



(11) **EP 2 258 119 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
29.08.2012 Bulletin 2012/35

(51) Int Cl.:
H04S 7/00 (2006.01) G06K 9/62 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **09714694.8**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2009/050246

(22) Date de dépôt: **17.02.2009**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2009/106783 (03.09.2009 Gazette 2009/36)

(54) **PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA DETERMINATION DE FONCTIONS DE TRANSFERT DE TYPE HRTF**

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG VON ÜBERTRAGUNGSFUNKTIONEN
VOM TYP HRTF

METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING TRANSFER FUNCTIONS OF THE HRTF TYPE

(84) Etats contractants désignés:

**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL
PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorité: **29.02.2008 FR 0851348**

(43) Date de publication de la demande:
08.12.2010 Bulletin 2010/49

(73) Titulaire: **FRANCE TELECOM
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:

- **GUILLON, Pierre
44880 Sautron (FR)**
- **NICOL, Rozenn
F-22450 La Roche Derrien (FR)**

(74) Mandataire: **Cabinet Plasseraud
52, rue de la Victoire
75440 Paris Cedex 09 (FR)**

(56) Documents cités:
FR-A- 2 880 755

- **NICOL R., LEMAIRE V., BONDU A., BUSSON S.:
"Looking for a relevant similarity criterion for
HRTF clustering: a comparative study" AES
120TH CONVENTION, [Online] 20 mai 2006
(2006-05-20), - 23 mai 2006 (2006-05-23) pages
1-14, XP002502159 Paris, France Extrait de
l'Internet: URL: [http://www.aes.org/e-lib/inst/
download.cfm/13457.pdf?ID=13457](http://www.aes.org/e-lib/inst/download.cfm/13457.pdf?ID=13457) [extrait le
2008-10-31]**

- **LEMAIRE V ET AL: "Individualized HRTFs from
few measurements: a statistical learning
approach" NEURAL NETWORKS, 2005.
PROCEEDINGS. 2005 IEEE INTERNATIONAL
JOINT CONFERENCE ON MONTREAL, QUE.,
CANADA 31 JULY-4 AUG. 2005, PISCATAWAY,
NJ, USA, IEEE, US, 31 juillet 2005 (2005-07-31),
pages 2041-2046 vol.4, XP031213292 ISBN:
978-0-7803-9048-5**
- **MAKI KATUHIRO ET AL: "Reducing individual
differences in the external-ear transfer functions
of the Mongolian gerbil" JOURNAL OF THE
ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AIP /
ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA,
MELVILLE, NY, US, vol. 118, no. 4, 1 janvier 2005
(2005-01-01), pages 2392-2404, XP012073356
ISSN: 0001-4966**
- **CHEN J ET AL: "Synthesis of 3D virtual auditory
space via a spatial feature extraction and
regularization model" VIRTUAL REALITY
ANNUAL INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1993.,
1993 IEEE SEATTLE, WA, USA 18-22 SEPT. 1993,
NEW YORK, NY, USA, IEEE, 18 septembre 1993
(1993-09-18), pages 188-193, XP010130492 ISBN:
978-0-7803-1363-7**
- **KISTLER ET AL: "A MODEL OF HEAD-RELATED
TRANSFER FUNCTIONS BASED ON PRINCIPAL
COMPONENTS ANALYSIS AND MINIMUM-
PHASE RECONSTRUCTION" JOURNAL OF THE
ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AIP /
ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA,
MELVILLE, NY, US, vol. 91, no. 3, 1 mars 1992
(1992-03-01), pages 1637-1647, XP002099514
ISSN: 0001-4966**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

- ZHENYANG WU ET AL: "Neural network model of binaural hearing based on spatial feature extraction of the head related transfer function" ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 1998. PROCEEDINGS OF THE 20TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE HONG KONG, CHINA 29 OCT.-1 NOV. 1998, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, vol. 3, 29 octobre 1998 (1998-10-29), pages 1109-1112, XP010320336 ISBN: 978-0-7803-5164-6
- SHIMADA S ET AL: "A CLUSTERING METHOD FOR SOUND LOCALIZATION TRANSFER FUNCTIONS*" JOURNAL OF THE AUDIO ENGINEERING SOCIETY, AUDIO ENGINEERING SOCIETY, NEW YORK, NY, US, vol. 42, no. 7/08, 1 juillet 1994 (1994-07-01), pages 577-583, XP000555928 ISSN: 1549-4950
- JIE ZHANG ET AL: "A Spatial Hearing Model Based on Reconstruction From Wavelet Transform Modulus Maxima" ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, 2006. ICASSP 2006 PROCEEDINGS . 2006 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOULOUSE, FRANCE 14-19 MAY 2006, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 1 janvier 2006 (2006-01-01), pages V-V, XP031016066 ISBN: 978-1-4244-0469-8
- FAHN C., LO Y.: "On the clustering of Head-Related Transfer Functions Used for 3-D Sound Localization" JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING, [Online] 2003, pages 141-157, XP002502160 Extrait de l'Internet: URL: http://www.iis.sinica.edu.tw/page/jise/2003/200301_08.pdf [extrait le 2008-10-31]
- BISHOP C M ED - BISHOP C M: "NEURAL NETWORKS FOR PATTERN RECOGNITION, PASSAGE" NEURAL NETWORKS FOR PATTERN RECOGNITION, OXFORD : OXFORD UNIVERSITY PRESS, GB, [Online] 1 janvier 1995 (1995-01-01), pages 319-324, XP002287813 ISBN: 978-0-19-853864-6
- EVERSON R., SIROVICH L.: "Karhunen-Loève procedure for gappy data" JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, [Online] vol. 12, no. 8, août 2005 (2005-08), pages 1657-1664, XP002502162 Extrait de l'Internet: URL: <http://camelot.mssm.edu/publications/larry/Karhunen-Loeve.pdf> [extrait le 2008-10-31]
- GARDNER W G: "Reduced-rank modeling of head-related impulse responses using subset selection" APPLICATIONS OF SIGNAL PROCESSING TO AUDIO AND ACOUSTICS, 1999 IEEE WORKSHOP ON NEW PALTZ, NY, USA 17-20 OCT. 1999, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 17 octobre 1999 (1999-10-17), pages 175-178, XP010365078 ISBN: 978-0-7803-5612-2
- P. GUILLON, R. NICOL: "Head-Related Transfer Function reconstruction from sparse measurements considering a priori knowledge from database analysis: a pattern recognition approach" AUDIO ENGINEERING SOCIETY 125TH CONVENTION, [Online] 5 octobre 2008 (2008-10-05), pages 1-16, XP002533381 San Francisco, CA, USA Extrait de l'Internet: URL: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=14761> [extrait le 2009-06-22]
- P. GUILLON, T. GUIGNARD, R. NICOL: "Head-Related Transfer Function customization by frequency scaling and rotation shift based on a new morphological matching method" AUDIO ENGINEERING SOCIETY 125TH CONVENTION, [Online] pages 1-14, XP002533382 San Francisco, CA, USA Extrait de l'Internet: URL: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=14702> [extrait le 2009-06-22]

Description

[0001] La présente invention concerne des fonctions de transfert spécifiques à chaque individu et définissant les caractéristiques spatiales d'audition de cet individu en prenant en compte notamment les réflexions liées à sa morphologie. Ces fonctions sont classiquement appelées fonctions de transfert de type HRTF pour « Head Related Transfer Functions ».

[0002] L'invention s'inscrit en particulier dans le cadre de services de télécommunication proposant une restitution spatialisée du son, comme par exemple dans le cas d'une audioconférence entre plusieurs locuteurs, d'une diffusion de bande annonce de cinéma ou d'une diffusion de tout type de contenu audio multicanal. L'invention s'applique également dans le cas de terminaux de télécommunication, notamment mobiles, pour lesquels il est envisagé un rendu sonore avec un casque d'écoute stéréophonique permettant à l'auditeur de positionner les sources sonores dans l'espace.

