

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 812 503**

51 Int. Cl.:

H04S 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2011** **E 11159001 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020** **EP 2503799**

54 Título: **Método y sistema para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas mediante síntesis de campo acústico virtual**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.03.2021

73 Titular/es:

DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)
Friedrich-Ebert-Allee 140
53113 Bonn, DE

72 Inventor/es:

AHRENS, JENS y
SPORS, SASCHA

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 812 503 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas mediante síntesis de campo acústico virtual

5 Campo técnico
La invención reivindicada se refiere a un método y sistema para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas mediante síntesis de campo acústico virtual, preferentemente síntesis de campo acústico local. La invención se refiere en particular a un método y a un sistema de este tipo para el uso en entornos dinámicos virtuales binaurales sonoros.

Estado de la técnica

15 La percepción sonora espacial del ser humano se basa esencialmente en la evaluación de las diferencias entre las señales acústicas de ambos oídos. Las diferencias resultan entre otras, debido a las propiedades acústicas de los oídos externos en relación con una posición de fuente dada. Los oídos externos comprenden esencialmente el tronco, cabeza y las orejas. La señal de una fuente acústica se modifica mediante reflexión, difracción y refracción en el oído externo. Las propiedades acústicas de los oídos externos pueden caracterizarse bien mediante la medición de la vía de transmisión de una fuente a los canales auditivos. Para ello se mide habitualmente la función de transmisión de un altavoz hacia micrófonos colocados en los canales del oído. Estas funciones de transmisión se denominan funciones de transmisión de oído externo (en inglés "Head-Related Transfer Function(s)"). Tienen un papel importante en la investigación del oído humano y para la acústica virtual. En general las funciones de transmisión de oído externo son diferentes de persona a persona. Dependen además de ello de la posición y de las características de la fuente que se usaron para la medición.

25 La medición de las funciones de transmisión de oído externo se lleva a cabo habitualmente mediante uno o varios altavoz(ces). Éstos se encuentran típicamente sobre un recorrido circular o superficie esférica con la cabeza en el punto central. Las mediciones se llevan a cabo entonces secuencialmente para cada posición de altavoz. Este modo de proceder da como resultado un conjunto de funciones de transmisión de oído externo para diferentes ángulos dada una separación fija de la fuente. Las mediciones se llevan a cabo típicamente para una cabeza fijada. Los conjuntos de datos actualmente disponibles comprenden habitualmente solo una única separación de fuente. A menudo ésta se encuentra habitualmente en el intervalo de 1,5-3 m medido desde el centro de la cabeza. Solo estas mediciones sencillas para una separación son habitualmente ya muy laboriosas en lo que a tiempo y recursos se refiere. Son particularmente interesantes distancias cortas hasta la fuente (campo próximo) dado que la función de transmisión de oído externo cambia aquí esencialmente sus propiedades. Las funciones de transmisión de oído externo tienen un papel importante en la acústica virtual. Durante una reproducción binaural pueden generarse fuentes acústicas virtuales mediante el filtrado de una señal de fuente $x(t)$ con la función de transmisión de oído externo izquierda/derecha (H_L y H_R) y presentación de las señales filtradas mediante auriculares. Las funciones de transmisión de oído externo se seleccionan a este respecto de una base de datos en correspondencia con la posición deseada de la fuente virtual. A este respecto es importante tener en consideración la posición actual de la cabeza, por ejemplo mediante un rastreador de cabeza, para que las fuentes virtuales tengan también una posición estable en el espacio en caso de rotación de la cabeza. Mediante llamada compensación diafónica pueden reproducirse las señales también mediante altavoces.

45 Las posiciones de las fuentes virtuales están condicionadas por principio limitadas a las posiciones que se encuentran a disposición en la base de datos de las funciones de transmisión de oído externo. Debido al esfuerzo se mide habitualmente solo a una distancia fija pero para una pluralidad de ángulos en un recorrido circular/superficie esférica. Para superar las limitaciones resultantes de ello en lo que se refiere a las posibles posiciones de fuentes acústicas virtuales, se desarrolló una serie de principios para modificar la distancia medida posteriormente. Además de la reproducción binaural descrita arriba, la cual se basa en el uso de funciones de transmisión de oído externo, existe también una serie de principios basados en altavoces en la acústica virtual, que se presentarán brevemente a continuación.

55 [1] y [2] se refieren a métodos para la síntesis de campo de ondas. La síntesis de campo de ondas posibilita la reconstrucción física de un campo acústico a través de una zona extendida. Pueden usarse cualesquiera disposiciones de altavoces convexas o rectas, que no han de ser obligatoriamente cerradas. En la zona acústica potencial, por ejemplo dentro de una disposición de altavoces, no existe ningún "Sweet Spot" (punto óptimo) acentuado por la totalidad del intervalo de frecuencia audible, en el cual la reconstrucción del campo acústico deseado sea significativamente más precisa que en el resto del intervalo acústico. En el caso de realizaciones prácticas existen grandes desvíos del campo acústico deseado por la totalidad del intervalo de oyente potencial. Las señales de control de altavoz pueden calcularse analíticamente. Una propiedad esencial de la síntesis de campo de ondas es la posibilidad de generar llamadas fuentes focalizadas. Esto es la imitación del campo acústico de una fuente acústica, la cual se encuentra entre el oyente y los altavoces. [5] Se refiere a fuentes acústicas focalizadas.

65 Un método adicional de la acústica virtual es Ambisonics. [3] Se refiere a la formulación tradicional de Ambisonics, requiriendo este método disposiciones circulares o esféricas de altavoces. Con la ayuda de algoritmos numéricos se generan las señales de altavoz, las cuales conducen a la reproducción del campo acústico deseado. La limitación

necesaria en el método de cálculo, del ancho de banda espacial de la función de control, da lugar a que la reconstrucción del campo acústico deseado presente la mayor precisión en el centro de la disposición de altavoces ("Sweet Spot"). Cuanto más alejado esté el lugar observado del centro, mayores resultarán los desvíos.

