual dificultad para percibirlo con otro sonido distante, agudo y a 90° del anterior.

g) Use sonidos guía agudos al comienzo del juego.

Para facilitar la orientación de los usuarios cuando aún está aprendiendo el juego use sonidos más agudos, en un segundo nivel o más adelante en una escena puede comenzar a variar los sonidos habilitando sonidos graves.

h) Use refuerzo táctil para sonidos guía que no sean agudos.

El refuerzo táctil requiere una “partitura” para cada posible orientación, lo que la torna inviable en ángulos exactos. Si mantiene las rotaciones de los usuarios acotadas podrá mantener una cantidad limitada de efectos táctiles de orientación. Use efectos táctiles de pequeña amplitud en todos los casos.

3) Próximos pasos.

En marzo de 2006 se culminó el desarrollo de un juego de destreza y precisión denominado “Entrenador Jedi” [3]. Este juego implementa las mediciones automáticas que se requerían, incluida la capacidad de tomar un fotograma de la usuaria o usuario al momento de reaccionar al sonido guía.

En junio de 2006 se realizaron ensayos del producto, validando su funcionalidad y “jugabilidad”. Se realizó la encuesta previa, incluidas la evaluación sensorial de la usuaria o del usuario y la inducción en juegos audio-táctiles.

La etapa preliminar requiere media hora por usuaria o usuario, incluida la encuesta previa y el juego se desarrolla en tres pasadas de cinco minutos cada una, produciendo 60 muestras por jugada.

En setiembre de 2006 se estará ensayando otro juego que evalúa aspectos auditivos solamente, consistente en un “Dance Dance Revolution” similar al de Konami [6] pero orientado a personas ciegas o de baja visión: las pistas sobre el próximo paso de baile son dadas por una flecha de gran tamaño de alto contraste de colores seleccionables o por pautas acústicas en un sistema 5.1.

El producto se ha ensayado, resultando apropiado para los fines planteados. Este producto también incluye las capacidades de colecta automática de datos de tiempos de respuesta y 3DSAA de la usuaria o usuario, así como un fotograma. (ver sección IV).

4) Publicaciones realizadas.

- (2005) Análisis de Percepción en Entornos Acústicos Envloventes con Asistencia Háptica para Ciegos. AST 2005, Rosario, Argentina, Alonso, F., Fuertes, J., Martínez-Normand, L., Szabo, H.:
- (2006) K. Miesenberger et al. (Eds.): Design Guidelines for Audio-Haptic Immersive Applications for People with Visual Disabilities, ICCHP 2006, LNCS 4061, pp. 1071 – 1078, 2006, Alonso, F., Fuertes, J., Martínez-Normand, L., Szabo, H. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006

IV) Descripción del proyecto de desarrollo de juegos inclusivos.

A los efectos de dar un real alcance de los proyectos que se han realizado y los que están en prosecución, se detalla la evolución de los desarrollos audio táctiles desde su inicio en el 2003 hasta el momento.

En agosto del año 2003 la Universidad recibió la propuesta de desarrollar un juego de acción para jóvenes ciegos o de muy baja visión. La expectativa era un juego de aventuras inclusivo, tanto por su guión como por los desafíos que debía proponer a los jugadores.

Luego de evaluar diversas posibilidades acústicas y táctiles se optó por determinadas premisas, que impactan en los alcances de la investigación resultante:

- Se utilizaría equipamiento estándar, de fácil obtención por parte de los usuarios finales. Se eligió para esto un joystick con retroalimentación de fuerza (force feedback) como dispositivo de refuerzo táctil y acústica 5.1 como dispositivo de audio multicanal, descartándose la acústica estereofónica con simulación 3D, dado que el realismo propuesto es de calidad inferior. Denominamos joystick con retroalimentación de fuerza aquel que habilita ser desplazado en forma angular respecto a su base mediante comandos originados en el software de control. Normalmente este movimiento está asociado con acciones del jugador, de ahí su nombre de retroalimentación de fuerza.
- Luego de evaluar “librerías” Open Source y DirectX de Microsoft, se optó por el uso de Microsoft DirectX como capa de abstracción del hardware acústico (DirectSound) y táctil (DirectInput).
- La aplicación a desarrollar se basaría en conceptos inclusivos (las situaciones planteadas eran las mismas se tuviera o no visión, los desafíos eran de dificultad equivalente para las dos poblaciones).
- El alcance inclusivo del proyecto se limitaría a la atención sobre personas con discapacidad visual severa, sin explotar las posibilidades de un entorno de alto contraste que habría habilitado otros desafíos o prestaciones para las personas con visión reducida. Tampoco serían contempladas las discapacidades motrices y resultaría imposible jugar con limitaciones auditivas .
- El desarrollo multimodal (táctil/visual) surgió como una alternativa de refuerzo acústico y de los efectos teatrales del juego, agregándose el mismo en etapas tempranas del análisis dado el entusiasmo de un usuario final que encontró que los mismos podrían ser un complemento atractivo. Se acordó que la experiencia táctil se limitaría a los efectos que son soportados por un joystick con force feedback.

El producto resultante (denominado Escape de la Fortaleza de Santa Teresa) [1] permitió que varios usuarios con visión, visión reducida y ciegos pudieran ensayar este producto, mostrando satisfacción en el resultado general del mismo, evidenciando al mismo tiempo una respuesta no lineal respecto a la identificación de la posición del sonido. Por otra parte se identificaron dificultades para poder apreciar con precisión la elevación virtual de los sonidos, por lo que los mismos son utilizados en dos dimensiones. [11]

Dificultades fuertes en la ingeniería de requisitos y lentitud en el desarrollo condujeron a la creación en el año 2004 de un “motor” de juegos acústico – táctiles, denominado

SHADE: (Simple Haptic Acoustic Development Engine) con el objetivo de simplificar el diseño, testeo y creación de los escenarios acústico-táctiles.