[0003] Une technique utilisant les fonctions de transfert de type HRTF est la synthèse binaurale. La synthèse binaurale repose sur l'utilisation de filtres dits "binauraux", qui reproduisent les fonctions de transfert acoustiques entre la ou les sources sonores et les oreilles de l'auditeur. Ces filtres servent à simuler des indices de localisation auditive qui permettent à un auditeur de localiser les sources sonores en situation d'écoute réelle.

[0004] Les techniques liées à la synthèse binaurale sont donc basées sur une paire de signaux binauraux qui alimente un système de restitution. Ces deux signaux binauraux peuvent être obtenus par traitement du signal, en filtrant un signal monophonique par les filtres binauraux qui reproduisent les propriétés de la propagation acoustique entre la source placée à une position donnée et les deux oreilles d'un auditeur.

[0005] Une telle synthèse binaurale peut être utilisée pour différentes restitutions comme par exemple une restitution à l'aide d'un casque avec deux oreillettes, ou deux haut-parleurs. L'objectif est la reconstruction d'un champ sonore au niveau des oreilles d'un auditeur pratiquement identique à celui qu'auraient induit les sources réelles dans l'espace.

[0006] Les filtres binauraux prennent en compte l'ensemble des phénomènes acoustiques qui modifient l'onde acoustique dans son trajet entre la source et les oreilles de l'auditeur. Ces phénomènes comprennent notamment la diffraction par la tête et les réflexions sur le pavillon auditif et le haut du torse.

[0007] Ces phénomènes acoustiques varient selon la position de la source sonore par rapport à l'auditeur et ces variations permettent à l'auditeur de localiser la source dans l'espace. En effet, ces variations déterminent une sorte de codage acoustique de la position de la source. Le système auditif d'un individu sait, par apprentissage, interpréter ce codage pour localiser les sources sonores. Néanmoins, les phénomènes acoustiques de diffraction/réflexion dépendent fortement de la morphologie de l'individu. Une synthèse binaurale de qualité repose donc sur des filtres binauraux qui reproduisent au mieux le codage acoustique que produit naturellement le corps de l'auditeur, en prenant en compte les spécificités individuelles de sa morphologie. Lorsque ces conditions ne sont pas respectées, on observe une dégradation des performances du rendu binaural, qui se traduit notamment par une perception intracrânienne des sources et des confusions entre les localisations avant et arrière.

[0008] Ainsi, ces filtres représentent les fonctions de transfert acoustiques ou fonctions de transfert de type HRTF qui modélisent les transformations engendrées par le torse, la tête et le pavillon de l'auditeur sur le signal provenant d'une source sonore.

[0009] A chaque position de source sonore est associée une paire de fonction HRTF, une pour chaque oreille. De plus, ces fonctions de transfert HRTF portent l'empreinte acoustique de la morphologie de l'individu sur lequel elles ont été mesurées.

[0010] De manière classique, les fonctions de transfert HRTF sont obtenues au cours d'une phase de mesure. On fixe initialement une sélection de directions qui couvre plus ou moins finement l'ensemble de l'espace entourant l'auditeur. Pour chaque direction, les HRTFs gauche et droite sont mesurées au moyen de microphones insérés à l'entrée du conduit auditif de l'auditeur. En général, on définit ainsi une sphère centrée sur l'auditeur.

[0011] Pour une mesure de bonne qualité, la mesure doit être réalisée dans une chambre anéchoïque, ou "chambre sourde" de sorte que seules les réflexions et phénomènes acoustiques liés à l'auditeur sont pris en compte. Au final, si N directions sont mesurées, on obtient, pour un auditeur donné, une base de données de $2N$ fonctions de transfert de type HRTF représentant, pour chaque oreille, chacune des positions des sources.

[0012] Ces techniques nécessitent donc de réaliser les mesures sur l'auditeur. La durée de cette opération de mesure est très importante car il est nécessaire de mesurer un grand nombre de directions.

[0013] Il est donc souhaitable de réduire le nombre de mesures spécifiques à un auditeur tout en conservant une bonne qualité de modélisation.

[0014] Des techniques d'apprentissage statistique visent ce problème. C'est le cas de la technique décrite dans le document de brevet FR 0500218. Toutefois, les solutions d'apprentissage statistique sont difficiles à ajuster et à améliorer car le lien entre les paramètres de l'algorithme d'apprentissage et leur impact sur les fonctions de transfert de type HRTF est difficile à appréhender.

[0015] Dans ce contexte, un objet de la présente invention est de fournir des fonctions de transfert de type HRTF

spécifiques à un auditeur en réalisant un nombre réduit de mesures pour cet auditeur et en dépassant les limites des modèles d'apprentissage statistique.

[0016] A cet effet, la présente invention a pour objet un procédé de détermination de fonctions de transfert de type HRTF pour un individu comprenant une mesure, pour un premier nombre de directions, de fonctions de transfert de type HRTF spécifiques audit individu, une mise en correspondance de fonctions de directivité associées auxdites fonctions de type HRTF mesurées avec des fonctions de directivité de référence associées à des fonctions de transfert de type HRTF de référence, lesdites fonctions de type HRTF de référence étant déterminées pour un second nombre de directions supérieur audit premier nombre de directions et une reconstruction des fonctions de directivité mesurées à partir desdites fonctions de directivité de référence.

[0017] En conséquence, les fonctions de transfert de type HRTF reconstruites associées aux fonctions de directivité reconstruites sont exprimées sur un nombre plus important de directions que les fonctions de transfert mesurées.

[0018] Dans un mode de réalisation particulier, le procédé comprend une phase préalable comprenant une détermination desdites fonctions de transfert de type HRTF de référence pour une pluralité d'individus, selon une pluralité de fréquences et ledit second nombre de directions, une évaluation d'une similitude spatiale entre des fonctions de directivité associées auxdites fonctions de type HRTF de référence, une classification desdites fonctions de directivité en groupes selon leurs similitudes, une sélection d'une fonction de directivité représentative pour chaque groupe, et une modification des fonctions de directivité pour minimiser un décalage spatial avec leurs fonctions de directivité représentatives respectives et former les fonctions de directivité de référence.

[0019] Un tel mode de réalisation permet de prendre en compte des caractéristiques spatiales des fonctions de directivité.

[0020] Dans un mode de réalisation particulier, ladite évaluation de similitude entre les fonctions de directivité est fondée sur un critère de similitude représentatif de similitudes indépendantes par rapport à des décalages par rotation desdites fonctions de directivité

[0021] Ceci permet de tirer avantage des caractéristiques physiques des pavillons auditifs dont les fonctions de directivité peuvent être similaires à des facteurs de rotation près.

[0022] Avantagusement, ladite mise en correspondance comprend une évaluation d'une similitude spatiale entre les fonctions de directivité mesurées et les fonctions de directivité représentatives des groupes de fonctions de directivité de référence, une association des fonctions de directivité mesurées avec les groupes de fonctions de directivité de référence selon ladite évaluation de similitude, une modification des fonctions de directivité mesurées pour minimiser un décalage spatial avec les fonctions de directivité représentatives des groupes associés.

[0023] Ainsi mises en correspondance, les fonctions de directivité mesurées peuvent plus facilement être exprimées selon les fonctions de directivité de référence.

[0024] Dans un tel mode de réalisation, le procédé comprend en outre une modification des fonctions de directivité mesurées à l'issue de ladite reconstruction pour compenser au moins partiellement la minimisation du décalage spatial.

[0025] Dans un mode de réalisation particulier, ladite reconstruction des fonctions de directivité mesurées comprend une détermination de fonctions de directivité de reconstruction parmi les fonctions de directivité de référence du groupe associé à la fonction de directivité mesurée courante, une détermination d'une base de vecteurs de reconstruction à partir desdites fonctions de directivité de reconstruction et une expression de ladite fonction de directivité mesurée courante sur ladite base de vecteurs de reconstruction.