5 [4] Se refiere a ampliaciones de la formulación tradicional de Ambisonics. Éstas permiten el cálculo analítico de las señales de control de altavoces, que es mucho más eficiente que métodos numéricos. Continúa existiendo no obstante la restricción, de que el "Sweet Spot" se encuentre en el centro de la disposición de altavoces, y de que solamente puedan usarse estructuras de altavoces circulares o esféricas.

10 Ambos métodos, la síntesis de campo de ondas y Ambisonics ampliado, persiguen la reproducción precisa física en un campo de oyente lo más grande posible. En la realización práctica de ambos métodos existen no obstante límites en la exactitud que puede ser lograda. La cantidad finita de altavoces conduce a una serie de artefactos, los cuales se presentan en parte en la totalidad del campo del oyente. Esto ha conducido al desarrollo de una serie de principios, los cuales permiten una precisión mayor en un campo de oyente delimitado, que síntesis de campo de ondas o Ambisonics.

15 El documento EP 2182744 se refiere a un método de Ambisonics, pudiendo disponerse libremente Sweet Spots o área óptima dentro de una disposición de altavoces cerrada. Las señales de control de altavoces pueden calcularse analíticamente. El método es significativamente más eficiente que otros principios pero está limitado a disposiciones cerradas (por ejemplo circulares).

20 El principio presentado en [6] se basa en el concepto de fuentes secundarias virtuales dispuestas densamente en el espacio para mejorar la precisión de la síntesis. Las fuentes virtuales se realizan a este respecto mediante fuentes acústicas focalizadas. Este principio puede realizarse de manera particularmente eficiente mediante síntesis de campo de ondas.

25 El principio presentado en [7] se basa en una limitación de banda espacial de las señales de control de los altavoces. De este modo se logra una zona limitada con precisión aumentada de la síntesis, que puede disponerse libremente en el campo de oyente.

30 El documento DE 10 2007 032 272 y el documento DE 10 2005 003 431 describen la realización técnica de un auricular virtual, que se denomina también Binaural Sky. A este respecto se generan respectivamente una o varias fuentes acústicas virtuales en la proximidad de los oídos del oyente, para simular un auricular. Estas fuentes acústicas virtuales se realizan mediante focalización acústica. Estas fuentes acústicas virtuales funcionan mediante una llamada compensación diafónica, que compensa la diafonía de las señales en dirección hacia los oídos alejados. Esta es una técnica habitual en la reproducción de señales binaurales a través de altavoces. Las fuentes virtuales siguen el movimiento de la cabeza, debido a ello puede mantenerse constante la compensación diafónica en caso de movimientos de la cabeza. La síntesis de funciones de transmisión de oído externo, para realizar propiedades distintas de las presentes en la base de datos, no se tiene en consideración. Se aprovecha además de ello la síntesis de campo acústico en el método solo para la generación de las fuentes para el auricular virtual y no para la síntesis de un campo acústico en una zona local.

35 [11] Se refiere a un método del Ambisonics virtual, en cuyo caso se realiza una representación binaural de un sistema Ambisonics de orden mayor. En este caso se reproducen binauralmente altavoces virtuales mediante uso de las correspondientes funciones de transmisión de oído externo. Las señales de control de los altavoces virtuales se calculan mediante Ambisonics de orden mayor. A este respecto en el caso de los altavoces virtuales y de la fuente virtual se parte de forma simplificada del modelo de la onda plana. La distancia de una fuente virtual se realiza mediante una demora de tiempo simple. El método comprende además de ello un modelo espacial simple. La síntesis de funciones de transmisión de oído externo no se tiene aquí en consideración. El modelo usado no permite además de ello para la fuente virtual ninguna consideración física de la distancia, por ejemplo a través de una curvatura de los frontales de onda y no se adecúa de este modo bien para la síntesis de fuentes próximas.

40 Los principios conocidos para la modificación de la distancia de fuente (percibida) en las funciones de transmisión de oído externo pueden clasificarse en tres clases: (1) ponderación de la amplitud, (2) modificación de la respuesta en frecuencia y (3) extrapolación de los datos medidos.

45 En el caso de la primera clase se pondera la correspondiente función de transmisión de oído externo independientemente de la frecuencia para modelar el volumen en aumento de una fuente al reducirse la distancia con el oyente. En este principio se ignoran las modificaciones espectrales de las funciones de transmisión de oído externo, especialmente para fuentes próximas. En la segunda clase de principios se modelan precisamente estas modificaciones espectrales mediante filtros adecuados. De este modo es conocido por ejemplo que fuentes muy próximas dan lugar a un aumento de esta respuesta en frecuencia en caso de frecuencias bajas.

50 La primera y la segunda clase se basan en general en ideas psicoacústicas, a diferencia de la tercera clase, la cual se basa en ideas físicas. En el contexto de esta invención es de particular interés la tercera clase de principios. De la descripción física fundamental de la expansión acústica se conoce que la presión acústica y su gradiente en el borde

de un contorno son suficientes para determinar inequívocamente el campo acústico dentro de este contorno. El método se denomina extrapolación de un campo acústico. Este principio básico se utilizó en el problema de la generación de funciones de transmisión de oído externo sintéticas. Debido a la geometría esférica presente es ventajoso a este respecto dividir los campos acústicos en lo que se refiere a llamados armónicos esféricos. En [8, 9] se representan dos métodos, los cuales permiten la extrapolación de funciones de transmisión de oído externo medidas desde una separación medida a otra separación. Los métodos tienen tres desventajas importantes: (i) debido al modelo físico la separación mínima de las fuentes virtuales está limitada por la cabeza y el tronco del oyente y (ii) la complejidad numérica es relativamente alta y (iii) es inherentemente inestable numéricamente. Esto se cumple en particular en el caso de fuentes virtuales próximas.

Para solucionar el problema de la inestabilidad inherente en el caso de fuentes virtuales con separación reducida, se propuso un principio en [10]. Éste se basa en el uso de modelos multipolares, soluciona el problema de la complejidad e inestabilidad solo parcialmente.