Utilizando SHADE se crearon otros juegos y prototipos que permitieron aplicar las recomendaciones de diseño que surgieron como primeras lecciones aprendidas y que requieren de una validación experimental que refuerce las mismas.

Se crearon los juegos Escape de la Fortaleza de Santa Teresa II (retomando los conceptos anteriores y extendiendo el juego a dos “niveles”), además de los prototipos funcionales de un juego de caza de submarinos [13], un juego de aventuras [14] y un juego de baile[15] (del estilo del Dance Dance Revolution de Konami) (conocido también como “alfombra de baile”) los tres juegos manejan efectos de acústica 2D (en el plano) y los dos primeros agregan efectos táctiles.

En el año 2004 se comenzaron a medir las percepciones de los usuarios, extendiendo el proyecto original en la investigación que es la parte central de este documento. Algunas dificultades que se presentaron en estas mediciones condujeron al desarrollo de dos nuevos juegos, que realizan la colecta automática de las reacciones de los usuarios, así como los tiempos de respuesta y su precisión.

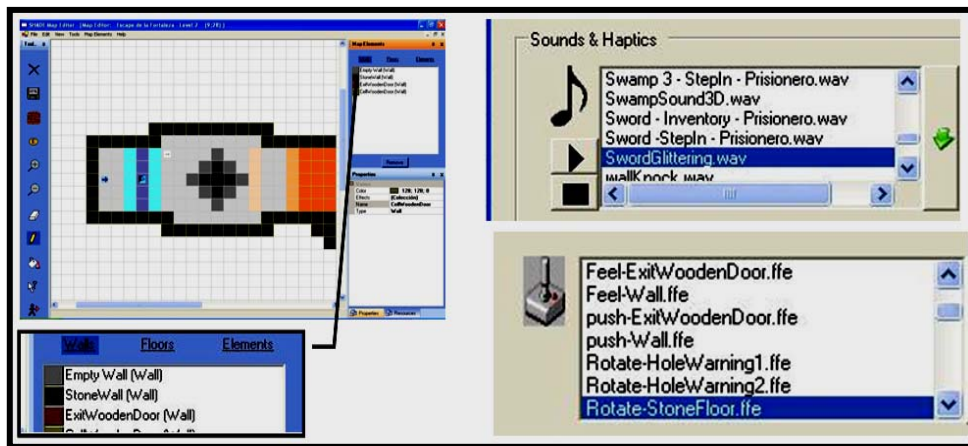


Ilustración 1: Editor visual de SHADE. (a) Mapa del escenario acústico-táctil; los colores e íconos representan distintos objetos, cada uno con efectos acústicos y táctiles asociados. (b) Selectores de efectos acústicos y táctiles aplicables a cada tipo (color) de celda,

En segundo semestre del año 2005 se creó en base al uso de SHADE un juego de destreza y precisión que requiere que la usuaria o el usuario determine el origen de sonidos y/o efectos táctiles a su alrededor en saltos discretos de 10 grados (Entrenador Jedi) [3]. Se realizó la validación del concepto del juego en junio del año 2006, en un primer uso por parte de tres usuarios adolescentes, uno ciego y dos de baja visión, todos ellos con ceguera adquirida.

En el año 2005 uno de nuestros usuarios con dificultades visuales planteó la posibilidad de poder editar por sí mismo el entorno de un juego, de donde surgió una primer iniciativa para crear un editor basado en ladrillos LEGO con letras braille creadas sobre ellos, basados en la experimentación llevada a cabo por la Universidad de Chile [16,17] con niños ciegos y de baja visión.



Ilustración 2: Arreglo de la sala acústica para el "Entrenador Jedi"

En este entorno cada ladrillo tiene un significado (piso, pared, etc.), habilitando al diseñador a crear sus propias propuestas, que luego serían reconocidas por un OBR (Optical Braille Recognizer). El proyecto culminó en marzo de 2006, con un prototipo funcional del OBR, denominándose B-SHADE (SHADE editor for the Blind) [18].

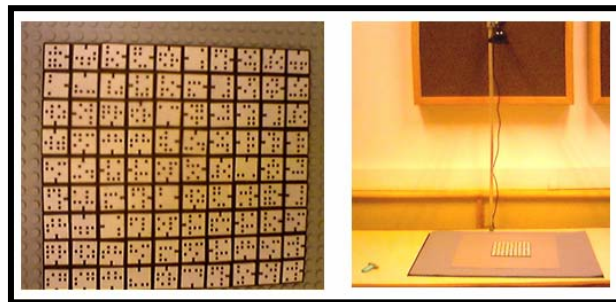


Ilustración 3: (a) Videocaptura del OBR (sin normalizar), de ladrillos con marcas Braille de B-SHADE. (b) montaje con cámara Web para videocaptura

Al momento se está avanzando en un nuevo desarrollo basado en el reconocimiento de gestos de la mano con un guante negro con un marcador de posición rojo, sobre un tapiz con marcas táctiles pintadas de blanco. Este nuevo desarrollo, surgido de las lecciones aprendidas del uso de B-SHADE permitirá una interacción más veloz y simple entre el editor visual de SHADE, denominado G-SHADE (Gestual SHADE Editor) (ver ilustración 3).

En el primer semestre del año 2006 se creó la versión definitiva del juego ADDR (Acoustic Dance Dance Revolution), [6] propuesto como prototipo en el año 2005 [15]. Este juego requiere que la usuaria o usuario pulse "teclas" de 30 X 30 cm con sus pies, siguiendo las indicaciones de una guía acústica. A diferencia de los juegos habituales DDR, en este caso las 8 "teclas" alrededor del usuario son usables, lo que incrementa la dificultad para la estimación de la precisión del origen virtual del sonido. Este juego se desarrolló sin usar SHADE y no usa efectos táctiles.