[0026] Ainsi, les fonctions de directivité mesurées sont reconstruites sur une base de vecteurs propres correspondant à des fonctions de directivité de référence.

[0027] Avantagusement, la détermination des fonctions de directivité de reconstruction comprend une interpolation à partir des fonctions de directivité de référence au moins pour les directions des fonctions de directivité mesurées.

[0028] Un tel mode de réalisation permet d'assurer une correspondance vectorielle entre les fonctions de directivité mesurées et les fonctions de directivité de reconstruction.

[0029] Dans un mode de réalisation particulier, ladite expression des fonctions de directivité mesurées sur ladite base de vecteurs de reconstruction comprend une approximation fondée sur des informations issues desdites fonctions de directivité de reconstruction et des informations issues desdites fonctions de directivité mesurées.

[0030] Dans un tel mode de réalisation, le procédé comprend en outre une modification des fonctions de directivité reconstruites pour compenser au moins partiellement ladite approximation.

[0031] De manière correspondante, l'invention porte sur un dispositif correspondant et un programme d'ordinateur, caractérisé en ce qu'il comporte des instructions de code pour la mise en oeuvre du procédé décrit précédemment, lorsqu'il est exécuté par un calculateur de cet ordinateur.

[0032] La présente invention sera mieux comprise à la lumière de la description et des figures annexées sur lesquelles :

- les figures 1A et 1B représentent des organigrammes du procédé selon un mode de réalisation de l'invention ; et
- la figure 2 représente un schéma bloc d'un système de mise en oeuvre de l'invention.

[0033] En référence aux figures 1A et 1B, on va maintenant décrire un procédé selon un mode de réalisation de l'invention.

[0034] Ce procédé débute par une phase préalable 2 de détermination d'une base de données de fonctions de type HRTF de référence. Cette phase préalable comprend une acquisition 4 de fonctions de transfert de type HRTF pour une pluralité P d'individus selon une pluralité M de fréquences et une pluralité N de directions. Par exemple, les mesures concernent plusieurs centaines d'individus chacun ayant fait l'objet de mesures sur un millier de directions dans la bande de fréquence audible. Cette base de données peut être constituée de mesures non homogènes, c'est-à-dire réalisées dans des environnements différents à des instants différents.

[0035] Dans la suite du procédé, on utilise les caractéristiques de directivité des fonctions de transfert de type HRTF. Cela revient à considérer les fonctions de transfert de type HRTF sous la forme de fonctions de directivité. Chaque fonction de directivité représente le module d'une fonction de transfert de type HRTF pour une fréquence donnée et évaluée sur les N points de l'espace. Le procédé dispose donc de 2^*P^*M fonctions de directivité. Les fonctions de directivité étant directement extraites des fonctions de type HRTF, aucune étape spécifique n'est requise à ce niveau.

[0036] Une similitude spatiale des fonctions de directivité est ensuite évaluée au cours d'une étape 6. Cette évaluation est réalisée par une comparaison des fonctions de directivité deux à deux indépendamment de leur fréquence. Les résultats forment une matrice de similarité symétrique de taille $(2^*P^*M) \times (2^*P^*M)$.

[0037] Dans le mode de réalisation décrit, la mesure de similarité est le maximum de l'inter-corrélation sphérique normalisée sur $R \in SO(3)$. L'inter-corrélation sphérique normalisée est définie à une rotation R près.

[0038] En considérant f et g deux fonctions de directivité, centrées respectivement sur leur moyenne sur toute la sphère. Les fonctions f et g sont de bande limitée B , et sont telles que $f, g \in L^2(S^2)$. L'inter-corrélation sphérique normalisée $C_R(f, g)$ entre f et g , pour une rotation Λ_R donnée de la fonction g s'exprime comme suit :

$$C_R(f, g) = \frac{\int_{\Omega} f \cdot \overline{\Lambda_R(g)} d\omega}{\sqrt{\int_{\Omega} f \cdot \overline{f} d\omega} \sqrt{\int_{\Omega} g \cdot \overline{g} d\omega}}$$

$R \in SO(3)$, et $\Lambda_R : L^2(S^2) \rightarrow L^2(S^2)$ est telle que

$$\Lambda_R(f)(\omega) = f(R^{-1}(\omega))$$

[0039] On peut exprimer f et g selon leur décomposition en harmoniques sphériques:

$$f(\omega) = \sum_{l=0}^{B-1} \sum_{|m| \leq l} \hat{f}_l^m Y_l^m(\omega), \quad g(\omega) = \sum_{l=0}^{B-1} \sum_{|m| \leq l} \hat{g}_l^m Y_l^m(\omega).$$

[0040] Alors l'inter-corrélation sphérique normalisée vaut :

$$C_R(f, g) = \frac{\sum_{l=0}^{B-1} \sum_{|m| \leq l} \sum_{|m'| \leq l} \hat{f}_l^{-m} \overline{\hat{g}_l^{-m'}} (-1)^{m-m'} D_{m, m'}^l(R)}{\sqrt{\sum_{l=0}^{B-1} \sum_{|m| \leq l} \hat{f}_l^m \overline{\hat{f}_l^m}} \sqrt{\sum_{l=0}^{B-1} \sum_{|m| \leq l} \hat{g}_l^m \overline{\hat{g}_l^m}}}.$$

[0041] Dans cette expression $D_{m, m'}^l(R)$ est une fonction dite de Wigner-D telle que décrite par exemple dans le document Kostelec, P.J. and D.N. Rockmore, « FFTs on the Rotation Group » Santa Fe Institute Working Papers Series, 2003.

[0042] Le dénominateur se calcule directement et le numérateur s'exprime comme une transformée de Fourier inverse sur le groupe $SO(3)$ tel que définit dans le document cité précédemment. L'implémentation de ce calcul est donc réalisable

sans difficulté à partir d'algorithmes rapides de FFT. En conséquence, ce calcul et l'échantillonnage discret des rotations sont réalisables rapidement.

[0043] L'évaluation des similitudes 6 est suivie d'une classification 8 pour former K groupes ou clusters de fonctions de directivité selon leurs similitudes. Divers algorithmes de classification peuvent être utilisés pour la réalisation de cette étape.

[0044] Dans le mode de réalisation décrit, la classification est une classification spectrale telle que celle décrite dans le document de Von Luxburg, U., « A Tutorial on Spectral Clustering. Statistics and Computing » 2007 17(4) p. 395-416. Les fonctions de directivité sont considérées comme les noeuds d'un graphe qu'il s'agit de partitionner. Chaque arête de ce graphe est pondérée par la valeur de la similarité entre ses extrémités. La matrice exprimant le Laplacien du graphe est décomposé en valeurs propres, et les K groupes sont obtenus par un algorithme de classification tel que l'algorithme appelé k-means appliqué dans l'espace de représentation que constituent les K premiers vecteurs propres du laplacien. Un exemple d'un algorithme dit k-means est décrit dans le document de MacQueen, J.B. « Some methods for classification and analysis of multivariate observations » dans Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability 1967.

[0045] La classification est suivie d'une sélection 10, pour chaque groupe, d'une fonction de directivité représentative. Par exemple, la fonction représentative d'un groupe est la fonction de directivité dont la similarité moyenne avec les autres fonctions de directivités du groupe est la plus forte. Dans une variante, la fonction représentative est la fonction de directivité qui présente la plus faible distance euclidienne avec les autres fonctions du groupe. D'autres principes de sélection peuvent être utilisés.

[0046] Enfin, la phase préalable 2 comprend une modification ou transformation 12 des fonctions de directivité pour minimiser un décalage spatial entre les fonctions de directivité des groupes et les fonctions représentatives correspondantes.

[0047] Dans le mode de réalisation décrit, cette minimisation est une rotation spatiale appliquée à chaque fonction de directivité pour maximiser sa similarité avec la fonction représentative du groupe correspondant. Cette opération permet de réduire les différences spatiales des fonctions de directivité, ces différences résultant d'une orientation différente de pavillons auditifs qui sont par ailleurs structurellement semblables.