Referencias:

[1] A.J. Berkhout, D. de Vries, and P. Vogel. Acoustic control by wave field synthesis. *Journal of the Acoustical Society of America*, Volume 93(5):2764-2778, May 1993.

[2] S. Spors, R. Rabenstein, and J. Ahrens. The Theory of Wave Field Synthesis Revisited. In proceedings of 124th Convention of the Audio Engineering Society, May 17-20, Amsterdam, The Netherlands, 2008

[3] J. Daniel, Representation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimedia, PhD thesis, Université Paris 6, 2001

[4] J. Ahrens and S. Spors. Analytical driving functions for higher order Ambisonics. In IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), Las Vegas, Nevada, March 30th-April 4th 2008.

[5] S. Spors, H. Wierstorf, M. Geier, and J. Ahrens. Physical and perceptual properties of focused sources in wave field synthesis. In 127th AES Convention. Audio Engineering Society (AES), October 2009.

[6] S. Spors and J. Ahrens. Local sound reproduction by virtual secondary sources. In AES 40th International Conference on Spatial Audio, Tokyo, Japan, October 2010. Audio Engineering Society (AES).

[7] J. Ahrens, "The single-layer potential approach applied on sound field synthesis and its extension to nonenclosing distributions of secondary sources," Ph.D. dissertation, Technische Universität Berlin, 2010.

[8] R. Duraiswami, D. Zotkin, and N. Gumerov, "Interpolation and range extrapolation of hrtfs," in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), Montreal, Canada, May 2004.

[9] W. Zhang, T. Abhayapala, and R. Kennedy, "Modal expansion of HRTFs: continuous representation in frequency-range-angle," in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), Taipei, Japan, 2009.

[10] D. Menzies, "Calculation of near-field head related transfer functions using point source representations," in Ambisonics Symposium, Graz, Austria, June 2009.

[11] M. Noisternig, A. Sontacchi, T. Musil, and R. Hördrich, "A 3D Ambisonic based binaural sound reproduction system," in AES 24th International Conference on Multichannel Audio. Banff, Canada: AudioEngineering Society (AES), June 2003.

[12] J. Ahrens and S. Spors. Implementation of directional sources in wave field synthesis. In IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, New Paltz, USA, October 2007.

Exposición de la Invención

Es por lo tanto objetivo de la invención poner a disposición un método y un sistema para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas.

Este objetivo se soluciona mediante un método y un sistema de acuerdo con las reivindicaciones independientes 1 y 10. Las reivindicaciones dependientes 2 a 9 se refieren a formas de realización particulares.

El concepto de la invención se refiere al aprovechamiento de métodos de la síntesis de campo acústico para el cálculo o la generación de funciones de transmisión de oído externo sintéticas.

Este cálculo se produce de acuerdo con un aspecto de la invención mediante la puesta a disposición de una base de datos de pares de funciones de transmisión de oído externo para una pluralidad de primeras posiciones de fuente, determinándose respectivamente al menos un par de funciones de transmisión externa para una primera posición de

fente a través de una medición. Cada uno de estos pares de funciones de transmisión de oído externo se interpreta como altavoz virtual en la correspondiente primera posición de fuente. Mediante el uso de los altavoces virtuales se calculan mediante un método de la síntesis de campo acústico para al menos una fuente acústica virtual en otra posición de fuente al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas.

5 Los altavoces virtuales pueden usarse como fuentes acústicas elementales para la generación de un campo acústico cualquiera mediante un método de síntesis de campo de ondas. Mediante un método de este tipo pueden calcularse las señales de control para los altavoces virtuales en lo que se refiere a valor y fase de tal modo que una superposición ponderada del campo acústico elemental provocado por cada altavoz virtual da como resultado el campo acústico deseado en su totalidad. El campo acústico deseado es en este caso un campo acústico, el cual resulta de una fuente acústica virtual cualquiera, la cual puede estar dispuesta en un lugar cualquiera en el espacio. Debido a ello es posible sintetizar una función de transmisión, la cual se corresponde con la propagación acústica de una fuente acústica virtual cualquiera. Se trata por lo tanto de una función de transmisión de oído externo sintética. El método de cálculo puede usarse para el establecimiento de una base de datos con funciones de transmisión de oído externo sintéticas calculadas a priori para una pluralidad de posiciones de la fuente acústica virtual. Puede hacerse uso de una base de datos de este tipo para la modelación de paisajes sonoros cualesquiera.

De acuerdo con otro aspecto de la invención se pone a disposición un modelo espacial, simulándose recorridos y propiedades de propagación. Preferentemente se sintetiza al menos una fuente espejo, que forma parte de una fuente acústica virtual. Para ello puede usarse un método para la síntesis de campo acústico normal. En general puede llevarse a cabo el cálculo mediante síntesis de campo acústico local virtual u otros métodos de la síntesis de campo de ondas.

Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema para llevar a cabo un método para el cálculo de la generación de funciones de transmisión de oído externo sintéticas.

Las funciones de transmisión de oído externo caracterizan la propagación acústica de la fuente acústica usada en la medición hacia los oídos del oyente. En caso de medirse ahora un conjunto de datos completo de función de transmisión de oído externo para una pluralidad de posibles posiciones de fuente, entonces estas posiciones de fuente pueden interpretarse como altavoces virtuales. Mediante la superposición ponderada de las señales de altavoz puede simularse entonces la influencia del conjunto completo de estos altavoces virtuales en el oído del oyente. En caso de controlarse ahora estos altavoces virtuales con un método de la síntesis de campo acústico, entonces pueden sintetizarse señales de oído para casi cualquier posición de fuente virtual. Pueden tenerse en consideración giros de la cabeza mediante el intercambio dinámico de las funciones de transmisión de oído externo usadas.

Con este método de acuerdo con la invención pueden interpolarse y extrapolarse funciones de transmisión de oído externo y pueden ponerse a disposición conjuntos de datos de funciones de transmisión de oído externo con otras distancias de la fuente que aquellas presentes en la medición. Adicionalmente pueden calcularse funciones de transmisión de oído externo sintéticas para modelos de fuente complejos a partir de mediciones de fuentes sencillas.