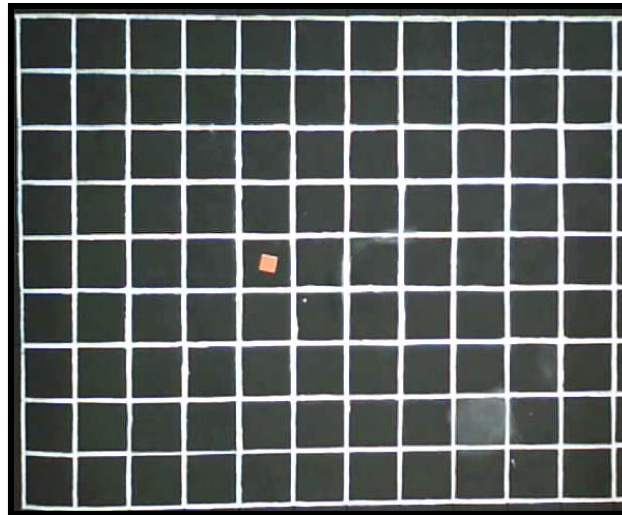


Ilustración 4: Videocaptura (sin normalizar) de carpeta en goma EVA con retícula táctil pintada, incluyendo marcador de posición rojo. Se utiliza el mismo montaje de la imagen 5.b

Este juego aún no se ha liberado a los usuarios, esperándose realizar los primeros ensayos en la primer quincena de setiembre (13 de setiembre) aprovechando el público participante a las Jornadas de Estudiantes de la Facultad de Ingeniería (usuarios con visión que tendrán sus ojos cubiertos por “antiparras de descanso” similares a las usadas en vuelo).

Por primera vez se ha desarrollado un juego que contempla en forma diferencial el público de baja visión, habilitando guías visuales (flechas) de gran tamaño (todo el monitor) y con colores que admiten distintas opciones de alto contraste, configurables por los usuarios.

Dado que un estudio con jugadores [19] otorgó una importancia relevante a la calidad del “teclado de pies” (dance pad) utilizado por los usuarios, se desarrolló un teclado de alta sensibilidad y robustez para las pruebas consiguientes.



Ilustración 5: Imágenes del “dance pad” creado en la Universidad

Este programa incluye un editor accesible de coreografías, dado que surgió de la interacción con usuarios la posibilidad de utilizar ADDR como guía para ejercicios para personas ciegas o de baja visión.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio realizado por J Höysniemi [19], de la Universidad de Tampere, Finlandia, la mejora de las constantes físicas correspondientes a un buen estado de salud mejoran en forma significativa por el uso de DDR.

El grupo de trabajo de personas con discapacidad visual con el que interactuamos se ha mostrado entusiasmado por la posibilidad de mejorar el estado físico sin requerir movilizarse fuera de sus casas. Por otra parte, habilitar a personas con dificultades visuales a diseñar sus propias coreografías o ejercicios continúa el objetivo original de inclusión.

ADDR y su editor de coreografías se liberarán al público para su distribución gratuita por Internet, una vez pasada la etapa de beta testing, que comienza a fines de setiembre. Se está creando además una página Web explicando como construir paso a paso un “dance pad” de alta resistencia y precisión, en base a fotografías del construido en la Universidad.

V) Tecnologías implicadas en los desarrollos acústico-táctiles.

Las aplicaciones acústicas que hemos desarrollado usan Microsoft Direct Sound [20,21] como capa de abstracción de la implementación de la acústica 3D multicanal y Microsoft Direct Input como capa de abstracción de la implementación de efectos táctiles basados en un Joystick con force feedback.

Estos desarrollos tuvieron como origen brindar un entorno acústico inmersivo para los usuarios finales, con refuerzo táctil de la percepción, en aplicaciones que fueran inclusivas.

1) Elementos táctiles.

Dadas las restricciones planteadas en los objetivos del proyecto, se dejó de lado el uso de interfases táctiles sofisticadas, como el PHANTOM de SensAble Technologies [22,23,24], experimentales como en el caso del SPIDAR del Tokio Institute of Technology [25] o bien discontinuadas como el caso del mouse háptico Logitech Wingman Force feedback Mouse.

El uso del joystick con retroalimentación de fuerza, permite procedimientos exploratorios limitados a la textura, dureza y contorno con limitaciones, de acuerdo a la catalogación propuesta por R. L. Klatzky [26].

El joystick como dispositivo de comando del usuario y de salida táctil es comandado mediante la librería DirectInput de Microsoft DirectX. El uso de esta librería permite que el programador se abstraiga del dispositivo real empleado, aunque la variabilidad del resultado de aplicar los mismos efectos en distintos dispositivos es muy elevada.

La creación de partituras táctiles se realiza mediante el uso de un editor especializado, desarrollado por Immersion Studios [7]. En este editor se crean las partituras basadas en tres formas de onda: cuadrada, triangular y sinusoidal. La combinación de estas formas de onda con distinta amplitud y orientación permiten producir una diversidad de efectos táctiles. Como referencia, los efectos táctiles pueden ser de baja frecuencia e inclusive un golpe único, como el disparo de un arco de flecha o el retroceso del disparo de un arma, o producir vibraciones de corta amplitud pero alta frecuencia, como la vibración de un gong, alcanzando hipotéticamente los 500 ciclos, aunque es raro utilizar frecuencias superiores a 100 ciclos.

Las partituras táctiles tienen como principal limitación el tener una orientación fija: no se las puede rotar, variar en amplitud o en frecuencia. Constituyen un efecto fijo a aplicarse o no, pero admiten ser reemplazadas por otro efecto a requerimiento.