[0048] Plus précisément, une première estimation de la rotation optimale R_0 d'alignement est la rotation R qui maximise l'inter-corrélation sphérique normalisée décrite en référence à l'étape 6. Avantageusement, l'estimation de R est améliorée dans le cas où le calcul de cette rotation R par IFFT sur $SO(3)$ n'est réalisé que sur un échantillonnage limité du groupe des rotations $SO(3)$. La minimisation est alors améliorée en explorant l'espace $SO(3)$ selon un algorithme de descente du gradient, tel que celui proposé dans le document par Chirikjian, G.S., et al. « Rotational matching problems » International Journal of Computational Intelligence and Applications, 2004. 4(4): p. 401-416.

[0049] La rotation est initialisée et l'algorithme converge vers une solution optimale en minimisant la fonction de coût égale à l'opposé de l'inter-corrélation sphérique normalisée.

[0050] A l'issue de la phase préalable 2, le procédé dispose donc de fonctions de directivité de référence qui sont regroupées par groupes correspondant à des pavillons auditifs structurellement semblables.

[0051] En référence à la figure 1B on va maintenant décrire une phase opérationnelle du procédé de l'invention.

[0052] Cette phase comprend une mesure ou acquisition 14 de fonctions de transfert de type HRTF spécifiques à un auditeur. Ces fonctions de transfert acoustiques ou HRTF sont mesurées selon les méthodes classiques pour une pluralité n de directions et une pluralité M' de fréquences. Le nombre de directions n est inférieur au nombre de directions mesurées N lors de la collecte 4. Par exemple, le nombre de directions dans la mesure 14 est dix fois inférieur au nombre de directions dans la collecte 4.

[0053] Comme au cours de la phase préalable, le procédé utilise des fonctions de directivité mesurées associées aux fonctions de transfert de type HRTF mesurées. Ces fonctions de directivité sont extraites directement des fonctions de transfert de type HRTF mesurées sans nécessiter d'étape particulière. Le procédé dispose ainsi de $2 \times M'$ fonctions de directivité mesurées.

[0054] Le procédé comprend ensuite une mise en correspondance 20 entre les fonctions de directivité mesurées et les fonctions de directivité de référence.

[0055] Cette mise en correspondance débute par une évaluation 22 des similitudes entre les fonctions de directivité mesurées et les fonctions de directivité représentatives des groupes de fonctions de directivité de référence.

[0056] Comme pour l'évaluation 6, l'évaluation 22 comprend une comparaison deux à deux et indépendamment de la fréquence, des fonctions de directivité mesurées et des fonctions de directivité représentatives des groupes. Dans le mode de réalisation décrit, cette comparaison est fondée sur la même mesure de similitude que la comparaison de l'étape 6.

[0057] L'évaluation 22 est suivie d'une association 24 des fonctions de directivité mesurées avec les groupes de fonctions de directivité de référence. Plus précisément, chaque fonction de directivité mesurée est associée au groupe dont est issu la fonction représentative avec laquelle l'évaluation de similitude est maximale.

[0058] Cette étape s'apparente à une reconnaissance de formes entre l'ensemble, ou la constellation, des fonctions

de directivité mesurées et des fonctions de directivité de référence.

[0059] Enfin, la mise en correspondance 20 comprend une modification 26 des fonctions de directivité mesurées pour minimiser un décalage spatial avec les fonctions de directivité représentatives associées. Ainsi, chaque fonction de directivité mesurée est modifiée pour permettre d'augmenter sa similitude avec la fonction de directivité représentative qui lui est associée. Cette modification 26 est similaire à la modification 12 décrite précédemment.

[0060] Ensuite, le procédé comprend une reconstruction 30 des fonctions de directivité mesurées à partir des fonctions de directivité de référence.

[0061] Cette reconstruction débute par une détermination 32 de fonctions de directivité de reconstruction. Ces fonctions de directivité de reconstruction sont déterminées, pour une fonction de directivité mesurée, à partir du groupe de fonctions de directivité de référence associé à cette fonction de directivité mesurée. En outre, le nombre de directions sur lesquelles les fonctions de directivité de reconstruction sont déterminées correspond au niveau de précision souhaité. En tout état de cause, ce nombre doit être supérieur à $\underline{n}$ le nombre de directions mesurées.

[0062] Dans le mode de réalisation décrit, cette détermination comprend tout d'abord une interpolation à partir des fonctions de directivité de référence. En effet, sauf cas particulier, les fonctions de directivité de référence ne sont pas connues exactement aux directions des fonctions de directivité mesurées.

[0063] En conséquence, pour la fonction de directivité mesurée courante, les fonctions de directivité de reconstruction sont déterminées par interpolation à partir des fonctions de directivité de référence du groupe associé.

[0064] De manière générale, l'échantillonnage de l'environnement spatial obtenu par les fonctions de directivité de référence est affiné et ré-échantillonné pour inclure les directions de mesure et assurer une correspondance vectorielle entre les fonctions de directivité mesurées et les fonctions de directivité de reconstruction.

[0065] On obtient ainsi les fonctions de directivité de reconstruction pour les $\underline{n}$ directions de la fonction de directivité mesurée courante.

[0066] L'étape 32 comporte ensuite la détermination des fonctions de directivité de reconstruction pour $\underline{N}'$ directions additionnelles afin d'atteindre le niveau de précision souhaité.

[0067] Dans le mode de réalisation décrit, les fonctions de directivité de reconstruction sont également déterminées pour les $\underline{N}'$ directions additionnelles par interpolation à partir des fonctions de directivité de référence du groupe associé à la fonction de directivité mesurée. L'objectif de cette interpolation est d'obtenir une répartition spatiale homogène des fonctions de directivité de reconstruction. Par exemple, les directions additionnelles sont sélectionnées par triangulation sur l'espace à partir des directions de mesure.

[0068] Bien sûr, il est également possible de sélectionner les directions additionnelles directement parmi les directions de détermination de fonctions de directivité de référence.

[0069] Au final les fonctions de directivité de reconstruction sont déterminées pour $n+N'$ directions pour chaque fonction de directivité mesurée.

[0070] Au cours d'une étape 34 les fonctions de directivité de reconstruction sont exprimées sous la forme d'une base de vecteurs de reconstruction.

[0071] Dans le mode de réalisation décrit, cette étape 34 est une analyse en composantes principales (ACP). A cet effet, chaque fonction de directivité de reconstruction d'un groupe est représentée comme un vecteur v_i dont chaque dimension est associée à une position sur la sphère, et dont chaque composante est la valeur prise par cette fonction de directivité en ces positions. Ces données sont centrées autour de la moyenne arithmétique de l'ensemble des

observations: $x_i = v_i - \bar{v}_i$, où $\bar{v}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_i$, $\underline{m}$ étant le nombre d'éléments du groupe.

[0072] Les données sont ensuite concaténées, pour former une matrice X :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_m).$$

[0073] En définissant la matrice de covariance $C = \frac{1}{m} XX^T$, alors l'ACP est basée sur une diagonalisation de C:

$$C = S \cdot \text{diag}(\sigma_i^2) \cdot S^T.$$

[0074] La base de vecteurs propres pour la reconstruction $S \cdot \text{diag}(\sigma_i)$ est extraite de cette matrice.

[0075] En pratique, cette étape peut être réalisée via une décomposition en valeurs singulières de la matrice X telle que décrite dans le document de Press, W.H., et al., « Numerical recipes in C : the art of scientific computing », ed. C.U. Press. 1992, Cambridge.

[0076] Le rang de la matrice C étant au plus égal à m-1, alors $\sigma_m=0$ et donc s_m , la dernière colonne S, n'a pas d'impact au niveau de la reconstruction. Il est alors possible d'ignorer cette colonne.

[0077] La base des vecteurs propres de chaque fonction de directivité mesurée est construite et ordonnée de telle sorte que les vecteurs expriment de façon hiérarchique une part décroissante de la variabilité des données analysées. Avantagusement, seules les g premiers vecteurs avec $q < m-1$ sont conservés.