Descripción breve de las figuras

El método y el sistema asignado de la invención se describen con mayor detalle a continuación mediante ejemplos de realización y los dibujos.

45 Muestran:

- 50 La figura 1 una representación esquemática para la medición de una función de transmisión de oído externo izquierda/derecha y aprovechamiento de ésta para la acústica virtual,
- La figura 2 una estructura esquemática para la descripción del principio de actuación del método de la síntesis de campo acústico para la generación de funciones de transmisión de oído externo sintéticas de una forma de realización,
- La figura 3 un diagrama de bloques de una forma de realización de un sistema para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas mediante la síntesis de campo de ondas local de una forma de realización,
- 55 La figura 4 un diagrama con un conjunto de datos medido de funciones de transmisión de oído externo izquierdas,
- La figura 5 un diagrama con una base de datos de funciones de transmisión de oído externo izquierdas sintéticas, las cuales fueron calculadas a través de síntesis de campo de ondas, y
- 60 La figura 6 un diagrama con una base de datos de funciones de transmisión de oído externo izquierdas sintéticas, las cuales fueron calculadas a través de síntesis de campo de ondas local.

Descripción detallada de las formas de realización

En la figura 1 se muestra una representación esquemática para la medición de una función de transmisión de oído externo izquierda o derecha (mitad izquierda de la figura 1) y un diagrama de bloques para el aprovechamiento de estas funciones de transmisión de oído externo para la acústica virtual (mitad derecha de la figura 1). Tal como se representa esquemáticamente en la mitad izquierda de la figura 1, se usa para la medición de las funciones de

transmisión de oído externo un altavoz, el cual está dispuesto en una posición de fuente determinada, emitiendo este altavoz una señal de fuente $x(t)$. Las ondas acústicas que se propagan están representadas esquemáticamente y alcanzan el oído izquierdo o derecho de un oyente, el cual está posicionado en el espacio en una posición relativa determinada con respecto al altavoz. La posición relativa puede describirse mediante una determinada separación entre altavoz y posición del oyente y una determinada dirección referida a un sistema de coordenadas espaciales. Además de ello la posición relativa puede comprender informaciones sobre la posición de giro de la cabeza del oyente en relación con el sistema de coordenadas espaciales. Durante la medición se usan micrófonos, los cuales se disponen en la posición del oído izquierdo o del oído derecho del oyente. A este respecto se determina la señal $X_L(t)$ detectada con el micrófono en la posición del oído izquierdo mediante una función de transmisión $h_L(t)$. De igual modo se determina la señal $X_R(t)$ grabada con el micrófono derecho en la posición del oído derecho del oyente mediante la función de transmisión $h_R(t)$.

Esta medición puede llevarse a cabo para una pluralidad de primeras posiciones de fuente. Puede disponerse por ejemplo un altavoz en primeras posiciones de fuente sobre un contorno 7 circular tal como se muestra en la figura 2. Para ello se dispone el altavoz de forma sucesiva en cada una de las primeras posiciones de fuente y se lleva a cabo la medición y se memorizan las respectivas funciones de transmisión con las indicaciones sobre la respectiva posición de fuente y la posición de giro de la cabeza en una base de datos. Alternativamente puede usarse para la determinación de las funciones de transmisión una pluralidad de altavoces, los cuales están dispuestos en un espacio en respectivamente correspondientes primeras posiciones de fuente. A este respecto pueden hacerse funcionar sucesivamente los altavoces individuales y emitirse la correspondiente señal de fuente $x(t)$ y enviarse mediante propagación acústica hacia el oyente presente en el espacio.

Las funciones de transmisión de oído externo medidas usadas para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas, de primeras posiciones de fuente, se ponen a disposición en una base de datos. En la mitad derecha de la figura 1 se muestra el principio para el uso de funciones de transmisión de oído externo en la acústica virtual. En la reproducción binaural pueden generarse fuentes acústicas virtuales mediante el filtrado de una señal de fuente $x(t)$ con la función de transmisión de oído externo izquierda/derecha ($H_L(\omega)$ y $H_R(\omega)$) y presentación de las señales filtradas mediante auriculares. Individualmente se guía una señal de entrada $x(t)$, la cual se corresponde con una determinada señal de fuente, a través de dos instalaciones de filtro a los dos altavoces de un auricular. En dependencia de la posición de la fuente virtual y de la posición de la cabeza del oyente se transmiten las correspondientes funciones de transmisión de oído externo desde una base de datos HRTF a las instalaciones de filtro para el oído izquierdo y el oído derecho. Individualmente se configura la instalación de filtro para el oído izquierdo de tal modo que reproduce las funciones de transmisión $H_L(\omega)$ para el oído izquierdo. De igual modo se configura la instalación de filtro para el oído derecho en correspondencia con las funciones de transmisión de oído externo para el oído derecho $H_R(\omega)$. La señal de entrada se filtra con la instalación de filtrado izquierda/derecha y se guía al altavoz izquierdo/derecho del auricular.

Una forma de realización para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas se representa en la figura 2. A partir de la señal 1 de una fuente acústica virtual 8 se calculan a través de un algoritmo de la síntesis de campo acústico 2 preferentemente de una síntesis de campo acústico local, señales de control 5 para la reproducción de la fuente acústica 8 virtual a través de los altavoces 6 virtuales en la zona local. Los altavoces 6 virtuales están dispuestos en este ejemplo en un contorno circular 7, estando dirigidos todos los altavoces hacia el centro de un círculo, donde se representa esquemáticamente una zona local 14 en el centro. En la zona local 14 se encuentra un oyente. Para el algoritmo de la síntesis de campo acústico se usan por ejemplo el tipo de fuente 3 y la posición de fuente 4 y dado el caso la posición de la zona local 14 como información adicional. La propagación acústica de un altavoz 8 virtual hacia los oídos se caracteriza por una función de transmisión de oído externo 10, 11 izquierda/derecha. Las bases de datos de función de transmisión de oído externo se miden típicamente en contornos circulares/esféricos 7. La señal de oído izquierda/derecha para la fuente acústica 8 virtual se obtiene a través de la superposición de todas las señales de altavoz 5 virtuales, las cuales se han filtrado con la respectiva función de transmisión de oído externo 12, 13. Pueden tenerse en consideración giros de cabeza y modificaciones de posición del oyente mediante el intercambio dinámico de las funciones de transmisión de oído externo 12, 13.