Se han utilizado únicamente efectos hápticos consistentes en movimientos del joystick de gran amplitud y muy baja frecuencia (menos de 2 Hz) como retroalimentación táctil.

2) Elementos acústicos.

En el entorno acústico se han desarrollado estudios sobre aplicaciones estereofónicas [27] como elementos tiflotécnicos. Se ha optado en este caso por un entorno acústico más expresivo como se señaló con anterioridad (Fig. 2).

Para minimizar los efectos del ruido ambiente, la reverberación del local y el efecto de un mal posicionamiento de los altavoces; pasadas las pruebas iniciales de validación del concepto para el primer juego, la Universidad dispuso de un local acústicamente acondicionado que además dispone la posición de los altavoces y el usuario en forma fija.

La definición del audio se basa en las especificaciones requeridas por los buffers 3D de DirectSound, que producen la propagación de sonido en los emisores 5.1 generando un entorno envolvente. Los buffers 3D pueden ser primarios o secundarios. Los buffers primarios acompañan al avatar⁵ y suelen tener posición central si se considera que el juego se desarrolla en torno a los usuarios. En SHADE hemos asumido un juego user-centric por lo que solamente se definen buffers secundarios. En este sentido el editor SHADE automatiza todos los aspectos relacionados con los ángulos de propagación del sonido, el alcance de los efectos y su posicionamiento en el espacio virtual.

Cada buffer 3D (Fig. 8) permite definir una fuente de sonido (F) mediante las siguientes propiedades:

- Posición en el espacio virtual estableciendo la elevación respecto al plano neutro, positiva o negativa, la distancia a la izquierda o derecha respecto al cero y la distancia respecto al avatar⁶
- Acimut del cono de propagación (orientación del sonido) respecto a la posición asumida como “frente” del entorno virtual (t)
- Cono interno (C) (indicando la zona central de la propagación del sonido, donde el mismo es percibido como si fuese emitido en forma directa, en términos de orientación y ángulo del cono.
- Cono externo (B) (delimitando dos regiones laterales B donde el sonido se percibe disminuido, a los costados del cono central (C)
- Región de máximo volumen, donde no existe atenuación sino que el volumen alcanzó un máximo y se mantiene el mismo nivel de intensidad en cualquier punto en esta área.
- Cuando el avatar está “sobre” la fuente F se cumple la peculiaridad de que el sonido es percibido desde todos los altavoces con el mismo nivel de intensidad, impidiendo percibir una dirección de origen.
- Finalmente la zona exterior (D) donde el sonido no se percibe.

⁶ Los juegos desarrollados hasta el momento en la Universidad ORT Uruguay, exploran únicamente las acciones en el plano (2D), debido a limitantes en la simulación de la elevación.

Cabe destacar que las posiciones planteadas son virtuales: son las que se asume que ocupa el avatar dentro del espacio virtual del juego o simulador.

Existen otras propiedades secundarias que permitirían complementar estos valores: el efecto doppler por producirse movimiento en la fuente, la posibilidad de establecer que un sonido es ocluido (detrás de un impedimento acústico), entre otros posibles.

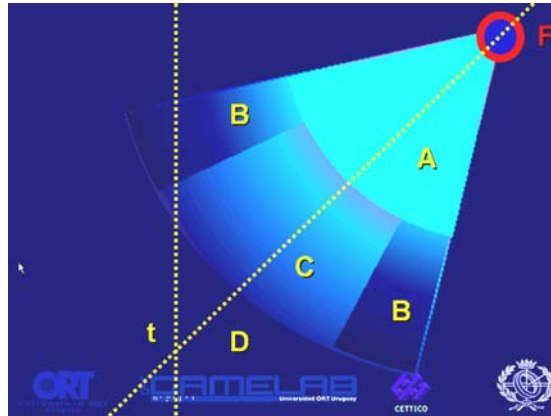


Ilustración 6: Elementos de un Buffer Secundario DirectX 3D. (A) zona de intensidad máxima de señal, (B) zona de conos secundarios de sonido (fuerte atenuación respecto a C y atenuación a medida que se aleja de F) . (C) zona de cono principal (atenuación solamente cuando se aleja de F).

Para que se perciba sonido, el avatar debe “encontrarse” virtualmente dentro de uno de los conos de emisión. Esto se señala a DirectX indicando la posición del avatar (ubicado en donde se ubica el buffer principal 3D). También se establece la posición de la fuente de sonido mediante un buffer secundario 3D que indica su posición.

Por ejemplo (ilustración 9): en (a) el avatar debería percibir la fuente puntual en forma plena desde su origen a volumen máximo, por lo que los sonidos se distribuyen en los emisores de forma que el usuario logre esta percepción; en (b) el avatar debería percibir el volumen que se definió para el cono primario con la atenuación indicada para esa distancia, una vez más, los sonidos se distribuyen de forma de producir esta percepción al usuario; en (c) el avatar percibe el sonido con la atenuación de cono secundario y con la atenuación indicada para esa distancia; por último si el avatar está fuera de los conos de propagación, no se percibe sonido alguno.

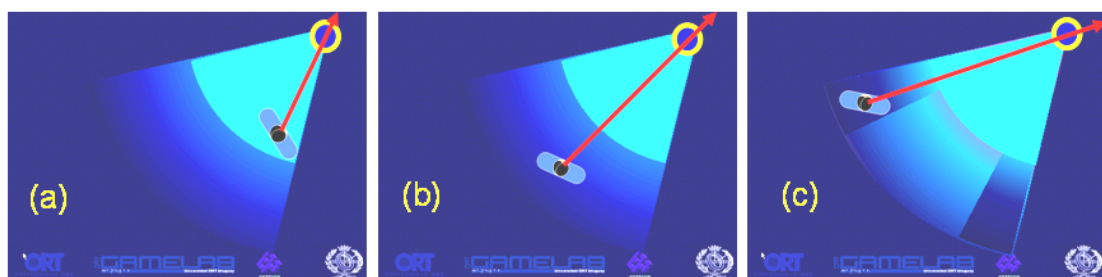


Ilustración 7: Avatar en tres posiciones en un buffer 3D secundario.