[0078] Enfin, le procédé comprend au cours d'une étape 36, une expression des fonctions de directivité mesurées sur la base de vecteurs propres associée au groupe identifié pour la fonction mesurée courante. Dans le mode de réalisation décrit, il s'agit d'une projection de chaque fonction de directivité mesurée réalisée sur les dimensions communes à la base de vecteurs propres.

[0079] Avantagusement, la projection est régularisée afin de réaliser un compromis entre l'exactitude de la reconstruction au niveau des points de mesure et la vraisemblance du résultat.

[0080] Cette projection est utilisée pour exprimer les fonctions de directivité mesurées sous la forme de combinaisons linéaires des vecteurs de reconstruction. Les vecteurs étant définis sur un nombre plus élevé de directions que les fonctions de directivité mesurées, les fonctions de directivité reconstruites présentent une résolution spatiale supérieure aux fonctions de directivité mesurées.

[0081] Dans le mode de réalisation décrit, la projection régularisée est réalisée selon une méthode proposée par Blanz et al dans le document « Reconstructing the complete 3D shape of faces from partial information ». it+ti, Informationstechnik und Technische Informatik, 2002. 44(6). Selon cette formulation dite « bayésienne », le résultat est assuré d'être un compromis entre probabilité du résultat et reconstruction précise aux points de mesure, et ce via le réglage d'un unique paramètre.

[0082] On nomme L la matrice de dimension $(n) \times (n+N)$: L est formée par concaténation de la matrice identité de dimension $(n) \times (n)$ avec la matrice nulle de dimension $(n) \times (N)$.

[0083] On définit $Q=LS \cdot \text{diag}(\sigma_i)$, et $Q=UWV^T$ sa décomposition en valeurs singulières.

[0084] On nomme r_{low} le vecteur de dimension $\underline{n}$, dont les composantes sont les valeurs de la fonction de directivité mesurée aux $\underline{n}$ points de la sphère. Selon les algorithmes proposés par Blanz et al, la solution qui maximise la probabilité de la reconstruction r_{high} à haute résolution, s'écrit :

$$r_{high} = S \text{diag}(\sigma_i) W \text{diag} \left(\frac{w_i}{w_i^2 + \eta} \right) U^T (r_{low} - L \bar{v}) + \bar{v}.$$

[0085] Dans cette expression $W=\text{diag}(w_i)$ et $\eta \geq 0$ est le facteur de régularisation qui permet d'ajuster le compromis entre reconstruction fidèle aux $\underline{n}$ points mesurés, et probabilité a posteriori de la solution.

[0086] Le procédé comporte ensuite une étape 40 de modification des fonctions de directivité reconstruites. Cette étape applique une modification inverse à la modification de l'étape 26 et permet d'annuler les effets des rotations appliquées précédemment pour minimiser un décalage spatial entre les fonctions de directivité mesurées et les fonctions de directivité représentatives des groupes de fonctions de directivité de référence.

[0087] Avantagusement, le procédé comporte également une correction 42 du compromis réalisé lors de la projection au cours de l'étape 36. Dans le mode de réalisation décrit, une erreur de reconstruction est évaluée aux points de mesure en comparant les fonctions de directivité mesurées et les fonctions reconstruites pour ces points. Cette erreur est ensuite retranchée. Avantagusement, l'erreur de reconstruction peut aussi être évaluée pour des directions additionnelles aux points de mesure. A titre d'exemple, cette évaluation peut être réalisée par interpolation selon les algorithmes décrits dans la publication de Wahba, G., « Spline interpolation and smoothing on the sphere. » SIAM J. Sci. Stat. Comp., 1981. 2: p. 5-14.

[0088] Les fonctions de transfert de type HRTF reconstruites sont obtenues directement à l'aide des coefficients des fonctions de directivité reconstruites.

[0089] Comme indiqué précédemment, les fonctions de directivité correspondent à une lecture particulière des valeurs de fonctions de transfert de type HRTF. La reconstruction des fonctions de directivité aboutit donc automatiquement à la reconstruction des fonctions de transfert de type HRTF.

[0090] Ainsi, le procédé de l'invention permet de reconstruire les fonctions de transfert de type HRTF spécifiques à un individu avec une fine résolution spatiale à partir de fonctions de transfert de type HRTF mesurées sur un échantillonnage grossier de directions. Cela permet une simplification et une réduction des contraintes de la procédure d'acquisition de fonctions de transfert de type HRTF spécifiques à un auditeur.

[0091] En outre, par rapport aux modèles d'apprentissage statistique, des informations issues des phénomènes physiques et la structure spatiale des fonctions de transfert de type HRTF sont prises en compte.

[0092] Enfin, les paramètres d'individualisation du modèle sont des fonctions de transfert de type HRTF mesurées sur l'individu et constituent des paramètres plus fiables que des paramètres morphologiques.

[0093] En référence à la figure 2, on va maintenant décrire un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention.

[0094] Dans le mode de réalisation décrit, le dispositif est adapté pour mettre en oeuvre les phases préalables et opérationnelles. Il est connecté à une base de données 44 de fonctions de type HRTF de référence et à une base de données 46 de fonctions de type HRTF mesurées. En outre, dans le mode de réalisation décrit, ces bases de données sont directement modifiées lors du fonctionnement du dispositif.

[0095] Le dispositif 50 comporte en entrée un module 52 d'évaluation de similitudes adapté pour réaliser les comparaisons des fonctions de directivités telles que décrites aux étapes 6 et 22 en référence aux figures 1A et 1B.

[0096] En sortie, le module 52 est connecté à un classificateur 54 adapté pour mettre en oeuvre l'étape 8 de classification des fonctions de directivité de référence en des groupes selon leurs similitudes.

[0097] Le module 54 est connecté à un sélecteur 56 apte à réaliser la sélection 10 de fonctions de directivité représentatives des groupes de fonctions de directivité de référence.

[0098] Enfin, le sélecteur 56 est relié à un module de transformation 58 apte à effectuer une opération de minimisation d'un décalage spatial et donc apte à mettre en oeuvre l'étape 12. Avantagusement, ce même module 58 est également apte à mettre en oeuvre l'étape 26.

[0099] Par ailleurs, le module de comparaison 52 est également relié à un module d'association 60 qui est adapté pour mettre en oeuvre l'étape 24 décrite en référence à la figure 1B. Ce module 60 est relié en sortie au module de transformation 58.

[0100] En conséquence, les modules 52 à 58 permettent de mettre en oeuvre les étapes 2 et 20 du procédé telles que décrites précédemment en référence aux figures 1A et 1B.

[0101] Par ailleurs, le dispositif 60 comprend également un module 62 apte à réaliser les opérations de reconstruction de l'étape 30 telles que décrites en référence à la figure 1B.

[0102] Ce module 62 est connecté en sortie à un module 64 effectuant la transformation inverse du module 58 afin de mettre en oeuvre l'étape 40 du procédé de l'invention.

[0103] Avantagusement, le dispositif 50 comprend également un correcteur 66 mettant en oeuvre l'étape 42.

[0104] Bien entendu, les éléments nécessaires à la réalisation de la phase préalable 2 et de la phase opérationnelle peuvent être séparés. En outre, les opérations d'évaluation des similitudes et de transformation peuvent être différentes dans les phases préalables et opérationnelles rendant nécessaires des éléments distincts pour leur mise en oeuvre.

[0105] Dans le mode de réalisation décrit, les différents éléments décrits sont des programmes ou sous-programmes informatiques comportant des instructions de code pour la mise en oeuvre du procédé tel que décrit précédemment lorsque ces instructions sont exécutées par un calculateur d'ordinateur.