Con el método descrito pueden calcularse también bases de datos de funciones de transmisión de oído externo sintéticas. Para ello se toma como señal de fuente 1 de una fuente virtual un impulso y se calcula la respuesta de impulso completa de la fuente acústica 8 virtual a los oídos. Mediante variación de la posición de fuente, por ejemplo sobre un contorno 9 circular o esférico, puede calcularse un conjunto de datos sintético de funciones de transmisión de oído externo.

Los métodos adecuados en principio de síntesis de campo acústico son, debido a la geometría básica circular/esférica de las funciones de transmisión de oído externo medidas, por ejemplo la síntesis de campo de ondas y Ambisonics de orden mayor. En un principio teórico los dos métodos parten de una distribución continua espacial de altavoces (fuentes secundarias). En la práctica las funciones de transmisión de oído externo están disponibles no obstante solo en posiciones discretas espacialmente. Esto conduce a artefactos en las señales de oído sintetizadas o en las funciones de transmisión de oído externo sintetizadas debido a la discretización espacial. Este es incluso el caso cuando las funciones de transmisión de oído externo se exploran de manera relativamente delicada. Se producen por ejemplo en una función de transmisión de oído externo sintética a partir de una frecuencia

de aproximadamente 10 kHz artefactos, cuando las funciones de transmisión de oído externo usadas han de medirse en pasos de 1 grado en caso de una distancia de 2-3 metros en el caso de la fuente usada en la medición. Esto se explica a continuación con mayor detalle mediante la figura 5.

5 La invención se basa en el uso de la síntesis de campo acústico local para el cálculo de señales de oído o funciones de transmisión de oído externo sintéticas, para evitar o para reducir los artefactos de la discretización espacial. Mediante la síntesis de campo acústico local puede aplicarse una zona de mayor exactitud alrededor de la cabeza del oyente. Debido a ello se reducen los artefactos y se logran mejores resultados. Esto se explica a continuación mediante la figura 6.

10 En principio puede aprovecharse cualquier algoritmo para la síntesis de campo acústico local, de este modo se aprovechan en diferentes formas de realización preferentes los algoritmos descritos en el documento EP 2182744, [6] y [7]. En otras formas de realización preferentes se usan los algoritmos descritos en el documento EP 2182744 y [6] para la síntesis de campo acústico local. Éstos son debido a la geometría de base de conjuntos de datos típicos de funciones de transmisión de oído externo, ventajosos.

15 Debido a una apertura típicamente pequeña de por ejemplo aproximadamente 20 cm de la zona local 14 no es necesario usar un método para la síntesis de campo acústico local tal como se describe en el documento EP 2182744 y [6]. En la invención se usan por lo tanto para frecuencias bajas métodos normales en lugar de métodos locales para la síntesis de campo acústico, dado que aquí es suficiente en general una exploración espacial típica. La fusión entre los dos métodos se produce preferentemente a través de una función de ventana en el intervalo de frecuencia.

20 En una forma de realización se realiza mediante el seguimiento de la posición de fuente virtual de la posición de cabeza del oyente, una síntesis binaural dinámica, que tiene en consideración la orientación y la posición de la cabeza. El seguimiento dinámico es un factor decisivo para la calidad de entornos acústicos virtuales. La ventaja de esta forma de realización se encuentra en una consideración eficiente de la posición de oyente en comparación con soluciones, en las cuales se tiene en consideración solamente la orientación de la cabeza. Para una consideración de la posición de cabeza sería necesaria una base de datos de funciones de transmisión de oído externo, que se habría medido para muchas posiciones de fuente que se encontrasen próximas unas a las otras.

25 El método puede complementarse mediante la simulación de un modelo espacial. Pueden sintetizarse por ejemplo las fuentes espejo pertenecientes a la fuente virtual con alta resolución mediante el uso de la síntesis de campo acústico local. La presente invención permite una consideración eficiente de la posición del oyente.

30 En una forma de realización se modela la fuente virtual además del modelo de fuente de puntos típico, también como fuente con característica direccional compleja, preferentemente con el método descrito en [12]. También aquí la combinación con la síntesis de campo acústico local ofrece una ventaja esencial, dado que la característica direccional deseada no queda falseada por los artefactos de la exploración espacial.

35 Una forma de realización preferente comprende inherentemente una interpolación de las funciones de transmisión de oído externo en relación con el ángulo. La posición de la fuente virtual puede seleccionarse de forma aleatoria en relación con la resolución de ángulo. Esto permite una interpolación de un conjunto de datos medidos.

40 En una forma de realización el conjunto de datos usado de funciones de transmisión de oído externo no se mide solo en un contorno circular o esférico, sino en un contorno con cualquier forma. La ventaja de esta forma de realización es la medición eficiente de funciones de transmisión de oído externo sin limitaciones geométricas.