En todos los casos el sonido se distribuye entre los altavoces para generar la sensación de que el origen se encuentra en el acimut relativo esperado respecto al avatar. Se producen, además, efectos de oclusión parcial del sonido que simulan la atenuación produ-

cida por la cabeza, el pabellón auditivo y la posición relativa de la oreja respecto a la fuente. Se pueden modificar tanto la posición y orientación de la fuente como la del propio avatar.

Los sonidos utilizados para los efectos deben ser monofónicos, es el propio DirectSound que dispone la proporción de sonido que se emite por cada altavoz, así como los retardos relativos entre los mismos, de forma de generar la percepción espacial del sonido.

Por último, a medida que el avatar se aproxima a la fuente de sonido, este se propaga con más intensidad por todos los altavoces, siendo imposible determinar la ubicación espacial de la fuente en posiciones muy próximas o directamente sobre la fuente.[directsound]

3) Ingeniería de requisitos para entornos acústico-táctiles.

a) Ingeniería de requisitos sin editor.

El desarrollo de juegos acústico táctiles evidenció fuertes dificultades para comunicar las ideas a los usuarios y para percibir los alcances del posible proyecto.

Las metodologías habituales para documentar el juego planeado y exponer a los usuarios finales las ideas para validarlas antes de iniciar los desarrollos se basa en un documento, denominado “documento del juego” [28], que presenta el concepto del futuro juego, el diseño de los escenarios futuros y detalles de los personajes basado en descripciones narrativas y bocetos .

Si bien se crearon esquemas simples para definir el nivel del primer juego, estos no fueron útiles para interactuar con los usuarios finales.

La imposibilidad de comunicar en forma visual los escenarios implicó construir maquetas en cartón que representaran los futuros escenarios. La necesidad de exponer el escenario acústico y la forma en que se percibirían los personajes y objetos en el mismo fue resuelta mediante la vocalización por parte de los desarrolladores, basados en un guión escrito que indicaba cuando debía vocalizar cada uno.

Sonidos ambiente, sonidos de las paredes, puertas y piso, voces de personajes automáticos y los sonidos del propio personaje central se emularon de esta manera. El resultado fue una idea aproximada que carecía en parte de la sincronización necesaria pero ilustraba a la usuaria o usuario el concepto del juego en una maqueta acústica que se complementaba con la maqueta en cartón realizada.

Al momento la única forma de comunicar un efecto táctil es intentar reproducir la idea sobre el joystick desconectado (de modo que los “resortes electrónicos” no realicen esfuerzos sobre la mano del diseñador). En este caso, los usuarios finales pueden tomar el joystick y el diseñador moverlo para simular el efecto.

Esto solo es aplicable para efectos de baja frecuencia y con fuertes restricciones, tanto para recordar lo propuesto, como para poder documentarlo. A medida que la biblioteca de efectos terminados se extiende, es posible señalarle a los usuarios efectos que se sentirán parecidos a alguno de los ya disponibles, en este caso se indicará “similar a” (“pero con mayor amplitud”, “pero de menor duración”, etc.).

b) Ingeniería de requisitos usando el editor SHADE.

El uso del editor SHADE permite ensayar con mucho mayor realismo y velocidad distintos efectos acústico-táctiles previniendo sobre todo el exceso de efectos que suele

confundir a los usuarios. Por otra parte se pueden elegir mejor los sonidos-guía que servirán de referencia en el entorno, probando su frecuencia y duración.

El editor permite representar el escenario acústico-táctil en un entorno gráfico (Fig. 3). Cada posición de la matriz representada puede ser una posición activa del escenario: una pared, un piso, un obstáculo u objeto a ser recogido por el avatar.

A los efectos de que estos elementos se hagan evidentes para los jugadores es necesario que emitan sonidos o produzcan efectos táctiles. Para esto cada posición de la matriz admite una serie de eventos (por ejemplo: step-in, step-out, step-over) cada uno de los cuales puede disparar un efecto táctil, acústico o ambos.

Cada elemento tendrá una representación visual para facilitar la visión del diseño completo. A su vez es posible “reproducir” el entorno en forma acústico-táctil sin requerir programación extra, lo que permite interactuar con los usuarios finales y evaluar si un entorno es inteligible o no (cuando el diseñador se excede en la cantidad de efectos simultáneos, se produce un efecto de cacofonía que impide el uso del entorno).

El testeo y diseño puede realizarse con los recursos definitivos (efectos táctiles y archivos monofónicos) o bien con recursos disponibles, similares a los requeridos.

Una vez que se ha testado el entorno, se pueden asignar tareas de construcción de los efectos táctiles y de los archivos de audio requeridos.

Cuando el entorno se ha testado, el mismo se salva como mapa, siendo leído por el motor SHADE. El programador agrega entonces comportamientos especiales que puedan ser requeridos y personajes no automáticos, quedando la aplicación disponible para ser testada.

Aquí se puede desarrollar en forma simultánea la tarea de construcción de recursos con la programación. Será necesario volver a ensayar con los usuarios finales el entorno a los efectos de validar que el producto resultante cumple con las especificaciones propuestas.

Referencias.