Revendications

1. Procédé de détermination de fonctions de transfert de type HRTF pour un individu **caractérisé en ce qu'il** comprend :

- une mesure (14), pour un premier nombre de directions (n), de fonctions de transfert de type HRTF spécifiques audit individu ;
- une évaluation (22) d'une similitude spatiale entre :

des fonctions de directivité mesurées obtenues à partir desdites fonctions de transfert de type HRTF mesurées pour ledit individu, et
des fonctions de directivité représentatives de groupes de fonctions de directivités de référence,

lesdites fonctions de directivité de référence étant obtenues au préalable à partir de fonctions de transfert de type HRTF de référence et lesdites fonctions de transfert de type HRTF de référence étant des fonctions de transfert de type HRTF déterminées pour un second nombre de directions (N) supérieur audit premier nombre de directions et pour une pluralité d'individus, une fonction de directivité représentant le module d'une fonction de transfert de type HRTF pour une fréquence donnée ;

- une reconstruction (30) aux (N') directions additionnelles, pour lesquelles les fonctions de transfert de type HRTF pour ledit individu sont souhaitées, des fonctions de directivité mesurées, à partir de fonctions de directivité de reconstruction, lesdites fonctions de directivité de reconstruction étant déterminées (32) pour une fonction de directivité mesurée courante par interpolation de fonctions de directivité de référence aux (n) directions mesurées et aux (N') directions additionnelles, lesdites fonctions de directivité de référence interpolées étant

les fonctions de directivité de référence du groupe pour lequel la similitude spatiale entre la fonction de directivité mesurée courante et la fonction de directivité représentative du groupe est maximale ; et
 - une obtention de fonctions de transfert de type HRTF pour ledit individu pour un nombre de directions supérieur au premier nombre de directions (n) à partir des fonctions de directivité reconstruites.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend dans une phase préalable:

- une détermination (4) desdites fonctions de transfert de type HRTF de référence pour une pluralité d'individus, selon une pluralité de fréquences et ledit second nombre de directions ;
- une évaluation (6) d'une similitude spatiale entre des fonctions de directivité obtenues à partir desdites fonctions de transfert de type HRTF de référence ;
- une classification (8) desdites fonctions de directivité obtenues à partir desdites fonctions de transfert de type HRTF de référence en groupes selon leurs similitudes ;
- une sélection (10) d'une fonction de directivité représentative pour chaque groupe ; et
- une modification (12) par rotation des fonctions de directivité obtenues à partir desdites fonctions de transfert de type HRTF de référence, pour minimiser un décalage spatial avec leurs fonctions de directivité représentatives respectives et former les fonctions de directivité de référence.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ladite évaluation de similitude (6) entre les fonctions de directivité obtenues à partir desdites fonctions de transfert de type HRTF de référence est fondée sur un critère de similitude représentatif de similitudes indépendantes par rapport à des décalages par rotation desdites fonctions de directivité.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre

- une association (24) selon ladite évaluation de similitude (22) des fonctions de directivité mesurées avec les groupes de fonctions de directivité de référence ; et
- une modification (26) par rotation, des fonctions de directivité mesurées pour minimiser un décalage spatial avec les fonctions de directivité représentatives des groupes associés.

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une modification (40) des fonctions de directivité reconstruites pour compenser au moins partiellement la minimisation (26) du décalage spatial.

6. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ladite reconstruction (30) comprend :

- une détermination (34) d'une base de vecteurs de reconstruction à partir desdites fonctions de directivité de reconstruction ; et
- une expression (36) de ladite fonction de directivité mesurée courante sur ladite base de vecteurs de reconstruction.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** ladite expression (36) des fonctions de directivité mesurées sur ladite base de vecteurs de reconstruction comprend une approximation fondée sur des informations issues desdites fonctions de directivité de reconstruction et des informations issues desdites fonctions de directivité mesurées.

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une modification (42) des fonctions de directivité reconstruites pour compenser au moins partiellement ladite approximation.

9. Programme d'ordinateur pour la détermination de fonctions de transfert de type HRTF pour un individu **caractérisé en ce qu'il** comprend des instructions de code qui, lorsqu'elles sont exécutées par un calculateur de cet ordinateur entraînent la réalisation des étapes du procédé selon la revendication 1.

10. Dispositif pour la détermination de fonctions de transfert de type HRTF pour un individu **caractérisé en ce qu'il** comprend :

- des moyens de réception de fonctions de transfert de type HRTF spécifiques audit individu et mesurées pour un premier nombre de directions (n) ;
- des moyens (52, 60, 58) d'évaluation d'une similitude spatiale entre :

des fonctions de directivité mesurées obtenues à partir desdites fonctions de transfert de type HRTF mesurées pour ledit individu, et
des fonctions de directivité représentatives de groupes de fonctions de directivités de référence,

lesdites fonctions de directivité de référence étant obtenues au préalable à partir de fonctions de transfert de type HRTF de référence et lesdites fonctions de transfert de type HRTF de référence étant des fonctions de transfert de type HRTF déterminées pour un second nombre de directions (N) supérieur audit premier nombre de directions et pour une pluralité d'individus, une fonction de directivité représentant le module d'une fonction de transfert de type HRTF pour une fréquence donnée ;
- des moyens (62, 64, 66) de reconstruction aux (N') directions additionnelles, pour lesquelles les fonctions de transfert de type HRTF pour ledit individu sont souhaitées, des fonctions de directivité mesurées, à partir de fonctions de directivité de reconstruction, lesdites fonctions de directivité de reconstruction étant déterminées (32) pour une fonction de directivité mesurée courante par interpolation de fonctions de directivité de référence aux (n) directions mesurées et aux (N') directions additionnelles, lesdites fonctions de directivité de référence interpolées étant les fonctions de directivité de référence du groupe pour lequel la similitude spatiale entre la fonction de directivité mesurée courante et la fonction de directivité représentative du groupe est la plus forte ; et
- des moyens d'obtention de fonctions de transfert de type HRTF pour ledit individu pour un nombre de directions supérieur au premier nombre de directions (n) à partir des fonctions de directivité reconstruites.

Claims

1. Method for determining transfer functions of HRTF type for an individual, **characterized in that** it comprises:

- a measurement (14), for a first number of directions (n), of transfer functions of HRTF type specific to said individual;
- an evaluation (22) of a spatial similarity between:

measured directivity functions obtained with the help of said transfer functions of HRTF type measured for said individual, and
directivity functions representative of groups of reference directivity functions;

said reference directivity functions being obtained beforehand with the help of reference transfer functions of HRTF type and said reference transfer functions of HRTF type being transfer functions of HRTF type determined for a second number of directions (N) greater than said first number of directions and for a plurality of individuals, a directivity function representing the modulus of a transfer function of HRTF type for a given frequency;

- a reconstruction (30) in the (N') additional directions, for which the transfer functions of HRTF type for said individual are desired, of the measured directivity functions, with the help of reconstruction directivity functions, said reconstruction directivity functions being determined (32) for a current measured directivity function by interpolation of reference directivity functions in the (n) measured directions and in the (N') additional directions, said interpolated reference directivity functions being the reference directivity functions of the group for which the spatial similarity between the current measured directivity function and the directivity function representative of the group is a maximum; and

- an obtaining of transfer functions of HRTF type for said individual for a number of directions greater than the first number of directions (n) with the help of the reconstructed directivity functions.

2. Method according to Claim 1, **characterized in that** it comprises in a prior phase:

- a determination (4) of said reference transfer functions of HRTF type for a plurality of individuals, according to a plurality of frequencies and said second number of directions;
- an evaluation (6) of a spatial similarity between directivity functions obtained with the help of said reference transfer functions of HRTF type;
- a classification (8) of said directivity functions obtained with the help of said reference transfer functions of HRTF type into groups according to their similarities;
- a selection (10) of a representative directivity function for each group; and
- a modification (12) by rotation of the directivity functions obtained with the help of said reference transfer functions of HRTF type, so as to minimize a spatial shift with their respective representative directivity functions and to form the reference directivity functions.

3. Method according to Claim 2, **characterized in that** said evaluation of similarity (6) between the directivity functions obtained with the help of said reference transfer functions of HRTF type relies on a similarity criterion representative of similarities which are independent with respect to shifts by rotation of said directivity functions.