45 Otro ejemplo de realización se describe mediante la figura 3. Se refiere al uso de la síntesis de campo de ondas local para el cálculo de una base de datos de funciones de transmisión de oído externo sintéticas a partir de una base de datos de funciones de transmisión de oído externo medidas. La síntesis de campo de ondas local permite a este respecto una realización particularmente eficiente, dado que las señales de control de los altavoces virtuales pueden obtenerse a través de ponderación sencilla y demora de la señal de la fuente virtual. La figura 3 ilustra los pasos de procesamiento. A partir de la fuente de señal 31, que es en general para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas un pulso de Dirac, se generan mediante síntesis de campo de ondas 50 señales 44 para las fuentes secundarias virtuales. Como informaciones adicionales se usan para ello el modelo de fuentes 32, las posiciones 33 y direcciones de radiación 34 de las fuentes secundarias virtuales. Las fuentes secundarias virtuales se realizan mediante fuentes focalizadas de nuevo a través de la síntesis de campo de ondas. Para ello se calculan para cada una de las señales 44 mediante focalización 40 acústica las señales 45 para las fuentes secundarias. Se usan para ello las posiciones 36 y direcciones de radiación 37 de las fuentes secundarias virtuales, así como las posiciones 38 y direcciones de radiación 39 de las fuentes secundarias. Las señales de las fuentes secundarias 45 se filtran entonces con el conjunto de datos de las funciones de transmisión de oído externo 41 y entonces se suman. Esto se lleva a cabo respectivamente con las funciones de transmisión de oído externo izquierdas/derechas por separado y da como resultado entonces la función de transmisión de oído externo sintética 55 izquierda/derecha 42/43. Mediante variación de la posición de la fuente virtual en 35 puede calcularse un conjunto de datos de funciones de transmisión de oído externo.

5 En la figura 4 se muestra un diagrama, el cual se corresponde con un conjunto de datos medido de funciones de transmisión de oído externo izquierdas. En la medición la fuente acústica tenía una separación de 2,5 m y se midieron 288 pasos angulares sobre un círculo completo. Se representa la función de transmisión medida referida a la cabeza (HRTF, head related transfer function). A lo largo de la abscisa se indica el ángulo en grados. A lo largo de la ordenada se indica el tiempo en segundos.

10 La figura 5 muestra un diagrama, el cual se corresponde con la base de datos de funciones de transmisión de oído externo izquierdas sintéticas, las cuales se calcularon mediante síntesis de campo de ondas. Se representa la respuesta de impulso espacial binaural calculada (BRIR, binaural room impuls response). En la abscisa se indica un ángulo en grados y en la ordenada el tiempo en segundos. El cálculo mediante la síntesis de campo de ondas se produjo para una separación de la fuente virtual de tres metros del oyente. Se representan aquí los resultados mostrados mediante uso de la síntesis de campo de ondas para el cálculo de un conjunto de datos de funciones de transmisión de oído externo sintéticas. Los artefactos de la exploración espacial son visibles claramente como
15 frontales de ondas adicionales tras la primera frontal de onda.

20 La figura 6 muestra un diagrama con una base de datos de funciones de transmisión de oído externo izquierdas sintéticas, las cuales se calcularon mediante síntesis de campo de ondas. También aquí el cálculo se llevó a cabo para una separación de la fuente virtual de tres metros. La figura 6 muestra de este modo la misma situación que la figura 5, se utilizó aquí no obstante, la síntesis de campo de ondas local para el cálculo de las funciones de transmisión de oído externo sintéticas. La zona con exactitud aumentada se seleccionó como un círculo con un radio de 30 cm alrededor de la cabeza. Puede verse claramente que los artefactos de la exploración espacial en comparación con la figura 5 ya no existen o están claramente reducidos.

25

REIVINDICACIONES

1. Método para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas de un oyente, con los siguientes pasos:

- 5 a) poner a disposición una base de datos de pares de funciones de transmisión de oído externo para una pluralidad de primeras posiciones de fuente, determinándose respectivamente al menos un par de funciones de transmisión de oído externo para una primera posición de fuente mediante una medición,
- 10 b) tomar cada uno de estos pares de funciones de transmisión de oído externo como las funciones de transmisión entre un respectivo altavoz virtual y cada oído del oyente, estando dispuesto el altavoz virtual en la correspondiente primera posición de fuente,
- 15 c) calcular al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas para al menos una fuente acústica virtual en otra posición de fuente usando los altavoces virtuales mediante un método de síntesis de campo acústico,

caracterizado por que el cálculo del al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas para la al menos una fuente acústica virtual en la posición de fuente adicional comprende los siguientes pasos:

- 20 calcular al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas para señales acústicas con frecuencias bajas mediante un método para la síntesis de campo acústico normal y
- 25 calcular al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas para señales acústicas con frecuencias diferentes de las frecuencias bajas mediante métodos para la síntesis de campo acústico local; y calculándose el respectivamente al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas mediante superposición ponderada de todas las señales de altavoz virtuales de los altavoces virtuales, que se han filtrado con los respectivamente pares medidos de funciones de transmisión de oído externo.

2. Método según la reivindicación 1, calculándose el al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas para una pluralidad de posiciones de fuente adicionales y memorizándose preferentemente en al menos una base de datos adicional de pares de funciones de transmisión de oído externo sintéticas.

3. Método según la reivindicación 1 o 2, teniéndose en consideración en el cálculo mediante superposición ponderada un tipo de fuente y/o una posición de fuente.

4. Método según la reivindicación 2 o 3, estando dispuesta la pluralidad de primeras posiciones de fuente, en las cuales se mide el respectivamente al menos un par de funciones de transmisión de oído externo, en un primer contorno circular o en un primer contorno esférico, y estando dispuesta la pluralidad de posiciones de fuente adicionales, en las cuales se calcula el respectivamente al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas, en otro contorno circular o contorno esférico, siendo el otro contorno circular o contorno esférico preferentemente diferente del primer contorno circular o del primer contorno esférico, y siendo de manera particularmente preferente una primera distancia de la posición de un oyente hasta el primer contorno circular o primer contorno esférico, diferente de otra distancia de la posición del oyente hasta el otro contorno circular u otro contorno esférico.

5. Método según la reivindicación 4, calculándose el respectivamente al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas en dependencia de la posición del oyente y/o en dependencia de un giro de la cabeza del oyente, intercambiándose de forma dinámica preferentemente en dependencia de un cambio de la posición del oyente y/o de un giro de la cabeza del oyente pares medidos de funciones de transmisión de oído externo.