1. Franco, S., Segovia, A., Juego auditivo “Escape de la Fortaleza de Santa Teresa”. Proyecto Final. Facultad de Ingeniería Universidad ORT Uruguay (2004)
2. Babuglia, M., Cuiñas, G., Fernández, N., Lazar, M., Pereira, P.: Audiojuegos, SHADE: Simple Haptic Acoustic Development Engine, Proyecto Final, Facultad de Ingeniería, Universidad ORT, Uruguay (2005)
3. Lorenzo, M. Sistema de medición de percepciones “Entrenamiento JEDI”, Proyecto Final, Facultad de Ingeniería, Universidad ORT, Uruguay (2006)
4. Alonso, F., Fuertes, J., Martínez-Normand, L., Szabo, H.: Análisis de Percepción en Entornos Acústicos Envloventes con Asistencia Háptica para Ciegos. AST 2005, Rosario, Argentina (2005)
5. Blauert, J.: Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization. The MIT Press Revised Edn (1996) 6-14 137-150, 237-246
6. Cohen, D., Machado, V. Acoustic Dance Dance Revolution, Pre Entrega de Proyecto Final. Facultad de Ingeniería Universidad ORT Uruguay (2006)
7. Immersion Studio for Gaming,
<http://www.hapttech.com/developer/technology/tools/index.php> (2005)
8. Dolby Laboratories Inc.: Room Layout and Speaker Setup, http://www.dolby.com/consumer/home_entertainment/roomlayout.html (2005)

9. Alonso, F., Fuertes, J., Martínez-Normand, L., Szabo, H.: Design Guidelines for Audio-Haptic Immersive Applications for People with Visual Disabilities. ICCHP 2006, Linz, Austria (2006)
10. Algazi, V., Duda, R., Durlswami, R., Gumerov, N., Tang, Z.: Approximating the head-related transfer function using simple geometric models of the head and torso. J. Acoust. Soc. Am. 112 (2002) 2053-2064
11. Algazi, R., Duda, R., Thompson, D., Avendano, C.: The CIPIC HRTF database. WASSAP '01, New York (2001)
12. Gröhn, M., Application of Spatial Sound Reproduction in Virtual Environments – Experiments in Localization, Navigation, and Orientation, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, (2006)
13. Charbonnier, A., Macchi, D., 1942: Submarine War, Proyecto de Electiva, Facultad de Ingeniería Universidad ORT Uruguay (2005).
14. Korona, N., Sienra, V., Atrapado, Proyecto de Electiva, Facultad de Ingeniería Universidad ORT Uruguay (2005).
15. Berenstein, G., Kamil, P., Alfombra de Baile Acústica, Proyecto de Electiva, Facultad de Ingeniería Universidad ORT Uruguay (2005).
16. Sánchez, J., Lumbreras, M.: Ambientes Virtuales Interactivos para Niños Ciegos, Department of Computer Science, University of Chile (2002)
17. Sánchez, J., Sáenz, M.: 3D Sound Interactive Environments for Problem Solving, Department of Computer Science, University of Chile, ASSETS'05 (2005)
18. Caramés, N., Quiring, K., Sistema de reconocimiento para la creación de audiojuegos para no videntes, Proyecto Final. Facultad de Ingeniería Universidad ORT Uruguay (2006)
19. Höysniemi, J., International Survey on the Dance Dance Revolution Game, University of Tampere, Tampere, Finland, ACM Computers in Entertainment, Vol. 4, No. 2, (2006).
20. Microsoft Corp, DirectSound Reference Manual http://msdn.microsoft.com/library/default.asp?url=/library/en-us/wcdsoun/html/_cerefDirectSoundReference.asp (2005)
21. Microsoft Corp, DirectX Tutorial, http://msdn.microsoft.com/archive/default.asp?url=/archive/en-us/directx9_m/directx/directx9m.asp (2005)
22. Sjöström, C. "The Phantasticon - Haptic Interfaces Give New Possibilities for Blind People", Master's Thesis, Certec, Lund University, Sweden, 1997.
23. Sjöström, C. "Using Haptics in Computer Interfaces for Blind People", CHI2001, Seattle, Washington, USA, 2001.
24. Magnusson, D., Rasmus-Gröhn, K., Sjöström, C., Danielsson, H., "Haptic 3D Object Recognition – a Study with Blind Users", Vision 2002, Göteborg, Sweden, 21-25 Julio, 2002.
25. Sato, M.: Development of String-based Force Display: Development of String-based Force Display, SPIDAR Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology (2002)
26. Klatzky, R. L.: Procedures for haptic object exploration vs. manipulation. In: Goodale, M. (ed.): Vision and action: The control of grasping. Ablex, New Jersey (1990) 110-127
27. Ortega, P.: Juegos Educativos Para Ciegos: El Ahorcado. Final-year project, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid (2004)
28. Bethke, E., Game development and production, Texas: Wordware, 2002, 52-76

Anexo: Descripción de los experimentos y resultados obtenidos:

1) Escape de la Fortaleza de Santa Teresa I.

a) Pruebas tempranas de la tecnología.

Antes de realizar los ensayos formales, el entorno permitía que el usuario girara en forma continua, admitiendo un movimiento mínimo de acimut de un grado.

El ensayo informal por parte de los desarrolladores, quien suscribe y dos voluntarios arrojó un elevado nivel de complejidad al perderse la orientación con mucha facilidad.

Por esta razón, tempranamente se optó por reglas de juego que habilitara solamente el giro discreto en ángulos rectos.

b) Primeras mediciones (concept validation) DIC 2003.

Se hizo para validar que la tecnología era viable. Esta prueba se realizó en un entorno de acústica no controlada.