5 4. Method according to either one of Claims 2 and 3, **characterized in that** it furthermore comprises

- an association (24) according to said evaluation of similarity (22) of the measured directivity functions with the groups of reference directivity functions; and
- a modification (26) by rotation, of the measured directivity functions so as to minimize a spatial shift with the directivity functions representative of the associated groups.

10 5. Method according to Claim 4, **characterized in that** it furthermore comprises a modification (40) of the reconstructed directivity functions so as to compensate at least partially the minimization (26) of the spatial shift.

15 6. Method according to Claim 2, **characterized in that** said reconstruction (30) comprises:

- a determination (34) of a basis of reconstruction vectors with the help of said reconstruction directivity functions; and
- an expression (36) of said current measured directivity function on said basis of reconstruction vectors.

20 7. Method according to Claim 6, **characterized in that** said expression (36) of the measured directivity functions on said basis of reconstruction vectors comprises an approximation relying on information arising from said reconstruction directivity functions and information arising from said measured directivity functions.

25 8. Method according to Claim 7, **characterized in that** it furthermore comprises a modification (42) of the reconstructed directivity functions so as to compensate at least partially said approximation.

30 9. Computer program for the determination of transfer functions of HRTF type for an individual, **characterized in that** it comprises code instructions which, when they are executed by a processor of this computer, bring about the realization of the steps of the method according to Claim 1.

10. Device for the determination of transfer functions of HRTF type for an individual, **characterized in that** it comprises:

- means for receiving transfer functions of HRTF type specific to said individual and measured for a first number of directions (n);
- means (52, 60, 58) for evaluating a spatial similarity between:

measured directivity functions obtained with the help of said transfer functions of HRTF type measured for said individual, and
directivity functions representative of groups of reference directivity functions;

said reference directivity functions being obtained beforehand with the help of reference transfer functions of HRTF type and said reference transfer functions of HRTF type being transfer functions of HRTF type determined for a second number of directions (N) greater than said first number of directions and for a plurality of individuals, a directivity function representing the modulus of a transfer function of HRTF type for a given frequency;

- means (62, 64, 66) for reconstructing in the (N') additional directions, for which the transfer functions of HRTF type for said individual are desired, the measured directivity functions, with the help of reconstruction directivity functions, said reconstruction directivity functions being determined (32) for a current measured directivity function by interpolation of reference directivity functions in the (n) measured directions and in the (N') additional directions, said interpolated reference directivity functions being the reference directivity functions of the group for which the spatial similarity between the current measured directivity function and the directivity function representative of the group is the strongest; and

- means for obtaining transfer functions of HRTF type for said individual for a number of directions greater than the first number of directions (n) with the help of the reconstructed directivity functions.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für eine Person, **dadurch gekennzeichnet, dass** es enthält:

- eine Messung (14), für eine erste Anzahl von Richtungen (n), von Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF, die für die Person spezifisch sind;
- eine Bewertung (22) einer räumlichen Ähnlichkeit zwischen:

gemessenen Richtwirkungsfunktionen, die ausgehend von den für die Person gemessenen Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhalten werden, und
Richtwirkungsfunktionen, die für Gruppen von Bezugs-Richtwirkungsfunktionen repräsentativ sind, wobei die Bezugs-Richtwirkungsfunktionen vorab ausgehend von Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhalten werden, und die Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF sind, die für eine zweite Anzahl von Richtungen (N) größer als die erste Anzahl von Richtungen und für eine Vielzahl von Personen bestimmt werden, wobei eine Richtwirkungsfunktion den Modul einer Übertragungsfunktion vom Typ HRTF für eine gegebene Frequenz darstellt;

- eine Rekonstruktion (30) in die (N') zusätzlichen Richtungen, für die die Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für die Person erwünscht sind, der gemessenen Richtwirkungsfunktionen, ausgehend von Rekonstruktions-Richtwirkungsfunktionen, wobei die Rekonstruktions-Richtwirkungsfunktionen für eine laufende gemessene Richtwirkungsfunktion durch Interpolation von Bezugs-Richtwirkungsfunktionen in die (n) gemessenen Richtungen und in die (N') zusätzlichen Richtungen bestimmt werden (32), wobei die interpolierten Bezugs-Richtwirkungsfunktionen die Bezugs-Richtwirkungsfunktionen der Gruppe sind, bei denen die räumliche Ähnlichkeit zwischen der laufenden gemessenen Richtwirkungsfunktion und der für die Gruppe repräsentativen Richtwirkungsfunktion maximal ist; und
- einen Erhalt von Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für die Person für eine Anzahl von Richtungen größer als die erste Anzahl von Richtungen (n) ausgehend von den rekonstruierten Richtwirkungsfunktionen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es in einer vorhergehenden Phase enthält:

- eine Bestimmung (4) der Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für eine Vielzahl von Personen, gemäß einer Vielzahl von Frequenzen und der zweiten Anzahl von Richtungen,
- eine Bewertung (6) einer räumlichen Ähnlichkeit zwischen ausgehend von den Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhaltenen Richtwirkungsfunktionen;
- eine Einordnung (8) der ausgehend von den Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhaltenen Richtwirkungsfunktionen in Gruppen gemäß ihren Ähnlichkeiten;
- eine Auswahl (10) einer für jede Gruppe repräsentativen Richtwirkungsfunktion; und
- eine Änderung (12) durch Drehung der ausgehend von den Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhaltenen Richtwirkungsfunktionen, um eine räumliche Verschiebung zu ihren jeweiligen repräsentativen Richtwirkungsfunktionen zu minimieren und die Bezugs-Richtwirkungsfunktionen zu formen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ähnlichkeitsbewertung (6) zwischen den ausgehend von den Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhaltenen Richtwirkungsfunktionen auf einem Ähnlichkeitskriterium basiert, das für Ähnlichkeiten repräsentativ ist, die bezüglich von Verschiebungen durch Drehung der Richtwirkungsfunktionen unabhängig sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es außerdem aufweist:

- eine Vereinigung (24) gemäß der Ähnlichkeitsbewertung (22) der gemessenen Richtwirkungsfunktionen mit den Gruppen von Bezugs-Richtwirkungsfunktionen; und
- eine Änderung (26) durch Drehung der gemessenen Richtwirkungsfunktionen, um eine räumliche Verschiebung zu den für die vereinten Gruppen repräsentativen Richtwirkungsfunktionen zu minimieren.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** es außerdem eine Änderung (40) der rekonstruierten Richtwirkungsfunktionen enthält, um die Minimierung (26) der Verschiebung zumindest teilweise zu kompensieren.

6. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rekonstruktion (30) enthält:

- eine Bestimmung (34) einer Basis von Rekonstruktionsvektoren ausgehend von den Rekonstruktions-Richtwirkungsfunktionen; und
- einen Ausdruck (36) der laufenden gemessenen Richtwirkungsfunktion auf der Basis von Rekonstruktionsvektoren.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausdruck (36) der gemessenen Richtwirkungsfunktionen auf der Basis von Rekonstruktionsvektoren eine Näherung enthält, die auf Informationen, welche von den Rekonstruktions-Richtwirkungsfunktionen stammen, und auf Informationen basiert, welche von den gemessenen Richtwirkungsfunktionen stammen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** es außerdem eine Änderung (42) der rekonstruierten Richtwirkungsfunktionen enthält, um die Näherung zumindest teilweise zu kompensieren.

9. Computerprogramm zur Bestimmung von Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für eine Person, **dadurch gekennzeichnet, dass** es Codeanweisungen enthält, die, wenn sie von einem Rechner dieses Computers ausgeführt werden, die Durchführung der Schritte des Verfahrens nach Anspruch 1 veranlassen.