6. Método según una de las reivindicaciones 1 a 5, produciéndose una fusión entre el método normal para la síntesis de campo acústico y el método para la síntesis de campo acústico local a través de una función de ventana en el intervalo de frecuencia.

7. Método según una de las reivindicaciones 1 a 6, usándose como señal de fuente para una fuente acústica virtual en la posición de fuente adicional un impulso y calculándose la respectivamente completa respuesta de impulso desde la fuente acústica virtual hasta un oído izquierdo y derecho de un oyente y memorizándose como par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas.

8. Método según una de las reivindicaciones 1 a 7, modelándose como fuente acústica virtual una fuente de puntos o modelándose preferentemente como fuente acústica virtual una fuente con característica direccional compleja.

9. Método según una de las reivindicaciones 1 a 8, con los pasos adicionales: poner a disposición un modelo espacial, simulándose recorridos de propagación y propiedades de propagación de señales acústicas dentro del modelo espacial y sintetizándose preferentemente al menos una fuente espejo, la cual pertenece a una fuente acústica virtual, mediante un método para la síntesis de campo acústico normal o mediante un método para la síntesis de campo acústico local.

10. Sistema, comprendiendo medios para llevar a cabo un método para el cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas según una de las reivindicaciones 1 a 9, que presenta:

- 5
- a) una base de datos de pares de funciones de transmisión de oído externo para una pluralidad de primeras posiciones de fuente, determinándose respectivamente al menos un par de funciones de transmisión de oído externo para una primera posición de fuente mediante una medición,
 - b) medios de cálculo, preferentemente en forma de microprocesadores, para el cálculo de al menos un par de funciones de transmisión de oído externo sintéticas para al menos una fuente acústica virtual en una posición
- 10

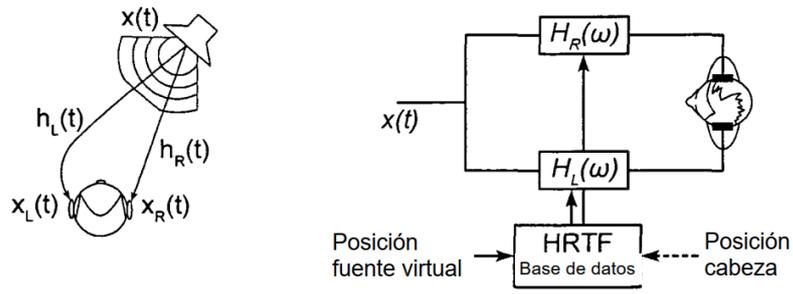


Figura 1 - Medición de una función de transmisión de oído externo izquierda/derecha y aprovechamiento para ésta para la acústica virtual.

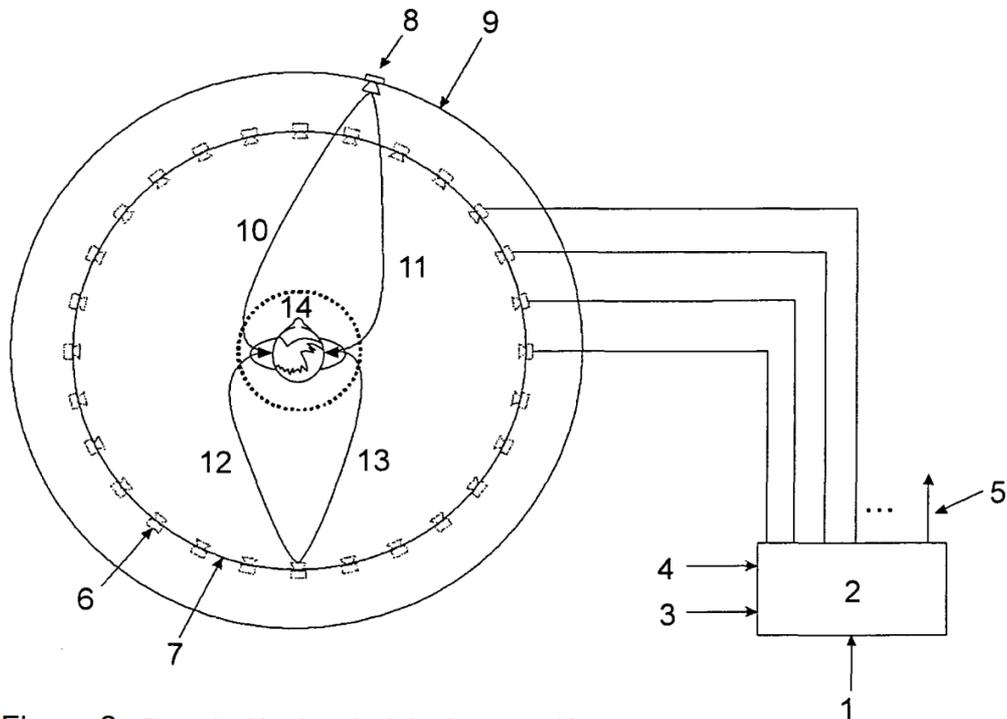


Figura 2 - Descripción de principio de actuación

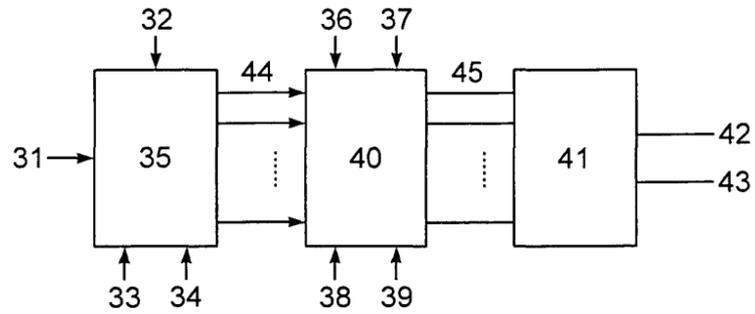


Figura 3 - Cálculo de funciones de transmisión de oído externo sintéticas mediante la síntesis de campo de ondas local