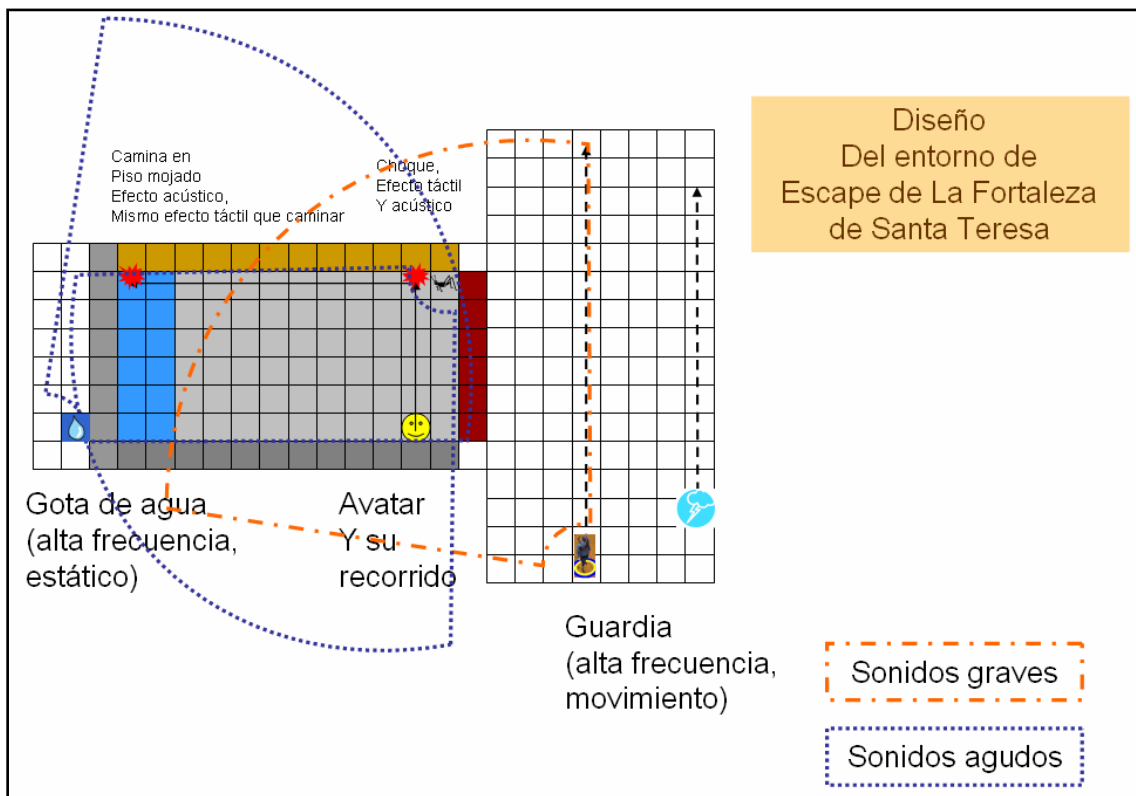


Ilustración 8: Muestra del mapa del escenario virtual para el experimento

La realizaron cinco usuarios:

- 001: ciega adquirida, 15 años, 7 años de ceguera. Dos ensayos, en la misma sesión.
- 002: con visión, 16 años. Un ensayo.
- 003: con visión: 19 años. Tres ensayos, en distintas sesiones.
- 004: con visión, 20 años. Tres ensayos, en distintas sesiones.
- 005: con visión, 45 años. Cinco ensayos, en distintas sesiones.

Concepto del experimento: el usuario se encuentra en una habitación virtual en la que se desplaza mediante joystick. Cada paso que avanza produce efectos táctiles y acústicos. Esta habitación virtual mide 6 pasos de ancho (0,5 mt) por 12 pasos de largo.

Fuera del contexto del juego, el experimentador conduce al avatar dentro de la habitación a una posición determinada, luego de realizar rotaciones para desorientar al usuario.

Una vez que el usuario está orientado en la posición adecuada para el testeo, se solicitan las siguientes apreciaciones:

- Dónde percibe el sonido guía (gota). Este es un sonido de buffer 3D compuesto de tonos agudos, de posición fija.
- Dónde percibe los truenos. Este es un sonido de buffer 3D compuesto de tonos medios y graves. Según el momento del testeo era de posición fija o móvil. Se intentó utilizarlo como sonido guía pero resultó poco práctico por la elevada imprecisión en su percepción.
- Donde percibe la posición de los guardias. Este es un sonido de buffer 3D compuesto de tonos medios y agudos, que representan personajes automáticos de los cuales se conoce el tiempo de realizar un ciclo de ida y vuelta, además de contar con sonidos especiales en los giros en los extremos.

Este ensayo se repite en cuatro orientaciones distintas, que constituyen una sesión, luego se descansa, contestándose preguntas de una encuesta. En algunos casos los ensayos sucesivos se hicieron en distintos días.

Luego de hecho el ensayo, se permite que el usuario continúe el juego, a los efectos de conocer mediante encuestas su opinión del producto. Existen varios aspectos que se evalúan:

- Cómo se perciben los efectos táctiles de “golpe” contra las paredes.
- Si se percibió que la tormenta “se iba”, dado que esta fuente de sonido está en movimiento lento (“sur – norte”) del entorno virtual.
- Si se percibió el movimiento de los guardias.
- Si se percibió el cambio de posición de la gota de agua al rotar
- Cómo percibió el efecto táctil de caminar y de rotar.
- En caso de ganar cómo percibió “empujar” el “bloque de piedra flojo” en la pared (este generaba un sonido de relativa baja frecuencia muy cercano y un fuerte efecto táctil de vibración y “roce rugoso”).

2) Escape de la Fortaleza de Santa Teresa II – SHADE.

a) Ensayos SHADE (validación de SHADE) JUL/AGO 2004.

Cuando se desarrolló el motor de juegos SHADE se llegó a una primera fase donde se deseaba construir el mismo juego del año anterior, pero en el nuevo entorno. Esta primera serie de ensayos tenía por objetivo probar que el entorno mantenía o mejoraba la calidad del producto del año anterior.

Los realizaron cuatro usuarios:

- 001: ciega adquirida, 16años, 8 años de ceguera.
- 002: con visión, 17 años.
- 005: con visión, 46 años.
- 006: con visión: 19 años.