10. Vorrichtung zur Bestimmung von Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für eine Person, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie enthält:

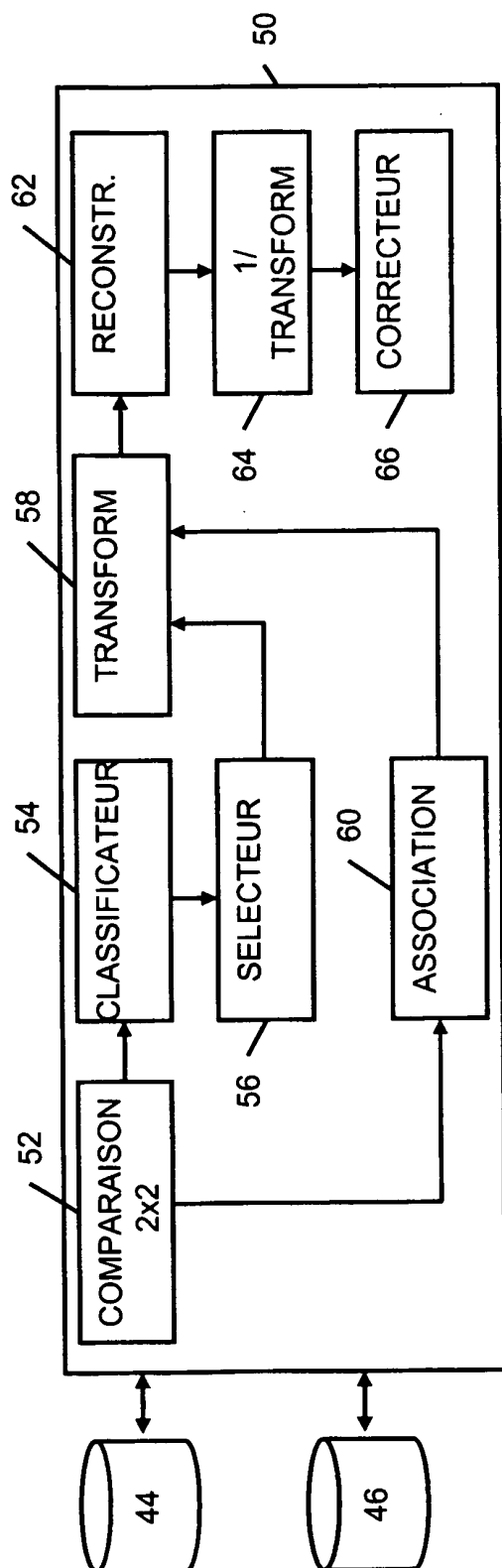
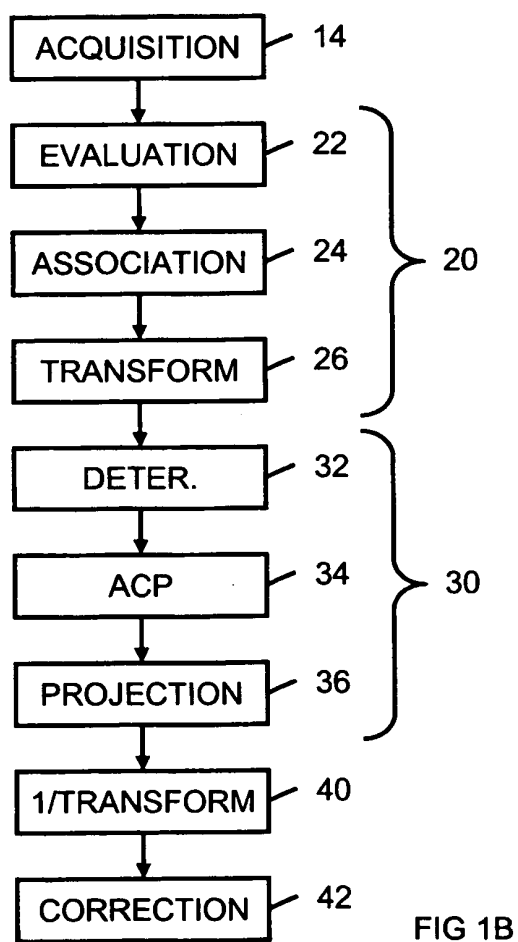
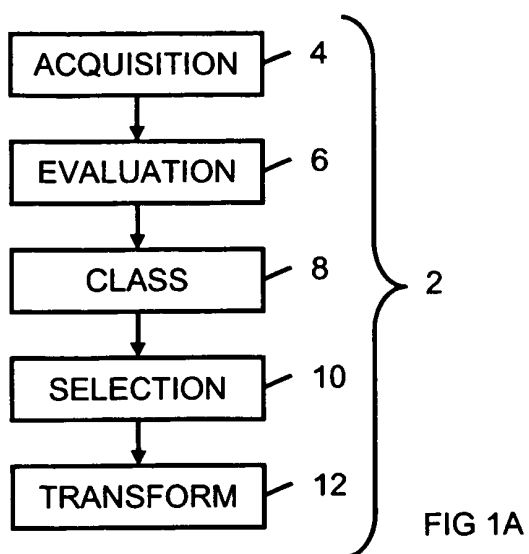
- Einrichtungen zum Empfang von Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF, die für die Person spezifisch sind und für eine erste Anzahl von Richtungen (n) gemessen werden;
- Einrichtungen (52, 60, 58) zur Bewertung einer räumlichen Ähnlichkeit zwischen:

gemessenen Richtwirkungsfunktionen, die ausgehend von den für die Person gemessenen Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhalten werden, und

Richtwirkungsfunktionen, die für Gruppen von Bezugs-Richtwirkungsfunktionen repräsentativ sind, wobei die Bezugs-Richtwirkungsfunktionen vorab ausgehend von Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF erhalten werden, und die Bezugs-Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF sind, die für eine zweite Anzahl von Richtungen (N) höher als die erste Anzahl von Richtungen und für eine Vielzahl von Personen bestimmt werden, wobei eine Richtwirkungsfunktion den Modul einer Übertragungsfunktion vom Typ HRTF für eine gegebene Frequenz darstellt;

- Einrichtungen (62, 64, 66) zur Rekonstruktion in die (N') zusätzlichen Richtungen, für die die Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für die Person gewünscht werden, der gemessenen Richtwirkungsfunktionen, ausgehend von Rekonstruktions-Richtwirkungsfunktionen, wobei die Rekonstruktions-Richtwirkungsfunktionen für eine laufende gemessene Richtwirkungsfunktion durch Interpolation von Bezugs-Richtwirkungsfunktionen in die (n) gemessenen Richtungen und in die (N') zusätzlichen Richtungen bestimmt werden (32), wobei die interpolierten Bezugs-Richtwirkungsfunktionen die Bezugs-Richtwirkungsfunktionen der Gruppe sind, für die die räumliche Ähnlichkeit zwischen der laufenden gemessenen Richtwirkungsfunktion und der für die Gruppe repräsentativen Richtwirkungsfunktion die stärkste ist; und

- Einrichtungen zum Erhalt von Übertragungsfunktionen vom Typ HRTF für die Person für eine Anzahl von Richtungen höher als die erste Anzahl von Richtungen (n) ausgehend von den rekonstruierten Richtwirkungsfunktionen.



RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 0500218 [0014]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **Kostelec, P.J. ; D.N. Rockmore.** *FFTs on the Rotation Group*, 2003 [0041]
- **Luxburg, U.** *A Tutorial on Spectral Clustering. Statistics and Computing*, 2007, vol. 17 (4), 395-416 [0044]
- **MacQueen, J.B.** Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1967 [0044]
- **Chirikjian, G.S. et al.** Rotational matching problems. *International Journal of Computational Intelligence and Applications*, 2004, vol. 4 (4), 401-416 [0048]
- **Press, W.H. et al.** *Numerical recipes in C : the art of scientific computing*. 1992 [0075]
- Reconstructing the complete 3D shape of faces from partial information. *it+ti, Informationstechnik und Technische Informatik*, 2002, vol. 44 (6 [0081]
- **Wahba, G.** Spline interpolation and smoothing on the sphere. *SIAM J. Sci. Stat. Comp.*, 1981, vol. 2, 5-14 [0087]