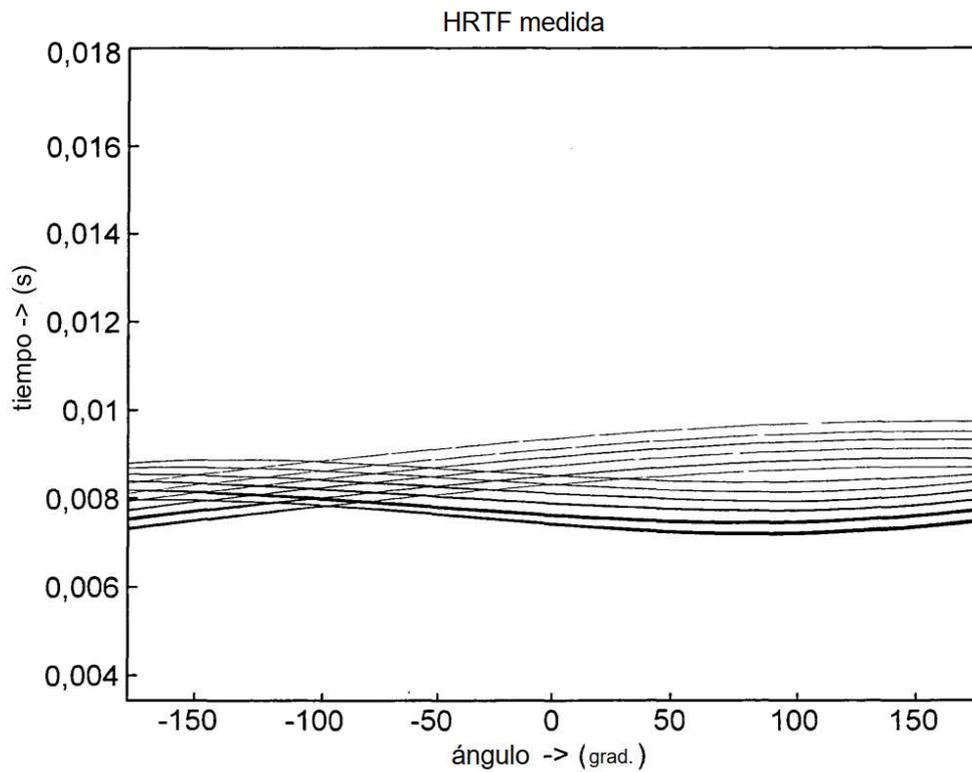


Figura 4 - Conjunto de datos medido de funciones de transmisión de oído externo izquierdas para una distancia de la fuente de 2,5 m

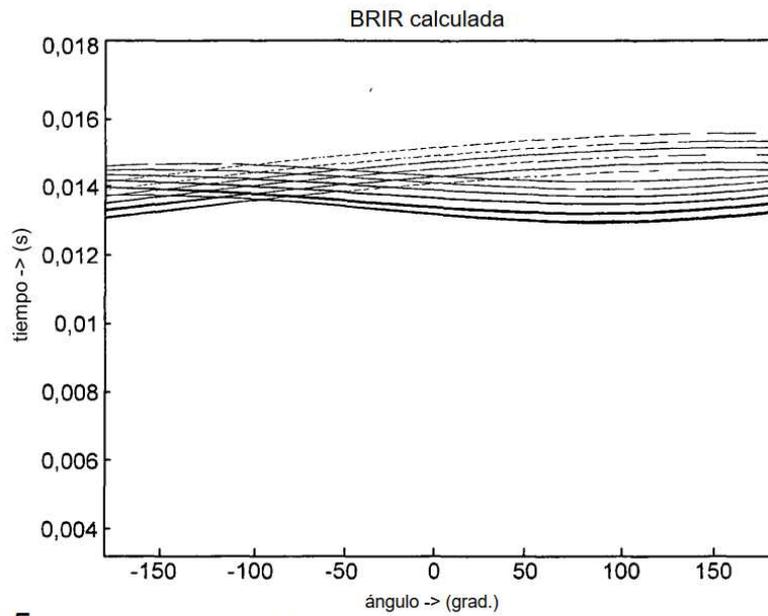


Figura 5 - Base de datos de funciones de transmisión de oído externo izquierdas sintéticas para una separación de la fuente virtual de 3 m. Cálculo mediante síntesis de campo de ondas.

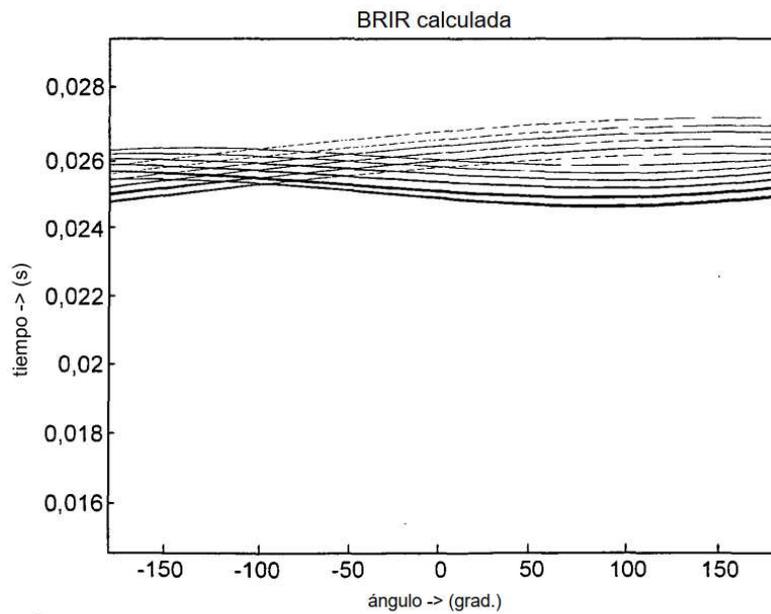


Figura 6 - Base de datos de funciones de transmisión de oído externo izquierdas sintéticas para una separación de la fuente virtual de 3 m. Cálculo mediante síntesis de campo de ondas local.