Se intentó copiar todas las prestaciones del espacio anterior, utilizando el editor de SHADE se recreó el ambiente, habilitando las mismas funcionalidades que en el caso anterior.

Se prescindió de las guías acústicas de tono grave (truenos) y el aviso de que el juego se termina mediante truenos “que se van”, optándose por un mecanismo más simple: los guardias dicen cada 30 minutos tiempo de juego (10 minutos reales) cuanto tiempo le queda al usuario “te quedan xxxx horas de vida”.

Siendo el espacio virtual el mismo, se optó por realizar los mismos ensayos que en primera instancia. Se intentó realizar estas pruebas en otro escenario, de entrenamiento, pero resultó más complejo que el primer nivel y su perfil muy irregular dificultó su uso para la evaluación.

b) Ensayo completo SHADE (testeo de SHADE, nivel avanzado) diversos ensayos en el 2005.

Los realizaron cuatro usuarios:

- 002: con visión, 18 años.
- 005: con visión, 47 años.
- 007: ciego, congénito, 40 años.
- 008: ciego, adquirido, 25 años.
- 009: con visión, 46 años.
- 010: con visión: 19 años.
- 011: con visión: 21 años.
- 012: ciego, adquirido, 15 años.
- 013: con visión, 24 años.

En este caso se comenzaron a incorporar mediciones más formales y se agregaron nuevos sonidos y elementos táctiles para el testeo. Particularmente comenzaron a usarse indicadores táctiles para sonidos de baja frecuencia. En este caso se mejoró mucho la percepción de los usuarios.

Para usuarios nuevos, se comenzó probando con el nivel básico (el nivel de entrenamiento no fue usado por los usuarios, por su dificultad y carencia de metas).

Se usó el mismo método básico, conduciendo al avatar a posiciones conocidas con recorridos que desorientan al usuario sobre la ubicación de los sonidos guía. Aquí, dadas las mayores distancias en el nivel, existen varios sonidos guía que se van alternando. Genéricamente son sonidos de alta frecuencia, algunos de ellos continuos y otros intermitentes.

Se agruparon las distintas mediciones por sus distintas características.

3) Entrenador Jedi.

a) Ensayo preparatorio (evaluación acústico táctil con “Entrenador Jedi”) junio 2006.

Este ensayo no se ha tenido en cuenta para estos estudios, dado que fue utilizado para tomar los tiempos de la realización de las encuestas previas y validar el proceso experimental con los usuarios.

El principal aporte de este ensayo ha sido evaluar efectos táctiles en la ausencia de sonido, obteniendo respuestas similares por parte de los distintos participantes (una persona ciega, dos con baja visión), ninguno de los cuales había probado anteriormente la tecnología.

4) Tabla resumen.

En esta tabla se integran las medidas efectuadas, normalizadas. Esto lleva a que en ciertas medidas precisas (tomadas marcando la posición indicada por el usuario sobre una hoja en el propio banco de trabajo) se reduzcan a las más imprecisas llevadas a cabo en la primer experimento.

	SONIDO ESTÁTICO / MEDICIÓN DE 3DSAA								SONIDO EN MOVIMIENTO / DETECCIÓN DEL MOVIMIENTO															
USUARIO	Sonido AGUDO				Sonido GRAVE				Sonido AGUDO, ANGULO PEQUEÑO				Sonido GRAVE, ANGULO PEQUEÑO				Sonido AGUDO, ANGULO GRANDE				Sonido GRAVE, ANGULO GRANDE			
	A: Menos de 30°, B: Menos de 45°, C: Menos de 90°				A: Menos de 30°, B: Menos de 45°, C: Menos de 90°				R: RAPIDO L: LENTO N: NINGUNO X: NO EVALUADO				R: RAPIDO L: LENTO N: NINGUNO X: NO EVALUADO				R: RAPIDO L: LENTO N: NINGUNO X: NO EVALUADO				R: RAPIDO L: LENTO N: NINGUNO X: NO EVALUADO			
	IZQUIERDA	FRENTE	DERECHA	DETRAS	IZQUIERDA	FRENTE	DERECHA	DETRAS	IZQUIERDA	FRENTE	DERECHA	DETRAS	IZQUIERDA	FRENTE	DERECHA	DETRAS	IZQUIERDA	FRENTE	DERECHA	DETRAS	IZQUIERDA	FRENTE	DERECHA	DETRAS
001	A	A	A	C	A	A	A	C	R L	R L	R L	N	N	N	N	N	R L	R L	R L	R	R	N	N	R
002	A	B	B	D	B	B	C	D	R L	R	R L	N	N	N	N	N	R L	R L	R L	R	R	N	R	N
003	A	B	B	C	B	A	A	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
004	A	B	A	D	A	B	B	D	R	R	R	N	N	N	N	N	R	R	R L	N	N	N	N	N
005	B	A	B	C	B	B	B	B	R L	R	R	R	R	N	N	N	R L	R	R L	R	R	N	N	N
006	B	B	A	B	C	A	C	D	R	R	R L	N	N	N	N	N	R L	R	R L	R	R	N	R	N
007	A	B	A	B	A	A	B	C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
008	A	A	A	C	B	A	A	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
009	B	C	A	C	B	C	B	D	R L	R	R	R	N	N	R	N	R	R	R	N	R	N	R	R
010	A	B	A	B	B	A	A	D	R	N	R L	N	N	N	N	N	R L	N	R L	R	R	N	N	R
011	B	B	C	D	B	B	B	C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
012	A	B	A	C	A	B	A	D	R L	R	R	R	R	N	N	N	R L	R	R L	R	R L	N	N	R
013	A	B	A	C	A	C	B	C	R	N	R	N	N	N	N	N	R	N	R	N	R L	N	R L	R